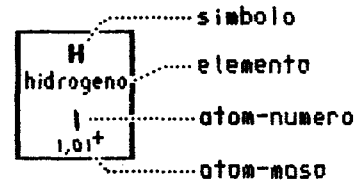
Ĝenerala, Organika, kaj Biologia KEMIO

H. S. Stoker
kaj
M. R. Slabaugh

Periodo Tabelo de la Elementoj



Grupo / Periodo	IA++ (Še=1)	IIA (Še=2)	IIIB (IIIA)	IVB (IVA)	VB (VA)	VIB (VIA)	VIIB (VIIA)	
1 (n=1)	**H** hidrogeno 1 1,01							
2 (n=2)	**Li** litio 3 6,94	**Be** berilio 4 9,01						
3 (n=3)	**Na** natrio 11 22,79	**Mg** magnezio 12 24,31						
4 (n=4)	**K** kalio 19 39,10	**Ca** kalcio 20 40,08	**Sc** skandio 21 44,96	**Ti** titanio 22 47,90	**V** vanadio 23 50,94	**Cr** kromio 24 52,00	**Mn** mangano 25 54,94	**Fe** fero 26 55,85
5 (n=5)	**Rb** rubidio 37 85,47	**Sr** stroncio 38 87,62	**Y** itrio 39 88,91	**Zr** zirkonio 40 91,22	**Nb** niobio 41 92,91	**Mo** molibdeno 42 95,94	**Tc*** teknecio 43 (98)	**Ru** rutenio 44 101,07
6 (n=6)	**Cs** cezio 55 132,91	**Ba** bario 56 137,33	**La** lantano 57 138,91	**Hf** hafnio 72 178,49	**Ta** tantalo 73 180,95	**W** volframo 74 183,85	**Re** renio 75 186,21	**Os** osmio 76 190,2
7 (n=7)	**Fr*** franciumo 87 (223)	**Ra*** radiumo 88 226,02	**Ac*** aktinio 89 227,02	***Unq*** unnilkvadio 104 (261)	***Unp*** unnilpentio 105 (262)	***Unh*** unniltheksio 106 (263)	***Uns*** unnilseptio 107 (262)	***Uno*** unniloktio 108 (265)

Lantanoidoj	**Ce** cerio 58 140,12	**Pr** prazeodimo 59 140,91	**Nd** neodimo 60 144,24	**Pm*** prometio 61 (145)
Aktinoidoj	**Th*** torio 90 232,04	**Pa*** protaktinio 91 231,04	**U*** uranio 92 238,03	**Np*** neptunio 93 237,05

* Ĉiuj izotopoj estas *radioaktivaj (nestabilaj)*.

( ) Indikas atom-mason de nenature troviganta radioaktiva elemento (Ĉapitro 12). Oni ne povas diti ĝin sen scii la originon de la provaĵo: la donita valoro estas la mas-nombro de la plej stabila izotopo.

\+ Ĉiuj atom-masoj estas rondigitaj ĝis 0,01 kaj estas la valoroj de la Komisiono pri Atom-masoj el la jaro 1977.

++ La nombroserio super la tabelo, por ĉiu kolumno, estas laŭ la usona sistemo. La eŭropa sistemo diferencas en tio, ke la litero A estas uzata ĉe la maldekstra flanko, dum B estas uzata ĉe la dekstra. Tion ĉi indikas la nombroserio en krampoj.

									Noblaj Gasoj
				IIIA (IIIB) (#e=3)	IVA (IVB) (#e=4)	VA (VB) (#e=5)	VIA (VIB) (#e=6)	VIIA (VIIB) (#e=7)	**He** heliumo 2 4,00
				B borio 5 10,81	**C** karbono 6 12,01	**N** nitrogeno 7 14,01	**O** oksigeno 8 16,00	**F** fluoro 9 19,00	**Ne** neono 10 20,18
				Al aluminio 13 26,98	**Si** silicio 14 28,09	**P** fosforo 15 30,97	**S** sulfuro 16 32,06	**Cl** kloro 17 35,45	**Ar** argono 18 39,95
VIIIB (VIIIA)		IB	IIB						
Co kobalto 27 58,93	**Ni** nikelo 28 58,70	**Cu** kupro 29 63,55	**Z** zinko 30 65,38	**Ga** galiumo 31 69,72	**Ge** germaniumo 32 72,59	**As** arseno 33 74,92	**Se** seleno 34 78,96	**Br** bromo 35 79,90	**Kr** kriptono 36 83,80
Rh rodio 45 102,91	**Pd** paladio 46 106,4	**Ag** arĝento 47 107,87	**Cd** kadmio 48 112,40	**In** indiumo 49 114,82	**Sn** stano 50 118,69	**Sb** stibio 51 121,75	**Te** teluro 52 127,60	**I** jodo 53 126,90	**Xe** ksenono 54 131,30
Ir iridio 77 192,22	**Pt** plateno 78 195,09	**Au** oro 79 196,97	**Hg** hidrargo 80 200,59	**Tl** taliumo 81 204,37	**Pb** plumbo 82 207,2	**Bi** bismuto 83 208,98	**Po*** polonio 84 (209)	**At*** astato 85 (210)	**Rn*** radono 86 (222)
Une unnilenio 109 (266)									

Sm samario 62 150,4	**Eu** eŭropio 63 151,96	**Gd** gadolinio 64 157,25	**Tb** terbio 65 158,93	**Dy** disprozio 66 162,50	**Ho** holmio 67 164,93	**Er** erbio 68 167,26	**Tm** tulio 69 168,93	**Yb** iterbio 70 173,04	**Lu** lutecio 71 174,97

Pu* plutonio 94 (244)	**Am*** americio 95 (243)	**Cm*** kuriumo 96 (247)	**Bk*** berkelio 97 (247)	**Cf*** kalifornium 98 (251)	**Es*** ejnstejnio 99 (252)	**Fm*** fermio 100 (257)	**Md*** mendelevio 101 (258)	**No*** nobelio 102 (259)	**Lr*** laŭrencio 103 (260)

En ĉiu grupo A, la nombro da elektronoj (#e) en la ekstera ŝelo estas la sama.

En ĉiu periodo, la identiga numero (n) por la ekstera ŝelo de ĉiu elemento estas la sama.

Ĝ E N E R A L A , O R G A N I K A ,
K A J B I O L O G I A K E M I O

de

H. S. Stoker
M. R. Slabaugh

el la angla tradukis teamo
sub la gvido de:

R. K. Jones
D. A. Portmann

unua Eldono

Esperanto-Societo de Ĉikago
1988

UDK: 54(022) = 089.2

ISBN 0-9615986-0-3

Eldonita en la kadro de
Internacia Scienca Asocio Esperantista (ISAE)
Prezidanto: Prof. D-ro C. Støp-Bowitz

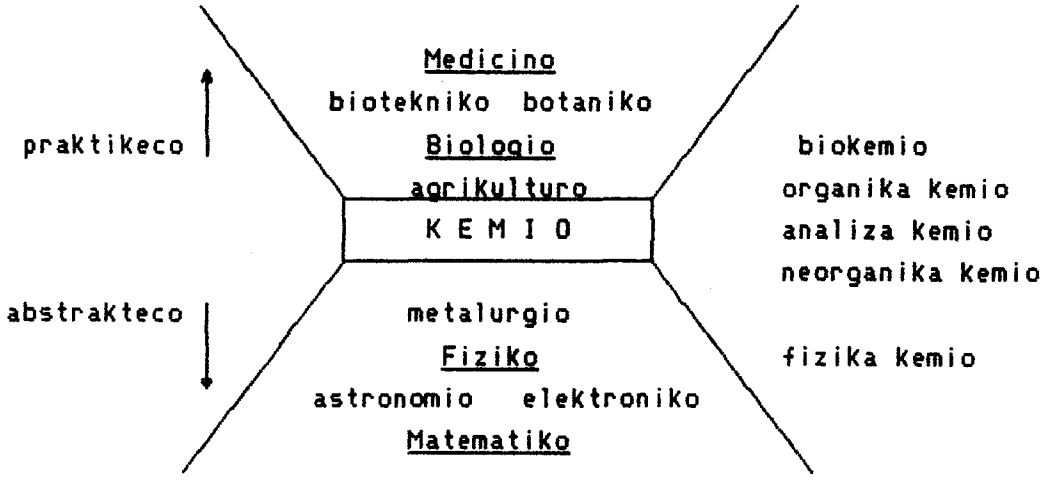
Authorized translation from the
English-language edition published
by Scott, Foresman and Company,
Glenview, Illinois, United States
of America. Copyright ©1981 in
the United States of America by
Scott, Foresman and Company.
All Rights Reserved.

Permesita traduko el la
anglalingva eldono, kiun publikigis
Scott, Foresman and Company,
Glenview, Illinois,
Usono. Kopirajto ©1981 en
Usono far
Scott, Foresman and Company.
Ĉiuj rajtoj rezervitaj.

ANTAŬPAROLO

Antaŭ vi, kara leganto, estas unu el la unuaj plenformataj sciencaj lernolibroj en Esperanto. Ĝi ne estas amuz-libro, sed serioza ilo por konatigi vin kun grava scienca fako, la kemio. La lernolibro ne supozas ke vi iam ajn studis kemion, kaj via matematika kono ne devas esti granda.

La kemio okupas eminente centran pozicion inter la natur-sciencoj kiel sekve:



Ĝi estas super matematiko, fako tre abstrakta, kaj sub medicino, fako tre praktika. En tiu ĉi kolumno, ĉiu scienco dependas de ĉiu sub ĝi, do kemio dependas de fiziko kaj matematiko, kaj siavice ĝi estas la fundamento por biologio kaj medicino. Krom tio, surbaze de kemio ekzistas potenca kemia industrio ĉirkaŭ la mondo.

Vi studos unue ĝeneralan, fizikan, kaj neorganikan kemion (Ĉapitroj 1-12), tiam organikan kemion (Ĉ. 13-19), kaj laste biokemion (Ĉ. 20-25). Ĉiu ĉapitro fundamentiĝas sur la antaŭaj, do vi devas legi de komenco al fino.

Tiu ĉi libro povas servi por unu- aŭ du-semestra kurso, t.e.- duona aŭ plena lernej-jaro. Ĝi devus esti uzata en klaso kun instruisto, sed unuopaj kuraĝuloj povas ĝin asimili. Por la instruisto ni disponigas apartan solvolibron. La lernolibro taŭgos por persono kun minimuma aĝo de ĉirkaŭ dek ok jaroj, ekz. lernanto en la lastaj jaroj de mez-lernejo aŭ studento en la universitato. Kvankam la angla originalo estis destinita por medicinistoj (precipe flegistinoj), la libro povas esti uzata por lernantoj en ĉiu fako.

Estas nia feliĉo sciigi, ke eminenta usona kemiisto Linus Pauling donis sian permeson, ke la nuna lernolibro estu dediĉita al triamondaj studentoj

je lia nomo. L. Pauling estis honorita per la Nobel-premio por kemio en la jaro 1954, kaj por paco en la jaro 1962. Li ankaŭ estis prezidanto de la American Chemical Society (Usona Kemia Societo). Li studis Esperanton antaŭ 70 jaroj.

Tiu ĉi verko baziĝas sur anglalingva teksto eldonita en 1981. En tiu sama jaro, la usona eldonisto "Scott, Foresman and Company" bonvolis transdoni al ni la rajton traduki kaj eldoni ĝin. La peto por ĝi venis el Irano, de D-ro M.H. Saheb-Zamani, ĉar oni konstatis ke estis tuta manko de tiaj libroj en la Internacia Lingvo. Nuntempe, triamondano aŭ ano de malgranda lingvo devas publikigi siajn sciencajn esplorojn en la angla aŭ alia "granda" lingvo; se ne, oni simple ignoras ilin. Per Esperanto oni povas starigi pli justan internacian lingvan ordon, precipe inter sciencistoj.

La jena teksto ne estas pala kopio de la angla originalo. Ni enkondukis en ĝi multajn ŝanĝojn por adapti ĝin al internacia legantaro. Ekzemple, la metra sistemo de mezur-unuoj estas ĉiam uzita en la esperanta traduko, malsama ol la angla teksto. Krom tio, ni ankaŭ dissemis tra la libro etimologiojn por montri la originojn de iuj kemiaj terminoj.

Tiu ĉi traduko estas la rezulto de la laboro de ampleksa internacia teamo de kunlaborantoj. La listo por la tradukintoj de la diversaj ĉapitroj troviĝas sur apuda paĝo; al ili ĉiuj nian dankon. Ni dankas Inĝ. Z. Pluhař (Ĉeĥoslovakio), kiu energie rolis kiel la ĉefa kontrolanto kaj konsilanto por la traduko. Al D. Rogers kaj B. Aldridge (Nov-Zelando) nian dankon por la traduko de la solvolibro. Inĝ. Pluhař en sia kritiko de la tradukitaj ĉapitroj estis helpita de M. Westermayer (F.R. Germanio), M. Popov (Sovet-unio), A. Barrocas (Urugvajo), R. Eichholz (Kanado), S. Kawamura (Japanio), C.I. de Jesus (Usono), kaj aliaj. Yamazoe afable konsentis kontroli la medicinajn terminojn. Aliaj personoj helpis retajpi aŭ rearanĝi la tekston kaj ilustraĵojn: P. Graham, M. Humphreys, J. Laux, S. Rinker, K. Sorenson, Z. Stawikowski, B. Waldon. Ni ŝatas ilian kunlaboron.

Inter la multaj referencaj verkoj konsultitaj dum la preparo de la traduko, aparte utilaj estis: PIV, la kemiaj vortaroj de Duncan (1956) kaj Westermayer (1981-82), kaj la Esperanta Medicina Terminaro (1979).

Fine, kara leganto, tenu en memoro ke kemiaĵoj kaj kemiaj procedoj povas efiki por bono aŭ malbono. En la manoj de bonuloj ili povas atingi multan bonon, sed maliculoj kaj ankaŭ malzorguloj povas kaŭzi grandan difekton al

homoj, bestoj, kaj la vivomedio per ili. Eble kelkaj el vi iĝos ministroj, aferistoj, medicinistoj, aŭ sciencistoj; uzu viajn sciojn por la bono! Bonan sukceson en viaj studoj.

R.K.J.
D.A.P.

TRADUKINTOJ DE LA ĈAPITROJ*

ĈAPITRA NUMERO	TRADUKINTO(J)
1	A. Barrocas (Urugvajo)
2	G. Novak
3	K. Nell
4,5	J. Fulton
6	J. Fulton, B. Walden
7	M. Westermayer (F.R. Germanio)
8	R. K. Jones
9,10	K. Nell
11	V. Novobilsky (Ĉeĥoslovakio)
12	F. Belinfante
13-19	D. Portmann
20,21	L. Kovàcs (Hungario)
22	R. K. Jones
23	L. Kovàcs (Hungario)
24,25	R. K. Jones
Respondoj	D. Portmann
Indekso	R. K. Jones

*Tiuj sen mencio de nacieco estas usonanoj

ENKONDUKO AL LA ANGLA ELDONO

La plejparto de la kursanoj uzantaj "General, Organic, and Biochemistry: A Brief Introduction" (Ĝenerala, Organika, kaj Biologia Kemio: Konciza Enkonduko) estas en la fakoj de flegistiko kaj la sciencoj pri la vivo. Al ili estas la biologia kemio la plej grava parto. Ni sekve decidis skribi unue la biologian kemion, tiam la organikan kemion devigan por kompreni la biologian kemion, kaj laste la ĝeneralan kemion devigan por kompreni ambaŭ. Tial do, studento-flegistino leganta pri bufrado de sangoproteinoj en Ĉapitro 22 jam lernis la tutan bezonatan sciaron pri bufroj en Ĉapitro 10. Studento en la viv-sciencoj volanta kompreni DNA en Ĉapitro 24 jam posedas la fonajn informojn pri esteroj (Ĉ. 18) kaj hidrogen-ligoj (Ĉ. 7). Ni ĉiam skribis la plej fruajn ĉapitrojn surbaze de la bezonoj de la postaj.

Distinga trajto en tiu ĉi teksto estas la ŝlosilterminoj kaj ties difinoj. Rapida kontrolo en ajna ĉapitro montros ties gravajn terminojn.

Alia gravaĵo estas la nekutima nombro de "lerniloj". Ĉiu ĉapitro komenciĝas per listo de celoj (po unu celo por ĉiu sekcio), kaj finiĝas per ampleksa sortimento da ekzercoj (pli ol 500 en la tuta teksto). Pro tio, ke studentoj niaopinie bezonas helpon apliki kaj bildigi al si la lernotaĵon, ni enmetis eksterordinare grandan nombron de klarigitaj ekzemploj (super 70), ilustraĵoj (super 130), kaj tabeloj (super 80).

Por la instruisto ni disponigis la "Instructor's Solutions Manual" (Solvolibro por Instruistoj). Tiu havas plenajn respondojn por ĉiuj lernolibraj ekzercoj.

Ni dankas tiujn, kiuj kritikis la anglan manuskripton: J.W. Baynes, C.S. Brown, L.A. Burnell, F. Haimes, R. Holt, O.D. Jeans, F.R. Jerome, G.D. Lee, D.A. MacQuarrie, kaj H. Rick. Iliaj kritikoj tre utilis.

Ni esperas ke ĉiuj uzantoj de tiuj ĉi materialoj trovos ilin kompreneblaj, utilaj, kaj science ĝustaj. Pro tio, ke ni sincere deziras plibonigi ilin kaj niajn kursojn, ni bonvenigas sugestojn, kritikojn, kaj ceterajn komentojn.

H.S.S.

M.R.S.

NEESPERANTAJ LITEROJ

En scienca laboro oni ofte renkontas grekajn literojn kaj neesperantajn literojn de la romana aboco. Kelkaj el ili troviĝas en jena teksto. Estas konsilinde do konatiĝi kun ili.

Greka Alfabeto

Α, α	alfa	Ν, ν	nu
Β, β	beta	Ξ, ξ	ksi
Γ, γ	gama	Ο, ο	omikra
Δ, δ	delta	Π, π	pi
Ε, ε	epsila	Ρ, ρ	rota
Ζ, ζ	zeta	Σ, σ	sigma
Η, η	eta	Τ, τ	taŭ
Θ, θ	teta	Υ, υ	upsila
Ι, ι	jota	Φ, φ	fi
Κ, κ	kapa	Χ, χ	ĥi
Λ, λ	lamba	Ψ, ψ	psi
Μ, μ	mu	Ω, ω	omega

Neesperantaj Literoj de la Romana Alphabeto

Q, q	kuo	X, x	ikso
W, w	duobla vo	Y, y	ipsilono

KIEL ELPAROLI SCIENCAN NOTACION
KELKAJ KONSILOJ

En la kemio kaj matematiko troviĝas ege multaj simboloj, ekvacioj, kaj formuloj. Ili estas destinataj pli por la okulo ol por la orelo. Tio estas, oni ne kutime laŭtlegas ilin. Sed kelkfoje jes. Sekve, tiu serĉanta helpon en la elparolo povas sin turni al la subaj konsiloj.

Sciencaj Signoj - Superrigardo

÷ aŭ :	dividosigno (dividita per)
/ aŭ ¯	dividostreketo (je)
=	egalec-signo (egalas)
o	grado
,	komo
()	krampoj
x	multiplika signo (multiplikita per)
+	plus-signo (plus)
%	procento
.	punkto
→	sago (donas, produktas)
⇌	sago duvoja (ekvilibras kun)
-	streketo ; minus-signo (minus)

Estas rimarkinde, ke kelkaj el tiuj signoj apartenas al la ordinara interpunkcio. Interkrampe estas donita la prononco, se tiu diferencas de la nomo de la signo.

I. Nombroj

Ili povas enhavi komon, dividostreketon, aŭ punktojn. La komo karakterizas frakciojn.

Ekzemploj: a) 763 b) 12,02 c) 7/35 ĉ) 4.908.316

Elparoloj: a) sepcent sesdek tri

b) dek du komo nul du

aŭ: un du komo nul du

c) sep tridek-kvinonoj

ĉ) kvar milionoj naŭcent ok mil tricent dek ses

aŭ: kvar punkto naŭ nul ok punkto tri un ses

Ili povas esti ĝenerale legataj cifer-post-cifere aŭ kiel tuto. Oni rajtas ellasi la o en nulo (nul) kaj eĉ la u en unu (un), sed "un" ne estas uzata ĝis nun. En la anglaparolantaj kaj iuj aliaj landoj

uziĝas la punkto vic' al la komo kiel frakci-signo. Po unu punkto ofte apartigas tri ciferojn (kiel montrite en ĉi) en grandaj nombroj. Tamen, en certaj landoj troviĝas la komo aŭ simpla spaco en tiu rolo. Tia interpunkcio estas fakultativa.

II. Bazaj Matematikaj Operacioj

Ili estas adicio, subtraho, multipliko, kaj divido. La krampoj () grupigas nombrojn, kaj la grupitaĵo nomiĝas parentezo. La maldekstra krampo, aŭ komenca krampo, estas la ekkrampo. Ĝin akompanas la dekstra, fina krampo, aŭ la finkrampo.

Ekzemploj: a) 1 + 1,2 = 2,2 b) 60 - (8 x 7) = 4 c) 90 ÷ 10 = 9

Elparoloj: a) unu plus unu komo du egalas du komo du

b) sesdek minus parentezaj ok (multiplikita) per sep egalas kvar

c) naŭdek (dividita) per dek egalas naŭ

Anstataŭ tiu pezaj "multiplikita per" kaj "dividita per" oni proponis "mult" kaj "dis" respektive. Do, 3 x 4 = 12 fariĝus tri mult kvar egalas dek du.

III. Eksponenta Notacio

Ekzemploj: a) $1{,}16 \times 10^{-4}$ b) $6{,}02 \times 10^{23}$

Elparoloj: a) unu komo unu ses per dek potenco minus kvar

aŭ: unu komo unu ses per dek potencita per minus kvar

b) ses komo nul du per dek potenco dudek tri

(nombro de Avogadro, Ĉapitro 4)

IV. Temperaturoj

^{o}C estas gradoj Celsius (aŭ Celsio) kaj K estas la Kelvino (sen gradoj).

Ekzemploj: a) 175 ^{o}C b) 589 K

Elparoloj: a) cent sepdek kvin gradoj Celsius

b) kvincent okdek naŭ kelvinoj

V. Procento

La signon % legu kiel procento(j)n.

Ekzemploj: a) 37% b) 0,01% c) 20% acido

Elparoloj: a) tridek sep procentoj

b) nul komo nul unu procento

c) dudek-procenta acido (20%-a acido)

aŭ: dudek procentoj de acido

VI. Simboloj, Sigloj, Kaj Mallongigoj

Ne ekzistas firmaj reguloj por prononci tiun mikspoton. Oni povas ilin laŭtlegi laŭ siaj 1) aspekto, 2) literumo (litero post litero), kaj 3) deveno.

1. Ekzemploj laŭ aspekto: a) H b) IUPAK c) log
   Elparoloj: a) ho b) i-u-paK c) log (aŭ logo)
2. Ekzemploj laŭ literumo: a) gly b) Na c) pH
   Elparoloj: a) go lo ipsilono b) no a c) po ho
3. Ekzemploj laŭ deveno: a) ekz. b) O c) ml ĉ) log
   Elparoloj: a) ekzemple b) oksigeno c) mililitroj ĉ) logaritmo

Se vi hezitas, plej bone estas prononco laŭ deveno, ĉar plej klara.

VII. Kemiaj Formuloj

Ili povas enhavi subindicojn kaj superindicojn.

Ekzemploj: a) H_2O (akvo) b) NaF c) $Ca(NO_3)_2$ ĉ) Mg^{2+}
d) $^{12}_{6}C$ e) $C_5H_{12}O$

Elparoloj: a) ho sub(indico) du'o
aŭ: ho du o
b) no (minuskla) a fo
c) co a ekkrampo no o (sub) tri finkrampo (sub) du
aŭ: kalcia nitrato
ĉ) mo (minuskla) go (superindico) du plus
aŭ: magnezia jono (du plus)
d) super(indico) dek du sub(indico) ses co
aŭ: karbono dek du (C-12)
e) co kvin ho dek du o

Evidentigas precipe ekzemploj c) ĝis d), ke prononco laŭ literumo estas kelkfoje ĝene longeca. Tiel la ofta prefero favore al prononco laŭ deveno.

VIII. Kemiaj Ekvacioj

Ili enhavas sagojn anstataŭ la egalsignoj trovataj en matematikaj ekvacioj.

Ekzemploj: a) $2H_2O + O_2 \rightarrow 2H_2O$ b) $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$
c) $HCl(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(akv) + Cl^-(akv)$

Elparoloj: a) duobla ho du plus o du donas duoblan ho du o
b) hidrogeno du plus jodo du ekvilibras kun duobla hidrogena jodido.
c) ho co lo gasa plus ho du o likva ekvilibras kun ho tri o (pozitiva) jono akva plus co lo (negativa) jono akva
aŭ: gasa hidrogena klorido plus likva akvo ekvilibras kun akva hidronio plus (negativa) akva klorida jono

Notu la uzon de obloj en (a) kaj (b) por indiki la kvanton de la samaj partoprenantaj molekuloj (unuobla, duobla, ktp). La respondo (c) ilustras kaj literuman kaj devenan prononcojn, sed ambaŭ eblas ankaŭ por (a) kaj (b).

IX. Diversaĵoj

Ekzemploj: a) ekvacio 16-20 b) n c) km/h

Elparoloj: a) ekvacio dek ses strek dudek

b) no substrekita

c) kilometroj je horo

aŭ: kilometroj hore

Notu la mallongigon strek por streketo en (a). La ekvacio (c) estas tipo de divido, sed la unuoj mem ne "dividiĝas", do necessa ia esprimo por la frakci-streketo. Tiu ĉi libro aplikas "je", sed probable oni iam fiksos specialan vorteton por tiu celo en Esperanto.

ESPERANTA TEKNIKA TERMINOLOGIO

En la Internacia Lingvo la leganto trovos, ke multaj fakaj terminoj ne estas ĝis nun normigitaj. Tio veras ankaŭ por kemio. Ni sciigas tion al vi, por ke vi ne surpriziĝu se vi trovos malakordojn inter tiu ĉi libro kaj aliaj verkoj. Ĝenerale, la nuna libro respektas la aŭtoritaton de tiaj esperantaj ĉef-verkoj kiel Plena Ilustrita Vortaro de Esperanto (PIV). Tamen, estas esceptoj. Ni nepre volas direkti vian atenton al du aferoj, la nova fak-sufikso -enz kaj la mezur-vortoj.

La nova, neregistrita en PIV sufikso -enz indikas substancon, kiu plenumas la agon de la radiko. Ĝi estas vaste uzata en tiu ĉi lernolibro, ofte anstataŭ pli ĝenerala esperanta sufikso -il. Ekzemploj: adherenzo, solvenzo, dormigenzo. Aldone al -enz estas -ez, la pasiva variaĵo de -enz. Ĝi indikas la substancon, kiu suferas la agon de la radiko. Sola ekzemplo en tiu ĉi libro estas solvezo.

La mezurvortoj en Esperanto (grando, rapido, alto, stabilo, kaj multaj aliaj) foje enhavas la sufikson -ec, kaj foje ne. Sed en la nuna verko la leganto trovos ilin nur sen la sufikso, ĉar tio estas pli logika kaj klara. Aparte atentinde estas "grando", kiun ni ne uzas laŭ la maniero de PIV.

grando

La mezuro aŭ takso sur skalo de io diversgrade granda aŭ malgranda nomiĝas grando.

En la naciaj lingvoj, grando respondas ekzemple al angla "size", franca "grandeur, taille", germana "Grösse". PIV uzas grandon en la senco de nocio, kiu posedas la econ, ke oni povas atribui al ĝi aron da valoroj. Ni uzas la vorton atributo en tiu ĉi senco. Laste, rimarku ke kiam vi renkontos vortojn kiel "grandecon" en tiu ĉi teksto, ne temas pri mezurvorto, sed pri la logika senco de la kunmetita vorto: eco de io granda.

ENHAV-TABELO

Antaŭparolo III
Tradukintoj de la Ĉapitroj V
Enkonduko al la Angla Eldono VI
Neesperantaj Literoj VII
Kiel Elparoli Sciencan Notacion Kelkaj Konsiloj VIII
Esperanta Teknika Terminologio XII

1 KELKAJ FUNDAMENTAJ KONCEPTOJ 1

1.1 Kio estas Kemio? 2
1.2 La Konsisto kaj Strukturo de Materio 2
1.3 La Ecoj de la Materio 3
1.4 Ŝanĝigoj Okazantaj al la Materio 5
1.5 Tipoj de Observoj 6
1.6 Eksponenta Notacio 7
1.7 Mezur-Sistemoj 11
1.8 Transkalkulaj Faktoroj kaj Dimensia Analizo 14
1.9 Denso 16
1.10 Temperaturaj Skaloj 19
Ekzercoj 20

2 LA LINGVO KAJ SIMBOLARO DE KEMIO 24

2.1 Tipoj de la Materio -- Puraj Substancoj kaj Miksaĵoj 25
2.2 Heterogenaj kaj Homogenaj Miksaĵoj 25
2.3 La Karakterizo de Puraj Substancoj 28
2.4 Molekuloj kaj Atomoj 29
2.5 Elementoj kaj Kombinaĵoj 30
2.6 Nomoj kaj Simboloj de la Elementoj 31
2.7 Kemiaj Formuloj 34
Ekzercoj 35

3 ATOMOJ: STRUKTUROJ KAJ ECOJ 37

3.1 La Atoma Teorio 38
3.2 Kemiaj Faktoj Subtenantaj la Atoman Teorion 38
3.3 Subatomaj Eretoj 42
3.4 Diferencoj inter Atomoj 44
3.5 Atomaj Masoj 47
Ekzercoj 49

4 KEMIAJ KALKULOJ 53

4.1 Kemiaj Ekvacioj 54
4.2 Molekulaj Masoj 58
4.3 Nombrado de Eretoj per Pesado 59
4.4 La Koncepto de Molo 61
4.5 Moloj kaj Kemiaj Kalkuloj 64
Ekzercoj 68

5 LA ELEKTRONA STRUKTURO DE ATOMOJ 71

5.1 La Perioda Leĝo 72
5.2 La Perioda Tabelo 73
5.3 Aranĝiĝo de Elektronoj ĉirkaŭ la Nukleo 75
5.4 Elektronaj Konfiguracioj 81
5.5 Elektronaj Konfiguracioj kaj la Perioda Leĝo 83
5.6 Elektronaj Konfiguracioj kaj la Perioda Tabelo 84
5.7 Klasifikoj por la Elementoj 86
Ekzercoj 88

6 LA KEMIA LIGO 91

6.1 Valentaj Elektronoj 92
6.2 La Okopa Regulo 94
6.3 Specoj de Kemiaj Ligoj 95
6.4 La Jon-Liga Modelo 95
6.5 Nomenklaturo de Jonaj Kombinaĵoj 99
6.6 La Kovalenta Modelo 100
6.7 Liga Poluseco 105
6.8 Nomenklaturo de Kovalentaj Kombinaĵoj 109
6.9 Kombinaĵoj Entenantaj Poliatomajn Jonojn 111
Ekzercoj 114

7 LA STATOJ DE LA MATERIO 118

7.1 Ecoj de la Tri Statoj de la Materio 120
7.2 La Molekul-Kineta Teorio de la Materio 121
7.3 La Solida Stato 122
7.4 La Likva Stato 123
7.5 La Gasa Stato 124
7.6 Komparo inter Solidoj, Likvoj, kaj Gasoj 125
7.7 Variabloj de la Gas-Leĝo 126
7.8 Leĝo de Boyle 129
7.9 Leĝo de Charles 132
7.10 La Kombinita Gas-Leĝo 133
7.11 Leĝo de Dalton pri Partaj Premoj 134
7.12 Stat-Ŝanĝoj 136
7.13 Vaporiĝo de Likvoj 137
7.14 Vapor-Premo de Likvoj 138
7.15 Bolado kaj la Bol-Punkto de Likvoj 140
7.16 Intermolekulaj Fortoj en Likvoj 141
7.17 Sublimiĝo kaj Fandiĝo 142
7.18 Malkombiniĝo 143
7.19 Strukturo de Jonaj Solidoj 144
Ekzercoj 146

8 SOLVAĴOJ KAJ KOLOIDOJ 149

8.1 Tipoj de Solvaĵoj 150
8.2 Terminaro de Solvaĵoj 151
8.3 Reguloj de Solveblo 155
8.4 Procezo de Solviĝo 157
8.5 Koncentrecoj de Solvaĵoj 158
8.6 Diluo 167
8.7 Koligativaj Ecoj de Solvaĵoj 168
8.8 Koloidaj Dispersaĵoj 177
8.9 Dializo 180
Ekzercoj 180

9 REAKCIAJ RAPIDOJ KAJ LA KEMIA EKVILIBRO 185

9.1 Spontaneaj kaj Nespontaneaj Ŝanĝoj 186
9.2 Teorio pri Reakciaj Rapidoj 188
9.3 Faktoroj kiuj Influas la Reakci-Rapidojn 191
9.4 Kemia Ekvilibro 194
9.5 Pozicio de la Ekvilibro 195
9.6 Principo de Le Chatelier 196
Ekzercoj 198

10 ACIDOJ, BAZOJ, KAJ SALOJ 201

10.1 Difinoj de Acidoj kaj Bazoj 203
10.2 Fortoj de Acidoj kaj Bazoj 205
10.3 Poliprotonaj Acidoj 206
10.4 Saloj 208
10.5 Elektrolitoj 209
10.6 Net-Jonaj Ekvacioj 210
10.7 Neŭtrigo 212
10.8 Disociiĝo en Pura Akvo 213
10.9 La Skalo pH 215
10.10 Analizo de Acidoj kaj Bazoj 219
10.11 Titraj Kalkuloj 221
10.12 Hidrolizo de Saloj 226
10.13 Bufraj Solvaĵoj 230
Ekzercoj 234

11 REDOKSAJ REAKCIOJ 239

11.1 Redukt-oksidiga Terminaro 240
11.2 Oksidiĝo-nombroj 241
11.3 Klasoj de Reakcioj 246
11.4 Kelkaj Gravaj Redoksaj Procedoj kaj Procezoj 249
Ekzercoj 250

12 NUKLEAJ PROCEZOJ 253

12.1 Atomaj Nukleoj 254
12.2 Natura Radioaktiveco 255
12.3 Ekvacioj por Nukleaj Reakcioj 256
12.4 Artefarita Radioaktiveco 259
12.5 Faktoroj Influantaj Nuklean Stabilon 260
12.6 Rapido de Radioaktiva Diseriĝo 262
12.7 Sintezaj Elementoj 263
12.8 Jonigaj Efikoj de Radiado 265
12.9 Ekspono al Radiado 267
12.10 Radioizotopoj kaj Medicino 269
Ekzercoj 271

13 SATURITAJ HIDROKARBONOJ 274

13.1 Organika kaj Neorganika Kemio: Historia Perspektivo 275
13.2 Komparo de la Ecoj de Organikaj kaj Neorganikaj Kombinaĵoj 276
13.3 Saturitaj Hidrokarbonoj 277
13.4 Alkanaj Strukturoj 278
13.5 Struktura Izomereco 279
13.6 Strukturaj Formuloj 281
13.7 Nomenklaturo de Alkanoj 284
13.8 Alkiloj 288
13.9 Naturaj Fontoj de Alkanoj 289

13.10 Fizikaj Ecoj de Alkanoj 291
13.11 Kemiaj Ecoj de Alkanoj 292
13.12 Alkanoj en Vivantaj Organismoj 295
13.13 Cikloalkanoj 296
Ekzercoj 299

14 NESATURITAJ HIDROKARBONOJ 304

14.1 Nesaturitaj Molekuloj 305
14.2 Alkenoj 306
14.3 Nomenklaturo de Alkenoj 307
14.4 Geometria Izomereco 309
14.5 Ecoj kaj Troviĝo de Alkenoj 311
14.6 Alkenaj Reakcioj 312
14.7 Adiciaj Polimeroj 315
14.8 Alkinoj 318
14.9 Nomenklaturo de Alkinoj 318
14.10 Ecoj kaj Troviĝo de Alkinoj 318
Ekzercoj 319

15 AROMATAJ HIDROKARBONOJ 323

15.1 Historia Fono 324
15.2 La Strukturo de Benzeno 325
15.3 Nomenklaturo de Benzenaj Derivaĵoj 326
15.4 Reakcioj de Benzeno 329
15.5 Uzoj de Benzeno kaj Benzenaj Derivaĵoj 330
15.6 Polikernaj Aromataj Hidrokarbonoj 331
15.7 Fontoj de Aromataj Hidrokarbonoj 332
15.8 Heterociklaj Kombinaĵoj 333
15.9 Hidrokarbonoj: Resumo 333
Ekzercoj 335

16 ALKOHOLOJ, FENOLOJ, KAJ ETEROJ 339

16.1 Strukturaj Trajtoj de Alkoholoj, Fenoloj, kaj Eteroj 340
16.2 Nomenklaturo de Alkoholoj kaj Fenoloj 341
16.3 Klasifiko de Alkoholoj 344
16.4 Ecoj de Alkoholoj 345
16.5 Preparo kaj Reakcioj de Alkoholoj 345
16.6 Kelke da Oftaj Alkoholoj 348
16.7 Karakterizaĵoj kaj Uzoj de Fenoloj 350
16.8 Fenoloj en la Naturo 351
16.9 Tipoj de Eteroj 352
16.10 Nomenklaturo de Eteroj 353
16.11 Ecoj de Eteroj 353
16.12 Epoksidoj 354
16.13 Tioloj kaj Disulfidoj 355
Ekzercoj 357

17 ALDEHIDOJ KAJ KETONOJ 362

17.1 La Strukturo de Aldehidoj kaj Ketonoj 363
17.2 Nomenklaturo de Aldehidoj kaj Ketonoj 364
17.3 Ecoj kaj Uzoj de Aldehidoj kaj Ketonoj 365
17.4 Preparo de Aldehidoj kaj Ketonoj 366
17.5 Adicio de Hidrogeno 368
17.6 Adicio de Alkoholoj 369
17.7 Oksidigaj Reakcioj 370
Ekzercoj 372

18 KARBOKSILAJ ACIDOJ KAJ ESTEROJ 376

18.1 La Strukturo de Karboksilaj Acidoj 377
18.2 Nomenklaturo de Karboksilaj Acidoj 378
18.3 Fizikaj Ecoj de Karboksilaj Acidoj 380
18.4 Preparo de Karboksilaj Acidoj 381
18.5 Acideco de Karboksilaj Acidoj 381
18.6 Saloj de Karboksilaj Acidoj 382
18.7 La Strukturoj de Esteroj 383
18.8 Nomenklaturo de Esteroj 384
18.9 Ecoj de Esteroj 385
18.10 Reakcioj de Esteroj 385
18.11 Poliesteroj 387
18.12 Esteroj de Neorganikaj Acidoj 388
Ekzercoj 389

19 AMINOJ KAJ AMIDOJ 394

19.1 Klasifiko kaj Nomenklaturo de Aminoj 395
19.2 Ecoj, Troviĝo, kaj Uzoj de Aminoj 397
19.3 Preparo de Aminoj 399
19.4 Reakcioj de Aminoj 400
19.5 Amfetaminoj 401
19.6 Karakterizaĵoj kaj Nomenklaturo de Amidoj 402
19.7 Reakcioj de Amidoj 404
19.8 Gravaj Amidoj 404
Ekzercoj 406

20 SAKARIDOJ 411

20.1 Klasifiko de Sakaridoj 413
20.2 Monosakaridoj 413
20.3 Oksidigo de Monosakaridoj 416
20.4 Disakaridoj 417
20.5 Polisakaridoj 419
Ekzercoj 423

21 LIPIDOJ 426

21.1 Grasoj kaj Oleoj 427
21.2 Reakcioj de Grasoj kaj Oleoj 430
21.3 Vaksoj 433
21.4 Steroidoj 434
21.5 Gras-solveblaj Vitaminoj 437
Ekzercoj 439

22 PROTEINOJ 442

22.1 La Graveco de Proteinoj 443
22.2 Karakterizaĵo de Proteinoj 443
22.3 Aminoacidoj: Konstru-eroj de Proteinoj 444
22.4 Esencaj Aminoacidoj 446
22.5 Ecoj de Aminoacidoj 447
22.6 Peptida Formiĝo 448
22.7 Proteina Strukturo 450
22.8 Proteina Hidrolizo 457
22.9 Proteina Denaturado 458
Ekzercoj 460

23 ENZIMOJ: KATALIZENZOJ DE LA NATURO 463

23.1 La Graveco de Enzimoj 464
23.2 Ĝeneralaj Ecoj de Enzimoj 465
23.3 Nomenklaturo de Enzimoj 466
23.4 Meĥanismo de Enzim-etiko 467
23.5 Faktoroj Influantaj Enziman Aktivecon 468
23.6 Inhibenzoj de Enzimoj 471
23.7 Izoenzimoj 473
23.8 Difektitaj Enzimoj kaj Afekcioj 473
23.9 Medicinaj Aplikoj de Enzimoj 474
Ekzercoj 475

24 NUKLEAJ ACIDOJ: MOLEKULOJ DE HEREDECO 477

24.1 Tipoj de Nukleaj Acidoj 478
24.2 Nukleotidoj 479
24.3 Strukturo de Nuklea Acido 481
24.4 Mem-replikiĝo de DNA 484
24.5 Rolo de RNA en la Sintezo de Proteino 486
24.6 La Genetika Kodo 488
24.7 Sintezo de Proteinoj 492
Ekzercoj 495

25 BIOKEMIA ENERGIO KAJ METABOLO 497

25.1 Utiliĝo de Energio en Vivaj Sistemoj 498
25.2 Superrigardo de Energia Produktiĝo 499
25.3 Energia Stokiĝo en ATF 500
25.4 Metabolo 501
25.5 Sakarida Metabolo 502
25.6 Sangosukera Nivelo 503
25.7 Nenormala Glukoza Metabolo 505
25.8 Energio el Glukozo 508
25.9 Glikolizo 508
25.10 La Ciklo de Krebs 510
25.11 La Elektron-transporta Ĉeno 512
25.12 Lipida Metabolo 514
25.13 Ketonaj Korpoj 516
25.14 Metabolo de Aminoacidoj 517
Ekzercoj 519

RESPONDOJ AL ELEKTITAJ EKZERCOJ 522

INDEKSO 537

KELKAJ FUNDAMENTAJ KONCEPTOJ

CELOJ

1.1 Konatiĝi kun la stud-kampoj speciale gravaj por kemiisto. Kompreni kion signifas la termino materio.

1.2 Distingi la terminojn konsisto kaj strukturo.

1.3 Klasi la ecojn de la materio en fizikajn aŭ kemiajn.

1.4 Klasi la ŝanĝiĝojn okazantajn al la materio en kemiajn aŭ fizikajn.

1.5 Klarigi la diferencon inter observoj kvalitecaj kaj kvantecaj.

1.6 Esprimi decimalajn nombrojn per eksponenta notacio, kaj inverse. Multipliki kaj dividi uzante nombrojn esprimitajn per eksponenta notacio.

1.7 Rekoni unuojn de la metra sistemo per ties nomoj kaj mallongigoj; rilatigi metrosistemajn prefiksojn al ĝiaj nombraj valoroj. Konatiĝi kun la Internacia Sistemo de Unuoj (SI).

1.8 Starigi kaj solvi simplajn transkalkul-problemojn pri la metra sistemo, uzante dimensiajn analizojn.

1.9 Trovi la denson de substanco, koninte la mason kaj volumenon. Rilatigi mason kaj volumenon uzante denson kiel transkalkul-faktoron.

1.10 Informiĝi pri la temperaturaj skaloj Celsius kaj kelvin; koni la rilaton inter ili.

Unu el la demandoj ofte prezentataj de personoj konsiderantaj la studadon de kemio estas: "Kion ekzakte pritraktas kemio?". En tiu ĉi ĉapitro ni konsideros ĉi tiun demandon. Plue, ni rerigardos kelkajn fundamentajn principojn pri matematika notacio kaj mezur-unuoj. Granda parto de ĉi tiu materialo eble estas jam ellernita; tamen, mallonga kontrolo de ĉi tiuj punktoj provizos bazon por la ellernado de la sekvantaj ĉapitroj.

1.1 KIO ESTAS KEMIO?

Difino de la scienco nomata kemio, laŭ stud-kampoj gravaj por kemiisto, estas:

kemio

Kemio (aŭ Ĥemio) estas la scienco, kiu studas: (1) la konsiston kaj la strukturon de la materio, (2) la ecojn de la materio, kaj (3) la ŝanĝiĝojn, kiujn suferas la materio kaj la kondiĉojn necesajn por estigi aŭ eviti tiujn ŝanĝiĝojn.*

*La vorto kemio (aŭ ĥemio) devenas de la greka ĥemeja, sed ne senpere. La perilo estas la araba vorto al-kīmiyā', kie al = la. Tiel estiĝis kaj alĥemio kaj kemio.

materio

Materio estas ĉiuj substancoj de la universo, kaj vivantaj kaj nevivantaj, havantaj mason (aŭ pezon - vidu Sekcion 1.7) kaj okupantaj spacon.

Substanco ne devas esti nud-okule videbla por esti konsiderata kiel materio. Sufiĉas nur, ke ĝi plenumu la 2 kondiĉojn, nome kaj mas-havon kaj spac-okupon.

1.2 LA KONSISTO KAJ STRUKTURO DE MATERIO

konsisto

La konsisto de substanco estas konata kiam la identeco kaj kvanto de ĉiuj konsistigantoj estas determinitaj.

Ne sufiĉas scii kio ĉeestas; oni devas scii la kiomojn da ĉiu konsistiganto en la substanco antaŭ ol la konsisto estas konata.

strukturo

Strukturo estas la maniero laŭ kiu la konsistigantoj de substanco kunmetiĝas, tio estas, la ordo laŭ kiu ili estas aranĝitaj unu relative

al la aliaj.

Scio de la konsisto kaj strukturo ofte provizas praktikajn uzojn. Ekzemple, se la konsistigantoj de natura erco estas konataj, eblas determini kiuj uzeblaj produktoj povas esti akirataj el ĝi. Krom tio, la kvanto de ĉiu valora konsistiganto devas esti konata antaŭ ol oni povas decidi ĉu la ekspluatado de la min-tavolo estas ekonomie ebla. La kemia konsisto de kelkaj korpaj fluidoj povas ofte esti uzata de kuracisto por lokalizi la kaŭzon de malsano en paciento. Specife, la foresto de, aŭ la troo de kelkaj substancoj havigas gravajn informojn al la kuracisto.

La strukturaj informoj pri substanco ofte ĵetas lumon sur sian kemian konduton, kaj en kelkaj kazoj permesas instali tiun konduton en aliajn substancojn. La kono pri la strukturo de sapo ebligas la fabrikadon de detergentoj (lav-pulvoroj), havantaj strukturojn kaj purigajn proprecojn similajn al tiuj de sapo. Kelkaj medikamentoj havas kemiajn strukturojn tre similaj al tiuj de hormonoj sekreciataj nature de la homa korpo. La kono de la strukturo de la naturaj hormonoj estis la deir-punkto por la fabrikado de la preskribaj drogoj.

1.3 LA ECOJ DE LA MATERIO

Ni diferencigas inter substancoj uzante la (propr)ecojn aŭ distingajn karakterizaĵojn de la materio. Same kiel ni rekonas amikon per karakterizaĵoj kiel harar-koloro, marŝado, aŭ naz-formo, ni rekonas ĉiun substancon per unika aro da proprecoj. Ekzemple, la substanco bromo povas esti priskribita kiel malhel-ruĝa likvo, bolanta je 58,8°C, frostiĝanta je -7,3°C, kaj facile vaporiĝanta por formi brunan vaporon.

La ecoj de la substancoj povas esti uzataj por diversaj praktikaj celoj, kiel:

1. <u>Identigado de nekonata substanco</u>. Kriminal-laboratorioj, laborantaj por administracioj de publika sekureco, komparas la ecojn de nekonataj drogoj kun tiuj de konataj substancoj kiel maniero identigi ilin.
2. <u>Distingado inter malsamaj substancoj</u>. Kemiisto povas facile ektrovi la diferencon inter reala oro kaj falsa oro (pirito).
3. <u>Karakterizado de ĵus malkovrita substanco</u>. Antaŭ ol sciencistoj povas ĝuste paroli pri identigita substanco neniam antaŭe izolita, ili devas determini ĝiajn proprecojn kaj poste kompari ilin kun tiuj de ĉiuj konataj similaj substancoj. La substanco estas nova se ĝi havas unikan

aron da proprecoj.

4. Antaŭdirado de la utilo de substanco por specifaj aplikoj. Gaso konata kiel venena, kia estas karbona monoksido, mem-kompreneble ne taŭgos kiel atmosfero por spaca veturilo.

Proprecoj de substancoj estas klasitaj laŭ du ĉefaj grupoj, nome: fizikaj kaj kemiaj.

fizika eco

La fizikaj ecoj estas karakterizaĵoj de la materio kiuj povas esti observataj aŭ mezuratj sen ŝanĝi la kemian konsiston kaj identecon de la substanco.

La proprecoj de bromo donitaj en la komenco de tiu ĉi sekcio estas fizikaj -- bolpunkto, fandopunkto, koloro, ktp. La fizika aspekto de substanco povas ŝanĝiĝi dum la determinado de fizika eco, sed ĝia kemia identeco ne aliiĝas. Ekzemple, la determinado de la fandopunkto de solido ŝanĝas ĝin en likvon. La aspekto de la likvo estas tre malsama, sed la kemia konsisto kaj de la likvo kaj de la solido estas la sama. Tiel, oni konsideras fandopunkton fizika eco.

Kemia eco

Kemiaj ecoj povas esti observataj, kondiĉe ke okazas iu ŝanĝiĝo en la kemia konsisto kaj identeco de substanco.

La kemiaj ecoj priskribas la manierojn laŭ kiuj substanco povas ŝanĝiĝi, ĉu sola, ĉu per interagado kun aliaj substancoj. Ekzemple, unu el la kemiaj proprecoj de bromo estas, ke ĝi reakcias spontanee (sen ekstera influo) kun solida fosforo por formi senkoloran likvon nomatan fosfora tribromido. Du aliaj kemiaj proprecoj de bromo estas, ke ĝi kaŭzas gravajn vundojn kontaktiĝinte kun la haŭto, kaj ke ĝi kombiniĝas kun hidrogeno en ĉeesto de asbesto je 200°C.

Priskribante kemiajn ecojn, ni ofte specifas tiajn kondiĉojn kiel temperaturon aŭ premon, ĉar ili povas influi la interagon inter substancoj. Ekzemple, du substancoj povas eksplode reakcii je 1000°C, sed tute ne reakcii je 100°C. Aldone, plejparto el la kemiaj ecoj de substanco ne povas esti priskribataj sen rilato al aliaj substancoj. Ne havas sencon diri nur, ke bromo kombiniĝas spontanee. La substanco kun kiu ĝi kombiniĝas devas esti specifata, ĉar povas esti multaj substancoj kun kiuj povas okazi interagoj. Termika malkombiniĝo estas tamen grava escepto al ĉi tio. En ĉi tiu procezo kelkaj substancoj, kiam varmigataj, ŝanĝiĝas

(disrompiĝas aŭ malkombiniĝas) al novaj substancoj. Kiam tio ĉi okazas, oni diras simple, ke okazas termika malkombiniĝo; ne estas necese aludi interagojn kun aliaj substancoj.

La neebleco por substanco ŝanĝi sian konsiston je determinitaj kondiĉoj ankaŭ estas konsiderata kemia eco. Ekzemple, la provoj bruligi substancon en aero povas aŭ ne povas rezultigi bruladon. Se ĝi ekflamos, unu el ĝiaj kemiaj ecoj estas brulemo en la aero; se ĝi ne ekflamos, la kemia eco estos nebrulemo en la aero.

1.4 ŜANĜOJ OKAZANTAJ AL MATERIO

Ŝanĝ(iĝ)oj en la materio estas oftaj kaj konataj okazaĵoj. Ŝanĝiĝoj okazas, ekzemple, kiam oni kuiras la manĝaĵojn, papero brulas, kaj dinamito eksplodas. Kiam ni komprenas tiujn ĉi ŝanĝojn, ni povas, inter aliaj aferoj, antaŭdiri la konduton de substanco kaj elekti tiujn plej konvenajn por specialaj uzoj. Substanco konata kiel rapide reakcianta kiam varmigita, ekzemple, ne povos esti stokata proksime al varmofonto. Simile, substancoj akvo-solveblaj devus ne esti uzataj en la fabrikado de ban-kostumoj.

Same kiel la ecoj, ŝanĝoj en la materio klasiĝas kiel fizikaj aŭ kemiaj.

<u>fizika ŝanĝo</u>
Fizika ŝanĝo estas tiu, kiu ne okazigas ŝanĝojn en la konsisto.

<u>kemia ŝanĝo</u>
Kemia ŝanĝo, aliflanke, estas akompanita de ŝanĝo en la konsisto. Ĝi implicas la malaperon de unu aŭ pluraj substancoj (reakciantoj) kaj la aperon de unu aŭ pluraj novaj substancoj (produktoj) posedantaj malsaman kemian konsiston.

Unu el la plej oftaj tipoj de fizika ŝanĝo kuntrenas stat-ŝanĝon.

<u>stat-ŝanĝo</u>
Stat-ŝanĝoj estas fizikaj ŝanĝiĝoj laŭ kiuj substancoj ŝanĝiĝas de unu stato (gasa, likva, aŭ solida) al alia.

Konsideru jenan ekzemplon. Se oni sufiĉe altigas la temperaturon de glacia kubo, ĝi fandiĝos kaj iĝos likvo. Daŭra varmigado de la likvo fine boligos ĝin kaj ŝanĝos ĝin al gaso (akvo-vaporo). Se oni inversigas la procedon kaj malaltigas la temperaturon, la gaso kondensiĝos al likvo, kaj la likvo frostiĝos al solido. La ĉeeston de akvo en ĉiu stadio de la

ciklo oni povas pruvi, restarigante la originajn kondiĉojn kaj aplikante provojn por elmontri, ke la kemiaj ecoj estas, en ĉiuj kazoj, tiuj de akvo.

Tial do, ĉi tiuj ŝanĝoj estas fizikaj. La konduto de akvo, en tiu ĉi ekzemplo, ne estas ekster-tipa. La materio, ĝenerale, varmigata kaj malvarmigata, montras similajn stat-ŝanĝojn.

Ekzistas aliaj tipoj de fizikaj ŝanĝoj krom stat-ŝanĝoj. Grando- kaj formo-ŝanĝoj estas ekzemploj. La pulvorigado de malmola suker-kubo por akiri grajnan sukeron estas fizika ŝanĝo en kiu ne estas stat-ŝanĝo. Rimarku, ke en ĉiuj fizikaj ŝanĝoj, kelkaj el la fizikaj ecoj de la substanco ŝanĝiĝas, sed la kemiaj ecoj restas sen-ŝanĝiĝaj.

Kemiaj ŝanĝoj rezultigas novajn substancojn kun malsamaj kemiaj kaj fizikaj ecoj. Rust-formiĝo estas kemia ŝanĝiĝo per kiu fero, malmola kaj brila, transformiĝas al produkto mola kaj ruĝeca, kun ecoj mem-kompreneble malsamaj ol tiuj de la origina fero.

Kemia reakcio

Kemiaj ŝanĝoj ofte nomiĝas kemiaj reakcioj.

Kelkaj kemiaj ŝanĝoj okazantaj al materio estas bon-efikaj, ĉar la produktoj estas pli utilaj ol la deir-materialoj. Aliaj ŝanĝoj, kiel fer-rustado, estas nedezirindaj, ĉar la produktoj ne estas utilaj. La kemiistoj, studante la naturon de la ŝanĝoj en la materio, lernas kiel okazigi favorajn ŝanĝojn kaj eviti la malfavorajn. La cel-konscia gvidado de la kemiaj ŝanĝoj estas grava faktoro por atingi modernan vivonivelon. La multaj plastoj, sintezaj fibroj, kaj medikamentoj ĉiutage uzataj en multaj partoj de la mondo estas la rezulto de gviditaj kaj regitaj kemiaj ŝanĝoj.

1.5 TIPOJ DE OBSERVOJ

La sciencistoj sin apogas sur observoj por klarigi la naturon de la mondo en kiu ili vivas. La observoj estas de du ĝeneralaj tipoj, kvalitecaj kaj kvantecaj.

Kvaliteca observo

Kvalitecajn observojn oni faras per la sensoj, kaj oni esprimas ilin nur per vortoj. (En PIV enestas "kvalita" anstataŭ "kvaliteca".)

Konstatoj kiaj: "ŝia vestaĵo estas flava", "la aŭtomobilo estas malgranda", kaj "la solido estas malmola" estas ekzemploj de kvalitecaj observoj.

Kvanteca observo

Kvantecaj observoj priskribas objektojn aŭ okazintaĵojn per kvantoj (kiomoj).

Tiaj observoj temas pri nombroj, kaj estas la tipo preferata de la sciencistoj. La kvanteca observo, ke persono havas korpan temperaturon de 39,8°C kaj spiras 30-foje dum minuto, signifas multe pli ol la kvaliteca observo, ke persono malsanas.

La kvantecaj observoj konsistas el du partoj: unu nombro esprimanta la kvanton de la atributo (eco) mezurata, kaj unu unuo esprimanta la naturon de tiu atributo. Kompreno de kaj nombra notacio kaj unuo-sistemoj, uzataj de sciencistoj, estas esenca por kompreni la signifon de la sciencaj observoj.

Tabelo 1-1. Grandovariado de objektoj kaj distancoj trovataj en sciencaj laboroj

Mezuro	Grando (en centimetroj)
Distanco al la plej proksima galaksio	100000000000000000000000
Distanco al la plej proksima stelo	10000000000000000000
Distanco al la suno	10000000000000
Diametro de la tero	1000000000
Alto de infano	100
Diametro de homa haro	0,001
Grando de viruso	0,00001
Grando de atomo	0,00000001
Grando de atoma nukleo	0,000000000001

1.6 EKSPONENTA NOTACIO

En la scienca laboro oni trovas tre grandajn kaj tre malgrandajn nombrojn. Kiel montrite en Tabelo 1-1, tiuj nombroj, je skribataj laŭ la kutima maniero, enhavas multajn nulojn. Malavantaĝoj inkludas, tie ĉi, la laciĝon ĉe la skribado de tiom da nuloj kaj -- pli grava -- la grandan erar-eblecon ĉe la lokado de la decimala komo.

eksponenta notacio

Eksponenta notacio estas konciza sistemo por esprimi nombrojn, kiu forigas la bezonon skribi grandan kvanton da nuloj.

Kiel la nomo indikas, la eksponenta notacio implicas la uzadon de eksponentoj.

eksponento; bazo

Eksponento estas nombro (pozitiva aŭ negativa) skribata supre post alia nombro (nomata la bazo) kaj indikanta kiom da fojoj la bazo aperas kiel faktoro.

Konsideru jenajn ekzemplojn:

$$3^4 = 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$$
$$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$$

$$3^{-4} = \frac{1}{3 \times 3 \times 3 \times 3} = \frac{1}{81} = 0{,}012$$

$$10^{-3} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10} = \frac{1}{1000} = 0{,}001$$

En la unua ekzemplo, 3 estas la bazo kaj 4 estas la eksponento; tie ĉi oni diras, ke 3 estas potencita per 4. Simile, 10^3 estas 10 potencita per 3. Notu la diferencon je signifo ligitan kun pozitivaj aŭ negativaj eksponentoj; 10^{-3} estas la inverso de 10^3, kaj 3^{-4} estas la inverso de 3^4.

La nombroj esprimataj laŭ eksponenta notacio estas ĉiam la produto de 2 faktoroj: (1) nombro inter 1 kaj 10 kaj (2) potenco de 10. Ekzemploj de tia *notacio ampleksas*:

$$6{,}02 \times 10^{23}$$
$$5{,}1 \times 10^{4}$$
$$2 \times 10^{-3}$$
$$1{,}73 \times 10^{-6}$$

Por ŝanĝi nombron de aritmetika (normala) notacio al eksponenta notacio, oni movas la decimalan komon de la nombro al nova pozicio tia, ke la nombro ekhavos valoron inter 1 kaj 10. Tiu ĉi nova nombro estas tiam multiplikata per konvena potenco de 10 por konservi la originan valoron. Tiu "konvena potenco" de 10 estas determinata per tio, ke oni kalkulas la nombron da lokoj, de kie la decimala komo estas movita. Se la decimala komo estas movita maldekstren, la eksponento estos pozitiva; se ĝi estas movita dekstren, la eksponento estos negativa. Pli konkrete, se la decimala komo estas movita 3 lokojn maldekstren, la eksponento estos +3 (aŭ 3); se la eksponento estas movita 3 lokojn dekstren, la eksponento estos -3. La signa konvencio (maldekstren -- pozitiva; dekstren -- negativa) signifas, ke ĉiuj nombroj pli grandaj ol 1, kiam esprimataj laŭ eksponenta notacio, havos potencon de 10 kun pozitiva eksponento, kaj tiuj malpli grandaj ol 1 havos potencon de 10 kun negativa eksponento.

Ekzemplo 1-1. Skribu jenajn nombrojn per eksponenta notacio:
a) 9632 b) 0,00061

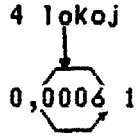
Solvo. a) Por fari 9632 nombro inter 1 kaj 10, la decimala komo estu movita 3 lokojn maldekstren. Tio rezultigos 9,632.



La ekponento por 10 estas sekve +3, kaj ni ricevas

$$9632 = 9{,}632 \times 10^{3}$$

b) Tiun ĉi fojon, la decimala komo estas movita dekstren (kiel estas ĉiam por nombroj pli malgrandaj ol 1).



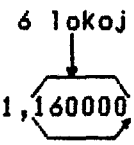
La eksponento por 10 estos tiel -4, kio donos

$$0{,}00061 = 6{,}1 \times 10^{-4}.$$

La nuloj maldekstre de 6 estas ellasitaj, ĉar ili taŭgas nur por loki la decimalan komon laŭ aritmetika notacio.

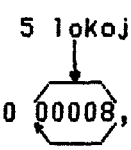
Ekzemplo 1-2. Tiuj ĉi nombroj estas skribitaj per eksponenta notacio. Skribu ilin laŭ normala arithmetika notacio.
a) $1{,}16 \times 10^{6}$ b) $8{,}003 \times 10^{-5}$

Solvo. La procedo por solvi tiun ĉi problemon estas la inversa de tiu uzita en Ekzemplo 1-1.
a) La eksponento +6 informas nin, ke la komo estos lokita 6 lokojn dekstren de kie ĝi estas en 1,16. Ni aldonas nulojn laŭ bezono, por akordigi la necesan ŝanĝon de pozicio.



$$1{,}16 \times 10^{6} = 1{,}160000 = 1.160.000$$

b) La eksponento -5 indikas al ni, ke la komo estos lokita 5 lokojn maldekstren de kie ĝi estas en 8,003. Denove, nuloj estas aldonataj laŭbezone por loki la novan pozicion.



$$8{,}003 \times 10^{-5} = 0\ 00008{,}003 = 0{,}00008003$$

Kroma avantaĝo de la esprimado de nombroj laŭ eksponentoj estas, ke multiplikado kaj dividado de tiaj nombroj estas nure operacioj pri nombroj inter 1 kaj 10.

multiplikado en la eksponenta notacio

En la multiplikado, oni multiplikas la antaŭ-eksponentajn termojn (nombro-grupojn) por akiri nombran valoron, kaj oni adicias la eksponentojn de la eksponentaj termoj.

Ĝenerala esprimo de la multiplika operacio estas:

$$(a \times 10^b) \times (c \times 10^d) = (a \times c) \times (10^{b+d})$$

Ekzemplo 1-3. Efektivigu jenajn multiplikojn:

a) $(2 \times 10^3) \times (3 \times 10^4)$

b) $(2 \times 10^3) \times (3 \times 10^{-4})$

c) $(2 \times 10^3) \times (6 \times 10^3)$

ĉ) $(2 \times 10^3) \times (6 \times 10^{-3}) \times (3 \times 10^2)$

Solvo.

a) $(2 \times 10^3) \times (3 \times 10^4) = (2 \times 3) \times (10^{3+4})$
$= 6 \times 10^7$

La du ne-eksponentajn termojn oni multiplikas laŭ la kutima vojo ($2 \times 3 = 6$), kaj la eksponentajn termojn oni multiplikas per algebra sumado de la eksponentoj ($10^3 \times 10^4 = 10^{3+4} = 10^7$).

b) $(2 \times 10^3) \times (3 \times 10^{-4}) = (2 \times 3) \times (10^{3-4})$
$= 6 \times 10^{-1}$

c) $(2 \times 10^3) \times (6 \times 10^3) = (2 \times 6) \times (10^{3+3})$
$= 12 \times 10^6$
$= 1{,}2 \times 10^7$

Rimarku, ke la respondo 12×10^6 en c) ne enhavas nombron inter 1 kaj 10 en sia ne-eksponenta termo. Por transformi 12 al nombro inter 1 kaj 10, oni devas movi la decimalan komon unu lokon maldekstren (12 fariĝas 1,2). Per ĉi tio malgrandiĝas la valoro de la ne-eksponenta termo je faktoro de 10. Tial, la eksponenta nombro devas esti pliigita je faktoro de dek por kompensi la malgrandiĝon, tio estas, 10^6 fariĝas 10^7.

ĉ) $(2 \times 10^3) \times (6 \times 10^{-3}) \times (3 \times 10^2) = (2 \times 6 \times 3) \times 10^{3-3+2}$
$= 36 \times 10^2$
$= 3{,}6 \times 10^3$

dividado en la eksponenta notacio

En la dividado, oni dividas la antaŭ-eksponentajn nombrojn, kaj oni subtrahas la eksponenton de la denominatoro (dividanto) disde tiu de la numeratoro (dividato).

Ĝenerala esprimo por tia dividado estas

$$\frac{(a \times 10^{b})}{(c \times 10^{d})} = \frac{a}{c} \times 10^{b-d}$$

Ekzemplo 1-4. Efektivigu jenajn dividojn. Ĉiuj nombroj staras en eksponenta notacio.

a) $\frac{4 \times 10^{6}}{2 \times 10^{3}}$ b) $\frac{4 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{3}}$ c) $\frac{4 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-2}}$

Solvo.

a) $\frac{4 \times 10^{6}}{2 \times 10^{3}} = \frac{4}{2} \times 10^{6-3} = 2 \times 10^{3}$

b) $\frac{4 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{3}} = \frac{4}{2} \times 10^{-6-3} = 2 \times 10^{-9}$

c) $\frac{4 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-2}} = \frac{4}{5} \times 10^{-3-(-2)} = 0{,}8 \times 10^{-1} = 8 \times 10^{-2}$

Rimarku, ke kiam oni subtrahas eksponentojn en (c), minuso subtrahita disde minuso iĝas pluso.

1.7 MEZUR-SISTEMOJ

Kiam oni faras kvantecajn observojn, necese okazas kompariĝo inter tiu aĵo observata kaj referenca sistemo de unuoj. Du ĝeneralaj specoj de mezur-sistemoj estas uzataj ĉirkaŭ la mondo, la naciaj kaj la metra. La naciaj mezur-sistemoj, kiel la nomo indikas, estas propraj al nacio aŭ aro da nacioj. Tiaj unuoj estas la colo, funto, mejlo, kaj multaj aliaj. Kontraste al tio, la metra sistemo estas internacia, estinte enkondukita pli-malpli laŭ difinita plano dum la lastaj du jarcentoj. La mezur-unuoj metraj estas iom post iom anstataŭantaj la naciajn unuojn. Hodiaŭ ĉiuj gravaj industri-landoj uzas ian variaĵon de la metra sistemo prefere al siaj propraj naciaj sistemoj. Sola escepto estas Usono, kie oni ankoraŭ uzadas la anglan sistemon de mezur-unuoj. Tamen, eĉ tie la metra sistemo estas uzata por scienca laboro.

La plivastiĝanta uzado de la metra sistemo ne necese signifas, ke ĉiuj

ne-metraj unuoj formortos. La tuno nun havas metran difinon (vidu Tabelon 1-3), kaj en Germanio la malnova funto nun egalas al duon-kilogramo.

Kvankam la metra sistemo ne estas pli ekzakta aŭ ĝusta ol la naciaj sistemoj, ĝi estas tamen pli oportuna por kalkulado. Ĝi estas pli oportuna ĉar ĝi uzas decimalan skemon, en kiu onoj kaj obloj de bazaj unuoj de la sistemo diferencas unu de la alia laŭ faktoroj de 1/10 kaj 10 respektive. Prefiksoj uziĝas por montri la grandon de la unuo relative al la baza unuo. Tiujn prefiksojn enlistigas Tabelo 1-2. La substrekitaj prefiksoj estas la plej komun-uzaj. Notu ke la kilometro (km) estas 1000-oble pli granda ol la metro dum la centimetro (cm) kaj milimetro (mm) estas respektive 100- kaj 1000-oble pli malgrandaj ol la metro.

La metra sistemo ne estas unueca, sed ekzistas en gamo da variaĵoj. Populara variaĵo de ĝi estas t.n. cgs-sistemo, kiu ricevis sian nomon de la tri bazaj unuoj konsistigantaj ĝin: centimetro, gramo, sekundo. Alia variaĵo estas la MKSA-sistemo (metro, kilogramo, sekundo, ampero). Sed ekde 1960, enkutimiĝas nova, oficiale sankciata tipo de metra sistemo, la Internacia Sistemo de Unuoj, kies franca nomo estas Système International d'Unités (S.I. aŭ SI).

Internacia Sistemo de Unuoj

La Internacia Sistemo de Unuoj, aŭ SI, estas tipo de metra sistemo surbaze de sep fundamentaj unuoj: la metro, kilogramo, sekundo, ampero, kelvino, kandelo, kaj molo.

Tabelo 1-3 donas informojn pri la Internacia Sistemo. El la sep bazaj mezur-unuoj, tiu ĉi lernolibro uzos aŭ almenaŭ mencios kvin: la metron, kilogramon, sekundon, kelvinon, kaj molon. Krom la bazaj mezur-unuoj, estas diversaj derivitaj mezur-unuoj, kiujn oni derivas el la originaj sep. Tabelo 1-3, partoj (b) kaj (c), donas kelkajn el ili. Fine, la tabelo montras "ekstrajn" unuojn, kiuj propradire ne konsistigas parton de SI, sed preteratenti ilin ne estas saĝe pro ties populareco. Videblas, ke la popularaj unuoj de tempo -- minuto, horo, tago -- estas ne-decimalaj kaj do fremdaj al la metra sistemo.

Malgraŭ ĉio ĉi, la konsekvenca uzado de SI estus neoportuna por ni, ĉar ĝi kolizius kun la ĝis nun populara uzado pri metraj unuoj. Tial, ni uzos en tiu ĉi lernolibro precipe vulgaran tipon de metra sistemo, surbaze de la metro (unuo de longo), litro (unuo de volumeno), kaj gramo (unuo de maso aŭ pezo*).

*En tiu ĉi libro, ni uzos nur maso**n**, kaj ne pezo**n** (kiun PIV preferas), ĉar teknike ili aludas malsamajn ecojn. La maso de determinita kvanto da materio estas konstanta. Tamen, la pezo de la sama kvanto povas varii pro tio, ke ĝi estas la forto aplikata sur materion kaŭze de la gravita tirado. Pezas objekto malpli sur la luno ol sur la tero, eĉ kvankam la maso restas konstanta.

En SI, oni prefere uzas tiujn prefiksojn por onoj kaj obloj, kiuj apartas unu de alia je faktoro de 10^3. Tiaj estas: ...10^{-9}, 10^{-6}, 10^{-3}, 10^0, 10^3, 10^6, 10^9... Sed en la populara uzado vulgara oni ankaŭ renkontas centi- (10^{-2}), kiel en centimetro (cm). Revidu Tabelon 1-2.

Tabelo 1-2. Prefiksoj de la metra sistemo kaj ĝiaj signifoj

Prefikso	Mallongigo	Signifo
Prefiksoj por subunuoj (onoj)		
deci	d	dekono (10^{-1})
centi	c	centono (10^{-2})
mili	m	milono (10^{-3})
mikro	μ	milionono (10^{-6})
nano	n	miliardono (10^{-9})
Prefiksoj por multoblaj unuoj (obloj)		
deka	da	deko (10^1)
hekto	h	cento (10^2)
kilo	k	milo (10^3)
mega	M	miliono (10^6)
giga	G	miliardo (10^9)

Tabelo 1-3. La Internacia Sistemo de Mezur-unuoj (SI)

Atributo	Unuo	Simbolo	Difino
a) La sep bazaj unuoj			
longo	metro	m	
maso	kilogramo	kg	
tempo	sekundo	s	
elektra kurento	ampero	A	
temperaturo	kelvino	K	
lum-intenso	kand(e)lo	cd	
kvanto	molo	mol	
b) Derivitaj unuoj kun specialaj nomoj (ekzemploj)			
forto	nutono	N	$kg \cdot m / s^2$
premo	paskalo	Pa	N / m^2
energio	ĵulo	J	$N \cdot m$
povumo	vatto (ŭato)	W	J / s
c) Derivitaj unuoj sen specialaj nomoj (ekzemploj)			
volumeno	kubmetro		m^3
rapido	metro je sekundo		m / s
denso	kilogramo je kubmetro		kg / m^3
koncentreco	molo je kubmetro		mol / m^3
entropio	ĵulo je kelvino		J / K
ĉ) Ekstraj Unuoj (ekzemploj)			
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	horo	h	1 h = 60 min
	tago (diurno)	d	1 d = 24 h
volumeno	litro	l (aŭ L)	$1 L = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3$
maso	tuno	t	$1 t = 10^3 kg$

1.8 TRANSKALKULAJ FAKTOROJ KAJ DIMENSIA ANALIZO

Matematikaj manipuladoj rilate al la metra sistemo postulas trans-kalkulojn. La ŝlosilo por realigi kiun ajn el ĉi tiuj manipuladoj estas kompreno de transkalkulaj faktoroj.

transkalkulaj faktoroj

Transkalkulaj faktoroj estas rilatumoj specifantaj kiel du mezur-unuoj rilatas unu al la alia.

Por ŝanĝoj ene de la metra sistemo, la transkalkulaj faktoroj deriviĝas konforme al la signifo de la prefiksoj uzataj por modifi la bazan unuon. Ekzemple, la transkalkula faktoro rilatiganta metron kaj kilometron estas kalkulata el la signifo de la prefikso kilo -- milo.

Tio signifas, ke unu kilometro egalas al 1000 metroj. Tiu ĉi egalaĵo povas

esti reformulita jene: (1) estas po 1000 metroj en ĉiu kilometro (1000 m/km) aŭ (2) estas po 1 kilometro en ĉiu 1000 metroj (1 km/1000 m).

La ĝenerala metodo por solvi nombrajn problemojn helpe de transkalkul-faktoroj estas konata kiel dimensia analizo, kaj implicas jenajn paŝojn:

Paŝo 1. Identigu la donitan kvanton. Kelkaj nombraj informoj estas donitaj en la teksto de ĉiuj problemoj. Tiaj informoj taŭgas kiel komenca punkto por starigi la problemon. Surpaperigu la donitan kvanton -- kaj la nombran valoron kaj ties unuojn.

Paŝo 2. Identigu la deziratan kvanton laŭ ĝiaj unuoj.

Paŝo 3. Multipliku la donitan kvanton per unu aŭ pli da transkalkulaj faktoroj tiel, ke la nedezirataj (originaj) unuoj nuliĝu kaj rezultigu respondon laŭ la deziritaj unuoj. La nombro da transkalkulaj faktoroj uzataj dependas de la individua problemo.

Paŝo 4. Post kiam la dezirataj unuoj estas akiritaj per nuliĝo(j), efektivigu la indikitajn nombrajn kalkulojn por ricevi la finan respondon.

Ekzemplo 1-5. Persono ricevis duonlitron da sango per transfuzo. Kiom da kubcentimetroj (cm^3) da sango ricevis tiu persono?

Solvo. Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas duonlitro, kaj la unuo dezirata estas kubcentimetroj. Esprimiĝas la problemo tiel:

0,5 litro = ? kubcentimetroj

Paŝo 3. Rigardo al la transkalkulaj faktoroj de Tabelo 1-3 ne montras litro-kubcentimetran faktoron. Tamen, parenca faktoro estas enlistigita: 1 litro = 10^{-3} m^3. Kaj helpe de Tabelo 1-2 vi povas diveni, ke 1 cm = 10^{-2} m. Do 1 m^3 = 10^6 cm^3. Tiuj ĉi faktoroj estas kunmeteblaj por solvi la problemon:

$$0{,}5 \text{ litro} \times \frac{10^{-3}\ m^3}{1 \text{ litro}} \times \frac{10^6\ cm^3}{1\ m^3}$$

Notu kiel kaj litroj kaj kubcentimetroj nuliĝas. Por ke nuliĝoj estu eblaj, unuo devas aperi kaj en la numeratoro kaj en la denominatoro.

Paŝo 4. $$\frac{0{,}5 \times 10^{-3} \times 10^6}{1 \times 1}\ cm^3 = 0{,}5 \times 10^3\ cm^3 = 500 \text{ kubcentimetroj}$$

Ekzemplo 1-6. La rapido de veturanta ambulanco estas 100 km/h. Kio estas la rapido transkalkulita al la SI-unuoj (m/s)?

Solvo. Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas 100 kilometroj je horo, aŭ 100 kilometroj hore. La unuo de la dezirata kvanto estas metroj je sekundo.

$$100\ \frac{km}{h} = ?\ \frac{m}{s}$$

Paŝo 3. Tiu ĉi problemo estas iom pli malsimpla ol antaŭaj ekzemploj pro tio, ke temas nun pri du malsamaj unuoj. La kilometroj devas esti transkalkulitaj al metroj, kaj la horoj al sekundoj. Ne gravas, kiun oni faras unue. Por la transkalkulo de kilometroj al metroj, sufiĉas nur ekkoni el Tabelo 1-2 la signifon de la kilo-prefikso. Por la tempa transkalkulo, la vojo estas horoj ⟶ minutoj ⟶ sekundoj.

Tial,

$$10^2\ \frac{\cancel{km}}{\cancel{h}} \times \frac{10^3\ m}{\cancel{km}} \times \frac{1\ \cancel{h}}{60\ \cancel{min}} \times \frac{1\ \cancel{min}}{60\ s}$$

Ĉiuj unuoj nuliĝas krom metro kaj sekundo. Rimarku, ke la faktoro h/min devas havi horojn en la numeratoro por ke ĝi servu por nuligi horojn en la denominatoro de la unua faktoro.

Paŝo 4. $$\frac{10^2 \times 10^3 \times 1 \times 1}{60 \times 60}\ \frac{m}{s} = \frac{10^5}{3600} = \frac{10^5}{3{,}6 \times 10^3} = 0{,}278 \times 10^2 = 27{,}8\ m/s$$

1.9 DENSO

Maso kaj volumeno, du el la karakterizaĵoj de materio, ambaŭ partoprenas la fizikan econ nomatan denso.

denso

Denson oni kalkulas, dividante la mason de objekto per ĝia volumeno:

$$\text{denso} = \frac{\text{maso}}{\text{volumeno}}$$

Multaj personoj ofte diras, ke substanco estas pli peza aŭ malpeza ol alia. Kion oni vere volas diri estas, ke la du substancoj havas malsaman denson, tio estas, specifa volumeno de unu el la substancoj estas pli peza ol la sama volumeno el la alia substanco.

La ĝusta esprimo de la denso ampleksas nombron kune kun mas- kaj volumen-unuoj. Kvankam iuj ajn mas- kaj volumen-unuoj povas esti uzataj, la densoj estas ĝenerale esprimataj pere de gramoj je kubcentimetro (g/cm^3) por solidoj, gramoj je mililitro (g/ml) por likvoj, kaj gramoj je

litro (g/l) por gasoj. La uzado de tiuj ĉi unuoj evitas la problemon kie denso-valoroj estas nombroj tro grandaj aŭ malgrandaj. Tabelo 1-4 donas denso-valorojn de kelkaj substancoj. Endas noti, ke la temperaturo devas esti specifita kune kun la denso-valoroj, ĉar la substancoj dilatiĝas aŭ kuntiriĝas laŭ ŝanĝoj je temperaturo. Simile, la premo de gasoj estas donata kun ties denso-valoroj.

Tabelo 1-4. Densoj de elektitaj substancoj

	Solidoj (25°C)		
Oro	19,3 g/cm^3	Tabla salo	2,16 g/cm^3
Plumbo	11,3 g/cm^3	Osto	1,7-2,0 g/cm^3
Kupro	8,93 g/cm^3	Tabla sukero	1,59 g/cm^3
Aluminio	2,70 g/cm^3	Ligno, pina	0,30-0,50 g/cm^3
	Likvoj (25°C)		
Hidrargo	13,55 g/ml	Akvo	0,997 g/ml
Lakto	1,028-1,035 g/ml	Oliv-oleo	0,92 g/ml
Sanga plasmo	1,027 g/ml	Etanolo	0,79 g/ml
Urino	1,003-1,030 g/ml	Benzino	0,56 g/ml
	Gasoj (25°C kaj 1 atmosfera premo)		
Kloro	3,17 g/l	Nitrogeno	1,25 g/l
Karbona dioksido	1,96 g/l	Metano	0,66 g/l
Oksigeno	1,42 g/l	Hidrogeno	0,08 g/l
Aero (seka)	1,29 g/l		

En matematika senco, denso povas esti konsiderata kiel transkalkula faktoro rilatiganta la volumenon de substanco al ĝia maso. La uzado de denso kiel tia faktoro ebligas kalkuli la volumenon de substanco, se ĝia maso estas konata. Inverse, oni povas kalkuli la mason, se oni konas la volumenon.

Ekzemplo 1-7. La sanga plasmo havas denson de 1,027 g/ml je 25°C. Kiun volumenon, en mililitroj, okupas 100 g da plasmo?

Solvo. Ni uzos la dimensian analizan metodon priskribitan supre.

Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas 100 g da sanga plasmo. La unuo de la dezirata kvanto estas mililitroj.

100 gramoj da sanga plasmo = ? ml da sanga plasmo

Paŝo 3. La bezonatan transkalkulan faktoron oni donas en la informoj de la problemo; ĝi estas denso.

$$100 \ \cancel{\text{gramoj}} \times \frac{1 \text{ ml}}{1{,}207 \ \cancel{\text{gramoj}}} = ? \text{ ml}$$

Rimarku, ke la transkalkula faktoro uzita estas fakte la inverso de la denso. Tio estas necesa por ke la gram-unuoj nuliĝu.

Paŝo 4. $\frac{100}{1{,}027}$ mililitroj = 97,4 mililitroj

Ekzemplo 1-8. Kiom pezas 1 litro da benzino en (a) gramoj kaj (b) kilogramoj? La denso de benzino estas 0,56 g/ml ĉe ĉambra temperaturo. Kaj (c), kio estas la denso de benzino esprimata per SI-unuoj?

Solvo. a) Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas 1 litro da benzino. La unuo de la dezirata kvanto estas gramoj.

1 litro da benzino = ? gramoj da benzino

Paŝo 3. Du transkalkulaj faktoroj estas bezonitaj. La logika sinsekvo de transkalkulado estas litroj ⟶ mililitroj ⟶ gramoj.

$$1 \ \cancel{\text{litro}} \times \frac{1000 \ \cancel{\text{ml}}}{1 \ \cancel{\text{litro}}} \times \frac{0{,}56 \text{ g}}{1 \ \cancel{\text{ml}}}$$

Paŝo 4. $\frac{1 \times 1000 \times 0{,}56}{1 \times 1}$ gramoj = 560 gramoj

b) La respondo estas 0,56 kilogramoj, ĉar 1 kg = 1000 gramoj.

c) Paŝoj 1 kaj 2. El Tabelo 1-3 sekvas, ke la deziratai SI-unuoj estas kg/ml^3 por denso. La egalaĵo estas:

$$0{,}56 \ \frac{g}{ml} = ? \ \frac{kg}{m^3}$$

Paŝo 3. El la sama tabelo vi scias, ke 1 litro = 10^{-3} m^3, kaj 1000 mililitroj = 1 litro (vidu Tabelon 1-2). Kunmetante la donitaĵojn, oni ricevas:

$$\frac{1 \text{ kg}}{1000 \ \cancel{\text{g}}} \times 0{,}56 \ \frac{\cancel{\text{g}}}{\cancel{\text{ml}}} \times \frac{1000 \ \cancel{\text{ml}}}{1 \ \cancel{\text{litro}}} \times \frac{1 \ \cancel{\text{litro}}}{10^{-3} \ m^3}$$

Paŝo 4. $\frac{1 \times 0{,}56 \times 1000 \times 10^3}{1000 \times 1 \times 1} = 560 \ kg/m^3$

Sekve de tio ĉi, por transkalkuli de g/ml al kg/m^3, oni ĉiam multiplikas per 1000.

1.10 TEMPERATURAJ SKALOJ

La instrumento plej ofte uzata por mezuri temperaturon estas la hidrarga termometro, konsistanta el vitra bulboforma ujo enhavanta hidrargon, komunikiĝanta kun maldika kapilara tubo. Malgranda ŝanĝiĝo de la hidrarga volumeno en la vitra bulbo (kaŭzata de la dilatiĝo aŭ kuntiriĝo de likvo) kaŭzas grandan ŝanĝon de la hidrargo-alto en la kapilara tubo. Markoj sur la kapilara tubo indikas la kiomon da hidrarga dilatiĝo laŭ difinitaj unuoj nomataj gradoj.

En la metra sistemo estas du temperaturaj skaloj, tiuj de Celsius (antaŭe: centigrada) kaj de Kelvin. La uzado de malsamaj kompar-punktoj en la normigo de termometro kaŭzas tiujn du malsamajn temperaturajn skalojn.

La temperatura skalo plej ofte uzata en sciencaj verkoj estas tiu de Celsius.

Skalo de Celsius

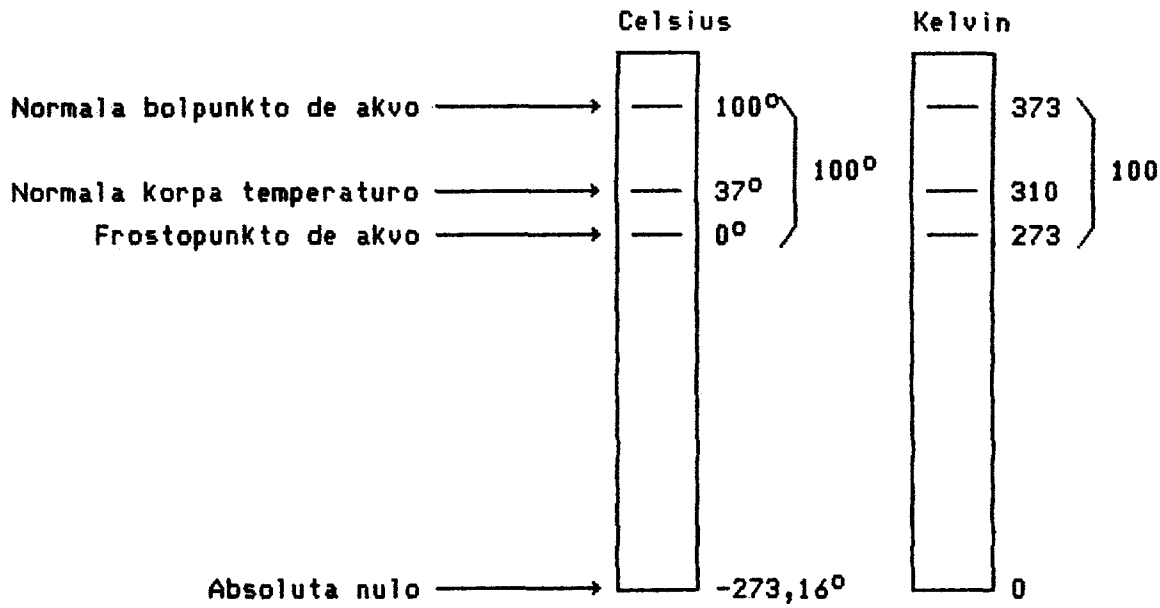
Por la skalo de Celsius, oni uzas kiel kompar-punktojn la bol- kaj frostopunktojn de akvo (sub strikte difinitaj kondiĉoj). La 0°C estas fiksita ĉe la frostopunkto, la 100°C ĉe la bolpunkto. Tial, estas 100 gradaj intervaloj inter la du kompar-punktoj.

La skalo de Kelvin estas precipe utila por mezuradoj rilatantaj al gasoj (Sekcio 7-7). Ĝi estas en tre proksima rilato kun la Celsius-skalo. Ambaŭ havas la saman gradan grandon, kaj la nombro da gradoj inter la frosto- kaj bolpunktoj de akvo estas la sama. Tamen, la nombroj sur la skaloj estas malsamaj.

Skalo de Kelvin

En la Kelvin-skalo, oni lokas la bolpunkton de akvo ĉe 373 K, kaj la frostopunkton ĉe 273 K.

La relative altaj valoroj de 273 K kaj 373 K estas uzataj kiel kompar- aŭ norm-punktoj, ĉar la plej malalta temperaturo laŭteorie atingebla okazas ĉe 0 K. Tial, ne estas negativaj temperaturaj valoroj en ĉi tiu skalo. La nul-punkto (-273,16°C) en la Kelvin-skalo estas konata kiel absoluta nulo. La sciencistoj neniam ĝis nun atingis la absolutan nulon eksperimente, kvankam ili alproksimiĝis ĝis gradono. Bildo 1-1 montras komparon de la du temperaturaj skaloj. Bone notu, ke oni ne skribas la grad-signon (°) ĉe Kelvin-valoroj, ĉar la Kelvino estas baza SI-unuo.



Bildo 1-1. Komparo de la temperaturaj skaloj

Kelkfoje estas necese transkalkuli de unu temperatura skalo al alia. Kiam oni faras tion, oni devas memori, ke la nul-punktoj en la du skaloj ne koincidas. Por transkalkuloj inter la Celsius- kaj Kelvin-skaloj, oni uzas jenajn ekvaciojn:

$$K = {}^{o}C + 273 \qquad 1\text{-}4$$

$${}^{o}C = K - 273 \qquad 1\text{-}5$$

La malsamaj nul-punktoj kompensiĝas per la adiciado aŭ substrahado de 273.

Ekzemplo 1-9. Normala korpa temperaturo sur la skalo de Celsius estas 37°C. Kiun temperaturon tiu egalvaloras sur la skalo de Kelvin?

Solvo. Uzante ekvacion 1-4,

$$K = {}^{o}C + 273 = 37 + 273 = 310\ K$$

EKZERCOJ

Difinoj kaj Terminaro

1. Listigu la tri kampojn, kiujn la kemiaj sciencoj specife koncernas.
2. Kiuj informoj necesas por specifigi la jenon?
   a) la konsiston de substanco
   b) la strukturon de substanco

3. Klasu ĉiun el jenaj ecoj en kemian aŭ fizikan:

a) Substanco estas tre malmola.
b) Substanco fandiĝas ĉe 35°C.
c) Substanco estas brulema.
ĉ) Substanco estas blu-kolora.
d) Substanco ne reakcias kun kloro.
e) Substanco malkombiniĝas ĉe varmigado.

4. Klasu ĉiun el jenaj ŝanĝoj aŭ ŝanĝiĝoj en fizikan aŭ kemian:

a) Glaci-peco fandiĝas.
b) Lumo estas elsendita de fulm-lumo.
c) Tablo-piedo estas farita el ligno-peco.
ĉ) Krajono estas pintigita.
d) Cepo estas dispecigita.
e) Ferajo rustiĝas.

Eksponenta Notacio

5. Esprimu jenajn nombrojn laŭ eksponenta notacio:

a) 643,5 c) 0,0107 d) 1.001.000
b) 0,00683 ĉ) 0,00000813 e) 1,06

6. Ŝanĝu tiujn ĉi nombrojn el eksponenta notacio al decimala notacio:

a) $1{,}03 \times 10^{-3}$ c) $6{,}6 \times 10^{-5}$ d) $3{,}78 \times 10^{4}$
b) $6{,}6 \times 10^{5}$ ĉ) $1{,}00 \times 10^{-7}$ e) $4{,}3 \times 10^{1}$

Matematikaj Operacioj en Eksponenta Notacio

7. Realigu jenajn multiplikojn, esprimante ĉiujn respondojn laŭ eksponenta notacio.

a) $(4 \times 10^{2}) \times (2 \times 10^{3})$ ĉ) $(2 \times 10^{-5}) \times (3 \times 10^{-3})$
b) $(3 \times 10^{4}) \times (3 \times 10^{-5})$ d) $(3 \times 10^{-5}) \times (5 \times 10^{-7})$
c) $(3 \times 10^{-5}) \times (4 \times 10^{-2})$ e) $(6 \times 10^{3}) \times (2 \times 10^{2}) \times (3 \times 10^{-4})$

8. Realigu jenajn dividojn, esprimante ĉiujn respondojn laŭ eksponenta notacio.

a) $\dfrac{6 \times 10^{4}}{2 \times 10^{1}}$ ĉ) $\dfrac{9{,}0 \times 10^{-2}}{4{,}5 \times 10^{-7}}$

b) $\dfrac{8 \times 10^{3}}{2 \times 10^{-5}}$ d) $\dfrac{4 \times 10^{2}}{8 \times 10^{4}}$

c) $\dfrac{2 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{5}}$ e) $\dfrac{2 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-6}}$

9. Realigu jenajn kalkulojn, esprimante ĉiujn respondojn laŭ eksponenta notacio.

a) $\dfrac{(4 \times 10^{3})(2 \times 10^{-4})}{(2 \times 10^{-3})}$ c) $\dfrac{(8 \times 10^{7})(6 \times 10^{-10})}{(4 \times 10^{-4})(2 \times 10^{-3})}$

b) $\dfrac{(8 \times 10^{-3})(2 \times 10^{3})}{(4 \times 10^{-2})}$

Unuoj de la Metra Sistemo

10. Kiam oni komparas nacian kaj la metran sistemojn de unuoj,
    a) kiu estas pli ekzakta aŭ ĝusta?
    b) kiu estas pli facila uzi kaj kial?
11. Kiuj estas la fundamentaj unuoj de longo, maso, kaj volumeno en la vulgara metra sistemo?
12. Kiujn bazajn unuojn posedas la Internacia Sistemo de Mezur-unuoj, SI, kiujn la CGS-sistemo ne posedas?
13. Elskribu la nomojn de la metrosistemaj unuoj havantaj la sekvantajn mallongigojn:

a) cm	ĉ) kg	f) mm
b) µg	d) ng	g) Ml
c) ml	e) Gg	

14. Ordigu ĉiun el la sekvantaj en pligrandiĝantan sinsekvon, de la plej malgranda al la plej granda:
    a) mililitro, megalitro, kaj decilitro
    b) centigramo, kilogramo, mikrogramo
    c) gigametro, kilometro, megametro
    ĉ) mikrogramo, nanogramo, centigramo

Metrosistemaj Kalkuloj

15. Por ĉiu el la montritaj paroj, indiku ĉu la unua mezur-unuo estas pli granda aŭ pli malgranda ol la dua mezurunuo kaj tiam diru kiom da fojoj pli granda aŭ pli malgranda ĝi estas:

a) 1 metro, 1 milimetro	ĉ) 1 kilometro, 1 mikrometro
b) 1 centimetro, 1 metro	d) 1 milimetro, 1 nanometro
c) 1 centimetro, 1 milimetro	e) 1 megametro, 1 decimetro

16. Realigu ĉiun el la sekvantaj metraj-al-metraj transkalkuloj:

a) 6345 kg al g	ĉ) 0,001 al ml
b) 1×10^{-3} g al µg	d) 6 km al cm
c) 1×10^{-3} g al kg	e) 30 cm al m

17. La toro kaj atmosfero (atm) estas sciencaj unuoj de premo ekster la SI-sistemo. La sekvantaj egalaĵoj difinas ilin:

    1 toro = $7,5 \times 10^{-3}$ atm
    1 atm = 101.325 paskaloj

    Kiom da paskaloj egalas unu toron?
18. Jeremia 32/9 el la Biblio tekstas: "Kaj mi aĉetis de Ĥanamel, filo de mia onklo, la kampon, kiu estis en Anatot, kaj mi pesis al li la monon, dek sep siklojn da arĝento." Oni pensas, ke 1 siklo = 11,5 gramoj. Kiom da gramoj da arĝento la profeto Jeremia elspezis por la kampo?
19. La diametro de homa haro estas ĉirkaŭ 0,040 mm. Se tiaj haroj estus laŭlarĝe metitaj, unu apud la alian, kiom da haroj estus bezonitaj por egali 1 metron?

20. La plejmulto da homaj ĉeloj estas ĉirkaŭbaritaj de plasma membrano de 80 al 100 anstromojn dika (1 anstromo = 10^{-8} centimetroj). Kio estas la diko laŭ nanometroj?
21. Paciento bezonas 0,030 g da drogo. La disponebla stoko konsistas el 10-mg-aj pasteloj. Kiom da pasteloj oni devus gluti?
22. Diamantoj estas pesataj en karatoj. Unu karato estas egala al 200 mg. Kiom pezas 5,0-karata diamanto en gramoj?

Denso

23. Provaĵo de oliv-oleo pezas 46 gramojn. Ĝi estas verŝita en mezurilon kaj oni trovas, ke ĝia volumeno estas 50 mililitroj. Kio estas la denso de oliv-oleo?
24. Oni trovas ke urina provaĵo de kuracato havas denson de 1,021 g/ml. Se tiu unuopulo normale ekskrecias meznombre 1300 ml da urino ĉiutage, kiom da gramoj da urino estas ekskreciata?
25. Kupra monero havas mason de 3,21 gramoj. Se 8 moneroj de tiu maso okupas 2,83 kubcentimetrojn, kio estas la denso de kupro?
26. Kiu maso da arĝento (denso 10,40 g/cm^3) okupas la saman volumenon kiel 100 g da magnezio (denso 1,74 g/cm^3)?
27. Oni scias, ke plumbo estas peza metalo. Oni ankaŭ scias, ke aluminio estas malpeza metalo. Ĉu bloko da aluminio ĉiam estas pli malpeza ol bloko da plumbo?

Temperaturaj Skaloj

28. La birdoj havas pli altan korpan temperaturon ol homoj. Ekzemple, iu birdo havas korpan temperaturon de 41,0°C. Transkalkulu tiun ĉi valoron al Kelvinoj.
29. La elemento heliumo likviĝas nur ĉe 40 K, estante la elemento kun la plej malalta fandopunkto. Transkalkulu tion ĉi al gradoj Celsius.
30. En Usono oni daŭre uzadas alian, ne-metran temperaturan skalon, la skalon de Fahrenheit (PIV: Farenhejta), aŭ °F. La transkalkula formulo inter gradoj Celsius kaj Fahrenheit estas:

$$^{o}C = \frac{5}{9}\,(^{o}F - 32)$$

Se usona tag-ĵurnalo informas, ke la temperaturo hodiaŭ en Nov-Jorko estas 75°F, kio estas tiu ĉi, transkalkulita al gradoj Celsius?
31. Kiel oni povas kontroli la ĝuston de Celsius-termometro, se vi tion devus plenumi? Pensu pri tio, kiamaniere la Celsius-skalo estas difinita.

2 LA LINGVO KAJ SIMBOLARO DE KEMIO

CELOJ

2.1 Kompreni la karakterizaĵojn de materio, puraj substancoj, kaj miksaĵoj.

2.2 Kompreni la terminojn fazo, homogena miksaĵo, kaj heterogena miksaĵo, kaj iliajn interrilatojn.

2.3 Kompreni la kriterion por la pureco.

2.4 Rekoni la limojn de kaj fizika kaj kemia subdividoj, kiuj ekzistas por pura substanco. Kompreni la rilatojn inter atomoj kaj molekuloj.

2.5 Kompreni la diferencon inter elemento kaj kombinaĵo.

2.6 Kompreni la regulojn por skribado de kemiaj formuloj. Rekoni la simbolojn kaj nomojn de elektitaj elementoj.

2.7 Kompreni kiel prezenti la kemian konsiston de kombinaĵo uzante kemian formulon. Interpreti kemiajn formulojn laŭ nombroj da atomoj kaj la nombro da ĉeestantaj elementoj.

Kiel ĉiuj aliaj fakoj, la kemio havas sian propran lingvon, kiun oni devas bone kompreni. Limigitaj signifoj de precizaj vortoj necesas por ke ĉiuj kemiistoj povu sammaniere kompreni prezentatan priskribon de kemia fenomeno. En ĉi tiu ĉapitro, ni konsideros iom da speciala terminaro kaj simbolaro fundamentaj por studo de kemio. Multe da ĝi estos enkondukita per konsidero de la diversaj klasifikoj de materio.

2.1 TIPOJ DE LA MATERIO -- PURAJ SUBSTANCOJ KAJ MIKSAĴOJ

Ĉia materio apartenas al unu el du ĉefaj kategorioj. Ĝi estas aŭ pura substanco aŭ miksaĵo.

pura substanco
Pura substanco havas difinitan, neŝanĝiĝeman konsiston kaj oni ne povas apartigi ĝin en pli simplajn substancojn per fizikaj metodoj.

miksaĵo
Miksaĵo estas kunmetaĵo el pluraj substancoj en kiu la substancoj konservas siajn identecojn, tio estas, ne okazas kemia reakcio inter la komponantoj.

Ĉiuj miksaĵoj havas varieblan enhavon (la komponantoj povas esti miksitaj laŭ iu ajn proporcio), kaj oni povas reakiri la komponantojn sendifekte el la miksaĵo per fizikaj metodoj.

Gravas rimarki ke ekzistas signifa diferenco inter la terminoj substanco kaj pura substanco. Substanco estas ĝenerala termino por iu ajn speco de materio. Pura substanco estas specifa termino kiu aplikiĝas nur al materio kun karakterizaĵoj priskribitaj supre. Tabelo 2-1 resumas la diferencojn inter miksaĵo kaj pura substanco. Pliajn diskutojn pri la du kategorioj de materio prezentos respektive Sekcio 2.2 kaj Sekcioj 2.3 ĝis 2.5.

2.2 HETEROGENAJ KAJ HOMOGENAJ MIKSAĴOJ

Ekzistas du tipoj de miksaĵoj: heterogenaj kaj homogenaj. La nombro da fazoj en miksaĵo decidas ĝian kategorion.

fazo
Fazo estas regiono de materio en kiu la ecoj estas unuformaj.

homogena miksaĵo
Se miksaĵo enhavas nur unu fazon, ĝi estas homogena.

heterogena miksaĵo

Se du aŭ pli da fazoj ekzistas en miksaĵo, ĝi estas klasita kiel heterogena.

Tiel, "heterogena" signifas "konsistanta el, aŭ implicanta partojn kiuj estas malsamaj aŭ sen interrilato", dum "homogena" signifas "unuforma laŭ strukturo aŭ enhavo."

La fazoj en heterogena miksaĵo havas klarajn limojn kaj oni kutime observas ilin facile. Viando-kaj-legoma supo kompreneble estas heterogena miksaĵo enhavanta plurajn identigeblajn komponantojn. Betono ankaŭ estas ekzemplo. Kiam ni determinas la nombron de la fazoj en heterogena miksaĵo, ĉiujn porciojn de la sama fazo oni kalkulas kiel unu fazon. Ekzemple, oleo-vinagra kondimento konsistas el du fazoj (oleo kaj vinagro)

Tabelo 2-1. Komparo de puraj substancoj kaj miksaĵoj

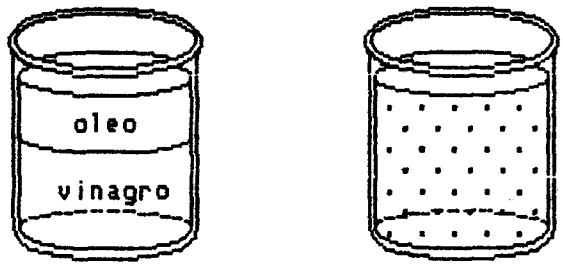
Materio	
Miksaĵo	Pura substanco
1. Pluraj substancoj ĉeestantaj	1. Nur unu substanco ĉeestanta
2. Variebla konsisto	2. Specifa nevariebla konsisto (senkonsidere al la fonto)
3. Povas esti apartigita en komponajn substancojn per fizikaj metodoj	3. Ne povas esti apartigita en pli simplajn substancojn per fizikaj metodoj

senkonsidere ĉu la miksaĵo estas vigle agitita, formante multnombrajn miksitajn gutetojn, aŭ cŭ al ĝi estas permesite kunkolektiĝi donante du tavolojn (vidu Bildon 2-1). La fazoj en heterogena miksaĵo povas esti aŭ ne esti en sama fizika stato. Roka grundo konsistas el diversaj fazoj, kiuj ĉiuj estas en solida stato. Miksaĵo de sablo kaj akvo enhavas du fazojn en malsamaj statoj (solida kaj likva).

La kvanto de la donita komponanto povas varii, kaj kutime ja varias en heterogena miksaĵo. Ekzemple, oni anticipas ke la kvanto da legomoj en supo varias iomete de unu supo al alia. Ĉi tiu manko de konstanta konsisto estas unu el la karakterizaĵoj de iu ajn miksaĵo (vidu Tabelon 2-1). Ĉar ne ekzistas limoj pri la konsisto, eblas senlima nombro da heterogenaj miksaĵoj. Ankaŭ ne ekzistas limoj pri la nombroj de la substancoj en tiaj miksaĵoj, krom tio, ke devas esti minimume du.

En multaj kazoj, la diferencoj en ecoj inter la diversaj fazoj de heterogena miksaĵo ebligas facile apartigi komponantojn per fizikaj metodoj. Ekzemple, en sablo-akva miksaĵo, oni povas forvaporigi la akvon,

postlasante la sablon. Teorie, fizika apartigo estas ebla por ĉiuj heterogenaj miksaĵoj. Praktike, tio estas ofte tre malfacila aŭ preskaŭ neebla. Ekzemplo estas la apartigo de firmiĝinta betono en sablon, gruzon, kaj cementon.

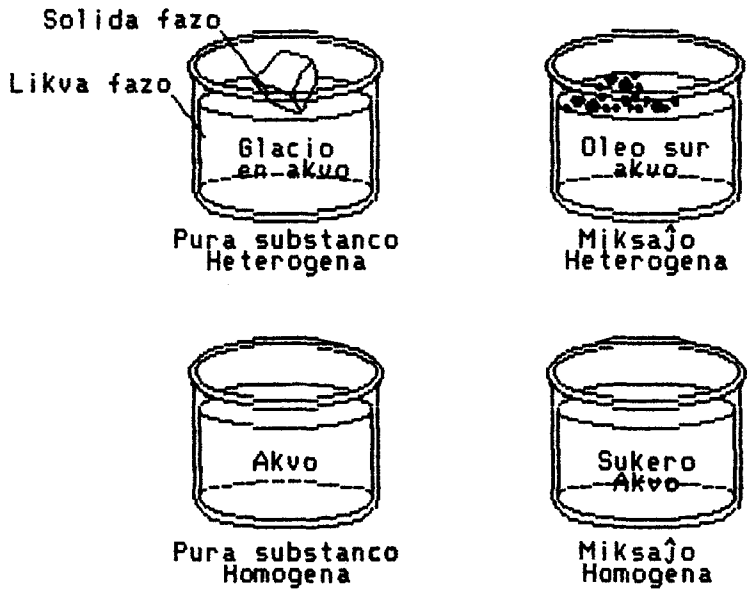


Bildo 2-1. Oleo kaj vinagro -- heterogena miksaĵo: (a) antaŭ miksado (b) post miksado

Homogenaj miksaĵoj, kontraste al heterogenaj, havas unuforman konsiston kaj aspekton ĉiuparte. Laŭdifine, nur unu fazo povas ĉeesti. Do, la miksaĵo devas elmontri nur unu aron da proprecoj -- karakterizan por la unuobla fazo. Se ni provus iun ajn porcion de homogena miksaĵo, ni trovus ke ĝi havas la samajn ecojn kiel iu ajn alia porcio. Ekzemple, kulerpleno da suker-akvo prenita el surfaco de homogena suker-akva miksaĵo estas samdolĉa kiel tiu prenita el la fundo. Malgraŭ la unuforma aspekto, tamen, homogenaj miksaĵoj similas al heterogenaj en tio, ke ili povas esti apartigitaj en komponajn substancojn per fizikaj metodoj kaj ke iliaj enhavoj povas varii.

Ĉiuj komponantoj en homogena miksaĵo devas esti samstataj; alie, heterogeneco rezultas. Oftas homogenaj miksaĵoj de ĉiuj tri statoj. La aero estas homogena miksaĵo de gasoj, kaj motoroleo kaj benzino estas mult-komponaj homogenaj miksaĵoj de likvaj petroloj. Multaj metalaj alojoj, ekzemple 14-karata oro (alojo de kupro kaj oro), estas ekzemploj de solidaj homogenaj miksaĵoj. Likvajn homogenajn miksaĵojn oni nomas solvaĵoj.

Necesas kompleta intermiksado de komponantoj en homogena miksaĵo por ke ekzistu unusola fazo. Kelkfoje, ĉi tio okazas preskaŭ tuje dum preparado de la miksaĵo, ekzemple aldono de alkoholo al akvo. Alie, necesas plilongigita daŭro da miksado aŭ kirlado. Ekzemple, malmola suker-kubo aldonita al glaso de akvo ne tuj formas homogenan solvaĵon. Nur post kiam la sukero tute solviĝis, estas la miksaĵo homogena.



Bildo 2-2. Ekzemploj de heterogenaj kaj homogenaj provaĵoj de akvo

Bildo 2-2 montras la ĉefajn konceptojn klarigitajn en ĉi tiu sekcio. Ankaŭ ĝi indikas ke eblas la heterogeneco eĉ kiam nur unu pura substanco ĉeestas, kondiĉe ke la substanco ĉeestas en du statoj. Glaci-kubo flosanta sur akvo estas ekzemplo. Ĉi tiu miksaĵo estas heterogena, ĉar la glacia fazo havas proprecojn (kiel dureco) diference de tiuj de likva akvo.

2.3 LA KARAKTERIZO DE PURAJ SUBSTANCOJ

Nuntempe, multaj disvolvitaj fizikaj teknikoj estas haveblaj por apartigi miksaĵojn en ties konsistigajn purajn substancojn. Eĉ post uzo de tiuj teknikoj, la demando ankoraŭ venas, ĉu la izolitaj substancoj estas "vere puraj", tio estas, kiom kompleta estas la apartigo en komponantojn. Oni nomas substancon pura, kiam ĝiaj proprecoj, sub specifa kondiĉaro, estas neŝanĝeblaj per pluaj provoj ĝin purigi.

Supozu, ekzemple, ke pulvorigita fero kaj sulfuro estas intermiksitaj. La fero estas griza, kaj la sulfuro estas flava. Ni povos fizike apartigi la miksaĵon per kirlado kun magneto; la fero alkroĉiĝas al magneto, postlasante la sulfuron. Post unu kirlado, la restanta sulfuro ankoraŭ ne estas pura, kion indikas griz-flava koloro. Ripetitaj kirladoj kun pli fortaj magnetoj produktos fin-rezulte brilan flavan sulfuron, kies koloro ne ŝanĝiĝos ĉe plua traktado. Nevariema koloro atestas ke la sulfuro estas pura. Kompreneble, la eco de koloro ne devus esti uzata kiel sola kriterio por determini purecon; aliaj ecoj ankaŭ devus esti kontrolataj.

Miksaĵo de tabla salo kaj blanka sablo ŝajnus pura substanco se la koloro

estus la sola kriterio. Tamen, kontrolo de aliaj ecoj rapide montrus la veran naturon de la miksaĵo. Provoj fandi ĝin montrus ke unu parto (salo) fandiĝus je pli malalta temperaturo ol la alia parto (sablo). Similajn rezultojn oni trovus per provo solvi la miksaĵon en akvo; salo solviĝus, sed la sablo ne.

2.4 MOLEKULOJ KAJ ATOMOJ

molekulo

Molekulo prezentas la limon de fizika subdivido de pura substanco.

Molekulo, do, estas la plej malgranda unuo de pura substanco kiu povas stabile ekzisti. Ĉiu pura substanco havas, kiel sian plej malgrandan, karakterizan unuon, unikan molekulon. (La tie ĉi priskribata koncepto de molekulo estos modifita kiam iuj tipoj de solidoj estos konsideritaj - Sekcio 7.19) Se du puraj substancoj havas saman molekulon kiel bazan unuon, ambaŭ substancoj havas samajn proprecojn; tial, ili devas esti klasitaj kiel la sama pura substanco.

Oni povas rompi molekulojn en pli malgrandajn unuojn nur se oni permesas kemiajn ŝanĝiĝojn okazi.

atomo

Atomo prezentas la limon de kemia subdivido por molekulo.

Ĉiujn molekulojn, escepte la malmultajn kiuj konsistas nur el unu atomo, oni povas disigi en iliajn plej malgrandajn unuojn se oni uzas taŭgajn kemiajn metodojn. Praktike, la disdivido ofte okazas paŝon post paŝo, tiel ke pli malgrandaj molekuloj rezultas el la interaj paŝoj. Finfine, tamen, oni atingas la limon de atomoj. Gravas memori ke, laŭ difine, kemiaj ŝanĝoj detruas la identecon de la origina substanco (vidu Sekcion 1.4). Ekzemple, oni povas disdividi sukeran molekulon en atomojn, sed la ricevitaj atomoj ne montras la proprecojn karakterizajn por sukero ĉar la divido estis la rezulto de kemia ŝanĝo.

La kemia disrompiĝo de molekuloj en atomojn montras ke oni povas ordigi molekulojn en du kategoriojn.

heteroatomaj

Molekulojn kiuj konsistas el du aŭ pli diversaj tipoj de atomoj oni nomas heteroatomaj.

homoatomaj

Molekulojn konsistantajn nur el unu tipo de atomo oni nomas homoatomaj.

2.5 ELEMENTOJ KAJ KOMBINAĴOJ

Ekzistas du tipoj de puraj substancoj, elementoj kaj kombinaĵoj.

elemento; kombinaĵo

Elementoj estas puraj substancoj konsistantaj el homoatomaj molekuloj, dum kombinaĵoj entenas heteroatomajn molekulojn kiel la bazan unuon.

Tio signifas ke elementoj entenas nur unu specon de atomo, dum kombinaĵoj devas havi du aŭ pli da specoj de atomoj.

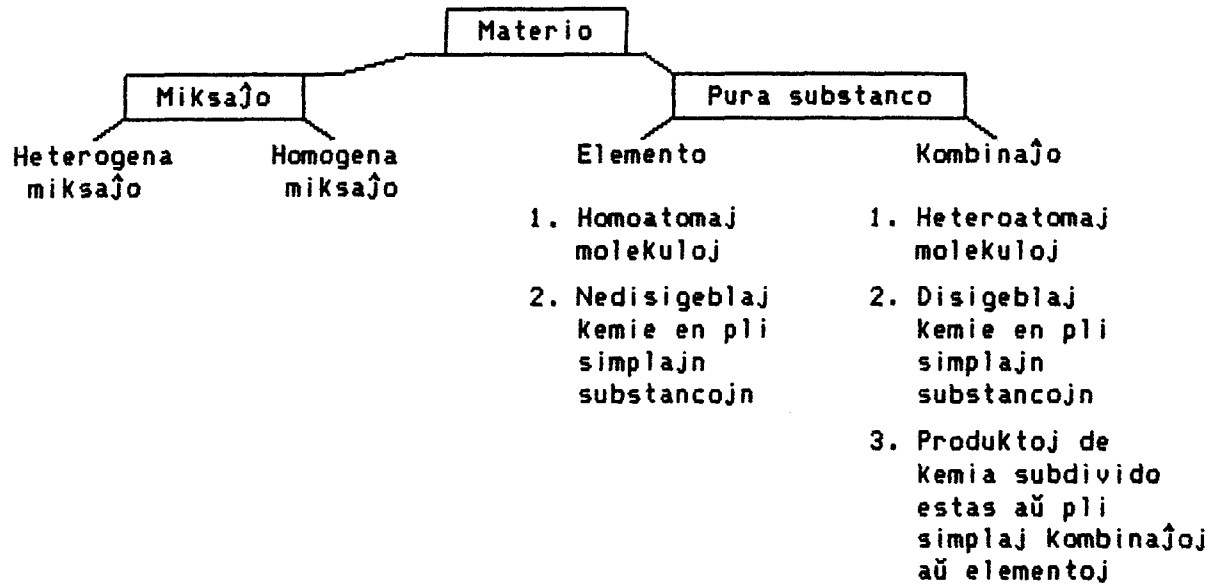
Oni ne povas disdividi elementojn en pli simplajn purajn substancojn per kemiaj procedoj pro tio, ke nur unu tipo de atomo ĉeestas. Tial, elementojn oni konsideras la plej simplaj tipoj de materio. Kombinaĵojn oni povas ŝanĝi en pli simplajn purajn substancojn per kemiaj rimedoj, ĉar du aŭ pli da atomtipoj ĉeestas. Pro tio ke elementoj estas la finfinaj produktoj rezultantaj el la disdivido de kombinaĵoj, oni ofte nomas ilin "konstru-eroj" aŭ "konstru-brikoj" por la tuta materio.

Antaŭ ol substanco povas esti klasita kiel elemento, oni devas apliki ĉiujn eblajn provojn subdividi ĝin en pli simplajn substancojn. Se provaĵo de pura substanco, S, estas submetita al kemia procedo kaj produktas du novajn substancojn, X kaj Y, oni klasas S en kombinaĵon. Se, kontraŭe, multaj provoj subdividi kemie S ne estas sukcesaj, oni povas ĝuste nomi ĝin elemento, sed ĝis kiam ĉiuj eblaj reakcioj montriĝas sensukcesaj, tia klasifiko povas erari.

Nuntempe (1984) ekzistas 109 puraj substancoj, kiujn oni klasas en elementojn. Ĉi tiu estas treege malgranda nombro kompare kun la tuta nombro da puraj substancoj kiuj estas karakterizitaj kiel kombinaĵoj far kemiistoj -- pli ol sep milionoj. Ĉar elementoj konsistas nur el unu "tipo" de atomo, la ekzisto de 109 elementoj signifas ke nur 109 malsamaj "tipoj" de atomoj ekzistas. La nombro da unikaj heteroatomaj molekuloj kiuj povas esti formitaj el ĉi tiuj atomoj estas preskaŭ senlima, kiel evidentiĝas pro la kapturna nombro da kombinaĵoj jam karakterizitaj.

Tabelo 2-2 resumas la ĉefajn diferencojn inter elementoj kaj kombinaĵoj, kaj ankaŭ kie ili enviciĝas en la ĝeneralan klasifik-skemon de la materio.

Tabelo 2-2. Klasifiko de la materio



2.6 NOMOJ KAJ SIMBOLOJ DE LA ELEMENTOJ

Ĉiu el la 109 elementoj havas unikan nomon, kiun kutime elektis la eltrovinto. Pro tio ke la elementoj estis izolataj dum kelkaj jarcentoj, ekzistas granda diverseco inter la nomoj. Kelkaj el ili estas tre simplaj, kiel stano kaj plumbo, sed aliaj, kiel prazeodimo aŭ iterbio estas sufiĉe longaj kaj eĉ ŝajnas iomete strangaj, eĉ por Esperanto!

Kemia simbolo

Kemiistoj kutime ne elskribas la nomojn de la elementoj; anstataŭe, oni uzas mallongigojn nomatajn kemiaj simboloj.

En la sistemo de mallongigoj, ĉiu elemento estas reprezentita per simbolo konsistanta el unu aŭ du literoj. En maloftaj kazoj, oni uzas tri literojn. Se simbolo konsistas el unuopa litero, ĝi estas majuskla. En kazo de duliteraj simboloj, la unua litero estas majuskla, sed ne la dua litero. Unu-literaj simboloj kiel O por oksigeno kaj N por nitrogeno, deriviĝas el la unua litero de la nomo de la elemento. Duliteraj simboloj kutime implicas la unuan literon el la element-nomo. La dua litero de la simbolo estas ofte, sed ne ĉiam, la dua litero de la nomo. Konsideru la tri elementojn, terbio, teknecio, kaj teluro, kies simboloj estas respektive Tb, Tc, kaj Te. Evidente, necesis diversaj elektoj de duaj literoj pro tio, ke la unuaj du literoj de ĉi tiuj element-nomoj estas la samaj.

La kemiaj simboloj por la elementoj estas tut-internaciaj. Tio estas, uzadas ilin sciencistoj ĉirkaŭ la mondo sendepende de lingvo. Aliflanke,

la nomoj de la elementoj varias de lingvo al lingvo. En Esperanto, la element-nomoj respondas ĝenerale kiel eble plej proksime al la simboloj. Tamen, ne eblas ekzakta interrespondo, ĉar la simboloj baziĝas sur diversaj variaĵoj de la latina alfabeto, dum la element-nomoj en Esperanto konformas al ties regula ortografio. Ekzemple, la elemento fosforo havas la internacian simbolon P kaj ne F, ĉar la P deriviĝas de nacilingva radiko phosphor-.

Pluraj interrilatoj estas memorindaj. Unu estas ke la naci-lingva malmola "c" egalas al esperanta "k". Ekzemplo estas kupro, kies simbolo estas Cu. Ankaŭ, la neesperantaj literoj q(u), w, x, y kutime skribiĝas k(v), v, ks (aŭ kz), i (aŭ j) respektive. Ekzemploj estas la kemiaj simboloj W kaj Y, kiuj respondas al volframo kaj itrio respektive.

Ĉar Esperanto estas ankoraŭ juna lingvo, ne ĉiuj element-nomoj estas normigitaj. Ni indikas variaĵojn interkrampe en Tabelo 2-3, sed tiuj variaĵoj ne uziĝas en tiu ĉi libro. La du ĉefaj variaĵoj estas 1) la uzo aŭ neuzo de la sufikso -um-, kaj 2) la elekto inter la finaĵoj -o aŭ -io.

Lernu la simbolojn por la pli ofte renkontataj elementoj. Tiuj komunuzaj simboloj montriĝas substrekite en la plena listo de elementoj en Tabelo 2-3. Ni indikas per superindica F apud koncerna element-nomo ĉu ĝi troviĝas en la Fundamento de Esperanto, kaj per OA ĉu ĝi troviĝas en Oficiala Aldono.

La element-nomoj havas interesajn historiojn. Dek elementojn konis la antikvuloj. Ili estas: arĝento, fero, hidrargo, karbono, kupro, oro, plumbo, stano, stibio, sulfuro. Krom du, ilin ĉiujn mencias la Biblio -- Nombroj 31/32, Genezo 19/24, ktp. Iliaj esperantaj nomoj plejparte devenas de la latina lingvo. Tiel, fero (Fe) devenas de latina ferrum. Multaj el la modernaj elementoj havas grek-devenajn nomojn. Tiel, kloro (Cl) devenas de greka ĥloros, kiu signifas "verde flava", ĉar tia estas la koloro de tiu gasa elemento. Multaj ankaŭ nomiĝas honore al diversaj lokoj, personoj, mineraloj, kaj dioj. Ekzemploj: iterbio (Yb) pro la urbo Ytterby en Svedio; ejnstejnio (Es) pro la eminentega fizikisto Albert Einstein; borio (B) pro la mineralo borakso; torio (Th) pro la skandinava dio, Thor.

Tabelo 2-3. La Kemiaj elementoj Kaj iliaj simboloj

Ac	aktinio	H	hidrogeno^{F}	Pu	plutonio
Ag	arĝento^{F}	He	heliumo (helio)	Ra	radiumo
Al	aluminio^{0A}	Hf	hafnio	Rb	rubidio
Am	americio	Hg	hidrargo^{F}	Re	renio
Ar	argono	Ho	holmio	Rh	rodio
As	arseno	I (J)	jodo^{0A} (iodo)	Rn	radono
At	astato (astatio, astateno)	In	indiumo (indio)	Ru	rutenio
		Ir	iridio	S	sulfuro^{F}
Au	oro^{F} (aŭro)	K	kalio^{0A}	Sb	stibio (antimono^{F})
B	borio (boro)	Kr	kriptono		
Ba	bario	La	lantano	Sc	skandio
Be	berilio	Li	litio	Se	seleno
Bi	bismuto^{F}	Lu	lutecio	Si	silicio
Bk	berkelio	Lr	laŭrencio (unniltrio*)	Sm	samario
Br	bromo^{0A}			Sn	stano^{F}
C	karbono^{0A}	Md	mendelevio (unnilunio*)	Sr	stroncio
Ca	kalcio			Ta	tantalo
Cd	kadmio	Mg	magnezio	Tb	terbio
Ce	cerio	Mn	mangano^{F}	Tc	teknecio
Cf	kalifornium (Kalifornio)	Mo	molibdeno	Te	teluro
		N	nitrogeno (azoto^{F})	Th	torio
Cl	kloro^{0A}			Ti	titanio (titano)
Cm	kuriumo (Kurio)	Na	natrio^{0A}		
Co	kobalto^{F}	Nb	niobio (niobo)	Tl	taliumo (talio)
Cr	kromio (kromo)	Nd	neodimo		
Cs	cezio	Ne	neono	Tm	tulio
Cu	kupro^{F}	Ni	nikelo^{0A}	U	uranio
Dy	disprozio	No	nobelio (unnilbio*)	Une	unnilenio*
Er	erbio			Unh	unnilheksio*
Es	ejnstejnio	Np	neptunio	Uno	unniloktio*
Eu	eŭropio	O	oksigeno^{F}	Unp	unnilpentio*
F	fluoro	Os	osmio	Unq	unnilkvadio*
Fe	fero^{F}	P	fosforo^{F}	Uns	unnilseptio*
Fm	fermio	Pa	protaktinio	V	vanadio (vanado)
Fr	franciumo (francio)	Pb	plumbo^{F}		
		Pd	paladio	W	volframo
Ga	galiumo (galio)	Pm	prometio	Xe	ksenono
		Po	polonio	Y	itrio
Gd	gadolinio	Pr	prazeodimo	Yb	iterbio
Ge	germaniumo (germanio)	Pt	plateno^{F} (platino)	Zn	zinko^{F}
				Zr	zirkonio

*Tiuj elementoj, antaŭnelonge eltrovitaj, estas sisteme kaj provizore nomataj konforme al rekomendo de la Internacia Unio de Pura kaj Aplikata Kemio. Vidu: Pure and Applied Chemistry, feb. 1979, paĝoj 383-384.

En tiu ĉi tabelo, (^{F}) signas element-nomojn registritajn en la Fundamento de Esperanto, dum (^{0A}) signas tiujn en iu Oficiala Aldono.
La ĉi-prezentitaj element-nomoj estas tiuj rekomenditaj de la Ĥemia Fakterminologia Komisiono en 1969, krom iuj korektoj kaj aldonoj. Estas ankaŭ propono finigi ĉiujn element-nomojn per -io. Vidu: "Kemiaj Afiksoj Internaciaj" de J. Pióro, Varsovio: Wydawnictwa Naukowo-Technicze, 1966.

2.7 KEMIAJ FORMULOJ

Kiel supre aludite, oni konas pli ol 7 milionojn da diversaj kombinaĵoj. Tial do, unu el la plej gravaj informoj pri iu ajn specifa kombinaĵo estas ĝia konsisto, kiu distingas unu kombinaĵon disde alia. Oni establis sistemon de kemia notacio, aŭ signaro, por indiki la konsiston de kombinaĵoj tre koncize. Ĉi tiu signarsistemo alkalkulas unikan formulon al ĉiu kombinaĵo.

Kemia formulo

Kemia formulo estas konstruita por peri du erojn da informo pri kombinaĵ-konsisto: (1) la identecon de la elementoj, kiuj enestas en la kombinaĵo, kaj (2) la nombron da atomoj de ĉiu elemento en la kombinaĵo.

En formulo, oni identigas elementojn per iliaj simboloj. Ciferaj subindicoj post ĉiu simbolo indikas la nombron da atomoj de la elemento en la molekulo. Se nur unu atomo de elemento ĉeestas, ne necesas skribi la subindicon 1.

La kemia formulo por la kombinaĵo kiun ni nomas aspirino estas $C_9H_8O_4$. El ĉi tiu formulo, ni scias jenan informon pri aspirina molekulo: tri malsamaj elementoj ĉeestas -- karbono (C), hidrogeno (H), kaj oksigeno (O), kaj 21 atomoj ĉeestas -- 9 karbonaj, 8 hidrogenaj, kaj 4 oksigenaj.

Kelkfoje, la formulon de kombinaĵo oni skribas kun parto de ĝi inter krampoj. Tiakaze, cifera subindico devas ĉiam sekvi la fermantan krampon. La formulo $Fe_2(SO_4)_3$ estas ekzemplo. Interpreto de tia formulo estas simpla. La subindico senpere post la krampo indikas la nombron de eroj ĉeestantaj en la mult-atoma ento inter la krampoj. En $Fe_2(SO_4)_3$ ni havas tri erojn SO_4. Laŭ atomoj ĉeestantaj, la formulo $Fe_2(SO_4)_3$ indikas la ĉeeston de 2 feraj (Fe) atomoj, 3 sulfuraj (S) atomoj, kaj 12 (3x4) oksigenaj atomoj. Pro tio, ke tiajn ĉi formulojn oni renkontas en laboratoria situacio eble longe antaŭ ilia formala prezentado en Sekcio 6.9, ni notas ilian ekziston nuntempe.

Al ĉiu kombinaĵo oni povas alskribi nomon aldone al formulo. La nomado de kombinaĵoj, tamen, estas tute alia afero ol tiu por elementoj. Dum la nomadon de elementoj oni lasis plejparte al la imagipovo de iliaj eltrovintoj, oni disvolvis vastajn arojn da sistemaj reguloj por nomi la multe pli grandan nombron da kombinaĵoj. Partoj da Ĉapitroj 6 kaj 13 estos dediĉitaj al reguloj por nomi kombinaĵojn. Por la nuno, gravas

kompreni la sencon kaj signifon de kemiaj formuloj; scii nomojn de kombinaĵoj ne estas antaŭkondiĉo por la komprenado de iliaj formuloj.

Bildo 2-1: El James E. Brady kaj Gerard E. Humiston, "General Chemistry Principles and Structure" (Ĝenerala Kemio: Principoj kaj Strukturo), 2a eldono, p. 13. Kopirajto © 1975, de John Wiley & Sons, Inc.

Bildo 2-2: El "Introduction to Chemical Principles" (Enkonduko al Kemiaj Principoj), 2a eldono, de Edward I. Peters. Kopirajto © 1978 de W. B. Saunders Company. Kopirajto 1974 de W. B. Saunders Company. Adaptita laŭ permeso de Holt, Rinehart & Winston.

EKZERCOJ

Klasoj de la Materio

1. Klasu ĉiun el la sekvantaj substancoj laŭ heterogena miksaĵo, homogena miksaĵo, aŭ pura substanco:
   a) benzino
   b) pom-suko
   c) pomo
   ĉ) kupra nito
   d) betono
   e) pura akvo
2. Ĉiu provspecimeno elprenita el specifa homogena miksaĵo havas saman enhavon kiel ĉiu alia provspecimeno. La samo validas pri provaĵoj prenitaj el pura substanco -- ĉiuj havas saman enhavon. Por kio, do, oni ne konsideras ke homogenaj miksaĵoj estas puraj substancoj?
3. Kiel diferencas molekuloj el elementoj kaj el kombinaĵoj unu de la alia?
4. Kiamaniere oni determinas ĉu substanco estas pura aŭ ne?
5. Konsideru la sekvajn kategoriojn de materio: heterogena miksaĵo, homogena miksaĵo, pura substanco, kombinaĵo, elemento.
   a) En kiuj el ĉi tiuj kategorioj devas esti du aŭ pliaj substancoj?
   b) Kiu el ĉi tiuj kategorioj tute ne povas enhavi hetero-atomajn molekulojn?
   c) Variebla konsisto eblas por kiu el ĉi tiuj kategorioj?
6. Surbaze de la ĉi-subaj informoj, klasu ĉiun el la puraj substancoj A ĝis J laŭ elementoj aŭ kombinaĵoj, aŭ indiku ke tia klasifiko ne eblas.
   a) Analizo kun kelkaj kompleksaj instrumentoj indikas ke substanco A enhavas nur aluminiajn atomojn.
   b) Substancoj B kaj C interagas produktante novan substancon D (3 respondoj -- unu por B, unu por C, unu por D).
   c) Substanco E malkombiniĝas ĉe varmigo, produktante substancojn F kaj G (3 respondoj).
   ĉ) Varmigo de substanco H al 1000°C ne ŝanĝas ĝin.
   d) Analizo montras ke pura substanco I entenas sulfuron kaj oksigenon.
   e) Varmigo de substanco J al 500°C ŝanĝas ĝin de solido al likvo.
7. Indiku ĉu ĉiu el la sekvontaj asertoj estas <u>vera</u> aŭ <u>malvera</u>. Se aserto estas malvera, ŝanĝu ĝin por verigi ĝin. (Tiaj ŝanĝoj devus implici pli ol nura neado de aserto.)

a) Kelkajn purajn substancojn oni povas malkombini en pli simplajn purajn substancojn per kemia ŝanĝo.
b) La plej malgranda karakteriza ero de pura substanco estas la atomo.
c) Molekuloj de puraj substancoj estas ĉiam heteroatomaj.
ĉ) Oni povas apartigi heterogenajn miksaĵojn en komponantajn substancojn per fizikaj rimedoj.
d) Por ke materio estu heterogena, almenaŭ du substancoj devas ĉeesti.
e) Puraj substancoj povas havi ŝanĝiĝeman konsiston.
f) La limo de fizika subdivido estas la molekulo.
g) Kombinaĵo enhavas nur unu tipon de molekulo.

8. Atribuu ĉiun el jenaj priskriboj de materio al unu el la sekvantaj kategorioj: heterogena miksaĵo, homogena miksaĵo, elemento, kombinaĵo.

a) 2 substancoj; 2 fazoj
b) 1 substanco; heteroatomaj molekuloj
c) 1 fazo, kaj heteroatomaj kaj homoatomaj molekuloj
ĉ) 1 substanco, 2 fazoj, homoatomaj molekuloj
d) 2 substancoj, 1 fazo

<u>Simboloj kaj Formuloj</u>

9. Kiuj kemiaj elementoj estas prezentitaj per la jenaj simboloj?

a) Mn b) N c) H ĉ) O d) Na e) F f) C g) Mg

10. Kiuj estas la kemiaj simboloj de jenaj elementoj?

a) kalcio c) sulfuro d) bromo f) zinko
b) fosforo ĉ) kloro e) jodo g) aluminio

11. Listigu la elementojn kies simboloj <u>ne</u> estas deriveblaj el esperantaj nomoj.

12. Indiku kiom da elementoj kaj kiom da atomoj ĉeestas en unu ero de tiuj ĉi kombinaĵoj:

a) NaF b) $COCl_2$ c) $CoCl_2$ ĉ) Be_3N_2 d) NH_4ClO_3 e) $Ca(NO_3)_2$

3 ATOMOJ: STRUKTURO KAJ ECOJ

CELOJ

3.1 Kompreni la nunan sciencan koncepton pri atomoj en la kadro de atoma teorio.

3.2 Priskribi la leĝon pri la konserviĝo de maso, la leĝon de konstantaj proporcioj, kaj la leĝon de multoblaj proporcioj, kaj montri kiel la atoma teorio klarigas tiujn leĝojn.

3.3 Scii la mason, la ŝargon, kaj la situon de la fundamentaj subatomaj eretoj ene de la atomo. Kompreni la interrilaton inter la nombro da protonoj kaj elektronoj en la atomo.

3.4 Kompreni la terminojn atoma numero kaj mas-nombro, kaj kiel ili estas uzataj por specifi la subatoman konstruon de atomo. Kompreni la terminon izotopo, kaj kiel skribi la simbolojn por donita izotopo. Se du el jenaj atributoj estas konataj, kapabli trovi la trian: la atoma numero (aŭ la nombro de la protonoj aŭ de la elektronoj aŭ la elementa simbolo), la mas-nombro, la nombro da neŭtronoj.

3.5 Kompreni kiel la tabelo de atomaj masoj povas esti kompilita per tio, ke oni komparas la relativajn masojn de atomoj. Kalkuli la atoman mason de elemento el la relativaj masoj kaj la procentaj abundoj de ĝiaj izotopoj.

En Ĉapitro 2 nombro da terminoj estis difinitaj, kiuj pritraktas la klasifikon de materio. Unu tia esprimo estis atomo, kiu estis difinita kiel la limo de kemia subdividiĝo. Estis dirite, ke 109 malsamaj tipoj de atomoj estas konataj, el kiuj ĉia materio estas formita. En tiu ĉi ĉapitro ni konsideras pli detale tiun ĉi temon pri atomoj.

3.1 LA ATOMA TEORIO

En la periodo 1803 - 1807, John Dalton, angla lerneja instruisto, elpensis la teorion, ke diversaj specoj de materio kunmetiĝas el treege malgrandaj eretoj (atomoj), kiuj havas malsaman grandon kaj formon. La propono de Dalton baziĝis sur eksperimentado, kiun li kaj aliaj faris. Pro sia kvanteco, la teorio de Dalton ricevis ampleksan disvastiĝon kaj stimulis novajn laborojn kaj pensojn pri la finaj konstru-eroj de la materio. Ekde la tempo de Dalton ĝis nun la propono ke la materio konsistas el atomoj -- nun konata kiel la atoma teorio -- suferis diversajn modifojn kaŭze de tio, ke novaj faktoj montriĝis kaj plibonigis nian komprenon pri materio. Sed la baza konkludo, ke la konstru-eroj de ĉia materio estas atomoj, ankoraŭ validas.

Moderna deklaro pri la atoma teorio resumiĝas per jenaj kvin supozoj, nomataj postulatoj, el kiuj kelkaj jam estas de vi konataj.

atoma teorio

1. Ĉia materio konsistas el malgrandaj eretoj, nomataj atomaj, el kiuj oni scias 109 malsamajn "tipojn".
2. Ĉiuj atomoj de certa tipo estas similaj unu al la alia, kaj signife diferencaj de ĉiuj aliaj tipoj.
3. La relativaj nombro kaj aranĝiĝo de diversaj tipoj de atomoj en pura substanco (ĝiaj konsisto kaj strukturo) determinas ĝian identecon.
4. Kemia ŝanĝiĝo estas aŭ unuiĝo aŭ disiĝo aŭ rearanĝiĝo (transgrupiĝo) de atomoj, el kio rezultas novaj substancoj.
5. Nur kompletaj atomoj povas partopreni en kemia ŝanĝiĝo aŭ rezulti el tia ŝanĝiĝo pro tio, ke oni konsideras atomojn nedetrueblaj dum tiaj ŝanĝiĝoj.

3.2 KEMIAJ FAKTOJ SUBTENANTAJ LA ATOMAN TEORION

La leĝoj kiuj regas kemian ŝanĝon estas tipaj por la atestoj subtenantaj la atoman teorion. Tri el tiuj leĝoj estos studataj en tiu ĉi sekcio:

la leĝo de la konserviĝo de maso, la leĝo de konstantaj proporcioj, kaj la leĝo de multoblaj proporcioj. Tiuj ĉi tri leĝoj estas ĝeneralaj asertoj, kiuj resumas la rezulton de miloj da diversaj esploroj pri la kemia konduto de materio. Tiuj leĝoj estis unuafoje formulitaj dum la lastaj jaroj de la 18-a jarcento. Estis dum la 18-a jarcento, ke eksperimentaj metodoj estis disvolvitaj por precize mezuri la volumenon kaj masojn de kemiaj substancoj. Tio ebligis kemiistojn, unuafoje, kvantece studi kemian ŝanĝiĝon. La rezultoj de kvantecaj eksperimentoj havigis al esplorantoj multajn faktojn, kiuj kondukis al la formulado de leĝoj regantaj kemian ŝanĝiĝon. Kelkaj el tiuj kvantecaj informoj estis haveblaj al John Dalton, kiam li unue proponis la atoman teorion.

LA LEĜO DE LA KONSERVIĜO DE LA MASO

Dum pli ol ducent jaroj eksperimentoj montris la validecon de la leĝo de la konserviĝo de la maso. La leĝo povas esti simple esprimita en jena maniero:

leĝo de la konserviĝo de la maso
Maso nek kreiĝas nek detruiĝas dum ordinara kemia reakcio.

La vereco de tiu ĉi aserto estas konstatebla per komparo de la masoj de la reakciantoj kaj produktoj en ia ajn kemia reakcio. Oni trovas, ke ili estas ĉiam egalaj ene de la limoj de nia kapablo determini iliajn masojn.

Kiel ekzemplon konsideru la reakcion inter la du elementoj kalcio (Ca) kaj sulfuro (S), kiu formas la kombinaĵon kalcia sulfido (CaS). Per eksperimento oni trovas, ke 55,6 gramoj da Ca reakcias kun precize 44,4 gramoj da S. Post la reakcio postrestas neniom da Ca aŭ da S; la sola substanco trovebla estas CaS. Kiam tiu ĉi produkto (CaS) estas pesita, oni trovas, ke ĝia maso estas precize 100,0 gramoj - 55,6 + 44,4 = 100,0. Oni ankaŭ trovis, ke kiam la 100,0 gramoj da CaS estas varmigata ĝis alta temperaturo en foresto de aero, la CaS malkombiniĝas al Ca kaj S, produktante ree 55,6 gramojn da Ca kaj 44,4 gramojn da S. Denove, la masojn de la produkto kaj de la reakciantoj oni trovas samaj (esceptante eksperimentan eraron).

En la kadro de la atoma teorio, klarigo de tiuj rezultoj tekstas:

1. La por la eksperimento uzitaj kvantoj de kalcio kaj sulfuro enhavas certan nombron da nedetrueblaj atomoj.
2. Ĉar la kvantoj de la kalcio kaj sulfuro reakcias komplete unu kun la

alia, ĉiu atomo de ĉiu tipo devis partopreni la reakcion.
3. Ĉar komence ĉiu ĉeestanta atomo partoprenas en la reakcio, la fina produkto devas enhavi la saman suman nombron da ĉiu tipo de atomoj kiel la reakciantoj, kaj tial devas havi la saman mason kiel la reakciantoj.

Dum la lasta duon-jarcento la leĝo de la konservigo de la maso devis esti modifita. Certaj tipoj de reakcioj, kiuj koncernas radioaktivajn procezojn, montris deviojn de tiu ĉi leĝo. En tiuj procezoj, malgrandaj kvantoj da maso ŝanĝiĝas en energion anstataŭ en alian formon de maso. Pli ĝenerala leĝo inkludas tiun ŝajnan malakordon - la leĝo pri la konservigo de maso kaj energio. Tiu ĉi leĝo ankaŭ kalkulas kun la fakto, ke maso kaj energio estas interŝanĝeblaj.

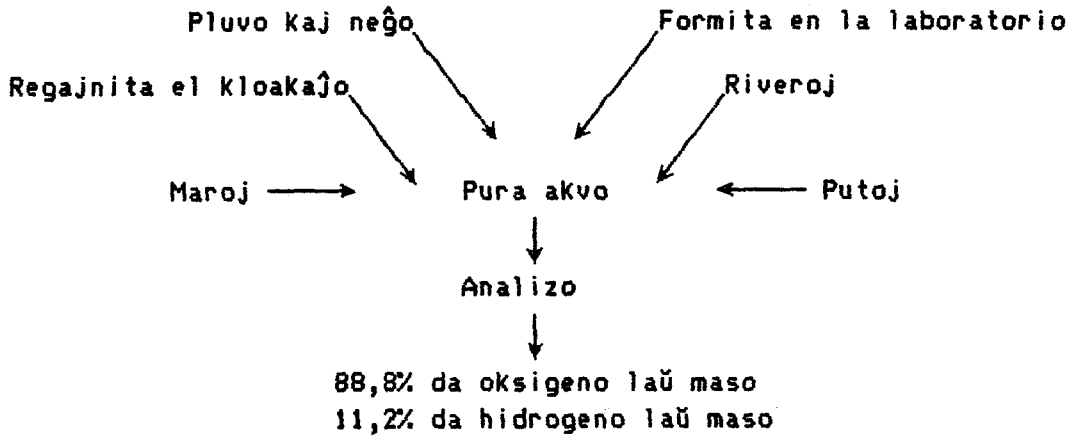
LA LEĜO DE KONSTANTAJ PROPORCIOJ

La konsisto de kombinaĵo estas determinebla per la malkombino de pesita kvanto de tiu kombinaĵo en la elementojn el kiuj ĝi konsistas kaj la posta determino de la individuaj masoj. Alternative, la maso de kombinaĵo formita per la kombinado de elementoj, kies masoj estas konataj, ankaŭ povas konduki al sia konsisto. Studoj pri la konsisto de multaj kombinaĵoj kondukas al la formulado de la leĝo de konstantaj proporcioj, kiu povas esti jene antaŭmetita:

leĝo de konstantaj proporcioj

En pura kombinaĵo, la proporcio laŭ maso de ĉeestantaj elementoj estas ĉiam la sama.

Alivorte: kiam la konsisto de ia pura kombinaĵo estas determinita, ni scias, ke la konsisto de ĉiuj aliaj puraj provaĵoj de tiu kombinaĵo estas la sama. Ekzemple, akvo laŭmase konsistas el 88,8% de oksigeno kaj 11,2% de hidrogeno. Ĉiuj provaĵoj de pura akvo, sendepende de iliaj devenoj, havos la saman konsiston (vidu Bildon 3-1).



Bildo 3-1. La leĝo de konstantaj proporcioj

Alia maniero esprimi tiun leĝon de konstantaj proporcioj estas jena: La rilatumo de la masoj de du elementoj kiuj reakcias por formi donitan kombinaĵon estas ĉiam la sama. Tio estas facile demonstrebla per eksperimento. Ree konsideru la reakcion inter kalcio kaj sulfuro por formi kalcian sulfidon. Supozu ke vi provas kombini diversajn masojn da sulfuro kun difinita maso da kalcio. En la unuaj kvar linioj de Tabelo 3-1 estas donita aro da eblaj eksperimentaj donitaĵoj por tia provo. Notu, ke sendepende de kiu maso da S ĉeestas, nur certa maso, nome 44,4 g, reakcias kun la 55,6 g da Ca. La tromulto da S restas en nereakciinta formo. La donitaĵoj do montras, ke Ca kaj S inter-reakcias nur en unu konstanta proporcio de masoj (55,6/44,4 = 1,25), kiu donas CaS. Tiu ĉi fakto harmonias kun la leĝo de konstantaj proporcioj. Notu ankaŭ, ke se la maso de Ca estas duobligita (linio 5 en Tabelo 3-1), la maso de S, kiu reakcias kun ĝi ankaŭ duobliĝas (Komparu la liniojn 1 kaj 5 en la tabelo). Tamen, la rilatumo laŭ kiu la substancoj reakcias restas la sama, nome 1,25 (111,2/88,8).

Tabelo 3-1. Donitaĵoj ilustrantaj la leĝon de konstantaj proporcioj

Maso de Ca uzita	Maso de S uzita	Maso de CaS formita	Maso de troaĵo da sulfuro kiu ne reakciis	Rilatumo en kiu la substancoj reakciis
55,6 g	44,4 g	100,0 g	nenio	1,25
55,6 g	50,0 g	100,0 g	5,6 g	1,25
55,6 g	100,0 g	100,0 g	55,6 g	1,25
55,6 g	200,0 g	100,0 g	155,6 g	1,25
111,2 g	88,8 g	200,0 g	nenio	1,25

Tiuj observoj konformiĝas al la atoma teorio laŭ jena rezonado:

1. Provaĵo de kalcio pezanta 55,6 g entenas certan nombron da Ca atomoj.
2. Provaĵo de sulfuro pezanta 44,4 g enhavas nombron da S atomoj ĝuste sufiĉan por reakcii kun la nombro da Ca atomoj ĉeestantaj.
3. Ĉar la atomoj de Ca kaj S ĉiam reakcias sam-maniere kaj donas kalci-sulfidajn molekulojn, iu ajn kvanto da sulfuro pli granda ol 44,4 g enhavas pli da atomoj ol necesaj, kaj sekve restos ne-reakciinta.

LA LEĜO DE MULTOBLAJ PROPORCIOJ

Eksperimentoj montris, ke kelkaj elementoj ne ĉiam kombiniĝas en la sama maniero. Je diversaj reakci-kondiĉoj, kiel malsamaj temperaturoj aŭ premoj, aŭ se diversaj kvantoj da reakciantoj ĉeestas, eblas, ke diversaj kombinaĵoj rezultas el la samaj elementoj. Ekzemple, je diversaj reakciaj kondiĉoj la hipotezaj elementoj X kaj Y povus formi kombinaĵojn de tipo XY, XY_3, X_3Y_4, ktp. La leĝo de multoblaj proporcioj pritraktas tiajn situaciojn. La formala difino de tiu ĉi leĝo estas:

leĝo de multoblaj proporcioj
Kiam du aŭ pli da elementoj kombiniĝas formante pli ol unu kombinaĵojn, la diversaj masoj de unu elemento kiuj kombiniĝas kun difinita maso de la alia elemento formas rilatumojn de malgrandaj entjeroj.

La atoma teorio facile klarigas kial la rilatumoj ĉiam rezultas en malgrandaj entjeroj. Per CO kaj CO_2 kiel ilustraĵoj, la proporcio de la oksigenatomoj en la du kombinaĵoj devas esti entjera rilatumo, ĉar frakcio de atomo ne ekzistas. Devas ĉeesti en ĉiu kombinaĵo entjera kvanto da atomoj. Kaj se la atoma rilatumo estas entjera, tiam ankaŭ la masa rilatumo devas esti entjera, ĉar la maso de la oksigenatomoj en ĉiu kombinaĵo estas nure la produto de la nombro de la oksigenatomoj multiplikita per la maso de unuopa oksigenatomo.

3.3 SUBATOMAJ ERETOJ

La moderna koncepto pri la atomo inkludas pli ol tio, kion ni prezentis ĝis nun en nia diskuto pri la atoma teorio. Vasta kolekto de eksperimentaj faktoj estas nun je nia dispono, kiu montras, ke la atomoj mem estas konstruitaj el pli malgrandaj eretoj -- la tiel nomataj subatomaj eretoj. (Diskuto pri tiuj faktoj estas ekster la kadro de tiu ĉi teksto.) Ekzistas tri ĉefaj specoj de subatomaj eretoj: protonoj, neŭtronoj, kaj elektronoj.

Du el la specoj de subatomaj eretoj portas elektran ŝargon, la protono kaj la elektrono.

protono; elektrono

La protono havas pozitivan (+) ŝargon kaj la elektrono havas negativan (-) ŝargon.

Tiuj du tipoj de eretoj havas la saman kvanton da elektra ŝargo; sed la karaktero de tiuj ŝargoj estas kontraŭa (pozitiva kontraŭ negativa). La fakto, ke tiuj eretoj estas ŝargitaj estas ege grava pro la maniero laŭ kiu ŝargitaj eretoj interagas. Eretoj kun kontraŭa aŭ malsimila ŝargo altiras unu la alian; eretoj kun la sama ŝargo forpuŝas unu la alian. Tiu ĉi sinteno de ŝargitaj eretoj estos tre grava en multaj el niaj sekvontaj diskutoj en postaj sekcioj de tiu ĉi teksto.

neŭtrono

La tria tipo de subatomaj eretoj, la neŭtrono, estas neŭtra. Tio signifas, ke nenia ŝargo kunestas kun ĝi.

Ĉiuj el la subatomaj eretoj estas ege malgrandaj. La elektrono, la plej malpeza inter ili, havas mason de $9{,}11 \times 10^{-28}$ gramoj. La protono havas mason 1836-oble pli grandan ol la elektrono, nome de $1{,}672 \times 10^{-24}$ gramoj. La neŭtrono sekve havas mason nur iomete pli grandan ol la protono. Endas pleje memori, ke la elektrono havas mason multoble pli malgrandan ol la aliaj du eretoj.

La ecoj de la tri fundamentaj eretoj troveblaj en la atomo estas resumitaj en Tabelo 3-2.

Tabelo 3-2. Masoj kaj ŝargoj de la fundamentaj subatomaj eretoj

	Elektrono	Protono	Neŭtrono
Ŝargo	-1	+1	0
Efektiva maso (en gramoj)	$9{,}11 \times 10^{-28}$	$1{,}672 \times 10^{-24}$	$1{,}675 \times 10^{-24}$
Relativa maso (sur la bazo, ke la elektrono estu unuo)	1	1836	1839

Estas konata la aranĝiĝo de subatomaj eretoj en la atomo.

nukleo

En la centra regiono de la atomo estas tre malgranda densa regiono, nomata la nukleo.

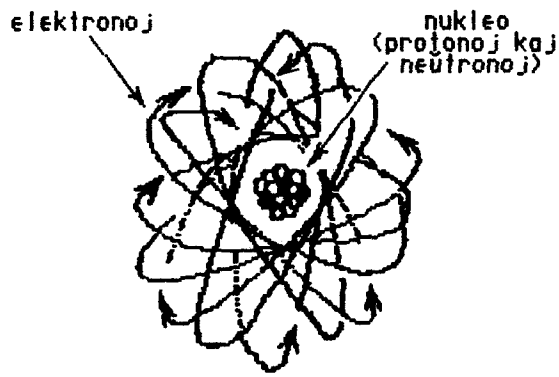
Ĉiuj protonoj kaj neŭtronoj de la atomo situas en tiu ĉi regiono, tiel

donante al ĝi la pozitivan ŝargon, kiu karakterizas la protonon.

nukleono

Ope, protonoj kaj neŭtronoj ofte nomiĝas la nukleono pro sia situo en la nukleo.

Oni imagas, ke la elektronoj, kiuj estas negative ŝargitaj, moviĝas rapide tra la relative larĝa spaco, kiu ĉirkaŭas la nukleon (vidu Bildon 3-2). La moviĝo de la elektronoj en tiu ĉi spaco esence decidas la volumenon de la atomo, same kiel la helico de aeroplano determinas la areon per sia moviĝo.



Bildo 3-2. Aranĝiĝo de subatomaj eretoj en la atomo

neŭtra atomo

La nombro de la elektronoj devas esti la sama kiel tiu de la ĉeestantaj protonoj, ĉar atomoj (kiel tutaĵo) estas neŭtraj. Por havi neŭtrecon, la nombroj da pozitivaj kaj negativaj ŝargoj devas esti egalaj.

Eĉ kvankam ekzistas subatomaj eretoj, en kemio la atomo restas la fundamenta ereto plej interesa. La kaŭzo por tio estas, k subatomaj eretoj ne ekzistas sendepende por perceptebla tempo. La sola maniero al ili gajni stabilecon estas kuniĝi por formi atomon.

3.4 DIFERENCOJ INTER ATOMOJ

Atomoj diferencas unu de la alia ĉar ili entenas malsamajn nombrojn da protonoj, neŭtronoj kaj elektronoj. Por ĉiu atomo la neŭtreco de la atomo postulas la ĉeeston de la sama nombro da protonoj kaj elektronoj. Sed la nombro da neŭtronoj ne bezonas esti la sama kiel tiu de la protonoj kaj elektronoj, kaj en la plejmulto da kazoj ilia nombro estas pli granda ol tiu de la aliaj subatomaj eretoj.

La nombroj da protonoj, neŭtronoj kaj elektronoj de donita atomo estas indikitaj per la uzo de du numeraloj -- la atoma numero kaj la masnombro.

atoma numero

La atoma numero (aŭ atom-numero), signita per Z, egalas la nombron da protonoj en la atoma nukleo.

Ĉar la atomo estas neŭtra, la atoma numero indikas ankaŭ la nombron da elektronoj en la atomo.

mas-nombro

La masnombro, signita per A, egalas la tutan nombron da eretoj en la nukleo, tio estas, la nombro de la protonoj plus la nombro de la neŭtronoj.

La uzo de tiuj ĉi du numeraloj unike difinas la subatoman kunmetiĝon de atomo, kiel montrite en Ekzemplo 3-1.

Ekzemplo 3-1. Iu atomo havas atoman numeron Z=15, kaj masnombron A=31. Kiom da protonoj, elektronoj, kaj neŭtronoj entenas tiu atomo?

Solvo. La nombro da protonoj = Z, tial ĉeestas 15 protonoj. Laŭ la difino, la atoma numero ĉiam egalas la nombron da protonoj. La nombro da elektronoj = Z, tial ankaŭ ĉeestas 15 elektronoj. En neŭtra atomo, la atoma numero ĉiam egalas la nombron da elektronoj. La nombro da neŭtronoj = A - Z = 31 - 15 = 16. La masnombro egalas la sumon de protonoj kaj neŭtronoj; kaj la atoma numero egalas la nombron de la protonoj; tial la diferenco inter la masa kaj la atoma nombroj ĉiam egalas la nombron de la neŭtronoj ĉeestantaj en la atomo.

La identeco de atomo estas determinita per sia atoma numero. Ĉiuj atomoj kun la sama nombro da protonoj (aŭ elektronoj) estas atomoj de la sama elemento. La kemiajn ecojn de atomo, sur kiuj baziĝas ĝia identeco, determinas la nombro kaj aranĝiĝo de la elektronoj ĉirkaŭ la nukleo. Ĉiuj atomoj kun la sama atoma numero enhavas la saman nombron da elektronoj, kaj sekve la samajn kemiajn ecojn.

Ĉiuj atomoj de iu elemento ne devas esti identaj. Ili devas havi la saman atoman numeron, do la saman nombron da protonoj kaj elektronoj. Sed ili povas enteni variajn nombrojn da neŭtronoj. Konsideru jenan situacion koncerne la du atomojn A kaj B:

nombro da	Atomo A	Atomo B
Z	13	13
A	27	28
protonoj	13	13
elektronoj	13	13
neŭtronoj	14	15

Tiuj atomoj estas de la sama elemento, ĉar iliaj atomaj numeroj estas la samaj. Ili havas la samajn kemiajn ecojn, ĉar ĉe ambaŭ la nombroj de la elektronoj estas la samaj. La kroma neŭtrono en B troviĝas en la eta nukleo en la centro de la atomo kaj apenaŭ efikas la kemian konduton de tiu atomo. Tamen, tiuj atomoj ne identas pro tio, ke B posedas unu plian neŭtronon ol A.

izotopo

Atomoj, kiuj estas identaj escepte de la nombro da entenitaj neŭtronoj, nomiĝas izotopoj.

Do, la atomoj A kaj B en la antaŭa ekzemplo estas izotopoj. La plimulto da elementoj en la naturo ekzistas en du aŭ pli izotopaj formoj.

Kiam estas necese diferencigi inter izotopoj, oni uzas jenan notacion:

$$^{A}_{Z}\text{simbolo}.$$

Ekzistas du klor-izotopoj, unu el kiuj entenas 2 pliajn neŭtronojn ol la alia. Uzante la supran skribmetodon, ni nomas ilin $^{35}_{17}\text{Cl}$ kaj $^{37}_{17}\text{Cl}$. La atoma numero estas ĉiam uzata kiel la subindico, la masnombro kiel la superindico.

La ekzisto de izotopoj klarigas la vortojn uzitajn antaŭe, kiam ni esprimis la postulatojn de la atoma teorio (Sekcio 3.1). La unua postulato diras: "Ĉia materio estas formita el etaj eretoj, nomataj atomoj, de kiuj 109 diversaj 'tipoj' estas konataj." La vorto tipo havas specialan signifon, kiu konfirmas la ekziston de izotopoj. La vorto tipo estis uzata por priskribi elementojn kun la sama atoma numero.

La dua postulato diras: "Ĉiuj atomoj de donita tipo estas similaj unu al aliaj, kaj signife malsimilaj al aliaj tipoj." Ĉiuj atomoj de unu elemento estas similaj al ĉiu alia koncerne kemiajn ecojn, sed povas diferenci unu de aliaj en tio, ke ili entenas malsamajn nombrojn da neŭtronoj. Ĉiuj atomoj de unu elemento diferencas signife disde atomoj de aliaj elementoj pro tio, ke ili havas malsamajn kemiajn ecojn.

La 109 konataj elementoj havas atomajn numerojn en sinsekva ordo de 1 al 109, kiuj spegulas la kreskantajn nombrojn da protonoj en sia nukleo. La ekzisto de elemento havanta ĉiun el tiuj numeroj montras la ordon ekzistantan en la naturo. Tabelo listiganta la elementojn laŭ kreskanta atomnumero troviĝas sur la malantaŭa kovrilo de tiu ĉi libro. Tia tabelo ebligas rapide trovi, kiu elemento entenas donitan nombron da protonoj kaj elektronoj.

Masnombroj ĝenerale ne estas tabeligitaj en la sama maniero kiel la atomaj numeroj, ĉar al la plimulto da elementoj mankas unika masnombro pro la ekzisto de izotopoj. La masnombro estas nur tiam unika, se la elemento estas trovita en nur unu-sola formo (se ĝi havas nur unu izotopon), kio ne estas ofta okazaĵo. Eblas ankaŭ, ke atomoj de malsamaj elementoj havas la saman masnombron. Ekzemple, la elemento indiumo (Z=49) ekzistas en du izotopaj formoj, unu el kiuj estas $^{115}_{49}$In. Alia elemento, stano (Z=50) ekzistas en dek izotopaj formoj, unu el kiuj estas $^{115}_{50}$Sn. Do, ekzistas atomoj de ambaŭ, indiumo kaj stano, kies masnombroj estas 115.

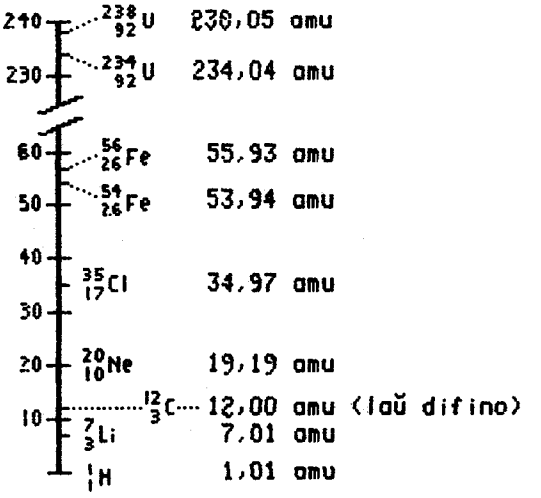
La tabelo sur la malantaŭa kovrilo enhavas alian nombron aldone al la atoma numero. Tio estas la <u>atoma maso</u>; tiu nombro rilatas nerekte al la masnombro. La sekvanta sekcio traktos la signifon de tiu ĉi nombro, kaj kiel oni determinas ĝin.

3.5 ATOMAJ MASOJ

Ĉar atomoj estas tiel etaj, estas neeble pesi nur unusolan atomon. Tamen, oni povas determini per eksperimento kiom-foje pli peza unu tipo de atomo estas kompare al alia. Uzante tian informon, sciencistoj establis <u>relativan skalon</u> por masoj de atomoj. La arbitra punkto de komparo en tiu ĉi skalo estas la maso de specifa izotopo de karbono, $^{12}_{6}$C, al kiu oni donis la masnombron de precize 12 atomaj mas-unuoj (amu).

La masoj de ĉiuj aliaj atomoj estas do determinitaj relative al la maso de $^{12}_{6}$C.

Ekzemple, se atomo estas duoble pli peza ol atomo $^{12}_{6}$C, ĝia maso estas 24,00 amu sur la skalo, kaj se la atomo pezas duonon de tio, kion atomo C pezas, ĝia laŭ-skala maso estas 6,00 amu. Valoroj de masoj de specifaj izotopoj laŭ la atoma mas-skalo estas donitaj en Bildo 3-3.



Bildo 3-3. Relativaj masoj de atomoj laŭ la skalo karbono-12

Surbaze de la valoroj donitaj en Bildo 3-3, eblas aserti jen-maniere: $^{238}_{92}U$ estas 4,26-oble pli peza ol $^{56}_{26}Fe$ (238,05amu/55,93amu = 4,26), aŭ Fe estas 2,80-oble pli peza ol $^{20}_{10}Ne$ (55,93amu/19,99amu = 2,80). Atentu, ke ne estas necese, ke ni sciu la veran mason de la atomoj por ke ni povu fari tiujn asertojn.

La maso de atomo de specifa elemento povas havi plurajn valorojn pro la ekzisto de izotopoj. Ekzemple, oksigen-atomoj povas havi unu el tri masoj, ĉar ekzistas tri izotopoj de oksigeno: $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$ kaj $^{18}_{8}O$. Tial ŝajnas necese specifi la izotopon de elemento uzata en diskutoj pri la masoj de atomoj; sed ĝenerale tio ne estas farata. Kutime izotopoj estas nur malofte menciataj en kalkuloj kaj diskutoj; anstataŭe, atomoj de elemento estas traktataj kvazaŭ ili ĉiuj havus nur unusolan mason. La maso uzata estas la meznombra relativa maso, kiu kalkulas kun la fakto, ke ekzistas izotopoj. Tiu ĉi koncepto reduktas la nombron da uzataj masoj de centoj al nur 109, kio signifas unu mason por ĉiu elemento. Precize dirite: tiuj ĉi 109 mezaj masoj (kiujn ni nomas la atomaj masoj) estas determinitaj per jenaj informoj: la nombro da izotopoj ekzistantaj por ĉiu elemento, la relativa maso de tiuj ĉi izotopoj laŭ la skalo karbono-12, kaj la procenta abundo de ĉiu izotopo. Ekzemplo 3-2 montras kiel la donitaj informoj trovas aplikon en la kalkulo de atom-maso.

Ekzemplo 3-2. Nature trovebla kloro ekzistas en 2 izotopaj formoj, $^{35}_{17}Cl$ kaj $^{37}_{17}Cl$. La relativa maso de $^{35}_{17}Cl$ estas 34,97 amu, kaj ĝia abundo estas 75,53 procentoj, dume $^{37}_{17}Cl$ havas relativan mason de 36,97 amu kaj ĝia abundo estas 24,47 procentoj. Kio estas la atoma maso de kloro?

Solvo. La atoman mason oni kalkulas multiplikante la relativan mason de ĉiu izotopo per ties frakcia abundo, kaj tiam sumante la produtojn:

$$\left(\frac{75,53}{100}\right) \times 34,97 \text{ amu} = (0,7553) \times 34,97 \text{ amu} = 26,41 \text{ amu}$$

$$\left(\frac{24,47}{100}\right) \times 3,97 \text{ amu} = (0,2447) \times 36,97 \text{ amu} = 9,04 \text{ amu}$$

$$26,41 \text{ amu} + 9,04 \text{ amu} = 35,45 \text{ amu (la atoma maso de kloro)}$$

Tiu ĉi kalkulo koncernas elementon, kiu havas nur du izotopojn. Simila kalkulo estus farata por elemento kun tri izotopoj en la sama maniero, sed tiam estas tri nombroj adiciendaj; elemento enhavanta kvar izotopojn havos kvar nombrojn adiciendajn, kaj tiel plu.

La valideco de la koncepto pri la meza maso baziĝas sur jenaj argumentoj: unue, amplekaj studadoj pri nature troveblaj elementoj montris, ke la procenta abundo de la izotopoj de donita elemento estas ĝenerale konstanta. Sendepende de tio, kie sur la tero la elementa provaĵo estas kolektita, ĝi ĝenerale enhavas la saman procentan izotopan konsiston. Pro tiuj konstantaj izotopaj rilatumoj, la maso de la "meza atomo" ne varias. Due, kemiaj procedoj estas farataj kun tre grandaj nombroj da atomoj. La plej eta peco da materio videbla per la okulo enhavas pli da atomoj ol estas kalkuleble dum la vivo de unu homo. La nombroj estas tiel grandaj ke ajna kolekto da atomoj, kiun uzas kemiisto, tre probable ne enhavos izotopan rilatumon diference de tio, kion havas nature trovebla elemento.

Resumante nian studon pri la atoma maso, ni povas doni jenan formalan difinon:

atoma maso

La atoma maso (atom-maso) de elemento estas tiu valoro, kiu esprimas kiel la relativa maso de meza atomo de tiu elemento kompariĝas kun la relativa maso de meza atomo de aliaj elementoj, kiam ĉiuj relativaj masoj baziĝas sur la maso de $^{12}_{6}C$, arbitre difinita kiel 12,00 atomaj mas-unuoj.

EKZERCOJ

Leĝoj de Kemia Ŝanĝiĝo

1. Konsideru hipotezan reakcion en kiu A kaj B estas reakciantoj kaj C kaj D estas produktoj. Se 3 gramoj da A komplete reakcias kun 4 gramoj da B formante 5 gramojn da C, kiom da gramoj da D estas produktitaj? Kiun kemian leĝon vi uzis por determini la respondon?

2. La laŭ-peza elementa konsisto de natria klorido (tabla salo, kuirsalo) estas 39% da natrio (Na) kaj 61% da kloro (Cl). Supozu, ke vi miksas 39 gramojn da Na kun 100 gramoj da Cl. Kio estas la plej granda kvanto da natria klorido (NaCl), kiu povas formiĝi el tiu ĉi miksaĵo? Kiu elemento ĉeestas en tro granda kvanto, kaj kiom da ĝi postrestas post la kompletiĝo de la kemia reakcio? Kiun kemian leĝon vi uzis por determini viajn respondojn?
3. Du malsamaj provaĵoj de pura kombinaĵo (entenanta la elementojn A kaj B) estis analizitaj kun jenaj rezultoj: provaĵo I - 15,8 gramoj de la provaĵo produktis 9,8 gramojn da A kaj 6,0 gramojn da B; la provaĵo II - 25,0 gramoj produktis 15,5 gramojn da A kaj 9,5 gramojn da B. Montru, ke tiuj rezultoj konformas al la leĝo de konstantaj proporcioj.
4. Du malsamaj kombinaĵoj, kiuj ambaŭ entenas nitrogenon kaj oksigenon, estis analizitaj. 15,0-grama provaĵo de la unua kombinaĵo entenis 8,0 gramojn da oksigeno kaj 7,0 gramojn da nitrogeno, kaj 22,0-grama provaĵo de la dua kombinaĵo entenis 8,0 gramojn da oksigeno kaj 14,0 gramojn da nitrogeno. Montru, ke tiuj nombroj konformas al la leĝo de multoblaj proporcioj.
5. Du malsamaj kombinaĵoj, kiuj ambaŭ entenas la elementojn X kaj Y, estis analizitaj: 6,0-grama provaĵo de la unua kombinaĵo entenis 2,0 gramojn da X, kaj 15,0-grama provaĵo de la dua kombinaĵo entenis 12,0 gramojn da Y. Montru, ke tiuj ĉi du kombinaĵoj obeas la leĝon de multoblaj proporcioj.
6. Per eksperimento oni eltrovis, ke du elementoj, A kaj B, reakcias kaj formas du malsamajn kombinaĵojn, depende de la kondiĉoj. Jen kelkaj el la rezultoj de la eksperimentoj:

Eksperimento	Gramoj da A	Gramoj da B	Gramoj da Kombinaĵo
1	2,62	3,00	5,62
2	7,87	9,00	16,86
3	1,31	3,00	4,31

   a) Kiu el la eksperimentoj enhavas faktojn, kiuj povas esti uzataj por ilustri la leĝon de la konserviĝo de la maso?
   b) Kiu(j) paro(j) de la eksperimentoj enhavas sufiĉajn faktojn por ilustri la leĝon de konstantaj proporcioj?
   c) Kiu(j) paro(j) de la eksperimentoj enhavas sufiĉajn faktojn por ilustri la leĝon de multoblaj proporcioj?
   ĉ) Se la formulo de la kombinaĵo formita en la unua eksperimento estas AB_2, kiuj estas la formuloj de la kombinaĵoj formitaj en la aliaj du eksperimentoj?

<u>Subatomaj Eretoj</u>

7. Indiku kiuj subatomaj eretoj (protono, neŭtrono, aŭ elektrono) ĝuste pariĝas kun ĉiu el la sekvantaj asertoj. Por la respondo pli ol unu

ereto povas esti uzata.

a) posedas pozitivan ŝargon
b) havas nenian ŝargon
c) havas mason iomete pli grandan ol tiun de la protono
ĉ) havas ŝargon samgrandan kiel elektrono, sed kun signo kontraŭa al ĝi
d) situas en la nukleo
e) havas negativan ŝargon
f) oni povas nomi ĝin nukleono
g) havas la plej malgrandan mason el la tri eretoj
ĝ) situas ekster la nukleo

8. Priskribu la aranĝiĝon de la fundamentaj subatomaj eretoj en la atomo.
9. Komparu la relativajn masojn de la tri specoj de subatomaj eretoj. Ankaŭ komparu la elektrajn ŝargojn de la tri specoj de subatomaj eretoj.
10. Klarigu kial oni konsideras atomojn kiel la fundamentajn konstru-erojn de la materio, kvankam ekzistas pli malgrandaj eretoj (subatomaj eretoj).

<u>Atomaj Numeroj, Masnombroj, Kaj Izotopoj</u>

11. Klarigu la diferencon inter masnombro kaj atoma numero.
12. Determinu la nombron da protonoj, neŭtronoj, kaj elektronojn, kiujn jenaj atomoj entenas:
    a) $^{53}_{24}Cr$ b) $^{103}_{44}Ru$ c) $^{256}_{101}Md$ ĉ) $^{32}_{16}S$
13. Por ĉiu el jenaj atomoj, determinu la simbolon (Kio estas X?), la nomon, la nombron da protonoj, la nombron da neŭtronoj kaj la nombron da elektronoj:
    a) $^{65}_{29}X$ b) $^{37}_{17}X$ c) $^{10}_{5}X$ ĉ) $^{197}_{79}X$ d) $^{182}_{74}X$
14. En kiuj punktoj similas izotopoj de elemento, kaj en kiuj malsimilas ili?
15. Skribu la kompletan signaron ($^{A}_{Z}$Simbolo) por atomo de ĉiu el jenaj izotopoj:
    a) la nitrogen-izotopo entenanta 8 neŭtronojn
    b) la kromi-izotopo kun masnombro 50
    c) izotopo kun 45 protonoj kaj 58 neŭtronoj
    ĉ) izotopo kun 91 neŭtronoj kaj la masnombro 155
16. Jenaj simboloj reprezentas malsamajn atomojn:
    $^{50}_{25}X$, $^{53}_{30}X$ $^{48}_{26}X$, $^{48}_{24}X$, $^{47}_{26}X$, $^{56}_{26}X$, $^{49}_{25}X$
    a) Kiuj el la supraj atomoj estas izotopaj kun $^{48}_{25}X$?
    b) Kiuj el la supraj atomoj havas la saman masnombron kiel $^{48}_{25}X$?
    c) Kiuj el la supraj atomoj entenas la saman nombron da nukleonoj kiel $^{48}_{25}X$?
    ĉ) Kiuj el la supraj atomoj entenas la saman nombron da neŭtronoj kiel $^{48}_{25}X$?

Atomaj Masoj

17. Oni trovis, ke provaĵo de litio de natura deveno konsistas el du izotopoj: $^{6}_{3}Li$ (en abundo de 7,42%) kaj $^{7}_{3}Li$ (en abundo de 92,58%). La relativaj masoj de tiuj ĉi du izotopoj estas 6,01 kaj 7,02 amu. Kalkulu la atoman mason de litio.
18. Provaĵo de nature trovita silicio estis analizita kaj ĝi konsistis el tri izotopoj: $^{28}_{14}Si$ (en abundo de 92,21%), $^{29}_{14}Si$ (en abundo de 4,70%) kaj $^{30}_{14}Si$ (en abundo de 3,09%). Iliaj relativaj masoj estis 27,98, 28,98 kaj 29,97 respekive amu. Kalkulu la atoman mason de silicio.
19. Kiom-oble pli peza estas unu atomo de oro ol unu atomo de berilio, mez-valore?
20. Laŭ nova skalo de atomaj masoj, nomata la skalo de Jones-Miller, la punkto de rilato estas arbitre difinita por fluoro-19 kiel 10,0 amu. (Notu, ke en la naturo ekzistas nur unu speco da fluor-atomoj; ĝi estas do unu-izotopa.) Kalkulu la atoman mason de arĝento laŭ tiu ĉi nova skalo.

4 KEMIAJ KALKULOJ

CELOJ

4.1 Kompreni la konvenciojn uzatajn por skribi kemiajn ekvaciojn. Post havigo de la formuloj de reakciantoj kaj produktoj en kemia ekvacio, skribi bilancitan kemian ekvacion.

4.2 Uzante la formulon kaj atomajn masojn de substanco, kalkuli ĝian molekulan mason.

4.3 Determini la bezonatajn mas-rilatumojn por provaĵoj de du aŭ pli da puraj substancoj tiel ke ili enhavu identajn nombrojn da atomoj aŭ molekuloj.

4.4 Interpreti la molon kiel nombradan unuon, ankaŭ kiel varieblan mas-unuon. Interpreti subindicojn en kemiaj formuloj kaj koeficientojn en bilancitaj kemiaj ekvacioj laŭ moloj.

4.5 Ricevinte la kemian formulon kaj unu el la sekvantaj informoj pri pura substanco, kalkuli iun ajn ceteran informon: a) maso de la substanco, b) moloj de la substanco, c) nombro da molekuloj de la substanco, ĉ) atomoj de iu ajn elemento en la substanco, d) maso de iu ajn elemento en la substanco, e) moloj de iu ajn elemento en la substanco. Uzi bilancitan kemian ekvacion por kalkuli la kvantojn da produktoj formiĝintaj aŭ reakciantoj konsumiĝintaj en kemia reakcio.

En tiu ĉi ĉapitro ni konsideros la kvantecajn implicojn de kemiaj formuloj kaj ekvacioj. Ni jam prezentis en Sekcio 2.7 informon pri formuloj, kie ni rimarkigis ke kemiaj formuloj priskribas la konsiston de molekuloj laŭ ties konsistigaj atomoj. Ĉi tie ni unuafoje konsideros kemiajn ekvaciojn. Ni lernos kiel prezenti kemiajn reakciojn per ekvacioj helpe de kemiaj formuloj. Ni ankaŭ lernos kiel derivi kvantecajn rilatojn per kaj kemiaj formuloj kaj kemiaj ekvacioj.

4.1 KEMIAJ EKVACIOJ

Kemia ekvacio; reakcianto; produkto

Kemia ekvacio estas skribita priskribo pri kemia ŝanĝiĝo en kiu formuloj kaj simboloj anstataŭas vortojn por la substancoj kiuj reakcias (reakciantoj), kaj la substancoj kiuj formiĝas (produktoj).

La sekva ekzemplo montras la kontraston inter vorta priskribo pri kemia reakcio kaj kemia ekvacio:

vorta priskribo:	kalcia sulfido kaj akvo reakcias, produktante kalcian oksidon kaj hidrogenan sulfidon	
kemia ekvacio:	$CaS + H_2O \longrightarrow CaO + H_2S$	4-1

La konvencioj uzataj por skribi kemian ekvacion estas:

1. Maldekstraflanke de la ekvacio oni skribas la ĝustajn formulojn de la reakciantoj.

$$\underline{CaS + H_2O} \longrightarrow CaO + H_2S$$

2. Dekstraflanke de la ekvacio oni skribas la ĝustajn formulojn de la produktoj.

$$CaS + H_2O \longrightarrow \underline{CaO + H_2S}$$

3. La reakciantoj kaj la produktoj estas disigitaj per sago celanta la produktojn.

$$CaS + H_2O \longrightarrow CaO + H_2S$$

4. Plus-signoj estas uzitaj inter la diversaj reakciantoj kaj produktoj.

$$CaS + H_2O \longrightarrow CaO + H_2S$$

Ni legas ekvacion 4-1 jene: la reakciantoj CaS kaj H_2O reakcias, formante,

aŭ donante, la produktojn CaO kaj H_2S.

Valida kemia ekvacio devas plenumi du kondiĉojn: (1) ĝi devas esti konsekvenca kun eksperimentaj faktoj -- nur reakciantoj kaj produktoj efektive partoprenantaj en la reakcio aperas en la ekvacio; kaj (2) la ekvacio nepre devas esti konsekvenca kun la leĝo de konserviĝo de maso (Sekcio 3.2) -- devas ekzisti la sama nombro da produktaj atomoj kiel reakciantaj atomoj, ĉar materio nek kreiĝas nek detruiĝas en ordinara kemia reakcio.

bilancita kemia ekvacio
Kemiaj ekvacioj estas bilancitaj se ili obeas la leĝon de konserviĝo de maso.

Uzo de la supremenciitaj konvencioj ne certigas bilancitan ekvacion. Por tio, ni devas konstati la ekziston de la sama nombro da atomoj de ĉiu elemento ambaŭflanke de la ekvacio. Ni tion faras per la aldono de taŭgaj koeficientoj maldekstre de la formuloj. La koeficientoj alĝustigas la nombron da molekuloj de ĉiu substanco por atingi la deziratan bilancon de atomoj. Tiun ĉi bilancoprocedon plej bone montras ekzemplo.

Ekzemplo 4-1. Se la suba ekvacio ne estas jam bilancita kiel donite, ĝustigu ĝin:

$$FeS + HBr \longrightarrow FeBr_2 + H_2S$$

Solvo. Temas pri kvar tipoj de atomoj -- Fe, S, H, kaj Br. Elnombrado de ĉiu atomtipo ambaŭflanke de la ekvacio rezultigas jenon:

Tipo de atomo	Nombro maldekstre (reakciantoj)	Nombro dekstre (produktoj)
Fe	1	1
S	1	1
H	1	2
Br	1	2

Ĉi tiuj ciferoj montras ke la ekvacio ne estas bilancita, ĉar la nombro da atomoj H kaj Br diferencas maldekstre kaj dekstre de la ekvacio. Ekzistas ĉe la produktoj unu plia atomo de ĉiu ol ĉe la reakcia flanko de la ekvacio. Ni ĝustigos ĉi tion skribante 2 kiel koeficienton antaŭ HBr, unu el la reakciantoj maldekstre de la sago:

$$FeS + 2HBr \longrightarrow FeBr_2 + H_2S$$

Kvankam ni povus senti tenton uzi la formulon H_2Br_2 anstataŭ 2HBr, ni ne

rajtas tiel procedi, ĉar eksperimento montras ke molekulo de ajna kombinaĵo entenanta H kaj Br entenas nur du atomojn, unu de H kaj unu de Br. La formulo H_2Br_2 indikas molekulon entenantan kvar atomojn, dum la notacio 2HBr indikas du molekulojn, ĉiu entenanta du atomojn. Ni devas uzi la notacion 2HBr.

Ni povas resumi nian supran laboron per jena propozicio:

Por bilanci ekvacion, ne ŝanĝu subindicojn en molekulaj formuloj, sed nepre aldonu laŭbezone koeficientojn antaŭ la formulojn.

Komprenu profunde la distingon inter koeficiento kaj subindico per jena ilustraĵo:

$2H_2O$

Koeficiento (rilatas al la tuta formulo) subindico (rilatas nur al H)

Ekzemplo 4-2. Bilancu la sekvan ekvacion: $PbO_2 + H_2 \longrightarrow Pb + 2H_2O$.

Solvo. Por skribi bilancitan ekvacion, procedu jene:

1. Konstatinte la ekziston de du oksigen-atomoj maldekstre, kaj nur unu dekstre, ni bilancas la oksigenon per aldono de la koeficiento 2 tuj antaŭ H_2O.

$$PbO_2 + H_2 \longrightarrow Pb + 2H_2O$$

2. Nun ni bilancas la hidrogen-atomojn. Ĉar nun ekzistas kvar hidrogen-atomoj dekstre de la sago (en H_2O), ni bezonas kvar maldekstre. Ni atingas tion per aldono de 2 antaŭ H_2.

$$PbO_2 + 2H_2 \longrightarrow Pb + 2H_2O$$

3. Nun ni prikonsideros la plumbajn atomojn. Ĉar estas nur po unu plumba atomo ambaŭflanke de la ekvacio, plumbo estas jam bilancita. Oni ne bezonas pliajn koeficientojn. (Oni premisas koeficienton 1 sen fakte skribi ĝin.) La bilancita ekvacio sekve estas

$$PbO_2 + 2H_2 \longrightarrow Pb + 2H_2O.$$

4. Enestas en la bilancita ekvacio 1 atomo Pb, 4 atomoj H, kaj 2 atomoj O ambaŭflanke de la ekvacio. Ne gravas la ordo laŭ kiu oni pritraktas la bilancadon de la diversaj elementoj. Ĉifoje ni komenciĝis per oksigeno, sed sambone ni povus ekbilanci per hidrogeno aŭ per plumbo.

Pli ol unu aro da koeficientoj bilancos iun ajn ekvacion, kiel montras la sekvantaj ekzemploj:

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O \qquad 4\text{-}2$$

$$4H_2 + 2O_2 \longrightarrow 4H_2O \qquad 4\text{-}3$$

$$8H_2 + 4H_2 \longrightarrow 8H_2O \qquad 4\text{-}4$$

Ĉiuj tri ekvacioj estas matematike ĝustaj; ekzistas ambaŭflanke de la ekvacio egalaj nombroj de H atomoj kaj O atomoj. Oni preferas, tamen, la unuan formon, ĉar la uzataj koeficientoj devus esti la kiel eble plej malgranda aro da entjeroj. Kompare kun ekvacio 4-2, la koeficientoj en ekvacio 4-3 estas ĝuste duoble kaj tiuj en ekvacio 4-4 kvaroble pli grandaj.

Elementoj en la solida aŭ likva statoj ĉiam prezentiĝas kiel unuoblaj atomoj. Elementojn, kiuj ĉe ĉambraj temperaturoj estas gasoj, ni prezentas en la molekulaj formoj en kiuj ili aperas en la naturo. Oni konas unuatomajn, duatomajn, kaj kvaratomajn elementajn gasojn:

Unuatomaj -- He, Ne, Ar, Kr, Xe

Duatomaj -- H_2, O_2, N_2, F_2, Cl_2, Br_2 (vaporo), I_2 (vaporo)

Kvaratomaj -- P_4 (vaporo), As_4 (vaporo).*

*La kvar elementoj listigitaj kiel vaporoj ne estas gasoj je ĉambra temperaturo, sed vaporiĝas je iomete pli altaj temperaturoj. La estiĝintaj vaporoj enhavas molekulojn laŭ la indikitaj formuloj.

Uzo de tiuj ĉi molekulaj formuloj por gasoj klarigas kial oni skribas hidrogenon kiel H_2 anstataŭ H (vidu Ekvaciojn 4-2 kaj 4-4), kaj, simile, kial oni skribas oksigenon kiel O_2.

Aldone al uzo de la nepraj (devigaj) plus-signoj kaj la inter-metita sago en kemiaj ekvacioj, ekzistas nombro da nedevigaj simboloj por peri pliajn informojn pri reakcio. Vidu Tabelon 4-1.

Tabelo 4-1. Simboloj uzataj en ekvacioj

Simbolo	Signifo
Nepraj	
$\longrightarrow$	liveras aŭ produktas
+	plus
Nedevigaj	
(s)	solid(aĵ)o
(l)	likv(aĵ)o
(g)	gaso
(akv)	akva solvaĵo (substanco solvita en akvo)

La subaj tri ekvacioj estas la samaj kiel tiaj antaŭe donitaj, sed kun aldono de la nedevigaj simboloj:

$$FeS_{(s)} + 2HBr_{(g)} \longrightarrow FeBr_{2(s)} + H_2S_{(g)} \qquad 4\text{-}5$$

$$PbO_{2(s)} + 2H_{2(g)} \longrightarrow Pb_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \qquad 4\text{-}6$$

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} \qquad 4\text{-}7$$

Antaŭ ol forlasi la temon de ekvacioj, ni devas emfazi ke kemiaj ekvacioj estas konstatoj de faktoj lernitaj per eksperimento. Alivorte, ni ne povas trovi la produktojn de kemia reakcio simple per skribo de ekvacio. Ni devas antaŭe determini tiujn produktojn. Tiam ni povas esprimi la rezultojn per ekvacio.

4.2 MOLEKULAJ MASOJ

Ĉar ekzistas pli multe da kombinaĵoj ol elementoj, ni pli ofte renkontos en kemiaj *reakcioj kombinaĵojn ol elementojn. Pro tio, oportunos al ni* esprimi la mason de molekulo da kombinaĵo -- nomatan la molekula maso -- per la sama skalo kiun ni evoluigis por esprimi atomajn masojn (Sekcio 3.5).

molekula maso

Molekula maso estas difinita kiel la relativa maso de molekulo komparita kun la maso de unu atomo $^{12}_{6}C$, kiu laŭ arbitra difino estas 12,00 atomaj mas-unuoj (amu).

Oni facile determinas la molekulan mason por koncerna molekulo helpe de ties formulo kaj la atom-masoj de ĝiaj konsistigaj elementoj. Molekula maso estas simple la sumo de la atomaj masoj de ĉiuj atomoj, kiujn entenas la molekulo.

Ekzemplo 4-3. Kalkulu la molekulan mason de ĉiu el la sekvaj kombinaĵoj: a) H_2O b) Na_2CO_3.

Solvo.

a) Ĉiu molekulo de H_2O entenas du H atomojn kaj unu O atomon kun atomaj masoj de 1,0 kaj 16,0 amu respektive. Tial,

2 H atomoj = (2)(1,0 amu) = 2,0 amu
1 O atomo = (1)(16,0 amu) = 16,0 amu
molekula maso de H_2O = 18,0 amu

b) Ĉiu molekulo de Na_2CO_3 entenas du Na atomojn, unu C atomon, kaj tri O atomojn. La atomaj masoj estas, respektive, 23,0, 12,0, kaj 16,0 amu.

Ni vidas ke

2 Na atomoj = (2)(23,0 amu) = 46,0 amu
1 C atomo = (1)(12,0 amu) = 12,0 amu
3 O atomoj = (3)(16,0 amu) = 48,0 amu
molekula maso de $NaCO_3$ = 106,0 amu

4.3 NOMBRADO DE ERETOJ PER PESADO

Atomoj kaj molekuloj estas tiel malgrandaj kaj ne estas eble nombri ilin unu post alia. Tamen, ni ofte bezonas determini ilian nombron. Kemiistoj solvas tiun problemon per pesado de la substancoj enhavantaj la atomojn kiujn ili deziras nombri kaj kalkulado de la nombro da atomoj dank' al la trovitaj masoj. Ni komencos ilustri ĉi tiun fundamentan koncepton de nombrado per pesado, komparante la elementojn hidrogeno kaj fluoro. Estas tute arbitra elekto; ni egale bone povus uzi iun ajn atomparon.

Ni komenciĝu do per unu atomo de ĉiu elemento. La atomo F havas 19,0 amu, kiu estas ĝia atoma maso, kaj la atomo H havas 1,0 amu, ĝia atomo maso. Evidente, la F atomo havas 19,0-oble pli grandan atommason ol atomo H. Nun ni supozas la saman tipon de komparo por dek atomoj de ĉiu elemento. La dek F atomoj entute pezos 190,0 amu (10 x 19,0 amu) kaj la dek H atomoj entute pezos 10,0 amu (10 x 1,0 amu). Ankoraŭ denove, la suma maso de la dek F atomoj estas 19,0-oble pli granda ol la suma maso de la dek H atomoj. Ni daŭrigu la analizon, ĉifoje uzante x atomojn de kaj F kaj H, kie x estas ajna nombro. La x atomoj de F pezas x x 19,0 amu, kaj la x atomoj de H pezas x x 1,0 amu. Ni refoje tuj rimarkas tion, ke la suma maso de la F atomoj estas 19,0-oble pli granda ol la suma maso de la H atomoj. La rilatumo de la suma maso de F al la suma maso de H por ĉiu supredonita situacio jene resumiĝas.

Po unu atomo:

$$\frac{\text{suma maso de F}}{\text{suma maso de H}} = \frac{(1)(19,0\ \text{amu})}{(1)(1,0\ \text{amu})} = \frac{19,0}{1,0}$$

Po dek atomoj:

$$\frac{\text{suma maso de F}}{\text{suma maso de H}} = \frac{(10)(19,0\ \text{amu})}{(10)(1,0\ \text{amu})} = \frac{190,0}{10,0} = \frac{19,0}{1,0}$$

Po x atomoj:

$$\frac{\text{suma maso de F}}{\text{suma maso de H}} = \frac{(x)(19,0\ \text{amu})}{(x)(1,0\ \text{amu})} = \frac{19,0x}{1,0x} = \frac{19,0}{1,0}$$

Ĉiuloke la mas-rilatumo F/H identas (19,0/1,0), kaj ni rajtas ĝeneraligi la konstaton ke la suma maso de egalaj nombroj da atomoj F kaj H ĉiam estos en la rilato de 19,0/1,0. Utilas ankaŭ la inversigo de la sama konstato: provaĵoj de F kaj H, en kiuj oni trovis la mas-rilatumon 19,0/1,0, devas enhavi identajn nombrojn da atomoj. Tio validas senkonsidere al la uzataj mas-unuoj. Ekzemple, 19,0 gramoj da F enhavas la saman nombron da atomoj kiel 1,0 gramo da H, kaj 19,0 tunoj da F enhavas la saman nombron da atomoj kiel 1,0 tuno da H.

Rimarku ke la signifa mas-rilatumo estas tiu de la atomaj masoj de la du elementoj. Tio ĉiam validas senkonsidere al la elementoj koncernataj en la kalkuloj. Ĝenerale:

Provaĵoj de pluraj elementoj trovitaj en mas-rilatumoj egalaj al iliaj atomaj mas-rilatumoj devas enhavi identajn nombrojn da atomoj.

Tial do, la sekvaj provaĵoj enhavos la saman nombron da atomoj:

19,0 g da F	(atoma maso de F = 19,0 amu)
1,0 g da H	(atoma maso de H = 1,0 amu)
16,0 g da O	(atoma maso de O = 16,0 amu)
197,0 g da Au	(atoma maso de Au = 197,0 amu)

Se ni anstataŭigas atomajn masojn per molekulaj masoj, ni povas apliki tiujn ĉi samajn rezultojn al molekuloj. La substituo de molekulaj masoj al atomaj masoj validas, ĉar kaj atomaj masoj kaj molekulaj masoj ambaŭ baziĝas sur la sama normo $^{12}_{6}C$. Ĉiuj sekvaj provaĵoj tiele enhavas la saman nombron da molekuloj:

18,0 g da H_2O	(molekula maso de H_2O = 18,0 amu)
44,0 g da CO_2	(molekula maso de CO_2 = 44,0 amu)
64,1 g da SO_2	(molekula maso de SO_2 = 64,1 amu)

Ni nun povas fari la sekvantan ĝeneraligon, kiu aplikiĝas kaj al elementoj kaj al kombinaĵoj:

Provaĵoj de pluraj puraj substancoj trovitaj en mas-rilatumoj egalaj al iliaj atomaj aŭ molekulaj masoj devas enhavi identajn nombrojn da eretoj (atomoj aŭ molekuloj).

La sekvantaj provaĵoj tiale enhavas la saman nombron da eretoj:

19,0 g da F	(atoma maso = 19,0 amu)
18,0 g da H_2O	(molekula maso = 18,0 amu)

Ni konstatas ke por akiri provaĵojn de elementoj aŭ kombinaĵoj enhavantaj egalajn nombrojn da eretoj, ni bezonas nur elpesi kvantojn (en iuj ajn unuoj) nombre egalaj al la atomaj aŭ molekulaj masoj.

4.4 LA KONCEPTO DE MOLO

Specialaj unuoj por nombrado ekzistas en multaj fakoj. Tiel, papero vendiĝas en <u>rismoj</u> (500 folioj), krajonoj en <u>grocoj</u> (144 eroj), kaj ovoj en <u>dekduoj</u>. En la astronomio, oni mezuras grandajn distancojn per la <u>lum-jaro</u> ($9,49 \times 10^{12}$ km). La kemiistoj ankaŭ havas propran unuon por nombri aŭ kalkuli objektojn. Ĝi nomiĝas molo.

<u>molo</u>
Molo havas la nombran valoron de $6,02 \times 10^{23}$.

Ĝi estas grandega nombro, ĉar eĉ la plej malgranda sentebla maso de iu ajn pura substanco enhavas milionojn kaj milionojn da eretoj. Por kemiisto, <u>unu molo</u> ĉiam signifas $6,02 \times 10^{23}$ <u>objektojn</u>, ĉu ili estas atomoj, molekuloj, aŭ io alia. Komparu ĉi tion kun la ideo ke unu dekduo signifas 12 senrigarde al la identeco de la objektoj nombrotaj.*

*En SI estas <u>molo</u> unu el la 7 fundamentaj mezur-unuoj (vidu Tabelon 1-3). Laŭ SI ĝi estas difinita jene:
Molo (simbolo: mol) estas unuo de substanca kvanto. Molo estas substanca kvanto de la sistemo, kiu entenas precize tiom da masaj eretoj, kiom da atomoj enhavas 0,012 kg da karbono-12. Uzante la unuon molo, oni specifu la masajn eretojn (objektojn), kiuj estas mezurataj, ekz.: molo(j) da atomoj, molo(j) da molekuloj, molo(j) da jonoj, ktp.

La nombro $6,02 \times 10^{23}$ estis elektita kiel la baza nombrad-unuo por kemio

Ĉar per eksperimentoj oni konstatas ke ĝi estas la nombro da atomoj aŭ molekuloj, kiujn enhavas provaĵo de pura substanco, kiam tiu substanco havas mason en gramoj nombre egala al la atoma aŭ molekula maso de la substanco.

(Notu, ke la elekto de gramoj kiel la mas-unuo estas tio, kio igis la molon havi la nombran valoron $6,02 \times 10^{23}$. Aliaj mas-unuoj kondukus al nombroj diferencaj de $6,02 \times 10^{23}$.)

Ni povas vidi ke la molo havas striktan rilaton al la koncepto de nombrado per pesado, ĉar la mol-unuo devenas de la rilato inter la maso de substanco kaj la nombro da atomoj aŭ molekuloj (eretoj), kiuj konsistigas ĝin. En rilato al la mol-difino, validas jenaj egalaĵoj:

19,0 g da F (atoma maso = 19,0 amu) = 1 molo da F atomoj
= $6,02 \times 10^{23}$ F atomoj

16,0 g da O (atoma maso = 16,0 amu) = 1 molo da O atomoj
= $6,02 \times 10^{23}$ O atomoj

18,0 g da H_2O (molekula maso = 18,0 amu) = 1 molo da H_2O molekuloj
= $6,02 \times 10^{23}$ H_2O molekuloj

44,0 g da CO_2 (molekula maso = 44,0 amu) = 1 molo da CO_2 molekuloj
= $6,02 \times 10^{23}$ CO_2 molekuloj

nombro de Avogadro

La nombro da objektoj en unu molo, $6,02 \times 10^{23}$, kutime nomiĝas la nombro de Avogadro.

Ĝi estas tiel nomata honore al Amedeo Avogadro, itala fizikisto kiu elpensis konceptojn kiuj kondukis al ĝia determino.

La Molo kaj Kemiaj Formuloj

Kiel ni lernis en Sekcio 2.7, la nombraj subindicoj en kemia formulo signas la nombron da diversaj elementoj ĉeestantaj en unusola molekulo. Ekzemplo, la formulo N_2O_4 peras la informon ke 2 atomoj de nitrogeno kaj 4 atomoj de oksigeno enestas en unu molekulo de N_2O_4. Post enkonduko de la mol-koncepto, plua signifo povas esti donita al la subindicoj.

La nombraj subindicoj en formulo ankaŭ donas la nombron da atomoj de ĉiu ĉeestanta elemento en 1 molo da pura substanco.

Tio estas, 1 molo da N_2O_4 entenas 2 molojn da nitrogen-atomoj kaj 4 molojn da oksigen-atomoj.

La valideco de ĉi tiu interpreto por subindicoj derivîgas el tio, ke en x molekuloj de N_2O_4 estas $2x$ nitrogen-atomoj kaj $4x$ oksigen-atomoj. Senrigarde al la nombra valoro de x, devas esti duoble tiom da nitrogen-atomoj kiom da molekuloj de N_2O_4 kaj 4-oble tiom da oksigen-atomoj kiom da molekuloj de N_2O_4. En la speciala kazo kie x egalas al $6,02 \times 10^{23}$, la $6,02 \times 10^{23}$ N_2O_4 molekuloj entenas $12,04 \times 10^{23}$ nitrogen-atomojn kaj $24,08 \times 10^{23}$ oksigen-atomojn. Pro tio, ke $6,02 \times 10^{23}$ egalas unu molon, $12,04 \times 10^{23}$ egalas 2 molojn, kaj $24,08 \times 10^{23}$ egalas 4 molojn, per anstataŭigo oni povas ŝanĝi la supran frazon por ricevi jenon: 1 molo da N_2O_4 entenas 2 molojn da nitrogen-atomoj kaj 4 molojn da oksigen-atomoj. Sekve de tio, la mol-rilatumo estas la sama kiel la subindico-rilatumo.

Ekzemplo 4-4. Kiom da oreloj, vostoj, kaj kruroj havas 1 molo da sendifektaj kunikloj?

Solvo. Eĉ kvankam ne estante kemia ekzemplo, ĝi eble helpos al vi eksposedi la rilatojn inter la individuaj partoj de formulo kaj la tuta formulo mem. La kuniklopartoj rilatas al tuta kuniklo same kiel la formulopartoj rilatas al tuta formulo.

Oreloj. Ĉiu kuniklo surhavas 2 orelojn, tiel ekzistas rilatumo 2:1 inter oreloj kaj kunikloj. Sekve 1 molo da kunikloj surhavas 2 molojn da oreloj.

Vostoj. Sam-maniere, ĉiu kuniklo surhavas nur unu voston, do ekzistas rilatumo 1:1 kaj 1 molo da kunikloj surhavas 1 molon da vostoj.

Kruroj. La kvar kruroj de ĉiu kuniklo rezultigas rilatumon 4:1 inter kruroj kaj kunikloj, do unu molo da kunikloj surhavas kvar molojn da kruroj.

Ekzemplo 4-5. Kiom da moloj da ĉia atomspeco enestas en 1 molo da kloroformo $CHCl_3$?

Solvo. Ĝuste kiel ĉiu kuniklo surhavas 2 orelojn, ĉiu kloroforma molekulo entenas 1 atomon C, 1 atomon H, kaj 3 atomojn Cl. Tial, 1 molo da $CHCl_3$ entenas 1 molon da C atomoj, 1 molon da H atomoj, kaj 3 molojn da Cl atomoj.

La Molo kaj Kemiaj Ekvacioj

Kiel ni vidis en Sekcio 4.1, la koeficientoj en bilancita kemia ekvacio donas la relativan nombron da molekuloj de reakciantoj kaj produktoj. Ekzemple:

$$4NH_3 + 5O_2 \longrightarrow 4NO + 6H_2O \qquad 4\text{-}8$$

La ekvacio indikas ke 4 molekuloj de NH_3 reakcias kun 5 molekuloj de O_2, produktante 4 molekulojn de NO kaj 6 molekulojn de H_2O.

La koeficientoj en bilancita ekvacio ankaŭ donas la nombron da moloj da reakciantoj kaj produktoj partoprenantaj en la reakcio.

La sekvanta rezonado montras kial ĉi tiu tezo validas. Bilancita ekvacio restas valida eĉ se ĉiu el ĝiaj koeficientoj estas multiplikitaj per la sama nombro. Pro tio, ni rajtas reskribi ekvacion 4-8 kiel

$$4\chi\ NH_3 + 5\chi\ O_2 \longrightarrow 4\chi\ NO + 6\chi\ H_2O \qquad 4\text{-}9$$

kie χ povas esti ajna pozitiva nombro. La situacio kie χ estas egala al $6{,}02 \times 10^{23}$ aparte interesas nin, ĉar $6{,}02 \times 10^{23}$ estas 1 molo. Pro tio, ke χ egalas 1 *molon*, *ni per substituo havas*

$$4 \text{ moloj } NH_3 + 5 \text{ moloj } O_2 \longrightarrow 4 \text{ moloj } NO + 6 \text{ moloj } H_2O \qquad 4\text{-}10$$

Ĉi tiu rilato aplikiĝas al ĉiuj bilancitaj ekvacioj; tio estas, la koeficientoj de bilancita ekvacio prezentas la relativan nombron da molekuloj aŭ moloj da reakciantoj kaj produktoj.

4.5 MOLOJ KAJ KEMIAJ KALKULOJ

En Sekcio 1.8 ni instruis metodon por solvi nombrajn problemojn nomatan dimensia analizo. La saman metodon ni uzos por solvi kemiajn problemojn. Se vi bezonas restudon pri la metodo, vidu Sekcion 1.8 antaŭ ol pluiri en tiu ĉi sekcio.

La tri atributoj plej ofte kalkulataj en kemiaj problemoj estas: (1) la nombro da eretoj de substanco, (2) la nombro da moloj de substanco, kaj (3) la nombro da gramoj (maso) de substanco. Plej ofte oni donas al vi almenaŭ unu el ĉi tiuj tri kaj petas ke vi kalkulu unu el la aliaj du. Vi trovos en Bildo 4-1 trans-kalkulajn faktorojn kiuj interrilatigas la diversajn atributojn.

Ni konstatas per Bildo 4-1 ke la ŝlosilaj faktoroj estas: (1) nombro de

Avogadro, (2) atomaj kaj molekulaj masoj, kaj (3) la koeficientoj en kemia ekvacio aŭ formulo de kombinaĵo. La nombro de Avogadro liveras rilaton inter la nombro da eretoj de substanco kaj la nombro da moloj de la sama substanco. Ĉiam estas $6,02 \times 10^{23}$ eretoj (atomoj aŭ molekuloj) en unu molo. Molekulaj aŭ atomaj masoj havigas al ni rilaton inter la nombro da gramoj de substanco kaj la nombro da moloj de la sama substanco. Unu molo da substanco enhavas mason en gramoj egala al sia atoma maso (por elementoj) aŭ sia molekula maso (por kombinaĵoj). La koeficientoj en bilancita kemia ekvacio aŭ la formulo de kombinaĵo liveras rilaton inter la nombro da moloj da unu substanco kaj la nombro da moloj da alia substanco.

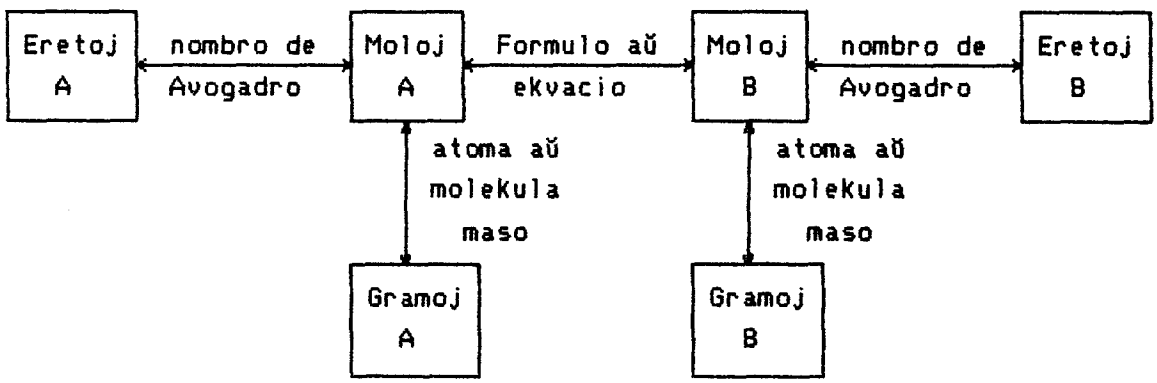
Ekzemplo 4-6. La haluciniga drogo LSD havas la formulon $C_{24}H_{30}N_3O$. Kiom da molekuloj enhavas 0,10 gramoj da LSD?

Solvo. Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas 0,10 gramoj da LSD. La unuoj de la dezirita nombro estas molekuloj de LSD. Tiel,

0,10 gramo LSD = ? molekuloj LSD

Paŝo 3. Laŭ la skemo de Bildo 4-1 ni devas sekvi vojon de gramoj A al eretoj A uzante du trankalkulajn faktorojn, unue la molekulan mason, kaj due la nombron de Avogadro:

gramoj A $\xrightarrow{\text{molekula maso}}$ moloj $\xrightarrow{\text{nombro de Avogadro}}$ eretoj A



Bildo 4-1. Rilatoj utilaj por problem-solvado

La matematika starigo estas:

$$0,10\ \cancel{\text{g LSD}} \times \frac{1\ \cancel{\text{molo LSD}}}{376\ \cancel{\text{g LSD}}} \times \frac{6,02 \times 10^{23}\ \text{molekuloj LSD}}{1\ \cancel{\text{molo LSD}}} = \text{molekuloj LSD}$$

La nombro 376 en la unua transkalkula faktoro estas la molekul-maso de LSD. Ĝi ne estas donita en la problemo, sed ni devis kalkuli ĝin per la metodo skizita en Sekcio 4.2.

Paŝo 4.

$$\frac{(0{,}10)(1)(6{,}02 \times 10^{23})}{(376)(1)} \text{ molekuloj LSD} = 1{,}6 \times 10^{20} \text{ molekuloj LSD}$$

Ekzemplo 4-7. Kiom estas la maso de unusola molekulo de aspirino? La formulo de aspirino estas $C_9H_8O_4$.

Solvo. Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas unu molekulo da aspirino.

1 molekulo de aspirino = ? gramoj da aspirino

Paŝo 3. La starigo de tiu ĉi problemo estas la inverso de la antaŭa probemo, ĉar la nombro da eretoj estas donita kaj petata estas la nombro da gramoj de la sama substanco. La voj-streko laŭ Bildo 4-1 do estas:

$$\textit{eretoj A} \xrightarrow{\text{nombro de Avogadro}} \textit{moloj A} \xrightarrow{\text{molekula maso}} \textit{gramoj A}$$

Matematike:

$$1 \text{ molekulo } C_9H_8O_4 \times \frac{1 \text{ mole } C_9H_8O_4}{6{,}02 \times 10^{23} \text{ molekuloj } C_9H_8O_4} \times \frac{180 \text{ g } C_9H_8O_4}{1 \text{ mole } C_9H_8O_4} = \text{g } C_9H_8O_4$$

Ankoraŭfoje, la molekula maso uzita en la dua transkalkula faktoro devis esti kalkulita el la atomaj masoj de C, H, kaj O kaj la aspirina formulo.

Paŝo 4.

$$\frac{(1)(1)(180)}{(6{,}02 \times 10^{23})(1)} \text{ g } C_9H_8O_4 = 3{,}0 \times 10^{-22} \text{ g } C_9H_8O_4$$

Ekzemplo 4-8. Propano, C_3H_8, estas hejt-gaso kiu brulas en oksigeno laŭ jena bilancita ekvacio:

$$C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 4H_2O + 3CO_2 \qquad 4\text{-}11$$

Kiom da O_2 bezoniĝas por plene reakcii kun 10,0 gramoj da propano?

Solvo. Paŝoj 1 kaj 2. Estas grava diferenco inter ĉi tiu problemo kaj la antaŭaj du. Ni tie ĉi pritraktas ne unu sed du malsamajn substancojn, oksigenon kaj propanon. La donita kvanto estas gramoj da propano (substanco A). Oni petas nin kalkuli la gramojn da oksigeno (substanco B).

10,0 gramoj da propano = ? gramoj da oksigeno

Paŝo 3. Rilate Bildon 4-1, tiu ĉi estas problemo "gramoj A al gramoj B". La konvena aro da transkalkuloj estas:

gramoj A $\xrightarrow{\text{molekula maso}}$ moloj A $\xrightarrow{\text{ekvacio}}$ moloj B $\xrightarrow{\text{molekula maso}}$ gramoj B

La matematika starigo estas:

$$10{,}0\ \cancel{\text{g } C_3H_8} \times \frac{1\ \cancel{\text{molo } C_3H_8}}{44{,}0\ \cancel{\text{g } C_3H_8}} \times \frac{5\ \cancel{\text{moloj } O_2}}{1\ \cancel{\text{molo } C_3H_8}} \times \frac{32{,}0\ \text{g } O_2}{1\ \cancel{\text{molo } O_2}} = \text{g } O_2$$

La nombrojn 5 kaj 1 de la dua transkalkula faktoro ni havigas al ni el la bilancita ekvacio (4-11), kie 5 kaj 1 estas la koeficientoj de O_2 kaj C_3H_8 respektive.

Paŝo 4.

$$\frac{(10{,}0)(1)(5)(32{,}0)}{(44{,}0)(1)(1)}\ \text{g } O_2 = 36{,}4\ \text{g } O_2$$

Ekzemplo 4-9. Kiom da gramoj da nitrogeno enestas en 100,0 gramoj de la tre potenca eksplodaĵo TNT, kies formulo estas $C_7H_5O_6N_3$?

Solvo. Paŝoj 1 kaj 2. Tiu ĉi problemo, same kiel la antaŭa, implicas la transkalkulan voj-strekon "gramoj A al gramoj B". Ĉi-kaze substanco A estas TNT kaj substanco B estas N.

100,0 gramoj TNT = ? gramoj N

Paŝo 3. Kvankam simila, la detala voj-streko ne estas identa kun tiu de la supra problemo.

gramoj A $\xrightarrow{\text{molekula maso}}$ moloj A $\xrightarrow{\text{formulo}}$ moloj B $\xrightarrow{\text{molekula maso}}$ gramoj B

En ekzemplo 4-8, la ŝanĝo de moloj A al moloj B okazis helpe de la koeficientoj en la bilancita ekvacio. Ĉi-probleme, oni ne donas ekvacion, ĉar ekvacio ne estas necesa. La transkalkulan faktoron (de moloj A al moloj B) oni kalkulas per uzo de la informo en la subindicoj de la formulo mem. Da nitrogenaj atomoj $C_7H_5O_6N_3$ entenas 3 molojn. Matematike:

$$100{,}0\ \cancel{\text{g TNT}} \times \frac{1\ \cancel{\text{molo TNT}}}{227{,}0\ \cancel{\text{g TNT}}} \times \frac{3\ \cancel{\text{moloj N}}}{1\ \cancel{\text{molo TNT}}} \times \frac{14{,}0\ \text{g N}}{1\ \cancel{\text{molo N}}} = \text{g N}$$

Paŝo 4.

$$= \frac{(100,0)(1)(3)(14,0)}{(227,0)(1)(1)} \text{ g N} = 18,5 \text{ g N}$$

EKZERCOJ

Kemiaj Ekvacioj

1. Kiu postulo devas antaŭe plenumiĝi por konsideri ke kemia ekvacio estas bilancita?
2. Kiom da atomoj, kaj kiom da apartaj eretoj de la elemento A prezentas ĉiu el jenaj signaroj?
   a) A_8 b) $4A_2$ c) $2A_4$ ĉ) 8A
3. Bilancigu jenajn ekvaciojn:
   a) $Mg + O_2 \longrightarrow MgO$
   b) $KClO_3 \longrightarrow KCl + O_2$
   c) $SO_2 + O_2 \longrightarrow SO_3$
   ĉ) $H_2O_2 \longrightarrow O_2 + H_2O$
   d) $C_2H_4 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$
   e) $HCl + Zn \longrightarrow ZnCl_2 + H_2$
   f) $C_2H_6 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$
   g) $Na_2O_2 + H_2O \longrightarrow O_2 + NaOH$
4. Kion signifas la interkrampaj simboloj en ĉi-malsupra bilancita ekvacio?
$$PbO_{2(s)} + 2H_{2(g)} \longrightarrow Pb_{(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

Molekulaj Masoj

5. Determinu la molekulan mason por ĉiu el la sekvaj substancoj. Havigu al vi la bezonatajn atom-masojn el la tabelo ene de la malantaŭa kovrilo.
   a) SnF_2 (stana(II) fluorido -- aldonaĵo al dentopasto)
   b) $FeSO_4$ (fera(II) sulfato -- uzata en la kuracado de anemio)
   c) $C_{12}H_{22}O_{11}$ (sakarozo -- tabla sukero)
   ĉ) $C_9H_8O_4$ (naftaleno -- ingredienco en globoj kontraŭtineaj)
   d) $C_{21}H_{28}O_5$ (kortizono -- uzata en la kuracado de iaj artritoj)
   e) $C_{14}H_9Cl_5$ (DDT -- insekt-mortigenzo)
6. Izobutila formiato estas kombinaĵo parte respondeca por la karakteriza odoro kaj gusto de framboj. Ĝi havas molekulan mason de 101 amu, kaj la formulon $C_xH_{10}O_2$. Kiun nombron prezentas x en la formulo?

Moloj, Gramoj, kaj Eretoj

7. Kiom estus la valoro de la nombro de Avogadro se ĝi estus difinita kiel la nombro da eretoj en provaĵo de pura substanco en miligramoj (anstataŭ gramoj) nombre egala al la atoma aŭ molekula maso de la substanco?
8. Karbona monoksido, CO, estas venena gaso produktata divers-kvante dum bruligo de benzino aŭ aliaj karbon-entenaj brulaĵoj. Kalkulu kiom da CO molekuloj troviĝas en jenaj mol-kvantoj da CO:

a) 3,67 moloj da CO b) 1,00 molo da CO c) 0,023 molo da CO

9. Kiom da gramoj pezas ĉiu el la mol-kvantoj da CO en problemo 8?

10. La substanco norepinefrino (noradrenalino) grave rolas en la transporto de mesaĝoj laŭ nervoj en la homa korpo. Ĝia formulo estas $C_8H_{11}O_3N$. Kiom da moloj da noradrenalinaj molekuloj troviĝas en la sekvaj kvantoj de tiu substanco?

a) 22,0 gramoj b) 3,00 miligramoj c) 1,00 kilogramo

11. Kiom da gramoj pezos ĉiu el la sekvaj nombroj da atomoj?

a) $3,01 \times 10^{23}$ arĝentaj atomaj

b) $2,50 \times 10^{10}$ kupraj atomaj c) 1 oksigena atomo

12. La meza ĉiutaga enpreno (nutraĵo kaj akvo) homa de la spur-elementoj kupro, fero, kaj kromio estas 1,3 mg, 15 mg, kaj 0,16 mg respektive. Kalkulu la nombron da atomoj de ĉiu el tiuj ĉi metaloj ĉiutage konsumataj.

13. Enflurano, kiu havas la formulon $C_3H_2ClF_5O$, nuntempe estas vaste uzata kiel kirurgia anestezaĵo. La koncentreco en pacienta sango dum kirurgio tipe atingas po 20 mg en ĉiu 100 ml da sango. Tiom da enflurano (20mg) enhavas kiom da

a) moloj de la kombinaĵo?
b) unuopaj molekuloj de kombinaĵo?
c) moloj da fluoraj atomoj?
ĉ) karbon-atomoj?
d) gramoj da hidrogeno?
e) ĉiaj atomoj?

14. Supozu ke banko okazigas rabat-vendon por or-atomoj. Oni malkarigas la prezon ĝis unu speso por miliardo da atomoj (10^9). Kiom kostas je tiu ĉi prezo unu gramo da oro?

15. Kalkulu la atom-mason de elemento X surbaze de la sekvantaj informoj: (1) en a naturo troviĝas nur unu izotopo de X, kaj (2) unu atomo de X pezas $1,71 \times 10^{-22}$ gramon.

<u>Reakciantoj kaj Produktoj</u>

16. La detrua povo de eksplodo de nitroglicerino ($C_3H_5N_3O_9$) rezultas el la fulmorapida produktiĝo de vasta volumeno de gasoj laŭ la ekvacio

$$4C_3H_5N_3O_{9(l)} \longrightarrow 12CO_{2(g)} + 6N_{2(g)} + O_{2(g)} + 10H_{2(g)}$$

a) Kiom da moloj da gasaj produktoj rezultas el eksplodo de unu molo da trinitroglicerino?
b) Kiom da gramoj da N_2 produktas eksplodo de 100 gramoj da trinitroglicerino?

17. Usonaj aŭtomobiloj devas enhavi en si katalizan transformilon, kiu purigas la ellas-gasojn. Ĝi ŝanĝas karbonan monoksidon (CO) en karbonan dioksidon (CO_2) laŭ jena ekvacio:

$$2CO + O_2 \longrightarrow 2CO_2$$

a) Kiom da O_2 (en gramoj) estas bezonita por plene reakcii kun 100 gramoj da CO?
b) Kiom da CO_2 (en gramoj) produktiĝas dum 20 gramoj da CO reakcias?

18. La ĉefa konsistiganto de tergaso, uzata kiel hejtaĵo en domoj, estas metano (CH_4). Ĝi brulas en aero (reakcias kun O), produktante karbonan dioksidon (CO_2) kaj akvovaporon (H_2O).

a) Skribu bilancitan ekvacion por tiu ĉi reakcio.
b) Kiom da gramoj da karbona dioksido produktiĝas kiam 2,0 gramoj da metano brulas?

5 LA ELEKTRONA STRUKTURO DE ATOMOJ

CELOJ

5.1 Kompreni kaj pervorte esprimi la periodan leĝon.

5.2 Kompreni la fundamenton surbaze de kiu organiziĝas la perioda tabelo. Kompreni la rilaton de la terminoj periodo kaj grupo al la perioda tabelo. Listigi ĝeneralajn sciojn donitajn en la perioda tabelo.

5.3 Kompreni la uzon de la terminoj ŝelo, subŝelo, kaj orbitalo por priskribi elektronajn "kondutajn figurojn". Kompreni kiel la permesebla nombro da elektronoj en ŝelo, subŝelo, kaj orbitalo rilatas inter si.

5.4 Kompreni kaj skribe desegni elektronajn konfiguraciojn.

5.5 Klarigi la periodan leĝon helpe de elektronaj konfiguracioj.

5.6 Per uzo de la perioda tabelo, determini la subŝelan lokiĝon de ĉefrola elektrono por donita atomo. Kunrilatigi elektronajn konfiguraciojn de elementoj kun iliaj pozicioj en la perioda tabelo.

5.7 Klasi donitan elementon sub (1) nobla gaso, ĉefgrupa elemento, transira elemento, aŭ maloft-tera elemento; (2) metalo, nemetalo, aŭ duonmetalo.

En Ĉapitro 3 ni lernis jenajn faktojn pri elektronoj:

1. Ili estas unu el tri fundamentaj subatomaj eretoj kaj la ceteraj du estas protonoj kaj neŭtronoj.
2. Ili havas tre malmultan mason kompare kun protonoj kaj neŭtronoj.
3. Ili troviĝas ekster la nukleo de atomo.
4. Ili rapidege moviĝas ĉirkaŭ la nukleo en volumeno kiu difinas la amplekson de la atomo.

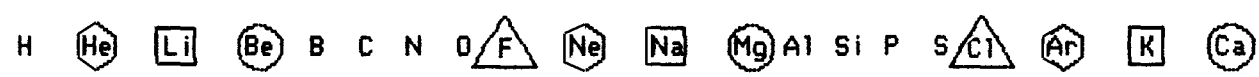
Endas al ni multe pli scii pri tiu ĉi ereto, por ke ni komprenu la kemian konduton de la elementoj. Estas tiel, ĉar la nombro kaj aranĝiĝo de elektronoj ĉirkaŭ la nukleo determinas la kemiajn ecojn de la atomo.

5.1 LA PERIODA LEĜO

Dum la frua parto de la deknaŭa jarcento, abundo da kemiaj faktoj fariĝis disponebla dank' al detalaj studoj de la elementoj jam tiam malkovritaj. Esperante sistemigi la aranĝon de la faktoj en ordo, tiamaniere multe faciligante la studon de kemio, sciencistoj komencis serĉi ordon en la multiĝantaj kemiaj informoj. La ankoraŭ neklarigita sed konata fakto ke certaj elementoj havas ecojn tre similajn al tiuj de aliaj elementoj spronis ilin en la esploroj. Multaj provoj estis faritaj trovi kialojn por klarigi tiajn similecojn kaj uzi ilin por havigi metodon aranĝi kaj klasi la elementojn.

En 1869 oni atingis kulminon en tiuj klopodoj per malkovro de tiu, kiun oni nun nomas la perioda leĝo. Ĝi estis sendepende proponita de kaj la rusa kemiisto Dmitri Mendeleev kaj la germana kemiisto Julius Lothar Meyer. En moderna formo, ĝi tekstas jene:

<u>perioda leĝo</u>
Kiam oni ordigas ĉiujn elementojn laŭ kreskantaj atom-numeroj, elementoj kun similaj kemiaj ecoj troviĝas ĉe periodaj (regule ripetiĝantaj) interspacoj.



<u>Bildo 5-1</u>. Periodeco de ecoj kiam elementoj estas aranĝitaj laŭ kreskanta atom-numero

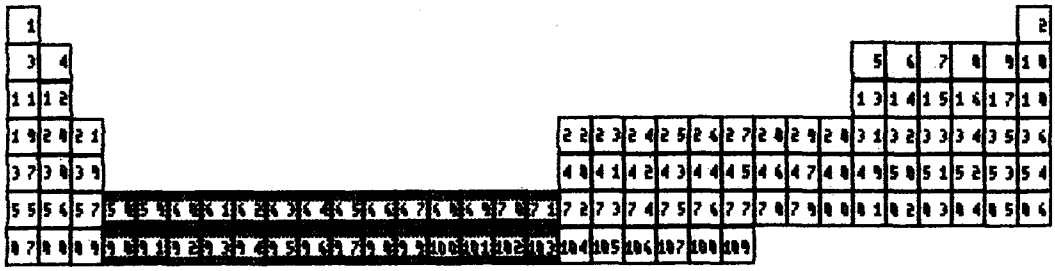
Ni ilustras en Bildo 5-1 ĉi tiun ripetiĝan fenomenon por elementoj kun

malaltaj atom-numeroj. Tion ni faras per uzo de similaj geometriaj simboloj (cirklo, triangulo, ktp) por figuri elementojn kun similaj ecoj. Por simpleco ni prezentas nur kvar tipojn de ripetiĝoj, sed vi rimarkos ke ĉiu simbolo ripetiĝas por ĉiu oka elemento en la vico.

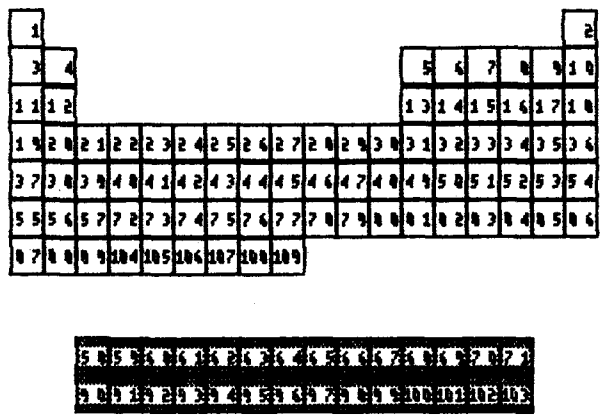
Dum multaj jaroj post ĝia malkovro, oni ne sukcesis klarigi kial ĝi tiel funkcias, sed ĉar ĝi ja utilas, oni uzis ĝin kiel empirian leĝon. La malkovro de elektronoj, kaj la formulado de teorio por priskribi kaj antaŭdiri ilian aranĝiĝon en la atomo alportas teorian klarigon pri la perioda leĝo kaj forigis la empirian etikedon. Ni plu klarigos la periodan leĝon laŭ elektrona teorio poste en ĉi ĉapitro (Sekcio 5.5).

5.2 LA PERIODA TABELO

Grafika prezento de la konduto priskribita per la perioda leĝo estas perioda tabelo. La elementoj en tia tabelo estas ordigitaj laŭ kreskantaj atom-numeroj tiel ke la antaŭdirataj de la perioda leĝo similecoj fariĝas evidentaj. Multaj diversaj aranĝoj de la tabelo povas plenumi tiun ĉi



(a)



(b)

Bildo 5-2. Formoj de la perioda tabelo: (a) perioda tabelo kun elementoj 58-71 kaj 90-93 (kun griza fono) en la ĝustaj lokoj, (b) perioda tabelo modifita por konservi spacon kun elementoj 58-71 kaj 90-93 (kun griza fono) metitaj ĉe la fundo.

karakterizon, tial ekzistas multaj diversaj formoj de la perioda tabelo. La plej komun-uza hodiaŭa formo aperas interne de la antaŭa kovrilpaĝo.

perioda tabelo

En ĉi tiu moderna tabelo, elementoj de similaj ecoj estas aranĝitaj en vertikalaj kolumnoj.

Ĉiu elemento aperas en propra kvadrata fako enhavanta la simbolon de la elemento, la atoman numeron (graslitere), kaj la atoman mason (sub la atoma numero).

Rimarku ke la aranĝo de la elementoj en la tabelo interne de la antaŭa kovrilpaĝo ŝajne malobeas la regulon pri sinsekvo laŭ kreskantaj atom-numeroj. Ni vidas ke elemento 72 rekte sekvas elementon 57, kaj elemento 104 sekvas atomon 89, dum elementoj 58-71 kaj 90-103 estas vicigitaj malsupre de la tabelo. Ĝustadire, ĉi tiuj du vicoj devus aperi

en la korpo de la tabelo, kiel montriĝas en Bildo 5-2 (a), sed por ŝpari horizontalan spacon, oni lokas ilin kiel montrite en Bildo 5-2 (b). Se tion oni akceptas, ĉi escepto devus prezenti nenian problemon.

grupo (familio)

Ĉiu vertikala kolumno de la perioda tabelo (enhavanta elementojn de similaj ecoj) nomiĝas grupo (aŭ familio).

Ekzemple, elementoj 8, 16, 34, 52, kaj 84 havas similajn ecojn kaj konsistigas grupon. La grupa numero skribiĝas per Romanaj ciferoj ĉe la supro de ĉiu kolumno. Tiel la ĵus menciitaj kvin elementoj konsistigas grupon VIA.*

*Avizo! La leganto sciu, ke lastatempe (1985) oni decidis ŝanĝi la kolumno-numerojn de la perioda tabelo. Laŭ la decido, la Romanajn ciferojn anstataŭas simpla numerado de 1 al 18 (de maldekstre dekstren) por ĉiu kolumno. La bezono por tiu ŝanĝo estas, ke la usonanoj (tiu ĉi teksto ankaŭ) havas malsaman numeradon ol la eŭropanoj. Noto sur la kovrila paĝo detale klarigas la diferencon.

periodo

Horizontalaj vicoj en la tabelo nomiĝas periodoj.

La numeroj de la periodoj aperas apud la unua maldekstra vertikala kolumno sur la interno de la antaŭa kovrilo. Sekve, en la tuta tabelo vi trovos unikan lokon por ĉiu elemento kiu apartenas al kaj periodo kaj grupo. Cezio, atom-numero 55, apartenas al periodo 6 kaj al grupo IA (la alkalioj). Simile, kadmio, atom-numero 48, apartenas al periodo 5 kaj al grupo IIB.

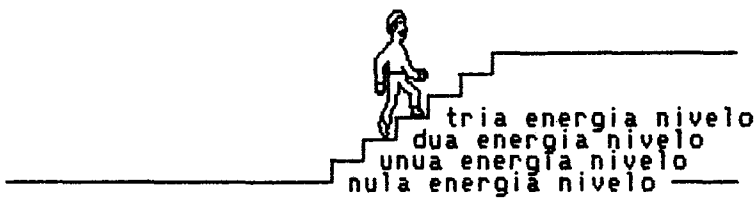
5.3 ARANĜIĜO DE ELEKTRONOJ ĈIRKAŬ LA NUKLEO

Scioj pri la konduto de elektronoj, kiel ili moviĝas ĉirkaŭ la nukleo, venas el ege kompleksa matematika teorio nomata kvantuma meĥaniko. Detala priskribo de tiu teorio mem, kiu traktas la leĝojn regantajn la moviĝon de tiaj tre malgrandaj eretoj kiel elektronoj, estas ekster la kadro de enkonduka kurso. Sed kelkaj simplaj konceptoj el ĝi ebligos al ni kompreni la fundamenton de la perioda leĝo kaj perioda tabelo. Per ĝi ni ankaŭ vidos la bazajn regulojn regantajn la formiĝon de kombinaĵoj (Vidu Ĉapitron 6).

kvantumiĝo

Laŭ kvantuma meĥaniko, elektrono povas havi nur unu el iuj specifaj energiaj niveloj. Alivorte, ne ĉiuj energiaj niveloj estas permesitaj. Ĉi tion oni nomas kvantumiĝo de energio.

Persono grimpanta ŝtuparon estas ekzemplo de kvantumiĝo. La energio de persono sur la ŝtuparo rilatas al la alto super la planko, kaj evidente estas kvantumiĝinta, ĉar eblas nur certaj konstantaj altoj. Ĉi tiu situacio montriĝas en Bildo 5-3.



Bildo 5-3. Kvantumiĝo de energio sur ŝtuparo

La energio de elektrono determinas ties konduton ĉirkaŭ la nukleo. Ĉar *nur specifaj energi-niveloj* estas permesataj, troviĝas *nur specifaj figuroj* kaj trajtaroj. Ni uzas la terminojn ŝelo, subŝelo, kaj orbitalo por priskribi ĉi tiujn konceptojn. Ni devas bone kompreni la implicojn de ĉi tiuj terminoj, kaj precipe la matematikajn rilatojn inter ili por funde kompreni la konduton de elektronoj moviĝantaj ĉirkaŭ la nukleo.

ŝelo

La elektronoj de atomo estas proksimume aranĝiĝintaj en ĉefajn energiajn nivelojn aŭ ŝelojn.

Ĉiu ŝelo havas numeron n, kiu identigas ĝin. Tiu ĉi numero havas la valorojn 1, 2, 3, . . . La plej malalta energia ŝelo ricevas la n-valoron 1, la sekvanta la valoron 2, poste 3, ktp. Ju pli alta la n-valoro por ŝelo, des pli granda la maksimuma nombro da elektronoj permesataj en tiu ŝelo. La plej malalta energia ŝelo (n=1) akomodas (enhavas) nur 2 elektronojn maksimume. En ŝeloj 2, 3, kaj 4 maksimume 8, 18, kaj 32 elektronoj respektive rajtas loĝi. Ekzistas simpla matematika ekvacio por kalkuli la maksimuman elektronan enhavon por iu ajn donita ŝelo:

$$\text{Nombro da elektronoj permeseblaj en ŝelo} = 2n^2 \quad (n = \text{ŝel-numero}) \qquad 5\text{-}1$$

Ekzemple, por n=4, la valoro de $2n^2$ estas 32, kiu estas la nombro antaŭe donita por la kvanto da elektronoj permeseblaj en la kvara ŝelo.

Ĉiuj *elektronoj en ŝelo ne havas la saman energion*. Male, la elektron-energioj varias inter mallarĝaj limoj. La kialo estas jene.

subŝelo

Ĉiu ŝelo enhavas subŝelojn aŭ energiajn subnivelojn. La nombro da subŝeloj estas la sama kiel la ŝel-numero.

Tiel, ŝelo 3 enhavas 3 subŝelojn, ŝelo 5 enhavas 5 subŝelojn, ktp. Matematike, la rilato estas:

$$\text{Nombro da subŝeloj en ŝelo} = n \quad \text{(kie } n \text{ = numero de la ŝelo)} \qquad 5\text{-}2$$

Tabelo 5-1 resumas la matematikan rilaton inter ŝeloj, subŝeloj, kaj maksimuma nombro da elektronoj kiuj povas okupi la ŝelon.

Tabelo 5-1. Nombraj rilatoj inter ŝeloj, subŝeloj, kaj elektronoj

Ŝel-numero (n)	Nombro da subŝeloj (n)	Maksimuma nombro da elektronoj ($2n^2$)
1	1	2
2	2	8
3	3	18
4	4	32

Oni titolas subŝelon per numero kaj litero. La numero indikas la ŝelon al kiu apartenas la subŝelo. La litero estas s, p, d, aŭ f, kiuj en tiu vicordo signas subŝelojn de pligrandiĝanta energio ene de ŝelo. La plej malalta energia subŝelo ene de ŝelo ĉiam estas subŝelo s, tiam sekvas la pli energia subŝelo p, ktp. Ŝelo 1 enhavas nur 1 subŝelon -- 1s. Ŝelo 2 enhavas 2 subŝelojn -- 2s kaj 2p. En ŝelo 3 troviĝas subŝeloj 3s, 3p, kaj 3d. Tabelo 5-2 donas subŝelajn informojn por la unuaj 7 ŝeloj. Rimarku ke la numer-literaj signoj ne estas donitaj por ĉiuj subŝeloj en ŝeloj 5, 6, kaj 7. Tio rezultas el la fakto ke la mankantaj subŝeloj ne estas bezonataj por priskribi la elektronan aranĝiĝon de ĉiuj 109 jam eltrovitaj elementoj. La kialon ni klarigos en Sekcio 5.4.

Tabelo 5-2. Subŝelaj aranĝiĝoj en ŝeloj

Ŝel-numero (n)	Subŝeloj						
1	1s						
2	2s	2p					
3	3s	3p	3d				
4	4s	4p	4d	4f			
5	5s	5p	5d	5f	—		
6	6s	6p	6d	—	—	—	
7	7s	—	—	—	—	—	—

La literoj s, p, d, aŭ f de subŝel-simbolo donas informojn kaj pri la relativa energia nivelo de tiu subŝelo ene de la ŝelo, kaj pri la maksimuma

nombro da elektronoj, kiujn povas akomodi tiu subŝelo. La plej malalta energia subŝelo (subŝelo s) en iu ŝelo povas enteni maksimume du elektronojn. La 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, ktp ĉiuj povas akomodi maksimume 2 elektronojn: ili ĉiuj estas subŝeloj s. La maksimuma nombro da elektronoj en subŝelo dependas nur de la subŝel-tipo (s, p, d, f) kaj estas sendependa de ŝelnumero. Subŝelo de la tipo p, d, kaj f povas akomodi maksimume 6, 10, kaj 14 elektronojn respektive. Tabelo 5-3 resumas la sciojn ĵus prezentitajn ĝis n=4.

Tabelo 5-3. Ŝeloj, subŝeloj, kaj maksimuma nombro da elektronoj

Ŝela numero (n)	Nombro da subŝeloj (n)	Tipo de subŝeloj	Maksimuma nombro da elektronoj en subŝelo	Sumo de elektronoj ($2n^2$)
1	1	1s	2	2
2	2	2s	2	8
		2p	6	
3	3	3s	2	18
		3p	6	
		3d	10	
4	4	4s	2	32
		4p	6	
		4d	10	
		4f	14	

La lasta el la tri terminoj uzataj por priskribi elektronajn aranĝiĝojn estas orbitalo. Subŝeloj enhavas orbitalojn.

orbitalo

Oni difinas orbitalon kiel apartan spaco-regionon ĉirkaŭ nukleo, en kiu plej probable troviĝas elektrono kun specifa energio. Estas 1 orbitalo en subŝelo s, 3 en subŝelo p, 5 en subŝelo d, kaj 7 en subŝelo f.

La karakterizaĵoj de orbitalo (akiritaj el kvantuma meĥaniko) estas:

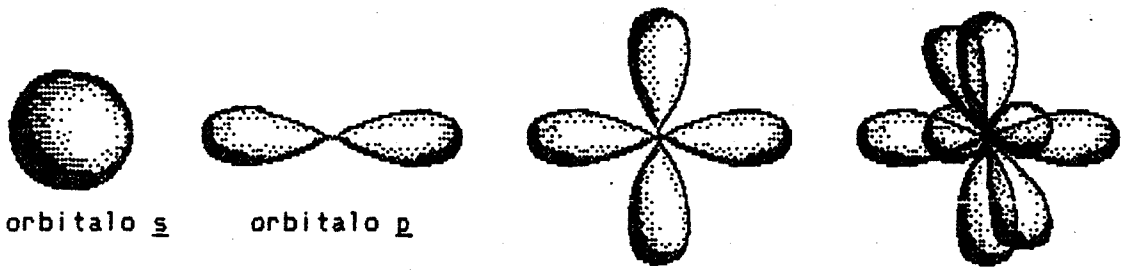
1. Ĉiu orbitalo havas difinitan grandon kaj formon rilate al la energio de la elektronoj kiujn ĝi povas enhavi.
2. La orbitala volumeno kaj la distanco for de la nukleo pliiĝas kiel la energio de la entenitaj elektronoj pliiĝas.
3. Ĉiu orbitalo povas enhavi maksimume 2 elektronojn.
4. Eĉ kvankam elektrono povas troviĝi nur ĉe unu punkto je donita momento, ĝi moviĝas tiel rapidege ke ĝi ŝajne "plenokupas" la tutan orbitalan volumenon simile kiel aviadila helico rapide rotacianta ŝajne

"plenokupas" difinitan volumenon.

5. Ĉiu atomo disponas pri granda nombro da okupeblaj orbitaloj de diversaj formoj kaj grandoj. Ili povas enhavi, aŭ ne enhavi, elektronojn.

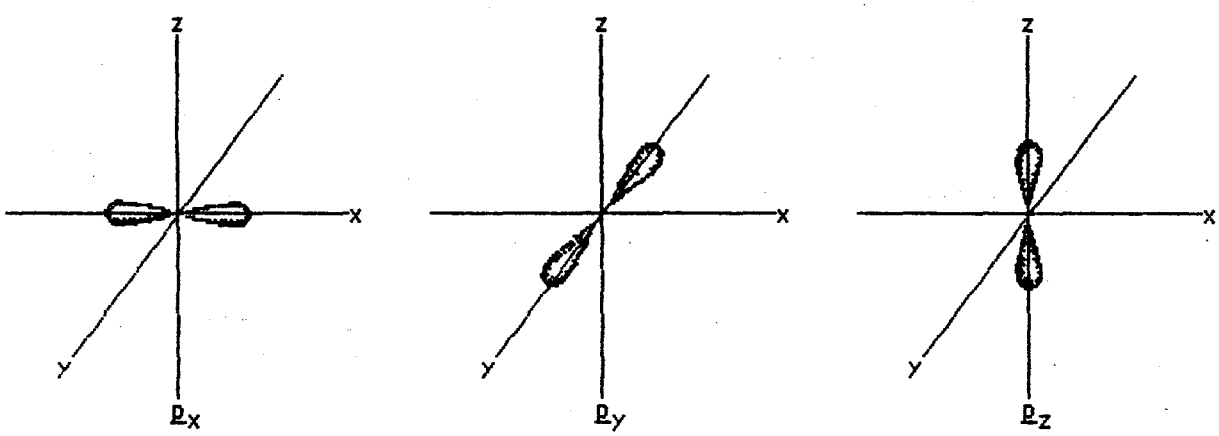
Ĉiuj orbitaloj ene de subŝelo havas saman energion kaj similajn formojn. Oni signas ilin per la sama signaro uzata por signi la subŝelon. Ekzemple, estas en subŝelo 2p tri orbitaloj p, kaj ĉiu nomiĝas orbitalo 2p.

La efektivajn formojn de orbitaloj oni havigas al si per grafikado de ekvacioj el kvantuma meĥaniko. Ni ilustras per Bildo 5-4 tipajn formojn por s-, p-, d-, kaj f-orbitaloj. Rimarku kiel la figuroj de la orbitaloj iĝas pli malsimplaj laŭ la ordo s, p, d, kaj f. Kelkaj el la plej kompleksaj orbitaloj d kaj f havas formojn similajn sed ne identajn al tiuj montritaj en Bildo 5-4.



Bildo 5-4. Formoj de atomaj orbitaloj

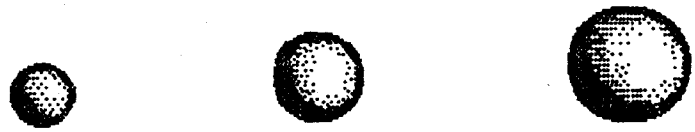
Orbitaloj en la sama subŝelo ĉefe malsamas per orientiĝo (direktiĝo). Ekzemple, la tri orbitaloj 2p same aspektas sed malsame direktiĝas kiel montrite en Bildo 5-5.



Bildo 5-5. La orientiĝo de la tri orbitaloj en p-subŝelo

Orbitaloj de la sama tipo trovitaj en diversaj subŝeloj (ekzemple 1s, 2s,

kaj 3s) havas la saman formon sed malsamas laŭ energio kaj volumeno (vidu Bildon 5-6).



1s 2s 3s

Bildo 5-6. La orbitaloj s en malsamaj ŝeloj

Ekzemplo 5-1. Por tria elektrona ŝelo (n=3) de atomo, determinu:

a) nombron da subŝeloj, kiujn ĝi enhavas
b) signaron uzatan por priskribi ĉiun subŝelon
c) nombron da orbitaloj en ĉiu subŝelo
ĉ) maksimuman nombron da elektronoj, kiujn povas enteni ĉiu subŝelo
d) maksimuman nombron da elektronoj, kiujn povas enteni la ŝelo

Solvo

a) La nombro da subŝeloj estas la sama kiel la valoro de n por la ŝelo. Sekve de tio, la tria ŝelo (n=3) enhavas 3 subŝelojn.

b) La plej malalta el la 3 subŝeloj estas laŭ-energie signita 3s, la sekvanta ne tiom malalta estas signita 3p, kaj la fina estas signita 3d.

c) En Tabelo 5-3 ni vidas ke subŝelo s enhavas nur 1 orbitalon, subŝelo p enhavas 3 orbitalojn, kaj subŝelo d -- 5 orbitalojn. Sekve subŝelo 3s enhavas nur unu orbitalon, 3p enhavas 3 orbitalojn, kaj 3d enhavas 5 orbitalojn.

ĉ) Iu ajn orbitalo, senkonsidere ĝian tipon, povas maksimume enteni 2 elektronojn. Tial, la subŝelo 3s (1 orbitalo) entenas 2 elektronojn, subŝelo 3p (3 orbitaloj) entenas 6 elektronojn, kaj subŝelo 3d (5 orbitaloj) entenas 10 elektronojn.

d) En parto (c) ni trovis ke en ŝelo 3 ekzistas entute 9 (1+3+5) orbitaloj. Ĉar ĉiu orbitalo povas enteni 2 elektronojn, maksimume en ŝelo 3 povas enesti 18 elektronoj. Alternative ni povas apliki la formulon $2n^2$ por trovi la nombron da elektronoj en ŝelo. Ĉi tie $n=3$, do $2n^2=18$.

Ekzemplo 5-2. Karakterizu similecojn kaj malsimilecojn inter orbitaloj 3s kaj 3p.

Solvo.

1. Ambaŭ estas en ŝelo 3, kaj sekve etendiĝas proksimume saman distancon for de la nukleo; ĉiu orbitalo maksimume povas enhavi 2 elektronojn.
2. Ili apartenas al malsamaj subŝeloj (s kaj p) kaj sekve havas malsamajn

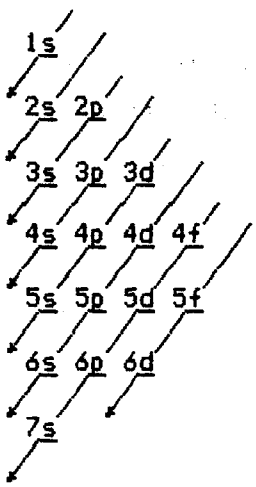
formojn kaj energiojn.
3. Elektrono en orbitalo 3p havas pli altan energion ol elektrono en orbitalo 3s.

Ekzemplo 5-3. Karakterizu la similecojn kaj malsimilecojn inter orbitaloj 3p kaj 6p.
Solvo.
1. Ambaŭ estas en subŝeloj p kaj do havas la saman formon.
2. Ili estas en malsamaj ŝeloj (n=3 kaj n=6) kaj sekve havas malsamajn grandojn (6p estas pli granda).
3. Elektrono en la 6p orbitalo havas pli altan energion ol elektrono en orbitalo 3p.

5.4 ELEKTRONAJ KONFIGURACIOJ

Senlima nombro da okupeblaj orbitaloj ekzistas ĉirkaŭ la nukleo de atomo. Malgraŭ tio, elektronoj efektive okupas orbitalojn laŭ tre antaŭdirebla maniero, determinebla per apliko de simpla regulo: elektrono okupas tiun orbitalon en kiu ĝi atingas la plejeble malaltan energion. Tial do, la elektron-aranĝiĝon ĉirkaŭ la nukleo ni povas antaŭdiri se oni scias la relativan energion de la diversaj orbitaloj. La sekvantaj orbitaloj estas listigitaj laŭ kreskanta energio.

1s, 2s, 2p 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d



Bildo 5-7. Relativaj energioj de subŝeloj aŭ orbitaloj

Ĉiuj orbitaloj ene de subŝelo havas identajn energiojn, do ĉi tiu sinsekvo ankaŭ prezentas la vicordon de pliiĝanta energio por la diversaj subŝeloj. Bildo 5-7 helpos al vi memori la vicordon, kiun vi povas trovi en la bildo sekvante la sagetojn de supro ĝis malsupro. Sekvu ĉiun sagon de vosto al kapo, tiam revenu al la vosto de la sekvanta kaj daŭrigu.

Atenta rigardo al ĉi tiu sinsekvo montras ke ĉiuj subŝeloj ene de donita

ŝelo ne necese havas pli malaltajn energiojn ol ĉiuj subŝeloj de pli alte numeritaj ŝeloj. Ekzemple, la subŝelo s de ŝel-numero 4 (subŝelo 4s) havas pli malaltan energion ol la subŝelo d de ŝel-numero 3 (subŝelo 3d).

Nun ni havas la du informojn kiujn ni bezonas por antaŭdiri elektronajn konfiguraciojn (spacajn aranĝiĝojn) ĉirkaŭ nukleo. Ni scias la vicordon laŭ kiu pleniĝas subŝeloj kaj la maksimuman nombron da elektronoj kiuj povas okupi ĉiun subŝelon (Tabelo 5-3).

Ni uzu ĉi tiujn informojn por antaŭdiri kelkajn elektronajn konfiguraciojn. La elemento hidrogeno (Z=1) entenas nur unu elektronon kaj estas la plej simpla elemento. La elektrono en hidrogeno troviĝas en la subŝelo 1s, kiu estas la plej malalta energia subŝelo havebla. Ĉar maksimume povas okupi ĉi tiun subŝelon 2 elektronoj, ĝi estas duonplena per hidrogenaj atomoj. La elektrona konfiguracio de hidrogeno skribiĝas $1s^1$, kie la superindico indikas la tutan nombron da elektronoj en la subŝelo.

Heliumo (Z=2) havas 2 elektronojn, ambaŭ en la subŝelo 1s. La elektrona konfiguracio de heliumo estas $1s^2$, kaj la subŝelo estas tute pleniĝinta per la 2 elektronoj.

Litio (Z=3) havas 3 elektronojn. Du el ili okupas kaj plenigas la subŝelon 1s, la tria troviĝas en la sekva pli malalta energia subŝelo, kiu estas la subŝelo 2s. La elektrona konfiguracio de litio estas $1s^2\ 2s^1$.

Berilio (Z=4) havas la elektronan konfiguracion $1s^2\ 2s^2$. La kvara elektrono de berilio plenigas la subŝelon 2s, kies kapacito ankaŭ estas 2 elektronoj. En borio (Z=5) la subŝelo 2p, kun la sekvanta plej malalta energio havebla, okupiĝas per unusola elektrono. Subŝelo p povas enhavi maksimume 6 elektronojn. La aldonaj 2p-elektronoj estas ĉiam po unu pli aldonitaj en elementoj C, N, O, F, kaj Ne. La elektronaj konfiguracioj estas:

B (Z=5): $1s^2 2s^2 2p^1$
C (Z=6): $1s^2 2s^2 2p^2$
N (Z=7): $1s^2 2s^2 2p^3$
O (Z=8): $1s^2 2s^2 2p^4$
F (Z=9): $1s^2 2s^2 2p^5$
Ne(Z=10): $1s^2 2s^2 2p^6$

Ekzemplo 5-4 ilustras la etendon de la sistemo al atomo entenanta multajn elektronojn.

Ekzemplo 5-4. Kio estas la elektrona konfiguracio de bromo (Z=35)?

Solvo. Bromo, kun atoma numero 35, entenas 35 elektronojn disdonitajn inter diversaj subŝeloj. Ni sube indikas la vicordon laŭ kiu la disdono aŭ distribuo okazas. La dua linio prezentas la suman elektron-entenon ĝis la koncerna punkto en la vicordo.

Okupitaj subŝeloj	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^6$	$4s^2$	$3d^{10}$	$4p^5$
Aktuala sumo da elektronoj	2	4	10	12	18	20	30	35

Rimarku ke la subŝelo 4p entenas nur 5 elektronojn, kvankam maksimume ĝi povus enteni 6. Sesa elektrono estus je unu pli ol la 35 bezonataj. Antaŭ ol forlasi la temon de elektronaj konfiguracioj, ni rimarkigas ke por pluraj elementoj (en la partoj d kaj f de la perioda tabelo - vidu Bildon 5-8) la fakta distribuo de elektronoj ene de subŝeloj diferencas iomete de tio, kion oni akiras aplikante la regulojn ĉi tie prezentitajn. Tiuj esceptoj rezultas el tre malgrandaj energi-diferencoj inter kelkaj subŝeloj, kaj ne gravas por niaj propraj aplikoj de elektronaj konfiguracioj.

5.5 ELEKTRONAJ KONFIGURACIOJ KAJ LA PERIODA LEĜO

Kono pri la elektronaj konfiguracioj de la elementoj liveras al ni klarigon pri la perioda leĝo kaj perioda tabelo. Plej facile ni povas kompreni ĉi tiun klarigon per konsidero de la elektronaj konfiguracioj de elementoj havantaj similajn kemiajn ecojn. Ni jam lernis ke tiaj elementoj grupe lokiĝas en vertikalaj kolumnoj en la perioda tabelo (Bildo 5-2). Tipa grupo, kiu konsistigas la unuan kolumnon maldekstre en la tabelo (Grupo 1A) inkluzivas elementojn $_3Li$, $_{11}Na$, $_{19}K$, $_{37}Rb$, $_{55}Cs$, kaj $_{87}Fr$. La elektronaj konfiguracioj de la unuaj kvar elementoj estas:

$_3Li$: $1s^2\ 2s^1$

$_{11}Na$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$

$_{19}K$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

$_{37}Rb$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^1$

Ni konstatas ke ĉiu el ĉi tiuj elementoj havas nur unu elektronon en la plej fora okupita ŝelo (en grasa tipo). Krom tio, la subŝelo en kiu troviĝas ĉi tiu elektrono ĉiam estas samspeca, s, en ĉiu elemento. Estas ĝuste ĉi tiu simileco de elektronaj aranĝiĝoj en la ekstera ŝelo

kiu respondecas por la similaj kemiaj ecoj de la elementoj. Ĝenerale, oni konstatas ke ĉiuj elementoj kun similaj elektronaj konfiguracioj en la ekstera ŝelo havas similajn kemiajn ecojn.

Troviĝas samspecaj similecoj por aliaj grupoj de elementoj tra la tuta tabelo. Liveras plian ekzemplon la elementoj $_{9}F$, $_{17}Cl$, $_{35}Br$, $_{53}I$, kaj $_{85}At$, kiuj konsistigas la grupon VIIA de la perioda tabelo (halogenoj). La elektronaj konfiguracioj de la unuaj kvar elementoj en la grupo estas:

$$
\begin{aligned}
{}_{9}F: &\quad 1s^2\ 2s^2\ 2p^5 \\
{}_{17}Cl: &\quad 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5 \\
{}_{35}Br: &\quad 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^5 \\
{}_{53}I: &\quad 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^5
\end{aligned}
$$

Ankoraŭfoje malkaŝiĝas la similecoj de elektronaj konfiguracioj. Ni rajtas diri ke kemiaj ecoj ripetiĝas en perioda maniero, ĉar elektronaj aranĝiĝoj ankaŭ ripetiĝas periode.

5.6 ELEKTRONAJ KONFIGURACIOJ KAJ LA PERIODA TABELO

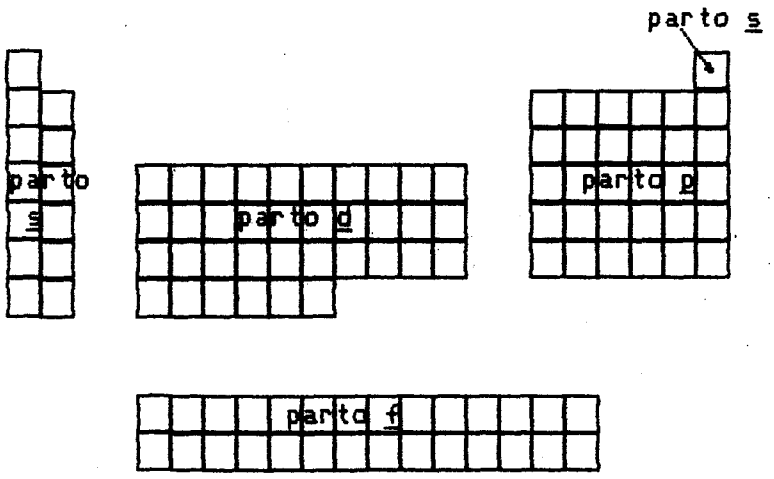
La perioda tabelo fariĝas pli utila kiam ni interpretas ĝin laŭ elektronaj konfiguracioj. La specifa lokiĝo de elemento en la perioda tabelo nerekte informas nin pri la elektrona konfiguracio de tiu elemento. La ŝlosila koncepto inform-dona estas tiu de ĉefrolaj elektronoj.

Ĉefrola elektrono

La ĉefrola elektrono de elemento estas la lasta elektrono aldonita al ĝia elektrona konfiguracio kiam oni skribas la konfiguracion laŭ la gvid-principoj de Sekcio 5.4.

Ĉi tiu laste aldonita elektrono estas tiu, kiu diferencigas elektronan konfiguracion de elemento disde tiu de la elemento tuj antaŭ ĝi en la perioda tabelo; tiel ekestas la termino ĉefrola elektrono.

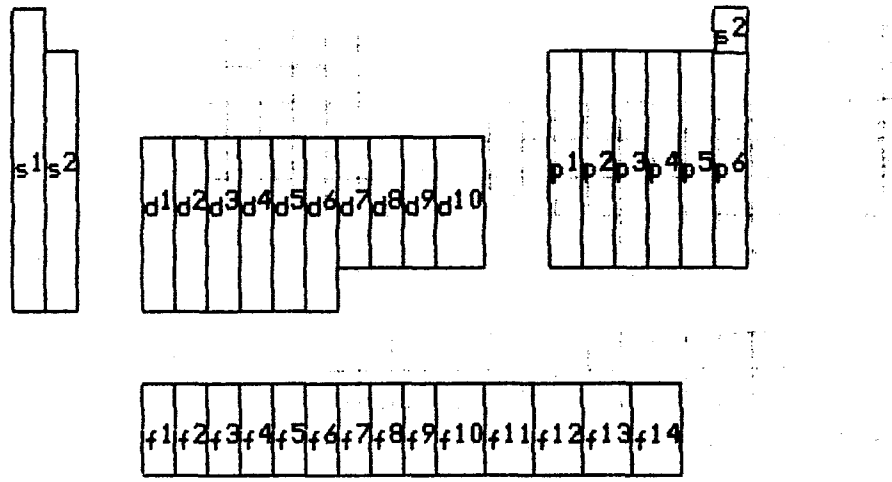
Oni povas disdividi la periodan tabelon en kvar partojn surbaze de la kvar eblaj specoj da ĉefrolaj elektronoj: s, p, d, kaj f. Vidu Bildon 5-8.



Bildo 5-8. Partoj de la perioda tabelo.

La ĉefrola elektrono de elementoj en la parto p troviĝas en la subŝelo p, elementoj en la parto s havas ĉefrolan elektronon en la subŝelo s, ktp. Tiel, la loko de elemento en la perioda tabelo uzeblas por determini la specon de subŝelo kiu entenas la ĉefrolan elektronon. Ekzistas unu escepto el ĉi tiu regulo. Heliumo, kies elektron-konfiguracio estas $1s^2$, havas sian lokon en la lasta grupo (ekstreme dekstraflanka) de la perioda tabelo anstataŭ en la ĉefa parto s, ĉar kemiaj proprecoj de heliumo similas al tiuj de aliaj noblaj gasoj de tiu grupo. La kialo por tiu ĉi ŝajna neakordo inter la antaŭdirita kaj observita kondutoj de heliumo estos klarigita en Sekcio 6.2.

Videblas per Bildo 5-8 ke la parto s estas 2 kolumnojn larĝa, la parto p estas 6 kolumnojn larĝa, la parto d estas 10 kolumnojn larĝa, kaj la parto f estas 14 kolumnojn larĝa. Ĉi tio kongruas kun la fakto ke subŝeloj s, p, d, kaj f povas maksimume enhavi respektive 2, 6, 10, kaj 14 elektronojn. Oni povas ankaŭ uzi ĉi tiun korelacion por determini la gradon de subŝela pleniĝo por la subŝelo kiu enhavas la ĉefrolan elektronon. Ĉiuj elementoj en la unua kolumno de specifa parto entenas nur unu elektronon en la subŝelo, ĉiuj elementoj en la dua kolumno entenas du elektronojn en la subŝelo, ktp. Tiel, ĉiuj elementoj en la unua kolumno de la parto p (Grupo IIIA) havas elektronan konfiguracion kiu finiĝas per p^1. Elementoj en la dua kolumno de la parto p (Grupo IVA) finiĝas per p^2, ktp. Similaj rilatoj validas en aliaj partoj de la perioda tabelo, kiel montrite en Bildo 5-9. Kelkaj esceptoj ekzistas en la partoj d kaj f (pro neregulaj elektronaj konfiguracioj -- Sekcio 5.4), sed ni ne pritraktos ilin en ĉi tiu teksto. Heliumo estas sola escepto en la partoj s kaj p.



Bildo 5-9. Grado de subŝela pleniĝo en la perioda tabelo

5.7 KLASIFIKOJ POR LA ELEMENTOJ

Du sistemoj estas ĝenerale uzataj por klasi la elementojn; ambaŭ rilatas al la perioda tabelo. Ni multe uzos iliajn terminojn en la cetero de ĉi tiu teksto.

Unu sistemo klasas la elementojn laŭ iliaj elektronaj strukturoj. Ĝiaj kvar kategorioj estas jenaj:

Nobla gaso

1. Noblaj gasoj. Ĉi tiuj elementoj lokiĝas en ekstreme dekstra vertikala kolumno de la perioda tabelo. Ĉiuj estas gasoj je ĉambraj temperaturoj, kaj ĉiuj malemas formi kemiajn kombinaĵojn. La ĉefrola elektrono de nobla gaso, krom la unu escepto de heliumo, plenigas la subŝelon p. Tial, ili havas elektron-konfiguraciojn kiuj finiĝas per p^6. En la kazo de heliumo, la ĉefrola elektrono kompletigas la ŝelon, kiu entenas 2 elektronojn, do la elektrona konfiguracio de heliumo estas $1s^2$.

Ĉefgrupa elemento

2. Ĉef-grupaj elementoj. Krom la noblaj gasoj, ĉiuj elementoj en la blokoj s kaj p de la perioda tabelo apartenas al ĉi tiu klaso. La ĉefrola elektrono en ĉi tiuj elementoj parte aŭ plene plenigas la subŝelon s aŭ parte plenigas la subŝelon p. Ĉefgrupaj elementoj inkluzivas multajn el la plej oftaj elementoj.

transira elemento

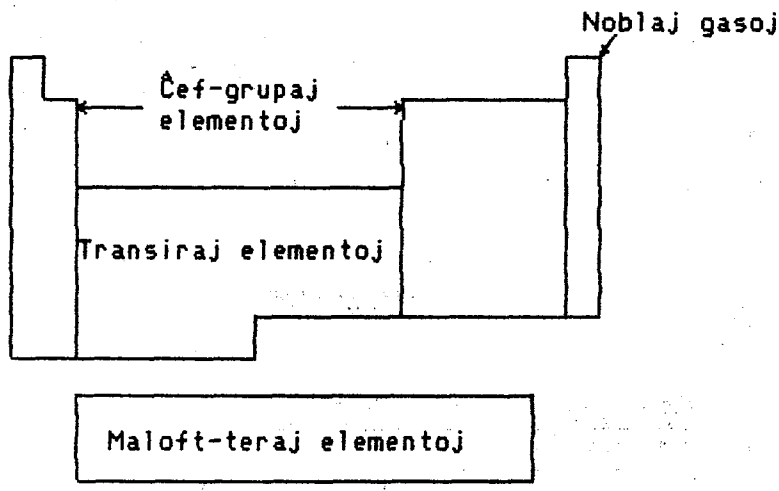
3. Transiraj elementoj. La ejo de la transiraj elementoj en la perioda

tabelo estas en la parto d de Bildo 5-8. Komuna trajto de ilia elektrona konfiguracio estas ĉeesto de ĉefrola elektrono en subŝelo d.

maloft-tera elemento

4. Maloft-teraj elementoj. Tiuj elementoj troviĝas en la parto f de la perioda tabelo. La karakteriza trajto de iliaj elektronaj konfiguracioj estas la ĉeesto de la ĉefrola elektrono en ŝelo f. Varias tre malmulte la ecoj de tiuj elementoj. (Multaj aŭtoritatoj diras, ke la maloft-teraj elementoj estas nur tiuj kun la atomnumeroj 57-71; kelkfoje ankaŭ Sc kaj Y.)

Bildo 5-10 prezentas periodan tabelon disdividitan laŭ la ĵus priskribitaj kvar kategorioj.



Bildo 5-10. Klasado de elementoj surbaze de elektrona konfiguracio

La dua sistemo klasas la elementojn surbaze de elektitaj fizikaj ecoj de la elementoj, el kio rezultas tri kategorioj: metaloj, nemetaloj, kaj duonmetaloj (metaloidoj). Plejparto da elementoj estas klasita inter la metaloj, kaj ili ampleksas ĉiujn transirajn elementojn, ĉiujn maloft-terajn elementojn, kaj multajn ĉef-grupajn elementojn.

metalo

1. Metaloj. Kiel karakterizajn ecojn, metaloj havas jenajn: 1) altan varmokonduktivon -- ili facile transsendas varmon, 2) altan elektran konduktivon -- ili senĝene transsendas elektron, 3) dratigeblon (duktilon) -- ilin oni povas per-tire dratigi, 4) marteleblon -- ilin oni povas ĝis-folie marteli, kaj 5) metalan brilon.

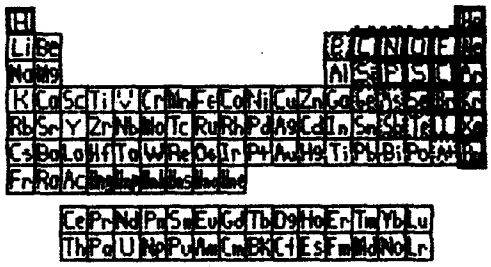
nemetalo

2. Nemetaloj. Karakterizas la nemetalojn la foresto de la diritaj metalaj ecoj en solida stato. La plimulto estas nekonduktivaj, nemarteleblaj, nedratigeblaj, kaj malhavas metalan brilon.

duonmetalo (metaloido)

3. Duonmetaloj aŭ Metaloidoj. Ĉi tiuj elementoj havas iom mezajn kvalitojn inter tiuj de metaloj kaj nemetaloj, kaj pro tio la nomo. Ne estas akra dividlinio inter metaloj kaj nemetaloj pro la ekzisto de ĉi tiuj elementoj.

Estas ĝenerala vero ke ene de periodo (horizontala vico) de la perioda tabelo, la elementoj iĝas malpli metalecaj kiel ni iras de maldekstro al dekstro. Interne de grupo (vertikala kolumno), la metaleco pli manifestiĝas dum ni iras de supro ĝis malsupro laŭ la kolumnoj. Sekve de tio, metaloj ĝenerale lokiĝas maldekstre en la perioda tabelo, kaj nemetaloj lokiĝas dekstre, kun la duonmetaloj inter ili. Rimarku la ŝtup-similan aranĝiĝon de la duonmetaloj (Bildo 5-11).



Bildo 5-11. Metaloj, duonmetaloj, kaj nemetaloj

EKZERCOJ

Perioda Leĝo kaj Perioda Tabelo

1. Donu modernan vortigon de la perioda leĝo.
2. La sekvantaj propozicioj aŭ difinas aŭ proksime prituŝas la terminojn perioda leĝo, periodo, grupo. Parigu ĉiun terminon kun taŭga propozicio.
   a) Tiu estas vertikala aranĝo en la perioda tabelo.
   b) Tiu estas horizontala aranĝo en la perioda tabelo.
   c) La kemiaj ecoj de elementoj regule ripetiĝas lige kun tio, ke plialtiĝas la atomaj numeroj.

ĉ) Elemento 19 komencas ĉi tiun aranĝon en la perioda tabelo.
d) La kemiaj ecoj de elementoj kun numeroj 12, 20, kaj 38 demonstras ĉi tiun principon.
e) Karbono estas unua ano de ĉi tiu aranĝo.
f) Elementoj 24 kaj 33 apartenas al ĉi tiu aranĝo.
g) Elementoj 10, 18, kaj 36 apartenas al ĉi tiu aranĝo.

3. Donu la kemian simbolon de la elemento kiu okupas ĉiun el la sekvantaj lokoj en la perioda tabelo:

a) periodo 4, grupo IIIA
b) periodo 5, grupo IVB
c) grupo IA, periodo 2
ĉ) grupo IB, periodo 6

4. El ĉiu de la sekvaj elementaroj, elektu elementparon kiu supozeble havos similajn ecojn:

a) $_{11}Na$, $_{14}Si$, $_{23}V$, $_{55}Cs$
b) $_{13}Al$, $_{19}K$, $_{32}Ge$, $_{50}Sn$
c) $_{37}Rb$, $_{38}Sr$, $_{54}Xe$, $_{56}Ba$

<u>Elektronaj Aranĝiĝoj kaj ties Terminaro</u>

5. Kion signifas la termino <u>kvantumiĝo</u>? Kiu eco de elektrono estas kvantumiĝinta?

6. La sekvantaj propozicioj aŭ difinas aŭ proksime prituŝas la terminojn <u>ŝelo</u>, <u>subŝelo</u>, kaj <u>orbitalo</u>. Parigu ĉiun terminon kun la taŭga aserto.

a) Laŭ elektrona kapacito, ĉi tiu unuo estas plej malgranda el la trio.
b) Ĉi tiu unuo povas maksimume enhavi 2 elektronojn.
c) Ĉi tiu unuo povas enhavi aŭ tiom multajn kiel, aŭ pli da elektronoj, ol iu el la aliaj du.
ĉ) Ĉi tiu unuo ĝenerale signiĝas per numero.
d) Ĉi tiu unuo ĝenerale signiĝas sammaniere kiel la trovitaj en ĝi orbitaloj.
e) La maksimuma nombro da elektronoj kiuj povas okupi ĉi tiun unuon estas $2n^2$.

7. Kiu el la du kondiĉoj -- <u>dependa de</u>, aŭ <u>sendependa de</u> -- ĝuste kompletigas ĉiun el la sekvantaj por fari korektan frazon?

a) La energio de subŝelo estas _____ la ŝelo en kiu ĝi lokiĝas.
b) La maksimuma nombro da elektronoj kiujn povas akomodi subŝelo estas _____ ŝelo en kiu ĝi troviĝas.
c) La formo de orbitalo estas _____ la subŝelo en kiu ĝi troviĝas.
ĉ) La grando (volumeno) de donita tipo de orbitalo (<u>s</u>, <u>p</u>, ktp) estas _____ la ŝelo en kiu ĝi troviĝas.
d) La maksimuma nombro da elektronoj kiuj povas okupi orbitalon estas _____ la subŝelo en kiu ĝi troviĝas.
e) La maksimuma nombro da elektronoj kiuj povas okupi orbitalon estas _____ la ŝelo en kiu ĝi troviĝas.

8. Kiom da orbitaloj troviĝas en ĉiu el sekvaj tipoj de subŝeloj? Kio estas la maksimuma nombro da elektronoj kiujn povas enhavi ĉiu tipo de subŝelo?

a) <u>s</u> b) <u>p</u> c) <u>d</u> ĉ) <u>f</u>

9. Por ĉiu el la sekvaj aroj da orbitaloj, determinu tiun kun plej malgranda energia nivelo, kaj tiun kun la plej granda energia nivelo:

a) 1s, 2s, 3s
b) 3s, 3p, 3d
c) 4d, 4f, 5p
ĉ) 6p, 6d, 7s

10. Kiuj el sekvaj elektron-orbitaloj ne ekzistas: 5p, 2d, 4s, 4f, 1p?

Elektronaj Konfiguracioj

11. Uzante Ekzemplon 5-4 kiel modelon, skribu la elektronajn konfiguraciojn por ĉiu el la sekvaj atomoj:

a) $_{8}O$ b) $_{17}Cl$ c) $_{34}Se$ ĉ) $_{54}Xe$ d) $_{79}Au$

12. Al kiuj elementoj respondas la sekvaj elektronaj konfiguracioj:

a) $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$

b) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

c) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^5$

13. Kial estas ĉiu el sekvaj elektronaj konfiguracioj neĝusta?

a) $1s^2\ 2s^3$
b) $1s^2\ 1p^6\ 2s^2\ 2p^6$
c) $1s^2\ 2s^2\ 2p^8\ 3s^2\ 3p^8$
ĉ) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}$

La Perioda Tabelo kaj Elektronaj Konfiguracioj

14. Skizu la periodan tabelon kaj indiku la lokon da la sekvaj partoj:

a) la parto s
b) la parto p
c) la parto d
ĉ) la parto f

15. Por ĉiu el sekvaj elementoj aŭ elementgrupoj indiku: 1) la specon de subŝelo (s, p, d, f) kiu enhavas la ĉefrolan elektronon, kaj 2) la suman nombron da elektronoj en subŝelo kiu enhavas la ĉefrolan elektronon.

a) $_{4}Be$
b) $_{34}Se$
c) $_{44}Ru$
ĉ) $_{73}Te$
d) $_{86}Rn$
e) elementoj de grupo IA
f) elementoj de grupo IVA

Klasifikoj por la Elementoj

16. Identigu la sekvajn elementojn kun (1) aŭ metalo, aŭ duonmetalo, aŭ nemetalo, kaj (2) kun aŭ ĉefgrupa elemento, aŭ transira elemento, aŭ maloft-tera elemento.

a) $_{24}Cr$ c) $_{7}N$ d) $_{82}Pb$
b) $_{52}Te$ ĉ) $_{60}Nd$ e) $_{104}Rf$

17. Difinu kio estas noblaj gasoj, ĉef-grupaj elementoj, transiraj elementoj, kaj maloft-teraj elementoj pere de elektronoj s, p, d, kaj f.

6 LA KEMIA LIGO

CELOJ

6.1 Uzante ĝian elektronan konfiguracion (aŭ la periodan tabelon), determini kiom da valentaj elektronoj entenas ĉef-grupa elemento, kaj scipovi desegni ĝian elektron-punktan strukturon.

6.2 Kompreni la fundamenton por la okopa regulo.

6.3 Priskribi la ligmodelojn surbaze de la okopa regulo.

6.4 Determini kaj elektronan ŝargon kaj elektronan konfiguracion por unuatomaj jonoj de la ĉef-grupaj elementoj. Se donitaj estas la ŝargoj sur iliaj jonoj, skribi formulojn de jonaj kombinaĵoj.

6.5 Helpe de la formulo de binara jona kombinaĵo, skribi ĝian nomon kaj inverse.

6.6 Uzi elektron-punktajn strukturojn por priskribi ligiĝon en simplaj kovalentaj molekuloj. Kompreni la signifon de unuoblaj, duoblaj kaj trioblaj kovalentaj ligoj kaj kunordiĝaj kovalentaj ligoj.

6.7 Kompreni la rilaton inter la grando de elektro-negativeco de elemento, kaj la loko de la elemento en la perioda tabelo. Kompreni kiel elektro-negativeco estas uzata por antaŭdiri la direkton kaj grandon de poluseco de kemia ligo. Kompreni kiel liga poluseco kaj molekula geometrio uziĝas por antaŭdiri molekulan polusecon.

6.8 Se donita estas la formulo de binara kovalenta kombinaĵo, skribi ĝian nomon, kaj inverse.

6.9 Rekoni nomojn kaj simbolojn de oftaj poliatomaj (pluratomaj) jonoj. Skribi formulojn por kombinaĵoj entenantaj poliatomajn jonojn kaj ilin nomi.

Atomoj malofte troviĝas nekunligitaj en nature okazantaj kondiĉoj; anstataŭe ili troviĝas ligitaj al aliaj atomoj. La alfiksaj fortoj kiuj respondecas por tio, ke atomoj restas kune, nomiĝas kemiaj ligoj. Se atomo estas ligita kun aliaj de sama speco, rezultas homoatoma (sam-atoma) molekulo, ekzemple O_2 kaj N_2, kiuj estas duatomaj molekuloj de la gasoj oksigeno kaj nitrogeno. Plej ofte atomo de elemento troviĝas ligita kun alispecaj elementatomoj, tiel formante heteroatomajn molekulojn de kombinaĵoj (Sekcio 2.5). Celo de ĉi tiu ĉapitro estas pri-esplori la naturon de la kemia ligo. Kiel ni konstatos, kaj la emo kaj la kapablo de atomo ligiĝi kun aliaj atomoj estas preskribitaj per elektronaj konfiguracioj. Sekve, ni uzos multe da konceptoj el Ĉapitro 5 pritraktante la temon de kemia ligiĝo.

6.1 VALENTAJ ELEKTRONOJ

Kemia ligo

Kemiaj ligoj estas la fortoj aŭ interagoj kiuj ligas atomojn kune en la formo de kompleksaj agregaĵoj.

La procezo mem de la formiĝo de kemiaj ligoj nomiĝas ligiĝo. Laŭ nuntempa teorio, kemiaj ligoj rezultas el la interago de specifaj elektronoj entenitaj en la kombiniĝantaj atomoj.

valenta elektrono

La specifaj elektronoj partoprenantaj en ligiĝo nomiĝas valentaj elektronoj.

Por ĉefgrupaj elementoj (Sekcio 5.7), valentaj elektronoj estas tiuj en la plej ekstera ŝelo, t.e. la ŝelo de la plej alta ŝelnumero (n). Ĉi tiuj elektronoj ĉiam estos en subŝeloj aŭ s aŭ p.

Ekzemplo 6-1. Kiom da valentaj elektronoj enhavas atomoj de ĉiu en la sekvaj elementoj: a) $_{11}Na$, (b) $_{33}As$?

Solvo. a) La elektrona konfiguracio de natrio (Na) estas $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$. Iuj ajn elektronoj en la plej ekstera ŝelo (plej granda valoro n) estos valentaj elektronoj. Ekstera ŝelo estas la tria ($n = 3$), kiu entenas unu $3s$- kaj neniujn p-elektronojn. Do, estas nur 1 valent-elektrono, la elektrono $3s$.

b) La elektrona konfiguracio de arseno (As) estas

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3.$$

Ĉar As estas ĉefgrupa elemento, nur plej foraj subŝeloj s kaj p postulas konsideron. La plej fora ŝelo estas ŝelo 4 entenanta 5 valentelektronojn: 2 el la subŝelo 4s kaj 3 en la subŝelo 4p. Rimarku ke la subŝel-elektronoj 3d ne eniras en la nombron da valentelektronoj, ĉar la subŝelo 3d troviĝas en interna ŝelo (n = 3).

Ke nur la plej foraj elektronoj de atomoj estas tiuj implicitaj en ligiĝo estas logike, ĉar ili estas la unuaj kiuj alproksimiĝas kiam atomoj kolizias -- necesa okazaĵo por reakcioj de kombiniĝo. Ankaŭ ĉi tiuj elektronoj lokiĝas plej fore de la nukleo, kaj do estas la malplej forte ligitaj, ĉar altirforto al la nukleo varias laŭ distanco; do estas ili, kiuj emas pleje rearanĝiĝi.

Por ĉef-grupaj elementoj, oni disponas pri stenografia prezentiĝo de la nombro da valentaj elektronoj. Ĝi estas la elektron-punkta strukturo.

elektron-punkta strukturo

En elektron-punkta strukturo, unu punkto por ĉiu valentelektrono estas lokita ĉirkaŭ la elementa simbolo.

En Tabelo 6-1 estas prezentitaj en formo de la perioda tabelo elektron-punktaj strukturoj por la unuaj dudek elementoj. La lokiĝo de la punktoj ĉirkaŭ elementa simbolo estas ne tre gravaj. Ĉiu el jenaj formoj havas la saman signifon:

Li, ·Li, Li, Li·.

Tabelo 6-1. Elektron-punktaj simboloj de kelkaj ĉef-grupaj elementoj

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	noblaj gasoj
H·							·He·
Li·	·Be·	·B·	·C·	·N:	:O:	:F:	:Ne:
Na·	·Mg·	·Al·	·Si·	·P:	:S:	:Cl:	:Ar:
K·	·Ca·						

Ni povas fari tri gravajn ĝeneraligojn pri valentelektronoj surbaze de la elektron-punktaj diagramoj de Tabelo 6-1:

1. Elementoj en sama grupo de perioda tabelo havas saman nombron da valentelektronoj.

2. La grupa numero donas la nombron da valentelektronoj.
3. La maksimuma nombro da valentelektronoj estas 8.

Ĉiuj noblaj gasoj (Sekcio 5-7), krom heliumo, havas la maksimuman nombron de 8 elektronoj. Heliumo havas nur 2 valentelektronojn, ĉar tio estas maksimumo permesebla en ŝelo 1.

Povas okazi, ke iuj ŝeloj (n estas pli ol 2) enhavas pli ol 8 elektronojn. Tamen, tio okazas nur kiam ili ne estas la plej fora ŝelo kaj do ne la valenta ŝelo. Ekzemple, arseno havas 18 elektronojn en sia tria ŝelo (vidu ekzemplon 6-1). Sed estas ŝelo 4 kiu estas la valenta ŝelo en arseno.

6.2 LA OKOPA REGULO

Ŝlosila koncepto en moderna liga teorio estas ke certaj aranĝiĝoj de valentelektronoj estas pli stabilaj ol aliaj. (Elektron-aranĝiĝon oni konsideras stabila se ĝi ne facile kaj spontane ŝanĝiĝas.) Plej stabilaj el ĉiuj aranĝiĝoj estas tiuj de la noblaj gasoj. Ĉi tiu konkludo baziĝas sur la fakto ke, el ĉiuj elementoj, la noblaj gasoj (He, Ne, Ar, Kr, Xe, kaj Rn) estas plej ne-reakciemaj. Ĉe la komenco de ĉi ĉapitro, ni menciis ke en la naturo la plejparto da elementoj ne ekzistas sole kiel unuoblaj atomoj. La escepto estas la noblaj gasoj, kiuj ekzistas kiel unuatomaj gasoj en la atmosfero (etkvante). Ekzistas neniuj sintezitaj kombinaĵoj de He, Ne, kaj Ar, kaj la nombro da kombinaĵoj de Kr, Xe, kaj Rn estas liliputa.

Kiel ni jam lernis, escepte de heliumo, kiu havas konfiguracion $1s^2$, ĉiu entenas 8 valentelektronojn en distribuo ns^2np^6, kie n estas la maksimuma ŝel-numero por tiu atomo. Observoj indikas ke la atomoj de multaj elementoj, kiuj malhavas la stabilan noblagasan konfiguracion de 8 valentelektronoj, emas akiri ĝin en kemiaj reakcioj kiuj rezultas en la formiĝo de kombinaĵoj. La tendenco al formiĝo de la noblagasa konfiguracio kondukas al la formulado de la okopa regulo, formale skribita:

okopa regulo

Atomoj emas interagi per rearanĝiĝo (transgrupiĝo) de elektronoj tiel ke ĉiu partoprena atomo atingas noblagasan elektronan konfiguracion.

La okopa regulo estas vaste uzata por antaŭdiri kombin-rilatumojn de atomoj, kiel ilustrite en Sekcioj 6.4 kaj 6.6. Ekzistas kelkaj esceptoj de la okopa regulo. Malgraŭ tio, oni daŭre uzas la regulon, ĉar granda nombro da kombinaĵoj estas sukcese antaŭdirita per ĝi.

6.3 SPECOJ DE KEMIAJ LIGOJ

Du lig-modeloj estas kurante uzataj, ambaŭ surbaze de la okopa regulo.

jona modelo; Kovalenta modelo

Laŭ la jon(lig)a modelo, atomoj ligiĝas per gajno aŭ perdo de elektronoj de aliaj atomoj tiamaniere, ke ili atingas noblagasan konfiguracion. En la kovalenta modelo, atomoj obeas la okopan regulon per kunhaviĝo (komuniĝo) de elektronoj.

Tiel, la jonliga modelo temas pri elektrona transiĝo (transdoniĝo); la kovalenta modelo temas pri elektrona kunhaviĝo. La jona modelo speciale utilas por priskribi la ligojn en kombinaj entenantaj kaj metalojn kaj ne-metalojn (Sekcio 5.7). La kovalenta modelo ordinare uziĝas por ligaj situacioj kie ĉiuj atomoj estas nemetaloj. Kialoj manifestiĝas poste en ĉi ĉapitro (Sekcio 6.7).

6.4 JON-LIGA MODELO

Laŭ la jonliga modelo, estas kompleta transiĝo de unu aŭ pluraj elektronoj de unu atomo al alia dum la elektron-rearanĝiĝo, kiu akompanas kombinaĵan formiĝon. Kio rezultas jam ne estas neŭtraj atomoj, sed atomoj surhavantaj elektran ŝargon. Ili nomiĝas jonoj.

jono

Jonoj estas atom(grup)oj kiuj estas aŭ pluse (pozitive) aŭ minuse (negative) ŝargitaj.

Kiam atomo perdas unu aŭ plurajn elektronojn, ĝi fariĝas pluse ŝargita jono, ĉar la nombro da protonoj en ĝia nukleo nun superas la nombron da restantaj elektronoj. (La nukleo estas neperturbita dum la elektron-transira procezo.) Kiam atomo gajnas elektronojn, la rezulta jono estas minuse ŝargita ĉar la nombro da elektronoj nun superas la nombron da nukleaj protonoj. La tuta ŝargo de jono dependas de la nombro de transiĝintaj elektronoj. Kaj plusaj kaj minusaj jonoj produktiĝas en ajna elektron-transdona procezo, ĉar kaj donantoj kaj akceptantoj devas interagi, aŭ la reakcio ne povas okazi.

jon-ligo

La reciproka altirforto de plusaj kaj minusaj jonoj kiuj rezultas el elektron-transiĝo konsistigas la forton konatan kiel jonligo.

Jonon de elemento prezentas la elementa simbolo kun superindico montranta

la netan plusan aŭ minusan ŝargon. Plusa jono de la elemento kalcio (Ca) havas netan plusan ŝargon de 2, kaj skribiĝas Ca^{2+}, dum minusa jono de elemento kloro (Cl) havas netan negativan ŝargon de 1 kaj skribiĝas Cl^- (oni subkomprenas 1 de $^{1-}$ aŭ $^{1+}$).

Antaŭdiro de Jona Ŝargo

Elektron-transdonaj reakcioj plej facile okazas inter atomoj el grupoj IA aŭ IIA kaj elementoj el grupoj VIA aŭ VIIA. Ĉi tiuj elementoj havas elektronajn konfiguraciojn plej similajn al tiuj de la noblaj gasoj, kaj do plej facile atingas noblagasajn konfiguraciojn per elektrontransiĝo. La nombro da gajnitaj aŭ perditaj elektronoj de ĉi tiuj elementoj -- aŭ cetere por ajna ĉefgrupa elemento -- estas regata de la okopa regulo. Ĝenerale, atomo havanta 3 aŭ malpli da valentaj elektronoj emos perdi elektronojn por atingi noblagasan konfiguracion, dum atomoj havantaj 5 ĝis 7 valentajn elektronojn emos gajni elektronojn.

Ekzemplo 6-2. Kiujn jonspecojn formas elementoj S, Cl, K, kaj Ca?

Solvo. En la perioda tabelo, argono (Z = 18) estas la nobla gaso plej proksima al ĉiu el la donitaj elementoj. Ĉiu elemento emos do gajni aŭ perdi elektronojn por akiri la argonan konfiguracion de $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

Sulfuro antaŭas argonon en la perioda tabelo je 2 pozicioj kaj akiras la deziratan konfiguracion per gajno de 2 elektronoj:

$$S\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4) \xrightarrow{\text{gajno de } 2e^-} S^{2-}\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$$

Kloro antaŭas argonon je 1 pozicio kaj akiras la argonan konfiguracion per gajno de 1 elektrono:

$$Cl\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5) \xrightarrow{\text{gajno } 1e^-} Cl^-\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$$

Kalio sekvas argonon je 1 pozicio kaj akiras la argonan konfiguracion per perdo de 1 elektrono:

$$K\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1) \xrightarrow{\text{perdo } 1e^-} K^+\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$$

Kalcio sekvas argonon je 2 pozicioj kaj atingas la argonan konfiguracion per perdo de 2 elektronoj:

$$Ca\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2) \xrightarrow{\text{perdo } 2e^{2-}} Ca^{2+}\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$$

Ekzistas rilato inter la grup-numero de elemento kaj la nombro da elektronoj kiujn ĝi gajnas aŭ perdas por atingi noblagasan konfiguracion. La rilato resumiĝas jene:

Ĉiuj elementoj de grupo IA (alkalioj) formas +1 jonojn.
Ĉiuj elementoj de grupo IIA (ter-alkalioj) formas +2 jonojn.
Ĉiuj elementoj de grupo VIIA (halogenoj) formas -1 jonojn.
Ĉiuj elementoj de grupo VIA (ĥalkogenoj) formas -2 jonojn.

Teorie, jonoj surhavantaj ŝargojn de plus aŭ minus 3 aŭ 4 ankaŭ povas formiĝi, sed plejofte la rezultajn ligojn oni pli adekvate priskribas per la kovalenta modelo, pridiskutota poste en ĉi tiu ĉapitro. Estas konataj nur malmultaj kombinaĵoj surhavantaj +3 jonojn el elementoj de grupo IIIA kaj -3 jonojn el elementoj de grupo VA.

Ni bezonas ankaŭ kelkajn pliajn scierojn pri jonoj. Ni devas emfazi ke per atingo de noblagasa elektrona konfiguracio la atomo tute ne aliformiĝas en noblan gason. Jonformiĝo ne ŝanĝas la nombron da ĉeestantaj protonoj, kaj estas ĝuste tiu ĉi nombro kiu determinas la identecon de la elemento (Sekcio 3.4). Rimarku ankaŭ ke la plusa ŝargo sur jono ĉiam estas la rezulto de la perdo de minusaj specoj (elektronoj) kaj neniam pro la gajno de plusaj specoj (protonoj). Ĉi tiuj punktoj estas emfazitaj per la komparo donita en Tabelo 6-2 por Mg, Mg^{+2}, kaj Ne. Konklude, grava punkto pri jonoj estas ke ties kemiaj ecoj ege malsamas de la neŭtraj atomoj el kiuj ili estas derivitaj. Ekzemple, akvaj solvaĵoj enhavantaj la jonojn Na^{+} estas tre stabilaj eĉ kvankam la elemento natrio (neŭtra Na) eksplode reakcias kun akvo. Tiaj malsamaj ecoj rezultas pro malsamaj elektronaj aranĝiĝoj.

Tabelo 6-2. Komparo de metala atomo, ties jono, kaj la noblagasa atomo havanta la saman elektronan konfiguracion kiel la jono

Ereto	Simbolo	Nombro da protonoj en la nukleo	Nombro da elektronoj ĉirkaŭ la nukleo	Ŝargo sur la ereto
Magnezia atomo	Mg	12	12	0
Magnezia jono	Mg^{2+}	12	10	+2
Neona atomo	Ne	10	10	0

Jon-Liga Formiĝo

Ĝis nun ni studas la elektron-transdonan procezon kun emfazo sur atomoj de unuopaj elementoj kiuj aŭ fordonas aŭ akceptas elektronojn. Tamen, la procezo ne okazas krom se atomoj de almenaŭ du elementoj ĉeestas -- elemento fordonanta elektronojn kaj elemento ilin akceptanta. La perditaj elektronoj de unu elemento estas la samaj ricevitaj de la alia. Neniu atomo perdos elektonojn krom tio, ke haveblas alia atomo por akcepti ilin.

La atomoj kiuj gajnas elektronojn dum jonliga formiĝo ĉiam estas nemetaloj. La perdantoj de elektronoj estas metaloj.

jona kombinaĵo

Do, simplaj jonaj kombinaĵoj estas metal-nemetalaj kombinaĵoj rezulte de elektron-transiĝo.

Formuloj de Jonaj Kombinaĵoj

jona formulo

Formuloj uzataj por reprezenti jonajn kombinaĵojn liveras la kombin-rilatumon de la plusaj kaj minusaj jonoj.

Ĉi tiu rilatumo determiniĝas per la ŝargo sur la jonoj. La kombin-rilatumo devas esti tia ke la suma kvanto de plusaj kaj minusaj ŝargoj egalu nulon. Ekzemplo 6-3 ilustras ĉi tion.

Ekzemplo 6-3. Determinu la formulon por la ricevota jona kombinaĵo kiam la sekvaj elementparoj reakcias: a) Na kaj Cl, b) Mg kaj F, kaj c) Ba kaj N.

Solvo. a) Natrio (Na) estas en grupo IA kaj do atingos noblagasan konfiguracion per formiĝo de +1 jono. Kloro estas en grupo VIIA kaj plenigas sian okopon per formiĝo de -1 jono. La rezultaj jonoj, Na^+ kaj Cl^-, kombiniĝos en rilatumo 1:1, ĉar tia kombinaĵo kaŭzos la tutan ŝargon sumiĝi ĝis nulo (sumo de +1 kaj -1 egalas 0). Do, la formulo estas NaCl. Notu ke la metalo aperas unue en la formulo. Tio estas konvencio, ĉiam sekvata. Ankaŭ oni ĉiam skribas la formulon uzante la kiel eble plej malgrandan nombron de ĉiu jono (ĉi-kaze po 1). Fine rimarku ke individuaj ŝargoj sur la jonoj (+1 kaj -1) ne estas skribitaj en la formulo. b) Magnezio de grupo IIA perdos po 2 elektronojn ĉiu-atome, dum fluoro de grupo VIIA gajnos po 1 elektronon ĉiu-atome. La rezultaj jonoj estas Mg^{2+} kaj F^-. Du fluoraj atomoj estos bezonataj por akcepti la elektronojn de unu magnezia atomo. El alia vidpunkto, 2 F^- jonoj estos bezonataj por bilanci la ŝargon de unusola Mg^{2+} jono. Ambaŭ observoj kondukas al la formulo MgF_2. Notu la uzon de subindicoj por indiki la nombron da jonoj en la formulo. La subindico 1 (ĉe Mg) estas sub-komprenata kaj neniam skribata.

c) Bario (grupo IIA) formas jonon +2 kaj nitrogeno (grupo VA) formas jonon +3. Kombiniĝo de 1 baria jono kun 1 nitrogena jono donos formulon de neta ŝargo de -1, kiu estos videble ne kontentiga. La plej simpla taŭga rilatumo de jonoj estas 3 Ba^{2+} kaj 2 N^{3-} jonoj, donante la formulon Ba_3N_2. Ĉi-voje ni havas totalon de 6 plusaj ŝargoj [3 x (+2)] kaj 6 minusaj

ŝargoj [2 x (-3)] kiuj adiciiĝas ĝis 0. Rimarku ke 6 (la suma plusa aŭ minusa ŝargo) estas la plej malalta komuna oblo de la nombroj 2 kaj 3.

6.5 NOMENKLATURO DE JONAJ KOMBINAĴOJ

binaraj jonaj kombinaĵoj

Tiaj jonaj kombinaĵoj, kiajn ni estis studantaj, nomiĝas binaraj (duspecaj) jonaj kombinaĵoj ĉar ili entenas nur du malsamajn specojn de atomoj.

Nomoj de tiaj kombinaĵoj estas facile riceveblaj. Ni bezonas nur la nomojn de la du koncernaj elementoj. La nomo de la metala elemento kutime aperas unue kiel adjektivo, kiun sekvas la radiko de la nomo de ne-metalo kun aldonita sufikso -id-. Ekzemplo 6-4 ilustras la aplikon de ĉi tiu regulo.

Ekzemplo 6-4. Nomu la sekvajn binarajn jonajn kombinaĵojn: a) KCl, b) SrO, kaj c) Al_2N_3.

Solvo. a) La metalo estas kalio, la nemetalo estas kloro. La kombinaĵa nomo estas do kalia klorido (Nemetal-radiko substrekita). b) Simile, Stroncio (Sr) kaj oksigeno (O) donas la kombinaĵan nomon stroncian oksidon.
c) La elementoj estas aluminio kaj nitrogeno, do la nomo estas aluminia nitrido, aŭ stekiometrie dialuminia trinitrido.

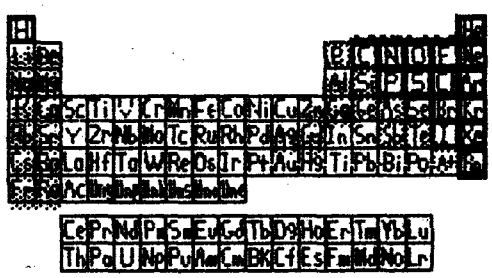
En nia ĝisnuna diskuto, ni supozis ke la sola konduto permesata por elemento estas tiu antaŭdirita de la okopa regulo. Estas bona supozo por nemetaloj, sed por metaloj ne. La plejparto da metaloj montras malpli antaŭdireblan konduton, povante formi pli ol unu specon de jono. Ekzemple, fero povas formi kaj Fe^{2+} kaj Fe^{3+} jonojn. Ĉiuj maloft-teraj elementoj, la plimulto da transiraj elementoj, kaj eĉ kelkaj ĉef-grupaj elementoj (kelkaj metaloj en parto p de la perioda tabelo) montras ĉi tiun varian jon-ŝargan konduton. Kvankam la kialo por la ekzisto de ĉi tiu fenomeno kaj la detaloj pri la prognozo de la jon-ŝargaj valoroj estas ekster la kadro de ĉi tiu teksto, ni mencias ĝin ĉar ni devas enkalkuli ĝin dum nomado de jonaj kombinaĵoj entenantaj tiajn metalojn.

En nomado de kombinaĵoj entenantaj metalojn de variaj jon-ŝargoj, la ŝargo sur la metal-jono devas esti enigita en la nomon. Oni tion faras uzante Romanajn ciferojn. Ekzemple, kloridoj de Fe^{2+} kaj Fe^{3+} ($FeCl_2$ kaj $FeCl_3$, respektive) nomiĝas fera(II) klorido kaj fera(III) klorido*. Simile, FeO kaj Fe_2O_3 estas, respektive, fera(II) oksido kaj fera(III) oksido. Se vi

ne certas pri la metala jon-ŝargo en kombinaĵo, uzu la ŝargon sur la nemetala jono por helpi kalkuli ĝin. Ekzemple, se ni volas determini la ŝargon sur la jono Fe en FeO, ni notas ke la oksida jono surhavas ŝargon -2, ĉar oksigeno estas en grupo VIA. Ĉi tio signifas ke la fera jono devas havi ŝargon +2, por egalpezi la ŝargon -2. Simile pri Fe_2O_3, la Fe estas +3 ĉar ni havas suman minus-ŝargon de -6 (3 oksid-jonoj kun po -2 ŝargoj) kiu devas esti kompensita per ŝargo +6 sur la 2 Fe atomoj. Ĉi tio signifas ke ĉiu Fe jono havas ŝargon +3.

*Alia malnova sistemo estas ankoraŭ uzata aldone al tiu de la Romanaj ciferoj. La malnova sistemo uzas la sufiksojn -ik- kaj -oz- por signi respektive la pli kaj malpli grandajn ŝargojn sur la metala jono. Ekzemploj estas ferika klorido antataŭ fera(III) klorido, kaj feroza klorido anstataŭ fera(II) klorido.

Tiel, por ĝuste nomi binarajn jonajn kombinaĵojn, ni devas scii, kiuj metaloj formas pli ol unu specon de jono. La plej facile vojo informiĝi pri tio ĉi estas lerni tiujn metaloj, kiuj formas nur unu specon de jono, ĉar ilia nombro estas sufiĉe malpli granda. Bildo 6-1 montras tiujn metalojn kiuj ĉiam formas unusolan specon de jono en jon-liga formiĝo. Jonaj kombinaĵoj entenantaj ĉi tiujn metalojn estas la solaj nomataj sen uzo de Romanaj ciferoj.



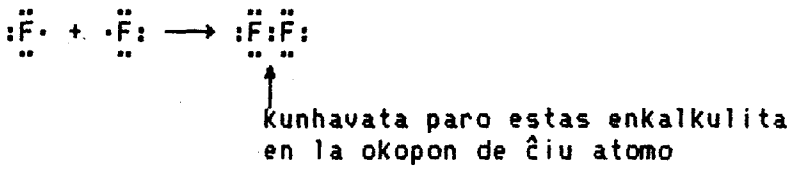
Bildo 6-1. Perioda tabelo montranta la metalojn (en griza fono) kiuj formas unusolan specon de jono.

6.6 LA KOVALENTA MODELO

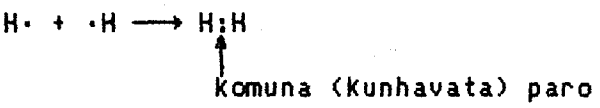
La teorio de jon-ligiĝo klarigas la formiĝon kaj stabilecon de multaj konataj kombinaĵoj. Tamen, ĝi ne povas klarigi la formiĝon de tiaj kombinaĵoj kiel H_2 aŭ F_2. La atomoj en tiaj molekuloj havas identajn ecojn, kaj ne ekzistas kialo ke unu atomo fordonu elektronojn al identa atomo.

Oni eksplikas ĉi tiun specon de molekula ligiĝo per la koncepto de elektron-kunhaviĝo, kiu rezultas en la formiĝo de kovalenta ligo. Atenta

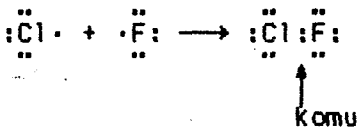
Konsidero de la ligiĝo en kelkaj tipaj kovalent-ligaj kombinaĵoj ilustros la koncepton. La molekulo F_2 estas formita el 2 fluoraj atomoj, kaj ambaŭ havas la elektron-konfiguracion $1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^5$. Ĉiu fluora atomo havas 7 valent-elektronojn $2\underline{s}^2 2\underline{p}^5$, kaj do bezonas 1 plian por plenigi la okopon kaj atingi la noblagasan konfiguracion de neono ($1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^6$). Ĉi tio efektiviĝas kiam la du F atomoj kunhavas aŭ kunposedas inter si elektronparon. La kunhavata paro faras duoblan taskon, helpante kompletigi la okopon de ambaŭ atomoj. Ĉi tiu kunhaviĝo estas ilustrita per sekva ekvacio, skribita en la maniero de elektron-punktaj strukturoj (Sekcio 6.1).



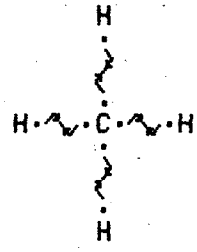
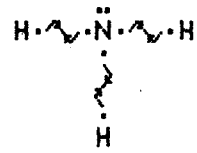
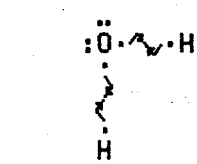
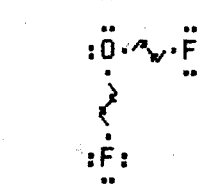
Simile oni povas ekspliki la ligiĝon en la molekulo H_2. Ĉiu H atomo ($1\underline{s}^1$) havas unusolan elektronon, kaj la kunhaviĝo de ĉi elektrono rezultigas la noblagasan konfiguracion de heliumo ($1\underline{s}^2$) por ĉiu atomo.



Kovalent-ligiĝo estas ankaŭ trovita en molekuloj, kiujn konsistigas neidentaj atomoj. La kombinaĵo ClF entenas kovalentan ligon, kiu rezultas el la sama maniero de kunhaviĝo kiel tio pristudita pli frue por la F_2 molekulo. Kaj Cl kaj F havas 7 valentelektronojn. La ligiĝo esprimita per elektron-punktaj strukturoj estas



Tabelo 6-3. Kovalenta kombiniĝo en kelkaj poliatomaj molekuloj

Molekulo	Atoma elektron-punkta formulo	Tipoj de kunhaviĝo	Molekula elektron-punkta formulo
Metano, CH_4 (ĉiu H estas ligita al la C)	·C· ($1s^2 2s^2 2p^2$) H· ($1s^1$)		
Amoniako, NH_3 (ĉiu H estas ligita al la N)	·N· ($1s^2 2s^2 2p^3$) H· ($1s^1$)		
Akvo, H_2O (ĉiu H estas ligita al la O)	:O· ($1s^2 2s^2 2p^4$) H· ($1s^1$)		
Oksigena fluorido OF_2 (ĉiu F estas ligita al la O)	:O· ($1s^2 2s^2 2p^4$) :F: ($1s^2 2s^2 2p^5$)		

Poliatomaj Molekuloj Enhavantaj Kovalentajn Ligojn

Kovalentaj ligoj ne estas limigitaj al duatomaj molekuloj; ili ankaŭ okazas en multaj poliatomaj molekuloj. En Tabelo 6-3, ni donas la "elektronan librotenadon" por ligiĝo en kvar tiaj molekuloj. Studu la tabelon dum legado de jena komentario:

metano (CH_4)

La C atomo havas nur 4 valentelektronojn kaj bezonas entute 8 por atingi noblagasan konfiguracion. La kunhaviĝo de 4 elektron-paroj liveras la necesan 8. Ĉiu H atomo entenas nur 1 elektronon kaj bezonas 2 por atingi la He konfiguracion. Do ĉiu atomo kunhavas nur unu elektronparon. La ligiĝo de 4 H atomoj al 1 karbona atomo kontentigos la necesajn kondiĉojn por ambaŭ elementoj kaj formas la metanan molekulon. Estas facile vidi kial stabilaj kombinaĵoj de formuloj CH_3 aŭ CH_2 eston ne havas, ĉar ambaŭkaze la C atomo ne povas kunhavi sufiĉe da elektronoj por kompletigi la okopon.

amoniako (NH_3)
La nitrogeno devas gajni 3 elektronojn por plenigi la okopon. Tio estas realigebla per formiĝo de kovalent-ligoj kun 3 hidrogenatomoj. Notu ke nur 6 el la 8 elektronoj en la okopo partoprenas en la ligiĝo. Ne estas necese ke ĉiuj 8 elektronoj de la okopo estu implicitaj en la ligiĝo de poliatomaj molekuloj.

akvo (H_2O); oksigena (di)fluorido (OF_2)
Bezono de oksigeno por 2 elektronoj estas kontentigita per la kunhaviĝo de 2 elektron-paroj dum formiĝo de kaj akvo kaj oksigena fluorido. Kiam akvo formiĝas, la 2 H atomoj akiras la He konfiguracion; en la kazo de OF_2, ambaŭ F atomoj akiras okopon kaj ekhavas Ne noblagasan konfiguracion.

(Fina noto pri Tabelo 6-3; oni devas antaŭscii la elektron-aranĝiĝon ene de poliatoma molekula antaŭ ol desegni la elektron-punktan diagramon. En ĉi tiu teksto ni ne prezentas haveblajn teoriojn pri determino de elektron-aranĝiĝoj. Sekve de tio, ni donos bezonatajn informojn pri tio ĉi kun iuj ajn problemoj solvendaj pri elektron-punktaj strukturoj.)

Multoblaj Kovalentaj Ligoj

unuobla ligo
Kiam unuobla elektronparo kunhaviĝas inter du atomoj, la rezulta ligo estas nomata unuobla kovalent-ligo.

Kelkfoje, pli ol unu elektronparo estas kunhaviĝinta por provizi ĉiun atomon de molekulo per plena okopo. Ĉi tiu tipo de kunhaviĝo kondukas al multobla ligiĝo inter atomoj.

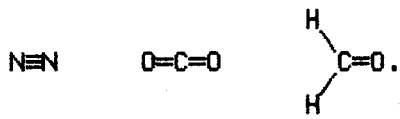
duobla ligo; triobla ligo
Du komunaj elektronparoj estigas duoblan ligon, kaj tri paroj trioblan ligon.

Tabelo 6-4. Multobla kovalenta ligiĝo

Molekulo	Atoma elektron-punkta formulo	Tipoj de kunhaviĝo	Molekula elektron-punkta strukturo
Nitrogena gaso, N_2	$\cdot\ddot{N}\cdot$ $(1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^3)$	$:N\cdot\rightarrow \leftarrow\cdot N:$	$:N\vdots\vdots N:$
Karbona dioksido, CO_2 (ĉiu O estas ligita al la C)	$\cdot\dot{C}\cdot$ $(1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^2)$	$:\ddot{O}\cdot\rightarrow \leftarrow\cdot\dot{C}\cdot\rightarrow \leftarrow\cdot\ddot{O}:$	$\ddot{O}::C::\ddot{O}$
	$:\ddot{O}\cdot$ $(1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^4)$		
Formaldehido (Metanalo), H_2CO (ĉiu H kaj la O estas ligitaj al la C)	$\cdot\dot{C}\cdot$ $(1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^2)$	$H\cdot\rightarrow \leftarrow\cdot C \cdot\rightarrow \leftarrow\cdot\ddot{O}$ $H\cdot\rightarrow \leftarrow\cdot \cdot\rightarrow \leftarrow\cdot\ddot{O}$	H $\ddot{C}::\ddot{O}$ H
	$:\ddot{O}\cdot$ $(1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^4)$		
	$H\cdot$ $(1\underline{s}^1)$		

Atentu la ekzemplojn de multobla ligiĝo donitajn en Tabelo 6-4. La N_2 molekulo enhavas trioblan ligon; la karbon-oksigenaj ligoj en CO_2 estas duoblaj ligoj, kaj la molekulo H_2CO enhavas 2 unuoblajn kaj 1 duoblan ligojn.

Ofte la elektronoj partoprenantaj en la formiĝo de kovalenta ligo prezentiĝas per rekto aŭ streko anstataŭ per punktoj. En ĉi tia notacio la tri molekuloj en Tabelo 6-4 fariĝas



Kiam ĉi tiu sistemo estas uzita, oni ellasas la ekstrajn elektron-parojn ĉe la atomoj ne partoprenantaj en la ligiĝo.

Kunordiĝaj Kovalent-ligoj

En la ekzemploj de kovalantaj ligoj jam prezentitaj, ĉiu de la ligitaj atomoj kontribuis po unu elektronon al ĉiu liganta paro. Ekzistas pluraj molekuloj kie oni ne povas apliki tiel simplan klarigon; anstataŭe, kunordiĝaj kovalent-ligoj ĉeestas.

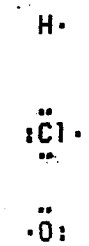
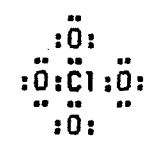
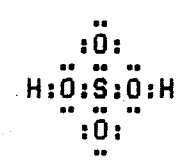
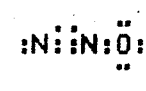
Kunordiĝaj kovalent-ligoj

En kunordiĝaj kovalent-ligoj, unu el la ligitaj atomoj liveras ambaŭ elektronojn al la ligo por kontentigi la okop-regulon. Parenteze, anstataŭ "kunordiĝa", oni povas uzi la internacian vorton "koordinacia".

Tabelo 6-5 donas ekzemplojn de molekuloj kie okazas tiaj ligoj. Por

plibone vidigi ĉi tipon de ligiĝo, notu ke ni per emfaza teksto presas la simbolojn kaj elektron-punktojn de tiuj atomoj kiuj liveras la kunordiĝajn ligojn.

Tabelo 6-5. Kunordiĝa kovalent-ligiĝo

Molekulo	Atoma elektron-punkta strukturo	Molekula elektron-punkta strukturo	Klarigoj
Perklorata acido, $HClO_4$			Tri el la 4 klor-oksigen-ligoj estas de la kunordiĝa kovalenta speco. La sola normala kovalenta klor-oksigen-ligo implicas la oksigen-atomon kiu estas ankaŭ ligita al la hidrogeno.
Sulfata acido, H_2SO_4			La 2 oksigen-atomoj ne ligitaj al hidrogen-atomoj estas ligitaj al la sulfura atomo per kunordiĝaj kovalent-ligoj. Sulfuro estas la elektron-donanto por ĉi tiuj ligoj.
Dinitrogena oksido, N_2O			La triobla ligo inter la du nitrogen-atomoj estas normala kovalent-ligo, sed la nitrogen-oksigen-ligo estas kunordiĝa kovalent-ligo.

Bone notu, ke post la formiĝo de ligo, ne ekzistas ebleco distingi la fonton de la elektronoj, ĉar ĉiuj elektronoj estas identaj. Do, kunordiĝa kovalenta ligo posedas ĉiujn karakterizojn de normala kovalent-ligo. Tamen, la koncepto de kunordiĝa kovalenteco utilas al ni por teni kalkulon de elektronoj de difinitaj molekuloj, kies formiĝo alie atencus la okopan regulon.

6.7 LIGA POLUSECO

Kiam du identaj atomoj kunhavas inter si elektronparon (kiel la du hidrogenaj atomoj en H_2), ĉiu atomo efikas per la sama altiro al la elektronoj, kaj ili estas do egale kunhavataj.

nepolusa kovalent-ligo

Ĉi-speca ligo en kiu la elektronoj pasigas tiom multan tempon, mezvalore, ĉe unu nukleo, kiom ili pasigas ĉe alia, nomiĝas nepolusa kovalent-ligo.

Tute malsamas la situacio en la kazo de kovalent-ligoj inter du malsamaj atomoj. La nukleoj de tiaj atomoj havas malsamajn altirfortojn por la elektron-paro, kaj la elektronoj proporcie pasigos pli da tempo ĉe la atomo de pli granda altirforto. Kvankam komence ambaŭ atomoj estis senŝargaj, la neegala kunhaviĝo de elektronoj kaŭzas partan minusan ŝargon, malpli ol unu unuo (δ^-) sur unu ligita atomo, kaj egalvaloran partan plusan ŝargon (δ^+) sur la alia atomo (La simbolo por parta ŝargo, δ, estas la minuskla greka litero delta).

polusa kovalent-ligo

Tia kovalent-ligo, kia temas pri neegala elektron-kunhaviĝo, nomiĝas polusa kovalent-ligo.

La neegaleco rilate elektron-dividiĝon pligrandiĝas kiel la diferenco inter la elektron-altira kapacito de la ligitaj atomoj pligrandiĝas. La plej granda neegaleco elektron-dividiĝa okazas en pura jona ligo, kie la elektronoj pasigas sian tutan tempon ĉe unu atomo kaj neniom ĉe la alia.

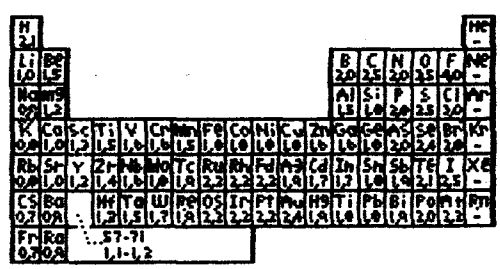
Elektronegativeco kaj Liga Poluseco

La direkto kaj grando de la poluseco de kemia ligo povas esti antaŭdiritaj per uzo de atoma eco nomata elektronegativeco.

elektronegativeco

Elektronegativeco estas mezuro de la altirforto, kiun atomo havas por elektronoj en kovalent-ligo.

Elektronegativeco ne estas eksperimente determinita kvanto sed estas kalkulebla el diversaj donitaĵoj. La plej vaste akceptita aro da elektronegativecaj valoroj estas en Bildo 6-2. Al la elemento fluoro, la plej elektronegativa el ĉiuj elementoj, oni arbitre atribuas valoron de 4,0 (la maksimuma valoro), kaj ĝi servas kiel kompar-elemento. Ju pli da elektronegativeco de elemento, des pli da elektron-altirforto de tiu elemento.



Bildo 6-2. Elektronegativecoj de la elementoj

Por la ĉef-grupaj elementoj, elektronegativeco kreskas de maldekstro dekstren tra periodo de perioda tabelo, kaj malkreskas de supro malsupren en grupo de perioda tabelo. Ĉi tiuj du tendencoj rezultigas ke ne-metaloj ĝenerale havas pli altajn elektronegativecojn ol metaloj. Ĉi tiu fakto estas en akordo kun nia antaŭa ĝeneraligo (Sekcio 6.4) ke metaloj emas perdi elektronojn, kaj nemetaloj emas gajni ilin kiam formiĝas jon-ligo.

La ŝlosilo por antaŭdiri polusecon de ligo inter atomoj estas la diferenco en elektronegativecoj inter la koncernaj atomoj. Kvanteca rilato inter la elektronegativeco-diferenco (ΔEN) de la ligiĝintaj atomoj kaj la poluseco de la ligo, kiel esprimite per procentoj de jona karaktero, estas donita en Tabelo 6-6.

Tabelo 6-6. Elektronegativecaj diferencoj kaj la karaktero de kemiaj ligoj

Elektronegativeca diferenco inter kombiniĝantaj atomoj (ΔEN)	Kvanto de jon-karaktero en rezultaj ligoj (%)
0,2	1
0,4	4
0,6	9
0,8	15
1,2	30
1,6	47
2,0	63
2,4	76
2,8	86
3,2	92

Ju pli granda la procenta jona karaktero, des pli polusa estas la ligo. Pura kovalent-ligo (nepolusa) havus 0% da jona karaktero, dum pura jona ligo (kompleta elektron-transiĝo) havus 100%-an jonan karakteron. Ligoj inter atomoj de malgrandaj ΔEN-valoroj havas grandan kovalentan karakteron, dum tiuj inter atomoj de grandaj ΔEN-valoroj havas grandan kvanton da jona karaktero.

Eĉ kvankam la plimulto da kemiaj ligoj lokiĝas meze inter jona kaj kovalenta, estas ankoraŭ oportune uzi la vortojn jona kaj kovalenta por priskribi ilin. Gravas, tamen, ke ni konsekvence uzu la terminojn. En ĉi tiu teksto ni uzos jenajn regulojn por determini la uzendan terminon:

Kiam ΔEN estas malpli ol 0,6 (ĉirkaŭ 10 procentoj jon-karakteron), ni nomos la ligon kovalenta.

Kiam ΔEN estas pli ol 2,0 (ĉirkaŭ 60 procentoj jon-karakteron), ni nomas la ligon jona.

Kiam ΔEN falas meze inter la supre donitaj limoj, ni nomas la ligon

polusa kovalenta.

Ni vidas ke la terminoj aŭ jona aŭ kovalenta, uzitaj por priskribi iun ligon, prezentas nur la superregan karakteron de la ligo.

Ekzemplo 6-5. Klasu la ligojn en du-atomaj molekuloj laŭ kovalenta, jona, aŭ polus-kovalenta: a) ClF, b) MgO, c) HI

Solvo. a) La elektronegativecoj de Cl kaj F estas respektive 3,0 kaj 4,0. La ΔEN valoron oni akiras subtrahante la malpli grandan de la pli granda, senkonsidere al la ordo en kiu aperas la elementoj en la formulo. Do, ΔEN = 4,0 - 3,0 = 1,0, sekve la ligo estas polusa kovalenta.
b) Simile ΔEN = 3,5 - 1,2 = 2,3, do la ligo estas jona.
c) Simile ΔEN = 2,5 - 2,1 = 0,4, do la ligo estas kovalenta.

Poluseco de Molekuloj

Same kiel ligoj, molekuloj povas manifesti polusecon.

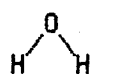
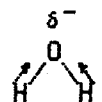
polusa molekulo; ne-polusa molekulo

Kiam aplikite al molekuloj, la terminoj polusa kaj nepolusa indikas la elektran ŝargan simetrion. Kiam koincidas la centroj de plusa kaj minusa ŝargoj, la molekulo estas nepolusa. Kiam ili ne koincidas, polusa molekulo rezultas.

Estas facile determini polusecon por duatomaj molekuloj. Se la elektronoj partoprenantaj en la ligiĝo estas egale kunhavataj (nepolusa ligo), la molekulo kiel tuto estas nepolusa. Neegala kunhaviĝo de la elektronoj (polusa ligo) rezultigas polus-molekulon pro tio, ke la centroj de minusa kaj plusa ŝargo ne koincidas; la centro de minusa ŝargo delokiĝas al la pli elektronegativa elemento.

Pli malfacile estas prognozi la polusecon de molekuloj entenantaj pli ol du atomoj. Ĉeesto de polusaj ligoj en tiaj molekuloj ne necese signifas ke la molekuloj estas polusaj, ĉar molekula poluseco dependas kaj de molekula geometrio, kaj de elektron-distribuo en la diversaj ligoj. Ekzemple, simetriaj molekuloj estas ne-polusaj, eĉ kvankam unuopaj ligoj interne de la molekulo estas polusaj. Tabelo 6-7 donas ekzemplojn de ĉi tiu punkto.

Tabelo 6-7. Poluseco de molekuloj

Molekula Formulo	Geometria Strukturo	Poluseco (sanoj montras direkton de elektrona polusiĝo)	Klariĝoj
H_2	H–H linia	H–H nepolusa	Ambaŭ atomoj estas identaj, tiel do neniu liga poluseco okazas kaj neniu molekula poluseco rezultas.
HCl	H–Cl linia	$\delta^+\ \delta^-$ H–Cl → polusa	La du atomoj malsimilas kaj la liganta elektronparo estas polusiĝinta direkte al la pli elektronegativa kloro. La centro de minusa ŝargo delokiĝas direkte al kloro kaj ne plu koincidas kun la centro de plusa ŝargo. Polusa molekulo rezultas.
CO_2	O=C=O linia	$\delta^-\ \delta^+\ \delta^-$ O=C=O ← → nepolusa	Ambaŭ karbon-oksigenaj ligaj elektronparoj polusiĝas al la pli elektronegativa oksigeno. Ĉiu oksigeno havas etan minusan ŝargon, sed pro la molekula geometrio la centro (mezloko) de minusa ŝargo estas sur la karbon-atomo, kaj koincidas kun la centro de plusa ŝargo. Ĉi tiu simetria lig-polusiĝo, do, rezultigas nepolusan molekulon.
N_2O	N≡N–O linia	$\delta^+\ \delta^-$ N≡N–O → polusa	Ĉi tiu molekulo estas linia sed tamen polusa. La ligantaj elektronoj de la nitrogen-nitrogen-ligo ne estas polusiĝintaj, sed tiuj de la nitrogen-oksigena ligo estas polusiĝintaj al la pli elektronegativa oksigeno. La rezultaj ŝarg-centroj ne koincidas kaj la molekulo estas polusa.
H_2O	 angula	δ^-  $\delta^+\ \delta^+$ polusa	La ligantaj elektronoj de ambaŭ hidrogen-oksigenaj ligoj estas polusiĝantaj al oksigeno. Ambaŭ polusiĝoj, kvankam egalaj, estas nesimetriaj (ne tute kontraŭdirektaj) rezultigante malsamajn lokojn por la plusaj kaj minusaj ŝarg-centroj. Rezulto estas polusa molekulo.

6.8 NOMENKLATURO DE KOVALENTAJ KOMBINAĴOJ

Reguloj por nomi binarajn kovalent-kombinaĵojn estas jenaj:

1. Skribu unue la nomon de la malplej elektronegativa elemento en la kombinaĵo.
2. Due, skribu la radikon de la nomo de la pli elektronegativa elemento kun la sufikso -id- aldonita al ĝi.

3. Per aldono de grekaj nombraj prefiksoj (laŭ Tabelo 6-8) indiku la nombron de ĉiu atomspeco en la kombinaĵo.

Tabelo 6-8. Grekaj Nombraj Prefiksoj*

Numero	Prefikso
1	mono
2	di
3	tri
4	tetra
5	penta
6	heksa
7	hepta
8	okta
9	nona
10	deka

*Oni povas uzi la nombrojn esperantajn anstataŭ grekaj, kiel ekz.: karbona duoksido, dunitrogena kvinoksido.

Ekzemplo 6-6. Nomu la sekvantajn binarajn kombinaĵojn: a) CO_2, b) CO, c) NF_3, ĉ) N_2O_5, d) N_2O

Solvo. a) La elementoj estas karbono kaj oksigeno, kaj la karbono estas la malpli elektronegativa. La du partoj de la nomo fariĝas karbono kaj oksido. Estas bezonate aldoni grekajn prefiksojn. Troviĝas nur unu karbono en la molekulo, do la prefikso por karbono estas mono. La du oksigenaj atomoj estas indikitaj per la prefikso di. La nomo estas monokarbona dioksido. La prefikson mono, kiam ĝi komencas nomon de kombinaĵo, oni kutime ellasas. Do, la nomo de la kombinaĵo estas karbona dioksido.

b) Simile, ni alvenas al la nomo karbona monoksido por tiu kombinaĵo. (Rimarku la ellason de la o en mono. En la scienca literaturo, tiu "monooksido" kunfandiĝas al "monoksido".)

c) Ĉar fluoro estas la plej elektronegativa, ĉi tiu kombinaĵo estas nitrogena fluorido. Ĉar estas en la kombinaĵo tri fluoraj atomoj, la ĝusta nomo estas nitrogena trifluorido.

ĉ) Pro tio ke oksigeno estas la plej elektronegativa, ĉi tiu kombinaĵo nomiĝas dinitrogena pentaoksido. Rimarku la uzon de du nombraj prefiksoj.

d) La plena nomo estas dinitrogena monoksido.

Kelkaj binaraj kovalent-kombinaĵoj havas nomojn ne konformajn al la supraj reguloj. Ili nomiĝas per vulgaraj (nesistemaj) nomoj longe uzitaj antaŭ ol oni komencis elpensi sistemajn nomenklaturajn regulojn. Frue en la historio de kemio, ĉiuj kombinaĵoj havis vulgarajn nomojn. Post estiĝo de

sistema nomenklaturo, oni plejparte ĉesis uzi vulgarajn nomojn. Tamen, kelkaj daŭre persistis kaj estas nun oficiale akceptitaj. Elstara ekzemplo estas la nomo de la kombinaĵo H_2O, kies sistema nomo estas dihidrogena monoksido. Oni preskaŭ neniam uzas ĉi tiun nomon ĉar la komun-uza nomo estas akvo. Estus malfacile instigi la tutan popolon peti trinkaĵojn de dihidrogena monoksido! Amoniako, NH_3, estas alia ekzemplo. Aldone, ni vidos en Ĉapitroj 13-15, ke aparta "vulgara" nomenklaturo estis disvolvita por kovalentaj karbon-hidrogenaj kombinaĵoj.

6.9 KOMBINAĴOJ ENTENANTAJ POLIATOMAJN JONOJN

poliatoma jono

Poliatoma jono konsistas el grupo de kovalente ligitaj atomoj kiuj jam akiras netan ŝargon.

Oni povas konsideri ilin kiel ŝargitajn molekulojn samsence kiel unu-atomaj jonoj estas konsiderataj kiel ŝargitaj atomoj. Multnombraj jon-kombinaĵoj ekzistas en kiuj la plusa aŭ minusa jono (aŭ ambaŭ) estas poliatoma. Tiaj kombinaĵoj prezentas interesan miksaĵon kaj de jona kaj de kovalenta ligoj: kovalenta ligo ene de la poliatoma jono kaj jona ligo inter ĝi kaj la alia jono. Grava karakterizaĵo de poliatoma jono estas ke ĝenerale ĝi restas integra tutaĵo dum kemiaj reakcioj.

Tabelo 6-9 donas la nomojn kaj formulojn por la plej oftaj poliatomaj jonoj. Kelkaj el la nomoj, sed ne necese la formuloj, de ĉi tiuj jonoj espereble estas jam konataj de vi eĉ se vi neniam antaŭe studis kemion, ĉar multaj el ĉi tiuj jonoj troviĝas en komercaj varoj. Ekzemploj estas sterkaĵoj (fosfatoj, sulfatoj, nitratoj), bak-pulvoro (hidrokarbonatoj), kaj konstru-materialoj (karbonatoj, sulfatoj).

Notu en Tabelo 6-9 ke la plejmulto de la jonoj havas minusan (negativan) ŝargon, kiu varias inter -1 kaj -3. Nur unu ofte trovata plus-ŝargita poliatoma jono ekzistas -- amonio (NH_4^+). Notu ankaŭ ke du el la poliatomaj jonoj -- hidroksido (OH^-) kaj cianido (CN^-) havas nomojn finiĝantajn per -ido. Ĉi tiuj prezentas esceptojn al la regulo ke la sufikso -id- estu rezervita por uzo en nomado de binaraj jonaj kombinaĵoj (Sekcio 6.4). Observu ankaŭ ke la poliatomaj jonoj alprenas la sufikson -at- aŭ (malpli ofte) -it-. La sufikso -at- estas ĝenerale uzata. Oni aplikas -it- nur tiam, kiam oni devas distingi inter jonoj kun malsamaj nombroj de la sama elemento (sulfito: SO_3^{2-} kaj sulfato: SO_4^{2-}).

Tabelo 6-9. Oftaj poliatomaj jonoj

Tre oftaj		Oftaj	
NH_4^+	amonio	SO_3^{2-}	sulfito
PO_4^{3-}	fosfato	CrO_4^{2-}	kromato
SO_4^{2-}	sulfato	$Cr_2O_7^{2-}$	dikromato
CO_3^{2-}	karbonato	HPO_4^{2-}	monohidrogena fosfato
NO_3^-	nitrato	$H_2PO_4^-$	dihidrogena fosfato
ClO_3^-	klorato	MnO_4^-	permanganato
OH^-	hidroksido	HCO_3^-	hidrogena karbonato (hidrokarbonato*)
$C_2H_3O_2^-$	acetato	HSO_4^-	hidrogena sulfato (hidrosulfato*)
CN^-	cianido	NO_2^-	nitrito

*Anstataŭ hidro-, la formoj kun bi- estas popularaj en la naciaj lingvoj: bikarbonato, bisulfato.

Formuloj por jonaj kombinaĵoj entenantaj poliatomajn jonojn estas determinitaj sammaniere kiel tiuj por kombinaĵoj enhavantaj unuatomajn jonojn (Sekcio 6.4). La baza regulo restas same: la tuta sumo de plusa kaj minusa ŝargoj devas sumiĝi ĝis nulo. Aldone, du novaj konvencioj estas uzataj kiam necese: (1) krampoj estas uzataj, se necese, por indiki pli ol unu poliatoman jonon de donita tipo; (2) elementaj simboloj povas aperi en pli ol unu loko en formulo por konservi la identecon de la poliatomaj jonoj. Ĉi tiuj konvencioj estas ilustritaj en Ekzemploj 6-7 kaj 6-8.

Ekzemplo 6-7. Skribu la formulon por la ricevita kombinaĵo kiam la jonoj Ba^{2+} kaj NO_3^- kombiniĝas.

Solvo. Por egaligi la sumajn plusajn kaj minusajn ŝargojn ni bezonas 2 nitratajn jonojn (ŝargo -1) por ĉiu baria jono (ŝargo +2). Sekve, la formulo estas $Ba(NO_3)_2$. Rimarku la uzon de krampoj ĉirkaŭ la nitrataj jonoj, ĉar oni bezonas 2; tiel malhelpante al la subindicoj 3 kaj 2 interpuŝiĝi. Sen krampoj la formulo aspektus kiel $BaNO_{32}$, kiun ni ne celas, kaj fakte peras falsan informon. La formulo $Ba(NO_3)_2$ indikas ke la molekulo entenas 1 Ba atomon, 2 N atomojn, kaj 6 oksigenajn atomojn; formulo $BaNO_{32}$ indikas ke la molekulo entenas 1 Ba atomon, 1 N atomon, kaj 32 O atomojn.

Ekzemplo 6-8. Kio estas la formulo por la kombinaĵo rezultinta el la kombiniĝo inter jonoj de NH_4^+ kaj CN^-?

Solvo. Ĉar la jonoj havas egalajn sed malajn ŝargojn, ili kombiniĝas laŭ rilatumo 1:1. La formulo estas NH_4CN. Krampoj ne estas bezonitaj ĉar ne ekzistas subindicoj kiuj interpuŝiĝas. Rimarku ke la elementa simbolo N dufoje aperas en la formulo. Ni ŝajne povus eviti tion per kombino de la 2 N-oj por doni formulon N_2H_4C, sed tion ni ne faras ĉar la rezultanta formulo ne plu informas pri la ekzisto de ambaŭ diversspecaj jonoj NH_4^+ kaj CN^-. Dum skribado de formuloj enhavantaj poliatomajn jonojn ni penas konservi iliajn identecojn.

La nomoj de kombinaĵoj entenantaj poliatomajn jonojn deriviĝas simile al la procedo uzita por binaraj jonaj kombinaĵoj (Sekcio 6.5). La regulo por nomi la binarajn kombinaĵojn, oni rememoru, estas: nomu la metalon (pozitivan jonon) kaj metu post ĝi la radikon de la nomo de la ne-metalo (negativa jonon), al kiu oni aldonas sufikson -id-. En la nuna kazo, se la poliatoma jono estas pozitiva, ĝia nomo anstataŭas la nomon de la metalo. Se la poliatoma jono estas negativa, ĝia nomo anstataŭas la nemetalan vort-radikon plus -ido. En la kazo ke kaj plusa kaj minusa jonoj estas poliatomaj, dufoja anstataŭigo okazas kaj la rezulta nomo enhavas nur la atomojn de la poliatomaj jonoj.

Ekzemplo 6-9. Nomu la sekvantajn kombinaĵojn, kiuj enhavas unu aŭ plurajn poliatomajn jonojn: a) Na_2SO_4, b) $Fe(NO_3)_3$, c) $(NH_4)_3PO_4$.

Solvo. a) La ĉeestanta plusa jono estas la natria jono (Na^+). La minusa jono estas la poliatoma sulfata jono (SO_4^{2-}). La nomo de la kombinaĵo estas natria sulfato. Rimarku ke ĉe nomado de jonaj kombinaĵoj, oni ne bezonas indiki la nombron de ĉiu jonspeco en la kombinaĵo. Eĉ kvankam ĉi tiu kombinaĵo entenas 2 natriajn jonojn, oni ne indikas la 2. Dinatria sulfato estus nekutima nomo, kvankam stekiometrie pli ekzakta. b) La plusa jono estas fero kaj la minusa jono estas la nitrat-jono. Ĉar fero estas metalo kiu povas formi pli ol unu jonspecon (Bildo 6-1), la ŝargo sur la fera jono, kiu estas +3, devas esti indikita per aldono de Romana cifero, ĉi-kaze (III). Ĉar la kombinaĵo entenas tri nitratajn jonojn, ĉiu surhavanta unu minusan ŝargon, oni ekscias ke la fera jono estas +3. La nomo de la kombinaĵo estas fera(III) nitrato. c) Kaj la plusa kaj minusa jonoj en ĉi tiu kombinaĵo estas poliatomaj -- la amonia jono (NH_4^+) kaj la fosfata jono (PO_4^{3-}) (fosfato). La nomo de la kombinaĵo estas kunmetaĵo de la du jon-nomoj -- amonia fosfato. Rimarku en la formulo tion, ke la fosfata jono surhavas ŝargon -3, sekve 3 amoniaj jonoj, ĉiu kun ŝargo +1, estas bezonitaj por neŭtreco.

EKZERCOJ

Valentaj Elektronoj kaj Elektron-Punktaj Strukturoj

1. Kiom da valent-elektronoj estas en atomoj de ĉiu el la sekvaj elementoj?
   a) F b) S c) Al ĉ) N d) Mg
2. Desegnu elektron-punktajn strukturojn por ĉiu el la sekvaj ĉef-grupaj elementoj:
   a) Br b) I c) Rb ĉ) P d) Si
3. Por ĉef-grupa elemento, kio estas la rilato inter ĝia loko en la perioda tabelo (grupa numero) kaj la nombro da valent-elektronoj kiun ĝi havas?

Ligaj Teorioj

4. Kio estas unika pri la elektronaj konfiguracioj de la noblaj gasoj?
5. Kio estas la okopa regulo, kaj kial ĝi gravas?
6. Kiuj du lig-modeloj baziĝis sur la okopa regulo, kaj kiel ili diferencas inter si?

Jonoj kaj Antaŭdiro de Jona Ŝargo

7. Kio estas jono?
8. Kial atomo, kiu perdas elektronojn, iĝas pozitive ŝargita?
9. Kio estus la ŝargo, se iu ajn, sur eretoj kun jena subatoma recepto?
   a) 20 protonoj, 20 neŭtronoj, 18 elektronoj
   b) 8 protonoj, 10 neŭtronoj, 10 elektronoj
   c) 7 protonoj, 8 neŭtronoj, 7 elektronoj
   ĉ) 11 protonoj, 13 neŭtronoj, 10 elektronoj
10. Identigu la elementon prezentitan per ĉiu el la aroj da subatomaj eretoj en Ekzerco 9, kaj skribu ĝustan simbolon por ĝi aŭ ĝia jono.
11. Kio estas la diferenco en signifo pri jenaj notacioj: Mg kaj Mg^{2+}?
12. Antaŭdiru la anticipitan ŝargon sur la unuatoma jono kiun formus ĉiu de jenaj elementoj:
   a) N b) Al c) K ĉ) Br d) Ca
13. Determinu la tutan nombron da elektronoj en ĉiu de jenaj jonoj:
   a) S^{2-} b) K^{+} c) Cl^{-} ĉ) Al^{3+} d) N^{3-}
14. Antaŭdiru la ĝeneralan tipon de konduto (t.e. perdo aŭ akiro de elektronoj), kiun vi anticipus de atomoj kun jenaj elektronaj konfiguracioj:
   a) $1\underline{s}^2\ 2\underline{s}^2\ 2\underline{p}^4$ b) $1\underline{s}^2\ 2\underline{s}^2\ 2\underline{p}^6\ 3\underline{s}^1$ c) $1\underline{s}^2\ 2\underline{s}^2\ 2\underline{p}^6\ 3\underline{s}^2\ 3\underline{p}^1$ ĉ) $1\underline{s}^2\ 2\underline{s}^2$

Formuloj de Jonaj Kombinaĵoj

15. Skribu la formulon de kombinaĵo kiu rezultus ĉe kombiniĝo de jenaj paroj de jonoj:

a) A^{+} kaj B^{-} ĉ) A^{2+} kaj B^{2-} f) A^{2+} kaj B^{3-}
b) A^{2+} kaj B^{-} d) A^{+} kaj B^{3-} g) A^{3+} kaj B^{2-}
c) A^{+} kaj B^{2-} e) A^{3+} kaj B^{-} ĝ) A^{3+} kaj B^{3-}

16. Skribu formulojn por la jon-kombinaĵoj formitaj inter jenaj element-paroj.

a) Rb kaj S b) Ba kaj O c) Al kaj F ĉ) Mg kaj N

17. Skribu la formulon de la kombinaĵo kiu rezultus ĉe jona ligiĝo de jenaj paroj. (Uzu "AB" formulojn kiel en Ekzerco 15.)

a) elementoj de grupo IA kaj de grupo VIA
b) elementoj de grupo IIA kaj de grupo VIIA
c) elementoj de grupo IIIA kaj de grupo VA
ĉ) elementoj de grupo IA kaj de grupo VA

Nomenklaturo de Binaraj Jonaj Kombinaĵoj

18. Kiam uzendas Romanaj ciferoj kiel parto de jon-kombinaĵa nomo?

19. Surpaperigu tiujn metalojn kies jon-kombinaĵoj nomiĝas sen uzo de Romanaj ciferoj.

20. Nomu jenajn binarajn jon-kombinaĵojn.

a) NaCl b) $SnCl_4$ c) Be_3N_2 ĉ) SnO d) SnO_2 e) Li_2O

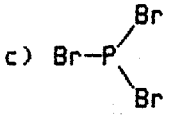
21. Skribu formulojn por jenaj binaraj jon-kombinaĵoj:

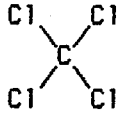
a) magnezia fluorido c) ora(III) bromido d) natria oksido
b) stana(II) klorido ĉ) aluminia fosfido e) kalcia karbido

Kovalenta Ligiĝo

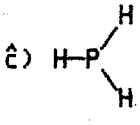
22. Desegnu elektron-punktajn strukturojn por ilustri la kovalentan ligiĝon trovitan en ĉiu de jenaj molekuloj, kiuj entenas nur unuoblajn ligojn.

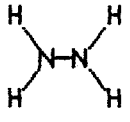
a) Cl–Cl

c) 

d) 

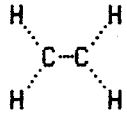
b) Br–Cl

ĉ) 

e) 

23. Kio estas la diferenco inter duobla kovalent-ligo kaj unuobla kovalent-ligo?

24. Desegnu elektron-punktajn strukturojn por ilustri la kovalent-ligiĝon trovitan en ĉiu de jenaj molekuloj. Ĉiu el la molekuloj entenas almenaŭ unu duoblan aŭ trioblan ligon. (La strek-linioj en la strukturoj indikas ligajn regionojn, sed ne la specon de ligo.)

a) N–N b) O–C–O c)  ĉ) H–C–C–H

25. Kio estas kunordiĝa kovalent-ligo?

26. Desegnu elektron-punktajn strukturojn por ilustri la kovalent-ligiĝon trovitan en ĉiu de jenaj molekuloj. Ĉiu el la lig-skemoj postulos uzon de la kunordiĝa liga koncepto. (La strek-linioj en la strukturoj indikas ligajn regionojn, sed ne la specon de ligo.)

a) N–N–O b) 

Poluseco kaj Elektronegativeco

27. Kiel diferencas polusa kovalent-ligo disde nepolusa kovalent-ligo?

28. Ordigu ĉiun el la sekvaj aroj da elementoj laŭ pliiĝanta elektronegativeco.

a) Na, Al, P, Mg c) P, As, N, Bi d) B, Ga, K, Co
b) F, Cl, S, Se ĉ) F, I, Rb, Sr

29. Aranĝu jenajn ligojn en vic-ordon de malpliiĝanta poluseco: H–F, C–C, I–Br, B–N, kaj Si–Cl.

30. Antaŭdiru la proksimuman procenton de jona karaktero en ligoj formitaj inter

a) Li kaj Cl b) Si kaj S c) Ca kaj O ĉ) S kaj O

31. Klasu ĉiun el jenaj ligoj laŭ kovalenta, polusa-kovalenta, aŭ jona:

a) stano-oksigeno c) fosforo-kloro d) cezio-oksigeno
b) nitrogeno-oksigeno ĉ) berilio-kloro

32. Por ĉiu de jenaj hipotezaj molekuloj indiku ĉu la <u>ligoj</u> estas polusaj aŭ nepolusaj, kaj ĉu la <u>molekulo</u> estas polusa aŭ nepolusa. Supozu ke A, X, kaj Y havas diferencajn elektronegativecojn.

a) X–A–X b) A–X–X c)  ĉ)  d) Y–A–X

Nomenklaturo de Binaraj Kovalentaj Kombinaĵoj

33. Nomu jenajn binarajn kovalent-kombinaĵojn:

a) PCl_3 b) OF_2 c) NO_2 ĉ) SF_6 d) P_4O_{10} e) As_2O_3

34. Skribu formulojn por jenaj binaraj kovalent-kombinaĵoj:

a) *dinitrogena monoksido* ĉ) *dinitrogena pentaoksido*
b) fosfora pentafluorido d) joda heptafluorido
c) sulfura trioksido

Poliatomaj Jonoj

35. Kio estas poliatoma jono?

36. Indiku kiu el jenaj kombinaĵoj entenas poliatomajn jonojn kaj identigu la poliatoman jonon per nomo, se ĝi ĉeestas.

a) Al_2S_3 c) Mg_3N_2 d) $Be(CN)_2$
b) KNO_3 ĉ) $Ca_3(PO_4)_2$ e) $(NH_4)_2CO_3$

37. Ĉiuj sekvantaj formuloj enhavas krampojn. Ĉu la studento primajstras ilian signifon? Kalkulu la nombron da atomoj en ĉiu formulo.

a) $(NH_4)_2SO_4$ b) $Ba_3(PO_4)_2$ c) $Al(NO_3)_3$

38. Nomu jenajn kombinaĵojn. Ĉiu entenas poliatoman jonon.

a) K_3PO_4 c) $BeCO_3$ d) $Fe(NO_3)_2$ f) $SnCO_3$

b) $LiNO_3$ ĉ) $Ca(CN)_2$ e) $Fe(NO_3)_3$

39. Skribu formulojn por jenaj kombinaĵoj; ĉiuj entenas poliatomajn jonojn.

a) berilia nitrato
b) natria acetato
c) kalia hidroksido
ĉ) fera(III) sulfato
d) fera(II) klorato
e) nikela(II) nitrato
f) amonia karbonato

7 LA STATOJ DE LA MATERIO

CELOJ

7.1 Kompari kaj kontrastigi vulgarajn ecojn de gasoj, likvoj kaj solidoj.

7.2 Esti sperta pri la kvin postulatoj de molekul-kineta teorio. Kompreni rolojn, kiujn ludas disrompaj kaj koheraj fortoj por determinado de la fizika stato de sistemo, la rilaton de tiuj fortoj al kineta kaj potenciala energio kaj la faktorojn determinantajn grandon de forto.

7.3 Uzi molekul-kinetan teorion por klarigi karakterizajn ecojn de solidoj.

7.4 Uzi molekul-kinetan teorion por klarigi karakterizajn ecojn de likvoj.

7.5 Uzi molekul-kinetan teorion por klarigi karakterizajn ecojn de gasoj.

7.6 Fari distingojn inter solidoj, likvoj, kaj gasoj sur molekula nivelo.

7.7 Skribi variablojn bezonatajn por plena priskribo de fizika konduto de gaso. Koni la limigon al la uzo de la temperaturskalo, kiun devigas la gasleĝoj. Kompreni la rilatojn inter kutime uzataj unuoj de premo.

7.8 Esprimi vorte la leĝon de Boyle kaj doni ties matematikan ekvacion. Rilatigi ĝin al la spirada procezo.

7.9 Esprimi vorte la leĝon de Charles kaj doni ties matematikan ekvacion.

7.10 Lerni la kombinitan gasleĝon, kiu havas premon, temperaturon, kaj volumenon kiel variablojn. Havante du tiujn variablojn, kalkuli la trian por difinita kvanto da gaso.

7.11 Rilatigi la partajn premojn de komponantoj de gasa miksaĵo al la suma premo de la miksaĵo. Kompreni la rolon, kiun ludas partaj premoj en la spirada procezo.

7.12 Kompreni la terminaron uzatan por la priskribo de diversaj stat-ŝanĝoj.

7.13 Klarigi, molekulbaze, kio okazas dum la vaporiĝa procezo. Listigi faktorojn, kiuj influas vaporiĝan rapidon.

7.14 Kompreni la rilaton inter vaporpremo kaj ekvilibra stato. Listigi faktorojn, kiuj influas la grandon de la vapor-premo de donita likvo.

7.15 Kompreni la procezon de bolado el molekula vidpunkto. Scii la diferencon inter bolpunkto kaj normala bolpunkto.

7.16 Kompreni la diferencon inter intramolekula kaj intermolekula forto. Kompreni la originojn de interagoj inter dipoloj kaj specialan signifon de hidrogenaj ligoj.

7.17 Kompreni la rilaton, molekulnivele, inter sublimiĝo kaj fandiĝo.

7.18 Difini malkombiniĝon.

7.19 Kompreni strukturajn ecojn de jonaj solidoj.

En Ĉapitroj 3, 5 kaj 6 ni rigardis la strukturon de la materio el submikroskopa vidpunkto -- temis pri atomo, molekuloj, protonoj, elektronoj, ktp. En ĉi tiu ĉapitro ni okupiĝos pri makroskopaj ecoj de materio, kiaj estas la fizikaj statoj solida, likva kaj gasa. Aparte koncernataj estos ecoj elmontritaj de materio en diversaj fizikaj statoj kaj teorio, kiu rilatigas tiujn ecojn al molekula konduto.

7.1 ECOJ DE LA TRI STATOJ DE LA MATERIO

Diferencoj inter solidoj, likvoj kaj gasoj estas tiel grandaj ke nur malmultaj vulgaraj karakterizaĵoj bezonas mencion, por klare distingi ilin unu de la aliaj. La plej klaraj diferencoj rilatas al denso, volumeno kaj formo, kunpremeblo, kaj termika dilatiĝo. Tiuj distingaj ecoj estas komparitaj en Tabelo 7-1. (Bonvolu noti, ke la denso estis detale studita en Sekcio 1.9, ke kunpremeblo traktas volumenan ŝanĝiĝon rezultantan el premaj ŝanĝoj, kaj ke termika dilatiĝo traktas volumenan ŝanĝiĝon rezultantan el temperaturaj ŝanĝoj.) La enhavon de Tabelo 7-1 la leganto volu studi detale, ĉar tiuj ecoj servos kiel deirpunkto por posta instruado.

Tabelo 7-1. Distingaj fizikaj ecoj de solidoj, likvoj, kaj gasoj

	Stato		
Eco	Solido	Likvo	Gaso
Denso	Alta	Alta -- kutime pli malalta ol ĉe responda solido	Malalta
Volumeno kaj formo	Difinita volumeno kaj formo	Difinita volumeno kaj nedifinita formo -- okupas la formon de ujo ĝis la surfaca nivelo	Nedifinita volumeno kaj nedifinita formo okupas la volumenon kaj formon de ujo, kiun ĝi plenigas
Kunpremeblo	Malgranda	Malgranda -- kutime pli granda ol ĉe responda solido	Granda
Termika dilatiĝo	Tre malgranda -- ĉirkaŭ 0,01% je ^{o}C	Malalta -- ĉirkaŭ 0,10% je ^{o}C	Modera -- ĉirkaŭ 0,30% je ^{o}C

7.2 LA MOLEKUL-KINETA TEORIO DE LA MATERIO

La observitaj konduto kaj ecoj de solidoj, likvoj kaj gasoj povas esti klarigitaj per la molekul-kineta teorio de la materio. Tiu teorio liveras modelon por ĉiu stato, kaj tiuj modeloj koncepte estas tre utilaj por antaŭdiri kaj interpreti la konduton de materio.

Unue ni prezentos la ĝeneralajn postulatojn (supozojn) de la teorio, aplikeblajn al ĉiuj tri statoj de la materio; tiam ni aplikos tiujn tri postulatojn al ĉiu specifa stato. La ĝeneralaj postulatoj estas:

molekul-kineta teorio de la materio

1. La materio estas fundamente kunmetita el etaj eretoj (molekuloj), de ampleksoj difinitaj kaj karakterizaj, kiuj neniam ŝanĝiĝas.
2. La eretoj ĉiam moviĝas hazarde kaj tial havas kinetan energion.
3. La eretoj interagas unu kun alia per altiroj kaj forpuŝoj kaj tial havas potencialan energion.
4. La rapido de la eretoj pliiĝas kiam la temperaturo altiĝas. La meza kineta energio de ĉiuj eretoj en sistemo dependas de la temperaturo. Ĝi kreskas kun altigo de temperaturo.
5. La eretoj en sistemo transsendas energion de unu al alia, koliziante sen energiperdo el la sistemo. La energio de iu ajn ereto tial senĉese ŝanĝiĝas.

Tiuj postulatoj enhavas du novajn terminojn energirilatajn: kineta energio kaj potenciala energio.

kineta energio

La kineta energio estas energio de ereto kiu rezultas el ĝia moviĝo.

Matematike, $$KE = \frac{1}{2}(mr^2),$$

kie m estas la maso de la ereto kaj r estas ties rapido. Tial, se du moviĝantaj eretoj havantaj malsamajn masojn iras samrapide, la pli peza ereto enhavas pli da kineta energio ol la alia. Simile, el du sammasaj eretoj la pli rapide moviĝanta ereto enhavas pli da kineta energio.

potenciala energio

La potenciala energio rezultas el fortoj de altiro aŭ de forpuŝo inter eretoj.

Tiaj interagoj efikas en ĉiuj sistemoj, de la makroskopaj ĝis la submikroskopaj. Famaj ekzemploj inkluzivas gravitan altiron, altiron de

neegalaj magnetpolusoj, forpuŝon de sam-signaj magnetpolusoj, altiron de kontraŭe ŝargitaj eretoj (pozitive kaj negative) kaj forpuŝon de same ŝargitaj eretoj.

elektrostatika interago

La plej gravaj interagoj, rilate al potenciala energio, en atom-skalaj eretoj estas tiuj inter ŝargitaj eretoj. Tiuj interagoj estas ope sciataj kiel elektrostatikaj interagoj.

La valoro de la elektrostatika interago dependas de la grando de la ŝargoj kiujn posedas la eretoj kaj de la distanco de disiĝo inter la eretoj. Potenciala energio de altiro kreskas kiel distanco inter eretoj kreskas, dum tiu de forpuŝo kreskas kun malkreskanta disiĝo.

La molekul-kineta teorio liveras akceptindajn klarigojn por multaj observitaj ecoj de la tri statoj de materio. Pli granda konsidero en tiuj klarigoj por multaj observitaj ecoj estas la influo relativa sur la sistemon de koheraj fortoj kaj disrompaj fortoj.

kohera forto

Koheraj fortoj estas altiraj fortoj rilate al potenciala energio.

disrompa forto

Disrompaj fortoj rezultas de ereta moviĝo rilate al kineta energio.

Disrompaj fortoj emas pli sendependigi la eretojn de sistemo unu de la alia; koheraj fortoj efikas kontraŭe. La stato en kiu materio troviĝas, je donita aro da kondiĉoj, dependas de la relativaj intensoj de la koheraj fortoj kiuj kuntenas la eretojn kaj de la disrompaj fortoj, kiuj emas disigi ilin. Koheraj fortoj esence estas sendependaj de temperaturo ĉar ili implicas altirojn inter eretoj. Disrompaj fortoj pliiĝas kun temperaturo pro tio, ke ili estiĝas el ereta moviĝo, kiu pliiĝas kun temperaturo (postulato 4 de la molekulkineta teorio). Tio klarigas kial temperaturo ludas tian gravan rolon ĉe la determinado de la stato en kiu materio troviĝas.

7.3 LA SOLIDA STATO

solida stato

La solidan staton karakterizas superrego de koheraj fortoj super disrompaj fortoj.

La eretoj en solido estas proksime kuntirataj en regula aranĝiĝo per

grandaj koheraj fortoj, kvankam disrompa kineta energio tenas ĉiun ereton vibranta ĉirkaŭ ties fiksita pozicio. Klarigo de la karakterizaj ecoj de la solidoj estas akirita el tiu ĉi modelo:

Alta denso. La konsistigantaj eretoj de solidoj lokiĝas tiom proksime kune kiel eble. Tial, granda nombro da eretoj troviĝas en volumena unuo, kaj rezultas alta denso.

Difinita volumeno kaj difinita formo. Grandaj koheraj fortoj tenas la eretojn en pozicioj esence fiksitaj, kio rezultigas difinitajn formon kaj volumenon.

Malgranda kunpremeblo. Ĉar estas tre malmulte da spaco inter eretoj, altigata premo ne povas kunpuŝi ilin ankoraŭ pli dense, tial ĝi havas malmultan efikon sur la volumenon de la solido.

Tre malgranda termika dilatiĝo. Plialtigita temperaturo pliigas la disrompajn fortojn kaj vibran moviĝon de la eretoj. Ĉiu ereto vibradas je plialtigita amplitudo kaj "okupas" volumenon iomete pli grandan. La rezulto estas iometa dilatiĝo de la solido. La grandaj koheraj fortoj malebligas al tiu efiko fariĝi tre granda.

7.4 LA LIKVA STATO

La likva stato konsistas el eretoj hazarde pakitaj relative dense, unu al la alia. La molekuloj estas en konstanta hazarda moviĝo, libere glitantaj unu super la alian, tamen sen sufiĉo da energio por disiĝi unu de la alia.

likva stato

La likva stato estas tiu en kiu superas nek disrompaj nek koheraj fortoj.

La fakto ke eretoj libere glitas unu super la alian indikas la influon de la disrompaj fortoj, sed la fakto ke la eretoj ne disiĝas indikas sufiĉe fortan influon de koheraj fortoj. La karakterizajn ecojn de likvoj klarigas tiu ĉi modelo:

Alta denso. La eretoj en likvo ne estas malproksime disiĝintaj; ili esence tuŝas unu la alian. Tial ekzistos granda nombro da eretoj en ĉiu volumena unuo, kaj rezultos alta denso.

Difinita volumeno kaj nedifinita formo. Altiraj fortoj estas sufiĉe grandaj por limigi eretojn al moviĝo interne de iu difinita volumeno. Ili tamen ne estas sufiĉe grandaj por malebligi al la eretoj moviĝi

hazarde unu super la alian, nur limigitaj pere de la parietoj. Tial likvoj havas nedifinitan formon escepte de tio, ke ili konservas horizontalan supran surfacon en ujoj ne tute plenaj.

Malgranda kunpremeblo. Pro tio, ke eretoj en likvo esence tuŝas unu la alian, estas tre malmulte da vaka spaco. Tial do, plialtigo de premo ne povas signife kunpremi la eretojn pli dense.

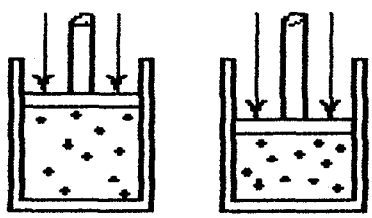
Malgranda termika dilatiĝo. La plejmulto da ereta moviĝo en likvo estas vibra, ĉar ereto povas moviĝi nur mallongan distancon antaŭ ol kolizii kun najbaro. El plialtigita ereta rapido, kiu akompanas temperaturan pliiĝon nur rezultas plialtiĝintaj vibraj amplitudoj. La neta efiko estas pliiĝo de la efektiva volumeno okupita de ereto, kio kaŭzas etan volumenan kreskon de la likvo.

7.5 LA GASA STATO

gasa stato

Disrompaj fortoj tute superas koherajn fortojn en la gasa stato.

Kiel rezulto, la eretoj de gaso moviĝas esence sendepende unu de alia en maniero tute hazarda. Sub ordinara premo, la eretoj estas relative fore disaj, kompreneble escepte kiam ili kolizias unu kun la alia. Inter kolizioj unu kun la alia aŭ kun la parietoj, gas-eretoj moviĝas laŭ rektaj linioj. La eretaj rapidoj kaj rezultantaj koliziaj frekvencoj estas ekstreme altaj; ĉe ĉambra temperaturo la kolizioj spertitaj de unu molekulo en unu sekundo ĉe premo de unu atmosfero estas en la ordo de 10^{10}.



Gaso ĉe malalta premo

Gaso ĉe premo pli alta

Bildo 7-1. La kunpremo de gaso

La klarigo laŭ la kineta teorio por ecoj de la gasa stato sekvas la saman modelon, kiun ni vidis antaŭe ĉe solidoj kaj likvoj.

Malalta denso. La eretoj de gaso estas tre disaj. Estas relative malmultaj da ili en donita volumeno, kio signifas malaltan mason en

ĉiu volumena unuo.

Nedifinita volumeno kaj nedifinita formo. La altiraj, koheraj fortoj inter eretoj estas venkitaj de kineta energio, kaj la eretoj libere moviĝas en ĉiujn direktojn. Tial la eretoj tute plenigas vazon kaj akceptas ties konturon.

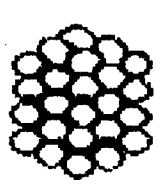
Granda kunpremeblo. Eretoj en iu ajn gaso estas tre disaj; gaso esence estas plejparte malplena spaco. Se premo estas aplikata, la eretoj estas facile kunpuŝitaj pli dense, malpliiĝas la kvanto da malplena spaco kaj da gas-volumeno (vidu Bildon 7-1).

Modera termika dilatiĝo. Plialtigo de temperaturo signifas plialtiĝon de ereta rapido. La plialtiĝinta kineta energio de la eretoj ebligas al ili puŝi reen iun ajn baron tenantan ilin en donita volumeno. Tial, la volumeno kreskas.

Devas esti komprenate, ke la grando de la eretoj ne ŝanĝiĝas dum dilatiĝo aŭ kunpremo de gasoj, solidoj, aŭ likvoj. La eretoj nur moviĝas pli dise aŭ pli kune; la spaco inter ili estas tio, kio ŝanĝiĝas.

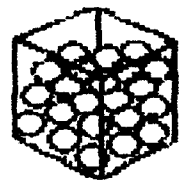
7.6 KOMPARO INTER SOLIDOJ, LIKVOJ, KAJ GASOJ

Bildo 7-2 montras la fakton ke kelkrilate la likva stato kaj solida stato ege similas unu al la alia, kaj diferencas de la gasa stato. Ekzemple, la mez-valora distanco inter eretoj nur iomete diferencas inter si en la solida kaj likva statoj sed rimarkinde diferencas en la gasa stato. Krude parolante, ĉe ordinaraj premoj kaj temperaturoj, eretoj en likvo estas ĉirkaŭ 10% kaj eretoj en gasoj ĉirkaŭ 1000% pli disaj ol tiuj de la solida stato.



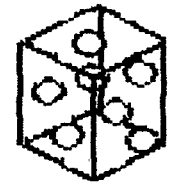
Solida stato

La eretoj estas dense kunaj kaj tenataj en fiksaj pozicioj; ili ne bezonas ujon.



Likva stato

La eretoj estas dense kunaj, sed ne tenataj en fiksaj pozicioj; ili akceptas la formon de la ujo.



Gasa stato
(ne laŭskale)

La eretoj estas fore disaj kaj tute plenigas la ujon.

Bildo 7-2. Similecoj kaj diferencoj en la statoj de materio

7.7 VARIABLOJ DE LA GAS-LEĜO

Ĝis nun ni ne tre multe pridiskutis la statojn de materio en kvantecaj terminoj (rilate nombrojn). Tia diskuto pri solidoj aŭ likvoj estas ekster la kadro de tiu ĉi teksto, sed gasoj povas esti akcepteble priskribitaj per simplaj kvantecaj rilatoj, nomataj gas-leĝoj.

gas-leĝoj
La leĝoj de gasoj (gas-leĝoj) estas ĝeneraligoj kiuj priskribas per matematikaj terminoj rilatojn, kiuj ekzistas inter la variabloj premo, temperaturo, kaj volumeno por specifa kvanto da gaso.

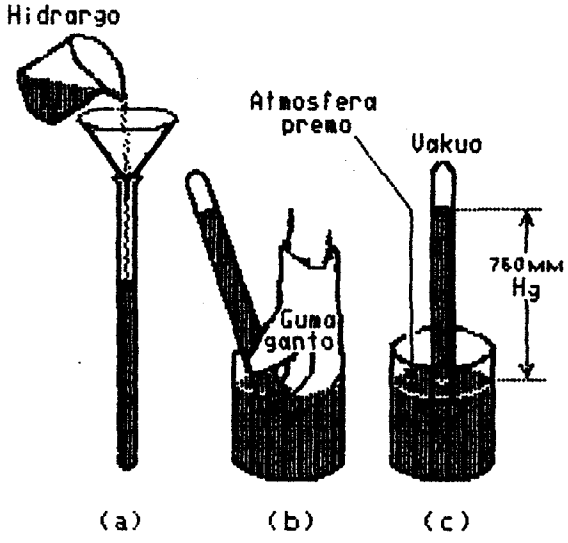
Por iu ajn gaso, tiuj tri variabloj interrilatas; la valoro de unu dependas de la valoroj de la du aliaj.

Antaŭ ol ni studos la matematikan formon de la diversaj gas-leĝoj, ni devas diri ion pri du el la tri koncernaj variabloj -- temperaturo kaj premo. Rigardante temperaturon, nur unu el la du pridiskutitaj skaloj en Sekcio 1.10, la Kelvin-skalo, uzendas en gasleĝaj kalkuloj, por ke la rezultoj estu ĝustaj. Tial, la leganto volu senti sin hejme ĉe la transkalkulado inter la skaloj Celsius kaj Kelvin. Niaj komentarioj rilate al premo okupos la reston de tiu ĉi sekcio.

Premo estas mezurado de la forto aplikita per unu korpo sur alian. Ĉe gaso, premo estas la forto per kiu efikas gasaj molekuloj aŭ atomoj konstante koliziantaj kun la parietoj.

La aero, kiu ĉirkaŭas la teron, efikas per premo sur ĉiujn objektojn kiujn

ĝi kontaktas. La komun-uza aparato por mezuri tiun premon, nomatan atmosfera premo, estas la barometro, kiu estis inventita de la itala fizikisto Evangelista Torricelli /toriĉeli/ (1608-1647). La esencaj komponantoj de barometro estas montritaj en Bildo 7-3. Vitra tubo, fandofermita ĉe unu ekstremo, estas plenigita per hidrargo, ŝtopita kaj inversigita tiamaniere, ke la ŝtopita ekstremo estas sub la surfaco de la hidrargo. Kiam la ŝtopilo estas formetita, la hidrargo en la tubo falas ĝis kiam ties maso estas ĝuste bilancata per la pezo de la aero premanta sur la hidrargon en la pelvo. La premo de la atmosfero estas tiam esprimata laŭ la alto de la apogita hidrarga kolono.



Bildo 7-3. La hidrarga barometro

La alto de la hidrarga kolono plejofte estas milimetre esprimata. Milimetrojn da hidrargo (mm Hg) oni precipe uzas en scienca laboro.

toro

Por rekoni kontribuon de Torricelli, premo kiu respondas al 1 mm Hg estas nomata 1 toro, tiel estas,

1 toro = 1 mm Hg.

Premoj esprimataj pere de toroj kaj mm Hg ĉiam estas nombre egalvaloraj.

La premo de la atmosfero ŝanĝiĝas laŭ altitudo kaj veteraj kondiĉoj. Sur mara nivelo, alto de hidrarga kolono en barometro varias inter ĉ. 740 kaj 770 toroj. La mez-valoro estas 760 toroj.

atmosfero

Alia prema unuo, la atmosfero, estas difinita surbaze de tiu mez-valora marnivela premo:

$$1 \text{ atmosfero} = 760 \text{ toroj} = 760 \text{ mm Hg}.$$

Pro ties grandeco (760-oble pli granda ol la toro), la atmosfera unuo estas ofte uzata por esprimi la altan premon renkontatan ĉe multaj industriaj procedoj kaj ĉe kelkaj eksperimentaj laboroj. La oficiala unuo de premo en la Internacia Sistemo (SI) estas la paskalo, kiel vi legis en Ĉapitro 1, ĉe Tabelo 1-3. Kaj en la meteologio, oni uzas la milibaron, kiu devenas de la baro. La rilato inter baro kaj paskalo estas:

$$1 \text{ baro} = 10^5 \text{ paskaloj}.$$

Tabelo 7-2 kunigas la diversajn premunuojn ĵus diskutitajn kaj iliajn interrilatojn, kaj la sekvanta ekzemplo demonstras la uzadon de la transkalkulaj faktoroj de la tabelo.

Tabelo 7-2. Unuoj de premo kaj ties rilatoj al 1 atmosfero

Unuo	Rilato al atmosfero	Apliko
Atmosfero	-	gasleĝaj kalkuloj
Milimetroj da Hg	760 mm Hg = 1 atm	gasleĝaj kalkuloj
Toro	760 toroj = 1 atm	gasleĝaj kalkuloj
Baro kaj milibaro	1,013 baroj = 1 atm = 1013 milibaroj	veter-informo
Paskalo	1,013 x 10^5 Pa = 1 atm	SI-unuo

Ekzemplo 7-1. Manometro sur botelo de oksigena gaso indikas 150 barojn. Esprimu tiun premon pere de a) atmosferoj, b) toroj, c) mm Hg.

Solvo. a) Oni povas solvi tiun ĉi problemon, uzante la dimensian analizan metodon enkondukitan en Sekcio 1.8. La donita kvanto estas 150 baroj; la dezirata unuo de la kvanto estas la atmosfero. El la tabelo, la transkalkula faktoro, rilatiganta du unuojn, estas 1,013 baroj = 1 atm. La rezulto, post la uzo de la transkalkula faktoro, estas

$$150 \cancel{\text{baroj}} \times \frac{1 \text{ atm}}{1{,}013 \cancel{\text{baroj}}} = 148{,}08 \text{ atm}.$$

b) Laŭ Tabelo 7-2 ni ne havas senperan rilaton inter baroj kaj toroj. Tamen kaj baro kaj toro rilatas al la atmosfero. Tial ni uzos atm kiel ponton inter baro kaj toro.

$$150 \text{ ~~baroj~~} \times \frac{1 \text{ ~~atm~~}}{1{,}013 \text{ ~~baroj~~}} \times \frac{760 \text{ toroj}}{1 \text{ ~~atm~~}} = 112.540 \text{ toroj} = 1{,}1254 \times 10^5 \text{ toroj}$$

Rimarku kiel atmosferaj unuoj nuliĝas.

c) Pro tio, ke toroj kaj mm Hg estas identaj, ni prilaboras la problemon kiel en b).

$$150 \text{ ~~baroj~~} \times \frac{1 \text{ ~~atm~~}}{1{,}013 \text{ ~~baroj~~}} \times \frac{760 \text{ mm Hg}}{1 \text{ ~~atm~~}} = 1{,}1254 \times 10^5 \text{ mm Hg}$$

7.8 LEĜO DE BOYLE

La leĝo de Boyle /boj'l/, la unua de la gasleĝoj, estis proponita de la brita kemiisto kaj fizikisto Robert Boyle en 1662. Ĝi interrilatigas premon kaj volumenon de donita kvanto da gaso ĉe konstanta temperaturo.

leĝo de Boyle

La leĝo de Boyle konstatas, ke volumeno da gasa provaĵo estas inverse proporcia al la premo aplikata al la gaso, se la temperaturo estas tenata konstanta.

Tio signifas ke, se premo sur gaso pliiĝas, volumeno malkreskas proporcie kaj, aliflanke, se premo malpliiĝas, volumeno devas kreski.

inversa proporcio

Se du variabloj inverse proporcias, unu kreskas dum la alia malkreskas.

La leĝo de Boyle povas esti simbolita matematike:

$$P \times V = \text{konstanto} \qquad 7\text{-}1$$

En tiu ĉi esprimo V estas la volumeno de la gaso ĉe donita temperaturo, kaj P estas la premo. Tial, ĉe konstanta temperaturo, la produto de premo kaj volumeno ĉiam estas la sama (aŭ konstanta). Alia kaj pli utila matematika formo de tiu leĝo estas derivebla per konsidero de la sekvanta situacio. Supozu, ke gaso estas ĉe komenca premo P_k kaj havas komencan volumenon V_k. Nun imagu, ke la premo estas ŝanĝita al iu fina premo P_f. La volumeno ankaŭ ŝanĝiĝos, kaj ni nomos la finan volumenon V_f. Laŭ la leĝo de Boyle, P_kV_k = konstanto kaj P_fV_f = konstanto. Pro tio, ke la konstanto estas la sama en ambaŭ kazoj, la produtoj PV estas egalaj unu al la alia, tio estas:

$$P_kV_k = P_fK_f \qquad 7\text{-}2$$

Ekzemplo 7-2. Da gaso estis kolektita 1,5-litra provaĵo ĉe premo de 1,8 atm (1368 toroj). Kiun volumenon havos la gaso, kiam la premo estas reduktita al 1,0 atm ĉe konstanta temperaturo?

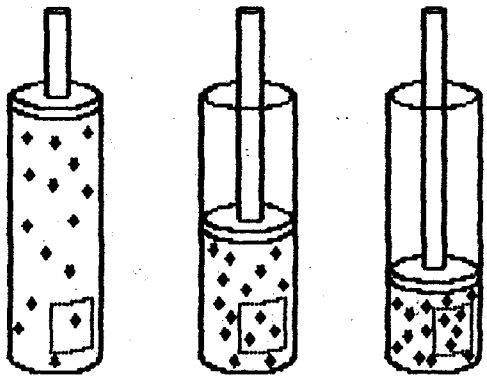
Solvo. Niaj komencaj valoroj estas V_k = 1,5 litroj kaj P_k = 1,8 atm. La finaj valoroj estos: serĉata volumeno V_f, kaj P_f = 1,0 atm. Substituo de tiuj valoroj en la ekvacion $P_kV_k = P_fV_f$ donas:

$$(1{,}8 \text{ atm}) \times (1{,}5 \text{ l}) = (1{,}0 \text{ atm}) \times V_f$$

Solvo por V_f:

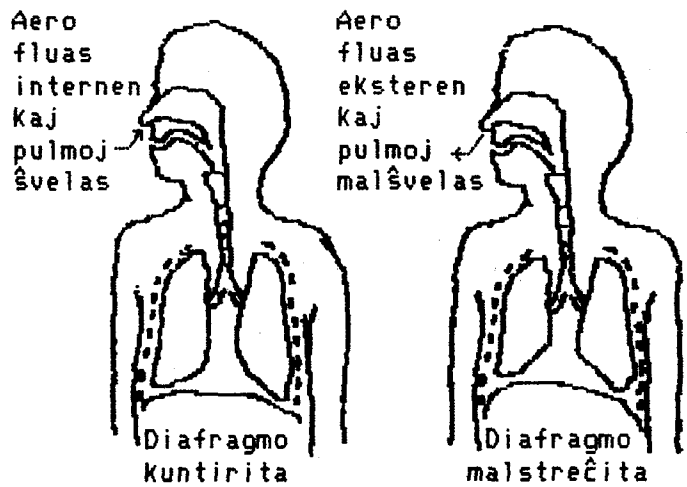
$$V_f = \frac{(1{,}8 \cancel{\text{atm}}) \times (1{,}5 \text{ l})}{1 \cancel{\text{atm}}} = 2{,}7 \text{ litroj.}$$

Rimarku, ke la nuliĝo de premaj unuoj donas al ni volumenan unuon kiel respondon. Ne gravas, kiuj prem-unuoj estas uzataj, kondiĉe ke ili estu la samaj kaj por komencaj kaj por finaj statoj. La leĝo de Boyle estas konsekvenca kun la antaŭe diskutita molekulkineta teorio por gasoj. La teorio konstatas, ke la gasmolekuloj konstante moviĝas kaj ke premo per kiu efikas gaso rezultas el kolizioj de la gasmolekuloj kun la interna surfaco de la ujo. La nombro da kolizioj ene de donita areo sur la parieton dum donita tempo estas proporcia al la premo de gaso ĉe donita temperaturo. Se la volumeno de ujo, entenanta specifan nombron da gasmolekuloj estas pligrandigita, la tuta pariet-areo de la ujo ankaŭ pligrandiĝas kaj la nombro da kolizioj sur donita areo (la premo) reduktiĝas pro la pli granda pariet-areo. Inverse, se la volumeno de ujo estas malpliigita, la pariet-areo malpliiĝas kaj estos pli da kolizioj por donita areo. Tio signifas pligrandiĝon de premo. Bildo 7-4 montras tiun ideon.



Bildo 7-4. La nombro da kolizioj de gasmolekuloj sur area unuo de la uja parieto je temp-unuo, por donita kvanto da gaso ĉe konstanta temperaturo, pliiĝas kiam oni reduktas la volumenon de la ujo. (Rigardu ĉiun punkton kiel la saman nombron da gasmolekuloj kapablaj al frapado kontraŭ la parieton je temp-unuo.)

Senpera apliko de la leĝo de Boyle troviĝas ĉe la procezo de spirado, kiu estas ilustrita en Bildo 7-5. Homaj pulmoj, kiuj estas elastaj (dilateblaj) strukturoj malfermitaj al la atmosfero, lokiĝas interne de hermetika regiono de la korpo nomata la toraka kavo. Diafragmo (muskolo) formas la fundon de la toraka kavo. Enspirado rezultas kiam la toraka kavo kuntiriĝas (platiĝas). Tiu kuntiriĝo kaŭzas, ke la volumeno de toraka kavo pliiĝas. Samtempe premo interne de kavo falas (leĝo de Boyle) sub atmosferan (eksteran) premon. Aero fluas en la pulmojn, dilatante ilin pro tio, ke la premo estas pli granda ekster la pulmoj ol interne de ili. Elspirado okazas kiam la diafragmo malstreĉiĝas (dilatiĝas). Tio malpligrandigas la volumenon de la toraka kavo kaj samtempe pligrandigas la premon (leĝo de Boyle) interne de la kavo al valoro pli granda ol ekstera premo. Aero elfluas el la pulmoj. La aerflua direkto ĉiam estas de altprema regiono al malaltprema regiono.



Bildo 7-5. La meĥanismo de spirado

7.9 LEĜO DE CHARLES

La leĝo de Charles, nomata honore al la franca sciencisto Jacques Charles /ĵak ŝarl/, kies laboro pri volumen-temperaturaj rilatoj estis unue publikigita en 1787, priskribas la rilaton inter volumeno kaj temperaturo de donita kvanto da gaso ĉe konstanta premo.

leĝo de Charles

La leĝo de Charles konstatas, ke la volumeno de gas-provaĵo estas rekte proporcia al ties absoluta (Kelvin-) temperaturo se la premo estas tenata konstanta. Alia nomo por tiu ĉi leĝo estas la leĝo de Gay-Lussac /gej-lusak/.

Tio signifas, ke se la temperaturo pligrandiĝas, ankaŭ la volumeno pligrandiĝas, kaj se temperaturo estas malgrandigita estos respektiva malpligrandiĝo de volumeno.

rekta proporcio

Ĉiam, kiam rekta proporcio ekzistas inter du variabloj, se unu pligrandiĝas la alia pligrandiĝas, kaj se unu malpligrandiĝas la alia malpligrandiĝas.

La leĝo de Charles estas esprimebla matematike kiel:

$$\frac{V}{T} = \text{Konstanto.} \qquad 7\text{-}3$$

En tiu ĉi esprimo, V estas la volumeno de gaso ĉe donita premo kaj T estas la temperaturo esprimita laŭ Kelvin-temperatura skalo. Konsidero de komencaj kaj finaj kondiĉoj, en maniero simila al tiu farita por la leĝo de Boyle, kondukas al la sekvanta utila formo de la leĝo:

$$\frac{V_K}{T_K} = \frac{V_f}{T_f} \qquad 7\text{-}4$$

Notu, ke en iu ajn matematika esprimo de la leĝo de Charles, la simbolo T signifas absolutan (Kelvin-) temperaturon.

Ekzemplo 7-3. Lud-balono estas plenigita al volumeno de 5,0 litroj pere de heliuma gaso ĉe 25°C. Tiam oni metas la balonon en fermita aŭtomobilo kie la temperaturo plialtiĝas al 50°C. Supozu, ke la balono ne krevas kaj la atmosfera premo restas konstanta. Kalkulu la volumenon de la balono ĉe 50°C.

Solvo. Ni uzos ekvacion $\frac{V_K}{T_K} = \frac{V_f}{T_f}$, kie V_K = 5,0 l, T_K = 25°C + 273 = 298 K, T_f = 50°C + 273 = 323 K, kaj V_f estas la nesciata volumeno. Rimarku la transkalkulon de la temperaturoj al la Kelvin-skalo. Anstataŭigo de tiuj valoroj en la ekvacion donas:

$$\frac{5{,}0\ \text{l}}{298\ \text{K}} = \frac{V_f}{323\ \text{K}} \quad \text{aŭ} \quad V_f = \frac{(5{,}0\ \text{l})(323\ \text{K})}{298\ \text{K}} = 5{,}4\ \text{litroj}.$$

La leĝo de Charles estas facile komprenebla helpe de la molekulkineta teorio. La teorio diras, ke kiam la temperaturo de gaso plialtiĝas, la rapido de la gas-eretoj plialtiĝas. Pli rapidaj eretoj trafas la parietojn pli forte kaj pli ofte. Por tio, ke la premo de la gaso restu konstanta, necesas ke la volumeno de la ujo pligrandiĝu. Moviĝante en pli granda volumeno, la eretoj trafos malpli ofte la parietojn kaj sekve la premo povas resti la sama. Simila argumento validas, se la temperaturo de la gaso estas reduktita, nur ĉi-foje la rapido de la molekuloj malpliiĝas kaj la pariet-areo (volumeno) devas malpliiĝi, por ke la nombro da kolizioj pligrandiĝu en donita areo en donita tempo.

La leĝo de Charles estas la principo uzata ĉe la funkciado de inkubatoro (kovilo). Aero dilatiĝas tuŝante hejtan elementon (ĝia denso iĝas pli malgranda). La varmega aero malpli densa leviĝas, kaŭzante kontinuan cirkuladon de varma aero. La sama principo klarigas kio okazas interne de fermitaj ĉambroj kun neefika aer-cirkulado. La pli varma kaj malpli densa aero restas proksime al la plafono de la ĉambro. Tio estus dezirinda somere, sed ne vintre.

7.10 LA KOMBINITA GAS-LEĜO

La leĝoj de Boyle kaj de Charles estas kombineblaj en unu leĝon, kiu estas utila por kalkuli konduton de gaso se du el la tri variabloj ŝanĝiĝas (P, V, kaj T). La kombinita leĝo povas esti skribita matematike kiel:

$$\frac{P \times V}{T} = \text{Konstanto} \qquad 7\text{-}5$$

aŭ

$$\frac{P_k V_k}{T_k} = \frac{P_f V_f}{T_f} \qquad 7\text{-}6$$

kie P, V kaj T respektive reprezentas la premon, volumenon kaj temperaturon de la gaso. Refoje, T devas esti en Kelvin-gradoj; ankaŭ, la unuoj uzataj por ĉiuj atributoj devas esti konsekvencaj kun ĉiuj aliaj, por ke ili ĝuste nuliĝu kiam oni aplikas tiun ĉi leĝon.

Ekzemplo 7-4. Kalkulu la finan volumenon de la balono en Ekzemplo 7-3 se, aldone al la donitaj ŝanĝoj, la atmosfera premo ŝanĝiĝas de 640 toroj kiam la balono estis plenigita al 680 toroj kiam la balono estis varmega.

Solvo. Ni uzos la kombinitan gasleĝon kun P_k = 640 toroj, V_k = 5,0 l, T_k = 298 K, P_f = 680 toroj, T_f = 323 K kaj V_f la nesciata volumeno. Substituo en ekvacio 7-6 rezultigas:

$$\frac{(640 \text{ toroj})(5{,}0 \text{ l})}{(298 \text{ K})} = \frac{(680 \text{ toroj})(V_f)}{(323 \text{ K})}$$

La solvo por V_f estas:

$$V_f = \frac{(640 \cancel{\text{ toroj}})(5{,}0 \text{ l})(323 \cancel{\text{K}})}{(580 \cancel{\text{ toroj}})(298 \cancel{\text{K}})} = 5{,}1 \text{ litroj}$$

7.11 LEĜO DE DALTON PRI PARTAJ PREMOJ

La leĝo de Dalton pri partaj premoj koncernas miksaĵojn de gasoj, kiuj ne reakcias kemie unu kun alia. En gasa miksaĵo de tiu tipo, ĉiu gaso dilatiĝos kaj tute plenigos la ujon, kaj efikante per premo kiu estas sendependa de la ĉeesto de aliaj gasoj. Eksperimente oni trovas ke la sumo de tiuj unuopaj premoj egalas al la tuta premo de la miksaĵo. La leĝo de Dalton pri partaj premoj estas formala konstato de tiu prema rilato.

leĝo de Dalton pri partaj premoj

La tuta premo en ujo entenanta miksaĵon de gasoj egalas al la sumo de la partaj premoj de la unuopaj gasoj konsistigantaj tiun miksaĵon.

parta premo

La parta premo de gaso en miksaĵo estas difinita kiel la premo per kiu la gaso efikus, se ĝi estus sola en ujo de la sama grando kiel la miksaĵa ujo.

Esprimata matematike, la leĝo de Dalton konstatas ke:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \ldots \qquad 7\text{-}7$$

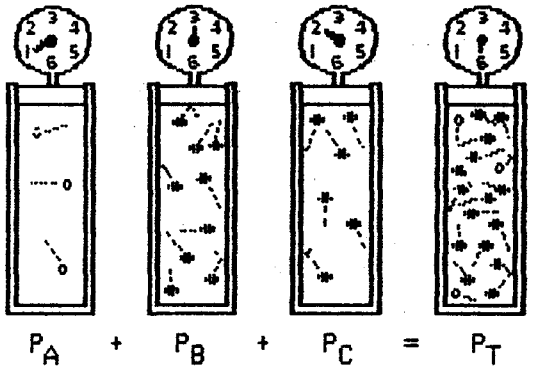
kie P_T estas la tuta premo de gasa miksaĵo, kaj P_1, P_2, P_3 ktp la partaj premoj de la unuopaj gasoj konsistigantaj la miksaĵon. (Se oni scias la identecon de gaso, ties molekula formulo estas uzata kiel subindico en la partprema notacio; ekzemple, P_{CO_2} estas la parta premo de karbona dioksido en miksaĵo.)

Por ilustri la leĝon de Dalton, konsideru la kvar identajn gasujojn montritajn en Bildo 7-6. Supozu ke ni metas kvantojn da tri diversaj gasoj (simbolitaj per A, B, kaj C) en tri ujojn kaj mezuras la premon, per kiu ĉiu provaĵo efikas. Tiam ni metas ĉiujn tri provaĵojn en la kvaran ujon kaj mezuras la premon kaŭzatan per tiu miksaĵo de gasoj. Oni trovas, ke

$$P_T = P_A + P_B + P_C$$

Uzante la premojn donitajn en Bildo 7-6, ni vidas ke:

$$1 + 3 + 2 = 6.$$



Bildo 7-6. Dalton-leĝo de partaj premoj.

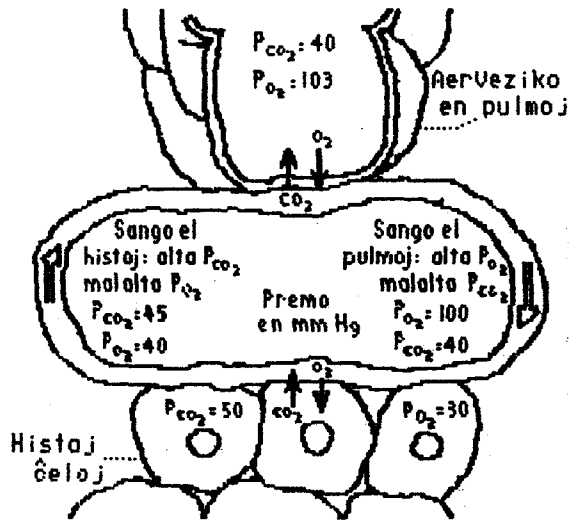
En la situacio kie oni uzas gas-miksaĵon, en kiu nur unu aŭ du el la komponantoj interesas nin, uzado de partaj premoj ebligas konsiderinde simpligi la matematikan analizon de la miksaĵo. Ĉar gasoj en miksaĵo sendependе obeas al la gasleĝoj, eblas al ni pritrakti nur tiujn gasojn, pri kiuj ni interesiĝas.

La koncepto de partaj premoj estas ofte uzata kiam oni klarigas kiel okazas multaj biokemiaj procezoj en niaj korpoj. Por ilustri, ni konsideru koncize la procezon de homa spirado. Entute, la ago de spirado reprovizas la sangon per oksigeno (kiu estis konsumita per ĉelaj procezoj) kaj forprenas karbonan dioksidon (la rub-produkto pro ĉel-procezoj) el la

sango. La fundamentoj de tiu procezo estas montritaj en Bildo 7-7.

La moviĝo de oksigeno kaj karbona dioksido tra la korpo estas regata de *premaj gradientoj rezultantaj el partpremaj diferencoj.* Gasoj ĉiam fluas ek regionoj de pli alta parta premo al regionoj de pli malalta parta premo.

Revenante al la pulmoj, sango de niaj histoj (maldekstra flanko de Bildo 7-7) estas seniĝinta je sia oksigena provizo (malalta P_{O_2}) kaj portas karbonan dioksidon (alta P_{CO_2}) kiel la ruban produkton. Oksigeno difuziĝas el la pulmoj (alta P_{O_2}) en la sangon (malalta P_{O_2}), kaj karbona dioksido moviĝas en inversa direkto. Forlasinte la pulmojn, la sango, *nun reprovizita per oksigeno* (alta P_{O_2}), vojaĝas al la histoj (malalta P_{O_2}). La oksigeno de la sango difuziĝas en la histojn. Je la sama tempo, CO_2 produktita en la ĉeloj (alta P_{CO_2}) difuziĝas en la sangon (malalta P_{CO_2}). La efektivaj valoroj de partaj premoj implicataj dum tiuj diversaj interŝanĝiĝoj estas notitaj en Bildo 7-7.



Bildo 7-7. Transporto kaj interŝanĝiĝoj de karbona dioksido kaj oksigeno

7.12 STAT-ŜANĜOJ

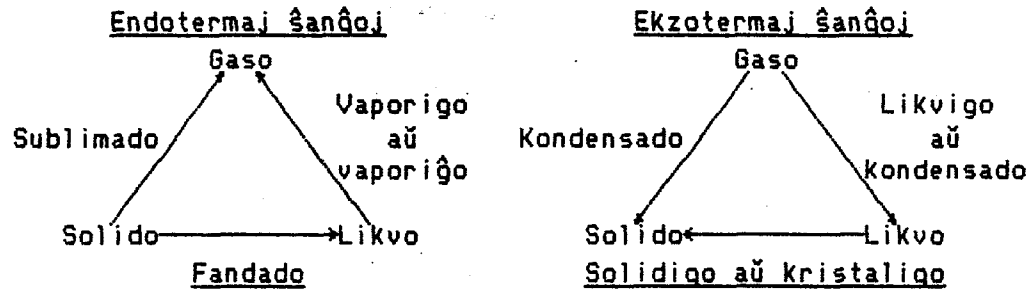
La materio povas esti ŝanĝita de unu stato en alian per tiaj procedoj kiel varmigo, malvarmigo (fridigo), aŭ ŝanĝado de premo. Varmigo kaj malvarmigo estas la plej ofte uzataj procedoj.

endoterma ŝanĝo; ekzoterma ŝanĝo

Ŝanĝo de stato, *kiu bezonas enmeton de varmo* estas nomata endoterma ŝanĝo; dum tiu, en kiu varmo estas fordonita (malvarmigo) estas ekzoterma ŝanĝo.

La endotermaj stat-ŝanĝoj estas fandado (solido ŝanĝiĝas en likvon), sublimado (solido ŝanĝiĝas en gason) kaj vaporigo aŭ vaporiĝo (likvo

ŝanĝiĝas en gason). La ekzotermaj ŝanĝoj estas inversigo de endotermaj ŝanĝoj, kaj inkluzivas malvarmigon aŭ kristaligon (likvo ŝanĝiĝas en solidon), kondensadon (gaso ŝanĝiĝas en solidon) kaj likvigon aŭ kondensadon (gaso ŝanĝiĝas en likvon). Tiuj ĉi ŝanĝoj estas resumitaj en Bildo 7-8.



Bildo 7-8. Stat-ŝanĝoj

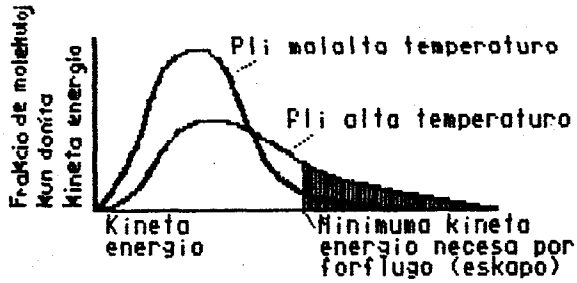
7.13 VAPORIĜO DE LIKVOJ

vaporiĝo

Vaporiĝo estas la foriĝo de molekuloj de sur la likvosurfaco en la gasfazon.

Ĝi estas procezo konata al ni ĉiuj. Akvo en ujo, ĉe ĉambra temperaturo, baldaŭ malaperos pro vaporiĝo se oni lasas la ujon malkovrita. La fenomeno de vaporiĝo estas bone klarigebla helpe de la molekulkineta teorio (Sekcio 7.2). La kinetaj energioj de individuaj molekuloj en likva provaĵo varias vaste kiel rezulto de kolizioj inter ili. Dum kolizioj, energio estas transigata de unu molekulo al alia. (Tio similas al bilardo, kie la pelita globo frapas alian globon kaj transdonas energion al ĝi.) Pere de tiu energi-transiĝa procezo molekulo povus posedi tre altan energion je unu momento kaj tre malaltan energion je la sekvanta pro la perdoj induktitaj de kolizioj. Molekuloj kun energioj sufiĉe super la mez-valoro povas venki la altirajn fortojn (potencialan energion) tenantajn ilin en la likvo, kaj forflugi se ili estas proksimaj al la likvosurfaco kaj estas moviĝantaj en favora direkto relative al la surfaco.

La rapido de vaporiĝo dependas de la temperaturo de la likvo kaj de la grando de la surfac-areo de kiu la molekuloj povas forflugi. Temperaturo estas grava faktoro, ĉar ĝi rilatas rekte al la meza kineta energio de la molekuloj kaj sekve al ilia ebleco deiĝi de la altiraj fortoj ĉe la likvosurfaco. Bildo 7-9 montras la distribuon de molekulaj kinetaj energioj en sistemo ĉe du temperaturoj. Ĉe la pli alta temperaturo, pli granda parto de la molekuloj havas la necesan energion bezonatan por eskapo, t.e. - liberiĝo.



Bildo 7-9. Distribuo de kineta energio inter molekuloj

La eskapo de altenergiaj molekuloj el likvo dum vaporiĝo influas la likvon du-voje. La kvanto da likvo nome malkreskas kaj la temperaturo de la likvo malaltiĝas. La unua efiko evidentas; la dua bezonas iom da klarigo. Tial ke vaporiĝo implicas la perdon de la plej energiaj molekuloj de la likvo, la meza kineta energio de la restantaj molekuloj malaltiĝas. Pli malalta mezvalora kineta energio respondas al pli malalta temperaturo; tial estiĝas malvarmiga efiko. Vaporiĝa malvarmigo gravas ĉe multaj procedoj kaj procezoj, el kiuj oni povas citi la malvarmigon de domoj, malvarmiĝon de la homa korpo per transpirado kaj tiun malvarmiĝon, kiun anhelanta hundo spertas per vaporiĝo de salivo de sur la mukozoj de ĝia buŝo. (Hundoj nek transpiras nek ŝvitas.)

La malaltiĝo temperatura de vaporiĝanta likvo eksperimente estas observebla nur se la likvo estas tenata en izolita ujo. Kiam likvo vaporiĝas el neizolita ujo, troviĝas sufiĉe da varmofluo el la ĉirkaŭaĵo por kompensi la perdon de energio, (kaŭzatan de la eskapantaj molekuloj) kaj tiel malebliĝas la malvarmiga efiko. Termoso estas ujo industrie produktata kiu minimumigas varmotransiĝon per vakuigita spaco inter duoblaj parietoj kiel izolaĵo.

Molekuloj kiuj eskapas el vaporiĝanta likvo kutime estas ope nomataj vaporo prefere al gaso.

vaporo

La termino vaporo priskribas gasajn molekulojn de substanco ĉe temperaturo kaj premo ĉe kiuj ni kutime rigardas substancon kiel likvon aŭ solidon.

Oni ankaŭ uzas la terminon vaporo en la senco de varmega akvovaporo (vaporŝipo, vapormotoro).

7.14 VAPORPREMO DE LIKVOJ

La vaporiĝeco de likvo en fermita ujo estas tute malsama ol tiu en

malfermita ujo. En ambaŭ ujoj, ia ajn vaporiĝo kiu okazas estas indikata per falo de likvonivelo. Tamen, diference de la malfermita uja sistemo, la likvonivelo en la fermita ujo fine iĝos konstanta. Tio indikas ke la likvo ne tute vaporiĝos.



Komence | Post iom da tempo | Ĉe ekvilibro

Bildo 7-10. Vaporiĝo de likvo en fermita ujo

Tiuj observoj estas en akordo kun la sekvanta klarigo. En fermita ujo, molekuloj kiuj vaporiĝas ne povas moviĝi tute for de la likvo. Male, ili tiel moviĝis en malfermita ujo. Anstataŭ tio, la vapormolekuloj estas limigitaj al tiu spaco, kiu estas tuj super la likvo, kie ili suferas multajn hazardajn koliziojn kun la parietoj, aliaj vapormolekuloj, kaj la likvosurfaco (vidu Bildon 7-10). Iliaj kolizioj kun la likvosurfaco rezultigas ilian rekaptiĝon per la likvo. Tial du procezoj, vaporiĝo (eskapo) kaj kondensiĝo (rekapto) fakte okazas en fermita ujo. Komence, la rapido de vaporiĝo superas tiun de kondensiĝo, kaj la nivelo de la akvo falas. Tamen, dum pli kaj pli da likvo vaporiĝas, la nombro da vapormolekuloj pligrandiĝas kaj la ŝanco de ilia rekaptiĝo pro trafado al la likvosurfaco ankaŭ pligrandiĝas. Fine, la rapido de kondensiĝo ekvilibriĝas al la rapido de vaporiĝo kaj la akvonivelo ĉesas fali. Ĉe tiu ĉi punkto la nombro da molekuloj, kiuj eskapas dum tempunuo egalas al la nombro rekaptata.

stato de ekvilibro

Sistemo kiel tiu, en kiu du malaj procezoj okazas egalrapide, estas sistemo en stato de ekvilibro.

En tia stato ne eblas detekti netan makroskopan ŝanĝiĝon. Tamen, la procezo estas ankoraŭ dinamika. Neniu procezo ĉesiĝas, ambaŭ okazas kontinue, sed en tia maniero ke unu kompensas la alian. Sub la kondiĉoj montritaj en Bildo 7-10, la nombro da molekuloj en la vapora stato restas Konstanta. Tiu konstanta nombro da molekuloj efikas per konstanta premo sur la likvosurfacon kaj parietojn.

vaporpremo

Tiu premo, per kiu efikas vaporo en ekvilibro kun ĝia likva fazo, nomiĝas la vaporpremo de la likvo.

La grando de vaporpremo dependas de la naturo kaj temperaturo de la likvo. Likvoj, havantaj fortajn altirajn fortojn inter molekuloj, posedos pli malaltajn vaporpremojn ol likvoj en kiuj ekzistas nur malfortaj altirfortoj inter eretoj.

volatila substanco

Substancoj kun altaj vaporpremoj ĉe ĉambra temperaturo nomiĝas volatilaj (aŭ vaporiĝemaj).

Kiel oni atendus, la vaporpremo de ĉiuj likvoj leviĝas kiel la temperaturo leviĝas, ĉar pliiĝas la nombro da molekuloj havantaj sufiĉe da kineta energio por eskapi de sur la likvosurfaco.

7.15 BOLADO KAJ LA BOL-PUNKTO DE LIKVOJ

bolado

Bolado estas speciala formo de vaporiĝo en kiu okazas transformiĝo de likvo en vaporon per la estiĝo de bobeloj interne de la likvo.

Tiu fenomeno komencas okazi kiam la vaporpremo de likvo, kiu plialtiĝas dum likvo estas varmigata, atingas valoron kiu egalas al tiu de la ĉirkaŭa atmosfero. Antaŭ tiu punkto la tuta vaporiĝo okazas ĉe la likvosurfaco. Sed kiam la vaporpremo egaliĝas al la atmosfera premo, vaporiĝo komencas okazi ankaŭ sube de la surfaco per bobeloj de vaporo formiĝantaj ĉirkaŭ ajna mergita polvero aŭ malglata loko sur la parieto. La vaporbobeloj estas malpli densaj ol la likvo kaj leviĝas rapide al la surfaco, kie la vaporo eskapas.

bolpunkto

Tiu temperaturo ĉe kiu la vaporpremo de likvo iĝas egala al la ekstera (atmosfera) premo, efikanta sur ĝin, estas difinita kiel la bolpunkto de likvo.

Ĉar atmosfera premo ondas de tago al tago, sammaniere ondas la bolpunkto de likvo. Tial, por kompari bolpunkton de malsamaj likvoj, ni devas certiĝi ke la ekstera premo estas la sama.

normala bolpunkto

La bolpunkto plejofte uzata en tabeloj estas la normala bolpunkto, kiu estas difinita kiel la temperaturo ĉe kiu likvo bolas sub premo de 760 toroj (1 atmosfero, 98,0665 kilopaskaloj).

7.16 INTERMOLEKULAJ FORTOJ EN LIKVOJ

Bolpunktoj inter substancoj varias grandskale. Bolpunktoj de kelkaj substancoj estas profunde sub nulo; ekzemple oksigeno havas bolpunkton -183°C. Kiel ni scias, aliaj substancoj ne bolas ĝis la temperaturo estas multe pli alta. Klarigo por tiu variado implicas konsideron de la naturo de intermolekulaj fortoj -- aŭ fortoj inter molekuloj -- kiuj devas esti venkitaj por ke molekuloj eskapu el la likva stato en la vaporan staton.

Intermolekulaj fortoj similas en unu maniero al intramolekulaj fortoj -- aŭ fortoj interne de molekuloj -- kiuj partoprenas en kovalenta kaj jona ligoj (Sekcioj 6.4 kaj 6.6). Ambaŭ estas elektrostatikaj laŭ origino. Diferenco unuarange grava inter inter- kaj intramolekulaj fortoj estas ties grando; la unuaj estas multe pli malfortaj. Sed malgraŭ sia relativa malforteco, intermolekulaj fortoj estas sufiĉe fortaj por influi la konduton de likvoj, ofte tre draste. Ĉefa tipo de intermolekula forto kaj la sola tipo diskutenda ĉi tie estas dipola interago, kiu estiĝas inter polusaj molekuloj. Polusaj molekuloj, rememoru la studento (Sekcio 6.7), estas elektre nesimetriaj ĉar la centroj de pozitiva kaj negativa ŝargoj ne koincidas. Nete rezultas ke polusaj molekuloj (kiuj ofte estas nomataj dipoloj, t.e.- dupolusoj) havas pozitivajn kaj negativajn ekstremojn.

dipola interago

Dipolaj interagoj estiĝas pro altiro de la pozitivaj finoj (ekstremoj) de molekuloj al la negativaj finoj de aliaj molekuloj.

Ju pli granda la poluseco de kombinaĵo, des pli granda estas la dipolaj interagoj. Ĝenerale, pro dipolaj interagoj, bolpunktoj de polusaj likvoj estas pli altaj ol tiuj de nepolusaj likvoj, se ambaŭ tipoj de molekuloj havas proksimume la saman molekulan mason.

Iom speciala tipo de dipola interago okazas en polusaj kombinaĵoj enhavantaj ligojn N-H, O-H, aŭ F-H. En tiuj situacioj, H estas ligita al ekstreme elektronegativaj elementoj (Sekcio 6.7). La elektronegativeca diferenco estas sufiĉa por senigi la H de ties elektrono, postlasante preskaŭ malŝirmitan nukleon (protonon). La malgranda volumeno de la

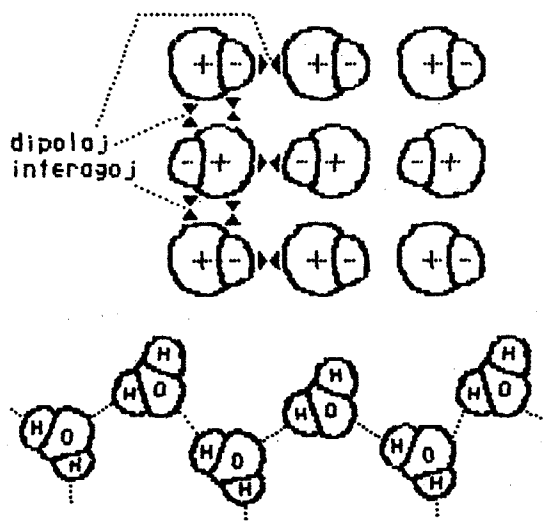
hidrogena nukleo permesas al ĝi aliri tre proksime al F, N, aŭ O atomoj de aliaj molekuloj, rezultigante multe pli fortan ol normalan dipolan interagon.

hidrogena (pont)ligo

Tiuj fortaj dipolaj interagoj inter molekuloj kun ligoj N-H, O-H, aŭ F-H estas speciale nomataj hidrogenaj (pont)ligoj, aŭ hidrogenligoj.

Likvoj kun hidrogenligoj havas nenormale altajn bolpunktojn. Signife estas, ke hidrogenligiĝo estas limigita al kombinaĵoj entenantaj N, O, kaj F pro tio, ke ĉiuj tri elementoj estas tre malgrandaj kaj ankaŭ tre elektronegativaj. Konsideru, ke la pli grandaj atomoj Cl kaj S havas elektronegativecojn similajn al N, sed montras malmultan aŭ nenian tendencon formi hidrogenligojn.

La plej forta hidrogenligo havas proksimume dekonon de la forto de kovalenta ligo kaj ĝi estas la plej forta el ĉiuj intermolekulaj fortoj. Multaj *polusaj molekuloj de biologia graveco entenas ligojn* O-H kaj N-H, kaj hidrogenligoj rolas en la konduto de tiuj substancoj. Bildo 7-11 figuras la dipolajn interagojn por ĝenerala situacio ĉe duatomaj polusaj molekuloj kaj ankaŭ hidrogenligiĝon en la speciala kazo de la molekulo H_2O.



Bildo 7-11. Dipolaj interagoj kaj hidrogen(pont)ligiĝo

7.17 SUBLIMIĜO KAJ FANDIĜO

Solidoj, same kiel likvoj, havas vaporpremojn. La odoroj de tine-globoj (globoj aŭ buletoj kontraŭ-tineaj), spicoj, kaj teo estas atestoj pri tio. Molekulkineta teorio estas plejofte aplikebla al solidoj sammaniere kiel al likvoj. Eretoj en la solida stato havas amplekson da energioj; kaj

eretoj sur la surfaco de solido povas eskapi en la gasfazon se ili atingas energiojn sufiĉe altajn. Vaporpremoj de solidoj ĝenerale estas multe pli malaltaj ol tiuj de likvoj ĉar la koheraj fortoj en solidoj ne estas tiom venkitaj de kontraŭaj disrompaj fortoj kiel en likvoj.

Kiel atendite, la vaporpremo de solido pliiĝas se oni plialtigas la temperaturon.

sublimiĝo

Kiam la vaporpremo de solido estas sufiĉe granda por ebligi al eskapantaj molekuloj transiri rekte en la vaporstaton, ne trapasante la likvostaton, tiu senpera vaporiĝo nomiĝas sublimiĝo.

Famaj ekzemploj estas la sublimiĝo de solida karbona dioksido (seka glacio) kaj naftaleno (tine-globoj). Sublimiĝo de solida akvo ankaŭ okazas. Malsekaj tolaĵoj pendigitaj ekstere en frosta vetero fine sekiĝas kiam la frostigita akvo sublimiĝas. Tekniko bazita sur tiu procedo nomata kriosekigo estas uzata por sekigi biologiajn materialojn aŭ manĝaĵojn, kiuj estus difektitaj per varmigo. (Reduktita premo kutime estas neceso de komercaj kriosekigaj procedoj.) La scienca vortero krio- signifas malvarmon aŭ froston.

Kvankam ĉiuj solidoj havas vaporpremojn, la plejmulto da puraj substancoj en la solida stato fandiĝas ĉe varmigo antaŭ ol la vaporpremo de solido iĝas sufiĉe alta por permesi konsiderindan sublimiĝon.

fandiĝo

Fandiĝo temas pri la disfalo aŭ rompiĝo de la relative rigida solida strukturo en la moviĝeman likvan staton.

fandopunkto

La disfalo de la rigida solida strukturo okazas ĉe temperaturo, kiu nomiĝas la fandopunkto.

Kiam la temperaturo de solido estas plialtigita, la moviĝo de la eretoj ĉirkaŭ iliaj fiksitaj pozicioj iĝas pli vigla kaj la eretoj estas pli dise pelitaj. Fine, la eretoj gajnas sufiĉe da kineta energio por disrompi la rigidan strukturon.

7.18 MALKOMBINIĜO

Preskaŭ ĉiu gaso likviĝas kaj poste solidiĝas se ĝiaj konsistigaj eretoj estas bremsataj (malvarmigataj) sufiĉe por permesi la kohera jn fortojn,

enestantajn en ĉia materio, superregi la disrompajn fortojn. Tamen ne veras, ke varmigo ŝanĝas ĉiujn solidojn al likvoj aŭ ĉiujn likvojn al gasoj. Kelkokaze, la atomoj konsistigantaj la molekulojn de solido aŭ likvo povas akiri sufiĉe da energio kaj vibri tiom fortege, ke la ligoj interne de la molekuloj rompiĝas antaŭ ol la solido aŭ likvo povas ŝanĝi sian staton.

malkombiniĝo
La rompiĝo de ligoj interne de molekuloj, kiu ŝanĝas unu substancon en alian, estas procezo nomata malkombiniĝo.

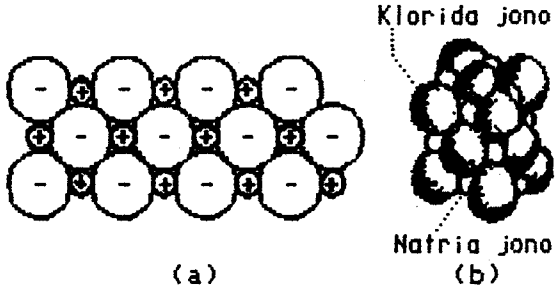
Ekzemple, papero kaj kotono ne fandiĝas kiam varmigataj, sed karbiĝas aŭ malkombiniĝas.

7.19 STRUKTURO DE JONAJ SOLIDOJ

kristala krado
En jonaj solidoj, jonoj estas tridimensie aranĝitaj en sistema, alte ordigita modelo. Tiuj tridimensiaj aranĝiĝoj estas nomataj kristalaj kradoj.

kristalkrada nodo
Pozicioj okupitaj de jonoj en la krado nomiĝas kristalkradaj nodoj (centroj aŭ situoj).

La kristala krado konsistas el pozitivaj kaj negativaj jonoj aranĝitaj tiel, ke ĉiu jono estas ĉirkaŭita de najbaroj havantaj malajn ŝargojn, al kiuj ĝi estas ligita per elektrostatikaj altiroj (altirfortoj). Tial ke tiuj interjonaj altirfortoj estas tre fortaj, jonaj solidoj havas altajn fandopunktojn kaj nesignifajn vaporpremojn. Bildo 7-12(a) montras kversekcon de la kristalkrado trovita en NaCl, kiu estas jona solido havanta pozitivajn jonojn pli malgrandajn ol ties negativaj jonoj. Bildo 7-12(b) montras tridimensian vidon de la sama substanco.



Bildo 7-12. Jona kristal-krado

El ilia strukturo ni povas vidi, ke en jonaj solidoj ne ekzistas unuopaj molekuloj. Formuloj de tiaj substancoj tial ne povas reprezenti la konsiston de molekulo de la substanco. Anstataŭ tio, formuloj por tia tipo de solido prezentas la plej simplan rilatumon laŭ kiu atomoj kombiniĝas. Ekzemple, en NaCl ne estas sola "kunulo" por natria jono, sed anstataŭe ses senperaj najbaroj samdistancaj de ĝi (kloridaj jonoj). La kloridjono siavice havas apude ses tujajn natrijonojn kiel najbarojn. La formulo NaCl reprezentas la fakton, ke en tiu solido natriaj kaj kloridaj jonoj ĉeestas en rilatumo 1:1.

La formuloj por jonaj solidoj, kvankam nur prezentantaj rilatumojn, estas uzataj en ekvacioj kaj en kemiaj kalkuloj (molekulaj masoj, ktp.) sammaniere kiel formuloj por molekulaj specoj. La studento tamen rememoru, ke oni ne povas interpreti ilin, kvazaŭ molekuloj ekzistus en tiuj substancoj. Tial, la molekulo ne estas la plej malgranda unuo kapabla je stabila ekzisto por ĉiu pura substanco (Sekio 2.4) -- jonaj solidoj estas esceptoj.

Bildo 7-5: El Molly M. Bloomfield, "Chemistry and the Living Organism" (La Kemio kaj la Vivanta Organismo), p. 38. Kopirajto ©1977 de John Wiley and Sons.

Bildo 7-6: El Molly M. Bloomfield, "Chemistry and the Living Organism" (La Kemio kaj la Vivanta Organismo), p. 41. Kopirajto ©1977 de John Wiley and Sons.

Bildo 7-7: El Molly M. Bloomfield, "Chemistry and the Living Organism" (La Kemio kaj la Vivanta Organismo), p. 42. Kopirajto ©1977 de John Wiley and Sons.

Bildo 7-11(supro): El "Chemical Principles" (Kemiaj Principoj), Tria eldono, de William L. Masterson kaj Emil J. Slowinski. Kopirajto ©1977 de W.B. Saunders Company. Adaptita dank' al permeso de Holt, Rinehart and Winston.

Bildo 7-11(malsupro): El "Introduction to Chemical Principles" (Enkonduko en Kemiajn Principojn), Dua Eldono, de Edward I. Peters. Kopirajto ©1978 de W.B. Saunders Company. Kopirajto 1974 de W.B. Saunders Company. Adaptita dank' al permeso de Holt, Rinehart and Winston.

EKZERCOJ

Statoj de la Materio

1. La sekvantaj frazoj rilatas al la terminoj solida stato, likva stato, kaj gasa stato. Parigu la terminojn al la konvenaj frazoj.
   a) Tiun ĉi staton karakterizas la plej malalta denso el la triopo.
   b) Tiun ĉi staton karakterizas nedifinita formo kaj alta denso.
   c) Temperaturaj ŝanĝiĝoj influas la volumenon de tiu ĉi stato.
   ĉ) Premaj ŝanĝiĝoj influas la volumenon de tiu ĉi stato pli ol ĉe la du aliaj.
   d) En tiu ĉi stato, konsistigantaj eretoj estas malpli liberaj ĉirkaŭmoviĝi ol en aliaj statoj.

Molekulkineta Teorio de Materio

2. Konforme al la postulatoj de la molekulkineta teorio de materio:
   a) Kiujn du tipojn de energio posedas eretoj?
   b) Kiel transdonas molekuloj energion de unu al alia?
   c) Kio estas la rilato inter la temperaturo kaj la mez-rapido je kiu eretoj moviĝas?
3. Kontrastigu la efikojn de koheraj kaj disrompaj fortoj sur eretan sistemon. Kia tipo de energio rilatas al koheraj kaj al disrompaj fortoj?
4. Kian efikon havas temperaturo sur la grandon de disrompaj kaj de koheraj fortoj?
5. Distingu inter la gasa, likva kaj solida statoj de substanco el vidpunkto de la grando de la kinetaj kaj la potencialaj energioj de la konsistigaj eretoj.
6. Klarigu ĉiun el la sekvantaj observoj helpe de la molekulkineta teorio de materio:
   a) Gasoj havas malaltan densón.
   b) Solidoj retenas karakterizajn formojn.
   c) Likvoj montras malgrandan volumenan ŝanĝiĝon kiam oni ŝanĝas la temperaturon.
   ĉ) Kaj likvoj kaj solidoj estas preskaŭ nekunpremeblaj.
   d) Gaso ĉiam efikas per premo sur objekton aŭ ujon kun kiu ĝi estas en kontakto.
7. Kontrastigu la diferencon je ereta disiĝo por solidoj, likvoj kaj gasoj laŭ duonkvanteca maniero (uzante nombrojn).
8. Uzante molekulkinetan teorion, klarigu kial estas danĝere varmigi gas-plenigitan metalan ujon en libera fajro.

Gasleĝoj

9. Donu vortan konstaton kaj matematikan konstaton por ĉiu el la sekvantaj gasleĝoj.

a) leĝo de Boyle b) leĝo de Charles c) leĝo de Dalton pri parta premo

10. Realigante gasleĝajn kalkulojn, kiun temperaturskalon ni devas uzi?

Mezurado de Premoj

11. Priskribu kio okazas al la nivelo de la hidrarga kolono en la barometro de Bildo 7-3 ĉe la sekvantaj situacioj:
    a) Atmosfera premo malkreskas.
    b) Malgranda liko estiĝas en la sigelita ekstremo de la tubo.
    c) Pli da hidrargo estas aldonita en la pelvon.

12. Esprimu ĉiun el la sekvantaj premoj laŭ milimetroj da hidrargo:
    a) 740 toroj b) 0,33 atm c) 8 kilopaskaloj ĉ) 20,0 milibaroj

Gasleĝaj Kalkuloj

13. Ciklopropano, C_3H_6, estas senkolora gaso kun agrabla, dolĉa odoro, kiu kelkfoje estas uzata kiel ĝenerala anestezaĵo. Provaĵo de tiu gaso okupas 2,00 litrojn ĉe 27°C kaj premo de 1,00 atm. Kiun volumenon okupos tiu provaĵo ĉe la sama temperaturo sed ĉe la sekvantaj premoj:
    a) 2,00 atm b) 0,73 atm c) 750 mm Hg

14. Gaso, kiun entenas etendebla ujo, havas volumenon de 5,0 litroj ĉe 27°C. La premo egalas al la atmosfera premo. Kio estos la volumeno de la gaso kiam la temperaturo estas ŝanĝita al:
    a) 127°C b) -127°C c) 1000 K

15. Je ĉambra temperaturo (27°C) la premo, per kiu efikas iom da oksigena gaso stokita en 20,0-litra ŝtal-botelo, estas 1,50 atm. Kio estas la premo de la oksigeno en la cilindro kiam oni lasas la temperaturon atingi la sekvantajn nivelojn:
    a) 400°C b) 527°C c) -100°C

16. Kalkulu la volumenon okupitan de provaĵo de nitrogena gaso ĉe 127°C kaj ĉe premo de 1,0 atm, se ĝi havis volumenon de 3,0 litroj kiam la temperaturo estis 27°C kaj premo 2,0 atm.

17. Sfera veterbalono estas plenigita per heliumo ĝis la volumeno atingis 10,0 litrojn ĉe 27°C kaj sub premo de 1,0 atm. Kalkulu la volumenon de la balono post ĝia renkonto kun la sekvantaj supraj atmosferaj kondiĉoj: temperaturo de -30,0°C kaj premo de 250 mm Hg.

18. Ŝtala botelo entenas miksaĵon de nitrogeno, oksigeno kaj karbona dioksido. La suma premo en la ujo estas 2200 toroj. La premo, per kiu efikas la nitrogeno kaj oksigeno, estas 520 kaj 650 toroj respektive. Kio estas la parta premo de la CO_2?

Stat-ŝanĝoj

19. Indiku ĉu ĉiu el la sekvantaj estas ekzoterma aŭ endoterma ŝanĝo:

a) sublimado b) kristaligo c) fandado
ĉ) solidigo d) vaporigo e) kondensado

20. Parigu la sekvantajn frazojn al la konvena termino: vaporiĝo, vaporpremo, bolpunkto, sublimiĝo kaj malkombiniĝo.

a) Tiu ĉi procezo okazas kiam unu substanco ŝanĝiĝas al pluraj aliaj substancoj.
b) Tiu ĉi procezo respondas al senpera ŝanĝiĝo de solido al vapora stato.
c) Tiu ĉi estas temperaturo ĉe kiu la vaporpremo de la likvo egalas al la ekstera premo sur likvon.
ĉ) Tiu ĉi okazas kiam likvo ŝanĝiĝas en vaporon.
d) Tiu ĉi povas esti mezurata per tio, ke oni permesas al likvo vaporiĝi en fermita ujo.
e) Ĉe tiu ĉi temperaturo, bobeloj de vaporo formiĝas interne de likvo.
f) Tiu ĉi temperaturo ŝanĝiĝas rimarkinde kiam oni ŝanĝas la atmosferan aŭ eksteran premon.

21. Klarigu, uzante molekulkinetan teorion, kial substancoj vaporiĝas.

22. Kiuj du faktoroj influas la rapidon ĉe kiu substanco vaporiĝas?

23. Kiuj faktoroj influas la grandon de la vaporpremo, per kiu efikas likvo aŭ solido?

24. Distingu inter la terminoj bolpunkto kaj normala bolpunkto.

25. Kritiku la aserton: Ĉiuj solidoj fandiĝos se varmigataj al sufiĉe alta temperaturo.

8 SOLVAĴOJ KAJ KOLOIDOJ

CELOJ

8.1 Difini solvenzon kaj solvezon. Enlistigi la tipojn de dukomponantaj solvaĵoj.

8.2 Distingi inter a) saturita kaj nesaturita, b) miksebla kaj nemiksebla, kaj c) diluita kaj koncentrita. Kompreni kiel la terminoj nesolvebla, solvebleta, solvebla, kaj solveblega rilatas al la kvanto de solvezo solvita en 100 gramoj da solvenzo.

8.3 Povi apliki la principon similo solvas similon. Scii la regulojn pri solveblo por jonaj kombinaĵoj en akvo.

8.4 Lerni kiaj faktoroj regas la solveblojn de solvezoj en solvenzoj. Klarigi kial jona kombinaĵo solviĝas en akvo.

8.5 Difini la unuojn de koncentreco: procento, molareco, molaleco, normaleco. Uzante la difinajn ekvaciojn por la unuoj, kalkuli iun ajn el la tri kvantoj en ekvacio, ricevinte la aliajn du.

8.6 Kalkuli la koncentrecon de solvaĵo akirita per la diluado de stoka solvaĵo de koncentreco sciata.

8.7 Identigi kvar koligativajn ecojn, kaj diri kiel la ĉeesto de solvitaĵo ŝanĝas ĉiujn ecojn de la solvenzo. Kalkuli la grandon de solidiĝopunkta (frostopunkta) malaltiĝo aŭ bolpunkta leviĝo de solvaĵo enhavanta nevolatilajn solvezajn eretojn je sciata koncentreco. Studi aplikojn de solidiĝopunkta malleviĝo kaj bolpunkta leviĝo. Lerni la originon de osmozo, osmozan premon, kaj la biologian gravecon de osmozaj procezoj. Difini: izotona, hipertona, hipotona, hemolizo, kaj kreneliĝo.

8.8 Difini koloidon kaj studi la diversajn tipojn de koloidaj sistemoj. Kompreni la faktorojn kiuj stabiligas kaj malstabiligas koloidojn.

8.9 Priskribi dializon; kompari ĝin kun osmozo.

Ni jam trovis ke du tipoj de materio estas homogenaj -- puraj substancoj kaj homogenaj miksaĵoj, aŭ solvaĵoj (Sekcio 2.1 kaj 2.2). Poste ni emis limigi nian diskuton al puraj substancoj. Nun ni donos nian atenton al solvaĵoj kaj iliaj malproksimaj parencoj, koloidaj dispersaĵoj.

Solvaĵoj estas ofte trovataj en la naturo, kaj ili rolas kiel unu el la plej vaste uzataj formoj de kemiaĵoj. Solvaĵoj portas nutraĵojn al la ĉeloj de niaj korpoj kaj forportas rubajn produktojn. La maro estas solvaĵo de akvo, natria klorido, kaj multaj aliaj substancoj (eĉ oro). Granda procento de kemiaj reakcioj okazas en solvaĵoj. Tiu ampleksas la plejparton de tiuj, kiujn traktos la sekvantaj ĉapitroj de ĉi tiu libro.

8.1 TIPOJ DE SOLVAĴOJ

Du aŭ pli da substancoj, miksitaj homogene, ĉiam enestas en solvaĵo.

Solvenzo; solvezo

La substanco enestanta je la pli granda kvanto nomiĝas la solvenzo (aŭ solvilo, solvanto). La aliaj substancoj, tiuj dispersitaj en la solvilo, nomiĝas solvezoj (aŭ solvit(aĵ)oj).*

*Notu la uzon de la novaj sufiksoj -enz- kaj -ez-. Ili signifas la agantan (aktivan) kaj agatan (pasivan) substancojn respektive. La sufikso -enz- tre utilas en faka literaturo kaj estas dise trovebla en pastaj ĉapitroj de jena teksto.

Naŭ tipoj de du-komponantaj solvaĵoj povas ekzisti, laŭ klasifika skemo bazita sur la fizikaj statoj de la solvilo kaj solvitaĵo antaŭ la miksado. Ĉi tiuj tipoj, kun ekzemplo de ĉiu, aperas en Tabelo 8-1. La tipoj de solvaĵoj, en kiuj la fina stato de la miksaĵo estas likva, estas la plej oftaj kaj ricevos la emfazon en ĉi tiu libro.

Tabelo 8-1. Ekzemploj de solvaĵoj en diversaj statoj

Tipo de solvaĵo (solvezo aperas unue)	Ekzemplo
Gaso en gaso	Seka aero
Likvo en gaso*	Akvovaporo en aero
Solido en gaso*	Tine-forpelenzo en aero (substanco kiu mallogas tineojn)
Gaso en likvo	Karbonata trinkaĵo (CO_2 en akvo)
Likvo en likvo	Alkohola trinkaĵo (alkoholo en akvo)
Solido en likvo	Sala akvo
Gaso en solido	Hidrogeno en paladio
Likvo en solido	Hidrarga amalgamo
Solido en solido	Sterlinga arĝento (alojo de kupro kaj arĝento)

*Alia vidpunkto estas ke likvo-en-gasa kaj solido-en-gasa solvaĵoj ne ekzistas kiel veraj solvaĵoj sed kiel koloidoj (diskutotaj en Sekcio 8.8). Ekzemple, akvovaporon aŭ tine-forpelenzon en aero oni konsideras gas-en-gasa solvaĵo ĉar la akvo aŭ forpelenzo devas unue vaporiĝi aŭ sublimiĝi por solviĝi en aero.

Kiam solvaĵo formiĝas, la fizika stato de la solvezo iĝas la sama kiel la solvenzo. Ekzemple, solida naftaleno (tine-forpelenzo) devas esti sublimita por solviĝi en aero. La nura pulvorigado kaj dispersado de la subtilaj eretoj en la aeron ne produktas solvaĵon. (Polveroj en aero ne estas solvaĵo.) La eretoj de la solido devas esti subdividitaj ĝis la molekula nivelo; t.e.-la solido devas esti sublimita. Simile, nebulo estas suspensio de akvaj gutetoj en aero, kiuj estas sufiĉe grandaj ke ili reflektas lumon. Tion spertas aŭto-veturanto dum nebula nokto. Tial, nebulo ne estas solvaĵo. Sed akvovaporo ekzistas kiel solvaĵo en aero. Por fina ekzemplo, kiam hidrogena gaso solviĝas en paladia metalo (gas-en-solida solvaĵo), la gasaj molekuloj okupas fiksitajn poziciojn en la metala krado. La gaso "solidiĝas" kiel rezulto.

8.2 TERMINARO DE SOLVAĴOJ

Aldone al solvenzo kaj solvezo, estas pluraj aliaj terminoj utilaj por la priskribado de solvaĵoj kaj ties ecoj. Kelkaj el ili estas miksebla kaj nemiksebla; saturita; solveblo; kaj diluita, koncentrita, kaj akvaj solvaĵoj. Kompreno de ĉi tiuj terminoj faciligos nian studon.

La distingo inter miksebla kaj nemiksebla solvaĵoj videbliĝas per la konsidero de elektitaj likvo-en-likvaj solvaĵoj. Likvoj diversas laŭ

iliaj kondutoj, unu disde alia. Iuj likvoj, ekzemple metanolo (CH_3OH) kaj akvo, solviĝos je iu ajn kvanto unu en la alia.

miksebla

Du likvoj kiuj estas senfine solveblaj, unu en alia, estas komplete mikseblaj.

Aliaj likvoj estas nur parte mikseblaj. Ekzemple, etero ($CH_3CH_2OCH_2CH_3$) solviĝas nur iomete en akvo. Se etero aldoniĝas al akvo, malgranda kvanto eksolviĝas; sed kiam la limo de solveblo estas atingita, la troa etero estigas apartan tavolon sur la supro de la akvo -- supre ĉar ĝi estas malpli densa ol akvo.

nemiksebla

Likvoj kiuj estas nesolveblaj, unu en alia, estas nemikseblaj.

Benzino kaj akvo estas nemikseblaj.

Oni uzas la koncepton de la mikseblo plej ofte por priskribi la konduton de likvo en likvaj solvaĵoj, kvankam ĝi aplikiĝas al iu ajn situacio en kiu la solvezo kaj solvenzo estas en la sama komenca stato. Pri gasoj pensu. Ĉiuj gasoj, kiuj ne reakcias inter si formante novajn substancojn, estas komplete mikseblaj; tio estas, ili intermiksiĝas je iu ajn proporcio.

La signifo de la termino saturita povas esti plej facile videbligita per la konsidero de solido-en-akvaj solvaĵoj, kvankam la koncepto aplikiĝas al aliaj tipoj de solvaĵoj egale. Do, estas limo por la kvanto de solido kiu povas esti solvita en donita kvanto de likvo. Por ilustri la punkton, konsideru la aldonadon de sukero en ujon kun akvo. Komence, la sukero solviĝas dum oni kirlas la solvaĵon. Sed poste, kun la aldono de plia sukero, kirlado ne plu efikas por solvi la sukeron. La sukero restas kiel solido surfunde en la ujo. Ĉe la punkto kiam la solido ekrestas nesolvita senkonsidere al la intenso de kirlado, oni nomas la solvaĵon saturita.

saturita solvaĵo

Ĝenerale, kiam solvenzo jam solvas la kiel eble maksimuman kvanton da solvezo kiom eblas je specifa temperaturo, ni diras ke la solvilo estas saturita per la solvezo, aŭ ke ni havas saturitan solvaĵon.

Saturita solvaĵo estas ekvilibra situacio. En nia suker-akva ekzemplo, la solida sukero (ĉe la fundo de la ujo) daŭre solviĝas en la akvo, sed egala kvanto da sukero venas el la solvaĵo. Tial la neta nombro da sukeraj molekuloj en la likvo restas la sama, kaj eble aperas ke la solvo-procezo

haltis. La ekvilibra situacio de saturita solvaĵo estas, do, tre simila al la antaŭe studita vaporiĝo de likvo en fermita ujo (Sekcio 7.14). Bildo 8-1 kontrastigas la konduton de solvezo en nesaturita solvaĵo kaj saturita solvaĵo.



a) Nesaturita kaj solviĝanta (↑) b) Saturita kaj ekvilibra (↓↑)

Bildo 8-1. Nesaturita kaj saturita solvaĵoj

solveblo

Oni nomas la maksimuman kvanton de solvezo kiu povas solviĝi en donita kvanto da solvenzo je donita temperaturo la solveblo de tiu substanco.

Do, la solveblo estas la kvanto da solvezo (solvitaĵo), enhavita en saturita solvaĵo. Solveblo dependas de la identeco de la solvenzo, la kvanto de la solvenzo, kaj la temperaturo. Oni plejofte esprimas solveblojn laŭ la unuoj de gramoj da solvezo en 100 gramoj da solvenzo je 0°C. Tabelo 8-2 donas la solveblojn por diversaj solvezoj laŭ ĉi tiuj unuoj.

Tabelo 8-2. Ekzemploj de la solvebloj de solvezoj en akvo (0°C)

Nomo	Formulo	Solveblo (g solvezo/100 g akvo)
Solidoj		
Sakarozo (tabla sukero)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	179,2
Natria jodido	NaI	144,6
Arĝenta nitrato	$AgNO_3$	122,0
Kalia karbonato	K_2CO_3	101,0
Amonia sulfato	$(NH_4)_2SO_4$	70,6
Natria klorido (tabla salo; kuir-salo)	NaCl	35,7
Askorba acido (vitamino C)	$C_6H_8O_6$	33,0
Natria hidrogena karbonato	$NaHCO_3$	6,9
Kalcia sulfato	$CaSO_4$	0,23
Kalcia karbonato (kalkŝtono)	$CaCO_3$	0,0012
Likvoj		
Etila alkoholo (trinkebla alkoholo)	C_2H_5OH	*
Etilena glikolo (kontraŭfrostaĵo)	$C_2H_4(OH)_2$	*
Bromo	Br_2	4,22
Gasoj (je 1 atm premo)		
Sulfura dioksido	SO_2	22,8
Karbona dioksido	CO_2	0,33
Oksigeno	O_2	0,0070

*solvebla en ĉiuj proporcioj

La uzo de specifaj unuoj por solveblo, kiel gramoj en 100 gramoj de solvenzo permesas al ni kompari solveblojn tre precize. Sed tioma precizeco ofte estas nenecesa; anstataŭe ni ofte faras kvantecajn eldirojn pri solvebloj, uzante terminojn kiel solveblega, solvebleta, ktp. Tabelo 8-3 donas regulojn por la uzo de tiaj terminoj.

Tabelo 8-3. Proksimumaj terminoj por solveblo

Solveblo de solvezo (g solvezo/g solvenzo)	Termino pri solveblo
malpli ol 0,1	nesolvebla
0,1 - 1	solvebleta (iomete solvebla)
1 - 10	solvebla
pli ol 10	solveblega (tre solvebla)

dilua solvaĵo

Dilua solvaĵo estas tiu, en kiu ĉeestas malgranda kvanto da solvezo, rilate al la maksimuma kvanto kiu povas solviĝi.

Koncentra solvaĵo

Koncentra solvaĵo estas solvaĵo kiu enhavas grandan kvanton da solvezo, rilate al la maksimuma kvanto kiu povas solviĝi.

La vortoj dilua kaj koncentra estas do kvalitecaj manieroj por esprimi la koncentrecojn de solvaĵoj. Ni konsideros pli kvantecajn manierojn en Sekcio 8.5. Alia komunuza termino havas jenan difinon:

akva solvaĵo

Akva solvaĵo estas solvaĵo en kiu la solvenzo estas akvo.

8.3 REGULOJ PRI SOLVEBLO

La solvebloj de diversaj solvezoj en solvenzo, je iu donita temperaturo, varias multe. Tio videblas per la ciferoj en Tabelo 8-2, por kiu akvo estas la solvenzo. Eksperimentaj rezultoj indikas ke nur tiuj substancoj kiuj havas similajn intermolekulajn fortojn (Sekcio 7.16) estas tre solveblaj, unu en la alia. Tio kondukas al la ĝeneraligo "similoj solvas similojn." Ĝenerale, polusaj substancoj estas bonaj solvenzoj por aliaj polusaj substancoj. Simile, nepolusaj substancoj montras bonan solveblo en nepolusaj solviloj.

La ĝeneraligo "similoj solvas similojn" estas utila ilo por prognozi la solveblo-konduton en multaj, sed ne ĉiuj, solvezo-solvenzaj situacioj. Oni preskaŭ ĉiam ricevas rezultojn kiuj akordiĝas kun la diraĵo en la kazoj de gas-en-likvaj, likvo-en-likvaj, kaj solido-en-solidaj solvaĵoj en kiuj la solvezo ne estas jona. En la kazo de solido-en-likvaj solvaĵoj en kiuj la solvezo estas jona kombinaĵo -- tre ofta situacio -- la regulo ne estas adekvata.

Pro ilia polusa naturo, oni prognozus ke ĉiuj jonaj kombinaĵoj estas solveblaj en polusaj solvenzoj. Tio ne validas, kio estas evidenta por la solvenzo, akvo (Tabelo 8-2). La malsukceso de la ĝeneraligo rilatas al la komplekseco de la faktoroj uzitaj por determini la gradon de la solvezo-solvezaj (jono-jonaj) kaj solvenzo-solvenzaj (jon-polus-molekulaj) interagoj (Sekcio 8.4). Interalie, kaj la ŝargo sur la jonoj kaj ties grando en la solvezo devas esti konsiderataj. Ŝanĝoj en ĉi tiuj faktoroj

influas ambaŭ tipojn de interagoj, sed ne egalmezure.

Tabelo 8-4. Ĝeneralaj reguloj pri solveblo por jonaj kombinaĵoj

Jono enhavita en la kombinaĵo	solveblo	Esceptoj
Grupo IA (ekzemple: Li^+, Na^+, K^+)	solveblaj	
Amonioj (NH_4^+)	solveblaj	
Acetatoj ($C_2H_3O_2^-$)	solveblaj	
Nitratoj (NO_3^-)	solveblaj	
Kloridoj (Cl^-), bromidoj (Br^-), kaj jodidoj (I^-)	solveblaj	Ag^+, Pb^{2+}, Hg_2^{2+}
Sulfatoj (SO_4^{2-})	solveblaj	Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Pb^{2+}
Karbonatoj (CO_3^{2-})	nesolveblaj*	Grupo IA kaj NH_4^+
Fosfatoj (PO_4^{3-})	nesolveblaj*	Grupo IA kaj NH_4^+

*Multaj hidrogenaj karbonatoj (HCO_3^-) kaj hidrogenaj fosfatoj (HPO_4^{2-} kaj $H_2PO_4^-$) estas solveblaj.

Tabelo 8-4 donas iujn regulojn pri la solvebloj de jonaj kombinaĵoj en akvo, kiujn oni devus uzi anstataŭ "similoj solvas similojn." Rimarku, ke la reguloj baziĝas sur ambaŭ jonoj ĉeestantaj en la kombinaĵoj. La uzon de la Tabelo 8-4 kaj de la regulo "similo solvas similon" ilustras Ekzemplo 8-1.

Ekzemplo 8-1. Antaŭdiru la solveblon de la sekvantaj solvezoj en akvo:

a) amoniaka gaso (NH_3)-polusa
b) oksigena gaso (O_2)
c) $Ca(NO_3)_2$
ĉ) $Mg_3(PO_4)_2$

Solvo.

a) Solvebla. NH_3 estas polusa, kiel akvo, kaj similoj solvas similojn. La efektiva solveblo je 20°C estas 51,8 g/100 g H_2O.

b) Nesolvebla. O_2 estas nepolusa. La efektiva solveblo je 20°C estas 0,0043 g/100 g H_2O. Rimarku kiel tio kompariĝas kun la solveblo de la polusa gaso en (a).

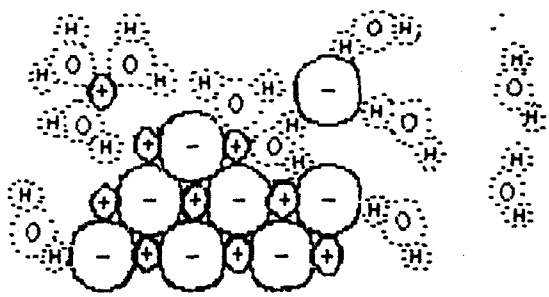
c) Solvebla. Ĉiuj nitratoj estas solveblaj en akvo (Tabelo 8-4).

ĉ) Nesolvebla. Fosfatoj estas nesolveblaj en akvo escepte tiujn en Grupo IA kaj amonian fosfaton (Tabelo 8-4).

8.4 PROCEZO DE SOLVIĜO

Kiam solvezo kaj solvenzo miksiĝas, du tipoj de altiroj inter eretoj devas esti venkitaj: (1) altiroj en la solvezo, aŭ solvezo-solvezaj altiroj, kaj (2) altiroj en la solvenzo, aŭ solvenzo-solvenzaj altiroj. Nova tipo de interago, kiu, ne ekzistas antaŭ la miksado de solvezo kaj solvenzo -- solvenzo-solvezaj interagoj -- aperas dum la solva procezo. Ĉi tiuj novaj solvenzo-solvezaj interagoj liberigas energion kaj estas la ĉefa pelforto por la formiĝo de solvaĵoj. La grado, ĝis kiu substanco solviĝas, dependas de la grado ĝis kiu la nove formitaj solvenzo-solvezaj interagoj povas kompensi por la energio bezonata venki la interagojn solvezo-solvezajn kaj solvenzo-solvenzajn. Solvezo ne solviĝos en solvenzo se: (1) la altiraj fortoj inter la solvezaj eretoj estas tro fortaj por esti venkitaj fare de iliaj interagoj kun solvenzaj eretoj, aŭ (2) la solvenzaj eretoj estas pli forte altirataj unu al alia ol al la solvezaj eretoj.

Estas konata fakto ke la solvezaj eretoj estas unuforme dispersitaj ĉie en la solvanto. Oni povas kompreni kiel tio okazas per konsiderado de la solvaĵo-formanta procezo ĉe molekula nivelo. Nia modelo estos la solvado de NaCl (jona solido) en akvo (polusa likvo). Ni vidis pli frue (Sekcio 7.19) ke solidaj jonaj kombinaĵoj estas kolektoj de jonoj kuntenitaj per altiroj inter malaj ŝargoj. Bildo 8-2 montras tion, kio laŭ supozo okazos kiam tia solvezo solviĝas.



Bildo 8-2. La solva procezo por jona solido.

Oni supozas ke la procezo okazas po-paŝe (t.e. -- paŝon post paŝo). Kiam oni metas la salajn kristalojn en la akvon, la polusaj akvo-molekuloj iĝas orientitaj tiel ke la negativa, oksigena parto celas la pozitivajn, natriajn jonojn, kaj la pozitiva, hidrogena parto celas la negativajn, kloridajn jonojn. Dum la polusaj akvo-molekuloj ekĉirkaŭas jonojn ĉe la kristala surfaco, ili efikas per sufiĉa altiro por ke tiuj jonoj derompiĝu de sur la kristala surfaco. Forlasinte la kristalon, la jonoj hidratiĝas.

hidratigita jono

Hidratigita jono estas jono ĉirkaŭita de akvo-molekuloj.

Dum ĉiu hidratigita jono forlasas la surfacon, aliaj jonoj estas elmetitaj al la akvo, kaj la kristalo estas jon-post-jone dismetita. Enirante la solvaĵon, la hidratigitaj jonoj iĝas unuforme distribuitaj pro hazardaj kolizioj kun aliaj molekuloj aŭ jonoj, aŭ pro kirlado.

La hazarda moviĝo de solvezaj jonoj en solvaĵo igas ilin foje kolizii kun la surfaco de la nesolvita solvezo. Tiuj jonoj foje fiksiĝas al la solida surfaco, kaj tiel forlasas la solvaĵon. Kiam la nombro de la jonoj en solvaĵo estas eta, la ŝancoj por kolizio kun la nesolvita solvezo estas malmultaj. Tamen, kiam la nombro da jonoj en solvaĵo pligrandiĝas, tiel ankaŭ la ŝancoj por tiaj kolizioj, kaj pliaj jonoj estas rekaptitaj de la nesolvita solvezo. Fine, la nombro da jonoj en solvaĵo atingas nivelon tiel ke jonoj revenas al la nesolvita solvezo je la sama kvantorapido kiel aliaj eliras. La solvaĵo estas tiupunkte saturita kaj la ekvilibra procezo, instruita en Sekcio 8.2, estas atingita.

Solvezoj kiuj estas polusaj sed ne jonaj, ekzemple sukero, solviĝas en akvo plejparte same kiel jonaj solvezoj. La sola diferenco estas la altiro de akvaj molekuloj al ambaŭ polusoj de la solvitaĵoj.

En la kazo de gasa solvezo, oni povas facilege okazigi la solvan procezon, ĉar estas esence neniuj solvezo-solvezaj interagoj venkotaj -- ĉar gasaj molekuloj agas sendepende unu de aliaj. En tiu kazo, hidratiĝo de la gasaj molekuloj okazas rapide.

8.5 KONCENTRECOJ DE SOLVAĴOJ

Per la uzo de solveblo-valoroj kiel tiuj en Tabelo 8-2, ni povas determini la kvanton da solvezo enhavita en specifita kvanto da saturita solvaĵo. Tamen, la plejparto de la solvaĵoj kiuj interesas nin ne estas saturitaj. Tial ni bezonas metodon esprimi la kvanton de solvezo en nesaturitaj solvaĵoj, krom la kvalitecaj terminoj dilua kaj koncentra (Sekcio 8.2). Niaj metodoj devos esti kvantecaj.

En ĉi tiu sekcio, ni diskutos kelkajn kvantecajn esprimojn kiuj ekzistas por prezenti solvaĵajn koncentrecojn. En ĉiu esprimo, al preciza kvanto da solvezo rilatas preciza kvanto da solvenzo aŭ solvaĵo. Tabelo 8-5 enhavas informojn pri iuj utilaj esprimoj de tiu tipo.

Tabelo 8-5. Kvantecaj esprimoj por la Koncentreco de solvaĵoj

Unuo de Koncentreco	Simbolo	Rilato	Atributoj bezonataj por kalkuli
procento			
maso/volumeno	%(m/v)	$\frac{\text{gramoj da solvezo}}{\text{ml da solvaĵo}} \times 100$	maso de solvezo en gramoj kaj solvaĵa volumeno en mililitroj
volumeno/volumeno	%(v/v)	$\frac{\text{solveza volumeno}}{\text{solvaĵa volumeno}} \times 100$	solveza volumeno kaj solvaĵa volumeno en samaj unuoj
maso/maso	%(m/m)	$\frac{\text{solveza maso}}{\text{solvaĵa maso}} \times 100$	maso de solvezo kaj maso de solvaĵo en samaj unuoj
Molareco	M	$\frac{\text{moloj da solvezo}}{\text{litroj da solvaĵo}}$	solvezo en moloj kaj solvaĵa volumeno en litroj
Molaleco	m	$\frac{\text{moloj da solvezo}}{\text{kilogramoj da solvenzo}}$	solvezo en moloj kaj solvila maso en kilogramoj
Normaleco	N	$\frac{\text{ekvivalentoj da solvezo}}{\text{litroj da solvaĵo}}$	solvezo en ekvivalentoj kaj solvaĵa volumeno en litroj

Procenta Koncentreco

procenta koncentreco

Procenta Koncentreco esprimas solvaĵan Koncentrecon laŭ partoj de solvezo en 100 partoj de solvaĵo.

Tial ke oni povas esprimi la kvantojn de la ĉestantaj solvezo kaj solvaĵo laŭvole per maso aŭ volumeno, ekzistas diversspecaj procentaj unuoj. La plej komunuzaj estas tri:

1. Maso/volumena procento -- gramoj da solvezo en 100 ml da solvaĵo
2. Volumeno/volumena procento -- mililitroj da solvezo en 100 ml da solvaĵo
3. Maso/masa procento -- gramoj da solvezo en 100 g da solvaĵo

Maso/volumenaj (m/v) procentoj estas la tipoj plej ofte renkonteblaj.

Hospitaloj kaj industrioj uzas ilin multe. Tiaj unuoj estas tre oportunaj kiam oni laboras kun solida solvezo kaj likva solvenzo. Ekzemplo estas 5% (m/v) glukoza solvaĵo, kiu enhavas 5 gramojn da glukozo en tiom da solvenzo kiom donas 100 mililitroj da solvaĵo (solvenzo + solvezo).

Volumeno/volumenaj (v/v) procentoj estas ofte uzataj kiam kaj la solvezo kaj la solvenzo estas likvoj, aŭ kiam oni traktas gasajn miksaĵojn. 5% (v/v) alkohola solvaĵo enhavas 5 mililitrojn da alkoholo solvita en tiom da solvenzo kiom donas 100 mililitrojn da solvaĵo. Rimarku ke oni ne povas fari tian 5% (v/v) solvaĵon per la simpla aldono de 5 mililitroj da alkoholo al 95 mililitroj da solvenzo, ĉar ne ĉiam validas la adicieblo de volumenoj da likvoj. Diferencoj inter manieroj, laŭ kiuj pakiĝas molekuloj, ekzemple distancoj inter eretoj, preskaŭ ĉiam diferencigas la volumenon da solvaĵo disde la sumo de volumenoj da likva solvezo kaj likva solvenzo. Ekzemple, la fina volumeno post la aldono de 50,0 ml da etanolo (etila alkoholo) al 50,0 ml da akvo estas 96,5 ml.

Maso/masaj (m/m) procentoj estas la malplej uzataj el la tri tipoj, kvankam ili estas la plej precizaj ĉar ili ne varias pro temperaturo. Ambaŭ el la supraj tipoj de procentoj postulas la mezuradon de volumenoj kiuj dilatiĝas aŭ kuntiriĝas pro temperaturaj ŝanĝoj. Por precizega scienca laboro (sed ne ĉiutagaj mezuradoj), tia volumena ŝanĝiĝo povus esti signifoplena. Oni povas fari 5% (m/m) solvaĵon per la aldono de 5 gramoj da sukero al 95 gramoj da akvo. Rimarku ke masoj, kontraste al volumenoj, povas esti adiciitaj.

Ekzemplo 8-2. Esprimu la koncentrecon de ĉiu el la sekvantaj solvaĵoj laŭ la indikitaj procentaj unuoj.
a) 8,2 gramoj da NH_4Cl estas solvitaj en tiom da akvo kiom donas 100,0 mililitrojn da solvaĵo. La maso de la solvaĵo estas 102,3 gramoj. Kio estas la koncentreco de la solvaĵo laŭ % (m/m) kaj % (m/v)?
b) 40 mililitroj da metanolo kaj 80 mililitroj da akvo estas miksitaj, kio donas solvaĵon kies fina volumeno estas 115 mililitroj. Kio estas la koncentreco de la solvaĵo laŭ % (v/v)?

Solvo. a) Por % (m/m), la benzonataj kvantoj estas la masoj de solvezo kaj solvenzo, kiuj estas 8,2 g kaj 102,3 g respektive.

$$\%(m/m) = \frac{\text{solveza maso}}{\text{solvaĵa maso}} \times 100 = \frac{8,2\ g}{102,3\ g} \times 100 = 8,0\%\ (m/m)$$

Por % (m/v), la kvantoj bezonataj estas la solveza maso en g kaj la solvaĵa volumeno en ml. Ili estas, respektive, 8,2 g kaj 100 ml.

$$\%(m/v) = \frac{\text{solveza maso}}{\text{solvaĵa volumeno}} \times 100 = \frac{8,2\ g}{100,0\ ml} \times 100 = 8,2\%\ (m/v)$$

b) Por % (v/v), bezonataj estas la volumenoj de solvezo kaj solvaĵo. Estas 40 ml da metila alkoholo, la solvezo, kaj 115 ml da solvaĵo.

$$\%(v/v) = \frac{\text{solveza volumeno}}{\text{solvaĵa volumeno}} \times 100 = \frac{40\ ml}{115\ ml} \times 100 = 34,8\%\ (v/v)$$

Ekzemplo 8-3. 0,90% solvaĵo de natria klorido devas esti intravejne dozita en la kuracado de diversaj malsanoj de la homa korpo. Kiom da gramoj de NaCl estas bezonataj por prepari 200 ml da tia solvaĵo?

Solvo. Ni uzos dimensian analizon (Sekcio 1.8) por solvi la problemon. Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas 200 ml da solvaĵo. La unuoj de la dezirata kvanto estas g da NaCl.

$$200\ ml\ solvaĵo = ?\ g\ NaCl$$

Paŝo 3. La donita koncentreco de 0,90% (v/m) -- kiu signifas 0,90 gramon NaCl/100 ml solvaĵo -- povas servi kiel transkalkula faktoro por iri de ml solvaĵo al g NaCl.

$$200\ \cancel{ml\ solvaĵo} \times \frac{0,90\ g\ NaCl}{100\ \cancel{ml\ solvaĵo}} = g\ NaCl$$

Paŝo 4.

$$\frac{(200)(0,90)}{100}\ g\ NaCl = 1,8\ g\ NaCl$$

Molareco

Pro tio, ke kemiaj reakcioj okazas inter molekuloj kaj atomoj, estas ofte oportune esprimi la koncentrecon de iu donita kombinaĵa aŭ elementa solvezo laŭ la nombro da eretoj (moloj) ĉeestantaj. Memoru ke la molo (Sekcio 4.4) estas la unuo uzita por kalkuli grandajn kvantojn da atomoj aŭ molekuloj.

molareco

Kiam ni esprimas la kvanton da solvezo laŭ moloj kaj la kvanton da solvaĵo laŭ litroj, ni nomas la unuon de koncentreco molareco.

La uzo de solvaĵaj molarecoj permesas al ni mezuri ekzaktan nombron da moloj da solvezo per mezurado de la volumeno de solvaĵo. Pro tio, molareco estas la unuo de koncentreco plej ofte uzata en kemiaj laboratorioj.

Ekzemplo 8-4. Esprimu la koncentrecojn de la sekvantaj solvaĵoj laŭ molarecoj:

a) 1,50 moloj da NaCl solviĝas en tiom da akvo kiom donas 1,00 litron da solvaĵo.

b) 2,92 gramoj da NaCl solviĝas en tiom da akvo kiom donas 100,0 ml da solvaĵo.

Solvo. Laŭ Tabelo 8-5 la atributoj bezonataj por kalkuli molarecon estas moloj da solvezo kaj litroj da solvaĵa volumeno.

a) La nombroj da moloj da solvitaĵo kaj litroj da solvaĵoj estas donitaj.

$$\underline{M} = \frac{\text{moloj, solvezo}}{\text{litroj, solvaĵo}} = \frac{1{,}50 \text{ moloj}}{1{,}00 \text{ litroj}} = 1{,}50 \frac{\text{moloj}}{\text{litro}} = 1{,}50 \ \underline{M}^*$$

*La unuo moloj/litro esprimiĝas simple kiel M, la molareco.

b) La moloj da solvezo devas esti kalkulitaj el la donita maso de la solvezo kaj ties molekula maso (tia kalkulo aperis en Sekcio 4.5). Ankaŭ la unuoj de la solvaĵa volumeno devas esti ŝanĝitaj de ml al litroj.

$$2{,}92 \text{ g NaCl} \times \frac{1{,}00 \text{ moloj, NaCl}}{58{,}5 \text{ g NaCl}} = 0{,}050 \text{ moloj NaCl}$$

$$100{,}0 \text{ ml} \times \frac{1{,}00 \text{ litroj}}{1000 \text{ ml}} = 0{,}100 \text{ litroj}$$

$$\underline{M} = \frac{\text{moloj solvezo}}{\text{litroj, solvaĵo}} = \frac{0{,}050 \text{ moloj}}{0{,}100 \text{ litroj}} = 0{,}50 \frac{\text{moloj}}{\text{litro}} = 0{,}50 \ \underline{M}$$

Ekzemplo 8-5. Kiom da gramoj da sakarozo (tabla sukero, $C_{12}H_{22}O_{11}$) oni bezonas por prepari 200 ml da suker-akva solvaĵo kies koncentreco estas 0,50 M?

Solvo. Denove ni uzos dimensian analizon.

Paŝoj 1 kaj 2. La donita kvanto estas 200 ml da solvaĵo, kaj la dezirata kvanto estas g da sakarozo.

Paŝo 3. Du transkalkulaj faktoroj estas bezonataj, ĉar la vojo enhavas du paŝojn:

$$\text{ml solvaĵo} \longrightarrow \text{moloj sakarozo} \longrightarrow \text{g sakarozo}$$

La koncentreco (0,50 M) uzita kiel transkalkula faktoro realigos la unuan paŝon, kaj la molekula maso de sakarozo (kiu devas esti kalkulita ĉar ĝi ne estas donita) estas uzita en la dua paŝo.

$$200\ \cancel{\text{ml solvaĵo}} \times \frac{0{,}50\ \cancel{\text{molo sakarozo}}}{1000\ \cancel{\text{ml solvaĵo}}} \times \frac{342\ \text{g sakarozo}}{1\ \cancel{\text{molo sakarozo}}} = \text{g sakarozo}$$

Paŝo 4.

$$\frac{(200)(0{,}50)(342)}{1000}\ \text{g sakarozo} = 34{,}2\ \text{gramoj sakarozo}$$

Molaleco

Estas ofte oportune al kemiistoj kaj biologoj kompari specialajn ecojn de solvaĵoj, nomatajn koligativaj ecoj (Sekcio 8.7), sur la bazo de kvantoj da solvenzo. Molaleco estas unuo de koncentreco bazita sur specifa kvanto da solvenzo, kaj estas uzata kiam oni laboras en ĉi tiu kampo.

molaleco
Molaleco rilatigas la molojn da solvezo enestanta en solvaĵo al la maso, en kilogramoj, de solvenzo enestanta.

Oni devas zorge rimarki ke molaleco estas bazita sur la kvanto de solvilo anstataŭ de solvaĵo. Ĉiuj el la antaŭe diskutitaj unuoj de koncentreco estas bazitaj sur la kvanto da solvaĵo. En diluaj akvaj solvaĵoj, molareco kaj molaleco estas preskaŭ la samaj. Tamen tio ne veras kiam aliaj solviloj estas uzitaj, kies densoj ne estas 1,0 gramo/mililitro, kiel estas la denso de akvo.

Ekzemplo 8-6. Esprimi la koncentrecojn de la sekvantaj solvaĵoj laŭ molalecoj.
a) 5,00 g da $MgSO_4$ (molekula maso = 120,4) solviĝas en 250 g da akvo.
b) 10,00 g da $MgSO_4$ solviĝas en 2,00 litroj da solvenzo kies denso estas 1,50 g/ml.

Solvo. Laŭ Tabelo 8-5, la atributoj bezonataj por kalkuli molalecon estas la nombro da moloj da solvezo kaj la maso de la solvenzo en kilogramoj.
a) La moloj da solvezo devas esti kalkulitaj el g da solvezo, kaj la maso de la solvenzo devas esti ŝanĝita de g al kg.

$$5\ \cancel{\text{g MgSO}_4} \times \frac{1\ \text{molo MgSO}_4}{120{,}4\ \cancel{\text{g MgSO}_4}} = 0{,}042\ \text{moloj MgSO}_4$$

$$250\ \cancel{\text{g}}\ \text{akvo} \times \frac{1\ \text{kg}}{\cancel{1000\ \text{g}}} = 0{,}25\ \text{kg}$$

$$m = \frac{\text{moloj solvezo}}{\text{-kg solvenzo}} = \frac{0{,}042 \text{ moloj}}{0{,}25 \text{ kg}} = 0{,}17 \frac{\text{moloj}}{\text{kg}} = 0{,}17 \ \underline{m}^*$$

*La unuo moloj/kilogramo estas esprimeble simple kiel m.

b) Kaj la moloj da solvezo kaj la kilogramoj da solvenzo devas esti kalkulitaj.

$$10 \ \cancel{\text{g } MgSO_4} \times \frac{1 \text{ molo } MgSO_4}{120{,}4 \ \cancel{\text{g } MgSO_4}} = 0{,}083 \text{ moloj } MgSO_4$$

$$2{,}00 \ \cancel{\text{litroj}} \times \frac{1000 \ \cancel{\text{ml}}}{1 \ \cancel{\text{litro}}} \times \frac{1{,}50 \ \cancel{\text{g}}}{1 \ \cancel{\text{ml}}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \ \cancel{\text{g}}} = 3 \text{ kg da solvenzo}$$

$$\underline{m} = \frac{\text{moloj solvezo}}{\text{kg solvenzo}} = \frac{0{,}083 \text{ moloj}}{3 \text{ kg}} = 0{,}028 \frac{\text{moloj}}{\text{kg}} = 0{,}028 \ \underline{m}$$

Normaleco

La unuo de koncentreco, nomaleco, estas plej ofte uzata en situacioj kie acidoj reakcias kun bazoj (Sekcio 10.11). Tamen ĝi estos enkondukita ĉi tie por ke ĝia rilato al aliaj unuoj de koncentreco videbliĝu. La senco de normaleco estas proksime rilatita al molareco; ambaŭ koncernas la kvanton da solvezo en solvaĵo kies volumeno esprimiĝas en litroj. La malsameco kuŝas en la esprimmaniero por la kvanto da solvezo. Molareco traktas la molojn de solvezo, normaleco la nombron da ekvivalentoj.

normaleco

La normaleco de solvaĵo estas rilatumo esprimanta la nombron da ekvivalentoj da solvezo enestantaj en unu litro da solvaĵo.

Nun ni bezonas klarigi nian novan terminon, ekvivalento. Ekvivalento, same kiel molo, respondas al specifa atributo. Ĝi povas esti difinita diversmaniere. Ni difinos ĝin ĉi-loke por jonaj solvezoj kaj en Sekcio 10.11 por acidoj kaj bazoj. Jonaj solvezoj disocias (disrompiĝas) en la konsistigajn jonojn (Sekcio 8.4) kiam solvitaĵoj solviĝas en akvo. Reakcioj 8-1 kaj 8-2 montras la procezon por NaCl kaj Na_2SO_4. Ni sekvas ĉi tie la kutimon ellasi la solvenzon (akvon) el la disocia ekvacio.

$$NaCl \longrightarrow Na^+ + Cl^- \qquad 8\text{-}1$$

$$Na_2SO_4 \longrightarrow 2Na^+ + SO_4^{2-} \qquad 8\text{-}2$$

Apliko de la molo-koncepto al reakcio 8-1 kondukas al la jena diraĵo:

1 molo da NaCl = 1 molo da Na^+ jonoj kaj 1 molo da Cl^- jonoj

Tial ke ĉiu Na^+ jono portas unu pozitivan ŝargon, kaj ĉiu Cl^- jono unu negativan ŝargon, ni ankaŭ povas skribi:

1 molo NaCl = 1 molo da pozitivaj ŝargoj + 1 molo da negativaj ŝargoj

ekvivalento

Unu ekvivalento da jona kombinaĵo estas difinita kiel la maso da kombinaĵo kiu donos unu molon da pozitivaj ŝargoj post kompleta disocio.

Unu molo da NaCl, kies maso estas 58,5 gramoj, produktas unu molon da pozitivaj ŝargoj. Tial, unu molo da NaCl estas ankaŭ unu ekvivalento, kaj ni rajtas skribi:

1 ekvivalento da NaCl = 58,5 gramoj da NaCl

Por la nuna kazo (NaCl), unu molo kaj unu ekvivalento havas la saman mason (58,5 g). Tamen tia egaleco ne ĉiam veras, kiel ni vidos kiam Na_2SO_4 estos la solvezo.

Uzante rezonadon similan al tiu por reakcio 8-1, ni povas alveni ĉe la sekvantaj diraĵoj pri reakcio 8-2:

1 molo da Na_2SO_4 = 2 moloj da Na^+ jonoj + 1 molo da SO_4^{2-} jonoj
1 molo da Na_2SO_4 = 2 moloj da pozitivaj ŝargoj + 2 moloj da negativaj ŝargoj

La 2 moloj da negativaj ŝargoj en la dua diraĵo venas el 1 molo da SO_4^{2-} jonoj, kie ĉiu jono portas 2 negativajn ŝargojn. Tial 1 molo da Na_2SO_4 produktas 2 molojn da pozitivaj ŝargoj kaj tial laŭdifine reprezentas 2 ekvivalentojn. Unu ekvivalento da Na_2SO_4 egalus, sekve, al duonmolo aŭ 71,1 gramoj da Na_2SO_4.

ekvivalenta maso

La maso reprezentanta unu ekvivalenton nomiĝas la ekvivalenta maso.

En la supra diskuto ni donis atenton al pozitivaj ŝargoj. Tio estis arbitra decido. Tute la samaj rezultoj estas akiritaj kiam oni uzas negativajn ŝargojn.

Ekzemplo 8-7. Determinu la ekvivalentan mason de la sekvantaj jonaj kombinaĵoj:
a) $(NH_4)_2SO_4$ (mol. maso = 132,1 amu)
b) $Al(NO_3)_3$ (mol. maso = 213,0 amu)

Solvo. a) La disocia reakcio estas

$$(NH_4)_2SO_4 = 2NH_4^+ + SO_4^{2-}$$

Tiamaniere, 1 molo da $(NH_4)_2SO_4$, post disociado, donas 2 molojn da pozitivaj ŝargoj. Tial, 1 molo do $(NH_4)_2SO_4$ egalas 2 ekvivalentojn da $(NH_4)_2SO_4$ ĉar ekvivalento estas molo da pozitivaj ŝargoj. Uzante dimensian analizon, ni kalkulas la ekvivalentan mason jene:

$$\frac{132{,}1\ \text{g}\ (NH_4)_2SO_4}{1\ \cancel{\text{molo}}\ (NH_4)_2SO_4} \times \frac{1\ \cancel{\text{molo}}\ (NH_4)_2SO_4}{2\ \text{ekvivalentoj}\ (NH_4)_2SO_4} = \frac{66{,}1\ \text{g}\ (NH_4)_2SO_4}{\text{ekvivalento}}$$

Tial la ekvivalenta maso estas 66,1 amu.

b) La disocia reakcio estas

$$Al(NO_3)_3 \longrightarrow Al^{3+} + 3NO_3$$

Ĉar unu molo da $Al(NO_3)_3$ donas 3 molojn da pozitivaj ŝargoj, estos 3 ekvivalentoj en molo da $Al(NO_3)_3$.

$$\frac{213{,}0\ \text{g}\ Al(NO_3)_3}{1\ \cancel{\text{molo}}\ Al(NO_3)_3} \times \frac{1\ \cancel{\text{molo}}\ Al(NO_3)_3}{3\ \text{ekvivalentoj}\ Al(NO_3)_3} = \frac{71{,}0\ \text{g}\ Al(NO_3)_3}{\text{ekvivalento}}$$

Tial la ekvivalenta maso estas 71,0 amu.

Ekzemplo 8-8. Kalkulu la normalecon de la solvaĵo kiu rezultas kiam 4,00 gramoj da $CaCl_2$ (molekulmaso = 111,0 amu) solviĝas en tiom da akvo kiom donas 500,0 mililitroj da solvaĵo.

Solvo. Ni bezonas la nombron da ekvivalentoj da solvitaĵo kaj la solvaĵan volumenon en litroj (Tabelo 8-5). La disocia reakcio por $CaCl_2$ estas:

$$CaCl_2 \longrightarrow Ca^{2+} + 2Cl^-$$

Tial 2 moloj da pozitivaj ŝargoj rezultas el la disocio de 1 molo da $CaCl_2$. Do, por $CaCl_2$ montriĝas, ke 1 molo = 2 ekvivalentoj. Uzante dimensian analizon, ni trovas ke la nombro da ekvivalentoj estas:

$$4{,}00\ \text{g}\ \cancel{CaCl_2} \times \left(\frac{1\ \cancel{\text{molo}\ CaCl_2}}{111{,}0\ \cancel{\text{g}\ CaCl_2}}\right) \times \left(\frac{2\ \text{ekvivalentoj}\ CaCl_2}{1\ \cancel{\text{molo}\ CaCl_2}}\right) = 0{,}072\ \text{ekvivalentoj}$$

Plue, la unuoj por la volumeno de solvaĵo devas esti transkalkulitaj el mililitroj en litrojn.

$$500{,}0\ \cancel{\text{ml}} \times \frac{1\ \text{litro}}{1000\ \cancel{\text{ml}}} = 0{,}50\ \text{litroj}$$

$$\text{Normaleco} = \frac{\text{ekvivalentoj solvezo}}{\text{litroj solvaĵo}} = \frac{0{,}072 \text{ ekvivalentoj } CaCl_2}{0{,}50 \text{ litroj solvaĵo}} =$$

$$0{,}144 \frac{\text{ekvivalentoj}}{\text{litro}}$$

8.6 DILUO

Ofte renkontata problemo kiam oni preparas solvaĵojn estas dilui solvaĵon kun sciata koncentreco (nomata kutime stoka solvaĵo) ĝis pli malalta koncentreco. Ĉar stokaj solvaĵoj estas likvoj, diluo estas ordinare volumen-mezura procedo. Oni miksas aldonan volumenon da solvanto kun volumeno da stoka solvaĵo. La kvanto da solvo en la nova solvaĵo restas la kvanto origine en la provaĵo de stoka solvaĵo uzita. Tamen la nova solvaĵo havas pli malaltan <u>koncentrecon</u> de solvo pro pli granda solvaĵa volumeno.

Simpla matematika rilato regas la volumenojn kaj koncentrecojn en ĉi tiu tipo de dilua proceduro. Ĝi estas:

(komenca koncentreco)(komenca volumeno) = (fina koncentreco)(fina volumeno)

aŭ
$$K_k \times V_k = K_f \times V_f \qquad 8\text{-}3$$

En ekvacio 8-3, K_k kaj V_k estas la koncentreco kaj volumeno de la solvaĵo diluota (la stoka solvaĵo), kaj K_f kaj V_f estas la koncentreco kaj volumeno de la ricevita solvaĵo. Kiam oni uzas ĉi tiun ekvacion, oni devas zorgi ke la unuoj ambaŭflanke de la ekvacio estu la samaj. Ekzemple, se ni uzas molarecon en unu flanko, la koncentreco de la alia flanko devas ankaŭ esti esprimita laŭ molareco. Se ni uzas mililitrojn por volumeno en unu flanko, ni devas uzi mililitrojn ankaŭ en la alia flanko. Ajna volumena unuo estas permesata se ĝi estas uzata en ambaŭ flankoj de la ekvacio. Ekzemple, la ekvacio funkcias tiel egale bone por % (m/m) kiel por molareco. Rimarku ke la ekvacio 8-3 validas nur tiam, kiam la kvanto da solvezo ne ŝanĝiĝas. Nur la volumeno ŝanĝiĝas.

<u>Ekzemplo 8-9</u>. Faru la kalkulojn indikitajn en ĉiu el la sekvantaj situacioj kiuj koncernas la diluon de stoka solvaĵo 0,4<u>M</u> NaCl.
a) Kiom da mililitroj da stoka solvaĵo estas bezonataj por prepari 50 ml da 0,1<u>M</u> NaCl?
b) Kio estas la fina koncentreco de solvaĵo farita per la diluado de 10 ml da stoka solvaĵo ĝis fina volumeno de 80 ml?

c) Kiom da solvenzo devas esti aldonita al 100 ml da stoka solvaĵo por malpliigi la koncentrecon ĝis 0,05M?

Solvo. a) Tri el la kvar variabloj de ekvacio 8-3 estas sciataj: V_f = 50 ml, K_f = 0,1 M kaj K_K = 0,4M. La kvara variablo, V_K, estas la nesciata volumeno da stoka solvaĵo bezonata. Substituo de la sciataj valoroj en la ekvacion $K_K V_K = K_f V_f$ donas:

$$(0,4M) \times (V_K) = (0,1M) \times (50\ ml)$$

Solvado por V_K donas:

$$V_K = \frac{(0,1M) \times (50\ ml)}{(0,4M)} = 12,5\ ml$$

b) Denove tri el la kvar variabloj de ekvacio 8-3 estas sciataj: K_K = 0,4M, V_K = 10 ml, V_f = 80 ml. Substituo de ĉi tiuj valoroj en ekvacion 8-3 ebligas solvi por la kvara variablo, K_f:

$$(0,4M) \times (10\ ml) = (K_f) \times (80\ ml)$$

Solvado por K_f donas:

$$K_f \times \frac{(0,4M) \times (10\ \cancel{ml})}{(80\ \cancel{ml})} = 0,05M$$

c) La volumeno de la solvenzo aldonita egalas al la diferenco inter la fina kaj la komenca volumenoj. Oni scias la komencan volumenon. Kvankam ne donita, la fina volumeno povas esti kalkulita per procedoj similaj al partoj (a) kaj (b). Kiam V_f estas sciata, oni povas akiri la diferencon inter la du volumenoj. Enigante la valorojn en la ekvacion $K_K V_K = K_f V_f$ havigas al ni:

$$(0,4M) \times (100\ ml) = (0,05M) \times (V_f)$$

kaj

$$V_f = \frac{(0,4M) \times (100\ ml)}{(0,05M)} = 800\ ml$$

La volumeno de la aldonenda solvenzo estas:

$$V_f - V_K = (800\ ml) - (100\ ml) = 700\ ml$$

8.7 KOLIGATIVAJ ECOJ DE SOLVAĴOJ

La fizikaj ecoj kiujn solvenzo posedas kiam ĝi estas pura ŝanĝiĝas kiam solvezo estas aldonita. En iuj kazoj, la ŝanĝiĝoj dependas nure de la nombro da solvezaj eretoj solvitaj en donita kvanto da solvenzo,

anstataŭ de la naturo aŭ identeco de la solvezo.

Koligativaj ecoj

La ecoj de solvaĵo kiuj dependas de la nombro da eretoj estas koligativaj ecoj, kaj ampleksas vaporpremon, bolpunkton, solidiĝopunkton, kaj osmozan premon.

Solvaĵoj kiuj montras koligativajn ecojn estas likvoj kiuj enhavas nevolatilan solvezon.

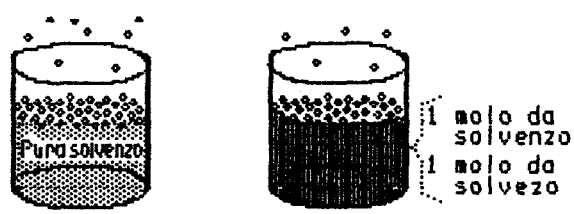
nevolatila solvezo

Nevolatilaj solvezoj havas malaltajn vaporpremojn, kaj sekve havas etan emon vaporiĝi.

Solvaĵoj enhavantaj ĉi tiun tipon de solvezo estas tre oftaj. Ĉiuj jonaj solidoj (NaCl, Na_2SO_4, ktp.) kaj multaj solidoj kun alta molekulmaso (ekzemple, sakarozo) estas nevolatilaj.

Vaporpremo

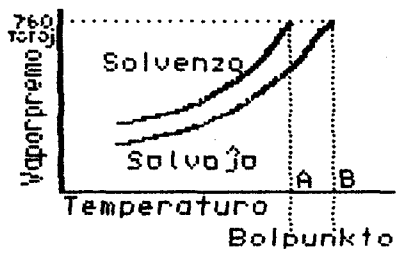
La vaporpremo de solvaĵo enhavanta nevolatilan solvezon ĉiam estas malpli ol tiu de pura solvenzo. Por klarigi tion, ni konsideru kiel solvezaj molekuloj influas la emon de solvenzaj molekuloj forflugi el la surfaco de solvaĵo. (La rapido, je kiu solvenzaj molekuloj eskapas, decidas vaporpremon.) En pura solvenzo, ĉiuj surfacaj molekuloj estas "kandidatoj" por eskapo. En solvaĵo, la nevolatilaj solvezaj molekuloj okupas iujn poziciojn sur la surfaco de la likvo; ili malpliigas la ŝancon por solvenzaj molekuloj eskapi, tiel reduktante la vaporpremon. Bildo 8-3 ilustras tion, ke malpliiĝas la surfaca koncentreco de solvenzaj molekuloj kiam solvanto estas aldonita. Pro tio, ke ju pli la nombro da solvezaj eretoj des pli la redukto de vaporpremo, vaporpremo estas koligativa eco.



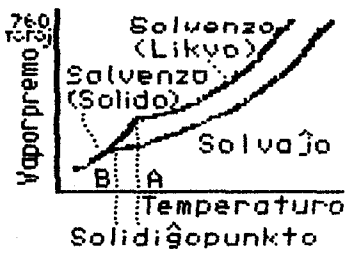
Bildo 8-3. Molekuloj de solvezo mallevas la surfacan koncentrecon de solvenzaj molekuloj.

Bolpunkto

La aldono de nevolatila solvezo al solvenzo levas la bolpunkton de la rezultanta solvaĵo super tiu de la pura solvenzo. Tio estas logika kiam ni rememoras ke la vaporpremo de la solvaĵo estas malpli alta ol tiu de la pura solvenzo, kaj ke la bolpunkto dependas de la vapora premo (Sekcio 7.15). Pli alta temperaturo estas bezonata por levi la reduktitan vaporpremon de la solvaĵo ĝis atmosfera premo -- la kondiĉo necesa por bolado. La grafikaĵo en Bildo 8-4 montras kial la redukto de vaporpremo kaŭzas leviĝon de la bolpunkto.



Bildo 8-4. Efiko de solvezo sur bolpunkton



A = solvenzo
B = solvaĵo

Bildo 8-5. Efiko de solvitaĵo sur solidiĝopunkton

Oni ofte utiligas bolpunktan leviĝon. Oni aldonas la fridigenzon etilenan glikolon, nevolatila solvezo, al la radiatoroj de aŭtomobiloj por malhelpi boladon dum varma vetero. La motoro eble ne funkcias pli malvarme, sed la miksaĵo fridiganto-akvo ne bolas ĝis kiam atingiĝas temperaturo sufiĉe super la normala bolpunkto de akvo. La leviĝo de la bolpunkto estas ankaŭ ŝlosila faktoro por multaj tipoj de fabrikado de sukeraĵoj (bombonoj, kandoj, ktp.). Oni faras la plejparton de ili per la solvado de sukero kaj aliaj ingrediencoj en akvo, kaj kuirado de la miksaĵo ĉe la bolpunkto de la akirita solvaĵo. Dum la miksaĵo bolas, akvo vaporiĝas, la koncentreco de sukero pliiĝas, kaj la temperaturo altiĝas (bolpunkta leviĝo). Ĉar necesas ke la kuirado de la miksaĵo ĉesu kiam la sukera koncentreco atingas specifan nivelon, oni uzas termometron por indiki kiam la taŭga bolpunkto estas atingita. Tio indikas kiam la sukera miksaĵo enhavas la perfektan sukeran koncentrecon.

Laŭkvante, oni trovas ke la bolpunkto de diluaj solvaĵoj estas rekte proporcia al la koncentreco de la solvezo, esprimita laŭ molaleco. Oni povas skribi la rilaton inter la du variabloj kiel

$$\Delta T_b = k_b \times \underline{m} \times \underline{n} \qquad 8\text{-}4$$

kie ΔT_b estas la bolpunkta leviĝo en ^oC, k_b estas la molala bolpunkta

konstanto (karakterizaĵo de la solvanto), m estas la molaleco de la solvaĵo, kaj n estas la nombro da moloj da solvezaj eretoj metitaj en la solvaĵon kiam unu molo de solvezo estas solvita. La valoroj de K_b por diversaj solvenzoj aperas en Tabelo 8-6.

Tabelo 8-6. Molalaj bolpunktaj konstantoj (K_b)

Solvenzo	K_b (°C/m)	normala bolpunkto (°C)
Akvo	0,52	100°
Aceta acido (Etanacido)	2,93	118°
Etila alkoholo (Etanolo)	1,22	78°
Karbona tetraklorido	5,03	77°
Benzeno	2,53	80°
Kloroformo	3,63	61°

En la ekvacio 8-4, la faktoro n prikonsideras la konduton de la solvitaĵo dum ĝi solviĝas. La valoro de n varias de solvezo al solvezo. Dum solviĝo, unu molo da sukero (molekula solido) produktas 1 molon da sukeraj molekuloj. Tiel do, la valoro de n por sukero estas 1. Dum solviĝo, unu molo da NaCl (jona solido) produktas du molojn da eretoj (jonoj) en solvaĵo pro disocio en la jonojn Na^+ kaj Cl^-. Tial n havas la valoron 2 por NaCl. $CaCl_2$ (jona solido) havas la n-valoron 3 ĉar ĉiu disocio de $CaCl_2$ naskas 3 jonojn dum solviĝo ($CaCl_2 = Ca^{2+} + 2Cl^-$). Tial, solvezoj kiuj disiĝas havas pli grandan efikon sur la bolpunkton (kaj iun ajn alian koligativan econ) ol solvezoj kiuj ne disociiĝas. La leviĝo de bolpunkto por solvaĵo de 1 m $CaCl_2$ (n = 3) trioble superas tiun de solvaĵo de 1 m sukero (n = 1).

Ekzemplo 8-10. Kalkulu la bolpunktojn de la sekvantaj solvaĵoj:
a) 171,0 g da sukero, $C_{12}H_{22}O_{11}$, (mol. maso = 342,0), solviĝas en 1000 g da akvo.
b) 13,4 g da NH_4Cl (mol. maso = 53,5) solviĝas en 500 gramoj da akvo.

Solvo. a) Por uzi ekvacion 8-4, ni bezonas scii $K_b = 0{,}52°C/m$. Kalkulu la solvaĵan molalecon jene:

$$171{,}0 \ \cancel{g\ C_{12}H_{22}O_{11}} \times \frac{1 \text{ molo } C_{12}H_{22}O_{11}}{342{,}0 \ \cancel{g\ C_{12}H_{22}O_{11}}} = 0{,}50 \text{ molo } C_{12}H_{22}O_{11}$$

$$m = \frac{\text{moloj solvitaĵo}}{\text{kg solvilo}} = \frac{0{,}50 \text{ molo}}{1{,}00 \text{ kg}} = 0{,}50 \frac{\text{molo}}{\text{kg}} = 0{,}50 \ m$$

Ĉar sukero ne disiĝas dum solviĝo, ni scias ke n = 1.

$$\Delta T = K_b \times m \times n = 0{,}52 \frac{°C}{m} \times 0{,}50 \ m \times 1 = 0{,}26°C$$

Pro tio, ke bolpunktoj estas pli altaj en solvaĵoj, ni adicias ΔT al la normala bolpunkto de akvo.

$$\text{Bolpunkto de solvaĵo} = 100{,}0^{\circ}C + 0{,}26^{\circ}C = 100{,}26^{\circ}C$$

b) Simile,

$$13{,}4 \ \cancel{\text{g } NH_4Cl} \times \frac{1 \text{ molo } NH_4Cl}{53{,}5 \ \cancel{\text{g } NH_4Cl}} = 0{,}25 \text{ molo } NH_4Cl$$

$$\underline{m} = \frac{\text{moloj solvezo}}{\text{kilogramoj solvenzo}} = \frac{0{,}25 \text{ molo}}{0{,}500 \text{ kilogramo}} = 0{,}5 \ \underline{m}$$

$\underline{n}$ = 2 ĉar NH_4Cl estas jona solvezo kiu disiĝas en akvo: $NH_4Cl = NH_4^+ + Cl^-$.

$$\Delta T = k_b \times \underline{m} \times \underline{n} = 0{,}52 \frac{^{\circ}C}{m} \times 0{,}50 \ \underline{m} \times 2 = 0{,}52^{\circ}C$$

$$\text{Bolpunkto de solvaĵo} = 100^{\circ}C + 0{,}52^{\circ}C = 100{,}52^{\circ}C$$

Solidiĝopunkto

La aldono de nevolatila solvezo al solvenzo malaltigas la solidiĝopunkton de la ricevita solvaĵo. Ĉi tiu malaltigo, same kiel la altigo de bolpunkto, estas rekta sekvo de la malpliigo de vaporpremo asociita kun la enesto de solvezo.

solidiĝopunkto (frostopunkto)

La solidiĝopunkto de likvo estas la temperaturo ĉe kiu la likva kaj solida formoj havas la saman vaporpremon. Se tio okazas ĉe frosta temperaturo, oni rajtas paroli pri frostopunkto.

En Bildo 8-5, la solidiĝopunkto estas la punkto kie la kurboj por vaporpremoj de likvo kaj solido interkruciĝas. Ni vidas ke ĉi tiu kruciĝpunkto troviĝas ĉe pli malalta temperaturo por la solvaĵo ol por la pura solvenzo. Tial, solvaĵoj havas pli malaltajn solidiĝopunktojn ol havas puraj solvenzoj.

Estas multaj aplikoj de solidiĝopunkta malleviĝo. Por klimatoj kie temperaturoj falas sub $0^{\circ}C$ dum vintro, necesas protekti aŭtomobilajn motorojn, fridigatajn per akvo, kontraŭ frostiĝo. Oni faras tion per la aldono de kontraŭfrostaĵo (kutime etilena glikolo) al la radiatoro. La aldono de la nevolatila substanco kaŭzas ke la vaporpremo kaj la frostopunkto de la rezultanta solvaĵo estas multe pli malalta ol la frostopunkto de pura akvo. Ankaŭ dum vintro oni dissternas salon, kutime NaCl aŭ $CaCl_2$, sur stratojn kaj trotuarojn por degeligi glacion, aŭ malhelpi ke ĝi estiĝu. La salo solviĝas en la akvo, formante solvaĵon kiu ne

frostiĝos ĝis la temperaturoalas multe sub 0°C, la normalan frostopunkton de akvo. Tamen tiu metodo ne efikas se la temperaturo de glacio estas sub tiu al kiu la frostopunkto povas esti mallevita per la aldono de salo.

Malleviĝo de frostopunkto donas iomete da sekureco kontraŭ malsukcesa rikolto al fruktaj kultivistoj. La floroj kaj fruktoj de arboj enhavas solvaĵojn kiuj frostiĝas je proksimume -2,3°C. La fruktistoj uzas aron da flamantaj potoj kaj aliajn rimedojn por teni la fruktejan temperaturon pli alta ol la kriza valoro.

La hejma farado de glaciaĵo demonstras frostopunktan malleviĝon en du lokoj -- en la ujo tenanta la miksaĵon por la glaciaĵo, kaj en la miksaĵo de salo-glacio-akvo kiu ĉirkaŭas la ujon. La miksaĵo por glaciaĵo (lakto, sukero, kaj aliaj materialoj) havas frostopunkton pli malaltan ol havas pura akvo (aŭ glacio-akva miksaĵo) ĉar vere ĝi estas solvaĵo. Por frostiĝi, la glaciaĵa miksaĵo devas esti ĉirkaŭita de solvaĵo kiu frostiĝas ĉe eĉ pli malalta temperaturo. La salo-glacio-akva miksaĵo uziĝas por tiu celo, kaj devas enhavi sufiĉan solvezon (salon) por kaŭzi pli grandan malleviĝon en la glacio-akva miksaĵo ol tiu, kiu okazas en la glaciaĵa miksaĵo.

Kvantecaj kalkuloj pri solidiĝopunkta malleviĝo estas faritaj simile al kalkuloj por bolpunkta leviĝo. La ekvacio uzenda en tiaj kalkuloj estas preskaŭ identa kun tiu donita por bolpunkta leviĝo (ekvacio 8-4). La sola diferenco estas ke la konstanto k_b estas anstataŭigita per k_s -- la molala solidiĝopunkta konstanto. La ekvacio estas:

$$\Delta T_s = k_s \times \underline{m} \times \underline{n} \qquad 8\text{-}5$$

Uzante la ekvacion, oni devas memori ke ΔT_s signas malleviĝon de temperaturo. Tial oni devas subtrahi anstataŭ adicii ĝin al la normala solidiĝopunkto de la solvenzo por trovi tiun punkton de la solvaĵo. Tabelo 8-7 donas molalajn solidiĝopunktajn konstantojn por kvin solvenzoj.

Tabelo 8-7. Molalaj solidiĝopunktaj konstantoj (k_s)

Solvenzo	k_s (°C/m)	Solidiĝopunkto (°C)
Akvo	1,86	0°
Aceta acido	3,90	16,6°
Benzeno	5,10	5,5°
Cikloheksano	20,2	6,5°
Kamforo	40,0	179,5°

Ĝenerale, la solidiĝopunkta konstanto de iu solvenzo estas multe pli granda ol la bolpunkta konstanto de la sama solvenzo. Tial, la efikoj pro solidiĝopunkta malleviĝo estas pli grandaj ol la efikoj pro leviĝo de la bolpunkto. Ekzemple, la k_s por akvo estas 1,86°C/m, valoro kiu pli ol trioble superas tiun de la k_b (0,52°C/m).

Rimarku ke ekvacio 8-5 enhavas la simbolon n, same kiel ekvacio 8-4. Ni povas konkludi ke jonaj solidoj, kiuj disociiĝas en jonojn en solvaĵoj, donas efikojn de solidiĝopunkta malleviĝo pli grandajn ol tiaj egalvaloraj kvantoj de molekulaj substancoj, kiel sukero aŭ etilena glikolo. Sed n-valoroj ne estas la sola kriterio por aplikoj de solidiĝopunkta malleviĝo. Laŭ n, kalcia klorido (n = 3) estas pli bona por forigi glacion de sur trotuaroj ol natria klorido (n = 2) ĉar ĝi produktas pliajn jonojn. Tamen oni uzas natrian kloridon pli amplekse ĉar ĝi estas malpli kosta. Plue, malgraŭ la pli altaj n-valoroj de la saloj, oni ne uzas ilin kiel kontraŭfrostaĵojn pro la korodemo de iliaj solvaĵoj. Anstataŭe oni uzas tiajn molekulajn substancojn kiel etilenan glikolon (n = 1).

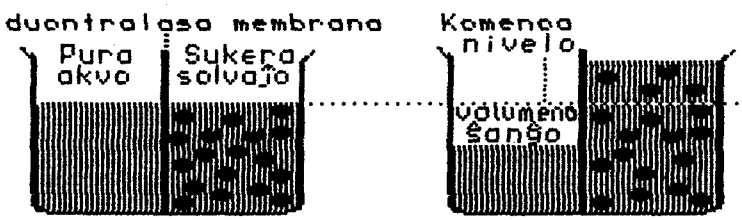
Osmozo Kaj Osmoza Premo

osmozo

La procezo de osmozo konsistas en la paso de solvenzo el dilua solvaĵo (aŭ pura solvenzo) tra duontralasa membrano en pli koncentran solvaĵon.

La neegala premo de la solvenzo sur la du flankoj de la membrano kaŭzas osmozon. La neegala premo estas la rezulto de malsamaj vaporpremoj kaŭzitaj pro diferencoj de koncentreco.

La simpla aparato de Bildo 8-6 povas ilustri pliajn detalojn pri osmozo. La aparato konsistas el du fakoj apartigitaj de duontralasa membrano.



Bildo 8-6. Apartigo de solvezo kaj solvaĵo per duontralasa membrano

Bildo 8-7. Rezultoj de la osmoza procezo

duontralasa membrano

Duontralasa membrano estas maldika tavolo de materialo kiu permesas al iaj tipoj de molekuloj trapasi, sed baras aliajn.

La selektivo de la membrano baziĝas sur diferencoj en grandoj inter molekuloj. Tiuj eretoj al kiuj estas permesite trapasi (kutime nur solvenzaj molekuloj kiel akvo) estas relative malgrandaj. La membrano funkcias do iomete kiel kribrilo.

Konsideru la situacion en Bildo 8-6 en kiu pura solvaĵo estas metita en unu fakon de la aparato kaj sukera solvaĵo estas metita en la alian. La duontralasa membrano lasas solvenzajn molekulojn pasi el unu fako en la alian, sed la pli grandaj solvezaj molekuloj ne povas trapasi. Post iom da tempo estas observeble ke estas neta fluo de solvenzo el ties fako en la solvaĵan fakon. Leviĝo de la solvaĵa nivelo kaj malleviĝo de la solvenza nivelo indikas tion, kion montras Bildon 8-7.

La neta transiĝo de solvenzo trans la membranon daŭras, je malkreskanta rapido, ĝis kiam la premo de solvaĵo sur la membrano sufiĉas kontraŭi la pli grandan emon de la molekuloj en la pura solvenzo eskapi. (Tiu premo pligrandiĝis pro la pli granda volumeno kaj maso de la solvaĵo.) Fine okazas ekvilibra situacio. Molekuloj de solvenzo daŭre penetras la membranon ambaŭdirekte, sed je egala rapido.

osmoza premo

La konstraŭpremo bezonata por atingi ekvilibron (neniu neta fluo de solvenzo tra duontralasa membrano) nomiĝas la osmoza premo de solvaĵo.

Ju pli granda la komenca diferenco de koncentreco inter la apartigitaj likvoj, des pli granda estos la osmoza premo. Rimarku ke la koncentrecoj de la du likvoj ne estas egalaj ĉe ekvilibro. Sed la koncentrita solvaĵo estas malpli koncentrita ol ĝi estis komence, pro la pli granda volumeno. La kvanto de solvezo, kompreneble, restas la sama.

Ĉelaj membranoj, kaj en plantoj kaj en animaloj, estas nature duontralasaj. La selektiva pasado de fluidaj materialoj tra ĉi tiuj membrano regas la bilancon de fluidoj en vivantaj sistemoj. Do, osmozecaj fenomenoj estas gravegaj por vivo. Ni diras "osmozecaj fenomenoj" anstataŭ "osmozo" ĉar la duontralasaj membranoj trovitaj en vivantaj ĉeloj ordinare permesas la pason de etaj solvezaj molekuloj (nutraĵoj kaj rubaj produktoj) aldone al la solvenzo. La termino osmozo implicas la pason nur de solvenzo. La substancoj baritaj kontraŭ paso tra la membrano en osmozo-specaj procezoj

estas grandaj molekuloj kaj nesolveblaj suspensiaj materialoj.

En Sekcio 8.9 ni lernos gravan osmozo-specan fenomenon, la dializon.

Kaŭze de osmozo-tipa procezo, plantoj mortos se oni akvumas ilin per sala akvo. Ĉar la sala solvaĵo ekster la radikaj membranoj estas pli koncentra ol la solvaĵo en la radiko, akvo fluas el la radikoj kaj la planto senakviĝas kaj mortas. De la sama principo estas la kialo ke oni ne trinku troajn kvantojn de sala akvo, eĉ se oni estas izolita sur floso en la mezo de la oceano. Kiam sala akvo eniras la stomakon, akvo fluas el la stomaka parieto en la stomakon, kaj la histoj senkaviĝas. Tial, la trinkado de marakvo kaŭzos pli da soifo anstataŭ malpli, ĉar la korpo perdos akvon anstataŭ sorbi ĝin.

Ni pluiru al aliaj fenomenoj osmozo-tipaj. Persono naĝanta en freŝa akvo dum longa tempoperiodo ofte rimarkas malkomfortan senton en la okuloj kaŭzitan de akvo pasanta en la okulon tra ĝia membrana surfaco. La akvo eniras la okulon ĉar la koncentreco de solvitaĵo en la okulo estas pli alta ol tiu de la pura akvo ekstere.

La fabrikado de peklitaj kukumetoj donas alian ekzemplon de membranaj fenomenoj. La haŭto de kukumo metita en fortan salan solvaĵon agas kiel duontralasa membrano. Ĉar la solvaĵo en la kukumo estas pli dilua, akvo difuziĝas el la kukumo, kiu ŝrumpas kaj iĝas peklita kukumeto.

Oni povas vidi okulfrapan ekzemplon de la efikoj de osmozo, observante ruĝajn globetojn tra mikroskopo en pura akvo kaj en koncentrita sukera akvo. En la unua kazo, la osmoza premo de la pura akvo estas pli granda ol tiu en la ĉelo. Sekve, akvo fluas en la ĉelon, kaŭzante ĝin krevi (aŭ <u>hemolizi</u>) kaj ellasi ĝian ruĝan pigmenton. En la dua kazo, la osmoza premo de la sukera solvaĵo ĉirkaŭanta la ĉelon estas malpli ol tiu de la ĉelo. Tial, akvo fluas el la ĉelo, kaŭzante ĝin ŝrumpi (aŭ <u>kreneliĝi</u>).

Solvaĵoj de 0,92% (m/v) da natria klorido donas osmozan premon proksimume egale al tiu de la fluidoj en ruĝa globeto. Ruĝaj globetoj, metitaj en ĉi tiun solvaĵon (nomatan fiziologia sala solvaĵo) nek ŝvelas nek ŝrumpas.

<u>izotona solvaĵo</u>

Du tiaj solvaĵoj, kies osmoza premo estas la samaj, estas izotonaj.

Solvaĵo de 5,5% (m/v) da glukozo ankaŭ estas izotona kun la fluido en ruĝaj globetoj. Por ke oni povu replenigi la korpon intravejne per korpaj fluidoj kaj provizi nutraĵojn per intravejna gutado, oni devas uzi izotonajn

solvaĵojn kiel la suprajn menciitajn.

hipotona solvaĵo
Solvaĵo kun pli malalta osmoza premo ol alia estas hipotona al ĝi.

hipertona solvaĵo
Solvaĵo kun pli alta osmoza premo ol alia estas hipertona al ĝi.

Ruĝaj globuloj hemoliziĝos metitaj en hipertonan solvaĵon; ili kreneliĝos en hipotona solvaĵo.

8.8 KOLOIDAJ DISPERSAĴOJ

Koloidaj dispersaĵoj (aŭ koloidoj) havas multajn ecojn similajn al tiuj de solvaĵoj, kvankam ili ne estas veraj solvaĵoj.

Koloido (koloida dispersaĵo)
Koloidoj, en larĝa senco, estas pripenseblaj kiel "solvaĵoj" en kiuj materialo dise ŝvebas (estas en suspensio) anstataŭ solviĝas.

Ŝvebanta koloida materialo estas sufiĉe malgrand-eret-a ke: (1) ĝi kutime ne estas videbla per la nuda okulo, (2) ĝi ne surfundiĝas sub la influo de gravito, kaj (3) filtropapero kun relative grandaj poroj ne povas kapti ĝin. Laŭ tiuj ecoj la ŝvebanta materio (suspensiaĵo) agas simile al la solvezo en solvaĵo. Tamen, la ŝvebanta materialo estas sufiĉe grand-ereta ke ĝi igas la dispersaĵon nehomogena. Memoru ke, laŭ difino, solvaĵoj devas esti homogenaj. Tial, koloidaj dispersaĵoj ne estas veraj solvaĵoj.

La diametroj de la ŝvebantaj eretoj en koloida dispersaĵo estas inter 10^{-9} kaj 10^{-7} metroj. Tio estas komparebla kun diametroj de malpli ol 10^{-9} por eretoj kiel jonoj, atomoj, kaj molekuloj. Tial, koloidaj eretoj estas ĝis 1000-oble pli grandaj ol tiuj enestantaj en vera solvaĵo. Ordinare, la ŝvebantaj eretoj estas agregaĵoj de molekuloj, sed tio ne ĉiam veras. Iuj proteinaj molekuloj estas sufiĉe grandaj ke ili formas koloidajn dispersaĵojn, kiuj enhavas unusolajn molekulojn en suspensio. Oni kutime ne renkontas koloidajn dispersaĵojn enhavantajn eretojn kun diametroj pli grandaj ol 10^{-7} metroj. Ŝvebantaj eretoj de tiu grando kutime fundeniĝas sub la influo de gravito.

La terminoj solvezo kaj solvenzo ne estas uzataj por indiki la komponantojn de koloida dispersaĵo.

dispersita fazo; dispersanta medio

La eretoj ŝvebantaj en koloido nomiĝas la dispersita fazo, kaj la materio en kiu ili ŝvebas nomiĝas la dispers(ant)a fazo.

Tipoj de Koloidaj Dispersaĵoj

Oni povas klasi koloidojn en kategoriojn per la sama sistemo uzita por klasi solvaĵojn (Sekcio 8.1) -- sistemo bazita sur la fizikaj statoj de la puraj komponantoj antaŭ ol ili interagas. Tamen, nur ok tipoj de koloidaj dispersaĵoj eblas, kontraste al naŭ tipoj de solvaĵoj. Ĝas-en-gasa sistemo ne povas naski koloidon, ĉar gasaj molekuloj ne estas sufiĉe grandaj por esti koloidaj. La ok tipoj de koloidaj sistemoj estas donitaj en Tabelo 8-8, kune kun ekzemploj kaj la specialaj nomoj laŭ kiuj la ĝeneralaj tipoj estas konataj.

Tabelo 8-8. Tipoj de Koloidoj

Tipo			
Dispersanta medio	Dispersita medio	Nomo	Ekzemploj
Gaso	Likvo	Aerosolo	Nebulo, aerosola ŝpruco
Gaso	Solido	Aerosolo	Fumo, aer-poluenzoj*
Likvo	Gaso	Ŝaŭmo	Bat-miksita kremo, razkremo
Likvo	Likvo	Emulsio	Lakto, majonezo, kosmetika kremo
Likvo	Solido	Solo	Farbo, inko, sango, gelateno
Solido	Gaso	Solida ŝaŭmo	Marŝaŭmo, ŝaŭma kaŭĉuko
Solido	Likvo	Solida emulsio	Butero, fromaĝo
Solido	Solido	Solida solo	Perloj, opaloj, alojoj

*el "polui", verbo ne registrita en PIV; ĝi signifas "malpurigi la vivomedion".

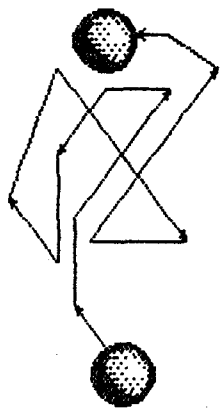
En la tabelo, precipe notu la precizajn signifojn ligitajn al la vortoj aerosolo, emulsio, ŝaŭmo, kaj solo. Rimarku la larĝan variecon de substancoj kiuj estas koloidecaj. Ili inkludas naturajn aĵojn kiel sangon kaj lakton kaj fabrikitajn nutraĵojn de tipo fromaĝo kaj butero, kaj razkremon, farbon, kaj inkon.

Gelatenaj desertoj kaj ĵeleo apartenas al speciala subklaso de soloj nomataj ĝeloj. En tiuj koloidoj, la solida dispersita fazo havas tre fortan afinecon por la dispersanta medio. La ĝelo firmiĝas pro la formiĝo de tri-dimensia reto de eretoj kaj akvo. Alia ekzemplo de ĝelo estas "enladigita varmo" (ĝeligita alkoholo), kiu konsistas el miksaĵo de etila alkoholo (C_2H_5OH) kaj saturita solvaĵo de kalcia acetato ($Ca(C_2H_3O_2)$).

Koloida Stabileco

Koloidaj dispersaĵoj diversas laŭ stabilo. Iuj dispersaĵoj en akvo restas post cent jaroj, dum aliaj apartiĝas post mallonga tempo. Du faktoroj kiuj influas koloidan stabilecon estas la moviĝo de Brown kaj elektraj ŝargoj. Nun ni studos tiujn faktorojn.

Koloida dispersaĵo deflanke tralumigita kaj vidita tra mikroskopo aspektas kiel aro da etaj brilantaj punktoj. Tiaj observoj montras ke la ŝvebantaj eretoj moviĝas laŭ neregula, zigzaga maniero. Oni nomas tiun neregulan moviĝon, kiun unue observis Robert Brown /braŭn/, brita botanikisto, en 1872, moviĝo de Brown (vidu Bildon 8-8). Oni atribuas la moviĝon al konstantaj kolizioj inter la ŝvebantaj eretoj kaj la molekuloj de la likva dispersanta medio. La fakto ke la koloidaj eretoj estas sufiĉe malgrandaj por esti taŭzataj fare de molekulaj kolizioj estas unu kialo kiu klarigas kial ili ne surfundiĝas el la dispersanta medio. Oni konkludas, ke la kolizioj liveras pli grandan forton sur la eretojn ol gravito.



Bildo 8-8. Vojo sekvata de koloida ereto pro la moviĝo de Brown

Koloidaj eretoj emas altiri kaj sorbi la ŝargitajn jonojn kiuj estas en la dispersanta medio. La signo (pozitiva aŭ negativa) de la sorbitaj jonoj dependas de la naturo de la koloido, sed ĉiuj eretoj en iu sistemo altiros jonojn de la sama ŝargo. Tiamaniere, la koloidaj eretoj, akirintaj la saman ŝargon, forpuŝas unu la alian. Tiu forpuŝo malhelpas ke la eretoj unuiĝu en aglomerojn sufiĉe larĝajn por fundeniĝi. Ĉi tiu forpuŝo estas alia kialo klariganta kial koloidaj eretoj povas resti ŝvebantaj sen tempolimo.

Se la elektra ŝargo estas forprenita el koloidaj eretoj, ili ja emas unuiĝi kaj precipitiĝi aŭ fundeniĝi. Tio estas la principo sur kiu

baziĝas la funkciado de elektrostatikaj precipitatoroj. En tia ekipaĵo la ŝargitaj koloidoj (aer-poluenzoj), kiuj ŝvebas en gasa medio (aero), estas elmetitaj al metalaj platoj de mala ŝargo. Ili estas altiritaj al ĉi tiuj platoj, fordonas siajn ŝargojn, unuiĝas en pli grandajn eretojn, kaj fine surfundiĝas el la aero.

8.9 DIALIZO

En Sekcio 8.7 ni studis duontralasajn membranojn, kiuj selektive tralasas solvenzajn molekulojn sed ne solvezojn dum osmozo. Alia membrana procezo, nomata dializo, ankaŭ gravas en vivantaj organismoj.

dializo

Dializo estas procezo per kiu membranoj permesas solvilon, jonojn, kaj malgrandajn molekulojn trapasi, sed retenas koloidajn eretojn kaj grandajn molekulojn.

Tial dializo permesas la apartigon de eretoj el koloidoj. Multaj plantaj kaj animalaj membranoj funkcias kiel dializaj membranoj.

La homaj renoj estas kompleksa dializa sistemo kiu respondecas por la forigo de rubaj produktoj el la sango. La elprenitaj produktoj poste eliras el la korpo en la urino. Nefunkcio de la renoj (insuficienco) ebligas al ĉi tiuj malutilaj produktoj amasiĝi kaj fine veneni la korpon.

Personoj, kiuj antaŭe estus mortintaj pro nefunkcio de la renoj, povas nun esti helpataj per la uzo de maŝinoj kiuj funkcias kiel artefaritaj renoj. Ili purigas la sangon disde venenaj produktoj. En tiaj maŝinoj la sango estas pumpita tra tubaro farita el dializa membrano. La tubaro estas en akvobano en kiu la malpuraĵoj kiuj pasis el la sango kolektiĝas. Proteinoj de la sango kaj aliaj gravaj grandaj molekuloj restas en la sango.

EKZERCOJ

Nomenklaturo Pri Solvaĵoj

1. Indiku kiu substanco estas la solvenzo en ĉiu el la sekvantaj solvaĵoj:
   a) solvaĵo farita el 10 g da A kaj 5 g da X
   b) solvaĵo farita el 10 g da A kaj 20 g da X
   c) solvaĵo farita el 10 g da A kaj 30 g da X
2. Uzu la terminojn solvebla, nesolvebla, aŭ nemiksebla por priskribi la konduton de la sekvantaj paroj de substancoj. Pli ol unu termino eble aplikiĝas en iu kazo.

a) Oni kune skuas 25 ml da akvo kaj 1 g salo. La ricevita likvo estas klara kaj senkolora.
b) Oni kune skuas 25 ml da akvo kaj 0,1 g da solida arĝenta klorido. La rezultanta miksaĵo estas tre nubeca kaj solideroj fundeniĝas.
c) Oni kune skuas 25 ml da akvo kaj 5 ml da minerala oleo. La rezultanta miksaĵo estas nubeca kaj malrapide apartiĝas en du tavolojn.
ĉ) Oni kune skuas 25 ml da kloroformo (likvo) kaj 1 g da fandita butero. La rezultanta miksaĵo estas klara sed iomete flavkolora.

3. Uzante la solveblojn donitajn en Tabelo 8-2, indiku ĉu ĉiu el la sekvantaj solidoj estas nesolvebla, solvebleta, solvebla, aŭ solveblega en akvo:

a) kalcia sulfato
b) kalcia karbonato
c) natria hidrogena karbonato
ĉ) tabla sukero
d) vitamino C

4. Priskribu ĉiun el la sekvantaj kiel diluan aŭ koncentran solvaĵon, surbaze de la solvebloj en Tabelo 8-2:

a) 0,20 g da $CaSO_4$ solvita en 100 g da H_2O
b) 0,20 g da NaCl solvita en 100 g da H_2O
c) 2,0 g da $C_6H_8O_6$ solvita en 1000 g da H_2O

Faktoroj Influantaj Solveblon

5. Kiuj du faktoroj devas esti venkitaj antaŭ ol solvezo solviĝos en solvenzo, kaj kio estas la primara pelforto por tia procezo?
6. Diru ĉu la sekvantaj solvezoj esas solvebletaj aŭ solveblegaj en akvo:

a) N_2 (nepolusa gaso)
b) C_2H_5OH (polusa likvo)
c) CCl_4 (nepolusa likvo)

7. Uzante Tabelon 8-4, indiku ĉu ĉiu el la sekvantaj jonaj kombinaĵoj estas solvebla aŭ nesolvebla en akvo:

a) NH_4Cl
b) KNO_3
c) AgCl
ĉ) $BaCO_3$
d) $Ca_3(PO_4)_2$
e) K_2SO_4

Procenta Koncentreco

8. Oni uzas tri tipojn da unuoj por procenta koncentreco. Indiku la konsiston de la tri unuoj, kaj kiel ĉiu estas difinita.
9. Kalkulu la koncentrecon en % (m/m) de solvaĵoj enhavantaj la sekvantajn. (Supozu ke akvo havas denson de 1,0 g/ml.)

a) 4,0 g da sukero kaj 96,0 g akvo
b) 4,0 g da sukero kaj 76,0 ml akvo
c) 15,0 g da sukero en sufiĉa akvo por doni 200,0 ml da solvaĵo kun denso de 1,2 g/ml

10. Kalkulu la koncentrecojn en % (v/v) de la sekvantaj solvezoj en la indikitaj volumenoj de solvaĵoj:

a) 30 ml da metanolo en 500 ml da solvaĵo
b) 8 litroj da etilena glikolo (kontraŭfrostaĵo) en 20-litra aŭtomobila fridiga sistemo

c) 20 ml da solvezo kaj 80 ml da akvo miksitaj por doni solvaĵon kun volumeno de 97,5 ml

11. Kalkulu la koncentrecojn en % (m/v) de solvaĵoj enhavantaj la sekvantajn solvezojn en la indikitaj volumenoj de solvaĵoj. (Supozu ke akvo havas denson de 1,0 g/ml.)

a) 5,0 g da magnezia klorido en 250 ml da solvaĵo
b) 85,0 g da magnezia klorido en unu litro da solvaĵo
c) 28,0 g da solvezo kaj 200 ml da akvo, kiu donas solvaĵon kun denson de 1,1 g/ml

12. Kalkulu la sekvantajn kvantojn:

a) Kiom da gramoj da solvezo devas esti solvitaj en 200 gramoj da akvo por la preparo de 12% (m/m) solvaĵo da natria klorido?
b) Kiom da gramoj da akvo devas esti aldonitaj al 20,0 g da natria klorido por prepari 5% (m/m) sal-solvaĵon?
c) Kiom da gramoj da 15% (m/m) solvaĵo de natria klorido estas bezonataj por doni 50 g da solvezo?

Molareco

13. Kalkulu la molarecon de la sekvantaj solvaĵoj:

a) 2,0 moloj da solvezo en 0,50 litro da solvaĵo
b) 20,2 gramoj da $CuCl_2$ en litro da solvaĵo
c) 16,7 gramoj da NaOH en 1150 ml da solvaĵo

14. Kalkulu la sekvantajn kvantojn:

a) Kiom da gramoj de solvezo necesas por prepari 500 ml de 0,200 M solvaĵo de natria klorido?
b) Kiom da mililitroj da solvaĵo necesas por doni 5,00 g da natria klorido el 0,400 M solvaĵo de natria klorido?

15. 0,9% (m/v) solvaĵo de NaCl devas esti dozita intravejne por la kuracado de iuj malsanoj. Kio estas la molareco de tia solvaĵo?

Molaleco

16. Kalkulu la molalecon de la sekvantaj solvaĵoj:

a) 180 g da glukozo ($C_6H_{12}O_6$) en 100 g da akvo
b) 50,0 g da $CaCl_2$ en sufiĉa akvo por doni 500 ml da solvaĵo kun denso de 1,1 g/ml
c) 12,0 g da I_2 aldonitaj al 250 ml da CCl_4 (denso de CCl_4 = 1,6 g/ml)

17. Kalkulu la sekvantajn kvantojn:

a) Kiom da gramoj da solvezo necesas por prepari 0,003 m solvaĵon da natria klorido enhavanta 400 g da solvenzo?
b) Kiom da gramoj da akvo devas esti aldonitaj al 100,0 g da sukarozo (tabla sukero, $C_{12}H_{22}O_{11}$) por prepari 0,003 m solvaĵon?

Normaleco

18. Al kiu el la aliaj unuoj de koncentreco estas normaleco en plej proksima rilato?

19. Determinu la ekvivalentan mason de la sekvantaj jonaj kombinaĵoj:
    a) $CaCl_2$ (mol. maso = 111,0 amu) c) NH_4NO_3 (mol. maso = 80,0 amu)
    b) K_3N (mol. maso = 131,3 amu) ĉ) $Fe_3(PO_4)_2$ (mol. maso = 357,4 amu)
20. Kalkulu la normalecon de la sekvantaj solvaĵoj:
    a) 0,1M NaCl c) 1,0M Na_3PO_4
    b) 0,3M K_2S ĉ) 1,5M $Al_2(SO_3)_2$
21. Kalkulu la normalecon de la sekvantaj solvaĵoj:
    a) 12,2 g da NaCl en 750 ml da solvaĵo
    b) 5,0 moloj da Na_2SO_4 en 3 litroj da solvaĵo
    c) 20,0 g da Na_2SO_4 en 250 ml da solvaĵo
22. Kiom da gramoj da $Ca(NO_3)_2$ estas en 800 ml da 2,0N $Ca(NO_3)_2$?

Problemoj Pri Diluo

23. En ĉiu el la sekvantaj, kiom da mililitroj da akvo devas est aldonitaj por ricevi solvaĵon kies koncentreco estas 0,5M?
    a) 50 ml da 3M NaCl c) 1 ml da 10M NaCl
    b) 1000 ml da 0,6M NaCl
24. Kio estos la fina koncentreco de ĉiu el la sekvantaj se la solvaĵo estas diluita per 20 ml da akvo?
    a) 10 ml da 0,3M NaCl c) 1 ml da 2,0M NaCl
    b) 0,1 litroj da 1,0M NaCl
25. Kio estas la koncentreco de solvaĵo akirita per la aldono de 30 ml da 0,6M glukoza akvo al 125 ml da 0,1M glukoza akvo? Supozu ke la volumenoj estas adicieblaj.

Koligativaj Ecoj de Solvaĵoj

26. Kio estas koligativa eco de solvaĵo? Enlistigu kvar koligativajn ecojn.
27. Klarigu kial la vaporpremo de solvaĵo enhavanta nevolatilan solvezon ĉiam estas malpli ol la vapor-premo da pura solvenzo.
28. Kiom da moloj da solvitaj eretoj estas en solvaĵo enhavanta 1,0 molon de ĉiu el la sekvantaj solvezoj?
    a) NH_4CN c) $Mg(NO_3)_2$
    b) $(NH_4)_2SO_4$ ĉ) C_2H_5OH (etila alkoholo)
29. En ekvacio 8-4, kion simbolo n indikas? Kio estas la valoro de n por ĉiu el la solvezoj en la antaŭa problemo?
30. Kalkulu la bolajn kaj solidiĝajn punktojn de la sekvantaj solvaĵoj.
    a) 0,8m akva solvaĵo de NaCl
    b) 0,8m akva glukoza solvaĵo (n = 1 por glukozo)
    c) solvaĵo enhavanta 20 g da NaCl solvitajn en 150 g da akvo
    ĉ) solvaĵo enhavanta 14,0 g da I_2 solvitajn en 200 g da benzeno (n = 1 por benzeno)
31. Ĉu osmoza premo da 0,1m NaCl solvaĵo esti malpli ol, sama kiel, aŭ pli

ol la sekvantaj solvaĵoj?

a) 0,1$\underline{m}$ NaBr c) 0,05$\underline{m}$ $MgCl_2$

b) 0,1$\underline{m}$ $MgCl_2$ ĉ) 0,1$\underline{m}$ glukozo ($\underline{n}$ = 1 por glukozo)

32. Klarigu kial deŝiritaj floroj rapide velkas kiam ili estas metitaj en sukeran solvaĵon, kaj kial tiaj floroj rapide reviviĝos kiam transmetitaj en puran akvon.

33. Oni metas ruĝajn globetojn en ĉiun el la sekvantaj solvaĵoj. (1) En kiuj solvaĵoj okazos hemolizo? (2) En kiuj okazos kreneliĝo?

a) 2,3% glukoza solvaĵo
b) 2,3% natri-klorida solvaĵo
c) 5,5% glukoza solvaĵo
ĉ) 5,5% natri-klorida solvaĵo
d) 0,92% glukoza solvaĵo
e) 0,92% natri-klorida solvaĵo
f) distilita akvo

34. Indiku kiuj solvaĵoj listigitaj en la antaŭa problemo estas

a) izotona(j) rilate fluidojn en ruĝaj globetoj
b) hipotona(j) rilate fluidojn en ruĝaj globetoj
c) hipertona(j) rilate fluidojn en ruĝaj globetoj

Koloidaj Dispersaĵoj

35. Kio estas la ĉefa diferenco inter koloida dispersaĵo kaj vera solvaĵo?

36. Kiuj terminoj estas uzitaj anstataŭ solvezo kaj solvenzo por priskribi la enhavon de koloida dispersaĵo?

37. Distingu inter la signifoj de la sekvantaj paroj de terminoj:

a) aerosolo kaj ŝaŭmo c) solo kaj ĝelo
b) emulsio kaj solo

38. Kiuj faktoroj tenas koloidajn eretojn ŝvebantaj en aero aŭ likvoj?

Dializo

39. Oni metas solvaĵon enhavantan proteinon de grando koloida, KCl, kaj glukozon en dializan sakon, kaj metas la sakon en distilitan akvon. Kiuj kombinaĵoj dializiĝas tra la sako en la distilitan akvon?

40. En dializan tubon oni metas koloidan dispersaĵon de amelo en akvo, kaj lokas la tubon en koncentritan akvan solvaĵon de NaCl. Priskribu la moviĝon trans la surfacon de la dializa tubo, se tia moviĝo eblas, de ĉiu el la sekvantaj specoj:

a) H_2O b) Na^+ c) Cl^- ĉ) amelo

9 REAKCIAJ RAPIDOJ KAJ LA KEMIA EKVILIBRO

CELOJ

9.1 Kompari la esprimojn en ĉiuj el jenaj paroj: a) spontanea kaj nespontanea, b) ekzergona kaj endergona, c) ekzoterma kaj endoterma, kaj ĉ) stabila kaj nestabila. Uzi konsiderojn pri energio kaj entropio por antaŭdiri la spontaneecon de simplaj procezoj kaj reakcioj.

9.2 Kompreni kion signifas la rapido (grado) de reakcioj, kaj kiamaniere ĝi estas mezurata. Klarigi la kondiĉojn necesajn por la okazigo de reakcio laŭ la kolizio-teorio.

9.3 Listigi kvar faktorojn, kiuj efikas la rapidon de reakcio, kaj klarigi kiel ili funkcias laŭ la kolizio-teorio.

9.4 Kompreni kion signifas kemia ekvilibro kaj la kondiĉojn necesajn por atingi tian staton.

9.5 Kompreni kion signifas la pozicio de la ekvilibro.

9.6 Esti kapabla uzi la principon de Le Chatelier por antaŭdiri la efikon, kiun la ŝanĝo de kondiĉoj havos sur ekvilibran sistemon.

En la antaŭaj du ĉapitroj ni konsideris la ecojn de substancoj en diversaj puraj kaj miksitaj statoj. Preskaŭ ĉiuj el la kazoj pritraktis interagojn kaj ŝanĝiĝojn de fizika naturo. Nun ni volas okupiĝi pri kemiaj ŝanĝiĝoj kiuj povas okazi, kiam interagas substancoj. Kun la escepto de mas-interrilatoj, kiuj akompanas kemiajn ŝanĝiĝojn (Sekcio 4.5), ni ne jam diskutis detale la naturon de kemiaj reakcioj. En la sekvantaj diskutoj ni emfazos fundamentojn, komunajn al ĉiuj kemiaj reakcioj, sed ne individuajn kemiajn reakciojn. Ni ĉefe emfazos la rapidon de kemiaj reakcioj (la reakci-rapidon) kaj la direkton, en kiu ili iras (la kemian ekvilibron).

9.1 SPONTANEAJ KAJ NESPONTANEAJ ŜANĜOJ

spontanea procezo

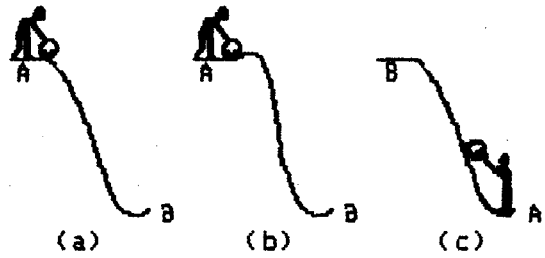
Spontanea procezo estas tiu, kiu okazas nature sen ia ekstera kaŭzo aŭ stimulo.

nespontanea procezo

Nespontanea procezo okazas nur kiel la rezulto de tia stimulo.

Por kompreni tion, imagu, ke vi estas en la pozicio montrata en la Bildo 9-1, kaj volas movi pezan preskaŭ sferan ŝtonegon de loko A al loko B. En situacio (a) la ŝtonego ruliĝos malsupren laŭ la deklivo spontanee en la momento kiam vi delasos ĝin. En situacio (b), vi devas puŝi la ŝtonegon iomete por movi ĝin trans la ĝibon, sed kiam vi ekpuŝis, la ŝtonego spontanee ruliĝos malsupren al la loko B. La situacio (c) tute diferencas. Vi devas daŭre puŝi la ŝtonegon, aŭ ĝi ne moviĝos de A al B. Je nenia momento vi povus haltigi la puŝadon kaj pensi, ke la ŝtonego daŭrigos sian vojon de A al B. Tia procezo estas nespontanea; ĝi okazas nur kiel rezulto de ekstera stimulo.

Dum la malsuprenruliĝo la ŝtonego perdas energion -- ĝi moviĝas de alt-potenciala al malalt-potenciala energi-stato. Dum vi supren-puŝas la ŝtonegon, ĝi gajnas energion (de vi).



Bildo 9-1. La problemo pri la movado de ŝtonego

ekzergona; endergona

Procezoj, kiuj perdas energion nomiĝas ekzergonaj (energio el-iras); dum tiuj, kiuj gajnas energion nomiĝas endergonaj (energio en-iras).

Energi-ŝanĝiĝoj en kemiaj procezoj ofte, sed ne ĉiam, implicas varmon. En tiaj kazoj, tiuj ŝanĝiĝoj estas konsideritaj kiel ekzotermaj (varmo eliras), kaj endotermaj (varmo eniras), du terminoj, kiujn ni uzis jam antaŭe (Sekcio 7-12). Tiam, tiuj terminoj estis uzitaj por priskribi fizikajn ŝanĝiĝojn. Tiuj esprimoj povas esti uzataj ankaŭ por priskribi kemiajn ŝanĝiĝojn kiel en la sekvontaj kazoj.

En la plimulto de la kazoj, sed ne en ĉiuj, spontaneaj procezoj estas akompanataj de energi-perdo. Oni scias plurajn kazojn, en kiuj la energio restas konstanta aŭ eĉ pligrandiĝas. La ekzisto de tiuj spontaneaj procezoj en kiuj la energio ne malaltiĝas montras, ke devas ekzisti alia faktoro krom energio, kiu ludas rolon determinantan spontaneecon. Tiu dua rolanta faktoro estas entropio.

entropio

Entropio estas la emo de sistemo atingi la kiel plej eblan disiĝintan aŭ senordan ariĝon.

Oni trovas, ke se la entropio pliiĝas, tio estas, se la senordo de sistemo pliiĝas, tio ĉiam akompanas spontanean procezon en kiu energio restas konstanta aŭ eĉ grandiĝas. Guto da inko metita en glason da akvo fine egale disiĝas tra la akvo eĉ kvankam oni ne kirlas la akvon. Nenia energi-ŝanĝiĝo akompanas la difuziĝon de la inko, sed la disiĝo de la inko tra la akvo estas stato de pli alta entropio (ĉar pli miksita) ol kiam la inko estas kune en unuopa guto. Glacio degelas spontanee je temperaturo pli alta ol $0^{o}C$, kaj en la procezo ĝi ensorbas varmon. Tiu procezo okazas, ĉar la senorda distribuo de la akvo-molekuloj en la solvaĵo estas pli alta entropia stato ol la ordeca molekula ariĝo en la kristala glacio.

La rilatoj de energio kaj entropio al la spontaneeco de procezoj povas esti resumitaj jene:

1. La procezo ĉiam estos spontanea, se la energio malpliiĝas kaj la entropio pliiĝas. Ekzemplo por tia procezo estas brulanta peco da ligno, en kiu varmo fordoniĝas kaj la gasaj produktoj de la brulado distribuiĝas tra la ĉirkaŭaĵo, kaŭzante pliiĝon de la entropio.
2. Kiam spontanea procezo estas akompanata de pliiĝo de energio, granda pliiĝo de entropio devas ankaŭ okazi. Do, kiam glacio degelas spontanee je 20°C, la pliiĝo de entropio estas sufiĉe granda por kompensi la energi-pliigon, kiu ankaŭ okazas.
3. Spontanea procezo, kiu estas akompanata de malpliiĝo de entropio, devas ankaŭ esti akompanata de kompensanta malpliiĝo de energio. Do, se akvo spontanee glaciiĝas je 0°C, la perdo de energio kompensas la malpliiĝon de entropio, kiu okazas kiam la akvo-molekuloj formiĝas en la ordema aranĝo de la kristala glacio.

stabila

Substancoj, kiuj ne suferas spontaneajn ŝanĝiĝojn, ricevas la epiteton stabilaj.

La stabilo de substanco estas ĉiam konsiderata rilate al la kondiĉoj, kiuj ĉirkaŭas tiun substancon; ŝanĝo de la kondiĉoj povus kaŭzi spontanean ŝanĝiĝon. Glacio estas stabila solidaĵo ĉe -10°C kaj 760 toroj, sed spontanee degelas en likvaĵon ĉe 5°C kaj 760 toroj. Do, krom se ni specifas alimaniere, ni supozas, ke la kondiĉoj ĉirkaŭantaj la substancon pridiskutatan estas tiuj, kiujn ni spertas dum nia ĉiutaga agado.

9.2 TEORIO PRI REAKCIAJ RAPIDOJ

reakcia rapido

La progreso aŭ antaŭeniro de reakcio nomiĝas la reakcia rapido.

Kelkaj reakcioj, kiel ekzemple eksplodoj, okazas tre rapide, dum aliaj, kiel la rustado de fero, okazas pli malrapide. La rapido de multaj reakcioj (tiuj, kiuj ne estas ege rapidaj aŭ malrapidaj) povas esti facile determinita per tio, ke oni mezuras la gradon je kiu reakciantoj malaperas aŭ produktoj formiĝas. Hidrogena peroksido malkombiniĝas malrapide:

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2 \qquad 9\text{-}1$$

Ni povas observi la rapidon de tiu ĉi reakcio, mezurante la volumenon de

la oksigen-gaso, kiu el-bobeliĝas en specifa tempo. Simile, hidrogeno, senkolora gaso, kaj joda vaporo, viol-kolora gaso, reakcias kaj formas hidrogenan jodidon, kiu ankaŭ estas senkolora gaso:

$$H_2 + I_2 \longrightarrow 2HI \qquad 9\text{-}2$$

Ni povas observi la progreson de tiu ĉi reakcio, mezurante la gradon je kiu la viol-koloro malaperas, kiam la I_2-vaporo reakcias.

Kio determinas, ĉu reakcio okazas rapide, malrapide, aŭ eĉ tute ne okazas? En kelkaj kazoj la reakcio inter du substancoj estas tiel malrapida je ordinaraj temperaturoj, ke nenia reakcio estas observebla. Kiaj kondiĉoj do estas necesaj por ke kemia reakcio okazu? La respondoj al tiuj demandoj implicas la konsideron de la teorio pri kolizioj.

La teorio de kolizioj evoluis el la studado de informoj pri reakci-rapidoj por multaj malsamaj reakcioj. Ĝi enhavas tri bazajn postulatojn:

teorio de kolizioj

1. Reakciantaj eretoj devas kolizii unu kun la alia por ke reakcio okazu.
2. La koliziantaj eretoj devas kolizii kun certa minimuma tuta energio, se la kolizio rezultigu reakcion.
3. En kazoj kiam partoprenas nesferaj molekuloj, la reakciantoj devas esti aranĝitaj en specifa maniero dum la kolizio por ke reakcio okazu.

Tiuj ĉi tri postulatoj kontentige klarigas la konduton elmontratan en preskaŭ ĉiuj reakci-sistemoj.

Molekulaj Kolizioj

La valideco de la unua postulato estas sufiĉe evidenta. Du molekuloj ne povas reakcii unu kun la alia, se ili troviĝas kilometrojn unu de la alia. Por ke ligoj estu rompataj kaj atomoj interŝanĝataj kaj novaj ligoj formataj, la molekuloj devas interkontaktiĝi. Tamen ekzistas esceptoj, ekzemple malkombiniĝoj, kiam molekuloj disiĝas en fragmentojn, kaj procezoj en kiuj molekuloj reakcias per interna rearanĝiĝo de siaj atomoj.

Ĝenerale, reakcioj okazas pli rapide en la gasa aŭ likva statoj ol en la solida stato. Tiu ĉi observo konformas al la unua postulato de la kolizi-teorio, ĉar en gasoj kaj likvoj la molekuloj moviĝas sufiĉe libere kaj renkontas multe pli da kolizioj ol la molekuloj kiuj estas rigide kuntenitaj en solidoj. Reakcioj de solidoj kutime okazas nur sur la surfacoj de la solidoj, kaj tial inkludas nur etan onon el ĉiuj molekuloj

enestantaj en la solido. Dum la progresado de la reakcio, produktoj solviĝas, difuziĝas, aŭ forfalas de la surfaco, do elmetiĝas novaj partoj de la solido. Tiamaniere, la reakcio progresas en la solidon. La rustado de fero estas ekzemplo de tia procezo.

Aktiviga Energio

Estas eble taksi (laŭ kompleksaj kalkuloj) la kolizian rapidon por gasaj molekuloj. Eksperimentoj montras, ke la reakci-rapido de kolizioj estas pli malgranda (je pluraj potencoj de 10) ol tiu antaŭvidita per la kalkulado de la kolizi-rapido. Tio montras, ke ne ĉiuj kolizioj rezultigas reakciojn.

aktiviga energio

Postulato 2 de la teorio de kolizioj indikas, ke kolizioj konkludas al reakcioj nur inter tiuj molekuloj, kiuj havas certan minimuman valoron por la sumo de siaj kinetaj energioj. Tiu minimuma energio nomiĝas la aktiviga energio.

En malrapida reakcio, tiu minimuma valoro estas multe pli granda ol la meza energi-enhavo de la molekuloj. Nur malmultaj molekuloj -- nome la reakciantoj -- posedas sufiĉe altan energion por superi la aktivigan energion.

Kelkfoje eblas komenci reakcion per tio, ke oni provizas la aktivigan energion kaj poste lasas la reakcion daŭradi per si mem. Kiam la reakcio komenciĝas, sufiĉe da energio liberiĝas por aktivigi aliajn molekulojn. Tiel, la reakcio daŭre iradas je kontenta rapido. Ekzemple, konsideru Bildon 9-1 (b). La energio necesa por movi la ŝtonegon trans la malgrandan ĝibon estas analoga al aktiviga energio. Ankaŭ konsideru tion, kio okazas, kiam vi frotas alumeton. La aktiviga energio estas provizita per la frotado de la "kapo" de la alumeto trans malglatan surfacon. Ekde la momento, kiam la alumeto ekbrulas, ĝi daŭrigas bruli.

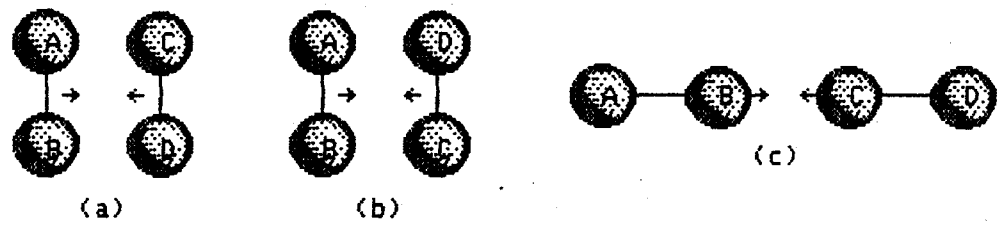
La Geometrio de Kolizioj

Por kelkaj reakcioj la kalkulita nombro da kolizioj de molekuloj kun energioj pli grandaj ol la aktiviga energio estas ankoraŭ multe pli granda ol la observata rapido de reakcio. Tio sugestas, ke io plia estas necesa ol kolizioj de minimuma energio. Postulato 3 de la koliziteorio aldonas la faktoron, ke en reakcioj en kiuj partoprenas nesferaj molekuloj, gravas la specifa orientiĝo de la molekuloj en la momento kiam ili kolizias.

Konsideru jenan hipotezan reakcion:

$$A\text{–}B + C\text{–}D \longrightarrow A\text{–}C + B\text{–}D \qquad 9\text{-}3$$

En tiu ĉi kazo, la plej favora orientiĝo de la reakciontaj molekuloj dum la kolizio estas tiu, kiu metas A kaj C tre proksime unu al la alia (por formi la molekulon A–C), kaj B kaj D proksime unu al la alia (por formi B–D). Ebla orientiĝo, kiam tia situo okazas, estas montrita en Bildo 9-2(a). La eblo por reakcio el tia kolizio estas multe pli granda ol se la molekuloj kolizius dum la orientiĝo montrata en Bildo 9-2(b) aŭ (c). E_n (b), A ne estas proksima al C, nek B proksimas al D. En (c), B estas proksima al D, sed A kaj C situas tre malproksime unu de la alia.



Bildo 9-2. Molekulaj orientiĝoj dum kolizioj

Oni ne povas supozi, ke ĉiuj reakciantaj molekuloj kolizias en ekzakte sama maniero. Anstataŭe, tiuj kolizi-geometrioj preferiĝas, kiuj postulas la malplejan energion por atingi reakcion. Ekzemple, la nedezirindaj kolizi-geometrioj de Bildo 9-2(b) kaj (c) povus rezultigi reakcion, se la molekuloj kolizius kun sufiĉe da energio, sed tio estas neverŝajna, ĉar la energio necesa estus nenormale alta. Tial la orientiĝo montrata en Bildo 9-2(a) estas preferata, sed ne estas unika por tiu ĉi reakcio.

9.3 FAKTOROJ KIUJ INFLUAS LA REAKCI-RAPIDOJN

Kvar faktoroj, kiuj influas la reakciajn rapidojn estas: la naturo de la reakciantoj, la koncentrecoj kaj temperaturoj de la reakciantoj, kaj la ĉeesto de katalizenzoj (PIV: kataliziloj).

Naturo de la Reakciantoj

Tiu ĉi efiko povas esti ilustrata per komparo de la rapidoj de du reakcioj: unu implicas jonojn en solvaĵo, la alia molekulojn, kiuj estas kovalente ligitaj en gasa stato. Se solvaĵo enhavanta arĝent-jonojn estas miksata kun solvaĵo enhavanta klorid-jonojn, blanka precipitaĵo (AgCl) formiĝas tuj en la sama momento. La reakcio kiu okazas estas la jena:

$$Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl \qquad 9\text{-}4$$

Ĝenerale, reakcioj, kiuj koncernas jonojn en solvaĵo, okazas rapide, ĉar neniu kemia ligo bezonas esti rompata por tiaj reakcioj. La procezo de solviĝo jam rompis la internan strukturon, liberigante la jonojn tiel, ke ili povas libere ĉirkaŭ-moviĝi en la solvaĵo (Sekcio 8.4). Estante tre moviĝemaj, la jonoj povas kombiniĝi rapide. Aliflanke, reakcioj, kiuj *necesigas, ke kovalentaj ligoj estu rompataj*, ĝenerale progresas tute malrapide. La produktado de "akvogaso", miksaĵo de CO kun H_2, estas ekzemplo de tia speco de reakcio:

$$H_2O + C \xrightarrow{\text{varmo}} CO + H_2 \qquad 9\text{-}5$$

La kovalentaj hidrogen-oksigen-ligoj en la akvo-molekuloj devas rompiĝi, por ke la produkto formiĝu.

Koncentreco de la Reakciantoj

Pliigo de la koncentreco de iu reakcianto kaŭzas pliiĝon de la reakci-rapido. La pliigo de la koncentreco signifas, ke pli da molekuloj de reakcianto ĉeestas, kaj sekve ekzistas pli da ŝancoj por kolizioj inter konvenaj reakciantaj molekuloj. Tiel do, pli da molekuloj povas atingi la necesan aktivigan energion ene de certa periodo da tempo.

Temperaturo de la Reakciantoj

La *efiko de temperaturo sur reakci-rapidojn* ankaŭ povas esti klarigata uzante la koncepton de la molekul-kolizio. Pliigo de la temperaturo de la sistemo montriĝas kiel pliiĝo de la meza kineta energio de la reakciantaj molekuloj. La altigita molekula rapido kaŭzas pliigon de la kolizioj en donita tempo. Ankaŭ, ĉar la energio de la koliziantaj molekuloj estas pli granda, pli multaj de la kolizioj partoprenigos molekulojn kun la necesa aktiviga energio. Ĝenerale oni povas diri, ke je ordinaraj temperaturoj la rapido de kemia reakcio duobliĝas je ĉiu 10°C da plialtigo de la temperaturo.

Ekzemplo por la efiko de temperaturo sur reakci-rapidojn estas la prem-marmito, kiu kuiras nutraĵon pli rapide pro sia pli alta kuir-temperaturo. Aliflanke, nutraĵoj estas fridigataj aŭ frostigataj por malrapidigi la kemiajn reakciojn, kiuj rezultigas la difektiĝon de la nutraĵoj, la acidiĝon de lakto, kaj la matiriĝon de fruktoj.

La Ĉeesto de Katalizenzoj

Katalizenzoj

Katalizenzoj estas substancoj, kiuj povas ŝanĝi reakci-rapidojn sen foruziĝi en la reakcioj.

La esprimo Katalizenzo (aŭ Katalizanto, Katalizilo) estas ĝenerale uzata por priskribi substancojn, kiuj akcelas reakciojn.

inhibenzo

Kelkaj katalizenzoj malrapidigas (inhibas) reakciojn; tiuj nomiĝas inhibenzoj.

Katalizenzoj estas uzataj en nombro da variaj formoj.

homogena katalizenzo

Homogenaj katalizenzoj disiĝas (unuforme) tra la reakci-miksaĵo en la formo de individuaj jonoj aŭ molekuloj.

heterogena (surfaca) katalizilo

Heterogenaj aŭ surfacaj kataliziloj estas uzataj kiel solidaĵoj, kutime kun grandaj surfac-areoj, sur kiuj la reakcioj okazas facile.

Ĝenerale nur tre etaj kvantoj da katalizenzo estas bezonataj.

Katalizenzoj pliefikigas reakci-rapidojn liverante alian reakci-vojon, kiu bezonas malpli da aktiviga energio ol la normala vojo. Laŭ kelkaj teorioj, katalizenzo liveras la malpli energian vojon, eniĝante en la reakcion kaj formante perantan strukturon, kiu poste disrompiĝas por formi la finajn produktojn kaj regeneri la katalizenzon.

Ne-katalizita: $A + B \longrightarrow$ produktoj (9-6)

Katalizita: $A + B +$ katalizenzo $\longrightarrow$ A–B (katalizenzo (peranta strukturo)) $\longrightarrow$ produktoj + katalizenzo (9-7)

Laŭ alia sugestita meĥanismo, solidaj katalizenzoj donas surfacon sur kiun trafantaj reakci-molekuloj estas fizike altirataj kaj tenataj en speciala orientiĝo. Reakciantoj tiele tenataj estas sufiĉe proksimaj kaj favore orientiĝintaj unu al la aliaj, por ke la reakcio povu okazi. La produktoj poste foriĝas de la surfaco kaj tiele aliaj reakciantoj povas uzi la katalizan surfacon.

9.4 KEMIA EKVILIBRO

Oni trovis, pere de eksperimentoj, ke en la plejmulto da kemiaj reakcioj la kompleta konvertiĝo de la reakciantoj en produktojn ne okazas senkonsidere al la tempo permesata por la reakcioj. Je la komenco de tiuj reakcioj la reakciantoj ĉeestas en difinitaj koncentrecoj. En la daŭro de la reakcioj, la kvantoj de la reakciantoj malpliiĝas, dum la kvantoj de la produktoj pliiĝas. Pli-malpli frue, tamen, tiuj koncentrecoj atingas difinitan nivelon kaj iĝas konstantaj dum reakciantoj ankoraŭ ĉeestas.

Kemia ekvilibro

Kiam la kvantoj de la reakciantoj kaj de la produktoj ne plu ŝanĝiĝas, la reakcio atingas staton, kiun oni nomas kemia ekvilibro.

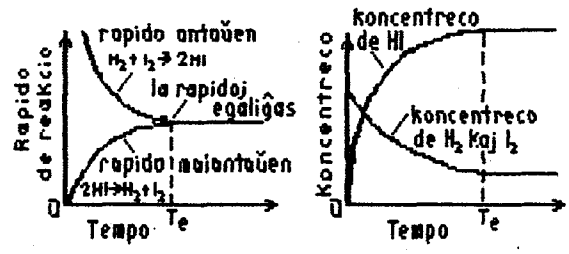
La kondiĉoj kiuj ekzistas dum la stato de kemia ekvilibro estas plej bone videblaj, se oni konsideras ekzemplon. Do supozu, ke egalaj kvantoj da gasaj H_2 kaj I_2 estas miksitaj en fermita ujo, kaj estas permesitaj inter-reakcii:

$$H_2 + I_2 \longrightarrow 2HI \qquad 9\text{-}8$$

Je la komenco neniom da HI ĉeestas, tial la unu-sola reakcio kiu eblas estas tiu de la ekvacio 9-8. Sed post iom da tempo kelkaj HI-molekuloj formiĝas kaj povas kolizii unu kun la alia en maniero, kiu kaŭzas inversigon de la reakcio:

$$2HI \longrightarrow H_2 + I_2 \qquad 9\text{-}9$$

Pro la malgranda koncentreco de HI, tiu ĉi reakcio iras malrapide je la komenco, sed kiam ĝia koncentreco kreskas, ankaŭ la rapido de tiu ĉi reakcio kreskas. Fine, la koncentrecoj de H_2, I_2 kaj HI en la reakci-miksaĵo atingas nivelon, je kiu la rapidoj de la antaŭen-reakcio (ekvacio 9-8) kaj la malantaŭen-reakcio (ekvacio 9-9) egaliĝas. De post tiu tempo, la koncentrecoj de H_2, I_2 kaj HI restos konstantaj, ĉar ĉiu substanco formiĝas sam-rapide kiel ĝi estas uzata. Kiam tiu situacio estiĝas, la reakci-sistemo estas en la stato de kemia ekvilibro. La konduto de la reakci-rapidoj kaj la reakci-koncentrecoj rilate la tempon kaj la antaŭen- kaj la malantaŭen-reakciojn estas la objekto de Bildo 9-3.



Bildo 9-3. Variado de la reakci-rapidoj kaj de la koncentrecoj ĝis estiĝo de ekvilibro

La ekvilibro inter H_2, I_2, kaj HI povus estiĝi samfacile, se oni komenciĝas kun pura HI kaj permesus, ke ĝi ŝanĝiĝu en H_2 kaj I_2. La fina pozicio de la ekvilibro ne dependas de la direkto el kiu oni alproksimiĝas al ekvilibro.

Anstataŭ skribi apartajn ekvaciojn por ambaŭ, la antaŭen- kaj la malaltaŭen-reakcioj, oni kutime reprezentas la inversigeblon uzante duoblajn ŝanĝojn. Ekzemple la reakcio inter H_2 kaj I_2 estas jene skribita:

$$H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI \qquad 9\text{-}10$$

Ni notu, ke tio ne estas la unua fojo, kiam ekvilibra situacio estas renkontita en tiu ĉi teksto. Antaŭaj ekzemploj, kiuj temis pri fizikaj anstataŭ kemiaj procezoj estis: saturitaj solvaĵoj (Sekcio 8.2), vapor-premo (Sekcio 7.14) kaj osmoza premo (Sekcio 8.7). Ekvilibro estas ĝenerala kondiĉo kiu ekzistas ene de sistemo kemia aŭ fizika, kiam du kontraŭaj procezoj samrapide progresas.

9.5 POZICIO DE LA EKVILIBRO

pozicio de ekvilibro

La pozicio de la ekvilibro por reakcio indikas la relativan kvanton de la reakciantoj kaj de la produktoj ĉeestantaj je la ekvilibro.

Se la pozicio estas priskribita ekstreme al la dekstra flanko, ni celas diri, ke la koncentreco de la produktoj estas multe pli alta ol la koncentreco de la reakciantoj ĉe ekvilibro. La priskribo ekstreme al la maldekstra, havas ĝuste la malan signifon. La ekvilibro-pozicio estas kelkfoje esprimata per la longo de la sagoj, uzataj, en la ekvacio priskribanta la reakcion, kiel vi povas vidi en la ekzemplo 9-1.

Ekzemplo 9-1. En saturita solvaĵo, la solida solvezo estas en ekvilibro kun la solvita solvezo en la solvaĵo. Skribu ekvacion por prezenti

ekvilibron en saturita solvaĵo por ĉiu el jenaj solidoj. Indiku la ekvilibro-pozicion per la sago-longoj inter la reakciantoj kaj la produktoj.
a) $BaCO_3$ (nesolvebla) b) $CaSO_4$ (solvebleta) c) $AgNO_3$ (solveblega)

Solvo. a) Laŭ Tabelo 8-3, malpli ol 0,1 g de la solvezo klasita kiel nesolvebla solviĝas en 100 g da akvo. Tial, tre malmulte da $BaCO_3$ estos en la solvita formo kiel Ba^{2+} kaj CO_3^{2-} je la ekvilibro. Tio signifas, ke la ekvilibro-pozicio estos ekstreme maldekstre, indikate por longa sago montranta maldekstren:

$$BaCO_3 \rightleftharpoons Ba^{2+} + CO_3^{2-}$$

b) Solvebleta solvezo kiel $CaSO_4$ produktos pli da jonoj en solvaĵo ĉe ekvilibro ol la nesolvebla $BaCO_3$. La ekvilibra pozicio ankoraŭ troviĝos ĉe la maldekstra, sed ne tiom maldekstren:

$$CaSO_4 \rightleftharpoons Ca^{2+} + SO_4^{2-}$$

c) Solveblega solvezo altgrade solviĝos kaj donos ekvilibran pozicion ekstreme al la dekstra:

$$AgNO_3 \rightleftharpoons Ag^{+} + NO_3^{-}$$

Principe, ĉiu reakcio estas inversigebla. Sed kelkaj reakcioj estas priskribataj kiel neinversigeblaj, aŭ ke ili iras ĝis kompletiĝo.

neinversigebla reakcio

La ekvilibro-pozicio de neinversigebla reakcio troviĝas ĉe la ekstreme dekstra, favorante la produktojn.

El praktika vidpunkto, en ekvilibra miksaĵo de neinversigebla reakcio neniom de la reakciantoj plu enestas. Sed tamen tre etaj kvantoj da ili ĉeestas; ne ekzistas absolute neinversigebla reakcio. la bruligo de metano (CH_4), la ĉefa konsistaĵo de tergaso, estas ekzemplo de reakcio, kiu iras ĝis kompletiĝo:

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad 9\text{-}11$$

En reakcio de tia speco, la sago indikanta la inversan reakcion estas kutime ellasita.

9.6 PRINCIPO DE LE CHATELIER

Du faktoroj (inter pluraj), kiuj povas ŝanĝi la pozicion de estiĝinta ekvilibro, estas: ŝanĝoj en la koncentreco de unu reakcianto aŭ produkto,

kaj ŝanĝoj en la temperaturo. La influo de tiuj faktoroj povas esti antaŭdirata per la konstato, kiu estas konata kiel la principo de Le Chatelier /le-ŝatele/. Ĝi estas formulita de la franca kemiisto Henri Louis Le Chatelier en la jaro 1888. Jen la principo:

la principo de Le Chatelier

Se ŝanĝo estas farita en iu ajn faktoro de estiĝinta ekvilibro, la pozicio de la ekvilibro delokiĝos al tiu direkto, kiu kontraŭagos la ŝanĝon.

Ŝanĝoj de la Koncentreco

La efiko de ŝanĝoj de la koncentreco sur ekvilibran miksaĵon povas esti ilustrata per la reakcio de H_2 kaj I_2, kiu formas HI, kiel jam priskribite antaŭe (ekvacio 9-10):

$$H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$$

Ni supozu, ke pli da HI estas aldonata al la ekvilibra miksaĵo de H_2, I_2, kaj HI. Tiam la reakcio iros al la maldekstra, uzante iom de la aldonita HI kaj formante pliajn H_2 kaj I_2. Fine, nova ekvilibra pozicio estiĝos. Je tiu nova pozicio la HI-koncentreco estos ankoraŭ pli alta ol antaŭ la aldono. Sed la koncentrecoj de H_2 kaj I_2 ankaŭ estos pli altaj, kontraŭ-bilancante la pli grandan koncentrecon de HI. La aldono de H_2 aŭ de I_2 al la ekvilibra miksaĵo havos la malan efikon al tiu, kiun havos la aldono de HI. En tiaj kazoj, la reakcio delokiĝas dekstren, konsumante iom el la aldonita substanco.

La ekvilibra pozicio povas esti ankaŭ delokita per forpreno de unu el la substancoj. La forpreno de I_2 kaŭzos delokiĝon al la maldekstra; malkombiniĝas HI kaj formiĝas pli da I_2 (kaj ankaŭ pli da H_2).

Ŝanĝoj de la Temperaturo

Ni povas ankaŭ uzi la principon de Le Chatelier por antaŭdiri la influon de ŝanĝoj de la temperaturo sur ekvilibron. Ni konsideru jenan modelan ekzoterman reakcion:

$$A + B \rightleftharpoons \text{produktoj} + \text{varmo} \qquad 9\text{-}12$$

Oni povas konsideri, ke en tiu ĉi reakcio la varmo estas produkto. Se ni aldonas pli da varmo per plialtigo de la temperaturo, la ekvilibro delokiĝas maldekstren, provante foruzi la aldonitan varmon. En la nova ekvilibra pozicio la koncentrecoj de A kaj B estos pli altaj, dum la koncentrecoj de la produktoj estos pli malaltaj ol tiuj en la origina

ekvilibra miksaĵo.

Ĝenerale, se energio (varmo) estas aldonita al kemia sistemo kiu estas en ekvilibro, la sistemo delokiĝos tiel, ke ĝi foruzas (ensorbas) la energion. Do, ekzotermaj reakcioj ĉiam delokiĝos maldekstren, kiam varmo estas aldonita, kaj endotermaj reakcioj delokiĝos dekstren. Se la temperaturo de sistemo ĉe ekvilibro estas malaltigita (energio estas forprenita), la sistemo reakcios laŭ mala maniero; la ekvilibro delokiĝos en tiu direkto, kiu generos energion (varmon). En tiu ĉi kazo, ekzotermaj reakcioj moviĝas dekstren, kaj endotermaj moviĝas maldekstren.

Ekzemplo 9-2. Uzu la principon de Le Chatelier por respondi al la sekvantaj demandoj koncerne gasojn en tiu ĉi ekvilibra sistemo:

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + \text{varmo}$$

a) Kian efikon havos malvarmigo sur la ekvilibran miksaĵon?
b) Kian efikon havos la forpreno de H sur la ekvilibran sistemon?

Solvo. a) Malvarmigo forprenas varmon. Provante regajni la varmon, la ekvilibro delokiĝos dekstren, ĉar la reakcio al tiu direkto produktos varmon. Pli da NH_3 kaj malpli da N_2 kaj H_2 ĉeestos ĉe ekvilibro en pli malvarma miksaĵo.
b) La ekvilibro delokiĝos maldekstren, provante regajni tiun H_2, kiu estis forprenita. Ĉe la nova ekvilibra pozicio ĉeestos pli malmulte da NH_3 kaj pli multe da N_2.

La Aldono de Katalizenzoj

Ili ne povas ŝanĝi la pozicion de ekvilibro. Tiu ĉi fakto evidentiĝas, se ni memoras, ke katalizenzo funkcias per malaltigo de la aktiviga energio de ia reakcio. Ĉar katalizenzo akcelas kaj la antaŭen- kaj la malantaŭen-reakciojn, ĝi havas sekve nenian efikon sur la pozicion de la ekvilibro. Sed pli malaltigita aktiviga energio permesas ekvilibron estiĝi pli rapide ol se katalizenzo ne ĉeestas.

EKZERCOJ

Spontaneaj kaj Nespontaneaj Ŝanĝoj

1. Klasu jenajn procedojn kaj procezojn laŭ spontaneaj aŭ nespontaneaj:
   a) Se elektro estas pasigata tra likvaĵo, akvo malkombiniĝas, formante hidrogenon kaj oksigenon.
   b) Knalas eksplodaĵo kiam ŝtonego falas sur ĝin.

ç) Sur pura peco de magnezio formiĝas tegaĵo de magnezia oksido.
ĉ) Lum-ampolo elsendas lumon, kiam elektra kurento fluas tra ĝi.

2. Klasu jenajn procedojn kaj procezojn laŭ ekzergonaj aŭ endergonaj:

a) Brulas substanco.
b) Transpiraĵo vaporiĝas de sur la haŭto.
c) Fandiĝinta plumbo solidiĝas.
ĉ) Knalas eksplodaĵo.
d) Aŭtomobilo estas puŝata supren laŭ dekliveto.

3. Selektu la ekzemplon kun la plej alta entropio el jenaj grupoj:

a) glacio, likva akvo, vaporo
b) folioj sur arbo, falintaj folioj sur la tero, falintaj folioj rastitaj kaj kolektitaj en korbon
c) stako da paper-folioj, paperkorbo enhavanta paper-foliojn, paperkorbo enhavanta ŝiritajn paper-foliojn

4. Konsideru jenajn kombinojn de ŝanĝoj de energio kaj entropio por hipotezaj reakcioj. Kiuj reakcioj estos nepre spontaneaj? Kiuj inter ili nepre ne estos spontaneaj? Kiuj eble estas spontaneaj?

a) la entropio pliiĝas kaj la energio malpliiĝas.
b) la entropio pliiĝas kaj la energio pliiĝas.
c) la entropio malpliiĝas kaj la energio malpliiĝas.
ĉ) la entropio malpliiĝas kaj la energio pliiĝas.

5. Klasu ĉiun el la <u>spontaneaj</u> ŝanĝiĝoj laŭ unu el la kategorioj (a), (b), (c) aŭ (ĉ), menciitaj en Ekzerco 4.

a) Karbona dioksido ŝanĝiĝas senpere de solido en gason.
b) Peco da karbo brulas formante gasan CO_2 kaj akvo-vaporon.
c) Akvo-vaporo kondensiĝas kaj formas akvo-gutojn, kiam falas la temperaturo.

<u>Rapidoj de Reakcioj</u>

6. Priskribu kiel la rapido de reakcio povas esti determinata.
7. Kio estas la teorio pri kolizioj, kaj kiuj estas la tri postulatoj?
8. Kio montras, ke ne ĉiuj molekulaj kolizioj rezultigas reakcion?
9. Kio estas aktiviga energio?
10. Listigu kvar faktorojn, kiuj influas la reakci-rapidojn.
11. Je ĉambra temperaturo lakto acidiĝas en kelkaj tagoj, sed se ĝi estas konservata je malvarma temperaturo ĝi restas dolĉa du semajnojn. Kial?
12. Se la aktiviga energio por tri hipotezaj reakcioj estas: 7 kkal. (kilokalorioj), 10 kkal. kaj 13 kkal.; kiu el tiuj reakcioj okazus plej rapide je 25°C? Klarigu kiel vi elektis vian respondon.

<u>Kemia Ekvilibro kaj la Principo de Le Chatelier</u>

13. Kiu kondiĉo devas esti obeata por ke kemia sistemo estu en ekvilibro?
14. La koncentrecoj de ĉiuj konsistigantoj en ekvilibra miksaĵo estas nepre konstantaj dum tempo; tamen reakcioj povas okazi. Klarigu, kiel tio

povas esti.

15. Kion signifas la frazo: la pozicio de ekvilibro?
16. Se oni diras: "la pozicio de la ekvilibro delokiĝas dekstren", kion oni celas diri per tio?
17. Kiuj metodoj povas esti uzataj por ŝanĝi la pozicion de ia ekvilibro?
18. Antaŭdiru la efikon sur la pozicion de la ekvilibro (delokiĝoj dekstren, delokiĝoj maldekstren, aŭ nenia efiko), kiam la temperaturo estas plialtigita en ĉiu el jenaj reakcioj:

    a) $2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{2(g)} + 567{,}8$ kkal

    b) $2NO_{(g)} \rightleftharpoons N_{2(g)} + O_{2(g)} + 181{,}4$ kkal

    c) $2NO_{2(g)} + 68{,}0$ kkal $\rightleftharpoons N_{2(g)} + 2O_{2(g)}$

19. Konsideru jenan kemian sistemon ĉe ekvilibro:

$$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} + \text{varmo} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$$

Por ĉiu el jenaj ŝanĝoj de la kondiĉoj, indiku la efikon sur la pozicion de la ekvilibro:

a) Varmigu la ekvilibran miksaĵon.
b) Aldonu CO al la ekvilibra miksaĵo.
c) Aldonu H_2 al la ekvilibra miksaĵo.
ĉ) Forprenu CO_2 el la ekvilibra miksaĵo.
d) Aldonu katalizenzon al la ekvilibra miksaĵo.

10 ACIDOJ, BAZOJ, KAJ SALOJ

CELOJ

10.1 Priskribi kaj rekoni acidojn kaj bazojn, uzante (1) la Koncepton de Arrhenius, kaj (2) la koncepton de Brønsted-Lowry.

10.2 Meti diferencon inter fortaj kaj malfortaj acidoj kaj bazoj (laŭ Arrhenius), kaj doni ekzemplojn de ili.

10.3 Diferencigi inter unu-, du- kaj tri-protonaj acidoj, kaj doni ekzemplojn de ili. Skribi ekvaciojn prezentantajn la po-paŝan disociiĝon de du- kaj tri-protonaj acidoj.

10.4 Rekoni kombinaĵojn de la klaso saloj.

10.5 Distingi inter fortaj kaj malfortaj elektrolitoj.

10.6 Scii la regulojn pri formuloj skribitaj en molekula aŭ jona maniero en jonaj ekvacioj. Ŝanĝi molekulajn ekvaciojn en net-jonajn ekvaciojn.

10.7 Klarigi la procedon de neŭtrigo. Skribi molekulajn kaj net-jonajn ekvaciojn por la neŭtrigaj reakcioj inter acidoj kaj bazoj (fortaj kaj malfortaj).

10.8 Scii la valoron de $[H^+]$ kaj $[OH^-]$ en pura akvo. Se $[H^+]$ kaj $[OH^-]$ estas konataj, decidi, ĉu la solvaĵo estas acida, baza aŭ neŭtra. Kalkuli $[OH^-]$, se H^+ estas konata, kaj inverse.

10.9 Kalkuli la pH-on de la solvaĵo, se la $[H^+]$ aŭ la $[OH^-]$ estas konata. Se la pH de la solvaĵo estas konata, decidi ĉu la solvaĵo estas acida, baza, aŭ neŭtra.

10.10 Kompreni la paŝojn en la titrado de acido aŭ bazo.

10.11 Esprimi la koncentrecon de la solvaĵo de acido aŭ bazo kiel ĝian normalecon. Se la volumeno de acida aŭ baza solvaĵo estas konata, kaj ankaŭ la volumeno kaj la koncentreco de la dua (baza aŭ acida) solvaĵo, kiu estas uzata por titri la unuan, kalkuli la koncentrecon de la unua solvaĵo.

10.12 Klarigi la hidrolizon de saloj, kaj skribi ekvaciojn, kiuj donas klarigan ekzemplon de tia hidrolizo. Antaŭdiri la efikon de la

hidrolizo de donita salo sur la pH. Kompreni kiel hidrolizo influas la pH-on de sango-plasmo.

10.13 Kompreni kiel bufra sistemo rezistas ŝanĝojn de pH. Rekoni la gravecon de bufroj en biologiaj sistemoj.

Acidoj, bazoj, kaj saloj rangas inter la plej ordinaraj kaj plej gravaj kombinaĵoj, kiujn ni konas. Kiel akvaj solvaĵoj tiuj kombinaĵoj estas ĉef-aĵoj kaj en biologiaj sistemoj kaj en la kemia industrio. Ĝis la lasta parto de la 19-a jarcento tiuj ĉi kombinaĵoj estis karakterizitaj laŭ kelkaj kvalitoj, kiel iliaj gustoj aŭ la ŝanĝo de iliaj koloroj elvokita en specifaj kolorenzoj. Acidoj gustas acide, bazoj amare, kaj saloj sale. Krome, acidoj povas ruĝigi lakmuson (lakmuso estas natura vegetaĵa kolorenzoj akirebla el likenoj), kaj ili reakcias kun diversaj metaloj, liberigante hidrogenon kaj solvante la metalon. Aliflanke, bazoj igas lakmuson blua, kaj ili laŭ la tuŝo estas iom glitaj. Hodiaŭ ni havas pli precizajn metodojn por distingi inter acidoj, bazoj, kaj saloj, kaj ni uzos tiujn metodojn por pristudi iliajn karakterizaĵojn.

10.1 DIFINOJ DE ACIDOJ KAJ BAZOJ

Nun pluraj difinoj por acidoj kaj bazoj estas uzataj. Ni konsideros du el ili: tiujn de Arrhenius kaj de Brønsted-Lowry.

Difinoj laŭ Arrhenius

En 1887 la sveda kemiisto Svante Arrhenius /arenius/ formulis difinon por acidoj kaj bazoj laŭ la specoj kiujn ili formas ĉe solviĝo en akvo.

acido de Arrhenius; bazo de Arrhenius

Acidoj de Arrhenius estas substancoj kiuj solviĝas en akvo, produktante hidrogen-jonojn (H^+). Bazoj de Arrhenius estas substancoj kiuj solviĝas en akvo, produktante hidroksid-jonojn (OH^-).

Hidrogena klorido (HCl) kaj natria hidroksido (NaOH) estas respektive ekzemploj de acido de Arrhenius kaj bazo de Arrhenius. Ili joniĝas en akvo jene:

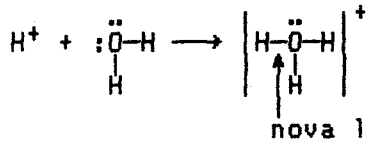
$$HCl \xrightarrow{H_2O} H^+ + Cl^- \qquad 10\text{-}1$$

$$NaOH \xrightarrow{H_2O} Na^+ + OH^- \qquad 10\text{-}2$$

Tial, laŭ Arrhenius la specifaj ecoj de acidoj kaj bazoj, kiel ilia konduto rilate lakmuson, rezultas el la ĉeesto de jonoj H^+ kaj OH^- respektive.

Kvankam oni nun konsideros ilin sufiĉaj, almenaŭ sur fundamenta nivelo, la difinoj laŭ Arrhenius havas du malavantaĝojn: (1) ili taŭgas sole por akvaj solvaĵoj, kaj (2) la identeco de la acido en akvaj solvaĵoj estas

trosimpligita. Pri ĉi-lasta punkto ni devas diri, ke "liberaj" hidrogen-jonoj (H^+) ne povas ekzisti en akvo -- fakto, kiun ne sciis Arrhenius. Hidrogena atomo, kiu konsistas el unu protono kaj unu elektrono, perdinte unu elektronon (pro joniĝo), iĝas nura nukleo -- en tiu ĉi kazo do unu protono. La altira povo inter tiu ĉi nuda protono kaj polusa akvo-molekulo estas sufiĉe forta por unuigi la hidrogenan jonon kun la akvomolekulo, formante hidronian jonon (H_3O^+). (Por klare apartigi la jonojn, ni resumu: hidrogena jono estas H^+, hidroksida jono estas OH^-, kaj hidronia jono estas H_3O^+.)



10-3

La ligo, kiu ligas la protonon al la akvo estas kunordiĝa kovalenta ligo (vidu Sekcion 6.6), ĉar ambaŭ elektronoj devenas de la oksigena atomo.

La difino laŭ Arrhenius taŭgas por la plimulto de niaj diskutoj koncerne la interagon de acidoj kaj bazoj, ĉar ni pritraktos ĉefe akvajn solvaĵojn. Sed okaze estos avantaĝe esprimi la acido-bazan kemion laŭ la alternativaj difinoj de Brønsted-Lowry.

Difinoj laŭ Brønsted-Lowry

En 1923, J.N. Brønsted /brensted/, dana sciencisto, kaj T.M. Lowry /laŭri/, brita sciencisto, proponis -- sendepende unu de la alia -- preskaŭ samtempe koncepton pri acidoj kaj bazoj, kiu etendis la ideojn de Arrhenius. Ilia difino de acidoj kaj bazoj dependas de tio, kiamaniere tiuj du grupoj da substancoj reakcias unu kun la alia.

acid-baza reakcio

Acid-baza reakcio estas difinita kiel reakcio dum kiu protono transiĝas de unu speco al alia.

acido de Brønsted-Lowry; bazo de Brønsted-Lowry

Acido de Brønsted-Lowry estas tiel proton-donanto kaj bazo de Brønsted-Lowry estas proton-akceptanto.

Tiuj difinoj (1) pligrandigas la nombron da substancoj, kiuj povas esti konsideritaj acidoj kaj bazoj, (2) ne limiĝas al akvaj solvaĵoj kaj (3) klarigas la fakton, ke la acida speco en akvaj solvaĵoj estas la hidronia jono.

Ni refoje rigardu la reakcion inter hidrogena klorido kaj akvo por ilustri tiujn difinojn:

$$HCl_{(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(akv)} + Cl^-_{(akv)} \qquad 10\text{-}4$$

HCl molekulo agas kiel acido de Brønsted-Lowry, donante unu protonon al la akva molekulo. Vi vidas, ke rezultas hidronia jono. En tiu ĉi reakcio akvo estas la bazo, ĉar ĝi akceptas protonon; hidroksido ne ludas rolon. La difino laŭ Brønsted-Lowry de bazo ampleksas iun ajn substancon, kiu kapablas akcepti protonon, inkluzive de hidroksid-jonoj.

Ĉiuj acidoj de Arrhenius estas acidoj de Brønsted-Lowry, kaj ĉiuj bazoj de Arrhenius estas bazoj de Brønsted-Lowry. Sed la malo de tiu ĉi aserto ne estas vera. La teorio de Brønsted-Lowry inkludas la teorion de Arrhenius, sed ankaŭ multe pli.

10.2 FORTOJ DE ACIDOJ KAJ BAZOJ

Laŭ difino de Arrhenius, acidoj kaj bazoj estas klaseblaj kiel <u>fortaj</u> aŭ <u>malfortaj</u>, depende de la procento de la acidaj aŭ bazaj molekuloj kiuj disociiĝas kiam ili solviĝas en la akvo. En la kazo de malfortaj acidoj kaj malfortaj bazoj, nur malgranda parto de la solvezo disociiĝas en jonojn. La restaĵo de la solvezo restas en la formo de molekuloj (ne-disociitaj).

Ekzistas nur malmultaj fortaj acidoj kaj bazoj. La tri plej komun-uzaj fortaj acidoj estas sulfata acido (H_2SO_4), nitrata acido (HNO_3), kaj klorida acido (HCl). Natria hidroksido (NaOH) kaj kalia hidroksido (KOH) estas la plej konataj ekzemploj de fortaj bazoj. Konataj malfortaj acidoj inkludas acetan acidon ($HC_2H_3O_2$), la acida ingredienco de vinagro, boratan acido (H_3BO_3), ofta ingredienco de okul-akvo (kolirioj), kaj karbonatan acidon (H_2CO_3), kiun vi trovas en "karbonataj" trinkaĵoj.

Malfortaj bazoj ne estas tiel ĝenerale konataj kiel malfortaj acidoj. Nur unu komun-uza malforta bazo ekzistas, nome akva amoniako. Ĝi formiĝas per solvado de amoniaka gaso en akvo. La amoniako reakcias kun la akvo por naski malgrandan nombron da hidroksid-jonoj:

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^- \qquad 10\text{-}5$$

Akva solvaĵo de amoniako estas ofte konsiderata (iom erare) kiel amonia hidroksido. Estas preferinde nomi ĝin "akva amoniako", ĉar la plimulto de la NH_3 estas en molekula formo. Nur tre malmultaj NH_3-molekuloj

reakcias kun la akvo por produkti amoniajn (NH_4^+) kaj hidroksidajn (OH^-) jonojn.

Tabelo 10-1 montras la disociiĝon de kelkaj fortaj kaj malfortaj acidoj laŭ procentoj. Observu la vastan diferencon inter la valoroj -- de 92% ĝis 0,01%. Estas nur pro ĝia minimuma disociiĝo (0,01%) ke borata acido povas esti uzata en kolirioj. Eĉ etaj kvantoj de forta acido kaŭzas egan difekton al la histo de la okulo.

Tabelo 10-1. Procenta disociiĝo de fortaj kaj malfortaj acidoj**

Nomo*	Formulo*	% Disociiĝo*	Klasifiko*
Klorida acido	HCl	92%	forta
Bromida acido	HBr	92%	forta
Nitrata acido	HNO_3	92%	forta
Sulfata acido	H_2SO_4	61%	forta
Fosfata acido	H_3PO_4	27%	mez-forta
Sulfita acido	H_2SO_3	20%	mez-forta
Nitrita acido	HNO_2	1,5%	malforta
Aceta acido	$HC_2H_3O_2$	1,3%	malforta
Karbonata acido	H_2CO_3	0,2%	malforta
Borata acido	H_3BO_3	0,01%	malforta

*Surbaze de 0,1 M solvaĵoj je 25°C

**Kvankam oni ne traktas la nomadon de acidoj en tiu ĉi libro, observablas la uzado de la sufiksoj -at-, -it-, kaj -id- por neorganikaj acidoj. Ekzistas propono de M.T. Popov (El Popola Ĉinio, No. 6, 1983, p. 18) anstataŭigi ilin per -ac-, -ic-, kaj -hidrac- respektive. Jen ekzemploj de la nova sistemo, kun nun-uzataj nomoj en krampoj: sulfaco (sulfata acido); natrico (natrita acido); klorhidraco (klorida acido). Notu, ke la vorto "acido" forfalis el la novaj nomoj.

Estas grave memori, ke la esprimoj malforta kaj forta rilatas la grado de disociiĝo kaj ne la koncentreco de la acido aŭ bazo. Ekzemple, stomaka suko estas dilua (ne malforta) solvaĵo -- nome 5% laŭmase -- de la forta acido (HCl). Oni konsideras 35%-an (laŭmase) solvaĵon de HCl koncentrita solvaĵo de forta acido.

10.3 POLIPROTONAJ ACIDOJ

Acidoj povas esti klasitaj laŭ la nombro da hidrogenaj jonoj kiujn ĉiu molekulo fordonas.

unu-, du-, kaj tri-protonaj acidoj

Acidoj, kiuj fordonas unu hidrogen-jonon (protonon) je molekulo, nomiĝas unu-protonaj; tiuj fordonantaj du estas du-protonaj, kaj tiuj fordonantaj tri estas tri-protonaj.

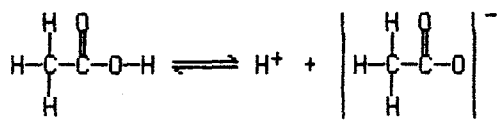
Ekzemple: HCl estas unu-protona acido, H_2SO_4 estas du-protona, kaj H_3PO_4 estas tri-protona. Du-protonaj kaj tri-protonaj acidoj disociiĝas po-paŝe, kiel montrate ĉi tie por H_2SO_4:

$$H_2SO_4 \rightleftharpoons H^+ + HSO_4^- \qquad 10\text{-}6$$

$$HSO_4^- \rightleftharpoons H^+ + SO_4^{2-} \qquad 10\text{-}7$$

La dua protono ne estas tiel facile forprenita kiel la unua, ĉar ĝi devas esti fortirita disde negative ŝarĝita ereto, HSO_4^-. Sekve, HSO_4^- estas pli malforta acido ol H_2SO_4. Ĝenerale, ĉiu sekvanta paŝo en la joniĝo de acido okazas je malplia grado ol la antaŭa paŝo.

Ni ne povas ĉiam antaŭdiri la nombron de jonigeblaj hidrogenoj per la formulo de acido. Ekzemple, aceta acido, kiu havas la formulon $C_2H_4O_2$, estas unu-protona, kvankam ĝi havas 4 hidrogenojn. La disociiĝon de aceta acido montras ekvacio 10-8. Strukturaj formuloj estas uzataj por substreki la fakton ke estas ne-joniĝantaj hidrogenatomoj en la molekulo.



10-8

Sole la hidrogeno ligita al la oksigeno estas jonigebla. Tiuj, kiuj estas ligitaj al karbonatomoj, estas tenataj tiom firme, ke ili ne povas foriĝi. Tio, ke la hidrogeno forlasas la oksigenon, sed ne la karbonon, rilatas al la diferencoj en la elektro-negativeco kaj la poluseco de la ligoj (Sekcio 6.7). Ligoj inter karbono kaj hidrogeno estas esence nepolusaj, dum oksigen-hidrogen-ligoj estas tre polusaj. Akvo, kiu estas polusa solvezo, povas forte influi la polusan ligon inter oksigeno kaj hidrogeno.

La formulo por aceta acido estas kutime skribata $HC_2H_3O_2$ (aŭ CH_3COOH) prefere al $C_2H_4O_2$. En situacioj, kiam kelkaj hidrogenoj estas facile forigeblaj sed ne aliaj, estas akceptita kutimo skribi la acidajn hidrogenojn unualoke en la formulo, aparte de la aliaj hidrogenoj. Citra acido, la ĉef-acido de citrusaj fruktoj, estas ekzemplo de acido, kiu enhavas acidajn kaj ne-acidajn hidrogenojn. Ĝia formulo $H_3C_6H_5O_7$ montras ke 3 el la 8 hidrogenoj estas acidaj.

En la ĵusa teksto acidoj estis la fokuso de nia diskuto. Ni notu, ke molekuloj de bazoj de Arrhenius simile povas liveri pli ol unu hidroksidan jonon. Ekzemple kalcia hidroksido, $Ca(OH)_2$, estas bazo kiu naskas po du hidroksidojn por ĉiu molekulo.

10.4 SALOJ

saloj

Saloj estas jonaj kombinaĵoj, kiuj posedas ajnan negativan jonon krom hidroksida jono, kaj ajnan pozitivan jonon krom hidrogena jono.

Multaj saloj troviĝas en la naturo, kaj miriadoj da aliaj estis preparitaj en la laboratorio. Natria klorido (NaCl), kuir-salo aŭ tabla salo, estas verŝajne la plej konata el ĉiuj saloj. Sed kiam ni uzas la terminon salo, ni devas pensi en ĝenerala maniero, kaj ne uzi ĝin sole por NaCl. Tabelo 10-2 enhavas liston de elektitaj saloj, kiuj trovas medicinajn uzojn.

Tabelo 10-2. Kelkaj ordinaraj saloj kaj ties specifaj uzoj en medicino

Nomo	Formulo	Uzoj
Amonia klorido	NH_4Cl	Diureziga substanco
Baria sulfato	$BaSO_4$	X-radia ekzameno de la stomako kaj intesta kanalo
Fera (II) sulfato	$FeSO_4$	Kuracado de anemio
Hidrarga (I) klorido	Hg_2Cl_2	Laksiga kaj diureziga medikamento
Kalia bromido	KBr	Kvietigenzo
Kalia jodido	KI	Ekspektorigenzo
Arĝenta nitrato	$AgNO_3$	Mikrobiocido kaj adstringenzo
Natria hidrokarbonato	$NaHCO_3$	Agas kontraŭ stomak-acido
Natria klorido	NaCl	Fiziologia sal-solvaĵo por irigacio kaj por intravejna anstataŭigo de fluidoj
Natria hipoklorito	NaClO	Por tralavi vundojn
Stana (II) fluorido	SnF_2	Por redukti dentan karion

En antaŭaj ĉapitroj ni priparolis salojn. La jon-liga modelo (Sekcio 6.4) enkalkulas materialon pri la skribado de formuloj kaj la nomenklaturon por jonaj kombinaĵoj, la plejmulto el kiuj estas saloj. Multaj saloj enhavas poliatomajn jonojn kiel nitratojn, sulfatojn kaj aliajn. Tiaj jonoj estis pridiskutataj en Sekcio 6.9. La solveblo de jonaj kombinaĵoj (saloj) en akvo estis la temo de Seckio 8.3.

Saloj en solvaĵo disociiĝas en jonojn (Sekcio 8.4). Eĉ se la solveblo de salo estas nur tre malgranda, la malgranda parto kiu solviĝas suferas plenan disocion. Tial la terminoj malforta kaj forta, kiuj estas uzataj por esprimi kvalitece la procentan disociiĝon de acidoj kaj bazoj, ne povas esti uzataj por saloj. Malforta salo do ne ekzistas.

10.5 ELEKTROLITOJ

Akvaj solvaĵoj enhavantaj jonojn estas bonaj konduktantoj de elektra kurento. Ĝenerale, ju pli granda estas la nombro da jonoj, des pli bone la solvaĵo konduktas elektran kurenton.

elektrolito; neelektrolito

Substancoj, kiuj formas akvajn solvaĵojn konduktantajn elektron, nomiĝas elektrolitoj; tiuj, kiuj ne faras tion, nomiĝas neelektrolitoj.

Acidoj, bazoj kaj saloj havas la komunan kvaliton, ke ili ĉiuj estas elektrolitoj, ĉar ĉiuj tri produktas jonojn en akva solvaĵo.

Elektrolitoj estas divideblaj en du grupojn:

fortaj kaj malfortaj elektrolitoj

Fortaj elektrolitoj plene disociiĝas en jonojn en akva solvaĵo ĉe koncentrecoj ĉirkaŭ 1M; malfortaj elektrolitoj nur parte disociiĝas en jonojn ĉe proksimume la sama koncentreco.

Kvankam malfortaj elektrolitoj plialtigas la konduktivon de akvo, tiu plialtigo estas multe pli malgranda ol tiu de fortaj elektrolitoj.

Ĉiuj fortaj acidoj kaj bazoj kaj ĉiuj solveblaj saloj estas fortaj elektrolitoj. Malfortaj acidoj, malfortaj bazoj, kaj nur ete solveblaj saloj formas malfortajn elektrolitojn. Molekulaj substancoj, kiel sukero kaj alkoholo, kiuj ne estas acidoj, bazoj aŭ saloj estas neelektrolitoj. Neelektrolitoj ne donas jonojn en solvaĵo.

La fakto, ke la ĉeesto de jonoj igas la likvon kondukti elektron, havas ege gravan biologian signifon. Ekzemple, komunikaĵoj al kaj de la cerbo estas sendataj en formo de elektraj signaloj. En fluidoj intra-ĉelaj kaj inter-ĉelaj, jonoj estas ofte la portantoj de tiuj signaloj. La ĉeesto de elektrolitoj estas nepro necesa por la bona funkciado de la homa korpo.

10.6 NET-JONAJ EKVACIOJ

Estas treege utile studi kemiajn reakciojn de acidoj, bazoj kaj saloj en akva solvaĵo el rilato al la jonoj ĉeestantaj. Por fari tion, la kemiisto uzas la net-jonan ekvacion.

net-jona ekvacio

Net-jona ekvacio estas tiu, kiu specifas nur la kemiajn specojn uzitajn kaj la specojn formitajn en kemia reakcio.

Ekzemple, solvaĵo de la salo arĝenta nitrato, se aldonita al solvaĵo de la salo natria klorido, rezultas en la formiĝo de nesolvebla arĝenta klorido. La resuma molekula ekvacio por tiu ĉi reakcio estas:

$$AgNO_{3(akv)} + NaCl_{(akv)} \longrightarrow AgCl_{(s)} + NaNO_{3(akv)} \qquad 10\text{-}9$$

Tri el la kvar substancoj partoprenantaj en reakcio 10-9 -- arĝenta nitrato, nitrata klorido, kaj natria nitrato -- estas solveblaj saloj kaj tial ekzistas en la solvaĵo kiel jonoj. Tion oni povas montri skribe per jena ekvacio, kiu nomiĝas plena jona ekvacio:

$$Ag^+ + NO_3^- + Na^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl + Na^+ + NO_3^- \qquad 10\text{-}10$$

Tiu ĉi formo de la ekvacio montras, ke la natriaj jonoj (Na^+) kaj la nitrataj jonoj (NO_3^-) ne sanĝiĝis kemie dum la reakcio.

spektantaj jonoj

Tiaj ne-partoprenantaj jonoj nomiĝas spektantaj jonoj (apud-starantaj jonoj).

Ni povas do koncentri nian atenton al la efektiva reakcio kiu okazas, nuligante ĉiujn "spektantajn jonojn" el ekvacio 10-10, kaj skribante jenan net-jonan ekvacion:

$$Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl \qquad 10\text{-}11$$

La net-jona ekvacio montras, ke arĝenta klorido formiĝas per la reakcio inter la arĝentaj jonoj kaj la kloridaj jonoj. Oni diras nenion pri la ĉeesto aŭ la sorto de la spektantaj jonoj, natrio kaj nitrato, kiuj ankaŭ enestas en la reakcia miksaĵo.

Estas facile ŝanĝi ekvaciojn skribitajn en molekula maniero en net-jonajn ekvaciojn, se oni obeas jenajn regulojn:

1. Solveblaj kombinaĵoj, kiuj plene disociiĝas en akva solvaĵo, estu

skribataj en jona formo. Tiuj inkludas:

a) ĉiujn solveblajn salojn--rigardu Tabelon 8-4 pri la reguloj de solveblo

b) ĉiujn fortajn acidojn--H_2SO_4, HNO_3, HCl, HBr, HI, $HClO_4$, $HClO_3$

c) ĉiujn fortajn bazojn--la hidroksidoj de la grupo IA (Li, Na, K, Rb, Cs) plus $Ba(OH)_2$ kaj $Sr(OH)_2$

2. Solveblaj malfortaj acidoj kaj bazoj estu skribataj en molekula formo, ĉar ili disociiĝas neplene en solvaĵo kaj tiele ekzistas plejparte en la nedisociiĝinta formo. Jen estas acidoj kaj bazoj konsiderataj malfortaj:

a) ĉiuj acidoj ne nomataj fortaj acidoj en Regulo 1; ordinaraj ekzemploj estas: HNO_2, H_2SO_4, HF, H_2S, $HC_2H_3O_2$, H_2CO_3 kaj H_3PO_4. (Atentu, ke H_2SO_3 kaj H_2PO_4, kiujn oni signas iom fortaj en Tabelo 10-1, estas konsiderataj malfortaj acidoj kiam oni skribas net-jonajn ekvaciojn.)

b) ĉiuj bazoj ne listigitaj kiel fortaj bazoj en Regulo 1; akva amoniako (NH_3) estas la plej komun-uza malforta bazo.

3. Ĉiuj nesolveblaj substancoj (solidoj, likvoj kaj gasoj), ĉu jonaj aŭ kovalentaj, ekzistas kiel molekulaj aŭ kiel neŭtraj jonaj unuoj, kaj tiamaniere estu skribataj.

4. Ĉiuj solveblaj kovalentaj substancoj--ekzemple, sukero--estu skribataj en molekula formo.

5. Akvo, la solvenzo, estu skribata en la molekula formo, se ĝi ĉeestas en la molekula ekvacio.

Ekzemplo 10-1. Skribu la net-jonan ekvacion por jena reakcio:

$$2\,HCl_{(akv)} + Na_2CO_{3(akv)} \longrightarrow 2\,NaCl_{(akv)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

Solvo. Regulo 1 postulas, ke HCl (forta acido) kaj Na_2CO_3 kaj NaCl estu skribitaj en jona formo. Regulo 3 postulas, ke CO_2, gaso, restu en la molekula formo. Akvo (H_2O) ankaŭ restas en la molekula formo (Regulo 5). Do skribu:

$$2H^+ + 2Cl^- + 2Na^+ + CO_3^{2-} \longrightarrow 2Na^+ + 2Cl^- + CO_2 + H_2O$$

Atentu ke la disociiĝo de 2 HCl molekuloj rezultigas la formiĝon de 2 jonoj H^+ kaj 2 jonoj Cl^-, kaj ke 1 $NaCO_3$-unuo disociiĝas en 3 jonojn--2 jonojn Na^+ kaj 1 jonon CO_3^{2-}. Se vi rigardas la supran plenan jonan ekvacion, vi ekscias, ke kaj natriaj jonoj kaj kloridaj jonoj estas spektantaj. La nuligo de tiuj jonoj rezultigas la jenan jonan ekvacion:

$$2H^+ + CO_3^{2-} \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

Ĝuste skribitaj net-jonaj ekvacioj devas esti laŭ-atome bilancitaj same kiel molekulaj ekvacioj (Sekcio 4.1). Krome, net-jonaj ekvacioj devas esti bilancitaj laŭ la ŝargo, ĉar ili enhavas ŝargitajn specojn. La nombro da ŝargoj devas esti la sama en ambaŭ flankoj de la ekvacio. En la supra ekvacio la ŝargo en ambaŭ flankoj sumiĝas al 0. La maldekstra flanko enhavas 2 pozitivajn ŝargojn (la hidrogenajn jonojn) kaj 2 negativajn ŝargojn (el la duoble ŝargita karbonata jono), kiuj sumiĝas al 0. La dekstra flanko ankaŭ montras ŝargon de 0, ĉar neniu el la rezultintaj produktoj estas ŝargita. La ŝargon en ĉiu flanko de net-jona ekvacio ne ĉiam sumiĝas al nulo, kiel en tiu ĉi ekzemplo. Sed la ŝargo devas esti la sama en ambaŭ flankoj, ĉu ĝi estas nulo aŭ iu pozitiva aŭ negativa numero.

Ekzemplo 10-2. Skribu la net-jonan ekvacion por jena reakcio:

$$3\ H_2S_{(g)} + 2\ BiCl_{3(akv)} \longrightarrow Bi_2S_{3(s)} + 6\ HCl_{(akv)}$$

Solvo. Tial ke H_2S estas gaso (en molekula formo), Bi_2Cl_3 estas solvebla salo (en jona formo), HCl estas forta acido (en jona formo) kaj Bi_2S_3 estas nesolvebla salo (en molekula formo), ni uzu la regulojn por akiri:

$$3H_2S + 2Bi^{3+} + 6Cl^- \longrightarrow Bi_2S_3 + 6H^+ + 6Cl^-$$

Ĉar la jonoj Cl^- aperas en ambaŭ flankoj, ili sin nuligas. Tial la net-ekvacio estas:

$$3H_2S + 2Bi^{3+} \longrightarrow Bi_2S_3 + 6H^+$$

En tiu ĉi kazo la ŝargo de 6 en ambaŭ flankoj bilanciĝas. Se la molekula ekvacio, el kiu oni akiris net-jonan ekvacion, estas dekomence bilancita (kiel en Ekzemploj 10-1 kaj 10-2), la net-jona ekvacio aŭtomate bilanciĝos se oni sekvis la regulojn.

10.7 NEŬTRIGO

Unu el la plej gravaj tipoj de reakcioj estas la neŭtrigo.

neŭtrigo

Dum la neŭtriga reakcio, acido kaj bazo unuiĝas formante salon kaj akvon.

La jonoj H^+ de la acido unuiĝas kun la jonoj OH^- de la bazo formante la akvon. La salo formita enhavas la negativan jonon de la acido kaj la

pozitivan jonon de la bazo. La acidaj kaj la bazaj ecoj de la originaj reakciantoj malaperas; tiu ĉi reakcio sekve nomiĝas neŭtrigo.

Kiam ajn acido plene reakcias kun bazo, okazas neŭtrigo. Ne gravas, ĉu la acido kaj la bazo estas fortaj aŭ malfortaj. Natria hidroksido (forta bazo) kaj nitrata acido jene reakcias:

Molekula ekvacio: $HNO_3 + NaOH \longrightarrow H_2O + NaNO_3$ 10-12

Net-jona ekvacio: $H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$ 10-13

Ni menciu, ke la net-jona ekvacio por neŭtrigo ne ĉiam estas tia, kia estas ekvacio 10-13. Tiu ĉi simpla ekvacio rezultas nur kiam ambaŭ, la acido kaj la bazo, estas fortaj. Konsideru la neŭtrigon de HCN (malforta acido) pere de KOH (forta bazo):

Molekula ekvacio: $HCN + KOH \longrightarrow H_2O + KCN$ 10-14

Net-jona ekvacio: $HCN + OH^- \longrightarrow H_2O + CN^-$ 10-15

La HCN devas esti skribita en la molekula formo, ĉar ĝi estas malforta acido. Nur la jonoj de K^+ nuliĝas kiam oni skribas la net-jonan ekvacion.

10.8 DISOCIIĜO EN PURA AKVO

Dum ni ĝenerale konsideras, ke akvo estas kovalenta substanco, kiu ne joniĝas, eksperimentoj montras, ke fakte <u>treege malgranda</u> procento de la akvomolekuloj en pura akvo disociiĝas kaj formas jonojn. Ni povas imagi, ke en tiu ĉi reakcio unu protono de unu akvo-molekulo estas transdonita al alia molekulo (teorio de Brønsted-Lowry):

$$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^- \qquad 10\text{-}16$$

aŭ simple ke unu sola akvo-molekulo disociiĝas (teorio de Arrhenius):

$$HOH \rightleftharpoons H^+ + OH^- \qquad 10\text{-}17$$

Laŭ ambaŭ vidpunktoj, la neta rezulto estas la formiĝo de malgrandaj, sed <u>egalaj</u> kvantoj da hidrogenaj kaj hidroksidaj jonoj. La ekstreme malgranda disociiĝo estas ilustrita per la fakto, ke ĉe ekvilibro, je 25°C, estas po unu hidrogena kaj unu hidroksida jono en ĉiuj 550.000.000 akvo-molekuloj. Kvankam akvomolekuloj daŭre disociiĝas, tiu ĉi procezo bilanciĝas ĉe ekvilibro pro la daŭra reunuiĝo de hidroksidaj kaj hidrogenaj jonoj je la sama rapido. Rilate molarecon, la ekvilibra koncentreco kaj de la hidroksidaj kaj de la hidrogenaj jonoj en pura akvo egalas al 1×10^{-7}<u>M</u> (0,0000001<u>M</u>).

La produto de la koncentrecoj de H^+ kaj OH^- jonoj en pura akvo estas $(1 \times 10^{-7})(1 \times 10^{-7})$, aŭ 1×10^{-14}.

$$[H^+] \times [OH^-] = 1 \times 10^{-14} \qquad 10\text{-}18$$

Por montri la koncentrecon en moloj je litro (molareco), kemiistoj uzas rektajn krampojn [].

Ekvacio 10-18 estas vera ne nur por pura akvo, sed ankaŭ kiam ĉeestas solvezoj. Ĉiam la produto de la molarecoj de la hidrogenaj kaj la hidroksidaj jonoj en akva solvaĵo devas esti 1×10^{-14}. Do, se la $[H^+]$ estas pliigita per la aldono de acida solvezo, la $[OH^-]$ devas malpliiĝi ĝis $[H^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$. La malpliiĝo de la $[OH^-]$ kaŭze de la aldono de hidrogenaj jonoj estas antaŭvidita per la principo de Le Chatelier (Sekcio 9.6) kiel sekve. La aldono de la hidrogenaj jonoj renversas la ekvilibron inter jonoj H^+, jonoj OH^-, kaj la akvo. La sistemo provas forigi la tro-premon (kaŭzitan per tro multe da H^+) per foruzo de iom de la aldonitaj H^+ pere de la reakcio kun OH^-.

$$H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O \qquad 10\text{-}19$$

Tio rezultigas netan malpligrandiĝon de la koncentreco de OH^- jonoj.

neŭtra solvaĵo

La esprimo neŭtra priskribas iun ajn solvaĵon en kiu la koncentrecoj de H^+ kaj OH^- estas egalaj.

Sekve, pura akvo estas neŭtra solvaĵo.

acida solvaĵo; baza solvaĵo

Acida solvaĵo estas tia, en kiu la koncentreco de la jonoj H^+ estas pli alta ol tiu de la jonoj OH^-. En baza (alkala) solvaĵo, la koncentreco de OH^- estas pli alta ol la koncentreco de H^+.

En ĉiuj akvaj solvaĵoj ĉeestas kaj hidrogenaj kaj hidroksidaj jonoj. Sed en la plejmulto da acidaj aŭ bazaj solvaĵoj la nivelo de la malplej koncentrita jono estas tiel malalta, ke ni ĝenerale ignoras ĝian ĉeeston. La interrilato inter la koncentreco de H^+ kaj OH^- estas ilustrita per la kalkuloj en Ekzemplo 10-3.

Ekzemplo 10-3. Klasu ĉiun al la sekvantaj solvaĵoj laŭ acida, baza aŭ neŭtra. Kalkulu la molaran koncentrecon de la jono, kies koncentreco ne estas donita:

a) $[H^+] = 1 \times 10^{-4}$ b) $[OH^-] = 1 \times 10^{-9}$ c) $[OH^-] = 1 \times 10^{-6}$

Solvo. En ĉiu kazo, ni uzos la ekvacion 10-18. Ĉar unu el la du ciferoj en la ekvacio estas konata, la alia povas esti kalkulata.
a) Anstataŭigante $[H^+] = 1 \times 10^{-4}$ en ekvacio 10-18, ni trovas ke

$$1 \times 10^{-4} \times [OH^-] = 1 \times 10^{-14}$$

Solvante por la koncentreco de OH^-, ni ricevas

$$[OH^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-4}} = 1 \times 10^{-10}$$

La solvaĵo estas acida, ĉar la $[H^+]$ estas pli alta ol la $[OH^-]$. (1×10^{-4} estas pli granda ol 1×10^{-14}.)
b) Substituante $[OH^-] = 1 \times 10^{-9}$ en ekvacio 10-18, ni ricevas

$$[H^+] \times 1 \times 10^{-9} = 1 \times 10^{-14}$$

Solvante por la $[H^+]$, ni ricevas

$$[H^+] = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-9}} = 1 \times 10^{-5}$$

Tiu ĉi solvaĵo ankaŭ estas acida, ĉar 1×10^{-5} estas pli granda ol 1×10^{-9}.
c) Simile, $[OH^-] = 1 \times 10^{-6}$, tial

$$[H^+] = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-6}} = 1 \times 10^{-8}$$

Tiu ĉi solvaĵo estas baza, ĉar la $[OH^-]$ estas pli alta ol la $[H^+]$.

10.9 LA SKALO pH

La molekula koncentreco de H^+ en akvaj solvaĵoj povas esti ie ajn inter 10 kaj 10^{-15}. Sed ne estas praktike uzi nombrojn, kiuj etendiĝas tiel vaste. Tial do kemiistoj jam delonge akceptis notacian sistemon, konatan kiel "pH" por indiki la hidrogen-jonan koncentrecon de solvaĵo. Tiu ĉi sistemo, proponita de la dana kemiisto Søren Sørensen en 1909, konsistas el simpla skalo de nombroj de 0 ĝis 14. Matematike, la interrilato inter pH kaj $[H^+]$ estas:

$$[H^+] = 1 \times 10^{-pH} \qquad 10\text{-}20$$

pH

En vortoj tio signifas, ke la pH de solvaĵo estas la negativo de la eksponento uzata por esprimi la hidrogen-jonan koncentrecon, en moloj je litro, kiel potenco de dek.

La esprimo pH fontas el latina potentia hydrogenii (potenco de hidrogeno).

Ekzemplo 10-4. Esprimi jenajn koncentrecojn kiel pH:
a) $[H^+] = 1 \times 10^{-5}$ c) $[H^+] = 1 \times 10^{-7}$

b) $[OH^-] = 1 \times 10^{-9}$ ĉ) $[H^+] = 1 \times 10^{-11}$

Solvo. a) El la ekvacio 10-20 ni scias, ke la pH estas la negativo de la eksponento uzita por esprimi la $[H^+]$. En tiu ĉi kazo, la eksponento estas -5. Tial la pH = -(-5) =5.

b) En tiu ĉi kazo $[OH^-]$ estas donita kaj $[H^+]$ devas esti kalkulita antaŭ ol la pH povas esti trovita. Laŭ la ekvacio 10-18 ni trovas ke

$$[H^+] = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-9}} = 1 \times 10^{-5}$$

Tial la pH = -(-5) = 5. Notu ke $[H^+] = 10^{-5}$ kaj $[OH^-] = 10^{-9}$ respondas al la sama pH.

c) $[H^+] = 1 \times 10^{-7}$ signifas puran akvon aŭ neŭtran solvaĵon. La pH = -(-7) = 7. Sekve de tio, pH de 7 signifas neŭtrecon.

ĉ) pH = -(-11) = 11.

Kiel rimarkite en parto (c), pH 7 signifas neŭtran solvaĵon. Valoroj de pH malpli ol 7 signifas acidajn solvaĵojn. Ju pli malalta la valoro de pH, des pli granda la acideco. Valoroj de pH pli grandaj ol 7 reprezentas bazajn solvaĵojn. Ju pli alta la pH valoro, des pli granda la bazeco. La interrilatoj inter $[H^+]$, $[OH^-]$ kaj pH estas resumitaj en Tabelo 10-3. Notu en tiu tabelo, ke ŝanĝo de pH je unu unuo signifas dekoblan pliiĝon aŭ malpliiĝon de $[H^+]$. Kaj ankaŭ notu, ke malkresko de pH ĉiam respondas al kresko de H^+ koncentreco.

Tabelo 10-3. La Skalo pH

pH	$[H^+]$	$[OH^-]$	
0	1	10^{-14}	
1	10^{-1}	10^{-13}	
2	10^{-2}	10^{-12}	
3	10^{-3}	10^{-11}	Acida
4	10^{-4}	10^{-10}	
5	10^{-5}	10^{-9}	
6	10^{-6}	10^{-8}	
7	10^{-7}	10^{-7}	Neŭtra
8	10^{-8}	10^{-6}	
9	10^{-9}	10^{-5}	
10	10^{-10}	10^{-4}	
11	10^{-11}	10^{-3}	Baza (Alkala)
12	10^{-12}	10^{-2}	
13	10^{-13}	10^{-1}	
14	10^{-14}	1	

Frakciaj Valoroj de pH

Ne ĉiuj valoroj de pH estas entjeroj kiel tiuj en Tabelo 10-3. Ekzemple, la normala pH de sango estas 7,3 - 7,5. Kiel ni traktu tiajn ne-entjerajn (frakci-havajn) numeralojn? La hidrogen-jona koncentreco por la pH de sango, 7,4, povus esti skribita kiel $1 \times 10^{-7,4}$, sed estas tre embarase labori kun frakciaj potencoj de dek. Por solvi tiun problemon oni uzas logaritmojn. Ni ne supozas ke vi estas intima kun tiu ĉi matematika ilo. Anstataŭe, kiam frakcia pH estas esprimenda kiel $[H^+]$ aŭ inverse, ni simple uzos Tabelon 10-4, kiu estas transkalkula tabelo derivita per uzo de logaritmoj.

Tabelo 10-4. Transkalkula tabelo por frakciaj valoroj de pH

	Potencoj de 10						
Koeficiento	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
1	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
2	0,70	1,70	2,70	3,70	4,70	5,70	6,70
3	0,52	1,52	2,52	3,52	4,52	5,52	6,52
4	0,40	1,40	2,40	3,40	4,40	5,40	6,40
5	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30	5,30	6,30
6	0,22	1,22	2,22	3,22	4,22	5,22	6,22
7	0,15	1,15	2,15	3,15	4,15	5,15	6,15
8	0,10	1,10	2,10	3,10	4,10	5,10	6,10
9	0,05	1,05	2,05	3,05	4,05	5,05	6,05
10	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Koeficiento	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}
1	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
2	7,70	8,70	9,70	10,70	11,70	12,70	13,70
3	7,52	8,52	9,52	10,52	11,52	12,52	13,52
4	7,40	8,40	9,40	10,40	11,40	12,40	13,40
5	7,30	8,30	9,30	10,30	11,30	12,30	13,30
6	7,22	8,22	9,22	10,22	11,22	12,22	13,22
7	7,15	8,15	9,15	10,15	11,15	12,15	13,15
8	7,10	8,10	9,10	10,10	11,10	12,10	13,10
9	7,05	8,05	9,05	10,05	11,05	12,05	13,05
10	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00

Ekzemplo 10-5. Uzante Tabelon 10-4:

a) Esprimu jenajn koncentrecojn kiel valorojn de pH: $[H^+] \doteq 3 \times 10^{-9}$, $[H^+] = 7 \times 10^{-3}$.

b) Esprimu jenajn pH-valorojn kiel molarajn hidrogen-jonajn koncentrecojn: pH = 6,40, pH = 12,15.

Solvo. a) Donita estas $[H^+] = 3 \times 10^{-9}$. Unue ni trovu la "potencon de

10" en la kolumno sub 10^{-9}. Poste ni iru malsupren laŭ tiu kolumno ĝis la koeficiento de 3. En tiu ĉi pozicio en la tabelo ni trovos la nombron 8,52. Tiu respondas al la pH. Tial la hidrogen-jona koncentreco de 3×10^{-9} respondas al pH de 8,52.

La $[H^+]$ donita estas 7×10^{-3}; en la tabelo ni trovas en la kolumno 10^{-3}, kie ĝi respondas al la koeficiento 7, la nombron 2,15. Do la pH estas 2,15.

b) Donita estas pH = 6,40. Ĉar la valoroj en la tabelo respondas al la pH-valoroj, ni serĉas la valoron de 6,40 kaj trovas kion ĝi reprezentas. Por 6,40 la koeficiento estas 4, kaj la potenco estas 10^{-7}. Sekve $[H^+] = 4 \times 10^{-7}$.

Por pH = 12,15 ni trovas en la tabelo la koeficienton 7 kaj la potencon 10^{-13}. Sekve la hidrogen-jona koncentreco estas 7×10^{-13} molo/litro.

pH-Valoroj por Substancoj, Kiuj Troviĝas en la Naturo

En la laboratorio oni povas prepari solvaĵojn de iu ajn pH. La amplekso de la pH-valoroj troveblaj en naturaj solvaĵoj estas pli limigita ol tiu de preparitaj solvaĵoj; sed oni povas trovi solvaĵojn kiuj respondas al la plejmulto da valoroj de pH. Kelkaj naturaj solvaĵoj posedas preskaŭ konstantan pH-valoron. Ekzemple, la plasmo de homa sango havas pH-valoron inter 7,3 - 7,5. Ajna grava dekliniĝo de tiu ĉi limo -- 0,1 unuon aŭ pli -- povas kaŭzi severajn fiziologiajn problemojn. La pH-valoro de mar-akvo montras pli grandan varion. Provaĵoj de nepoluita mar-akvo havas pH-valorojn variantajn de 7,5 al 8,4. Surfaca akvo ĝenerale havas pli altan pH-on ol profunda oceana akvo.

La pH-valoroj de pluraj fluidoj de la homo korpo estas listigitaj en Tabelo 10-5. Kun la escepto de stomakaj sukoj, la plejmulto da korpaj fluidoj havas pH-valorojn proksime al neŭtreco. Neniuj korpo-fluidoj estas tre bazaj.

Tabelo 10-5. Proksimuma pH-valoro de homaj korpo-fluidoj

Tipo de fluido	pH-valoro
Galo	6,8-7,0
Lakto	6,6-7,6
Salivo	6,5-7,5
Sango-plasmo	7,3-7,5
Spina fluido	7,3-7,5
Stomaka suko	1,0-3,0
Urino	4,8-8,4

Tabelo 10-6. Proksimumaj pH-valoroj por selektitaj nutraĵoj

Nutraĵo	pH-valoro
Butero	6,1-6,4
Fragoj	3,0-3,5
Grapfrukto	3,0-3,3
Karotoj	4,9-5,3
Lakto	6,3-6,6
Limetoj	1,8-2,0
Ovoj (freŝa ovoblanko)	7,6-8,0
Persikoj	3,4-3,6
Piroj	3,6-4,0
Pizoj	5,8-6,4
Pomoj	2,9-3,3
Tomatoj	4,0-4,4
Trinkaĵoj, sen-alkoholaj	2,0-4,0
Trink-akvo	6,5-8,0
Vinagro	2,4-3,4

La pH-valorojn de selektitaj nutraĵoj montras Tabelo 10-6. Notu, ke preskaŭ ĉiuj estas acidaj. Oni atribuas acidetan guston al nutraĵo, kies pH estas malalta.

10.10 ANALIZO DE ACIDOJ KAJ BAZOJ

La analizo de solvaĵoj por trovi la tutan acidecon aŭ bazecon estas regula aktiveco en multaj laboratorioj.

acideco

La acideco de solvaĵo ne estas simple ties pH, sed ĝia povo neŭtrigi bazon.

La pH rilatas al la koncentreco de H^+ en solvaĵo, sed ĝia povo neŭtrigi bazon dependas de la tuta sumo de la disponebla acido. Exzemple, solvaĵo de 0,1M aceta acido havas H^+ koncentrecon de proksimume $1,3 \times 10^{-3}$ molo/litro (pH = 2,9). Sed unu litro de tiu ĉi solvaĵo povas neŭtrigi 0,1 molon de jonoj OH^-, ne nure $1,3 \times 10^{-3}$ molon. Estas tiel, ĉar la disociiĝo-ekvilibro de aceta acido estas:

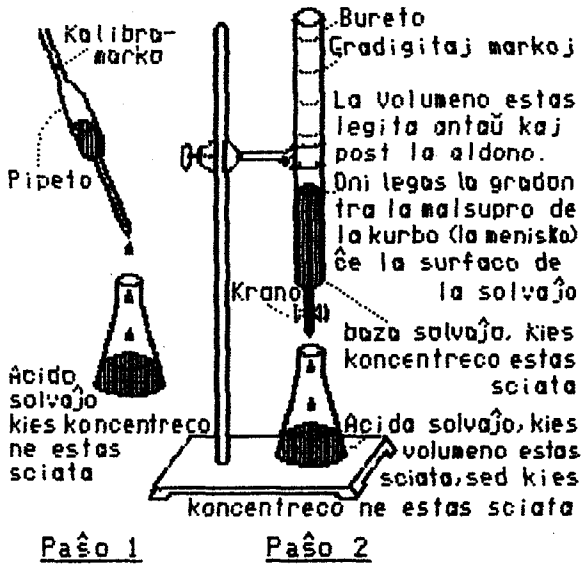
$$HC_2H_3O_2 \rightleftharpoons H^+ + C_2H_3O_2^- \qquad 10\text{-}21$$

Dum bazo estas aldonata al la solvaĵo de aceta acido, la tiea H^+ reakcias kun la bazo kaj formas akvon. La forigo de la H^+ per tiu reakcio igas la ekvilibron ŝolviĝi dekstren -- laŭ la principo de La Chatelier (Sekcio 9.6), produktante pli da jonoj H^+. La daŭrigata aldono de OH^-

fine igas ĉiujn molekulojn de la aceta acido disociiĝi kaj reakcii.

titrado

La procedo ofte uzata por analizi acidojn kaj bazojn nomiĝas titrado (Bildo 10-1).



Bildo 10-1. La titra procedo

Supozu, ke ni volas determini la suman acidecon de solvaĵo. Unue ni prenas certan volumenon de la acida solvaĵo, kiun ni volas analizi, tirante ĝin ĝis la kalibro-marko de la pipeto aŭ bureto. Tiu ĉi solvaĵo estas metita en glason aŭ flakonon. Poste baza solvaĵo, kies koncentrecon oni scias (norma solvaĵo), estas aldonata el bureto ĝis la nekonata acido estas komplete reakciinta. La volumenon de la bazo, kiu estas necesa por atingi tiun punkton (la tiel-nomatan ekvivalent-punkton) oni povas trovi legante ĝin de sur la skalo sur la bureto. Tiuj ĉi paŝoj estas montritaj en Bildo 10-1.

Por sukcesplene fini titradon, ni devas iamaniere rimarki kiam la reakcio kompletiĝas. Unu metodo por fari tion estas la aldono de indikenzo al la solvaĵo titrota.

indikenzo

Indikenzo estas kombinaĵo kiu montras diversajn kolorojn depende de la pH de la medio.

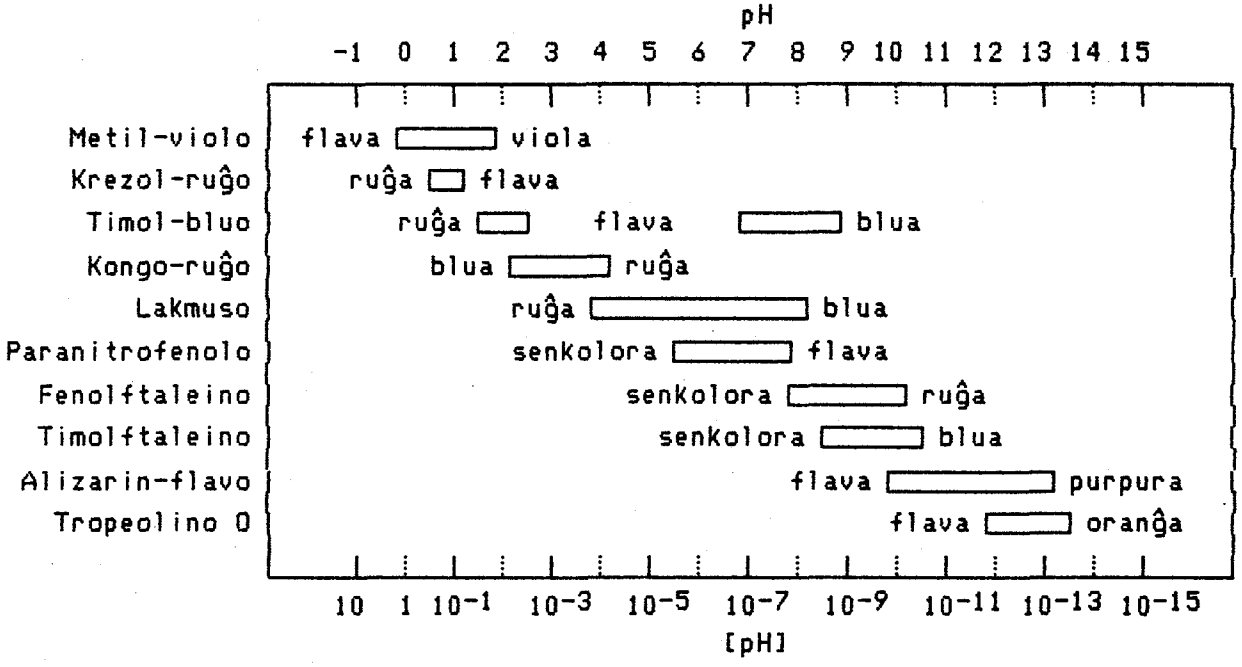
Tipe, indikenzo havas unu koloron en bazaj solvaĵoj kaj alian koloron en

acidaj solvaĵoj. Oni elektas indikenzon, kiu ŝanĝos sian koloron ĉe pH respondanta kiel eble plej proksime al la pH de la solvaĵo ĉe la ekvivalent-punkto. Se ambaŭ, la acido kaj la bazo, estas fortaj, la pH ĉe tiu punkto estos 7. Sed, pro kialoj diskutotaj en Sekcio 10.12, la pH ne ĉiam estas 7 ĉe la ekvivalent-punkto.

finpunkto

La punkto kie la indikenzo ŝanĝas sian koloron kaj la titrado haltas estas nomata la fin-punkto de la titrado (aŭ la ekvivalent-punkto).

La koloroj de pluraj indikenzoj por gamo da diversaj pH-ampleksoj estas listigitaj en Bildo 10-2. Ofte oni uzas indikenzajn paperojn (lakmusan paperon, pH-paperon ktp.) por rutinaj mezuroj de pH. Tiuj paperoj estas saturitaj per unu aŭ pluraj indikenzoj kiuj ŝanĝiĝas en diversajn kolorojn depende de la pH.



Bildo 10-2. Koloroj de acido-bazaj indikenzoj

10.11 TITRAJ KALKULOJ

La donitaĵoj akiritaj per acido-baza titrado estas: (1) la volumeno de la bazo uzita en la reakcio, (2) la volumeno de la acido uzita en la reakcio, kaj (3) la koncentreco de la norma acida aŭ baza solvaĵo. De tiuj ĉi kvantoj, la koncentreco de la nesciata acido aŭ bazo povas esti kalkulata. La ekvacio utila por tiaj kalkuloj estas:

(volumeno de acido) x (koncentreco de acido)
= (volumeno de bazo) x (koncentreco de bazo) 10-22

Notu, ke la donitaĵoj trovitaj per la titrado havigas al ni tri el la kvar nombrojn en la ekvacio 10-22. Oni povas do facile solvi la ekvacion por la kvara.

Oni povas uzi iun ajn volumen-unuon por difini la kvantojn de foruzitaj acido kaj bazo. La sola postulo estas, ke ambaŭ volumenoj estu en la sama mezur-unuo. Plejofte mili-litroj estas uzataj, ĉar la plejmulto da buretoj estas gradigitaj en mililitroj. La unuoj de koncentreco uzitaj en la ekvacio, kontraŭe al la volumen-unuoj, ne estas arbitraj. Normaleco devas esti uzata por la unuo de koncentreco. Do, la ekvacio 10-22 povas esti jene skribita:

(ml da acido) x (normaleco de la acido)
= (ml da bazo) x (normaleco de la bazo) 10-23

La koncentrecoj de laboratoriaj solvaĵoj -- inkluzive de normigitaj solvaĵoj -- estas preskaŭ ĉiam donitaj laŭ ilia molareco. Pro tio estas necese, ke ni povu transkalkuli de tiu unuo al normaleco, por ke ni povu uzi la ekvacion 10-23. En Sekcio 8.5 ni enkondukis la koncentrecan unuon por normaleco. Memoru, ke ni difinis ĝin kiel la nombron da ekvivalentoj de la solvezo en unu litro da solvaĵo. Sed en tiu antaŭa diskuto nur limigita difino de la ekvivalento estis donata, kiu validas nur por saloj.

ekvivalento (por acidoj kaj bazoj)

Por acidoj, unu ekvivalento estas la kvanto da acido, kiu donos unu molon da jonoj H^+ ĉe plena disociiĝo. Simile, por bazoj, unu ekvivalento estas la kvanto da bazo, kiu reakcios kun unu molo da jonoj H^+.

Por transkalkuli molarajn koncentrecojn al normalaj koncentrecoj, oni devas scii, kiom da ekvivalentoj da acido aŭ bazo estas en unu molo de la koncerna acido aŭ bazo. La determino de ekvivalentoj estas montrita en Ekzemplo 10-6. Kiam oni scias tiun ĉi informan, la transkalkulo inter molareco kaj normaleco estas facila, kiel montras Ekzemplo 10-7.

Ekzemplo 10-6. Determinu la nombron da ekvivalentoj de acido aŭ bazo en ĉiu el jenaj provaĵoj:

a) 1 molo da H_3PO_4 b) 2 moloj da $Ba(OH)_2$ c) 3 moloj da HNO_3

Solvo. a) La reakcio por la plena disociiĝo de H_3PO_4 estas:

$$H_3PO_4 \longrightarrow 3H^+ + PO_4^{3-}$$

Tiel, ĉe kompleta disociiĝo unu molo da H_3PO_4 fordonas 3 molojn da H^+ jonoj.

Laŭ la difino tri moloj da H^+ jonoj egalas 3 ekvivalentojn da H^+ jonoj. Tiel do,

$$1 \ \cancel{\text{molo } H_3PO_4} \times \frac{3 \text{ ekvivalentoj } H_3PO_4}{1 \ \cancel{\text{molo } H_3PO_4}} = 3 \text{ ekvivalentoj } H_3PO_4$$

b) La reakcio por la kompleta disociiĝo de $Ba(OH)_2$ estas:

$$Ba(OH)_2 \longrightarrow Ba^{2+} + 2OH^-$$

Tiel, 1 molo de la baria bazo liveras 2 molojn da jonoj OH^-, kiuj povas reakcii kun 2 moloj de H^+. Sekve de tio,

$$2 \ \cancel{\text{moloj } Ba(OH)_2} \times \frac{2 \text{ ekvivalentoj } Ba(OH)_2}{1 \ \cancel{\text{molo } Ba(OH)_2}} = 4 \text{ ekvivalentoj } Ba(OH)_2$$

c) La reakcio por la plena disociiĝo de HNO_3 estas:

$$HNO_3 \longrightarrow H^+ + NO_3^-$$

Unu molo da acido liveras nur 1 molon (aŭ ekvivalenton) da jono H^+.

Tiel do,

$$3 \ \cancel{\text{moloj } HNO_3} \times \frac{1 \text{ ekvivalento } HNO_3}{1 \ \cancel{\text{molo } HNO_3}} = 3 \text{ ekvivalentoj } HNO_3$$

Ekzemplo 10-7: Uzu la rezultojn el Ekzemplo 10-6 por solvi jenajn problemojn:

a) Esprimu la sekvantajn molarecojn kiel normalecojn: 0,03 M H_3PO_4, 0,01 M $Ba(OH)_2$, 0,5 M HNO_3.

b) Esprimu la sekvantajn normalecojn kiel molarecojn: 0,030 N H_3PO_4, 0,10 N $Ba(OH)_2$.

Solvo. a) 0,030 N H_3PO_4: Oni povas transkalkuli la molarecon (moloj je litro) al normaleco per la uzo de transkalkula faktoro, kiu metas rilaton inter moloj kaj ekvivalentoj. De Ekzemplo 10-6 (a) ni scias, ke tiu ĉi faktoro estas:

$$1 \text{ molo } H_3PO_4 = 3 \text{ ekvivalentoj } H_3PO_4$$

Tial, $$\frac{0,03 \ \cancel{\text{moloj } H_3PO_4}}{1 \text{ litro da solvaĵo}} \times \frac{3 \text{ ekvivalentoj } H_3PO_4}{1 \ \cancel{\text{molo } H_3PO_4}} = \frac{0,09 \text{ ekvivalentoj } H_3PO_4}{1 \text{ litro da solvaĵo}}$$

Tial, la solvaĵo estas 0,09 N.

0,10 M $Ba(OH)_2$: Paralele, uzu la transkalkulan faktoron 1 molo $Ba(OH)_2$ = 2 ekvivalentoj $Ba(OH)_2$, kiun vi prenas de la ekzemplo 10-6 (b), kaj vi trovos:

$$\frac{0,10 \ \cancel{\text{molo } Ba(OH)_2}}{1 \text{ litro da solvaĵo}} \times \frac{2 \text{ ekvivalentoj } Ba(OH)_2}{1 \ \cancel{\text{molo } Ba(OH)_2}} = \frac{0,20 \text{ ekvivalentoj } Ba(OH)_2}{1 \text{ litro da solvaĵo}}$$

La solvaĵo sekve estas 0,20 N.

0,5 N HNO_3: Simile, uzante la transkskalkulan faktoron el Ekzemplo 10-6(c), ni trovas:

$$\frac{0{,}50\ \text{moloj } HNO_3}{1\ \text{litro da solvaĵo}} \times \frac{1\ \text{ekvivalento } HNO_3}{1\ \text{molo da } HNO_3} = \frac{0{,}50\ \text{ekvivalentoj } HNO_3}{1\ \text{litro da solvaĵo}}$$

Tial, la normaleco estas 0,5, la sama kiel la molareco.

b) Vi uzas la saman transkalkulan faktoron kiel en parto (a). Sed ĉi-foje la ekvivalento troviĝas en la denominatoro anstataŭ en la numeratoro:

0,03 N H_3PO_4:

$$\frac{0{,}03\ \text{ekvivalentoj } H_3PO_4}{1\ \text{litro da solvaĵo}} \times \frac{1\ \text{molo } H_3PO_4}{3\ \text{ekvivalentoj } H_3PO_4} = \frac{0{,}01\ \text{moloj } H_3PO_4}{1\ \text{litro da solvaĵo}}$$

El tio sekvas, ke la solvaĵo estas 0,01 M.

0,10 N $Ba(OH)_2$:

$$\frac{0{,}10\ \text{ekvivalentoj } Ba(OH)_2}{1\ \text{litro da solvaĵo}} \times \frac{1\ \text{molo } Ba(OH)_2}{2\ \text{ekvivalentoj } Ba(OH)_2} = \frac{0{,}05\ \text{moloj } Ba(OH)_2}{1\ \text{litro da solvaĵo}}$$

Tiel, la solvaĵo estas 0,05 N.

Nun klariĝas, kial en titraj kalkuloj oni uzas la normalecon anstataŭ la molareco. Uzante la normalecon vi konsideras la fakton, ke ĉe disociiĝo ne ĉiuj acidoj kaj bazoj liveras la saman nombron da H^+ aŭ OH^- je molekulo. Kvankam iliaj molekulaj koncentrecoj estas la samaj, 0,1 M H_2SO_4 neŭtrigas duoble la kvanton da bazo ol la sama volumeno da 0,1 M HNO_3. Sed egalaj volumenoj da 0,1 N H_2SO_4 kaj 0,1 N HNO_3 neŭtrigas ekzakte la saman kvanton da bazo.

Nun ni pretas fari kalkulojn pri titradoj. Tiuj ĉi estas plej bone klarigataj per ekzemploj.

Ekzemplo 10-8. En titrado, necesas 25 ml da 0,1 M NaOH por neŭtrigi 50 ml da HNO_3. Kiuj estas la normaleco kaj la molareco de la HNO_3?

Solvo. Ni uzu ekvacion 10-23 por solvi tiun ĉi problemon:

$$(\text{ml}_{\text{acido}})(\text{N}_{\text{acido}}) = (\text{ml}_{\text{bazo}})(\text{N}_{\text{bazo}})$$

Tri el la kvar termoj en la ekvacio estas sciataj. La volumenoj de la acido kaj la bazo estas respektive 50 ml kaj 25 ml. La normaleco de la bazo ne estas rekte donita, sed estas facile kalkulebla de la molareco de la bazo. Ĉar 1 molo de NaOH enhavas 1 ekvivalenton de jonoj OH^-, la normaleco de la bazo estas la sama kiel la molareco; tio estas, 0,1 N. Substituante tiujn valorojn en la ekvacion, oni ricevas:

$$(50\ \text{ml})\underline{N}_{\text{acido}}) = (25\ \text{ml})(0{,}1)$$

Se ni solvas por la $\underline{N}_{\text{acido}}$, ni ricevas:

$$\underline{N}_{\text{acido}} = \frac{(25\ \cancel{\text{ml}})(0{,}1)}{(50\ \cancel{\text{ml}})} = 0{,}05$$

La molareco de HNO_3, kiun ankaŭ petas tiu ĉi problemo, estas la sama kiel la normaleco pro tio, ke HNO_3 estas acido, kies ekvivalentoj kaj moloj estas identaj.

Ekzemplo 10-9. Kiu volumeno da 0,1 M H_2SO_4 estas necesa por neŭtrigi ĉiom de la OH^- en 150 ml da 0,25 M NaOH solvaĵo?

Solvo. Unue ni devas transkalkuli la du koncentrecojn de la du solvaĵoj de molareco al normaleco. Pro tio, ke H_2SO_4 donas po 2 H^+ jonojn por ĉiu acida molekulo, 1 molo da H_2SO_4 entenas 2 ekvivalentojn da acido.

$$\text{Do, } \frac{0{,}01\ \cancel{\text{molo } H_2SO_4}}{1\ \text{litro solvaĵo}} \times \frac{2\ \text{ekvivalentoj } H_2SO_4}{1\ \cancel{\text{molo } H_2SO_4}} \times \frac{0{,}20\ \text{ekvivalentoj } H_2SO_4}{1\ \text{litro solvaĵo}} = 0{,}20\underline{N}$$

Por NaOH, la normaleco kaj la molareco samas, ĉar disociiĝinte, NaOH donas nur po 1 jonon OH^- por ĉiu molekulo. Substituinte la sciatajn valorojn en ekvacion 10-23, ni ricevas:

$$(\text{ml}_{\text{acido}})(0{,}20) = (150\ \text{ml})(0{,}25)$$

kaj solvante por la mililitroj da acido, ni ricevas:

$$\text{ml}_{\text{acido}} = \frac{(150\ \text{ml})(0{,}25)}{(0{,}20)} = 188\ \text{ml}$$

Oni povas facile pravigi la uzon de ekvacio 10-23 en titraj kalkuloj, ĉar: en iu ajn acido-baza neŭtrigo, 1 hidrogen-jono reakcias kun 1 hidroksid-jono kaj formas unu akvo-molekulon:

$$H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O \qquad 10\text{-}24$$

Ĉar tiuj du jonoj ĉiam reakcias laŭ rilatumo unu-al-unu, tio signifas, ke unu molo da jonoj H^+ reakcios kun unu molo da jonoj OH^-. Kaj unu molo de tiuj jonoj estas difinita kiel unu ekvivalento da acido aŭ bazo. Tial, en titrada reakcio, jena ekvacio estas ĉiam vera:

$$\text{nombro da ekvivalentoj de reakcianta acido} = \text{nombro da ekvivalentoj de reakcianta bazo} \qquad 10\text{-}25$$

Jen la difino por normaleco:

$$\text{normaleco} = \frac{\text{nombro da ekvivalentoj de solvezo}}{\text{nombro da litroj de solvaĵo}} \qquad 10\text{-}26$$

La ekvacio 10-26 povas esti rearanĝita por doni la nombron da ekvivalentoj:

$$\text{ekvivalentoj} = (\text{normaleco}) \times (\text{volumeno}) \qquad 10\text{-}27$$

Substituante ekvacion 10-27 en ekvacion 10-25, ni trovas ke

$$(N_{acido})(ml_{acido}) = (N_{bazo})(ml_{bazo}) \qquad 10\text{-}28$$

Tio estas fakte ekvacio 10-23, kiun ni estis uzanta en niaj kalkuloj.

10.12 HIDROLIZO DE SALOJ

hidroliza reakcio

Hidroliza reakcio estas reakcio kun akvo.

Multaj tipoj de hidrolizaj reakcioj estas konataj, sed nun ni volas instrui nur unu, nome la hidrolizon de saloj. En Sekcio 10-10 ni diris, ke en acido-bazaj titradoj la pH ĉe la ekvivalent-punkto ne ĉiam estas 7. Ĉar en acido-baza titrado la solaj produktoj estas akvo kaj salo, la du kombinaĵoj devas interagi en ia maniero (en hidroliza reakcio) kaŭzante, ke la pH de la solvaĵo estas diferenca de tiu de pura akvo.

Por ke solvaĵo estu acida aŭ baza, devas ĉeesti superfluo da H^+ aŭ OH^- jonoj. Por ekspliki kial la aldono de salo, kiu entenas nek H^+ nek OH^- jonojn, al solvaĵo, povas kaŭzi la formiĝon de superfluo da H^+ aŭ OH^- jonoj, necesas konsideri la ekvilibron, kiu ekzistas en pura akvo inter tiuj du jonoj kaj akvo-molekuloj. La ekvacio por tiu ĉi ekvilibro, kiu estas jam pridiskutita en Sekcio 10-8, estas:

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^- \qquad 10\text{-}29$$

Solvitaj saloj povas renversi tiun ekvilibron, se ili entenas jonon kiu kombiniĝas kun aŭ H^+ aŭ OH^-. Se la pozitiva jono de salo estas en asocio kun la jono OH^-, la koncentreco de liberaj OH^- jonoj en la solvaĵo malpliiĝas. Tio renversas la ekvilibron esprimitan en la ekvacio 10-29. Laŭ la principo de Le Chatelier (Sekcio 9.6), la sistemo reakcias produktante pli da OH^- jonoj, kio signifas, ke ĝi moviĝas dekstren. Dum tiu procezo formiĝas ankaŭ pli da H^+ jonoj, pli ol ĉeestis je la komenco.

Sekve la solvaĵo iĝas acida. Se la negativa jono de salo asociiĝas kun la H^+, la ekvilibro de ekvacio 10-29 denove moviĝas dekstren. Sed ĉi-foje la rezulto estas superfluo da OH^- jonoj, kio rezultas en baza solvaĵo.

La reguloj por determini, ĉu salo hidroliziĝas aŭ ne, povas esti facile formulitaj, se vi povas imagi la salojn kiel produktojn de reakcio inter acido kaj bazo. Laŭ tiu ĉi vid-punkto ekzistas kvar kategorioj de saloj -- formitaj per la reakcio de:

1. forta acido kun forta bazo
2. forta acido kun malforta bazo
3. malforta acido kun forta bazo
4. malforta acido kun malforta bazo

Saloj, kiuj hidroliziĝas estas tiuj, kiuj formiĝas per la neŭtrigo, en kiu partoprenas aŭ malforta acido aŭ malforta bazo, aŭ ambaŭ; tio estas kategorioj 2,3, aŭ 4. Tabelo 10-7 donas pliajn sciojn pri la hidroliza sinteno de diversaj tipoj de saloj. Notu de tiu ĉi tabelo, ke en ĉiuj kazoj, jonoj, kiuj hidroliziĝas estas tiuj, kiuj origine estis parto aŭ de malforta acido aŭ de malforta bazo. La pelforto por ilia hidrolizo estas la formiĝo de malforta acido aŭ bazo. Hidrolizo de pozitiva jono ĉiam rezultigas la formiĝon de acida solvaĵo, dum tiu de negativa jono rezultigas bazan solvaĵon.

Tabelo 10-7. Hidrolizaj karakterizaĵoj de saloj

Tipo de salo	Hidrolizaj karakterizaĵoj	pH de la solvaĵo
{negativa jono de forta acido pozitiva jono de forta bazo	neniu hidroliziĝas	neŭtra
{negativa jono de forta acido pozitiva jono de malforta bazo	pozitiva jono hidroliziĝas	acida
{negativa jono de malforta acido pozitiva jono de forta bazo	negativa jono hidroliziĝas	baza
{negativa jono de malforta acido pozitiva jono de malforta bazo	ambaŭ, pozitiva kaj la negativa jonoj, hidroliziĝas	acida, baza aŭ neŭtra, depende de la relativaj fortoj de la malfortaj acido kaj bazo

Ekzemplo 10-10. Antaŭdiru ĉu solvaĵoj de ĉiu el jenaj solveblaj saloj estas acidaj, bazaj aŭ neŭtraj.

a) natria acetato, $NaC_2H_3O_2$
b) amonia klorido, NH_4Cl
c) kalia klorido, KCl
ĉ) amonia fluorido, NH_4F

Solvo. a) Natria acetato estas la salo de forta bazo (NaOH) kaj malforta acido ($HC_2H_3O_2$). La acetata jono hidroliziĝos, formante acetan acidon. Tio fiksas la hidrogen-jonojn (en la formo de ne-disociita acido), sed lasos liberaj la hidroksidajn jonojn. Tial la solvaĵo estos baza.

$$C_2H_3O_2^- + H_2O \longrightarrow HC_2H_3O_2 + OH^-$$

b) Amonia klorido estas la salo de malforta bazo (akva amoniako -- $NH_{3(akva)}$) kaj forta acido (HCl). La amonia jono hidroliziĝos kaj formos $NH_{3(akva)}$. En tiu procezo, akvo-molekuloj transformiĝos en H_3O^+, kiu -- kompreneble -- igas la solvaĵon acida. Konklude:

$$NH_4^+ + H_2O \longrightarrow NH_3 + H_3O^+$$

c) Kalia klorido estas salo de forta bazo (KOH) kaj forta acido (HCl). Tial hidrolizo ne okazos, kaj la solvaĵo estos neŭtra.
ĉ) Amonia fluorido estas salo de malforta bazo (akva amoniako) kaj malforta acido (HF). Tial, ambaŭ jonoj hidroliziĝos. Ĉu la solvaĵo estos acida aŭ baza, dependas de la grado de la hidroliza reakcio. La antaŭdiro pri tio ĉi estas ekster la stud-kampo de tiu ĉi teksto. (Fakte la solvaĵo iĝos acida, kio montras, ke la hidrolizo de la amonia jono estas la superrega reakcio.)

Ĝenerale, hidrolizaj reakcioj okazas nur malgrandskale (ĉirkaŭ 2-5%). Tamen, tio sufiĉas por estigi tre signifajn ŝanĝiĝojn de la pH, kiel videblas laŭ la pH-valoroj en Tabelo 10-8.

La neta reakcio por la hidrolizo de la pozitiva jono (M^+) de malforta bazo estas:

$$M^+ + H_2O \longrightarrow MOH + H^+ \qquad 10\text{-}30$$

Tabelo 10-8. La proksimuma pH de elektitaj 0,1 M sal-solvaĵoj

Nomo de salo	Formulo de salo	pH	Kategorio de salo
amonia nitrato	NH_4NO_3	5,1	Forta acido - malforta bazo
amonia nitrito	NH_4NO_2	6,3	Malforta acido - malforta bazo
amonia acetato	$NH_4C_2H_3O_2$	7,0	Malforta acido - malforta bazo
natria klorido	NaCl	7,0	Forta acido - forta bazo
natria fluorido	NaF	8,1	Malforta acido - forta bazo
natria acetato	$NaC_2H_3O_2$	8,9	Malforta acido - forta bazo
amonia cianido	NH_4CN	9,3	Malforta acido - malforta bazo
natria cianido	NaCN	11,1	Malforta acido - forta bazo

La produktoj estas la malforta bazo kaj hidrogen-jonoj, do rezultas acida solvaĵo. Ju pli malforta estas la bazo, des pli granda estas la hidroliziĝo. La neta reakcio por la hidrolizo de negativa jono (A^-) de malforta acido estas:

$$A^- + H_2O \longrightarrow HA + OH^- \qquad 10\text{-}31$$

La produktoj estas la malforta acido kaj hidroksidaj jonoj. Do la rezultanta solvaĵo estas baza. Denove, ju pli malforta estas la acido, des pli granda estas la hidroliziĝo.

La fakto, ke kelkaj saloj hidroliziĝas estas treege grava el la fiziologia vidpunkto. Tre etaj ŝanĝiĝoj de la pH povas ŝanĝi la aktivecon de enzimoj, kiuj estas katalizenzoj por multaj reakcioj de la korpo. Eĉ spur-kvantoj de superfluaj H^+ aŭ OH^- povas agi kiel katalizenzoj, ŝanĝante la kemion de la korpo.

Kiel jam menciite, sango-plasmo havas pH-on kiu estas iomete baza (7,3 ĝis 7,5). La kialo por tio rilatas al hidrolizo kaj iĝas videbla, se oni rigardas la konsiston de la plasmaj elektrolitoj donitaj en Tabelo 10-9.

Tabelo 10-9. Koncentrecoj de la principaj elektrolitoj en sango-plasmo

	Koncentreco (milieKvivalentoj/litro)
Pozitivaj jonoj	
Natrio (Na^+)	142
Kalio (K^+)	4
Kalcio (Ca^{2+})	5
Magnezio (Mg^{2+})	2
Negativaj jonoj	
Klorido (Cl^-)	101
Hidrogena karbonato (HCO_3^-)	27
Hidrogena fosfato (HPO_4^{2-})	2
Sulfato (SO_4^{2-})	1
Organikaj acidoj	6
Proteinoj	16

La plej abunda pozitiva jono (Na^+) estas jono de forta bazo. La superrega negativa jono (Cl^-) venas de forta acido. Kune tiuj ĉi du jonoj formas neŭtran solvaĵon -- nek unu nek alia hidroliziĝos. La tria plej abunda jono estas HCO_3^-, jono kiu devenas de la malforta acido H_2CO_3. Hidrolizo de tiu ĉi jono fiksos hidrogenajn jonojn kaj postlasos superfluon da OH^-:

$$HCO_3^- + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 + OH^- \qquad 10\text{-}32$$

Tial, la plasma fluido havas iomete bazan karakteron. Aliaj negativaj jonoj, ekzemple HPO_4^{2-}, ankaŭ hidroliziĝos kaj pligrandigos la bazan karakteron. Sed ilia efiko sur la pH ne estas tiel granda kiel tiu de HCO_3^-, ĉar ilia koncentrecoj estas pli malaltaj.

10.13 BUFRAJ SOLVAĴOJ

bufra solvaĵo

Bufra solvaĵo estas solvaĵo kiu rezistas pH-ŝanĝojn kiam malgrandaj kvantoj da acido aŭ bazo estas aldonitaj.

bufro

La kombinaĵo aŭ grupo da kombinaĵoj ĉeestantaj, kiuj kaŭzas tiun reziston al pH-ŝanĝo, nomiĝas bufro.

La plejmulto da bufroj estas kombinoj de malforta acido kaj unu el ties

saloj, aŭ de malforta bazo kaj unu el ties saloj.

Por kompreni la fundamenton de bufra ago, konsideru solvaĵon enhavantan proksimume egalajn koncentrecojn de aceta acido (malforta acido) kaj natria acetato (salo de tiu ĉi malforta acido). La meĥanismoj, per kiuj tiu ĉi solvaĵo rezistas pH-ŝanĝon, estas:

1. Kiam malgranda kvanto da forta acido, kiel HCl, estas aldonita al la solvaĵo, la ĵus aldonitaj H^+ jonoj reakcias kun acetataj jonoj, formante acetan acidon:

$$H^+ + C_2H_3O_2^- \longrightarrow HC_2H_3O_2 \qquad 10\text{-}33$$

   La plejmulto de la aldonitaj H^+ jonoj estas tiamaniere fiksitaj al la acet-acidaj molekuloj, kaj la pH ŝanĝiĝas tre malmulte.
2. Kiam malgranda kvanto da forta bazo, kiel NaOH, estas aldonita al la solvaĵo, la ĵus aldonitaj OH^- jonoj reakcias kun la aceta acido (neŭtrigo), donante acetat-jonojn kaj akvon:

$$OH^- + HC_2H_3O_2 \longrightarrow C_2H_3O_2^- + H_2O \qquad 10\text{-}34$$

   La plejmulto de la aldonitaj jonoj OH^- tiel ŝanĝiĝas en akvon, kaj, ree, la pH ŝanĝiĝas nur iomete.

La reakcioj, kiuj respondecas pri la bufra ago en la sistemo aceta acido/acetato povas esti jene resumitaj:

$$C_2H_3O_2^- \underset{OH^-}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} HC_2H_3O_2 \qquad 10\text{-}35$$

Notu, ke unu membro de la bufra paro forigas la superfluan H^+ dum la alia forigas la superfluan OH^-, kaj ke la bufra ago ĉiam rezultas en tio, ke la aktiva speco estas ŝanĝita en sian kunulan specon.

Bufraj sistemoj havas siajn limigojn. Se grandaj kvantoj da H^+ aŭ OH^- estas aldonitaj al bufra solvaĵo, ĝia bufra kapablo povas esti superita, la bufra sistemo estas venkita, kaj la pH ŝanĝiĝas. Ekzemple, se granda kvanto da H^+ estus aldonita al la acetata/acet-acida bufro ĵus studita, la reakcio 10-35 daŭrus ĝis la $C_2H_3O_2^-$ estas foruzita. Tiam la pH ekfalus pro la amasiĝo de H^+ jonoj en la solvaĵo.

Bufraj solvaĵoj ludas gravan rolon en la funkciado de la homa korpo. Ĉiuj korpaj fluidoj posedas difinitajn pH-valorojn, kiuj devas esti subtenataj ene de tre malvastaj limoj, ĉar vivantaj ĉeloj estas ege sentemaj al eĉ etaj ŝanĝiĝoj de pH. Tiun protekton kontraŭ pH-ŝanĝiĝo liveras bufroj, kiuj povas esti imagataj kiel "kemiaj sku-sorbiloj" pro ilia ŝlosila

protekta rolo.

La sango estas bufra solvaĵo plej grava. Eĉ tre etaj devioj for de la normalaj pH-limoj de sango povas kaŭzi fortan malsanon, kaj morto povas rezulti el devioj de eĉ nur kelkaj dekonoj de pH-unuo. Tiu ĉi situacio estas kaŭzita per tio, ke multaj el la ĉefaj reakcioj kiuj okazas en la sango estas katalizitaj de *enzimoj* (Sekcio 23.5) kaj atingas optimumajn kondiĉojn nur ene de mallarĝaj normalaj pH-limoj. Ŝanĝo de la pH malrapidigas aŭ haltigas la agon de la enzimo.

La plej grava bufra sistemo en la sango konsistas el karbonata acido, H_2CO_3, kaj el tiaj hidrokarbonataj saloj, kiel natria hidrokarbonato, $NaHCO_3$. (Certaj proteinoj -- Sekcio 22.5 -- kaj, je malplia grado, hidrogen-fosfataj jonoj ankaŭ helpas bufri la sangon.) Karbonata acido, kiu estas nestabila, formiĝas en la sango kiam solvita karbona dioksido reakcias kun akvo.

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2CO_3 \qquad 10\text{-}36$$

Karbona dioksido senĉese formiĝas en la ĉeloj el ĉelaj metabolaj reakcioj (Sekcio 25.2). Iom da ĝi solviĝas en la akvaj korpaj solvaĵoj, kaj iom eliĝas pere de la pulmoj. La karbonata acido en la sango protektas kontraŭ aldonita bazo (OH^-) laŭ la sekvanta vojo:

$$H_2CO_3 + OH^- \longrightarrow HCO_3^- + H_2O \qquad 10\text{-}37$$

Ajna aldonita H^+ estas neŭtrigita per reakcio kun la hidrokarbonata jono (HCO_3^-), la alia membro de tiu ĉi esenca bufra paro:

$$HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2CO_3 \qquad 10\text{-}38$$

La tuta bufra interago karbonata acido/hidrokarbonata jono povas esti resumita jene:

$$HCO_3^- \underset{OH^-}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} H_2CO_3 \qquad 10\text{-}39$$

En normalaj cirkonstancoj la kemia bufra sistemo de la sango sufiĉe taŭgas por subtenadi la normal-ampleksojn de pH. Sed en iuj strecitaj kondiĉoj, la bufra sistemo povas esti provizore superfortita. Kiam tio okazas, kompensaj meĥanismoj, kiuj implicas la pulmojn kaj la renojn, helpas renormaligi la pH. Kaj la pulmoj kaj la renoj ĉiam ludas rolon en la reguligo de pH, sed ilia rolo iĝas pli grava dum periodoj de streĉo.

acidozo

Se la pH de sango falas de sia normala valoro de proksimume 7,4 al 7,1-7,2, rezultas la tiel nomata acidozo.

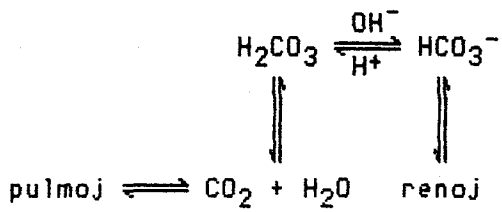
Diversaj faktoroj povas kaŭzi acidozon, kiel subspirado (pli science: hipopneo; tro malmulte da spirado) kaŭzita de emfizemo, kongesta kor-infarkto, sukera diabeto, troa perdo de hidrokarbonato dum severa lakso, aŭ reduktita eligo de hidrogenaj jonoj pro rena insuficienco. Mallonge daŭra acidozo povas rezulti pro intensa ekzercado. La korpo reagas en du manieroj por mildigi la acidozan situacion. Superflua kvanto da karbona dioksido (formiĝinta per la malkombiniĝo de nestabila karbonata acido) estas forigita per plirapidigo de spirado; kaj ankaŭ en la ren-sistemo okazas ŝanĝiĝoj, kiuj plialtigas la ekskrecion de H^+ kaj la retenon de HCO_3^-. Tiuj rimedoj rezultigas acidan urinon.

akalozo

Alkalozon karakterizas plialtiĝo de la pH de sango al 7,5.

Alkalozo povas rezulti el superspirado (pli science: hiperpneo; tro multe da spirado) kaŭzita per prematceo, histerio aŭ severa febro, severa vomado, aŭ per elmetado al egaj altecoj (altituda malsano). Por renormaligi la pH, la reagoj de la korpo al alkalozo inkludas malrapidigon de spirado (malpli da eligo de CO_2 per la pulmoj) kaj pliigo de la ekskrecio de HCO_3^- per la renoj, kio rezultas en alkala urino. Alkalozo ne okazas tiel ofte kiel acidozo.

Bildo 10-3 resumas la kompensajn mekanismojn uzatajn de la korpo por renormaligi la pH-nivelojn de la sango.



Bildo 10-3. Resumo de la funkcioj de la bufro-sistemo karbonata acido/ hidrokarbonata jono en la sango

EKZERCOJ

Difinoj de Acidoj kaj Bazoj

1. Kiuj estas la difinoj de acido kaj de bazo laŭ Arrhenius?
2. Kiuj estas la mankoj en la difinoj de acido kaj bazo laŭ Arrhenius?
3. Kio estas la rilato inter hidrogen-jono kaj hidronia jono?
4. Skribu ekvaciojn (similajn al ekvacioj 10-1 kaj 10-2) por la joniĝo de sekvantaj acidoj kaj bazoj de Arrhenius:
   a) HI (jodida acido)
   b) HClO (hipoklorita acido)
   c) LiOH (litia hidroksido)
   ĉ) KOH (kalia hidroksido)
5. Kiuj estas la difinoj de Brønsted-Lowry por acido kaj bazo, kaj kiujn avantaĝojn ili havas kompare kun la difinoj de Arrhenius?
6. Identigu la acidon kaj bazon de Brønsted-Lowry en jenaj reakcioj:
   a) $HBr + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Br^-$
   b) $H_2O + N_3^- \longrightarrow HN_3 + OH^-$
   c) $H_2O + H_2S \longrightarrow H_3O^+ + HS^-$
   ĉ) $HS^- + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + S^{2-}$
7. Skribu la reakciojn kiuj okazas inter la sekvantaj acidoj kaj bazoj de Brønsted-Lowry:
   a) acido: HOCl, bazo: H_2O
   b) acido: $HClO_4$, bazo: NH_3
   c) acido: H_2O, bazo: NH_2^-
   ĉ) acido: HC_2O_4, bazo: H_2O

Fortoj de Acidoj kaj Bazoj

8. Kiu estas la ĉefa diferenco inter fortaj kaj malfortaj acidoj? Ĉu la distingo inter fortaj kaj malfortaj bazoj estas simila?
9. Kial oni distingas inter la esprimoj malforta acido kaj diluita acido?

Poliprotonaj Acidoj

10. Kio estas poliprotona acido?
11. La preferinda formulo por aceta acido estas $HC_2H_3O_2$, ne $C_2H_4O_2$. Kial?
12. Skribu ekvaciojn montrantajn ĉiujn paŝojn en la joniĝo de:
   a) H_3PO_4 (fosfata acido)
   b) H_2CO_3 (karbonata acido)
   c) $HC_4H_7O_2$ (butanacido)

Saloj

13. Identigu per formuloj kaj nomoj la pozitivajn kaj negativajn jonojn en ĉiu el jenaj saloj. (Vi povas turni vin al Sekcioj 6,5 kaj 6,9).
   a) NaCl
   b) K_3N
   c) $Ba(NO_3)_2$
   ĉ) $(NH_4)_3PO_4$
   d) Na_2SO_4
   e) $CaCO_3$
   f) AgBr
   g) $Al_2(SO_4)_3$
14. Kiuj el la saloj registritaj en Ekzerco 13 estas solveblaj en akvo? (Vi povas turni vin al Tabelo 8-4.) Por ĉiu el la solveblaj saloj

indiku la suman nombron da jonoj, kiuj produktiĝos kiam unu formul-unuo de la salo solviĝas en akvo.

15. La esprimo malforta estas uzata por priskribi iujn acidojn kaj bazojn, sed neniam estas uzata por priskribi salojn. Kial?

Elektrolitoj

16. Kio estas la diferenco inter
    a) elektrolito kaj ne-elektrolito?
    b) forta elektrolito kaj malforta elektrolito?

17. Klasigu ĉiun el jenaj tipoj de kombinaĵoj laŭ forta aŭ malforta elektrolito.

    a) forta acido
    b) malforta acido
    c) forta bazo
    ĉ) malforta bazo
    d) solvebla salo
    e) solvebleta salo

Net-jonaj ekvacioj

18. Klasu la sekvantajn ekvaciojn de reakcioj en akvaj solvaĵoj laŭ molekula ekvacio, plen-jona ekvacio aŭ net-jona ekvacio:

    a) $CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$

    b) $3OH^- + H_3PO_4 \longrightarrow PO_4^{3-} + 3H_2O$

    c) $Na^+ + OH^- + H^+ + Cl^- \longrightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O$

    ĉ) $CaCO_3 + 2H^+ + 2Cl^- \longrightarrow Ca^{2+} + 2Cl^- + H_2O + CO_2$

    d) $Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl$

    e) $Mg + Cu^{2+} \longrightarrow Cu + Mg^{2+}$

    f) $Ca(OH)_2 + 2HC_2H_3O_2 \longrightarrow Ca^{2+} + 2C_2H_3O_2^- + 2H_2O$

    g) $Cl_2 + 2Br^- \longrightarrow 2Cl^- + Br_2$

19. Por ĉiu reakcio en Ekzercio 18, kiu ne estas net-jona, skribu la net-jonan ekvacion.

20. Skribu net-jonan ekvacion por ĉiu el jenaj reakcioj, kiu okazas en akva solvaĵo:

    a) $2NaOH + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$

    b) $ZnCO_3 + 2HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2CO_3$

    c) $NaOH + HNO_3 \longrightarrow NaNO_3 + H_2O$

    ĉ) $KCl + AgNO_3 \longrightarrow AgCl + KNO_3$

    d) $Zn + H_2SO_4 \longrightarrow ZnSO_4 + H_2$

    e) $2NaOH + H_2CO_3 \longrightarrow Na_2CO_3 + 2H_2O$

    f) $2K + 2H_2O \longrightarrow 2KOH + H_2$

    g) $Cl_2 + 2NaBr \longrightarrow 2NaCl + Br_2$

Neŭtrigo

21. Skribu bilancitan kemian ekvacion por figuri la sekvantajn acido-bazajn neŭtrigojn.

a) acido: HCl, bazo: NaOH c) acido: H_2SO_4, bazo: NaOH
b) acido: HNO_3, bazo: KOH ĉ) acido: H_3PO_4, bazo: $Ba(OH)_2$

22. Skribu molekulan ekvacion por la preparo de la ĉi-subaj saloj, uzante acido-bazan neŭtrigan reakcion.
a) Li_2SO_4 (litia sulfato) c) KNO_3 (kalia nitrato)
b) NaCl (natria klorido) ĉ) $Ba_3(PO_4)_2$ (baria fosfato)

Koncentrecoj de Hidrogenaj kaj Hidroksidaj Jonoj

23. Kiu estas la koncentreco de hidrogenaj kaj de hidroksidaj jonoj en pura akvo je 25°C?

24. Kalkulu la H^+ jonan koncentrecon de solvaĵo, se la OH^- jona koncentreco estas
a) $8,0 \times 10^{-7}$ M c) $4,0 \times 10^{-3}$ M
b) $3,0 \times 10^{-9}$ M ĉ) $1,5 \times 10^{-2}$ M

25. Diru, cŭ ĉiu el la solvaĵoj en Ekzerco 24 estas acida, neŭtra aŭ baza.

La Skalo pH

26. Kalkulu la pH de solvaĵoj, kiuj havas jenajn $[H^+]$ aŭ $[OH^-]$:
a) $[H^+] = 1 \times 10^{-9}$ c) $[H^+] = 1 \times 10^{-4}$
b) $[OH^-] = 1 \times 10^{-5}$ ĉ) $[OH^-] = 1 \times 10^{-2}$

27. Kalkulu la $[H^+]$ kaj $[OH^-]$ por solvaĵoj kiuj havas jenajn pH:
a) pH = 7 b) pH = 10 c) pH = 2

28. Diru kiom acida aŭ baza estas ĉiu el la ĉi-subaj substancoj (tre acida, iom acida, iomete baza, ktp.):
a) salivo, pH = 6,9 d) arbara grundo, pH = 5,3
b) mara akvo, pH = 8,5 e) sango-plasmo, pH = 7,5
c) limeta suko, pH = 1,8 f) akva amoniako, pH = 11,7
ĉ) dezerta grundo, pH = 9,9

29. Solvaĵo A havas pH de 2, kaj alia solvaĵo H havas pH de 5. Kiu solvaĵo estas pli acida? Kiom diferencas la koncentrecoj H^+ de la du solvaĵoj?

30. Uzante Tabelon 10-4, kalkulu la pH de solvaĵoj, kiuj havas jenajn ecojn:
a) $[H^+] = 6,0 \times 10^{-3}$ c) $[OH^-] = 5,0 \times 10^{-6}$
b) $[H^+] = 8,0 \times 10^{-9}$ ĉ) $[H^+] = [OH^-]$

31. Transkalkulu ĉiun el jenaj pH-valoroj en valorojn $[H^+]$ kaj $[OH^-]$. Uzu Tabelon 10-4, se necese.
a) pH = 10,30 b) pH = 1,22 c) pH = 5,70

Titradoj

32. Koncize priskribu la procedon de titrado de acido kun bazo. Klarigu la gravecon de la finpunkto, kaj la uzon de indikenzo.

33. Solvaĵo havas efikojn sur tri indikenzojn sube listigitajn. Uzu ĉi tiun informon kaj Bildon 10-2 por taksi la pH de la solvaĵo.

a) ĝi bluigas lakmuson
b) ĝi ruĝigas fenolftaleinon
c) ĝi flavigas alizarin-flavon

34. Kiom da ekvivalentoj de acido aŭ bazo enestas en ĉiu el jenaj provaĵoj:
    a) 1 molo da NaOH ĉ) 2 moloj da $Ba(OH)_2$
    b) 1 molo da H_2SO_4 d) 1/3 molo da H_3PO_4
    c) 1 molo de H_2CO_3

35. Esprimu la sekvantajn molarecojn kiel normalecojn:
    a) 0,001 M HCl b) 1,6 M H_2SO_4 c) 0,67 M $Ba(OH)_2$

36. Kiuj el la sekvantaj kvantoj da acido neŭtrigas la plej grandan volumenon de donita bazo?
    a) 100 ml da 0,25 M H_2SO_4 c) 200 ml da 0,2 M H_3PO_4
    b) 150 ml da 0,4 M HNO_3 ĉ) 50 ml da 0,5 M HCl

37. Kiom da ml de 0,100 N NaOH estus necesaj por neŭtrigi ĉiun el jenaj acidoj:
    a) 5,00 ml da 0,250 N HNO_3 c) 5,00 ml da 0,250 M HNO_3
    b) 20,00 ml da 0,500 N H_2SO_4 ĉ) 20,00 ml da 0,500 M H_2SO_4

Hidrolizo de Saloj

38. En diskutoj pri hidrolizo estas utile klasi la salojn en kvar kategoriojn. Kiuj estas la kategorioj? Donu ekzemplon de po unu salo, kiu apartenas al ĉiu kategorio.

39. Antaŭdiru la econ (acidan, neŭtran, bazan) de solvaĵoj enhavantaj la sekvantajn salojn. Skribu ekvaciojn pri la hidrolizaj reakcioj por klarigi la karakteron de ĉiu solvaĵo, kiu ne estas neŭtra.
    a) natria nitrato -- $NaNO_3$ ĉ) kalia acetato -- $KC_2H_3O_2$
    b) natria formiato -- $NaHCO_2$ d) litia klorido -- LiCl
    c) amonia bromido -- NH_4Br

40. Klarigu kial kelkaj saloj ne hidroliziĝas.

41. Tri el la saloj en Tabelo 10-8 -- NH_4NO_2, $NH_4C_2H_3O_2$ kaj NH_4CN -- estas de la tipo malforta acido kaj malforta bazo. La unua donas acidan akvan solvaĵon, la dua neŭtran solvaĵon kaj la tria bazan solvaĵon. Klarigu kiel tio estas ebla.

42. Klarigu, kiel la hidrolizo de saloj neprigas la uzon de pli ol unu acido-baza indikenzo dum titrado.

Bufraj Solvaĵoj

43. Klarigu la principon de bufraj solvaĵoj. Kiam bufra solvaĵo iĝos senefika?

44. Skribu ekvaciojn por montri kiel miksaĵo de dinatria hidrogena fosfato (Na_2HPO_4) kaj natria dihidrogena fosfato (NaH_2PO_4) povus funkcii kiel

bufro, kiam solvite en akvo. Ambaŭ tiuj saloj devenas de la tri-protona acido H_3PO_4.

45. Kiujn kompensajn mekanismojn uzas la korpo por korekti la statojn de (a) acidozo kaj (b) alkalozo.

11 REDOKSAJ REAKCIOJ

CELOJ

11.1 Uzante la nocion de elektrona transiĝo, difini oksidigon, redukton, oksidiganton kaj reduktanton.

11.2 Determini la oksidiĝo-nombron de elemento en molekulo aŭ jono. Uzante la nocion de ŝanĝo de oksidiĝo-nombro, difini la terminojn oksidigo, redukto, oksidiganto kaj reduktanto. En la donita ekvacio por redoksa reakcio, identigi la oksidigitan substancon, reduktitan substancon, oksidiganton kaj reduktanton.

11.3 Klasi reakciojn laŭ oksidiga-redukta aŭ metateza. Klasi reakciojn laŭ sintezo, malkombinigo, unuobla substituo, aŭ duobla substituo.

11.4 Ekkoni kelkajn universalajn redoksajn reakciojn.

En la Ĉapitro 10, ni studis unu el la plej gravaj tipoj de kemiaj reakcioj -- la acido-bazajn reakciojn. En tiu ĉi ĉapitro estos studata la dua grava klaso de kemiaj reakcioj, la redukt-oksidigaj reakcioj. La acido-bazaj reakcioj klasiĝas kiel reakcioj de proton-transiĝo en la senco de Brønsted-Lowry (Sekcio 10.1). Redukt-oksidigaj reakcioj implicas elektron-transiĝon inter la reakciantoj.

Reakcioj de oksidigo kaj redukto okazas ĉie ĉirkaŭ ni kaj eĉ en ni. La ĉefa parto de energio bezonata por la funkciado de ĉiuj vivantaj organismoj, ankaŭ la homaj, estas akirata el manĝaĵo per reakcioj de oksidiĝo kaj reduktiĝo. Tiaj diversaj fenomenoj kiel elektro akirata el pilaro por startigi aŭtomobilon, uzado de ter-gaso por hejti hejmon, rustiĝo de fero, lumigo helpe de poŝlampo kaj la efikado de antisepsaj agantoj kun la celo mortigi aŭ malebligi la kreskon de bakterioj -- ĉiuj ĉi temas pri oksidigaj-reduktaj reakcioj. Malonge dirite, kono pri tiu ĉi reakci-tipo estas fundamenta por kompreno de multaj biologiaj kaj teknikaj fenomenoj.

11.1 REDUKT-OKSIDIGA TERMINARO

La senco de la terminoj oksidigo (oksidiĝo) kaj redukto (reduktiĝo), simile al tiu de la terminoj acido kaj bazo (Sekcio 10.1), larĝiĝis dum la tempo. Preskaŭ ĉiuj elementoj reakcias kun oksigeno por formi oksidojn. Tiu ĉi procedo estas tiom ĝenerala, ke jam frue en la historio de kemio oni enkondukis la vorton oksidigo por priskribi ĝin. Kelkaj ekzemploj estas rustiĝo de fero (11-1) kaj bruligo de karbono (11-2):

$$4\ Fe + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ Fe_2O_3 \qquad 11\text{-}1$$

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad 11\text{-}2$$

La mala procedo, redukto, origine aludis la metodon de oksigen-forpreno el ercoj por produkti la liberan metalon. Kelkaj ekzemploj estas:

$$CuO + H_2 \longrightarrow Cu + H_2O \qquad 11\text{-}3$$

$$2\ Fe_2O_3 + 3\ C \longrightarrow 4\ Fe + 3\ CO_2 \qquad 11\text{-}4$$

La vortoj oksidigo kaj redukto estas hodiaŭ uzataj laŭ multe pli larĝa senco. Nuntempaj difinoj ampleksas la supre menciitajn ekzemplojn, sed ankaŭ multe pli. Nun oni rekonas, ke la plejmulto da ŝanĝoj rilate la kombinon de substanco kun O_2 aŭ la forigon de O_2 el la substanco tute ne bezonas la ĉeeston de O_2. Ni konsideros tion farante jenan difinon:

oksidigo; redukto

Oksidigo estas perdo de elektronoj ĉe kemia speco; redukto estas gajno (akiro) de elektronoj ĉe kemia speco. (La termino "oksidigi" kiel uzata tie ĉi ne egalas al la "oksidi" uzata en PIV. La lasta signifas "ŝanĝi ...en oksidon", dum "oksidigi" havas pli vastan sencon.)

Oksidigo kaj redukto estas komplementaj procedoj kaj ne izolitaj fenomenoj. Se elektronojn perdas unu speco, ilin devas gajni la alia.

redoksaj (redukt-oksidigaj) reakcioj

La reakcioj, en kiuj okazas tiaj elektron-transiĝoj inter reakciantoj nomiĝas redukt-oksidigaj aŭ redoksaj reakcioj.

Ekzistas du diferencaj manieroj kiel rigardi reakciantojn en la redoksaj reakcioj. Unue ni povas konsideri la reakciantojn, ke sur ilin agas io. El tiu ĉi vidpunkto unu reakcianto estas oksidigata (tiu, kiu perdas elektronojn) kaj la dua estas reduktata (tiu, kiu gajnas la elektronojn). Due ni povas rigardi la reakciantojn agantoj aŭ enzoj kiuj elvokas la reakcion.

reduktanto; oksidiganto

La reduktanto kaŭzas redukton per tio, ke ĝi fordonas elektronojn al alia reakcianto; la reduktanto mem estas oksidigata. La oksidiganto kaŭzas oksidigon per tio, ke ĝi akceptas elektronojn; la oksidiganto mem estas reduktata.

Notu do, ke la reduktanto kaj la oksidigato (substanco oksidigata) identas, same kiel la oksidiganto kaj la reduktato (substanco reduktata). Tabelo 11-1 resumas la terminaron prezentitan en tiu ĉi sekcio.

Tabelo 11-1. Terminaro de oksidigo kaj redukto

Termino	Rilato al elektronoj
Oksidigo	perdo de elektronoj
Redukto	gajno de elektronoj
Oksidigato	perdas elektronojn
Reduktato	gajnas elektronojn
Oksidiganto	gajnas elektronojn
Reduktanto	perdas elektronojn

11.2 OKSIDIĜO-NOMBROJ

Uzo de oksidiĝo-nombroj helpas determini, ĉu oksidiĝo kaj reduktiĝo okazas en la reakcio, kaj se jes, ili helpas identigi la oksidigantojn kaj

reduktantojn.

oksidiĝo-nombro

Oksidiĝo-nombro estas ŝargo, kiun ŝajnas havi atomo, se oni kalkulas la valent-elektronojn laŭ la sekvanta proceduro:

1. Elektronoj kunhavataj de du malsamaj atomoj estas arbitre atribuitaj al la pli elektronegativa elemento.

Ekzemple, la komuna elektron-paro en HCl (Sekcio 6.6) estas atribuita al Cl, kiu ricevas tiel unu plian elektronon kompare kun la elementa Cl, kaj ricevas tiel la ŝargon kaj oksidiĝo-nombron -1. Samtempe H de la molekulo HCl havas unu elektronon malpli ol la elementaj H-atomoj, tial ĝia ŝargo kaj la oksidiĝo-nombro estas +1.

2. Elektronoj komunaj inter de du samaj atomoj estas atribuitaj sam-nombre al ĉiu atomo.

Ekzemplo estas la atribuo de la tri komunaj elektron-paroj (triobla ligo) en la molekulo N_2. Tri el la elektronoj oni atribuas al ĉiu N-atomo donante al ĉiu la saman nombron, kiun oni trovas en la elementa atom-stato. La oksidiĝo-nombro de ĉiu N-atomo estas tial 0.

La ĵus priskribita proceduro povas esti uzita, en principo, por determini oksidiĝo-nombrojn en ĉiuj molekuloj. En la plejparto da kazoj ĝi tamen estas tro peniga. En la praktiko oni uzas alternativan, multe pli simplan proceduron, kiu ne postulas elektron-punktajn diagramojn. Tiu ĉi alternativa proceduro estas bazita sur aro da proced-reguloj, kiuj estas konsekvencaj kun, kaj deriveblas de, la antaŭe menciita metodo. La proced-reguloj por oksidiĝonombroj (O.N.) estas:

Regulo 1. La O.N. de iu ajn elemento en libera nekombinita stato estas 0.

Regulo 2. La O.N. de unuatoma jono estas egala al la ŝargo sur la jono (ekz., la jono Na^+ havas oksidiĝonombron +1 kaj la jono O^{2-} havas oksidiĝan nombron -2).

Regulo 3. La O.N. de elementgrupoj IA kaj IIA estas +1 kaj +2 respektive.

Regulo 4. La O.N. de fluoro estas ĉiam -1. Ceteraj membroj de la grupo VIIA (Cl, Br kaj I) kutime havas la oksidiĝonombron -1, sed povas havi ankaŭ pozitivajn oksidiĝonombrojn, kiam ili estas ligitaj al la pli elektronegativaj elementoj.

Regulo 5. La oksidiĝonombro de oksigeno estas ĝenerale -2. Esceptoj okazas, kiam oksigeno estas ligita al la pli elektronegativa

fluoro (oksigeno tiam havas pozitivan O.N.) kaj kiam oksigeno troviĝas en kombinaĵoj, kiuj havas oksigen-oksigenajn ligojn (peroksidoj). En peroksidoj la oksidiĝonombro de oksigeno estas -1. Peroksidoj formiĝas nur inter oksigeno kaj hidrogeno (H_2O_2), elementoj de grupo IA (Na_2O_2, ktp.) kaj elementoj de grupo IIA (BaO_2, ktp.).

Regulo 6. La oksidiĝonombro de hidrogeno estas +1 escepte de hidridoj, en kiuj hidrogeno estas ligita al metalo kun pli malalta elektronegativeco. En tiuj ĉi kazoj al hidrogeno estas atribuita oksidiĝonombro -1. Ekzemploj estas NaH, CaH_2, kaj LiH.

Regulo 7. La algebra sumo de la oksidiĝonombroj de ĉiuj atomoj en neŭtra molekulo devas esti nulo.

Regulo 8. La algebra sumo de la oksidiĝonombroj de ĉiuj atomoj en poliatoma jono egalas al la ŝargo sur la jono.

Ekzemplo 11-1. Alskribu oksidiĝo-nombrojn al ĉiu elemento en ĉiu sekvanta substanco: a) $SnCl_4$, b) $KMnO_4$, c) NO_3^-, ĉ) P_2O_5.

Solvo. a) Cl havas O.N. egalan al -1 (regulo 4). La O.N. de Sn estas kalkulebla per regulo 7.

$$\begin{aligned} (\text{O.N. Sn}) + (4 \times \text{O.N. Cl}) &= 0 \\ (\text{O.N. Sn}) + 4(-1) &= 0 \\ (\text{O.N. Sn}) &= +4 \end{aligned}$$

b) K havas O.N. egalan al +1 (regulo 3) kaj oksigeno havas O.N. -2 (regulo 5). La O.N. de Mn estas kalkulebla per regulo 7.

$$\begin{aligned} (\text{O.N. K}) + (\text{O.N. Mn}) + 4 \times (\text{O.N. O}) &= 0 \\ (+1) + (\text{O.N. Mn}) + 4(-2) &= 0 \\ (\text{O.N. Mn}) + (-7) &= 0 \\ (\text{O.N. Mn}) &= +7 \end{aligned}$$

c) Laŭ regulo 8, la sumo de O.N. devas esti egala al ŝargo -1 sur la jono. Oksigeno havas O.N. -2 (regulo 5) kaj N devas havi O.N. egalan al +5, kiel kalkulite ĉi-sube laŭ la regulo 8.

$$\begin{aligned} (\text{O.N. N}) + (3 \times \text{O.N. O}) &= -1 \\ (\text{O.N. N}) + 3(-2) &= -1 \\ (\text{O.N. N}) &= +5 \end{aligned}$$

ĉ) Oksigeno denove havas O.N. egalan al -2 (regulo 5). La O.N. de fosforo povas esti kalkulita laŭ la regulo 7.

$$\begin{aligned} (2 \times \text{O.N. P}) + (5 \times \text{O.N. O}) &= 0 \\ (2 \times \text{O.N. P}) + 5(-2) &= 0 \\ (2 \times \text{O.N. P}) &= 10 \\ (\text{O.N. P}) &= +5 \end{aligned}$$

Notu, ke la O.N. de fosforo ne estas +10 (la kalkulita ŝargo ĉe du P atomoj), sed efektive +5 (la ŝargo ĉe unusola P atomo).

Multaj elementoj montras gamon da oksidiĝonombroj en siaj diversaj kombinaĵoj. Ekzemple, nitrogeno vidigas oksidiĝonombrojn inter limoj -3 kaj +5 depende de la kombinaĵoj. Ekzemploj estas:

NH_4^+	NO^-	NO	N_2O_3	NO_2	NO_3^-
-3	+1	+2	+3	+4	+5

La oksidiĝonombroj de atomo -- kiel estas montrite supre -- estas skribitaj sub la atomo en la formulo. Tiu ĉi konvencio estas uzata por eviti konfuzon kun la ŝargo sur jono.

Antaŭ ol ni iros plue en nia diskuto pri la oksidiĝonombroj ni reatentu, ke tiuj ĉi kalkulitaj nombroj ne estas faktaj ŝargoj sur atomoj. Pro tio oni trovis la frazeron "ŝajnas havi" en la formala difino de la oksidiĝonombro, kiu estis pli frue donita en tiu ĉi diskuto. Ne ekzistas eksperimenta fundamento por tiu ĉi nombro-sistemo. Malgraŭ tio, la oksidiĝonombroj estas tre oportuna rimedo por teni kalkulon de elektrona transiĝo en redoksaj reakcioj.

Oksidigantoj kaj reduktantoj povas esti difinitaj sur la bazo de ŝanĝoj de oksidiĝonombroj. La oksidiganto en redoksa reakcio estas tiu substanco, kiu entenas la atomon montrantan malaltiĝon de la oksidiĝonombro. La reduktanto entenas la atomon, kiu montras altiĝon de la oksidiĝonombro. Ĉar la oksidiganto estas substanco, kiu estas reduktata en la reakcio, redukto implicas malaltiĝon de oksidiĝonombro. Simile: oksidigo ĉiam implicas altiĝon de oksidiĝonombro. La fakto, ke la oksidiĝonombro iĝas pli negativa kiel rezulto de reduktiĝo, sekvas el la difino, ke redukto estas gajno de elektronoj. Tabelo 11-2 resumas la rilatojn inter terminaro redukt-oksidiga kaj ŝanĝiĝoj de oksidiĝaj nombroj. Komparo de tiu ĉi tabelo kun Tabelo 11-1 montras, ke la perdo de elektronoj kaj altiĝoj de oksidiĝonombro estas sam-signifaj, same kiel gajno de elektronoj kaj malaltiĝoj de oksidiĝonombro.

Tabelo 11-2. Terminaro redukt-oksidiga rilate al ŝanĝiĝo de oksidiĝonombro

Termino	Rilato al oksidiĝonombro
Oksidigo	altigo de oksidiĝonombro
Redukto	malaltigo de oksidiĝonombro
Oksidigato	altigo de oksidiĝonombro
Reduktato	malaltigo de oksidiĝonombro
Oksidiganto	malaltigo de oksidiĝonombro
Reduktanto	altigo de oksidiĝonombro

Ekzemplo 11-2. Determinu oksidiĝonombrojn por ĉiu atomo en la sekvantaj reakcioj kaj identigu la oksidiganton kaj reduktanton.

a) $4\ Al + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ Al_2O_3$

b) $CO + 3\ H_2 \longrightarrow H_2O + CH_4$

c) $S_2O_8^{2-} + 2\ I^- \longrightarrow I_2 + 2\ SO_4^{2-}$

Solvo. La O.N. estas kalkulitaj helpe de metodoj ilustritaj en Ekzemplo 11-1.

a) $\underset{0}{4\ Al} + \underset{0}{3\ O_2} \longrightarrow \underset{+3\ -2}{2\ Al_2O_3}$

La O.N. de Al ŝanĝiĝis de 0 al +3. Tial Al estis oksidigita kaj estas la reduktanto. La O.N. de O malaltiĝis de 0 al -2. Tial O estis reduktita kaj estas la oksidiganto.

b) $\underset{+2-2}{CO} + \underset{0}{3\ H_2} \longrightarrow \underset{+1-2}{H_2O} + \underset{-4+1}{CH_4}$

La O.N. de H_2 altiĝis de 0 al +1. Hidrogeno estis oksidigita kaj estas la reduktanto. La O.N. de C malaltiĝis de +2 al -4. Karbono estis reduktita kaj povas esti nomata la oksidiganto. Tamen, kiam unu elemento en molekulo aŭ jono estas la oksidiganto aŭ reduktanto ni aludas per la konvena termino la tutan molekulon aŭ jonon. Tial, karbona monoksido (CO) estas la oksidiganto.

c) $\underset{+7-2}{S_2O_8^{2-}} + 2\ \underset{-1}{I^-} = \underset{0}{I_2} + 2\ \underset{+6-2}{SO_4^{2-}}$

La O.N. de I altiĝis de -1 al 0, kaj do la jono I^- estas la reduktanto. La O.N. de S en $S_2O_8^{2-}$ malaltiĝis de +7 al +6. Sekve S estis reduktita kaj la jono $S_2O_8^{2-}$ estas la oksidiganto.

11.3 KLASOJ DE REAKCIOJ

Eblas preskaŭ nekomprenebla nombro da kemiaj reakcioj. Problemoj ligitaj al organizado de niaj scioj pri ili estas iom mildigitaj per grupigo de la reakcioj en klasojn. Du klasifikaj sistemoj estas uzataj:

1. Sistemo bazita sur ŝanĝiĝo en oksidiĝonombro, kiu grupigas la reakciojn en du kategoriojn -- redukt-oksidigajn (redoksajn) kaj metatezajn.
2. Sistemo bazita sur formo de la ekvacio de la reakcio, kiu distingas kvar tipojn de reakcioj -- sintezo, malkombiniĝo, unuobla substituo, kaj duobla substituo.

La du sistemoj ne ekskluzivas sin reciproke kaj estas ĝenerale uzataj kune. Ekzemple, certa reakcio povas esti karakterizita kiel unuobla substitua redoksa reakcio.
Kiel ni scias, reakcioj en kiuj ŝanĝiĝas oksidiĝonombroj estas nomataj redoksaj reakcioj. La determino, ĉu donita reakcio estas de tiu ĉi tipo, estis konsiderata en Sekcio 11.2.

metateza reakcio
Metatezaj reakcioj estas tiuj, en kiuj okazas neniu ŝanĝiĝo de oksidiĝonombro.

Multaj reakcioj kiuj okazas en akva solvaĵo estas metatezaj reakcioj.

sinteza reakcio
Sinteza reakcio estas tia reakcio, kiu rezultigas unusolan produkton. Tiu ĉi entenas ĉiujn komponantojn de la komencaj substancoj.

Ĝenerala ekvacio de sinteza reakcio estas:

$$X + Y \longrightarrow XY \qquad 11\text{-}5$$

La reakciantoj X kaj Y povas esti elementoj aŭ kombinaĵoj. Kelkaj ekzemplaj reakcioj kun elementoj kiel reakciantoj estas:

$$Ca + S \longrightarrow CaS \qquad 11\text{-}6$$

$$N_2 + 3\,H_2 \longrightarrow 2\,NH_3 \qquad 11\text{-}7$$

$$2\,Na + O_2 \longrightarrow Na_2O_2 \qquad 11\text{-}8$$

Sintezaj reakcioj de tiu ĉi tipo estas ĉiam redoksaj reakcioj. Ĉi tie devas okazi ŝanĝiĝoj de oksidiĝonombroj, ĉar ĉiuj elementoj havas oksidiĝonombron 0 kaj ĉiuj konsistigaj elementoj de kombinaĵo ne povas havi oksidiĝonombron de 0. Kelkaj ekzemploj de sintezaj reakcioj, kiuj implicas

kombinaĵojn kiel reakciantojn, estas:

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 \qquad 11\text{-}9$$

$$Na_2O + H_2O \longrightarrow 2\ NaOH \qquad 11\text{-}10$$

Ambaŭ ĉi reakcioj estas metatezaj.
La ĝenerala ekvacio por malkombiniĝa reakcio estas:

$$XY \longrightarrow X + Y \qquad 11\text{-}11$$

kie X kaj Y povas esti aŭ elementoj aŭ kombinaĵoj kaj XY estas kombinaĵo.

<u>malkombiniĝa reakcio</u>
Malkombiniĝa reakcio estas la malo (inverso) de sinteza reakcio.

Kaj redoksaj kaj metatezaj malkombiniĝaj reakcioj estas oftaj. Ĉiuj kombinaĵoj ĉe sufiĉe alta temperaturo povas esti disigitaj en siajn konsistigajn elementojn. Tiaj reakcioj, kiuj estas ĉiam de la redoksa tipo, ampleksas:

$$2\ HI \longrightarrow H_2 + I_2 \qquad 11\text{-}12$$

$$2\ H_2O \longrightarrow 2\ H_2 + O_2 \qquad 11\text{-}13$$

Ekzemploj de malkombiniĝaj reakcioj, kiuj produktas minimume unu kombinaĵon kiel produkton, estas:

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2 \qquad 11\text{-}14$$

$$2\ KClO_3 \longrightarrow 2\ KCl + 3\ O_2 \qquad 11\text{-}15$$

Analizo de tiuj ĉi du ekvacioj koncerne ties oksidiĝonombrojn montras, ke ekvacio 11-14 estas metateza dum ekvacio 11-15 estas redoksa reakcio.

<u>unuobla substitua reakcio</u>
Unuobla substitua reakcio estas tia reakcio, en kiu unu elemento anstataŭas alian elementon en ĝia kombinaĵo.

Ĝenerala bildigo de tiu ĉi reakcio estas:

$$X + YZ \longrightarrow Y + XZ \qquad 11\text{-}16$$

Kaj metaloj kaj nemetaloj povas esti tiamaniere anstataŭitaj en kombinaĵoj:

$$Fe + CuSO_4 \longrightarrow Cu + FeSO_4 \qquad 11\text{-}17$$

$$2\ KCl + F_2 \longrightarrow 2\ KF + Cl_2 \qquad 11\text{-}18$$

duobla substitua reakcio

La ĝenerala ekvacio por duobla substitua reakcio, kiu povas esti konsiderata kiel interŝanĝo de reakciantoj, estas:

$$AX + BY \longrightarrow AY + BX \qquad 11\text{-}19$$

Metatezaj duoble substituaj reakcioj estas la plej ofte renkontata tipo de reakcio. Acidobazaj neŭtrigoj (Sekcio 10.7) estas de tiu ĉi tipo.

Ekzemplo 11-3. Klasu ĉiun el la sekvantaj reakcioj laŭ karaktero redoksa aŭ metateza. Klasu ilin plue laŭ sintezo, malkombiniĝo, unuobla substitua aŭ duobla substitua reakcio.

a) $2\,S + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,SO_3$

b) $2\,K + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,KOH + H_2$

c) $CO + Cl_2 \longrightarrow COCl_2$

Solvo. Oksidiĝonombroj estas kalkulitaj kaj indikitaj kiel en Ekzemplo 11-2.

a) $2\,\overset{0}{S} + 3\,\overset{0}{O_2} \longrightarrow 2\,\overset{+6-2}{SO_3}$

La O.N. de S kaj O ŝanĝiĝas, tial la reakcio estas redoksa reakcio. Du substancoj kombiniĝas kaj formas la trian, tial la reakcio estas sinteza reakcio.

b) $2\,\overset{0}{K} + 2\,\overset{+1-2}{H_2O} \longrightarrow \overset{+1-2+1}{2\,KOH} + \overset{0}{H_2}$

La O.N. de K altiĝas de 0 al +1 kaj tiu de H malaltiĝas de +1 al 0. La reakcio estas redoksa. Ĝi estas ankaŭ unuobla substitua reakcio, ĉar K forŝovas H.

c) $\overset{+2-2}{CO} + \overset{0}{Cl_2} \longrightarrow \overset{+4-2-1}{COCl_2}$

La O.N. de kaj C kaj Cl ŝanĝiĝas, do la reakcio devas esti redoksa. Du substancoj kombiniĝas kaj produktas la trian, do la reakcio estas ankaŭ ordigita en la kategorion sintezo.

11.4 KELKAJ GRAVAJ REDOKSAJ PROCEDOJ KAJ PROCEZOJ

Oksigeno, la plej komunuza el ĉiuj oksidigantoj, funkcias kiel tia en larĝa diverseco de gravaj reakcioj.

bruligo

Bruligo, la en-aera konsumo de substanco per fajro, implicas la rapidan oksidigon de la substanco pere de oksigeno.

Tiaj oksidigoj estas la plej gravaj energi-fontoj de civilizacio en la nuntempo. Energio, uzata por liveri elektran energion, varmon kaj transporton estas plejparte derivata el la bruligado de la fosiliaj brulaĵoj karbo kaj nafto. Pli malrapidaj reakcioj ol bruligo, kun oksigeno kiel la oksidiganto, estas ankaŭ konataj. Ili inkludas rustiĝon de fero kaj la naturan putradon de ligno kaj de aliaj tipoj de plantaj restaĵoj.

Oksidigo pere de oksigeno kiel oksidiganto estas la energifonto por vivantaj organismoj. Por homoj, la oksidigataj substancoj estas niaj manĝaĵoj: sakaridoj (karbohidratoj), grasoj, kaj proteinoj. La oksigeno bezonata por oksidigo de tiuj ĉi substancoj estas liverata al la ĉeloj per la sango, kiu alprenas oksigenon en la pulmo kaj distribuas ĝin tra la tuta korpo. Tiuj ĉi oksidiĝoj, kiuj realiĝas en la naturo en multaj paŝoj, okazas en tre regata rapido, ebligante al la ĉeloj kapti kaj uzi la liberiĝintan energion. Karbona dioksido kaj akvo estas la produktoj de tiaj oksidiĝoj, kiel estas montrite en ekvacioj 11-20 ĝis 11-22.

$$\text{sakaridoj} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{energio} \qquad 11\text{-}20$$

$$\text{graso} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{energio} \qquad 11\text{-}21$$

$$\text{proteino} + O_2 \longrightarrow H_2O + \text{energio} + \text{nitrogen-entenaj produktoj} \qquad 11\text{-}22$$

La sango redonas la elspirotan rub-produkton CO_2 al la pulmo, dum la akvo produktita per oksidiĝaj reakcioj aŭ restas en la ĉeloj kaj histoj aŭ estas eligata per ŝvito aŭ urino.

Reduktiĝoj havas por homoj ankaŭ precipan signifon. Procezo reduktiĝa, kiu okazas en la vegetala regno, fotosintezo, povas esti konsiderata la fundamenta fonto de la manĝaĵo, kiun ni konsumas.

fotosintezo

Fotosintezo, kiu konsistas el kompleksa serio de reduktiĝaj reakcioj, elvokas en plantoj la ŝanĝon de karbona dioksido (akirita el la aero) en

glukozon, simplan sakaridon.

Molekuloj de glukozo (Sekcio 20.2) produktitaj de fotosintezo estas poste diversmaniere kombinitaj por liveri pli grandajn sakaridojn (Sekcio 20.6). Tiuj ĉi sakaridoj poste fariĝas nia manĝaĵo aŭ rekte aŭ per manĝado de la viando de bestoj, kiuj manĝis la plantojn.

La resuma reakcio de fotosintezo povas esti skribita jene:

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{sunenergio} \longrightarrow \underset{\substack{\text{glukozo,}\\ \text{konstru-ero}\\ \text{de sakaridoj}}}{C_6H_{12}O_6} + 6\ O_2 \qquad 11\text{-}23$$

Notu, ke krom glukozo ankaŭ oksigeno estas produkto de fotosintezo. Tiu ĉi reakci-vojo de oksigen-produktiĝo estas la natura metodo por replenigo de la monda oksigen-provizo. Fotosintezo kompensas oksidigajn procedojn, kiel ekzemple bruligon kaj homan spiradon, kiuj senĉese forkonsumas oksigenon el la atmosfero.

EKZERCOJ

Terminaro Redoksa

1. Difinu la sekvantajn terminojn uzante la vorton elektronoj en ĉiu difino:
   a) oksidigo c) oksidiganto d) oksidiĝonombro
   b) redukto ĉ) reduktanto
2. En ĉiu el la sekvantaj propozicioj, elektu vorton en la krampoj, kiu plej bone kompletigos la propozicion:
   a) Tiu elemento, kiu gajnis elektronojn en redoksa reakcio, estas (oksidigita, reduktita).
   b) Redukto ĉiam elvokas (altigon, malaltigon) de la oksidiĝonombro.
   c) La substanco, kiu estas reduktata en redoksa reakcio, estas la (oksidiganto, reduktanto).
   ĉ) La oksidiganto (gajnas, perdas) elektronojn en redoksa reakcio.
   d) La oksidiganto kaŭzas (altigon, malaltigon) en la oksidiĝonombro de la reduktanto en redoksa reakcio.

Kalkulado de Oksidiĝo-nombroj

3. Atribuu oksidiĝonombrojn al la substrekitaj elementoj en la sekvantaj formuloj:
   a) $\underline{S}O_2$ c) $\underline{S}O_4^{2-}$ d) $\underline{Ba}^{2+}$ f) $H\underline{Cl}O_3$
   b) $\underline{S}O_3$ ĉ) $\underline{Cl}_2$ e) $\underline{Zn}SO_4$ g) $H_3\underline{P}O_4$
4. Kiuj estas la oksidiĝonombroj de ĉiuj elementoj en la sekvantaj formuloj:

a) N_2O_5 c) $AgNO_3$ d) $KHCO_3$ f) NO_3^-
b) $Al(OH)_3$ ĉ) $CaCO_3$ e) Fe g) CrO_4^{2-}

5. Por la sekvantaj oksigen-entenaj kombinaĵoj, diru ĉu 1) oksigeno havas oksidiĝonombron -2, 2) oksigeno havas oksidiĝonombron -1 aŭ 3) oksigeno havas pozitivan oksidiĝonombron:

a) Na_2O_2 c) OF_2 d) CaO_2
b) Na_2O ĉ) BaO e) FeO

6. Klasu la sekvantajn hidrogen-havajn kombinaĵojn en la katagoriojn 1) hidrogeno havas oksidiĝonombron +1 aŭ 2) hidrogeno havas oksidiĝonombron -1:

a) CH_4 c) H_2O d) MgH_2
b) NH_3 ĉ) NaH e) HCl

<u>Oksidiĝo-nombroj kaj Kemiaj Ekvacioj</u>

7. Asignu oksidiĝonombrojn al ĉiu elemento en la sekvantaj reakcioj kaj identigu la reduktanto(j)n kaj oksidiganto(j)n:

a) $H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\ HCl$
b) $2\ SO_2 + O_2 \longrightarrow 2\ SO_3$
c) $Zn + 2\ H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2$
ĉ) $H_2S + I_2 \longrightarrow 2\ I^- + 2\ H^+ + S$
d) $Zn + Cu^{2+} \longrightarrow Zn^{2+} + Cu$
e) $Cr_2O_7^{2-} + 2\ H^+ + 3\ Mn^{2+} \longrightarrow 2\ Cr^{3+} + 3\ MnO_2 + H_2O$
f) $2\ MnO_4^- + 16\ H^+ + 10\ Hg \longrightarrow 2\ Mn^{2+} + 8\ H_2O + 5\ Hg_2^{2+}$
g) $2\ Ce^{4+} + H_3AsO_3 + H_2O \longrightarrow 2\ Ce^{3+} + H_3AsO_4 + 2\ H^+$

8. En ĉiu el la sekvantaj reakcioj indiku, ĉu la substrekita elemento estas 1) oksidigita, 2) reduktita aŭ 3) nek oksidigita nek reduktita:

a) $2\ \underline{Mg} + O_2 \longrightarrow 2\ MgO$
b) $\underline{CuO} + H_2 \longrightarrow Cu + H_2O$
c) $2\ \underline{Fe_2O_3} + 3\ C \longrightarrow 4\ Fe + 3\ CO_2$
ĉ) $\underline{Ag}^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl$
d) $\underline{BaCl_2} + H_2SO_4 \longrightarrow BaSO_4 + 2\ HCl$
e) $\underline{Zn} + 2\ H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2$

9. La malbrilaĵo, kiu formiĝas sur arĝentaj objektoj, estas surfaca tavolo de arĝenta sulfido, Ag_2S, kiu povas esti forigita per kontaktigo de la arĝento kun aluminia metalo en dilua solvaĵo de $NaHCO_3$ aŭ NaCl. La puriga reakcio estas redoksa reakcio:

$$3\ Ag_2S + 2\ Al \longrightarrow 6\ Ag + Al_2S_3$$

Sulfuro havas oksidiĝonombron -2 en ambaŭ S-entenaj kombinaĵoj. Identigu la oksidiganton kaj reduktanton en la puriga reakcio.

Tipoj de reakcioj

10. La sekvantaj propozicioj prezentas karakterizojn aŭ ekzemplojn de sintezo, malkombiniĝo, unuobla substitua reakcio aŭ duobla substitua reakcio. Parigu ĉiun propozicion al la citita tipo de reakcio.
    a) Ĉe varmigo, substanco ŝanĝiĝas en du novajn substancojn.
    b) Jodo (I_2) kaj natria klorido (NaCl) produktiĝas, kiam kloro (Cl_2) reakcias kun natria jodido NaI.
    c) Karbono kaj oksigeno reakcias kaj liveras nur karbonan dioksidon.
    ĉ) Reakciantoj estas interŝanĝitaj en tiu ĉi tipo de reakcio.
    d) Acido-bazaj neŭtrigaj reakcioj respondas al tiu ĉi tipo de reakcio.
    e) Du substancoj reakcias kaj produktas unu substancon.
11. Klasu la sekvantajn reakciojn laŭ sintezo, malkombiniĝo, unuobla aŭ duobla substitua reakcio:
    a) $SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$
    b) $CuCO_3 \longrightarrow CuO + CO_2$
    c) $N_2 + 2\ O_2 \longrightarrow 2\ NO_2$
    ĉ) $HCl + NaOH \longrightarrow H_2O + NaCl$
    d) $Cl_2 + 2\ NaBr \longrightarrow 2\ NaCl + Br_2$
    e) $2\ Ag_2O \longrightarrow 4\ Ag + O_2$
12. Klasu ĉiun reakcion el Ekzerco 11 laŭ karaktero redoksa aŭ metateza.

12 NUKLEAJ PROCEZOJ

CELOJ

12.1 Difini nuklidon kaj radionuklidon.

12.2 Priskribi kutimajn formojn de radiado elsendata de nature ekzistantaj radioaktivaj materialoj.

12.3 Skribi ekvaciojn, bilancitajn laŭ masnombroj kaj atomnumeroj, por prezenti diversajn diseriĝajn procezojn. Priskribi kiamaniere la atomnumero kaj masnombro de radionuklido ŝanĝiĝas rezulte de alfa-, beta-, kaj gama-emanado.

12.4 Kompreni kiel oni elvokas nukleajn reakciojn bombardante nukleojn per diversaj eretoj. Skribi bilancitajn ekvaciojn por prezenti tiujn reakciojn.

12.5 Rilatigi nuklean stabilon al la nombro de nukleonoj ĉeestantaj kaj al neŭtron-protona rilatumo.

12.6 Kompreni la koncepton de duoniĝodaŭro. Kalkuli la frakcion de radioizotopo restanta post paso de donita nombro da duoniĝodaŭroj, kaj inverse.

12.7 Klarigi la diferencojn inter radioaktivaj elementoj sintezaj kaj nature ekzistantaj.

12.8 Priskribi la diferencojn inter biologiaj efikoj de eksponiĝo al radiadoj alfa, beta, kaj gama.

12.9 Scii la fontojn kaj efikojn de radiada eksponado sur la homan korpon.

12.10 Konsideri la medicinajn uzojn de radioizotopoj.

Ĝis nun, niaj diskutoj pri kemiaj ŝanĝoj koncernis plejparte la konduton de elektronoj kaj molekuloj. Malmulton ni diris pri la nukleo, pro tio, ke ĝi restas senŝanĝa en ordinaraj kemiaj reakcioj kaj ke ĝi gravas nur tiom, kiom ĝi influas elektronojn. En ĉi tiu ĉapitro ni ekzamenos grupon de procezoj konataj kiel nukleaj reakcioj, kiuj rekte koncernas la nukleon kaj kiuj tial ne estas ordinaraj kemiaj reakcioj. La studo de tiuj reakcioj komenciĝis per la malkovro de radioaktiveco en 1896 kaj fariĝis pli kaj pli grava dum la lastaj tridek jaroj pro la aplikoj kiuj estas trovitaj por nukleaj reakcioj. Ni unue esploros tiujn reakciojn kaj la naturon de radioaktiveco, kaj poste rigardos manierojn laŭ kiuj nukleaj reakcioj estas aplikataj.

12.1 ATOMAJ NUKLEOJ

nuklido

En nukleaj studaĵoj oni kutime uzas la terminon nuklido kiam oni parolas pri la nukleo en la atomo.

Ni akceptos tiun kutimon. Por unike identigi iun nuklidon, kaj ĝia atomnumero kaj ĝia masnombro (Sekcio 3.4) devas esti specifitaj. Pro tio, ekzistas du malsamaj notaciaj metodoj. Konsideru izotopon de karbono en kiu la nukleo entenas 8 neŭtronojn kaj 6 protonojn. Tiu izotopo povas esti signita per $^{14}_{6}C$ aŭ karbono-14. En la unua notacio, la superindico estas la masnombro kaj la subindico estas la atomnumero. En la dua notacio, la masnombro estas tuj post la nomo de la elemento. La avantaĝo de la unua notacio estas ke ĝi montras la atomnumeron; malavantaĝo estas la bezono skribi super kaj sub la linio. En ĉi tiu ĉapitro ni uzos ambaŭ tipojn de notacio.

Multaj nuklidoj ekzistas en la naturo, kaj multaj aliaj estas sinteze produktitaj (Sekcio 12.4). Kelkaj nature ekzistantaj nuklidoj kaj ĉiuj sinteze produktitaj nuklidoj estas malstabilaj kaj elsendas radiadon.

radioaktiva nuklido (nuklido)

Malstabilaj nuklidoj estas nomataj radioaktivaj nuklidoj aŭ radionuklidoj.

radioizotopo

Atomon kies nukleo estas malstabila oni ofte nomas radioizotopo.

12.2 NATURA RADIOAKTIVECO

La fenomeno konata kiel radioaktiveco estis neatendite eltrovita de la franca sciencisto Henri Becquerel /Bekrel/ en 1896. Tiutempe li estis studanta certajn mineralojn kiujn oni nomas fosforeskaĵoj (luminoforoj) kaj kiuj lumineskas en la mallumo post eksponado al sunlumo aŭ al ultraviola lumo. La radioj elsenditaj de tiuj fosforeskaj mineraloj, same kiel suna lumo, nigrigas fotografan plakon. Becquerel volis determini ĉu ĉiuj fosforeskaj materialoj elsendas la samajn specojn de radioj. Dum la laboro kun fosforeskaĵo enhavanta uranion, li renkontis fenomenon ĝis tiam nekonitan. La urania salo, post eksponado al sunlumo, normale fosforeskis en mallumo kaŭzante la anticipan nigriĝon de la fotografa plako. Tamen li hazarde trovis ke tiu sama salo ankaŭ nigrigis la fotografan plakon, sen antaŭa ekspono al lumo, tio estas, <u>sen</u> fosforeskado. Becquerel ĝuste konkludis ke tiu dua nigrigo de la plako estis kaŭzita de radioj elsenditaj de la urania salo sen ekstera stimulo. Tiun spontanean elsendadon de radioj el la substanco Becquerel nomis radioaktiveco. Li plue trovis ke tiu radioaktiveco ne estis unikaĵo de la unu urania salo kiun li estis uzinta, sed ke ĝi estas karakterizaĵo de ĉiuj substancoj kiuj enhavas uranion, sendepende de tio ĉu ili fosforeskas aŭ ne.

Sekve de la malkovro far Becquerel, du el liaj kolegoj, Marie kaj Pierre Curie /Maria kaj Petro Kuri/ sisteme esploris ĉiujn eltrovitajn elmentojn por eltrovi kiel disvasta tiu fenomeno estis. La sola alia radioaktiva elemento trovita estis torio. Pluaj esploroj de la geedzoj Curie kondukis al la izolo, en 1898, de du novaj radioaktivaj elementoj, kiujn ili nomis radiumo kaj polonio.

Estis baldaŭ montrite, de Ernest Rutherford /Reterferd/, ke la radiado emananta el tiuj kvar radioaktivaj elementoj fakte konsistas el tri apartaj komponantoj: unu pozitive ŝargita, unu negative ŝargita, kaj unu senŝarga komponanto. Rutherford nomis la pozitivan ŝargitan komponanton alfa(α)-radiado, la negative ŝargitan komponanton beta(β)-radiado, kaj la senŝargan komponanton gama(γ)-radiado.

<u>alfa-radioj</u>

Ni nun scias ke alfa-radioj konsistas el fluo aŭ fasko de pozitive ŝargitaj eretoj (alfa-eretoj), el kiuj ĉiun konsistigas du protonoj kaj du neŭtronoj. La notacio uzata por figuri alfa-ereton estas $^{4}_{2}\alpha$.

La subindico indikas ke la elektra ŝargo de alfa-eretoj estas 2 (pro la du protonoj). La superindico indikas mason de 4 amu. Alfa-eretoj estas

identaj kun la nukleoj en la atomoj de heliumo-4 ($^{4}_{2}He$).

beta-radioj

Beta-radioj konsistas el fluo de negative ŝargitaj eretoj (beta-eretoj). La ŝargo kaj maso de beta-ereto estas identaj kun tiuj de elektrono. La simbolo por beta-ereto estas $^{0}_{-1}\beta$.

Notu ke beta-eretoj ne estas eksternukleaj elektronoj; ili estas eretoj kiuj estis produktitaj interne de la nukleo kaj poste elĵetitaj. Pli multe pri tiu procezo troviĝos en Sekcio 12.3. La subindico de la simbolo indikas ke la ŝargo de beta-ereto estas -1, la ŝargo de elektrono. La uzo de 0 por la maso de beta-ereto ne signifas ke la ereto havus nulan mason, sed pli ĝuste ke la maso estas tre proksima al nul amu. Fakte ĝi estas 0,00055 amu.

gama-radioj

Gama-radioj ne konsistas el eretoj, sed estas radiado iom simila al X-radioj, tamen pli energiaj. La simbolo por kvantumo de gama-radiado estas $^{0}_{0}\gamma$.

12.3 EKVACIOJ POR NUKLEAJ REAKCIOJ

radioaktiva diseriĝo

Natura radioaktiveco rezultas el la dis-er-iĝo de atomoj kiuj havas malstabilajn nukleojn. La diseriĝa procezo estas nomata radioaktiva diseriĝo.

Kiam atomo kun nestabila nukleo diseriĝas, plej ofte (sed ne ĉiam) ĝi transformiĝas en izotopon de alia elemento. Tio rezultas ĉar materialo elĵetiĝas el la nestabila nukleo de la origina atomo. Tiel, nukleaj reakcioj draste diferencas de ordinaraj kemiaj reakcioj, en kiuj la identecoj de la elementoj ĉiam estas konservataj.

Radioaktiva diseriĝo okazas nur en certaj manieroj. Por nature ekzistantaj radioaktivaj substancoj, la manieroj de diseriĝo estas: alfa-diseriĝo, beta-diseriĝo, kaj gama-diseriĝo. Aparta konsiderado de ĉiu el ĉi tiuj manieroj donas pliajn detalojn pri la naturo de nukleaj reakcioj kaj pri tio, kiel skribi ekvaciojn por tiaj reakcioj.

Alfa-diseriĝo

Rezulto de alfa-diseriĝo ĉiam estas la formiĝo de izotopo de malsama elemento. La nukleo produktita en tia diseriĝo havas atomnumeron kiu estas

la atomnumero de la pra-nukleo minus 2, kaj havas masnombron kiu estas la origina minus 4. Ĝenerale ni povas prezenti alfa-diseriĝon per la ekvacio

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{A-4}_{Z-2}Y \qquad 12\text{-}1 $$

X estas la simbolo por la origina elemento, kaj Y estas la simbolo por la elemento formita rezulte de la diseriĝo. Ekvacioj 12-2 kaj 12-3 donas specifajn ekzemplojn de alfa-emanado:

$$ {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{234}_{90}Th \qquad 12\text{-}2 $$

$$ {}^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{222}_{86}Rn \qquad 12\text{-}3 $$

Procedoj por skribi kaj bilanci nukleajn ekvaciojn iom diferencas de la procedoj uzataj por ordinaraj kemiaj ekvacioj. En nukleaj ekvacioj: (1) masnombroj kaj atomnumeroj (aŭ eretaj ŝargoj) estas ĉiam uzataj aldone al la elementsimboloj, kaj (2) ne estas necese, ke la elementsimboloj estu la samaj ambaŭflanke de la ekvacio.

<u>bilancita nuklea ekvacio</u>

Nuklea ekvacio estas bilancita kiam la sumoj de la subindicoj (atomnumeroj aŭ eretaj ŝargoj) en ambaŭ flankoj de la ekvacio egaliĝas, kaj la sumoj de la superindicoj (masnumeroj) ambaŭflanke egaliĝas.

Rimarku ke ekvacioj 12-2 kaj 12-3 ambaŭ estas bilancitaj. En la kazo de ekvacio 12-2, la sumo de la superindicoj en ĉiu flanko estas 238, kaj la sumo de la subindicoj estas 92.

<u>patrina izotopo; filina izotopo</u>

La izotopo suferanta radioakivan diseriĝon ofte nomiĝas la patrina izotopo. La izotopo rezultanta el la diseriĝo nomiĝas la filina izotopo.

Tiel en ekvacio 12-3, la filina izotopo de radiumo-226 estas radono-222.

<u>Beta-diseriĝo</u>

Same kiel alfa-diseriĝo, la beta-diseriĝo <u>ĉiam</u> rezultigas la formiĝon de izotopo de malsama elementoento. La masnombro de la nova izotopo egalas la masnombron de la origina atomo. Tamen, la atomnumero pliiĝas je unu. La ĝenerala ekvacio por beta-diseriĝo estas:

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{A}_{Z+1}Y \qquad 12\text{-}4 $$

Specifaj ekzemploj de beta-diseriĝo estas:

$$^{234}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} \qquad 12\text{-}5$$

$$^{234}_{91}\mathrm{Pa} \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{234}_{92}\mathrm{U} \qquad 12\text{-}6$$

Denove rimarku ke la du nukleaj ekvacioj estas bilancitaj.

Nun vi eble miras kiamaniere nukleo konsistanta nur el neŭtronoj kaj protonoj povas elĵeti negativan ereton (beta-ereton), dum neniuj tiaj negativaj eretoj troviĝas en la nukleo. La akceptita ekspliko estas ke en la nukleo iu neŭtrono transformiĝas en protonon kun kreiĝo de beta-ereto. Liberaj neŭtronoj ĉiam spontanee diseriĝas en protonon kaj elektronon kaj <u>neŭtrinon</u>, ereto de nula maso kaj nula ŝargo:

$$^{1}_{0}\underline{\mathrm{n}} \longrightarrow {}^{1}_{1}\underline{\mathrm{p}} + {}^{0}_{-1}\beta + {}^{0}_{0}\nu$$

kie ${}^{0}_{0}\nu$ signifas la neŭtrinon. Fizikistoj studas neŭtrinojn, sed, ĉar neŭtrinoj kutimas forflugi neobservitaj, ni skribos

$$^{1}_{0}\underline{\mathrm{n}} \longrightarrow {}^{1}_{1}\underline{\mathrm{p}} + {}^{0}_{-1}\beta \qquad 12\text{-}7$$

Rimarku ke, malgraŭ la fakto ke ni ellasis la neŭtrinon, ekvacio 12-7 estas bilancita nuklea ekvacio. Ambaŭflanke la sumo de la superindicoj estas 1 kaj la sumo de la subindicoj estas 0. Tuj post formiĝo interne en la nukleo, la beta-ereto elĵetiĝas je granda rapido. (En nukleo stabila, neŭtronoj ne diseriĝas, ĉar, estante forte ligitaj kun la protonoj, ili tie estas en stato de energio tro malalta por krei beta-ereton kaj elĵeti ĝin.) Laŭ ekvacio 12-7, la kreiĝo de beta-ereto pliigas la nombron de protonoj je unu kaj ĝi malpliigas la nombron de neŭtronoj je unu. En ekvacioj 12-5 kaj 12-6 rimarku ke la filina izotopo havas unu plian protonon ol havis la patrina izotopo, kio estas montrata per tio ke la atomnumero de la filino estas pli granda je 1 unuo. Subtrahante la atomnumeron de la masnombro por trovi la nombron da neŭtronoj, ni ĉiam trovos ke la filina izotopo entenas unu malplian neŭtronon ol entenas la patrina izotopo.

<u>Gama-diseriĝo</u>

Elsendo de gama-radioj ŝanĝas nek la atomnumeron nek la masnombron de la koncerna atomo. Sekve, la identeco de la reakcianta atomo restas la sama. Tamen ne supozu ke gama-radia emanado estas malpli grava ol la aliaj du

manieroj de radioaktiva diseriĝo. Tute male, gama-radioj estas plej gravaj kiam oni konsideras la efikojn de radiado sur vivantajn organismojn (Sekcio 12-9).

Gama-radiado okazas ĉiam aldone al alfa- aŭ beta-diseriĝa procezo. Plej ofte la gama-radioj ne estas enkalkulataj en la nuklea ekvacio, ĉar ili ne ŝanĝas la bilancon de la ekvacio, nek la identecon de la produkto de diseriĝo.

12.4 ARTEFARITA RADIOAKTIVECO

Kiel ni scias, la diseriĝo de radioaktivaj elementoj en la naturo, per alfa- aŭ beta-emanado, ĉiam rezultigas transmutacion de unu elemento en alian. En 1919, dudek tri jarojn post la eltrovo de tiuj nature okazantaj transmutacioj, Ernest Rutherford pruvis ke stabilaj nukleoj povas esti artefarite transmutaciataj en aliajn atomojn per bombardaj reakcioj.

bombarda reakcio

En bombardaj reakcioj oni igas etajn eretojn moviĝantajn je tre grandaj rapidoj kolizii kontraŭ stabilaj nukleoj, kaŭzante ŝanĝiĝon de tiuj nukleoj. Rutherford en sia unua sukcesa eksperimento bombardis nitrogenan gason per alfa-eretoj el natura fonto (radiumo). En tiu procedo li trovis ke du novaj stabilaj nuklidoj estis formataj, oksigeno-17 kaj hidrogeno-1. La nuklea ekvacio por tiu reakcio estas:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H \qquad 12\text{-}8$$

De post la tempo kiam Rutherford malkovris artefaritajn transmutaciojn, plua esplorado estas abunde pruvinta ke preskaŭ ĉiuj nuklidoj povas esti ŝanĝitaj helpe de bombardado per malgrandaj eretoj. Plej ofte la rezultaj nuklidoj estas radioaktivaj, kontraŭe al la kazo de oksigeno-17 (reakcio 12-8), kiu estis stabila.

elvokita radioaktiveco

Transmutacioj en kiuj neradioaktivaj nukleoj estas ŝanĝataj en radioaktivajn nukleojn per bombardaj reakcioj rezultigas artefaritan radioaktivecon kiun oni ankaŭ nomas elvokita (aŭ stimulita) radioaktiveco.

En laboratorioj oni estas produktinta pli ol 1100 radionuklidojn pere de bombardaj reakcioj. Por ĉiu eltrovita elemento minimume unu radioizotopo ekzistas. Aldone oni estas etkvante produktinta izotopojn de 18 antaŭe nekonataj elementoj. Ni studos tiujn sintezajn elementojn en Sekcio 12.7.

En la komenco, multaj bombardaj reakcioj estis efektivigataj per tre rapidaj alfa-eretoj emanantaj el nature radioaktivaj materialoj. Nuntempe multaj aliaj specoj de eretoj laboratorie produktitaj kun grandaj rapidoj estas haveblaj por bombardi nukleojn. Tiuj specoj inkludas protonojn (nukleoj de hidrogeno-1), neŭtronojn, kaj deŭteronojn (nukleoj de hidrogeno-2). Ankaŭ gama-radiadoj estas sukcese utiligataj por produkti artefaritajn radionuklidojn per bombardado. Ekvacioj 12-9 kaj 12-10 estas ekzemplaj tipoj de bombardaj reakcioj nuntempe realigataj en laboratorioj.

$$^{44}_{20}Ca + ^{1}_{1}H = ^{44}_{21}Sc + ^{1}_{0}\underline{n} \qquad 12\text{-}9$$

$$^{198}_{80}Hg + ^{1}_{0}\underline{n} = ^{197}_{79}Au + ^{2}_{1}H \qquad 12\text{-}10$$

En ekvacio 12-10, hidrargo estas ŝanĝita en nestabilan izotopon de oro per reakcio *elvokita de neŭtronoj*. Malfeliĉe, tia reakcio *ne* havas valoron por juvelkomercistoj pro la alta kosto de efektivigado. Krome la oro produktita estas ege radioaktiva.

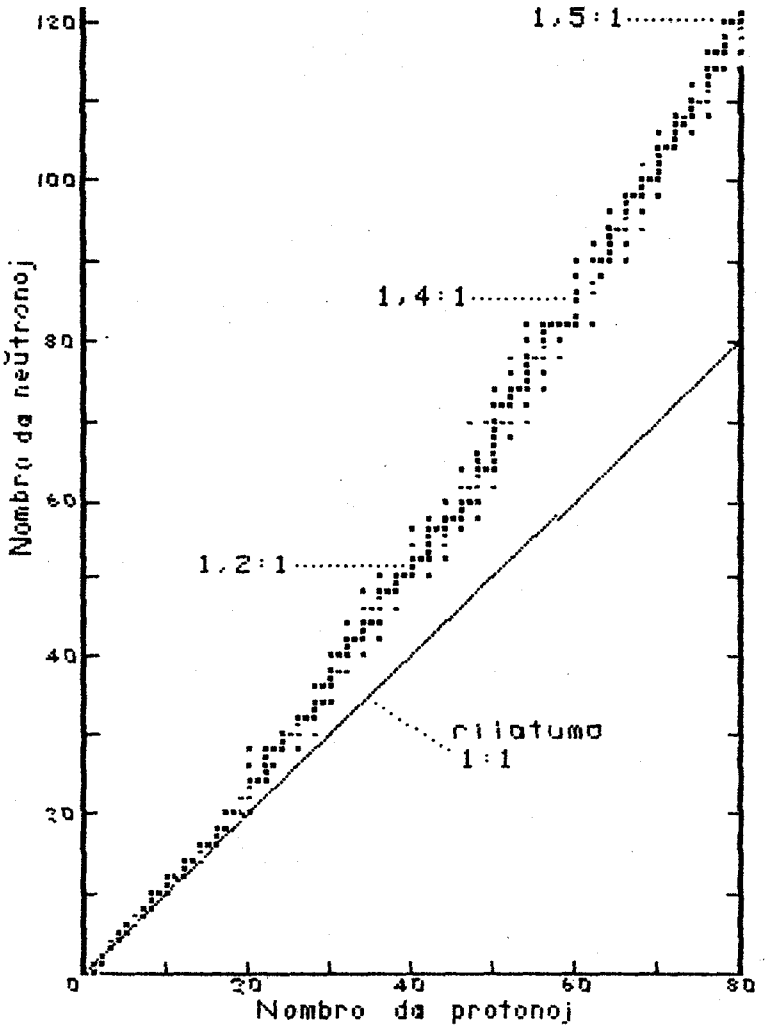
Sinteze produktitaj radionuklidoj suferas radioaktivan diseriĝon same kiel nature ekzistantaj radionuklidoj. En multaj kazoj la maniero de diseriĝo estas alfa- aŭ beta- aŭ gama-diseriĝo, jam antaŭe studitaj (Sekcio 12.3). Tamen oni renkontas ankaŭ manierojn de diseriĝo kiuj ne troviĝas inter nature ekzistantaj radionuklidoj.

12.5 FAKTOROJ INFLUANTAJ NUKLEAN STABILON

Ni vidis ke iuj nuklidoj estas stabilaj kaj aliaj estas nestabilaj. Tio estas vera eĉ por izotopoj de unu sama elemento. Ekzemple, plumbo-206 estas stabila sed plumbo-205 estas radioaktiva. Kio determinas ĉu donita izotopo estas stabila aŭ nestabila? Parta respondo al tiu demando haveblas per konsidero al du faktoroj: (1) la suma nombro da nukleonoj en la nukleo kaj (2) la rilatumo de la nombro da neŭtronoj al la nombro da protonoj en la nukleo. Unue ni rigardos la eksperimentajn observojn rilate al tiuj faktoroj, kaj poste ni konsideros kial tiuj faktoroj devas influi nuklean stabilon.

Ĉiu konata izotopo de ĉiu elemento kun atomnumero pli granda ol 83 estas radioaktiva. La plej granda konata stabila nuklido estas $^{209}_{83}Bi$ kun 209 nukleonoj. Tiel evidentiĝas ke ekzistas limo al la nombro da nukleonoj kiuj povas esti pakitaj en stabilan nukleon.

La influo de la neŭtrona/protona rilatumo sur la nuklean stabilon videblas de Bildo 12-1. En tiu bildo, la nombro da neŭtronoj estas grafikita kontraŭ la nombro da protonoj por stabilaj nuklidoj. La rekta linio prezentas rilatumon de egalaj nombroj da neŭtronoj al protonoj kaj estas donita por komparo.



Bildo 12-1. La stabilaj nukleoj

La grafikaĵo indikas, ke kiel la atomnumero pliiĝas, tiel ankaŭ la rilatumo de neŭtronoj al protonoj pliiĝas -- tio estas, neŭtronoj iĝas pli multnombraj ol protonoj. La neŭtrona/protona rilatumo estas proksima al 1,0 por malpezaj nukleoj, kaj pliiĝas ĝis proksimume 1,5 (po 3 neŭtronoj por 2 protonoj) por elementoj pli pezaj. La plej stabila izotopo kun neŭtrona/protona rilatumo de 1,0 estas $^{40}_{20}Ca$.

La fakto ke la neŭtronaj/protonaj rilatumoj de stabilaj nuklidoj lokiĝas en sufiĉe mallarĝa zono de stabilo forte sugestas, ke neŭtronoj almenaŭ parte prirespondas por la stabilo de la nukleo. Rememoru, ke samsignaj

ŝargoj forpuŝas unu la alian kaj nukleoj plej ofte entenas multajn protonojn (kun identaj pozitivaj ŝargoj) kunpremitaj en tre malgrandan volumenon. Kiam la protonoj multenombriĝas, la elektrostatikaj forpuŝaj fortoj inter la protonoj multe pligrandiĝas. Tial do, pli granda nombro da neŭtronoj bezoniĝas por kontraŭagi la kreskantajn forpuŝajn fortojn. Fine, ĉe elemento 84, la forpuŝaj fortoj tiom grandiĝas ke la nuklidoj ne estas stabilaj, kiom ajn neŭtronoj ĉeestas.

12.6 RAPIDO DE RADIOAKTIVA DISERIĜO

Radioizotopoj ne estas ĉiuj samgrade malstabilaj. Iuj radionuklidoj rapide diseriĝas, dum aliaj diseriĝas treege malrapide. Ju pli granda la rapido de diseriĝo, des pli malgranda la stabilo. La rapidoj de radioaktiva diseriĝo estas mezuratajn per la duoniĝodaŭroj.

duoniĝo-daŭro

Laŭ difino, la duoniĝodaŭro (duonperiodo) estas la tempo en kiu diseriĝas unu duono de la radioaktivaj atomoj en radioizotopa provaĵo.

Duoniĝodaŭroj prezentas konvenan rimedon por kompari diseriĝajn rapidojn kaj stabilojn de izotopoj. Tabelo 12-1 enhavas ekzemplojn kiuj ilustras la grandan diversecon inter la observitaj valoroj de duoniĝodaŭroj.

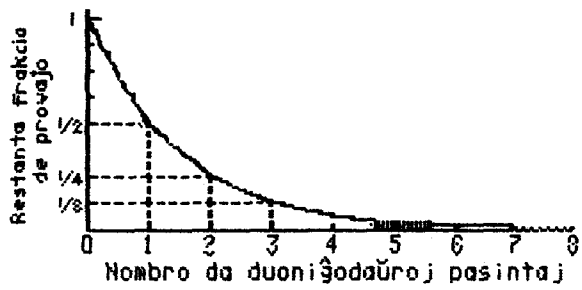
Tabelo 12-1. Ekzemploj de duoniĝodaŭroj

Radioizotopo	Duoniĝodaŭro	Fonto
Uranio-238	$4{,}5 \times 10^9$ jaroj	ekzistas nature
Kalio-40	$1{,}3 \times 10^9$ jaroj	ekzistas nature
Plutonio-239	24.000 jaroj	sinteze produktata
Karbono-14	5700 jaroj	ekzistas nature
Stroncio-90	28 jaroj	sinteze produktata
Kobalto-60	5,3 jaroj	sinteze produktata
Jodo-131	8,1 tagoj	sinteze produktata
Natrio-24	15,0 horoj	sinteze produktata
Oksigeno-15	2,1 minutoj	sinteze produktata
Magnezio-23	12 sekundoj	sinteze produktata
Litio-5	10^{-21} sekundoj	sinteze produktata

La plejmulto da nature ekzistantaj radioizotopoj havas longajn duoniĝodaŭrojn. Tamen ankaŭ kelkaj radioizotopoj kun mallongaj duoniĝodaŭroj estas trovitaj en la naturo. Tiaj mallongedaŭraj specoj, ĉar ili rapide diseriĝas, devas esti senĉese produktataj por ke ili daŭre havu ekziston. Procezoj kiuj rezultigas ilian produktiĝadon estas: la diseriĝo de nature ekzistantaj longedaŭraj izotopoj, la diseriĝo de aliaj mallongedaŭraj izotopoj (filinaj izotopoj) kiuj estas produktitaj

en la maniero menciita, kaj bombardaj reakcioj okazantaj en la supra parto de la atmosfero kaŭzitaj de kosmaj radioj.

La frakcio de originaj radioaktivaj atomoj restantaj en provaĵo post paso de difinita tempo estas kalkulebla helpe de la duoniĝodaŭro. Post paso de unu duoniĝodaŭro, 1/2 de la origina nombro da atomoj estas diseriĝinta, do restas 1/2. Dum la sekvanta duoniĝodaŭro, 1/2 de la restanta 1/2 diseriĝos, do 1/4 de la komencaj atomoj restos. Post tri duoniĝodaŭroj, 1/2 x 1/2 x 1/2 = 1/8 de la originaj atomoj restas nediseriĝinta. Tiu procezo estas ilustrata en Bildo 12-2. La diagramo montras ke post paso de 7 duoniĝodaŭroj restas nur eta parto de la praa materialo (malpli ol 1%).



Bildo 12-2. Kurbo de radioaktiva diseriĝo

Ekzemplo 12-1. La aktiveco de radioaktiva substanco estas mezurita je la naŭa matene. Je la kvina posttagmeze la aktiveco estas denove mezurita, kaj oni trovas ke ĝia valoro estas 1/16 de la komenca (matena) valoro. Kiom estas la duoniĝodaŭro de tiu radioaktiva materio?

Solvo. Ĉar deksesono de la komenca radioaktiva substanco restas, 4 duoniĝodaŭroj jam pasis: 1/2 x 1/2 x 1/2 x 1/2 = 1/16. La tempo inter la mezuroj estis 8 horoj (de la 9a matene ĝis la 5a ptm.). Tial, ĉar 4 duoniĝodaŭroj valoregalas al 8 horoj, 1 duoniĝodaŭro devas egali 2 horojn.

12.7 SINTEZAJ ELEMENTOJ

Eble la plej interesa rezulto de bombardaj procedoj (Sekcio 12.4) estas la kreo de tute novaj elementoj ne trovataj en la naturo. Kvar el tiuj elementoj, produktitaj inter 1937 kaj 1941, plenigis truojn en la perioda tabelo, por kiuj neniuj ekzistantaj elementoj estis trovitaj. Tiuj kvar estas teknecio (Tc, elemento 43), prometio (Pm, elemento 61), astato (At, elemento 85), kaj franciumo (Fr, elemento 87). La reakcioj produktantaj ilin estas:

$$^{96}_{42}Mo + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{97}_{43}Tc \quad \text{(duoniĝodaŭro 2,6 x } 10^6 \text{ jaroj)} \qquad 12\text{-}11$$

$$^{142}_{60}Nd + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{143}_{61}Pm \quad \text{(duoniĝodaŭro 265 tagoj)} \qquad 12\text{-}12$$

$$^{209}_{83}Bi + {}^{4}_{2}\alpha \longrightarrow 3({}^{1}_{0}n) + {}^{210}_{85}At \quad \text{(duoniĝodaŭro 8,3 horoj)} \qquad 12\text{-}13$$

$$^{230}_{90}Th + {}^{1}_{1}p \longrightarrow 2({}^{4}_{2}\alpha) + {}^{223}_{87}Fr \quad \text{(duoniĝodaŭro 22 minutoj)} \qquad 12\text{-}14$$

Oni ankaŭ produktis sintezajn elementojn kiuj estas pli pezaj ol uranio, la plej peza el la nature ekzistantaj elementoj. Ĉiuj izotopoj de tiuj trans-uraniaj elementoj estas radioaktivaj. (Pli ĝuste: preter-uraniaj. Ni uzos trans pro nacilingvaj kutimoj.) La unua, neptunio (Np, elemento 93) estis malkovrita en 1940; post tiam aldonaj elementoj (elementoj 94 ĝis 109) estis sintezitaj. Scioj pri tiuj elementoj estas donitaj en Tabelo 12-2.

Tabelo 12-2. Sintezaj elementoj transuraniaj

Nomo	Simbolo	atoma numero	Atom maso de la plej stabila izotopo	Duoniĝodaŭro de la plej stabila izotopo	Dato de eltrovo
Neptunio	Np	93	237	$2{,}2 \times 10^5$ jaroj	1940
Plutonio	Pu	94	242	$3{,}8 \times 10^5$ jaroj	1940
Americio	Am	95	243	$8{,}0 \times 10^3$ jaroj	1944
Kuriumo	Cm	96	247	$4{,}0 \times 10^7$ jaroj	1944
Berkelio	Bk	97	247	104 jaroj	1950
Kalifornium o	Cf	98	251	800 jaroj	1950
Ejnstejnio	Es	99	254	480 tagoj	1952
Fermio	Fm	100	253	4,5 tagoj	1953
Mendelevio	Md	101	256	1,5 horoj	1955
Nobelio	No	102	253	10 minutoj	1958
Laŭrencio	Lr	103	257	8 sekundoj	1961
Unnilkvadio*	Unq	104	257	4,5 sekundoj	1969
Unnilpentio*	Unp	105	262	40 sekundoj	1970
Unnilheksio*	Unh	106	263	0,9 sekundo	1974
Unnilseptio*	Uns	107	262	?	1981
Unniloktio*	Uno	108	265	?	1984
Unnilenio*	Une	109	266	?	1982

* Ili havas provizorajn nomojn laŭ IUPAK; vidu Tabelon 2-3. Oni povas ankaŭ diri elementon 104, elementon 105, ktp.

Signifaj kvantoj da nur malmultaj el tiuj ĉi elementoj estas produktitaj. Polonio estas sintezata en kvantoj sufiĉe grandaj por ke ĝi estu disponebla por atomaj reakcioj kaj armiloj. En 1968 oni kolektis la tutmondan

provizon de kalifornium kaj uzis ĝin kiel celobjektojn por bombardo per pezaj akcelitaj eretoj. Tiuj eksperimentoj kondukis al la malkovro de pluraj elementoj pli pezaj ol kalifornium. Preskaŭ ĉiam, la kvantoj de la novaj produktitaj elementoj estas treege malgrandaj -- kelkfoje nur centoj da atomoj. Se la duoniĝodaŭro estas mallonga, tiu malgranda kvanto rapide malaperas. Sekve de tio, tiuj elementoj ne estas troveblaj kaj identigeblaj surbaze de siaj kemiaj ecoj; oni identigas ilin uzante instrumentojn por analizi la karakterizajn radiojn elsenditajn de ĉiu nova elemento.

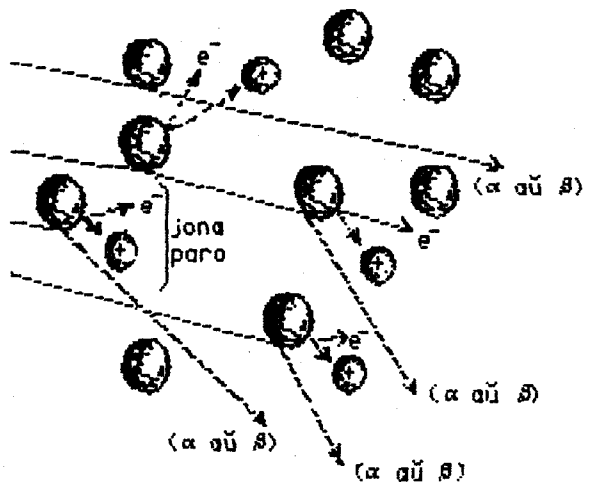
12.8 JONIGAJ EFIKOJ DE RADIADO

Eretoj kaj gama-radioj emanantaj dum radioaktiva diseriĝo moviĝas eksteren el la radioaktiva izotopo, kie ili perdas sian energion pro kolizioj kun atomoj de la ĉirkaŭa medio. Pro la grandega energio de la radioaktivaj elĵetaĵoj, la kolizioj plej ofte kaŭzas perdon de elektronoj el la koncernaj atomoj -- tio estas, joniĝado okazas.

Ĉi tiu joniĝa procezo ne estas la transiĝo de elektronoj kiu okazas dum la formiĝo de jonaj kombinaĵoj (Sekcio 6.4), sed kontraŭe ĝi estas ne-kemia, de ekstere kaŭzita elĵetiĝo de elektronoj el atomoj, kio kreas jonojn.

jona paro

La elektronon kaj la pozitivan jonon produktitajn dum joniga kolizio oni nomas jona paro aŭ jonparo. (Vidu Bildon 12-3.)



Bildo 12-3. La kreiĝo de jonaj paroj

Unuopa radiada ereto produktas multajn jonajn parojn, ĉar ereto spertas multajn koliziojn antaŭ ol ĝia energio reduktiĝas al la nivelo de la ĉirkaŭa medio. Ankaŭ, la elektronoj elĵetitaj de unu atomo ofte havas sufiĉan energion por bombardi najbarajn molekulojn kaŭzante sekundaran joniĝon. Tiu joniĝa efiko de radiado estas la faktoro kiu igas radiadon difekti ne nur senvivan materion, sed ankaŭ vivantaĵojn.

En vivanta estaĵo, la kreiĝo de jonoj interrompas la ĉelan funkciadon. Multaj el la jonoj formitaj en kolizioj estas tre reakciemaj. Ofte, rezulte de reakcioj de tiuj jonoj, formiĝas novaj substancoj fremdaj al normala ĉelo. Tiaj substancoj povas grave interrompi la normalajn funkciojn de vivantaj ĉeloj. La tri specoj de nature okazantaj radiadoj -- alfa-eretoj, beta-eretoj, kaj gama-radioj -- diferencas laŭ tio, kiom ili povas penetri en materion kaj kaŭzi joniĝon. Tial la amplekso de biologiaj efikoj de radiado dependas de la speco de la koncerna radiado.

Laŭ penetrivo, alfa-eretoj estas la plej malfortaj. Ilin povas haltigi maldika folio de papero, maldika tavoleto de akvo, aŭ la ekstera tavolo de la haŭto. Beta-eretoj penetras pli profunden kaj povas kaŭzi severajn haŭtajn brulvundojn, se la fonto de radiado restas kontaktante la haŭton dum sufiĉa tempo. Granda difekto rezultas se alfa- aŭ beta-aktivaj radioizotopoj estas glutitaj kun manĝaĵo aŭ trinkaĵo, aŭ estas enspiritaj kiel komponanto de aero. Gama-radioj, kiuj havas multe pli grandan penetrivon ol aŭ alfa- aŭ beta-eretoj, povas penetri profunden en organojn, histojn kaj ostojn. Bildo 12-4 kontraŭmetas la penetrivojn de la tri specoj de radiado.



Bildo 12-4. La penetra kapablo de radioj

Kvankam malplej penetrivaj, alfa-eretoj pro siaj pli grandaj masoj produktas pli da jonparoj ol la aliaj specoj de radiado. Alfa-ereto havas proksimume 7500-oble pli grandan mason ol beta-ereton. Oni taksas ke tipa alfa-ereto trairas proksimume 6 centimetrojn en aero kaj produktas 40.000 jonajn parojn. Kontraste, tipa beta-ereto trairas 1000 centimetrojn

da aero kaj produktas proksimume 2000 jonparojn. Se alfa-ereto, beta-ereto kaj gama-radio samenergiaj estus allasitaj en histon, la alfa-ereto havus biologian efikon proksimume dekoble pli difektantan ol la du aliaj.

12.9 EKSPONO AL RADIADO

Oni ne scias la minimuman radiadan dozon kiu povas fari malutilon al la homo. Tamen oni studis la efikojn de pli grandaj dozoj, kaj tiuj efikoj estas montritaj en Tabelo 12-3. Videblas ke tre severaj difektoj aŭ morto povas rezulti el grandaj dozoj de joniga radiado. La dozoj kaŭzantaj la diversajn efikojn enlistigitajn en Tabelo 12-3 estas montritaj en la unua kolumno. Oni mezuras ilin per la radiada unuo nomata remo, kiu estas difinita en piednoto.

Tabelo 12-3. Efikoj sur homojn de mallongedaŭra tutkorpa eksponado al radiado

Dozo (remoj)*	Efikoj
0-25	Neniuj klinike percepteblaj efikoj.
25-100	Ioma efemera reduktiĝo de la nombro de iuj sangaj globetoj. Invalidiga malsano estas malofta.
100-200	Naŭzo kaj laciĝo, vomado se la dozo estas pli ol 125 remoj, plilongedaŭra reduktiĝo de la nombro de iuj sangaj globetoj.
200-300	Naŭzo kaj vomado dum la unua tago; latenta periodo ĝis du semajnoj, kiun sekvas senapetiteco, ĝenerala mizereco, gorĝa doloro, paleco, diareo kaj modera marasmo. Resaniĝo en ĉirkaŭ tri monatoj, se ne okazas komplikaĵoj pro infekto aŭ difekto.
300-600	Naŭzo, vomado, kaj diareo en la unuaj kelkaj horoj. Latentan periodon ĝis unu semajno sekvas senapetiteco, febro, kaj ĝenerala mizereco dum la dua semajno, post kio okazas hemoragio, buŝa kaj gorĝa inflamo, diareo kaj marasmo. Iuj mortas post du ĝis ses semajnoj. Probablo de fina morto estas 50% se la ekspono estis pli ol 450 remoj, aliaj resaniĝas en proksimume ses monatoj.
600 aŭ pli	Naŭzo, vomado, kaj diareo en la unuaj kelkaj horoj. Rapida marasmo kaj morto ofte jam en la dua semajno. Fine mortas preskaŭ 100 procentoj.

*Unu remo estas kvanto de joniga radiado kiu, ensorbite de homo, produktas samgradan biologian efikon kiel 1 rentgeno da X-radioj de alta penetriveco. La remo originas el la angla termino: roentgen equivalent man (rentgena ekvivalento por homo). Unu rentgeno estas la kvanto de alte-penetrivaj X-radioj kiu en kuba centimetro da seka aero de 0°C kaj 1 atmosfero produktas $2,08 \times 10^9$ jonajn parojn. En la mezur-sistemo SI oni uzas la unuojn J/kg por tiu ĉi celo.

Bedaŭrinde, oni ne sciis ke grandaj dozoj da radiado kaŭzas histajn

difektojn kiam en 1896 radioaktiveco estis eltrovita. Sekve, multaj el la fruepokaj laborantoj en nuklea scienco mortis pro kompilkaĵoj kaŭzitaj de longedaŭra eksponado al radiado. Nur en 1920-aj jaroj sciencistoj vere ekkonsciis la riskojn de altnivela radiado.

Malmultaj el ni iam kontaktiĝos kun radiadaj dozoj necesaj kaŭzi la efikon enlistigitajn en Tabelo 12-3. Tamen, malaltnivelan eksponiĝon al joniga radiado ni konstante ricevadas. Fakte ne ekzistas metodo per kiu ni povus eviti tiun malaltnivelan eksponiĝadon, ĉar multe el ĝi rezultas el nature okazantaj mediaj procezoj.

La atmosfero estas konstanta fonto de eksponiĝo, pro la kosmaj radioj. Nature ekzistantaj radioizotopoj, ekzemple kalio-40, torio-232, kaj uranio-238, troviĝas en preskaŭ ĉiuj grundoj kaj rokoj. Ili prezentas konstantan surteran fonton de radiado. La homa korpo ricevas kontinuajn dozojn (kiel de ekstere kiel de interne) de tiaj mediaj radiadoj. Signifan eksteran eksponiĝon kaŭzas ligno, brikoj, kaj betono en domoj kaj aliaj konstruaĵoj. Manĝaĵoj kaj akvo estas internaj fontoj de eksponiĝo. Kalio-40 estas la ĉefa radioizotopo en kaj manĝaĵoj kaj akvo, kreante pli ol 90% de la interna eksponiĝo. Tiu ĉi nature ekzistanta kalia izotopo troviĝas en ĉiuj substancoj kali-entenaj.

La ĉefa fonto de radiada eksponiĝo por ordinara persono estas ligita kun metodoj kaj procedoj uzataj en medicino kaj dentistarto. Aliaj homfaritaj fontoj ampleksas radioaktivan defalaĵon post eksplodoj de eksperimentaj nukleaj armiloj, funkciadon de atom-energiaj centraloj, kaj kelkajn uzaĵojn (Tiaj estas televidiloj, radiolumineskantaj horloĝaj montriloj aktivigataj per radiumo, ktp.)

La relativaj gravoj de la menciitaj naturaj kaj homfaritaj fontoj de radiado estas montritaj en Tabelo 12-4, kiu donas taksojn de la meznombraj tutjaraj dozoj de radiado kiujn usonanoj ricevas de tiuj fontoj. Notu ke la valoroj donitaj en Tabelo 12-4 estas meznombraj. La veraj dozoj ricevataj varias de persono al persono, kaj grandparte dependas de ilia geografia loĝloko kaj vivkutimoj. Personoj kiuj loĝas pli alte super marnivelo aŭ kiuj ofte uzas aerveturilojn havas signife pli grandan eksponiĝon al kosmaj radioj. La pulmoj de homoj kiuj ĉiun tagon fumas po unu paketon da cigaredoj ricevas tutjaran dozon minimume 40 miliremojn pli grandan ol la pulmoj de nefumantoj. (Tabakaj folioj kolektas radioaktivan materion el la atmosfero). Kompreneble persono kiu ricevas radioterapion per kobalto-60 kontraŭ kancero havas pli ol meznombran

ekspon iĝon.

Tabelo 12-4. Resumo de la jara porpersona radiada dozo en Usono (takso por 1980)

Radiada fonto	Dozo (miliremoj/jaro)
Media	
Natura	
Kosmaj radioj	45
Ekstera eksponiĝo al tera radiado	60
Interna eksponiĝo al tera radiado	25
Defalaĵo post nukleaj eksplodoj	4,6
Aliaj (nukleaj reaktoroj, reutiligo de uzita nuklea brulaĵo, ktp.)	0,09
Medicina Kaj Dentista	
Diagnoza	72
Radiofarmacia	14
Profesia eksponiĝo	0,8
Diversaj	2,1
Totala	224

Ankaŭ la relativa signifo de media radiado kompare kun homfarita radiado estas videbla en Tabelo 12-4. Natura media radiado formas neeviteblan fonon de po 130 miliremoj ĉiujare. Tio estas 58% de la tuta eksponiĝo. Kontraste kun tio, la radiado kaŭzita de atom-energiaj centraloj kaj de defalaĵo post nukleaj eksplodoj estas nur 2% de la tuta eksponiĝo. Medicinaj kaj dentistaj procedoj estas la ĉefa fonto de homfarita eksponiĝo.

Se oni komparas la valorojn en Tabelo 12-4 kun la valoroj en Tabelo 12-3, kaj konsideras ke la unuoj en Tabelo 12-4 estas miliremoj kaj en la alia estas remoj, montriĝas ke la nuntempaj dozoj ricevataj de la ĝenerala loĝantaro estas etaj kompare kun dozoj pri kiuj ni scias ke ili kaŭzas gravajn radiadajn malsanojn. Estonte ni devos zorge kontroli la kvanton de radioaktivaj substancoj enirantaj en la medion rezulte de homaj agadoj, por certigi ke la radiaj niveloj restu malaltaj.

12.10 RADIOIZOTOPOJ KAJ MEDICINO

En medicino, radioizotopoj estas uzataj kaj por diagnozoj kaj por terapio.

tracenzo

En diagnozaj aplikoj, malgrandaj kvantoj da radioizotopoj estas uzataj kiel tracenzoj, kies moviĝo tra la korpo aŭ lokiĝo en specifaj organoj

estas spurebla kaj observebla.

Pli grandaj kvantoj da radizotopoj estas uzataj en terapiaj aplikadoj.

Kiam radioizotopo estas uzata kiel tracenzo, malgranda kvanto de la radioizotopo estas miksita kun pli granda kvanto da ne-radioaktivaj izotopoj. Ĝia uzo estas bazita sur unu grava simileco kaj unu grava malsimileco inter radioaktivaj kaj stabilaj izotopoj de sama elemento. La simileco estas ke ambaŭ specoj de izotopoj kemie agas en la sama maniero. Pro tio, taŭge elektitaj radioizotopoj estas enigeblaj en sistemon sen ŝanĝi ĝin kemie. La malsimileco estas ke la ĉeesto de radioaktivaj izotopoj estas observebla per instrumentoj sentivaj al radiado, ekzemple Gejger- aŭ scintil-nombriloj. Tiamaniere la vojo de radioizotopo enigita en sistemon estas spurebla.

La funkciado de la tiroida glando estas mezurata per tio, ke oni dozas jodon-131 al paciento -- kutime en la formo de natria jodido (NaI). La radioaktiva jodo kemie agas en la sama maniero kiel ordinara jodo, kaj estas sorbata de la tiroida glando kun rapido konforma al la aktiveco de la glando. La rapido de sorbado estas determinata per mezuro de la kresko de radioaktiva emanado el la tiroido, kiel funkcio de tempo.

Tabelo 12-5 enhavas aliajn ekzemplojn de radioizotopoj, kaj la uzadon de ili en diagnoza medicino. En tiuj aplikoj, la izotopoj estas uzataj en diversaj kemiaj kombinaĵoj.

Tabelo 12-5. Kelkaj radioizotopoj uzataj en medicino por diagnozaj celoj

Izotopo	Duoniĝodaŭro	Tipaj diagnozaj aplikoj
Jodo-131	8,0 tagoj	Funkciado de la tiroido, de la renoj, kaj de la hepato; sorbiĝo de graso
Hidrogeno-3	12,3 jaroj	Mezurado de la suma korpa akvo
Fosforo-32	14,3 tagoj	Trovado de cerbaj tumoroj
Kalio-42	12,4 horoj	Metabolo kaj distribuo de kalio
Kalcio-45	165 tagoj	Trovado de ostaj tumoroj, metabolo, kaj distribuo de kalcio
Fero-59	45 tagoj	Rapido de returniĝo de sango-globetoj; sorbiĝo de fero
Kobalto-60	5,3 jaroj	Diagnozo de pernicioza anemio

Kiel tracenzojn oni plej ofte uzas radioizotopojn gama-aktivajn. La tre penetrivaj gama-radioj (Sekcio 12.8) estas facile observeblaj ekster la korpo. La uzataj izotopoj ankaŭ prefere havas mallongajn duoniĝo-daŭrojn,

por ke maksimuma kvanto da radiado emanu dum la mallongedaŭra ekzamenado. Ili estas dozitaj en kiel eble plej malgrandaj kvantoj kiuj estas ankoraŭ detekteblaj, en formo de kemiaj kombinaĵoj kiuj estos eligataj el la korpo post la uzado.

Kiam radioizotopojn oni uzas por kancera terapio, la ĉefa celo estas ke la radioj selektive detruu ĉelojn aŭ histojn kiuj estas nenormalaj. Tio postulas pli intensan dozon da radiado. La izotopoj uzataj plej ofte estas alfa- aŭ beta-aktivaj, do malpli penetrivaj, por ke ilia efiko estu limigita al la tuja najbareco de la loko kie ili estas enplantitaj.

Radiado estas precipe difektiva al ĉeloj kiuj estas dividiĝantaj. Tial precipe histo kiu estas en stato de rapida dividiĝo, kiel kancera histo, estas detruebla per radiado. Ankaŭ normalaj ĉeloj ĉeestantaj estos afekciataj, sed malpli severe. Inter la plej ofte uzataj izotopoj por radioterapio estas radiumo-226, oro-198, kobalto-60, jodo-131, kaj itrio-90. Escepte de radiumo, ĉiuj ĉi estas artefaritaj izotopoj (Sekcio 12.4).

Bildo 12-1: El William L. Masterton kaj Emil J. Slowinski, "Chemical Principles" (Kemiaj Principoj), Tria Eldono. Kopirajto ©1966, 1969, 1973, kaj 1977 de W.B. Saunders Company. Adaptita laŭ permeso de Holt, Rinehart and Winston.

Bildo 12-3: El T.R. Dickson, "Introduction to Chemistry" (Enkonduko en Kemion). Kopirajto ©1971 de John Wiley and Sons.

Tabelo 12-3: El E.L. Saenger, "Medical Aspects of Radiation Accidents" (Medicinaj Aspektoj de Radiadaj Akcidentoj), p. 9. Washington, D.C.; United States Atomic Energy Commission, 1963.

Tabelo 12-4: El "Estimates of Ionizing Radiation Doses in the United States, 1960-2000" (Taksoj de Jonigaj Radiadaj Dozoj en Usono de 1960 ĝis 2000), Environmental Protection Agency, 1972.

EKZERCOJ

Specoj de Nuklea Radiado

1. Tri apartaj specoj de radiado ĉeestas en la emanoj el nature ekzistantaj radioaktivaj substancoj.
   a) Kio estas la nomoj de tiuj specoj de radiado?
   b) Kian notacion ni uzis por prezenti tiujn radiadojn?
   c) El kiuj eretoj konsistas tiuj radioj? (elektronoj? protonoj? neŭtronoj?)
   ĉ) Kiun elektran ŝargon havas ĉiu speco de radiado?

Ekvacioj por Nukleaj Reakcioj

2. Kompletigu la sekvantajn ekvaciojn. Ĉiu prezentas procezon de radioaktiva diseriĝo. Uzu adekvatajn notaciojn kaj formulojn.
   a) $^{10}_{4}Be \longrightarrow$ _____ + $^{10}_{5}B$

b) $^{210}_{83}Bi \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + ____$

c) $^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + ____$

ĉ) $____ \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{222}_{86}Rn$

3. Kompletigu la sekvantajn ekvaciojn. Ĉiu prezentas transmutacion kaŭzitan de bombardado kontraŭ celobjekto per malgrandaj eretoj.

a) $^{24}_{12}Mg + ____ \longrightarrow {}^{27}_{14}Si + {}^{1}_{0}n$

b) $^{27}_{13}Al + {}^{2}_{1}H \longrightarrow ____ + {}^{4}_{2}\alpha$

c) $____ + {}^{1}_{1}H \longrightarrow 2({}^{4}_{2}He)$

ĉ) $^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}\alpha \longrightarrow ____ + {}^{1}_{1}H$

d) $____ + {}^{11}_{5}B \longrightarrow {}^{257}_{103}Lr + 4({}^{1}_{0}n)$

e) $^{9}_{4}Be + ____ \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$

4. Skribu bilancitajn ekvaciojn por prezenti diseriĝajn reakciojn de la sekvantaj izotopoj. La diseriĝa procezo aŭ la filina izotopo estas donita en krampoj.

a) $^{121}_{50}Sn$ (beta-radiado)

b) $^{190}_{78}Pt$ (filino = $^{186}_{76}Os$)

c) $^{204}_{82}Pb$ (alfa-radiado)

ĉ) $^{210}_{83}Bi$ (filino = $^{210}_{84}Po$)

5. Kiel la atoma numero kaj la masnombro de filinaj nukleoj rilatas al la pra-nukleo post

a) elĵeto de alfa-ereto?
b) elĵeto de beta-ereto?
c) emano de gama-radio?

Rapido de Radioaktiva Diseriĝo

6. Kion signifas la termino duoniĝodaŭro kiam ĝi estas aplikita al radioizotopo?

7. Klarigu la eraron de la aserto: "Ĉiuj nature ekzistantaj radioizotopoj devas havi longajn duoniĝodaŭrojn."

8. Natrio-24, kiu estas uzata por trovi la lokojn de sangokoagulaĵoj en la homa cirkulada sistemo, havas duoniĝodaŭron de 15,0 horoj. Kiu frakcio de atomoj natrio-24 en provaĵo restos post la paso de 60 horoj?

9. Konsideru arkeologon kiu iam estonte analizos la feron uzitan en iu malnova konstruaĵo. Li trovas ke la fero enhavas etan kvanton da nikelo-65 kun duoniĝodaŭro de 92 jaroj. Surbaze de la nikel-kvantoj trovitaj kaj de ties diseriĝaj produktoj, li taksas ke proksimume 0,78% (1/128) restas el la nikelo-63 kiu enestis kiam la konstruaĵo estis konstruata. Se la konstruaĵo estis konstruita en 1900, en kiu jaro la arkeologo faros la malkovron?

Efikoj de Radiado sur Materion

10. Kio estas jonparoj, kaj kiel ili estas produktataj?

11. Kontrastigu la diferencojn inter la penetrivoj en materion de alfa-

kaj beta- kaj gama-radioj. Kiu el ĉi tiuj specoj de radiado naskas la plej grandan nombron da jonaj paroj?

12. Kiaj estus la efikoj de ĉiu el la sekvantaj mallongedaŭraj tutkorpaj eksponiĝoj al radiado?

a) 10 remoj b) 30 remoj c) 150 remoj ĉ) 400 remoj

13 SATURITAJ HIDROKARBONOJ

CELOJ

13.1 Difini moderne la kemion organikan kaj neorganikan.

13.2 Kontrastigi la ecojn de organikaj kaj neorganikaj kombinaĵoj.

13.3 Difini saturitan hidrokarbonon, alkanon, kaj cikloalkanon.

13.4 Kompreni la strukturojn de simplaj alkanoj.

13.5 Kompreni la fenomenon de struktura izomereco.

13.6 Skribi la strukturon de alkano uzante aŭ detalan aŭ kondensan strukturajn formulojn. Distingi inter ĉenaj alkanoj branĉa kaj nebranĉa. Rekoni ke koncernan strukturon de alkano oni povas skribi divers-maniere.

13.7 Nomi alkanon per la reguloj de IUPAK, ricevinte la strukturan formulon, kaj inverse.

13.8 Rekoni la oftajn alkilojn (alkilajn grupojn) laŭ nomo kaj strukturo.

13.9 Koni la ĉefajn natur-fontojn de alkanoj.

13.10 Scii elektitajn ĝeneralajn fizikajn ecojn de alkanoj.

13.11 Skribi ekvaciojn por bruliga kaj halogeniza reakcioj de alkanoj. Nomi halogenajn derivaĵojn per la reguloj de IUPAK.

13.12 Informiĝi pri la troviĝo de alkanoj en organismoj vivantaj.

13.13 Rimarki kiel ciklaj alkanoj kaj neciklaj alkanoj inter si deferencas. Nomi, uzante IUPAK-regulojn, kaj desegni strukturojn por cikloalkanoj.

Karbon-entenaj kombinaĵoj jam ricevas pli da atento flanke de kemiistoj ol tiuj de ajna alia elemento. Karbonaj kombinaĵoj, ofte nomataj organikaj kombinaĵoj, estas pli abundaj ol la kombinaĵoj de ĉiuj ceteraj elementoj kune. La grandega nombro da karbonaj kombinaĵoj rezultas el unikaj ecoj iugrade apartaj de la karbonatomo, el kiuj elstaras ĉefe la kapablo de tiuj atomoj interligiĝi kaj formi longajn ĉenojn.

Organikaj kombinaĵoj estas la kemia bazo por la vivo mem. Ne nur estas la proteinoj, sakaridoj, enzimoj, kaj hormonoj organikaj kombinaĵoj, sed ankaŭ jenaj: tergaso, nafto, karbo, benzino, kaj multaj sintezitaĵoj (plastoj, kolorenzoj, kaj fibroj).

Kvankam ekzistas multaj organikaj kombinaĵoj, oni povas ilin dividi, formante relative malgrandan kvanton da klasoj aŭ familioj surbaze de iuj strukturaj similecoj. Nian studon de organikaj kombinaĵoj ni komencos ĉi-ĉapitre, konsiderante la plej simplan el la klasoj de organikaj kombinaĵoj -- la saturitajn hidrokarbonojn.

13.1 ORGANIKA KAJ NEORGANIKA KEMIO: HISTORIA PERSPEKTIVO

En 1675, Nicholas Lemery, franca sciencisto kaj filozofo kaj frua verkinto de kemiaj lernolibroj, eldonis libron sub la titolo Cours de Chymie. Ĝia ĉi-rilata signifo estas, ke Lemery elektis distingi inter substancoj derivitaj el planta aŭ besta fontoj kaj tiuj akiritaj el mineralaj konsistigantoj.

Dum la 1700aj jaroj, tiu ĉi klasifika skemo iĝis preskaŭ universale akceptita de sciencistoj. La terminon organika oni enkondukis por aludi substancojn akiritajn el materio vivanta (organismoj), kaj la terminon neorganika por indiki materialojn originintajn el nevivanta (minerala) materio. Aldone, disvolviĝis la kredo dum la dek-oka jarcento ke vivantaj organismoj enhavas ian "vitalan forton", kiu necesas por produkti organikajn substancojn. Aperis tiu ĉi kredo ĉar neniu el la tiamaj sciencistoj kapablis sintezi iun ajn tiutempe konatan organikaĵon per neorganikaj reakciantoj. Ĉar oni mult-foje malsukcesadis, provante tian sintezon, enradikiĝis pli firme la "vitalismo". Ĝi estis universale akceptata ĉirkaŭ 1800.

Oni nun scias, ke la vitalismo estas neĝusta. Ĝia falado komenciĝis en 1828 pro eksperimento efektivigita de la germana kemiisto Friedrich Wöhler.

Provante produkti novan salon neorganikan per varmigo de du neorganikaj saloj, Wöhler anstataŭe trovis ke li produktis ureon, kiu estas kombinaĵo trovita en urino kaj tre konata kiel organika kombinaĵo. La eltrovo de Wöhler estis la stimulo por renovigitaj klopodoj far multaj sciencistoj sintezi organikajn substancojn el neorganikaj materialoj. Tiun ĉi fojon, post jarcento de negativaj rezultoj, eltroviĝis mult-nombraj sukcesaj reakcioj. Ĝis 1850 la vitalismo estis enterigita.

Por la moderna kemio la signifo de tiu ĉi epoko de kemia historio estas, ke la terminoj <u>organika</u> kaj <u>neorganika</u>, kies originoj devenis de la vitalismo, ankoraŭ validas. La originaj difinoj, tamen, estas arkaikaj.

<u>organika kemio; neorganika kemio</u>
Hodiaŭ, la organika kemio estas difinita kiel la studo de karbon-hidrogen-entenaj kombinaĵoj kaj ties derivaĵoj. La neorganika kemio temas pri la studo de ĉiuj ceteraj kombinaĵoj.

Notu bone, ke preskaŭ ĉiuj kombinaĵoj akiritaj el vivaĵoj lokiĝas kadre de organika kemio, kaj preskaŭ ĉiuj kombinaĵoj akiritaj el mineralaĵoj apartenas al la kampo de neorganika kemio. Sed plue organikaj materialoj estas rutine sintezataj en la laboratorio el nevivantaj substancoj. Ja estas, ke multaj el la nun sciataj organikaj substancoj estas en la naturo neniam trovitaj.

13.2 KOMPARO DE LA ECOJ DE ORGANIKAJ KAJ NEORGANIKAJ KOMBINAĴOJ

Organikaj kombinaĵoj plie abundas ol neorganikaj. Ekzistas proksimume 100.000 neorganikaj kombinaĵoj, kaj la nombro ne rapide kreskas. Pli ol 5 milionojn da organikaj kombinaĵoj oni scias, kaj miloj da novaj estas karakterizataj ĉiun jaron post izolado el la naturo aŭ sintezado en la laboratorio.

La organikaj molekuloj estas ĉefe komponitaj el kovalente ligitaj molekuloj, kiuj interefikas unu sur la alian per nur relative malgrandaj intermolekulaj fortoj (Sekcio 7.16). Ili kelkfoje montras jonan ligiĝon, sed ne ofte. Neorganikajn kombinaĵojn, kontraste, ofte karakterizas la ĉeesto de jona ligiĝo -- pli multe ol kovalenta ligiĝo. Tiuj ligaj diferencoj kondukas al diferencoj fizikokemiaj inter neorganikaj kaj organikaj kombinaĵoj, kiel montrite en Tabelo 13-1. Ni atentu ke la donitaj ecoj en la tabelo estas <u>ĝeneralaj</u> ecoj karakterizaj por la

plejmulto da kombinaĵoj en la du kategorioj. Estas esceptoj por ĉiu enskribo.

Tabelo 13-1. Ecoj de organikaj kaj neorganikaj kombinaĵoj

Eco	Organikaj kombinaĵoj	Neorganikaj kombinaĵoj
Ligiĝo interne de molekuloj	ĝenerale kovalenta	ofte jona
Fortoj inter molekuloj	ĝenerale malintensaj	sufiĉe intensaj
Normala fizika stato	gasa, likva, aŭ malalt-fande solida	pli ofte solida
Brulemo	kutime brulema	kutime nebrulema
Solveblo en akvo	kutime malalta	kutime alta
Konduktivo de akvaj solvaĵoj	nekonduktiva	konduktiva
Rapido de kemiaj reakcioj	kutime malalta	kutime alta

La granda nombro da organikaj kombinaĵoj devenas ĉefe de la kapablo de karbonaj atomoj formi kombinaĵojn kiam ili kunligiĝas unu al la alia aŭ ĉene aŭ ringe. Elmontras tiun econ nur malgranda nombro da aliaj elementoj, kaj eĉ ili nur et-grade kompare kun karbono. Alia faktoro kontribuas al la granda nombro da organikaj kombinaĵoj: la povo de karbono formi multoblajn ligojn inter si kaj kun iuj aliaj nemetaloj. Aliaj elementoj ne havas tiun econ.

13.3 SATURITAJ HIDROKARBONOJ

Organikaj kombinaĵoj povas esti ordigitaj en nombron da klasoj. La plej simplaj el ili, laŭ struktura starpunkto, estas la saturitaj hidrokarbonoj.

saturitaj hidrokarbonoj

Hidrokarbonoj estas, kiel indikas la nomo, kombinaĵoj entenantaj nur hidrogenon kaj karbonon. Satur(it)aj hidrokarbonoj estas tiuj, kiuj entenas nur unuoblajn ligojn.

Pri satureco temas, se ĉiu karbonatomo estas ligita al la maksimuma nombro de aliaj atomoj eblaj -- kvar.

alkanoj; cikloalkanoj

Oni povas plue dividi saturitajn hidrokarbonojn en du grupojn: (1) tiujn, en kiuj la karbonatomoj ĉene interligiĝas kaj (2) tiujn, en kiuj la karbonatomoj estas en ringoj. La unuan grupon de saturitaj hidrokarbonoj oni nomas alkanoj, kaj la duan -- cikloalkanoj.

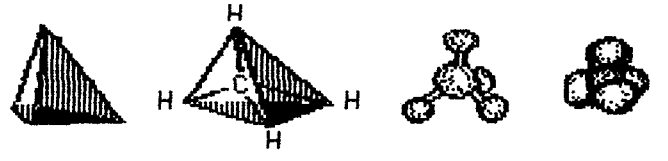
La cetero de la nuna ĉapitro sin okupas pri tiuj ĉi du tipoj de hidrokarbonoj. La emfazotaj temoj estas: la strukturo de tiuj ĉi

kombinaĵoj, la reguloj aplikendaj por nomi ĉi tiujn, kaj la simplaj reakcioj kiujn ili suferas.

Gravege estas, ke vi komprenu profunde la strukturajn rilatojn kaj nomenklaturajn regulojn pri saturitaj hidrokarbonoj. La pli komplikaj organikaj molekuloj estos diskute prezentataj en ĉapitroj 14-25 kun la antaŭsupozo, ke tiaj molekuloj estas hidrokarbonaj derivaĵoj, en kiuj unu aŭ pluraj hidrogenatomoj estas anstataŭitaj de aliaj atomoj aŭ atom-grupoj. Por tiuj molekuloj pli komplikaj oni donos strukturajn principojn kaj nomenklaturajn regulojn kiel plivastigon de tiuj uzataj por saturitaj hidrokarbonoj.

13.4 ALKANAJ STRUKTUROJ

Por alkanoj oni povas starigi la ĝeneralan formulon C_nH_{2n+2}, en kiu n estas la kvanto da karbonatomoj en la molekulo. La plej simpla alkano estas metano, kiu entenas unu karbonatomon ($n = 1$) kaj do havas la formulon CH_4. La metan-molekulo havas kvaredran (tetraedran) strukturon. La karbonatomo troviĝas ĉe la centro de la kvaredro kaj la kvar alligitaj al karbono hidrogenatomoj estas ĉe la anguloj de la kvaredro. Bildo 13-1 montras manierojn pentri la kvaredran strukturon de metano.



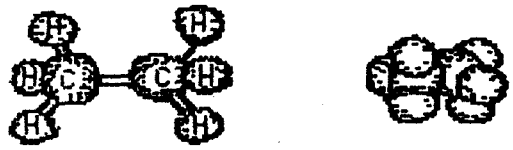
Kvaredro | Strukturo kvaredra | Globstanga modelo | Spaca modelo

Bildo 13-1. Perspektivaj desegnaĵoj de la metana molekulo

En la strukturo CH_4, ĉiu hidrogenatomo egalvaloras geometrie al la tri ceteraj en la molekulo. Ĉies loko estas tiom malproksima for de la tri ceteraj kiel eblas por okazigi minimumajn interpuŝiĝojn inter atomoj. Kiam ajn karbonatomo ligiĝas kun kvar ceteraj atomoj, tiu ĉi kvaredra aranĝo estas la preferata aranĝo.

La sekvanta alkano estas etano kun $n = 2$ kaj molekula formulo C_2H_6. Oni povas pensi pri ĉi tiu molekulo kiel metana molekulo, en kiu oni anstataŭigas unu hidrogenatomon per la grupo $-CH_3$. Perspektivaj desegnaĵoj por la etana molekulo (vidu Bildon 13-2) montras ke la karbonaj ligoj

ankoraŭ posedas kvaredran geometrion. La spaca modelo estas la plej proksima prezentaĵo de la efektiva formo spaca. (Notu en la Bildo, ke ĉiu karbonatomo havas kvar ligojn. Karbono ĉiam havas kvar ligojn en alkano -- aŭ en iu ajn alia tipo de organika kombinaĵo.)



Globstanga modelo Spaca modelo

Bildo 13-2. Perspektivaj desegnaĵoj de la etana molekulo

La tria alkano, propano, posedas la molekulan formulon C_3H_8 ($\underline{n} = 3$). Ankoraŭfoje, oni povas havigi al si tiun ĉi formulon anstataŭante hidrogenatomon de la antaŭa kombinaĵo (etano) per la grupo $-CH_3$. Ĉiu el la ses hidrogenatomoj estas egalvaloraj, do ne gravas kiun oni volas anstataŭi. Kaj la globostanga kaj la spaca modeloj de la propana molekulo estas donitaj en Bildo 13-3.



Globstanga modelo Spaca modelo

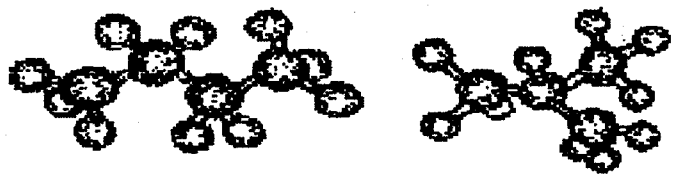
Bildo 13-3. Perspektivaj desegnaĵoj de la propana molekulo

13.5 STRUKTURA IZOMERECO

Ni klare vidu, ke la ĵus skizitajn procedojn por establi la strukturojn de la etana kaj propana molekuloj (anstataŭigante hidrogenon per la grupo $-CH_3$), oni povus etendi al kvar-karbona molekulo kaj al senfina nombro da eĉ pli grandaj alkanoj. Tamen, estiĝas komplikaĵo kiam almenaŭ kvar karbonatomoj ĉeestas: diversaj strukturoj estas akireblaj depende de tiu hidrogeno, kiun oni anstataŭas.

Du strukturojn diversajn oni povas krei forprenante hidrogenatomon el propano kaj anstataŭigante ĝin per la grupo $-CH_3$. Tio okazas, ĉar la hidrogenoj en propano ne estas geometrie egalvaloraj. La du hidrogenatomoj alligitaj al la centra atomo en propano (Bildo 13-3) estas egalvaloraj

unu al la alia, sed diferencas de la ses fin-karbonaj hidrogenatomoj. Ĉi tiu mem estas inter si egalvaloraj. La anstataŭigo de fin-karbona hidrogeno donas la montritan en Bildo 13-4(a) kombinaĵon. La kombinaĵo en Bildo 13-4(b) sekvas el tio, ke grupo $-CH_3$ anstataŭas hidrogenon ĉe la centra karbono.



(a) (b)

Bildo 13-4. Globostangaj modeloj por du malsamaj 4-karbonaj alkanoj

La du strukturoj en Bildo 13-4 figuras du diversajn kombinaĵojn kun diversaj karakterizaĵoj. Ambaŭ havas sian apartan aron da ecoj, kiuj estas videblaj en Bildo 13-5. Tiu ĉi montras spacajn modelojn por la du kombinaĵoj kaj registras elektitajn proprecojn fizikajn por ambaŭ.



	(a)	(b)
fandopunkto	-138,3°C	-160°C
bolpunkto	-0,5°C	-12°C
denso (ĉe 20°C)	0,579 g/ml	0,557 g/ml

Bildo 13.5. Spacaj modeloj kaj elektitaj fizikaj proprecoj por la du malsamaj 4-karbonaj alkanoj

Tiaj kombinaĵoj, kiel la du malsamaj 4-karbonaj alkanoj, estas strukturaj izomeroj.

strukturaj izomeroj

Strukturaj izomeroj estas kombinaĵoj kun identaj molekulaj formuloj sed diversaj aranĝoj de atomoj interne de la molekulo.

Struktura izomereco, kiel ni vidos, estas tre ofta fenomeno en organika kemio.

La nombro da eblaj strukturaj izomeroj rapide kreskas kiam la nombro da karbonatomoj en alkano kreskas. Registrita en Tabelo 13-2 estas la nombro da eblaj izomeroj dependa de la nombro da karbonatomoj en la alkano.

La tabelo donas indikon pri la granda nombro kaj diverseco de eblaj alkanoj. Kompreneble, neniu preparis ĉiujn izomerojn por kombinaĵoj, entenantaj grandan nombron da karbonatomoj. Tamen, metodoj disponeblas por sintezi ilin se leviĝos bezono.

Tabelo 13-2. Ebla nombro da izomeroj por elektitaj alkanoj

Molekula Formulo	Ebla Nombro de Izomeroj
CH_4	1
C_2H_6	1
C_3H_8	1
C_4H_{10}	2
C_5H_{12}	3
C_6H_{14}	5
C_7H_{16}	9
C_8H_{18}	18
C_9H_{20}	35
$C_{10}H_{22}$	75
$C_{20}H_{42}$	336.319
$C_{30}H_{62}$	4.111.846.763

13.6 STRUKTURAJ FORMULOJ

Tri-dimensiaj prezentaĵoj estis uzataj en la antaŭa sekcio por figuri la strukturojn de metano, etano, propano, kaj la du kvar-karbonaj alkanoj. Tiaj strukturoj donas kaj la aranĝon kaj la spacan orientiĝon de la atomoj en la molekulo. Tamen, desegni tiajn strukturojn estas temporabe kaj ofte malfacile. Pro tiuj ĉi embarasoj, oni jam elpensas pli facilan sistemon por indiki strukturon. La elpensita anstataŭa sistemo aplikas strukturajn formulojn, kiuj estas du-dimensiaj prezentaĵoj de strukturo. Tiuj ĉi formuloj donas la aranĝon de la atomoj en la molekulo, sed ne la spacan orientiĝon. Oni kutime uzas du tipojn de strukturaj formuloj: detalan kaj kondensan.

detala struktura formulo

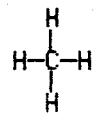
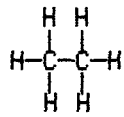
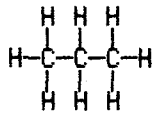
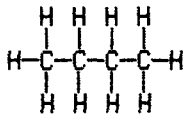
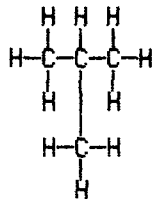
Detala formulo struktura montras ĉiujn ligojn inter atomoj en molekulo.

Kondensa struktura formulo

Kondensa formulo struktura donas la saman informon, sed uzas grupojn, indikantajn la aranĝon de la atomoj.

En la kondensa formulo oni skribas ĉiun karbonon sekvitan de la alligitaj hidrogenoj. Ambaŭ tipojn de strukturaj formuloj donas Tabelo 13-3 por alkanoj kun ĝis 4 karbonoj.

Tabelo 13-3. Strukturaj formuloj por elektitaj alkanoj

Nombro da karbonoj en alkano	Detalaj strukturaj formuloj	Kondensaj strukturaj formuloj
1		CH_4
2		CH_3CH_3
3		$CH_3CH_2CH_3$
4		$CH_3CH_2CH_2CH_3$
		CH_3CHCH_3 CH_3

Strukturaj formuloj ne estas vide korektaj pro tio, ke ili ŝajnigas ĉiujn molekulojn ebenaj aŭ glataj. Tamen, ili donas la ĝustan rilaton de la atomoj unu al la aliaj. Tiaj informoj sufiĉas por la plejparto da traktadoj en kemio organika. Tamen gravas noti ke strukturaj formuloj neĝuste imagigas ke karbonatomoj formas rektan linion por ĉenoj de tri aŭ pli da karbonoj. La leganto vidas, ke tio ne validas, konsultante la globostangajn modelojn en Bildo 13-3 kaj 13-4(a).

Pro la izomereca fenomeno, necesas strukturaj formuloj por indiki la identecon de preskaŭ ĉiuj kombinaĵoj organikaj. Molekula formulo nur malofte liveras sufiĉan informon por la identigo. Ni jam vidis, ke molekula formulo C_4H_{10} estas dubasenca ĉar ĝi rilatas al du diversaj alkanoj. En organika kemio oni uzas molekulan formulon nur tiam, kiam ĝi reprezentas ununuran strukturon -- ekz. CH_4 por metano. Tiu ĉi neceso por strukturaj formuloj reliefe distingas organikan kemion disde neorganika

kemio, kie molekulaj formuloj estas sufiĉaj (CO_2, H_2O, NH_3, ktp.).

Alkanaj strukturoj klaseblas en normal-ĉenajn aŭ branĉo-ĉenajn. La du 4-karbonaj alkanoj ilustras tiun ĉi klasifikan sistemon. La unua el la du izomeroj donitaj en Tabelo 13-3 estas ekzemplo de kontinua ĉeno aŭ normala alkano.

normala alkano

En normalaj (senbranĉaj) alkanoj, ĉiuj karbonoj interligiĝas en formo de kontinua nebranĉiĝinta ĉeno.

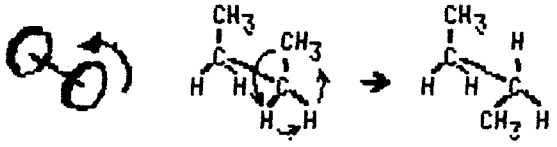
La dua 4-karbona izomero donita en Tabelo 13-3 estas ekzemplo de alkano branĉo-ĉena.

branĉa alkano

En branĉaj alkanoj, almenaŭ unu flanka ĉeno aŭ grupo estas alligita ĉe iu loko al kontinua ĉeno de karbonaj atomoj.

Por la branĉo-ĉena 4-karbona izomero, la branĉo estas grupo CH_3 sur la dua karbono de kontinua ĉeno de 3 karbonatomoj.

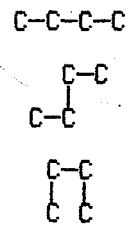
Organikaj molekuloj estas senĉese moviĝantaj: ili vibras, turniĝas, tordiĝas, kaj fleksiĝas. Alligitaj per unuobla ligo grupoj kapablas rotacii ĉirkaŭ tiu ĉi ligo simile kiel rado rotacias ĉirkaŭ akso (Bildo 13.6).



Bildo 13-6. Rotaciado ĉirkaŭ unuoblaj ligoj (4-karbona alkana molekulo)

Rezulte de tia rotaciado, molekuloj povas ekzisti en senfina nombro de diversaj orientiĝoj. Ekzemple, la molekuloj en provaĵo de $CH_3CH_2CH_2CH_3$ (la rekto-ĉena 4-karbona izomero) statas ĉiufoje forme de nekalkuleblaj orientiĝoj kaj ĉiu orientiĝo rapide ŝanĝiĝus al alia. Ebenaj prezentaĵoj de tri el la eblaj orientiĝoj estas montritaj en Bildo 13-7. Ni nepre rekonu, ke tiuj ĉi diversaj manieroj desegni la saman kombinaĵon ne reprezentas diversajn izomerojn. Ĉiukaze, la kvar karbonatomoj estas ligitaj laŭ kontinua (senbranĉa) ĉeno. Pro tio, ke oni ne ŝanĝas la ordon de ligiĝo, la desegnitaj strukturoj rilatas al la sama molekulo. Du strukturoj estas izomeroj nur tiam, kiam oni devas rompi ligojn por transformi unu el la alian (vidu Ekzemplon 13-1). Strukturaj izomeroj estas daŭraj aranĝaĵoj, dum malsamaj orientiĝoj kontraŭe estas efemeraj.

Bildo 13-7.
Tri spacaj orientiĝoj de la normal-ĉena 4-karbona alkano (nur inter-karbonaj ligoj montriĝas)



Ekzemplo 13-1. Kiuj el la sekvantaj paroj figuras izomerojn, kaj kiuj estas nur diversaj manieroj per kiuj oni desegnas la saman molekulon?

a) $CH_3CH_2CH_3$, $CH_3CH(CH_3)_2$

c) $CH_3CH(CH_3)CH_3$, $CH_3CH_2CH_2CH_3$

b) $CH_3CH(CH_2CH_3)_2$, $CH_3CH_2CH_2CH_3$

ĉ) $CH_3CH_2CH(CH_3)_2$, $CH_3CH_2CH(CH_3)_2$

Solvo. a) Ili estas malsamaj figuroj por desegni la saman molekulon. En ambaŭ molekuloj la tri karbonatomoj estas ligitaj en kontinua ĉeno.
b) Ili estas diversaj manieroj por desegni la saman molekulon. En ambaŭ molekuloj la kvar karbonoj estas ligitaj en kontinua ĉeno.
c) Ili estas izomeroj. Tri karbonoj estas ĉene ligitaj en la unua molekulo, kaj kvar estas tiel ligitaj en la dua.
ĉ) Ili estas malsamaj metodoj por desegni la saman molekulon. AmbaŭKaze, kvar karbonoj estas ĉene ligitaj, kaj la kvina karbono ligiĝas al la ĉeno ĉe la sama karbono.

13.7 NOMENKLATURO DE ALKANOJ

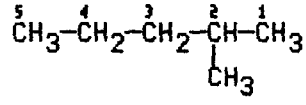
Kiam nur relative malmultaj organikaj kombinaĵoj estis konataj, kemiistoj donis al ili nomojn, kiujn hodiaŭ oni konsideras nesistemaj (aŭ trivialaj). Ekzemploj estas metano, etano, kaj propano. Tamen, dum pli kaj pli da kombinaĵoj estis eltrovataj, iĝis malfacile elpensi nomojn kaj multe pli malfacile ilin parkerigi. Evidente oni bezonis sisteman metodon. Tia metodo estis disvolvita de la Internacia Unio de Pura kaj Aplikata Kemio (IUPAK), kies angla nomo estas International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Apliko de la metodo kelkfoje kondukas al negraciaj rezultoj, sed la nomoj derivitaj por ĉiu kombinaĵo estas unikaj kaj sciigas ĉion, kion oni bezonas por desegni strukturan formulon. Jen la reguloj bazitaj sur la IUPAK-sistemo per kiuj oni nomas alkanojn.

Paŝo 1. Nomu la plej longan ĉenon. La rekta karbonatoma ĉeno plej longa estas elektita kiel la bazo por la nomo. Al tiu ĉi ĉeno oni donas la radikan nomon plus la sufikson -an, kiel sube montrite. La unuaj kvar membroj de la serio retenas la nesisteman nomon, sed la ceteraj deriviĝas de grekaj nombraj prefiksoj. La vort-radikoj estas substrekitaj.

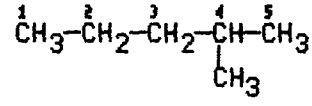
CH_4	metano	C_5H_{12}	pentano	C_9H_{20}	nonano
C_2H_4	etano	C_6H_{14}	heksano	$C_{10}H_{22}$	dekano
C_3H_6	propano	C_7H_{16}	heptano	$C_{11}H_{24}$	undekano
C_4H_{10}	butano	C_8H_{18}	oktano	$C_{12}H_{26}$	dodekano

Se la alkana molekulo konsistas el senbranĉa ĉeno de karbonatomoj, la prefikso n- (por normala) estas alkroĉita al la ĉena nomo, kaj tio estas la nomo de la kombinaĵo. Ekzemple, n-oktano estas la nomo por $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$. Se branĉoj ĉeestas en la ĉeno, la reguloj en Paŝoj 2-5 devas esti uzitaj laŭ neceso.

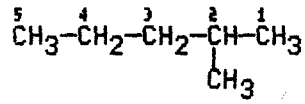
Paŝo 2. Numeru la plej longan ĉenon. La karbonatomoj en la ĉeno plej longa estas numeritaj sinsekve ekde la fino kiu donos la plej malalta(j)n numero(j)n al iu(j) ajn karbono(j), al kiu(j) branĉo estas alligita. Se ĉeestas nur unu branĉo, la elektenda fino estas tiu, kiu estas plej proksima al la branĉo. Kiam estas du aŭ pli da branĉoj, numeru la karbonojn tiel, ke la branĉohavaj karbonoj ricevu numerojn havantajn la plej malaltan sumon.



kaj ne



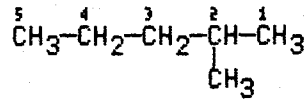
Paŝo 3. Trovu kaj nomu la branĉojn. Ĉiun branĉon oni trovas per la numero de la karbonatomo, al kiu ĝi estas alligita laŭlonge de la ĉeno. La branĉoj estas nomataj alkiloj (aŭ alkilaj grupoj) kaj ilin oni nomas uzante la radikon de ilia origina alkano plus la sufikson -il.



La alligita grupo troviĝas ĉe karbono 2 de la ĉeno, kaj estas metilo (aŭ metila grupo) ĉar ties origina alkano estas metano.

Paŝo 4. Kombinu la plej longan ĉenon kaj branĉojn en nomon. La pozicio kaj nomo de alligitaj alkilaj branĉoj estas unue skribitaj, kiujn sekvas la nomo de la plej longa ĉeno. La tuton oni skribu unuvorte, sed

oni povas enmeti dividstrekojn por klareco: klormetano aŭ klor-metano.

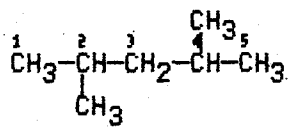


2-metilpentano

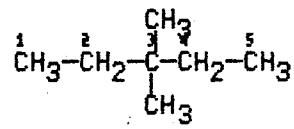


Kelkaj aldonaj reguloj estas devigaj kiam pli ol unu alkilo estas alligita al la *plej longa ĉeno*.

<u>Paŝo 5. *Indiku la numeron kaj pozicion de la alligitaj alkiloj*</u>. Se du aŭ pli da <u>samaj</u> alkiloj okazas kiel branĉoj, la nombron da ili oni indikas per la prefiksoj <u>di-</u>, <u>tri-</u>, <u>tetra-</u>, <u>penta-</u>, ktp., kaj ĉies lokon denove indikas numero. Tiujn ĉi pozici-numerojn, apartigitajn per komoj, oni lokas senpere antaŭ la nomon de la grupo, kun divido-strekoj antaŭ kaj post la numeroj se necese.

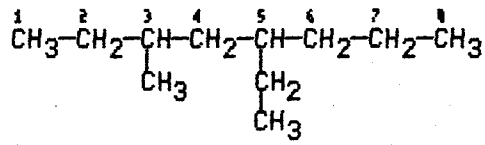


2,4-dimetilpentano



3,3-dimetilpentano

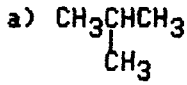
Se du aŭ pli da malsamaj alkiloj ĉeestas, iliaj nomoj estas alfabete ordigitaj kaj prefiksitaj al la nomo de la baza alkano. Rezultas denove unu vorto.

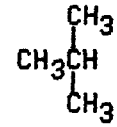


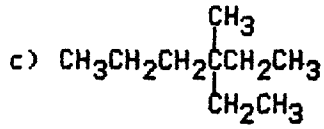
5-etil-3-metiloktano

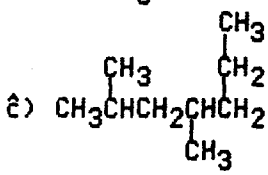
Atentu ke ĉiu C devas esti menciata en la nomo, aŭ kiel parto de la plej longa ĉeno aŭ kiel parto de alkilo.

<u>Ekzemplo 13-2</u>. Uzu la sistemon IUPAK por nomi jenajn alkanojn:

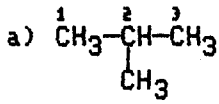
a) 

b) 

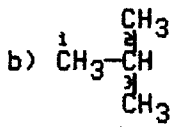
c) 

ĉ) 

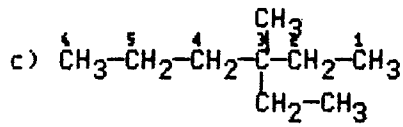
Solvo.

a) 

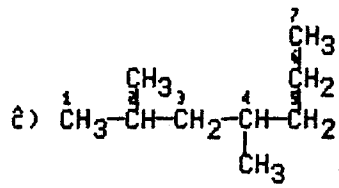
La ĉeno plej longa entenas 3 karbonojn, kaj la alligita alkilo estas metila, do la nomo estas 2-metil-propano.

b) 

Denove ankoraŭ, la ĉeno plej longa entenas 3 karbonojn, kaj la alligita alkilo estas metila. Tial, la nomo estas 2-metil-propano. Tial do, (a) kaj (b) estas simple diversaj manieroj laŭ kiuj oni desegnas la saman molekulon. Se la formuloj figuras diversajn izomerojn, ili havos diversajn IUPAK-nomojn. Se ili estas simple diversaj orientiĝoj de la samaj kombinaĵoj, ili havos la saman IUPAK-nomon.

c) 

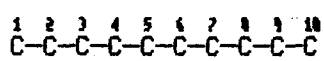
La alligitaj alkiloj estas etila kaj metila. La nomo estas 3-etil-3-metilheksano.

ĉ) 

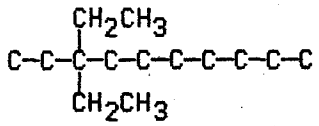
Ambaŭ alligitaj alkiloj estas metilaj. La nomo estas 2,4-dimetilheptano. Atentu, ke la ĉena fleksiĝo ĉe la fino ne forigas karbonon 6 kaj 7 el la plej longa ĉeno. Notu ankaŭ ke kvankam (c) estas nomata kiel heksana derivaĵo kaj (ĉ) kiel heptana derivaĵo, ili estas izomeroj unu de la alia; ambaŭ entenas naŭ karbonojn kaj estas izomeroj de n-nonano.

Strukturajn formulojn oni povas facile akiri per ĝustaj nomoj. Ekzemple, konsideru la nomon 3,3-dietil-5-metildekano. La struktura formulo estas havebla tiel ĉi:

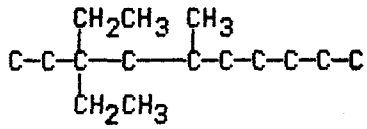
Paŝo 1. Desegnu karbon-ĉenon dekanan kaj numeru ĝin.



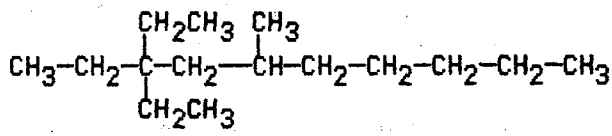
Paŝo 2. Metu du etilojn al karbono 3.



Paŝo 3. Metu metilon sur karbonon 5.



Paŝo 4. Garnu la ĉenon per la necesaj hidrogenatomoj por ke ĉiu karbonatomo havu kvar ligojn.



13.8 ALKILOJ

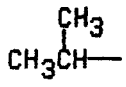
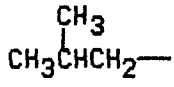
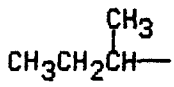
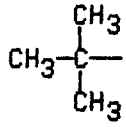
Oni ĉiam renkontas alkilojn en branĉaj ĉenoj. Ili estas la branĉoj. En la antaŭa *sekcio pri nomenklaturo*, la *du alkiloj plej simplaj, metila* kaj etila, estis uzataj. Evidente, ekzistas multe da aliaj alkiloj. Rememoru:

alkilo

Alkilo estas la fragmento ricevita post forpreno de hidrogenatomo el alkano.

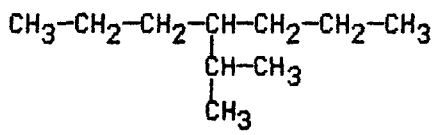
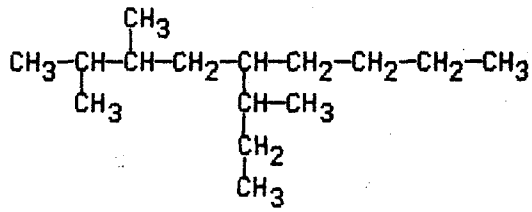
La ĝenerala formulo por alkilo estas C_nH_{2n+1}. Tiu ĉi formulo harmonias kun la fakto, ke alkiloj estas derivitaj de originaj alkanaj molekuloj (C_nH_{2n+2}), el kiuj oni forprenas unu el la hidrogenatomoj. La simbolo R estas uzata kiel ĝenerala litersigno por ajna alkilo. Alkilo ne havas stabilan, sendependan ekziston. Kontraŭe, ilin oni ĉiam trovas alligitaj al alia grupo de karbonatomoj. Same kiel estas rektoĉena kaj branĉoĉena alkanoj, estas ankaŭ alkiloj ĉene rektaj aŭ branĉaj. La nomo de la rektoĉena alkilo estas ĉiam prenata senpere de la nomo de la rektoĉena origina alkano; oni anstataŭigas la sufikson -an de la alkano per -il, kiel okazis por metilo kaj etilo. Pli malsimple estas nomi branĉajn alkilojn pro tio, ke ili fakte prezentas duagradan branĉon (donante branĉojn al branĉo). En tiu ĉi teksto oni ne prezentos sistemajn regulojn por la nomado de ĉiuj tiuj grupoj. Tamen, kelkaj branĉo-ĉenaj alkiloj estas sufiĉe gravaj por ke iliaj nomoj estu konataj. Ili estas donitaj en Tabelo 13-4.

Tabelo 13-4. Nomoj de oftaj brançaj alkiloj

Nomo	Strukturo
izopropilo	
izobutilo	
sek-butilo	
terc-butilo	

Notu ke ni nomas tiujn brançajn kombinaĵojn surbaze de sistemo de prefiksoj: izo-, sekundar- (mll. sek- aŭ s-), kaj terciar- (mll. terc- aŭ t-). La longa ligo en çiu el la strukturoj de Tabelo 13-4 simbolas la alligejon al la çeno. En Tabelo 13-5 ni nomas kombinaĵojn, tiel donante ekzemplojn por la efektiva uzado de tiaj alkilaj nomoj.

Tabelo 13-5. Ekzemploj de kombinaĵoj entenantaj brançajn alkilojn

Formulo	Nomo
	4-izopropilheptano
	2,3-dimetil-5-sek-butilnonano

13.9 NATURAJ FONTOJ DE ALKANOJ

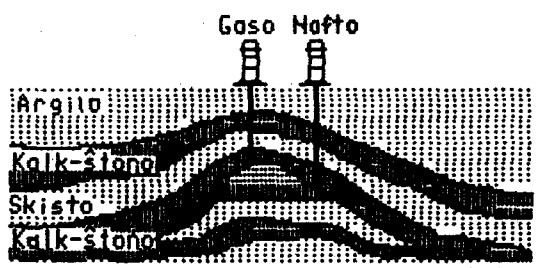
Tergaso kaj nafto (kruda petrolo)* konsistigas la plej grandajn kaj gravajn fontojn de alkanoj. Kuŝejoj de tiuj substancoj, kiuj ofte nomiĝas fosiliaj brulaĵoj, estas troveblaj en multe da lokoj çirkaŭ la mondo. Tiaj kuseĵoj kutime asociiĝas kun klośformaj rok-formacioj (Bildo 13-8) en profundo de pluraj miloj da metroj. Kiam oni boras truon en tian rok-formacion, eblas akiri iom el la enkaptitaj hidrokarbonoj. Atentu ke nafto kaj tergaso ne troviĝas en la tero sub formo de likvaj basenoj -- ofte miskoncepto. Ili estas disiĝintaj çie en pora rok-formacio. La strukturaj trajtoj de la rok-formacio permesas al la hidrokarbonoj amasiĝi.

*Notu: Ni faras distingon inter petrolo kaj nafto laŭ la maniero de PIV. Sed vi trovos, ke oni kelkfoje uzas petrolon anstataŭ nafto, aŭ uzas ilin sendistinge. Tio estus defendebla, çar la vorto petrolo devenas de petro (ŝtono) + oleo, do ŝton-oleo. La vorto nafto mem devenas de la persa lingvo.

La procezojn, per kiuj nature estiĝis hidrokarbonoj, oni ne tute komprenas. Kemiistoj jam multajn jarojn debatis la demandon pri ilia ĉefa fonto. Ĉu ili devenas el bestoj, plantoj, aŭ nebiologiaj mineraloj? Nun oni akceptas ĝenerale tion, ke ili deriviĝis el la malkomponiĝo de maraj organismoj, kaj plantoj kaj (malpli-kvante) bestoj, dum la foresto de oksigeno en medio de profundaj ocean-fundaj sedimentoj.

La kruda tergaso enhavas 50-90% de metano, 1-10% de etano, kaj ĝis 8% de pli long-ĉenaj alkanoj (propano kaj butanoj plej abundaj). La plejparto de la tergaso produktita en Usono venas el la sudokcidentaj ŝtatoj. La gason kondukas vasta reto de duktoj al aliaj partoj de la lando. Antaŭ ol oni ensendas la gason en la duktan distribu-sistemon, la trovitaj en kruda tergaso pli longaj alkanoj estas eltiritaj. Ĉar la eltiritaj alkanoj povas esti likvigataj sub modera premo, ili estas likve stokataj sub premo en ŝtalaj gasboteloj kaj vendataj kiel enboteligita gaso. Tiun ĉi materialon oni uzas en la kamparo kaj en lokoj ne provizitaj per tergasduktoj.

La nafto estas ege malsimpla miksaĵo de hidrokarbonoj. Kelkaj naftoj konsistas ĉefe el alkanoj, aliaj enhavas ĝis 40% de aliaj tipoj de hidrokarbonoj -- cikloalkanojn (Sekcio 13.13) kaj aromatojn (Ĉapitro 15). Nafto havas tre malmultajn uzojn en la natura stato, sed tiu komplika miksaĵo estas disigebla en diversajn utilajn frakciojn per rafinado. La akiritaj frakcioj estas ankoraŭ hidrokarbonaj miksaĵoj, sed ĉiuj estas pli simplaj (enhavas malpli da kombinaĵoj). Dum rafinado, la fizika disigado de nafto en komponajn frakciojn estas realigita per frakcia distilado. Tiu ĉi procedo ekspluatas la bolpunktajn diferencojn inter diversaj komponantoj de la nafto. Ĉiu frakcio entenas hidrokarbonojn ene de bolpunkta intervalo. La diversaj frakcioj akiritaj per tipa frakciado estas montritaj en Tabelo 13-6. La bolpunktoj kaj kelkaj tipaj uzoj por petrolo estas ankaŭ enmetitaj. Notu la multajn gravajn kaj konatajn produktojn akiratajn el nafto.



Bildo 13-8. Kuŝejoj tergasa kaj nafta

Tabelo 13-6. Produktoj de nafta distilado

Frakcio	Nombro da Karbonatomoj	Bolpunkta amplekso (°C)	Tipaj Uzoj
gaso	C_1 - C_4	-164 - 30	gasa brulaĵo
petrola etero	C_5 - C_7	30 - 90	solvenzo, sek-purigo
distil-benzino	C_5 - C_{12}	30 - 200	motora brulaĵo (Karburaĵo)
keroseno	C_{12} - C_{16}	175 - 275	brulaĵo por fornoj, motoroj jeta kaj dizela
mazuto (peza oleo)	C_{15} - C_{18}	ĝis 375	hejt-forna petrolo
ŝmiroleoj	C_{16} - C_{20}	350 kaj supren	ŝmirado (lubrikado), mineral-oleo
ŝmiraĵoj	C_{18} - supren	duonsolida	ŝmirado, vazelino
parafino (vakso)	C_{20} - supren	fandiĝas ĉe 52-57	kandeloj
peĉo kaj gudro	alta	kaldrona restaĵo	tegment-kovriloj, pavimo

Aldone al tiaj uzoj, kiel tiuj de Tabelo 13-6, signifa kvanto da petrolo jare produktata estas uzata kiel krudaĵo por la petrol-kemia industrio. El tiu industrio fluas multe da produktoj, kiujn oni multe uzadas hodiaŭ. Ekzemploj de tiaj produktoj estas plastoj, sintezaj fibroj, gluaĵoj (adherenzoj), kolorenzoj, kaj medikamentoj.

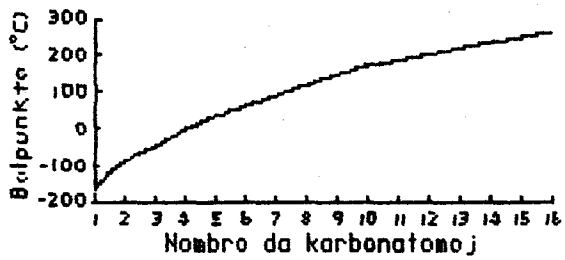
13.10 FIZIKAJ ECOJ DE ALKANOJ

Alkanoj estas nepolusaj molekuloj pro tio, ke karbono kaj hidrogeno havas preskaŭ identajn elektronegativecojn (Sekcio 6.7). Do, ili estas nesolveblaj en akvo, sed estas solveblaj en tiaj nepolusaj solvaĵoj, kiel tetraklormetano (t.e. -- karbona tetraklorido), CCl_4 (Sekcio 8.3).

Je ordinaraj temperaturoj kaj premoj la alkanoj kun pli malaltaj molekulmasoj (C_1 ĝis C_4) estas gasoj. Rememoru el la antaŭa sekcio ke la ĉefaj komponantoj de tergaso estas tiuj ĉi malgrandaj molekuloj. La alkanoj C_5 ĝis C_{17} estas likvoj ĉe ordinara temperaturo, kaj alkanoj kun pli longaj ĉenoj estas solidaj.

Ni povas do vidi ke fandopunktoj kaj bolpunktoj dependas de la longo de karbonĉeno. Tion sugestas la donitaĵoj enhavitaj en Tabelo 13-6 pri la ecaroj de petrolo. Bildo 13-9 montras la bolpunktan sanĝiĝon depende de ĉenlongo por rektaĉenaj alkanoj. Kiam izomeroj povas ekzisti, la disbranĉiĝo de la karbonĉeno malaltigas la bolpunkton. La pli altan

bolpunktan ĉiam havas la senbranĉa izomero.



Bildo 13-9. Variado de normalaj alkanaj bolpunktoj depende de ĉenlongo

13.11 KEMIAJ ECOJ DE ALKANOJ

La alkanoj kiel klaso estas tre nereakciemaj kombinaĵoj. Estas tiel, ĉar alkanoj, estante saturitaj, estas kombinaĵoj en kiuj karbono ne povas ligiĝi al pluaj atomoj. La manko je reakciemo klarigas kial alkanoj tiel ege abundas en la naturo.

Alkanoj ne reakcias kun akvaj solvaĵoj de acidoj aŭ bazoj. La plejmulto da oksidigantoj ilin ne facile oksidigis. Ili tamen ja reakcias iukondiĉe kun oksigeno kaj kun la halogenoj (elementoj de grupo VIIA).

bruligo; halogenizo

Bruligo oni nomas la rapidan reakcion de alkanoj kun oksigeno, kaj la reakcio kun halogenoj nomiĝas halogenizo.

Bruligo

Kiam ĉeestas troa oksigeno, alkanoj brulos se ekbruligitaj. La produktoj de kompleta bruligo estas karbona dioksido kaj akvo. Tipaj reakcioj por alkana bruligo estas:

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{energio} \qquad 13\text{-}1$$

$$2C_6H_{12} + 19O_2 \longrightarrow 12CO_2 + 14H_2O + \text{energio} \qquad 13\text{-}2$$

La bruliga reakcio estas kutime ekigita de fajrero, sparko aŭ alia fonto de varmo egala al la aktiviga energio. La reakciaj rezultoj dependas de la relativaj kvantoj da alkano kaj oksigeno en la miksaĵo. Ekzemple, ne brulos miksaĵoj de aero kaj metano enhavantaj volumene malpli ol 5,5% CH_4. Se la miksaĵo enhavas 5,5% ĝis 14% metano, okazas tre rapide la brulado. La miksaĵo brulas kviete kiam ĉeestas pli ol 14% metano. (Tial la konkludo: nur profesiuloj alĝustigu gasfornojn aŭ akvohejtilojn!).

Gravas ege ankaŭ la rilatumo aero/brulaĵo kiam temas pri la ĝusta funkciado de t.n. eksplod-motoro. La rilatumo devas esti ene de la ĝustaj limoj por ke la motoro senĝene funkciadu. Motoro "supernutrita" (trobenzinizita) havas tro altan rilatumon de brulaĵo-al-aero (t.e. -- estas tro multe da benzino).

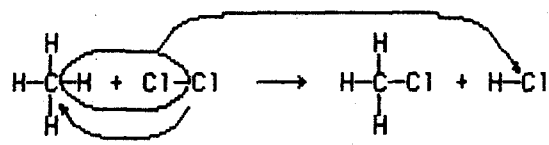
Halogenizo

Alkanoj reakcias kun halogenoj, plej ofte kloro aŭ bromo, donante hidrokarbonajn derivaĵojn, en kiuj halogenatomoj estas substituitaj al hidrogenatomoj. Tiu ĉi reakcio devas implici anstataŭadon ĉar alkanoj estas saturitaj kombinaĵoj. Se oni almetas atomon, alia atomo devas esti forprenita pro tio, ke karbono povas havi nur kvar ligojn. Por puraj kombinaĵoj, halogenizaj reakcioj efektiviĝas senĝene en la sunlumo, sed ne ofte dum la foresto de lumo. Plejofte la rezulto de halogenizo estas la formiĝo de pli ol unu tipo de produkto.

Konsideru la klorizadon de metano kiel ekzemplon. Jen la unua paŝo laŭ tiu ĉi procedo:

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{\text{lumo}} CH_3Cl + HCl \qquad 13\text{-}3$$

Rimarku ke nur duono de la klor-molekulo enmetiĝas en la produkton organikan, kiun oni nomas klormetano aŭ metila klorido. La alia kloratomo iĝas parto de la neorganika molekulo HCl. La hidrogenatomo en HCl venas el la metana molekulo, kiu perdas unu hidrogenatomon por havi la kapablon ligiĝi al kloratomo. Tiu ĉi rearanĝiĝo de atomoj estas montrita en ekvacio 13-4.



13-4

La klormetano de reakcio 13-3 povas plu reakcii laŭ la sama tipo de anstataŭado, donante CH_2Cl_2 (diklormetanon aŭ metilenan dikloridon), ankoraŭ plu donante $CHCl_3$ (triklormetanon aŭ kloroformon), kaj fine al CCl_4 (tetraklormetanon aŭ karbonan tetrakloridon). En la praktiko, ĉiujn kvar produktojn donas la klorizo de metano; ĉies kvanto dependas de la kvanto de uzita kloro kaj la reakciaj kondiĉoj.

Kiam temas pri la klorizo de metano, interesas observi kiel sanĝiĝas la reakciaj produktoj kiam oni enkondukas kloron en la metanan

molekulon. Ĉiun fojon kiam oni aldonas pluan Cl-atomon, malpliiĝas la brulemo sed la tokseco (veneneco) pliiĝas. Tetraklormetano estis uzata en fajrestingiloj (estingatoroj) kaj kiel sekpuriga solvenzo pro ĝia malintensa brulemo kaj kapablo solvi grasojn kaj oleojn. Ĝi ne plu estas tiel aplikata pro ĝia tokseco. Triklormetano estis unu el la unuaj anestezaĵoj. Ĝi havas la deziritan proprecon de malintensa brulemo. Tamen, oni nun opinias ke triklormetano venenas la hepaton kaj eĉ povas esti kancerogena.

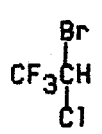
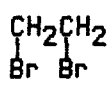
Eĉ monohalogenizo multokaze povas rezultigi formiĝon de pli ol unu produkto. Ekzemple, dum la bromizado de propano, formiĝas du monobrompropanoj.

$$2Br_2 + 2CH_3CH_2CH_3 \longrightarrow \underset{\text{1-brompropano (}\underline{n}\text{-propila bromido)}}{CH_3CH_2\underset{Br}{\underset{|}{C}}H_2} + \underset{\text{2-brompropano (izopropila bromido)}}{CH_3\underset{Br}{\underset{|}{C}}HCH_3} + 2HBr \qquad 13\text{-}5$$

Plua bromizado de tiuj ĉi monobromizitaj produktoj produktus eĉ pli kompleksan miksaĵon. Miksaĵoj de produktoj estas ofte utilaj; multaj industriaj solvenzoj estas miksaĵoj de klorizitaj hidrokarbonoj. Kelkaj aliaj ekzemploj estas donitaj en Tabelo 13-7.

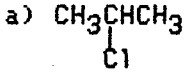
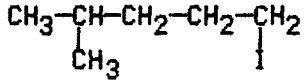
Eble vi jam atentas pri tio, ke du diversaj nomoj estis ĉi-sekcie donataj por preskaŭ ĉiuj halogenizitaj alkanoj. La nomo laŭ IUPAK estis unue donata kaj due la nesistema nomo. Ekzistas nesistemaj nomoj por preskaŭ ĉiuj hidrokarbonaj derivaĵoj (ne sole la halogenizitaj) kiuj posedas komercan valoron kaj eĉ por kelkaj hidrokarbonoj mem. La kialo por ĉi tio estas, ke multaj IUPAK-nomoj estas al la laikaro ĝene pezaj, estante malfacilaj prononci kaŭze de sia longeco (rerigardu la nomon por Halothane en Tabelo 13-7). IUPAK-nomojn plišatas la sciencistoj malgraŭ tiaj ĉi malavantaĝoj ĉar IUPAK-nomo entenas abundon da informoj pri la kombinaĵa strukturo. Tio ĉi mankas al la nesistemaj nomoj. Studentoj, ambaŭdirekte tirataj, devas koni ambaŭ tipojn de nomenklaturo.

Tabelo 13-7. Kelkaj utilaj halogenizitaj alkanoj

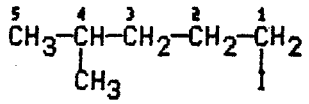
Nomo	Formulo	Tipaj uzoj
difluordiklormetano (Freon)	CCl_2F_2	fridigenzo kaj aerosola pelgaso
1-brom-2,2,2-trifluor-1-kloretano (Halothane)		ĝenerala anestezaĵo
1,2-dibrometano		benzina aldonaĵo -- forigas plumbo-krustaĵojn el motoroj
kloretano (etila klorido)	CH_3CH_2Cl	topika frostiganto -- uzata en simpla kirurgio

Reguloj laŭ IUPAK, nomantaj halogenajn derivaĵojn de alkanoj, estas tre similaj al tiuj uzitaj por nomi branĉajn alkanojn. La halogena(j) grupo(j), kiu(j)n oni prefikse kvalifikas fluor-, klor-, brom-, aŭ jod-, estas tiel same pritraktataj kiel alkiloj, kion ilustras Ekzemplo 13-3.

Ekzemplo 13-3. Nomu la sekvantajn halogenizitajn hidrokarbonojn uzante la regulojn laŭ IUPAK.

a)  b) 

Solvo. a) La plej longa karbonĉeno entenas 3 atomojn, kaj la kloro estas alligita al numero 2. La nomo estas 2-klorpropano.

b)  La ĉeno plej longa entenas 5 atomojn. Tiun ĉi oni numeras de la dekstra (la fino pli proksima al la branĉo).

Metilo estas ĉe numero 4 kaj jodo ĉe numero 1. La nomo estas 1-jod-4-metilpentano.

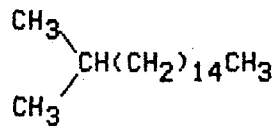
13.12 ALKANOJ EN VIVANTAJ ORGANISMOJ

Troviĝas en organismoj vivantaj relative malmultaj alkanoj pro ties malfortaj reakciemoj. La funkcioj de la malmultaj trovitaj estas iom interesaj. Kelkaj funkcias kiel feromonoj, kiuj estas kemiaĵoj uzataj por komunikado. Iuj formikoj, alarmiĝintaj, elŝprucas kvanton da odoraj kombinaĵoj por komuniki al aliaj anoj de la kolonio. Du el tiuj ĉi kombinaĵoj estis identigitaj kiel la alkanoj undekano kaj tridekano.

$CH_3(CH_2)_9CH_3$ undekano

$CH_3(CH_2)_{11}CH_3$ tridekano

Seks-feromonoj, eligitaj (sekreciitaj) de inaj insektoj, altiras vir-insektojn de la sama specio. La alkano 2-metilheptadekano funkcias kiel seks-feromono en arktioj (speco de papilio).



2-metilheptadekano

La altirpovo de tiaj feromonoj estas ordinare preciza, kaj ili povas esti uzitaj por logi vir-insektojn de difinita specio en kaptilojn. Oni nun esploras kiel limigi nedeziratajn insektojn per apliko de seks-feromonoj.

Diversaj alkanoj, molekul-mase pli altaj, troviĝas en plantoj. Ekzemple, oni povas ekstrakti heptanon el kelkaj tipoj da pinoj, tetradekano (14 karbonoj) troviĝas en krizantemoj (speco de floro), kaj en rozoj troviĝas heksadekano (16 karbonoj). La nature vakseca tegaĵo de piroj enhavas 29-karbonan alkanon.

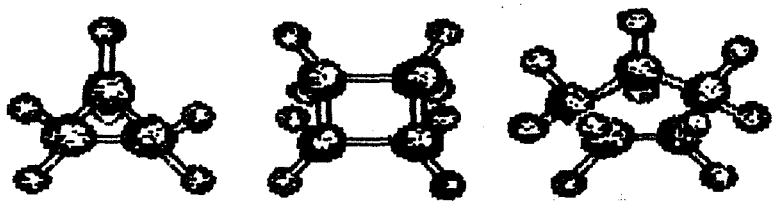
13.13 CIKLOALKANOJ

Krom la rektaĉenaj kaj branĉoĉenaj alkanoj, ekzistas tria tipo, la cikloalkanoj (aŭ, mallongigite, ciklanoj). Tiuj ĉi kombinaĵoj enhavas ringojn (ciklojn) de karbonatomoj kaj havas la ĝeneralan formulon C_nH_{2n}. Do cikloalkanoj entenas je du hidrogenatomoj malpli ol la aliaj tipoj de alkanoj. La kialon por ĉi tiu manko oni povas bildigi, konsiderante ke cikloalkanoj formiĝas tiam, kiam po unu hidrogenatomo estas forprenita disde la du fin-lokaj karbonoj en linia alkano. La du finlokaj karbonoj, kiuj bezonas formi ankoraŭ unu ligon, tiam kunligiĝas, donante ciklan strukturon.

La kiel eble plej simpla cikloalkano entenas 3 karbonatomojn. Nature troveblaj cikloalkanoj plej ofte entenas 5- aŭ 6-membrajn ciklojn. Tamen, oni konas kombinaĵojn kiuj entenas pli grandajn ringojn (30 aŭ pli da karbonatomoj). Bildo 13-10 montras globostangajn modelojn de cikloalkanoj entenantaj 3, 4, kaj 5 karbonojn.

Oni eksperimente konstatas ke cikloalkanoj, entenantaj 4 aŭ pliajn

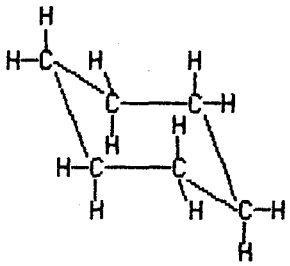
cikloatomojn, ne estas ebenaj (glataj) kiel supozigitaj de Bildo 13-10. Male, okazas ioma "ĉifiĝo" aŭ fleksiĝo de la ringo. Bildo 13-11 montras la ĉifriĝon por cikloheksano.



Ciklopropano Ciklobutano Ciklopentano

Bildo 13-10. Cikloalkanoj

En la plejmulto de la sistemoj, kiujn ni renkontas, tiu ĉi manko de ebeneco ne ŝanĝas la kemion de la kombinaĵo. Tial estas kutime bildigi cikloalkanojn kiel ebenajn.



Bildo 13-11.
Neebena prezentaĵo por cikloheksano

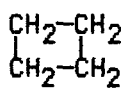
La ecoj fizikokemiaj de cikloalkanoj estas plejparte tre similaj al tiuj de iliaj neciklaj parencoj. Nova tipo de izomereco, nomata izomereco geometria, estas ebla en iuj substituitaj cikloalkanoj, tio estas, en cikloalkanoj, en kiuj hidrogenoj sur la ringo estas anstataŭigitaj per alkiloj aŭ aliaj grupoj. Ni prokrastos studon de tiu tipo de izomereco ĝis la sekvanta ĉapitro (Sekcio 14.4).

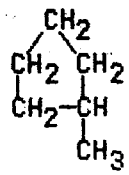
Por nomenklaturaj celoj la plej, longa ĉeno estas la fokuso por liniaj alkanoj, sed la ringo fariĝas la fundamento kiam oni nomas cikloalkanojn. La prefikson ciklo- oni lokas antaŭ tiun nomon kiu respondas al la sencikla ĉeno havanta la saman nombron da karbonatomoj kiel la ringo. Alligitaj al la ciklo alkiloj estas nomitaj kiel pli frue kaj loko por ili trovita kiam oni numeras la karbonatomojn de la ringo. La ciklaj pozicioj estas numeritaj ekde tiu komenca punkto, kaj laŭ tiu direkto, kiuj kune donas la nombrojn malplej altajn por tiuj karbonoj kie la alkiloj estas alligitaj.

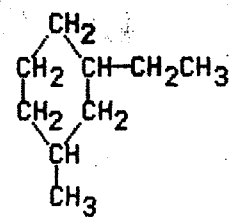
Por facila kompreno oni ofte uzas geometriajn figurojn por prezenti cikloalkanojn (Bildo 13-12); triangulan por tri-karbona ringo, kvadratan por kvar-karbona, kaj tiel plu. Kiam oni uzas tiajn ĉi figurojn, la antaŭsupozo estas ke ĉiu angulo de la figuro reprezentas karbonatomon kaj ke sufiĉa nombro da hidrogenoj estas alligita al

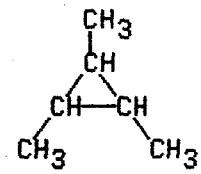
ĉiu karbono por doni al ĝi kvar ligojn. Pliajn detalojn pri la aplikado de tiaj prezentaĵoj donas Ekzemplo 13-4.

Ekzemplo 13-4. Reprezentu per unu geometria strukturo la sekvantajn cikloalkanojn, kaj nomu ĉiun.

a) 

b) 

c) 

ĉ) 

Solvo. a) Kvar-membran ringon figuras kvadrato:



La alkano kvar-karbona estas butano. Ĉar tiu ĉi kombinaĵo ne havas alligitajn grupojn, oni nomas ĝin ciklobutano.



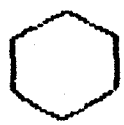
Ciklopropano



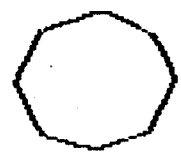
Ciklobutano



Ciklopentano



CikloheKsano

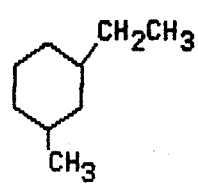


CikloOktano

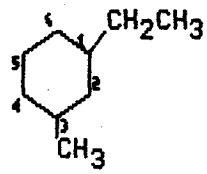
Bildo 13-12. Geometriaj figuroj uzataj por bildigi cikloalkanojn

b) Kvinangulo figuras kvin-membran ringon. La alkano kvin-karbona estas pentano. Tiu ĉi kombinaĵo havas alligitan metilon, do la nomo estas metilciklopentano. La pozicio de la sola alkilo ne estas indikita per numero, ĉar ĝi ĉiam estas ĉe karbono 1.

c) Sesangulo figuras ses-membran ringon. La ses-karbona alkano estas

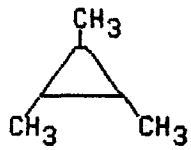


heksano; tiel ni havas etil-metil-cikloheksanon. Tamen, oni devas indiki la pozicion de la du alkiloj. La ciklo estas horloĝ-direkte numerita komencante ĉe la karbono, al kiu la etilo estas alligita. Oni kalkulas laŭ la direkto, kiu donas la numerojn plej malaltajn por la brancoj.



La ĝusta nomo estas 1-etil-3-metilcikloheksano. Atentu, ke malhorloĝdirekta numerado komenciĝanta ĉe la sama karbono estus doninta la nomon 1-etil-5-metil-cikloheksano. La numeroj 1 kaj 3, uzitaj en la ĝusta nomo, estas pli malgrandaj ol la 1 kaj 5, uzitaj en la malĝusta nomo.

ĉ) Triangulo figuras tri-karbonan ringon:



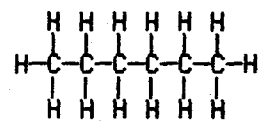
La tri-karbona alkano estas propano. La ringon oni povas ĉi-okaze numeri laŭ iu ajn la du direktoj, kaj la sama nomo rezultos: 1,2,3-trimetilciklopropano.

Bildo 13-8: El "Essentials of General, Organic and Biochemistry" (Elementoj de Ĝenerala, Organika, kaj Biologia Kemio) de Joseph L. Routh, Darrell P. Eyman, kaj Donald J. Burton. Kopirajto ©1977 de W.B. Saunders Co. Kopirajto 1969 kaj 1973 de W.B. Saunders Company. Adapita kun permeso de Holt, Rinehart kaj Winston.

EKZERCOJ

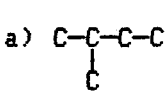
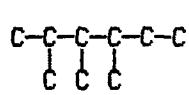
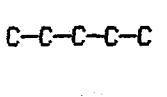
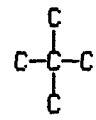
Strukturaj Formuloj

1. Kial estas strukturaj formuloj, prefere al molekuloj, uzataj preskaŭ ekskluzive en organika kemio?
2. Desegnu aŭ skribu la indikitan tipon de formulo por la sekvantaj alkanoj:
   a) la detalan kaj kondensan strukturajn formulojn por C_3H_8
   b) la kondensan strukturan formulon por



   c) la molekulan kaj detalan strukturajn formulojn por $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$
3. Estas oportune al multaj organikaj kemiistoj ne montri hidrogenojn kiam ili skribas strukturajn formulojn. Tiu kutimo, laŭ kiu oni montras nur karbonojn, ankoraŭ unike identigas kombinaĵojn. Oni supozas ke ĉeestas sufiĉe da hidrogenoj por doni al ĉiu karbono kvar ligojn. Kiom

da hidrogenoj supoze ĉeestas en ĉiu el la sekvantaj karbonaj skeletoj?

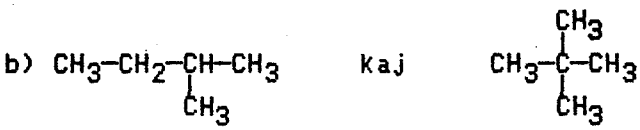
a)  b)  c)  ĉ) 

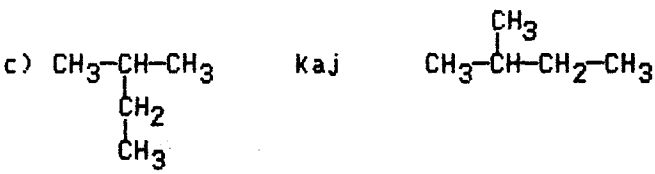
Struktura Izomereco -- Alkanoj

4. Kio estas strukturaj izomeroj?

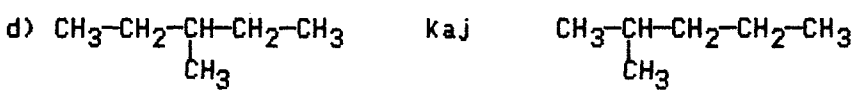
5. Donitaj malsupre estas paroj da strukturaj formuloj por alkanoj. Ĉiukaze decidu ĉu la anoj de ĉiu paro estas (1) strukturaj izomeroj, (2) sole diversaj manieroj per kiuj oni desegnas la saman molekulon, aŭ (3) molekuloj havantaj diversajn formulojn molekulajn.

a) 

b) 

c) 

ĉ) 

d) 

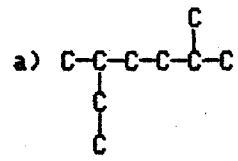
e) 

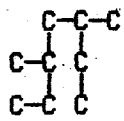
6. Skribu strukturajn formulojn kiuj montras nur karbonatomojn por ĉiuj izomeroj por ĉiu el la sekvantaj molekulaj formuloj (la ĝusta nombro da izomeroj estas interkrampe indikita):

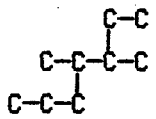
a) C_6H_{14} (5) b) C_7H_{16} (9) c) C_8H_{18} (18)

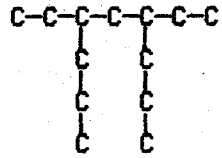
Nomenklaturo -- Alkanoj

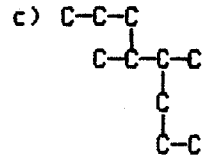
7. Por nomi alkanon, unuapaŝe identigu la plej longan karbonatoman ĉenon. Donu la nombron da karbonoj en la plej longa kontinua ĉeno en la sekvataj karbonaj ĉenoj (skeletoj).

a) 

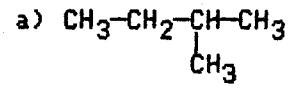
ĉ) 

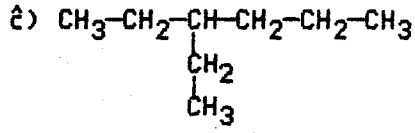
b) 

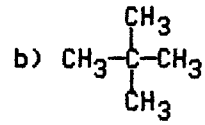
d) 

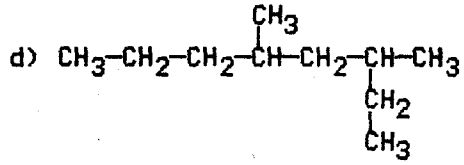
c) 

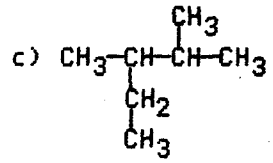
8. Uzante la sistemon laŭ IUPAK, nomu jenajn alkanojn:

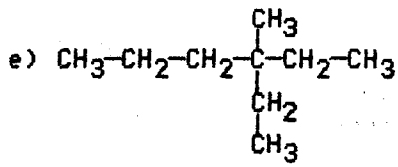
a) 

ĉ) 

b) 

d) 

c) 

e) 

9. La sekvantaj nomoj estas malĝustaj laŭ IUPAK-reguloj. Desegnu la strukturajn formulojn, kaj tiam diru kial ĉiu nomo estas malĝusta. Skribu la ĝustan IUPAK-nomon por ĉiu kombinaĵo.

a) 3,3-dimetilbutano
b) 4-etil-5-metilheksano
c) 2,5-dimetil-2-n-propilheksano
ĉ) 1,2-dimetilpropano

10. Desegnu kondensan strukturan formulon por ĉiu el la sekvantaj kombinaĵoj:

a) 3-etilpentano
b) 2,2-dimetilpropano
c) 4-etil-3,3-dimetil-5-n-propildekano
ĉ) 2,4-dimetiloktano

Alkiloj

11. Indiku la suman nombron da alkiloj ĉeestantaj en ĉiu el la molekuloj donitaj en Ekzerco 8.

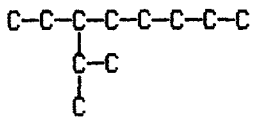
12. Kiomo estas la minimuma nombro da karbonoj necesa en alkano antaŭ ol povas enesti ĉiu el la sekvantaj strukturaj trajtoj?

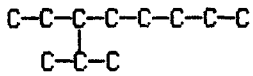
a) etilo b) n-propilo c) du etiloj

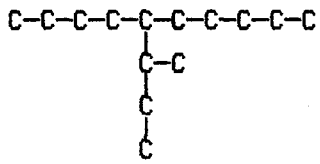
13. Indiku kiel la membroj de la sekvantaj paroj inter si diferencas:

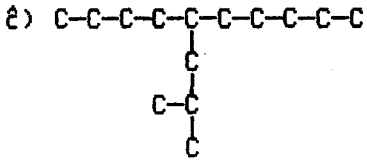
a) n-propilo kaj izopropilo
b) n-butilo kaj izobutilo
c) sek-butilo kaj terc-butilo
ĉ) izopropilo kaj izobutilo

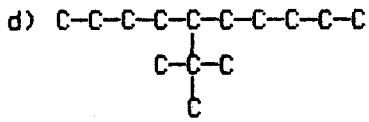
14. Nomu la branĉan alkilon alligitan al ĉiu el jenaj karbonaj ĉenoj:

a) 

b) 

c) 

ĉ) 

d) 

Fontoj kaj Fizikaj Ecoj de Alkanoj

15. Nafto kaj tergaso estas la du ĉefaj fontoj de alkanoj. Por ĉiu el tiuj substancoj informu pri:

a) kemia konsisto.
b) procezo per kiuj ili estiĝis en la naturo.
c) tipo de geologia formacio en kiu oni ilin trovas.

16. Diskutu koncize pri

a) kial alkanoj estas nesolveblaj en akvo.
b) la rilato inter karbonĉena longo kaj bolpunkto en alkanoj.

Kemiaj Reakcioj de Alkanoj

17. Skribu bilancitan ekvacion por prezenti la tutan bruligon de jenaj:

a) etano b) propano c) n-oktano

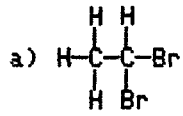
18. Desegnu kondensajn strukturojn por prezenti ĉiun el la monobromizitaj produktoj kiuj eble rezultos el reakcio de n-butano kaj bromo, Br_2.

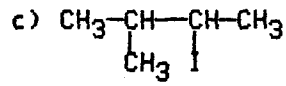
Halogenizitaj Alkanoj

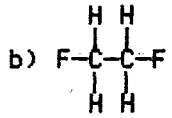
19. Skribu la strukturajn formulojn (montru karbonatomojn sed ne hidrogenatomojn) por ĉiuj izomeroj de ĉiu el la sekvantaj halogenizitaj alkanoj (la ĝusta nombro da izomeroj estas parenteze indikita).

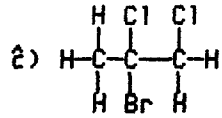
a) C_4H_9I (4) b) $C_3H_6Br_2$ (4) c) $C_2H_2Cl_4$ (2) ĉ) $C_3H_5F_3$ (5)

20. Nomu IUPAKe la sekvantajn halogenizitajn hidrokarbonojn:

a) 

c) 

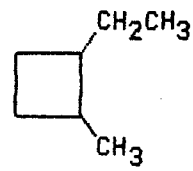
b) 

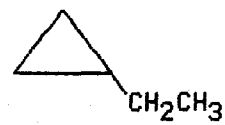
ĉ) 

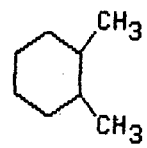
Cikloalkanoj

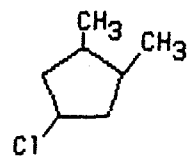
21. Ĉiuj ligoj en butano (C_4H_{10}) kaj ciklobutano (C_4H_8) estas unuoblaj ligoj, tamen la dua kombinaĵo entenas je du hidrogenoj malpli ol la unua. Kial?

22. Kiom da hidrogenatomoj ĉeestas en ĉiu el la sekvantaj molekuloj?

a) 

c) 

b) 

ĉ) 

24. Skribu strukturajn formulojn por ĉiu el la sekvantaj cikloalkanoj uzante geometriajn figurojn.

a) 1,3,5-trimetilcikloheksano
b) 3-etil-1,1-dimetilciklopentano
c) n-propilciklopropano
ĉ) izopropilciklopropano

25. Desegnu kaj nomu la tri eblajn dimetilciklobutanojn.

26. Desegnu kaj nomu la kvin eblajn cikloalkanojn havantajn la molekulan formulon C_5H_{10}.

14 NESATURITAJ HIDROKARBONOJ

CELOJ

14.1 Difini nesaturitan hidrokarbonon, alkenon, kaj alkinon.

14.2 Identigi la strukturajn trajtojn de alkenoj kaj cikloalkenoj kaj doni ties ĝeneralajn formulojn.

14.3 Atribui al alkeno aŭ cikloalkeno nomon laŭ IUPAK, se donita la struktura formulo, kaj inverse.

14.4 Identigi, en donita aro da kombinaĵoj, tiujn specojn elmontrantajn izomerecon geometrian (<u>cis</u>- kaj <u>trans</u>-izomerojn) kaj kapabli identigi ĉiun izomeron.

14.5 Diskuti pri fizikaj ecoj kaj troviĝo de alkenoj.

14.6 Antaŭdiri la produktojn kiuj formiĝos kiam alkenoj suferas aŭ simetriajn aŭ nesimetriajn adiciajn reakciojn kun diversaj reakciantoj. Kompreni la aplikon de la regulo de Markovnikov por antaŭdiri la produktojn de nesimetriaj adicioj.

14.7 Doni liston de kelke da komunuzaj simplaj adici-polimeroj. Skribi ekvaciojn por adiciaj polimerigaj reakcioj.

14.8 Kompreni la strukturajn trajtojn ĉe alkinoj kaj cikloalkinoj, kaj doni ties ĝeneralajn formulojn.

14.9 Nomi alkinon aŭ cikloalkinon laŭ IUPAK, se donita la struktura formulo, kaj inverse.

14.10 Diskuti pri la ecoj kaj troviĝo (estiĝo) de alkinoj.

En la antaŭa ĉapitro ni instruis pri hidrokarbonoj, en kiuj ĉiuj ligoj karbon-hidrogenaj kaj karbon-karbonaj estas unuoblaj ligoj. Unuobla ligo estas la sola tipo ebla inter karbono kaj hidrogeno. Tamen, kaj logoj duoblaj kaj trioblaj eblas inter du karbon-atomoj. Ni konsideros ĉi-ĉapitre hidrokarbonojn en kiuj troviĝas tia multobla ligiĝo. Kombinaĵoj entenantaj multoblajn ligojn elmontras malsaman konduton kemian ol la alkanoj kaj cikloalkanoj.

14.1 NESATURITAJ MOLEKULOJ

Estiĝas karbon-karbonaj (aŭ inter-karbonaj) duoblaj ligoj kiam du paroj da elektronoj kunhaviĝas inter karbonatomoj. Karbon-karbonaj trioblaj ligoj, simile, implicas la kunhaviĝon de tri paroj da elektronoj (Sekcio 6.6). Hidrokarbono kiu entenas tiajn ligojn ĉiam disponas pri malpli da hidrogenatomoj ol alkano kun egala nombro da karbonoj. Tio rezultas ĉar pli da valentaj elektronoj de la multoble ligita karbono "akapariĝas" (fiksiĝas) en tiuj ligoj kaj tial ne estas haveblaj por ligi hidrogenatomojn.

nesaturitaj hidrokarbonoj

Pro tio, ke al ili "mankas" hidrogeno, hidrokarbonoj kun multoblaj ligoj laŭdire estas nesaturitaj; t.e., ili entenas malpli da hidrogen-atomoj ol la maksimumo ebla (satureco).

Nesaturitaj hidrokarbonoj estas plue ordigitaj en du kategoriojn surbaze de la tipo de ĉeestanta multobla ligo.

alkeno (olefino)

Alkenoj (aŭ olefinoj) estas hidrokarbonoj kiuj entenas unu aŭ pli da ligoj interkarbone duoblaj.

alkino

Alkinoj estas hidrokarbonoj kiuj entenas unu aŭ pli da ligoj interkarbone trioblaj.

Ekzistas ĉenaj kaj senĉenaj (ciklaj) alkenoj kaj alkinoj, tiel paralele sekvante la alkanojn (Ĉapitro 13). Estas eble havi hidrokarbonojn kiuj entenas kaj duoblajn kaj trioblajn ligojn. Tamen, ni ne konsideros ĉi-ĉapitre tiun tipon de molekulo.

La multoblaj ligoj de alkenoj kaj alkinoj estas la unuaj el pluraj trajtoj

strukturaj de molekuloj organikaj, kiujn ni renkontas. Tiajn trajtojn oni nomas funkciaj grupoj.

funkcia grupo

Atomo aŭ atomaro kiu rolas kiel fundamento por karakterizi la molekulan strukturon de familio de organikaj kombinaĵoj estas funkcia grupo.

Funkciaj grupoj kutime determinas la kemiajn ecojn de familio de kombinaĵoj. Alkenoj kaj alkinoj estas multe pli reakciemaj ol saturitaj hidrokarbonoj pro la ĉeesto de multoblaj ligoj kiuj servas kiel reakciemaj centroj en la molekulo (Sekcio 14.6).

14.2 ALKENOJ

Nia diskuto pri alkenoj celas tiujn, kiuj havas nur unu duoblan ligon. Oni devas kompreni, tamen, ke ekzistas molekuloj kiuj havas en si plurajn duoblajn ligojn.



Globostanga modelo

Spaca modelo

Bildo 14.1. Perspektivaj desegnaĵoj de la etilena (etena) molekulo, $CH_2{=}CH_2$

La ĝenerala formulo por sen-ciklaj alkenoj kun nur unu duobla ligo estas C_nH_{2n}. La plej simpla ano de tiu serio havas la formulon C_2H_4. Ne povas evidente ekzisti unu-karbona alkeno ĉar du karbonoj estas devigaj por karbon-karbona duobla ligo. La strukturon de C_2H_4 montras Bildo 14-1. Atentu ke la aranĝiĝo de ligoj ĉe la karbonatomoj ne estas kvaredra kiel por alkanoj, sed ebena. La du karbonatomoj kaj la kvar hidrogenatomoj ope kuŝas en ebeno; la angulo estas 120^o inter ligoj. Iu ajn karbono, implicita en multobla ligiĝo, ĉiam havos ĉirkaŭ ĝi nekvaredran aranĝiĝon de ligoj.

La ĝenerala formulo por alkenoj posedantaj nur unu duoblan ligon (C_2H_{2n}) estas *identa kun tiu por cikloalkanoj* (Sekcio 13.13). Tiel do, kombinaĵoj, kiuj apartenas al du malsamaj klasoj, povas esti izomeroj. Kaj alkenoj kaj cikloalkenoj (ciklenoj) entenas je du hidrogenatomoj malpli

ol la maksimuma nombro ebla en hidrokarbonoj (alkanoj). Por alkenoj, la pli malaltan nombron da hidrogenatomoj kaŭzas la ĉeesto de duobla ligo. Por cikloalkanoj, la cikliĝa procezo elvokas la perdon de du hidrogenoj.

cikloalkeno (cikleno)

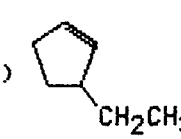
Cikloalkenoj, kiuj havas kaj duoblan ligon (perdo de du hidrogenatomoj) kaj ciklan strukturon (perdo de du hidrogenatomoj), havas ĝeneralan formulon C_2H_{2n-2}.

Multe da biologiaj molekuloj entenas ligojn interkarbone duoblajn. Tiaj molekuloj, tamen, ne estas kutime simplaj alkenoj, sed pli ofte entenas plurajn tipojn de funkciaj grupoj (diskutotaj en ĉapitroj estontaj). Malgraŭ tio, kemiaj reakcioj ĉe la centro de la duobla ligo estas similaj al tiuj, kiuj okazas en pli simplaj alkenoj.

14.3 NOMENKLATURO DE ALKENOJ

La reguloj laŭ IUPAK por nomi alkenojn similas al tiuj uzataj por alkanoj. Estas aldonoj por indiki la ĉeeston de duoblaj ligoj kaj ties lokoj. La karakteriza sufikso estas -en-. La radika nomo por ajna alkeno deriviĝas de la plej longa ĉeno de karbonatomoj entenantaj la multoblan ligon. Ĉenojn oni tiel numeras, ke la karbonatomoj kunigitaj per la multobla ligo havas numerojn tiom malaltajn kiel eblas. La multobla liga pozicio estas indikata per la numero de la plej malalte numerita karbonatomo ligiĝinta per ligo multobla; oni lokas tiun numeron antaŭ la radikan nomon. Alligitaj alkiloj estas same pritraktataj kiel okazis ĉe alkanoj. Atentu ke numerado de la ĉefa ĉeno estas tiel realigita, ke estas donata al la duobla ligo la plej malalta numero, eĉ se tiu ĉi agado trudas al alkil-branĉo pli altan numeron.

Ekzemplo 14-1. Nomu la sekvantajn alkenojn.

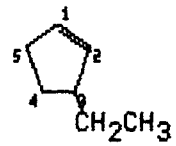
a) $CH_3CH{=}CHCH_3$ b) $CH_3CH_2{-}C(CH_3){=}CH_2$ c) $CH_3CH_2{-}C(CH_2CH_3){=}C(CH_2CH_3){-}CH_2CH_3$ ĉ) 

Solvo. a) La plej longa ĉeno kiu entenas duoblan ligon havas 4 karbonajn atomojn; tion indikas la vort-radiko but-. Tial, la kombinaĵo estas iu buteno. Ni povas numeri la ĉenon ekde ambaŭ finoj, ĉar la duobla ligo estos ambaŭkaze inter karbonoj 2 kaj 3. La pozicio de la duobla ligo estas indikata de la plej malalte numerita karbonatomo, tie ĉi, 2. La nomo estas 2-buteno.

b) Ni konstatas simile pri ĉi tiu kombinaĵo, ke ĝi estas 1-buteno kun alligita metil-alkilo ĉe karbono 2. La nomo do estas 2-metil-1-buteno.

c) Tiu ĉi kombinaĵo estas iu 3-hekseno kun etiloj alligitaj ĉe karbonoj 3 kaj 4. El tio sekvas, ke la nomo estas 3,4-dietil-3-hekseno.

ĉ) En ciklaj alkanoj, ni tiel numeras la ciklon ke al la duoble ligitaj karbonoj (ili iĝas karbonoj 1 kaj 2) oni donas la kiel eble plej malaltajn numerojn. Ni numeras laŭ direkto kiu lokas alligitajn grupojn sur la karbonatomojn kiel eble plej malalte numeritajn:



Tiel, la nomo estas 3-etilciklopenteno. Atentu ke ni ne nomas ĝin 3-etil-1-ciklopenteno ĉar la duobla ligo ĉiam estas inter karbonoj 1 kaj 2, tial ĝian pozicion oni ne bezonas indiki.

La problemo de nesistemaj nomoj por organikaj molekuloj estis menciita en Sekcio 13.11. Koncerne alkenojn, nesistemaj nomoj estas vaste uzataj por tiuj de malalta molekula maso; aliflanke la pli malsimplaj alkenoj konatiĝas laŭ IUPAK-nomoj. Tabelo 14-1 donas la nesistemajn nomojn por alkenoj de molekul-masoj malaltaj. En la kazo de etileno kaj propileno, la nesistema nomo estas vaste uzata; la nomoj laŭ IUPAK, eteno kaj propeno, kvankam koncizaj, ĝis nun kutime ne trovas aplikon.

Tabelo 14-1. Nomenklaturo de alkenoj

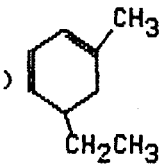
Molekula formulo	Struktura formulo	Nomo laŭ IUPAK	Nomo nesistema
C_2H_4	$CH_2=CH_2$	eteno	etileno
C_3H_6	$CH_3CH=CH_2$	propeno	propileno
C_4H_8	$CH_3CH_2CH=CH_2$	1-buteno	α-butileno
C_4H_8*	$CH_3CH=CHCH_3$	cis-2-buteno trans-2-buteno	β-butileno
C_4H_8	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}}=CH_2$	2-metilpropeno	izobutileno

*Du izomeroj (diskutotoj en Ĉapitro 14.4) ekzistas por 2-buteno. La nesistema nomo (β-butileno) ne faras distingon inter izomeroj.

Ni pli frue atentis, ke alkenoj povas enteni pli ol unu duoblan ligon. Ĉi-specaj molekuloj estas gravaj komponantoj de kelkaj materialoj naturaj kaj sintezaj. La nomenklaturo de tiuj kombinaĵoj estas la sama

kiel por la alkenoj kun unu duobla ligo. Sed ĉi tie la finaĵon -dieno, -trieno, kaj tiel plu, oni uzas por sciigi la nombron da duoblaj ligoj. Krom tio, la lokoj de la ligoj devas esti indikataj en ĉiuj molekuloj, ankaŭ tiuj kun ringoj.

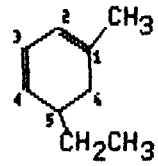
Ekzemplo 14-2. Nomu jenajn kombinaĵojn:

a) $CH_2=CH-CH=CH_2$ b) $CH_2=C(CH_3)-C(CH_3)=CH-CH=CH_2$ c) 

Solvo. a) La kombinaĵon oni nomas, uzante la radikon de butano. Ne gravas ĉi-kaze la direkto de ĉena numerado. La nomo estas 1,3-butadieno; la 1 kaj 3 lokas la poziciojn de la duoblaj ligoj.

b) La kombinaĵo estas iu heksatrieno metil-substituita. Oni numeras la ĉenon ekde la fino plej proksima al la branĉo, ĉar denove la direkto de numerado ne gravas kiam temas pri trovado de duoblaj ligoj. La nomo estas 2,3-dimetil-1,3,5-heksatrieno.

c) Tiu ĉi kombinaĵo estas cikloheksadieno substituita. Ni numeras la ringon kiel sekve:



La nomo estas 5-etil-1-metil-1,3-cikloheksadieno.

14.4 GEOMETRIA IZOMERECO

Ĉefa diferenco inter unuobla kaj duobla ligoj temas pri la fenomeno de rotacio ĉirkaŭ ligoj. La rotacio relative libera, kiu estas karakterizaĵo por unuoblaj ligoj (Sekcio 13.6) ne povas okazi ĉirkaŭ duoblaj ligoj. Rezulte de tio, la grupoj alligitaj al karbonatomoj duoble ligitaj povas ekzisti laŭ diversaj, distingeblaj aranĝiĝoj geometriaj. Tiu ĉi fakto estas por 2-buteno ilustrita en Bildo 14-2. Ni vidas ke en unu aranĝiĝo, cis nomata, la du metiloj estas ĉe la sama flanko de la duobla ligo. En la trans-aranĝiĝo la metiloj estas ĉe malaj flankoj de la duobla ligo. La du strukturoj prezentas reliefe malsamajn kombinaĵojn, nomatajn geometriaj izomeroj.



cis-2-buteno trans-2-buteno

Bildo 14-2. La geometriaj izomeroj de 2-buteno

geometriaj izomeroj

Geometriaj izomeroj eblas kiam:

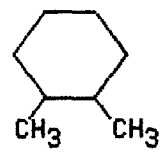
1. iutipa rotacio limigita aŭ nelibera ekzistas en la molekulo, pro la ĉeesto de duobla ligo aŭ pro ringo en molekulo.
2. la du grupoj alligitaj al ĉiu rotacie limigita karbonatomo ne estas identaj.

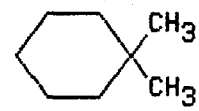
Atentu pri tio, ke estas du kaŭzoj eblaj por limigita rotacio, kiuj rezultigas la izomerecon cis-trans: ringoj kaj duoblaj ligoj. Tial estas ebla en cikloalkanoj ankaŭ la izomereco geometria.

Ekzemplo 14.3. Antaŭdiru ĉu ĉiu el la sekvantaj molekuloj havos aŭ malhavos geometrian izomeron, kaj desegnu strukturajn formulojn por ilustri viajn konkludojn.

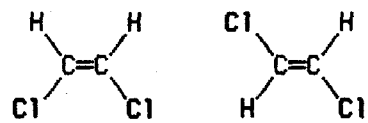
a) 

b) $CH_2{=}CCl_2$

c) 

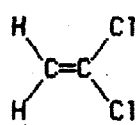
ĉ) 

Solvo. a) Geometriaj izomeroj estas eblaj.

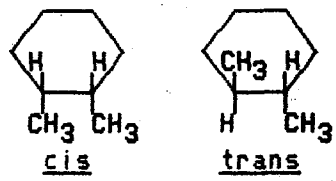


cis trans

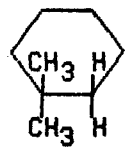
b) Geometriaj izomeroj ne estas eblaj ĉar la alligitaj al ĉiu karbono grupoj estas identaj - 2 H-atomoj sur unu karbono kaj 2 Cl-atomoj sur la alia.



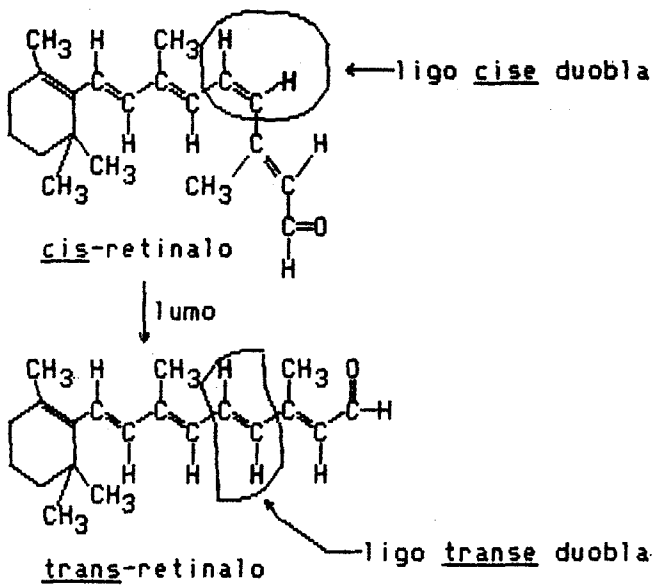
c) Eblas geometriaj izomeroj. En la izomero cis, ambaŭ metiloj estas sub la ringa ebeno. En la izomero trans, unu estas sub kaj la alia - ŝuper.



Ĉ) Geometriaj izomeroj ne estas eblaj ĉar la grupoj alligitaj al la koncernaj rotacie limigitaj karbonoj estas identaj.



Gravas la izomereco geometria en multe da biokemiaj procezoj. Interesa ekzemplo temas pri la okulo, kiam lumo ĝin trafas. Kiam lumo trafas la retinon, cis-duobla ligo en kombinaĵo nomata retinalo (aŭ retineno) ŝanĝiĝas en trans-duoblan ligon. Tiu ŝanĝiĝo estigas serion da okazaĵoj, kiuj fine ebligas al ni vidi. (Vidu la ilustraĵon.)



14.5 ECOJ KAJ TROVIĜO DE ALKENOJ

Al la alkanoj similas la alkenoj je fizikaj ecoj. Tiuj entenantaj 4 karbonatomojn, aŭ malpli, estas gasoj sub ordinaraj kondiĉoj. Tiuj entenantaj 5 karbonatomojn, aŭ pli, estas likvoj aŭ solidoj. Estante gravaj por viv-procezoj, alkenoj sekve troviĝas abunde en naturaj substancoj. Etileno (IUPAK- eteno), la plej simpla alkeno, estas interesa ekzemplo. Ĝi sintez别as en multaj specoj da arboj, en kiuj ĝi stimulas la normalan maturiĝon de frukto. Fruktaj kultivistoj multajn

jarojn jam uzas tiun ĉi informon. Maturaj bananoj ne povas esti transportataj sen seriozaj perdoj pro difektiĝo, aŭ "kontuziĝo". Tamen, se la frukto estas rikoltita dum ĝi estas verda kaj ankoraŭ firma, ekspedita al tenejoj, kaj tiam traktita per etileno, okazas la maturiĝo ene de kelkaj tagoj, kaj oni evitas la eksped-perdojn. Etileno estas ankaŭ komerce uzata por elvoki la maturan koloron de citrusoj (specoj de frukto) kiujn oni verd-state deŝiris.

14.6 ALKENAJ REAKCIOJ

Kontraste al alkanoj, alkenoj ja estas kemie reakciemaj. La plej karakteriza reakcio estas <u>adicio</u> al la duobla ligo. Dum tiu procedo rompiĝas unu el la ligoj en la duobla ligo. Tio permesas al ĉiu el la koncernaj karbonoj ligiĝi al kroma atomo aŭ grupo. La originaj karbonoj duoble ligitaj restas alligataj per unuobla ligo.

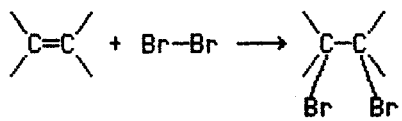
<u>simetria adicio; nesimetria adicio</u>

Simetriaj adicioj estas tiuj, kie la sama grupo alligiĝas al ĉiu karbonatomo de la duobla ligo. En nesimetriaj adicioj, malsamaj grupoj ligiĝas al ĉiu el la du karbonatomoj.

Tiu ĉi konduto de alkenoj reliefe kontrastas al tiu de alkanoj (Sekcio 13.11), kie <u>substituo</u> estas la karakteriza konduto.

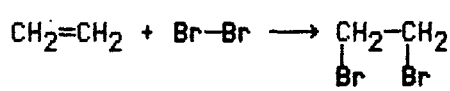
<u>Simetria Adicio</u>

Halogenizo kaj hidrogenizo estas la plej oftaj simetriaj adici-reakcioj. Ni uzu bromon, Br_2, por ilustri halogenizon. La ĝenerala reakcio estas:



14-1

Modela reakcio estas la bromizo de etileno:

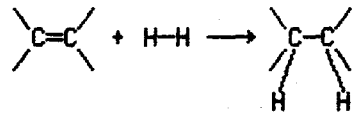


14-2

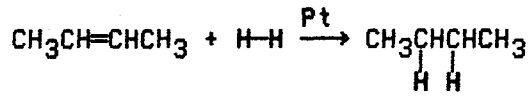
Notu ke nur unu produkto formiĝas pro tiu ĉi adicio. Tio ĉi kontrastas kun la du produktoj kiuj rezultas pro substituo ĉe alkanoj.

La brom-adicio al duoblaj ligoj liveras simplan laboratorian provon por alkenoj. Solvaĵo de bromo estas preparita en tetraklormetano kaj la nekonatan kombinaĵon oni aldonas. Se adici-reakcio okazas, la karakteriza brun-ruĝa koloro de bromo velkas (ĝi estas konsumiĝanta) kaj la senkolora dibromalkano formiĝas.

Hidrogeno, H_2, estas alia ofte uzata simetria adicianto. Kiam ĉeestas taŭga katalizenzo (tiaj, kiel plateno aŭ nikelo), adiciiĝas hidrogeno al alkenoj, šanĝante ilin al la respondaj alkanoj. La ĝeneralan reakcion kaj specifan ekzemplon donas ekvacioj 14-3 kaj 14-4 respektive.



14-3



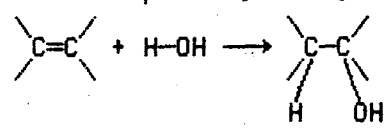
2-buteno butano

14-4

Tre gravas hodiaŭ kiel komerca procedo la hidrogenizo de vegetaĵaj oleoj. Vegetaĵajn oleojn, kiuj venas de tiaj fontoj kiel sojfaboj kaj kotonsemoj, konsistigas organikaj molekuloj longaĉenaj, kiuj entenas multe da duoblaj ligoj. La alta grado je nesatureco, karakteriza por tiuj materialoj, estigis la terminon <u>polinesaturita</u>. Kiam hidrogenizite, altiĝas la fandopunkto de la oleoj, kaj tiuj fariĝas solidoj, kiuj fandiĝas ĉe malaltaj temperaturoj. Oni rekonas kaj uzas tiujn produktojn vegetaĵajn en la formo de margarino. La nesaturitaj oleoj estas ankaŭ senpere uzataj por kuirado kaj salataj kondimentoj.

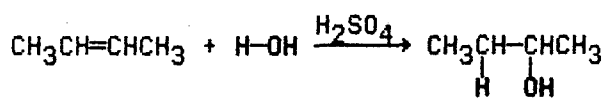
<u>Nesimetria Adicio</u>

Nombro da substancoj, kiel akvo kaj hidrogena klorido, adiciiĝas nesimetrie al la duoblaj ligoj de alkenoj. Sulfata acido katalizas la adicion de akvo, kaj la reakcio liveras oportunan metodon por prepari alkoholojn - kombinaĵojn entenantajn funkci-grupon -OH (Ĉapitro 16). La reakcio ankaŭ gravas en vivantaj organismoj, sed la katalizenzo estas enzimo (Ĉapitro 23) anstataŭ sulfata acido. La ĝenerala reakcio kaj iom da specifaj ekzemploj estas malsupre donitaj, kun akvo, H_2O, skribita H-OH por emfazi la porciojn kiuj eniĝas en la duoblan ligon.



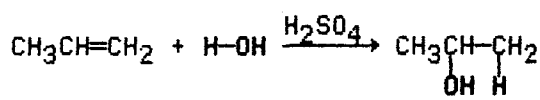
alkoholo

14-5



2-buteno 2-butanolo

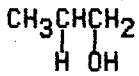
14-6



propeno 2-propanolo

14-7

En ekvacio 14-7, ŝajnas ke alia produkto - unu en kiu la grupo -OH estas sur karbono 1 anstataŭ sur karbono 2



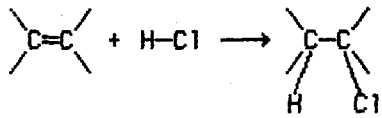
-- devus esti ankaŭ formita. Tamen, la indikita produkto estas la sola produkto formita en signifa kvanto. Tiu fakto, unue raportita en 1869 de la rusa kemiisto Markovnikov, rezultigas tion, kion nun ni nomas la regulo de Markovnikov.

regulo de Markovnikov

Kiam al alkeno oni adicias nesimetrian molekulon forme de H-X, la hidrogeno alligiĝas al tiu karbonatomo, kiu estas jam alligita al la plejmulto da hidrogenoj.

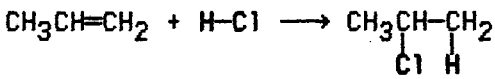
La kialon, kiu pravigas la regulon de Markovnikov, oni scias sed ni ne en ĝin profundiĝos.

Nombro da tiaj acidaj kombinaĵoj, kiel la hidrogenaj halogenidoj, adiciiĝas nesimetrie al alkenoj. La plej konata ekzemplo, HCl, estas ilustrata de ĝenerala reakcio en ekvacio 14-8 kaj de specifaj reakcioj en ekvacioj 14-9 kaj 14-10. Atentu ke la adicioj sekvas la regulon de Markovnikov.



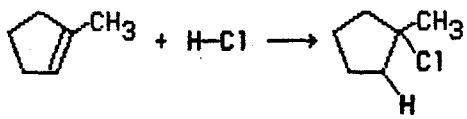
14-8

alkila klorido



14-9

propeno 2-klorpropano



14-8

1-metilciklopenteno 1-klor-1-metilciklopentano

Simile al alkanoj (kaj ja al ĉiuj hidrokarbonoj verdire), alkenoj brulas (estas oksidigitaj) kiam ekbruligitaj en ĉeesto de oksigeno. La produktoj de tuta bruligo estas denove karbona dioksido kaj akvo, kiel okazis ĉe alkanoj.

14.7 ADICIAJ POLIMEROJ

Ĉe specifaj kondiĉoj, iuj alkenaj molekuloj suferos adici-reakciojn unu kun la alia. Kiam tio okazas, la duoblaj ligoj ŝanĝiĝas en unuoblajn ligojn, kaj formiĝas adicia polimero.

adicia polimero; monomero

Adicia polimero estas molekulo tre longa, kiun konsistigas centoj aŭ miloj da molekuloj kune ligitaj per adiciaj reakcioj. La originaj alkenoj uzitaj por formi la polimeron nomiĝas monomeroj.

Multaj vaste uzataj materialoj konsistas el adiciaj polimeroj, inkluzive de natura kaj sinteza kaŭĉukoj, multaj plastoj, kaj kelkaj sintezaj ŝtofoj.

Pro tio, ke la unuopaj polimeraj molekuloj laŭ grando varias, havigi al si ekzaktan formulon por polimero ne eblas. Ni povus prezenti polimerigajn reakciojn kiel sekve:

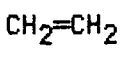
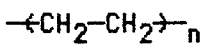
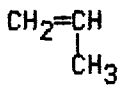
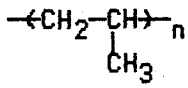
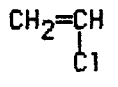
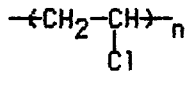
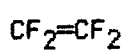
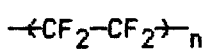
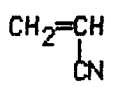
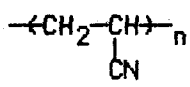
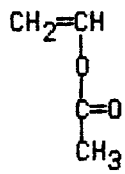
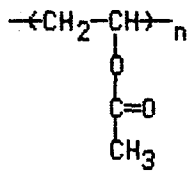
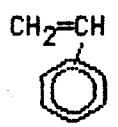
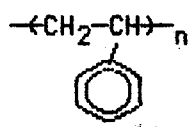
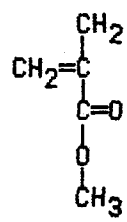
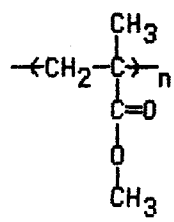
$$CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + \cdots \longrightarrow$$
$$\cdots -CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2- \cdots \qquad 14\text{-}11$$

Tiu ĉi tipo de ekvacio estas tre maloportuna, pro la longeco de la polimero. Alimaniere, ni povas prezenti la polimeron per la simpla ripeta unuo bazita sur la monomero. En la kazo de la supre donita etileno, la unuo estas $-\{CH_2-CH_2\}-$. La granda nombro da unuoj konsistigantaj la polimeron estas signita per n. Oni tiam skribas la polimerigan reakcion de etileno jene:

$$\underset{\text{etileno}}{nCH_2{=}CH_2} \xrightarrow[\text{katalizo}]{\text{varmo, premo}} \underset{\text{polietileno}}{-\{CH_2-CH_2\}-_n} \qquad 14\text{-}12$$

Ni vidas ke polietileno (IUPAK- polieteno) estas esence miksaĵo de tre longaĉenaj alkanoj. El tio sekvas, ke ĝi havas la kemian inertecon de alkanoj, karakterizaĵon kiu igas polietilenon utila. Ĝi estas uzata por la fabrikado de tiaj varoj kiel sakoj por forĵetaĵo, manĝilaroj, laboratoriaj aparatoj, kaj hospitala ekipaĵo.

Tabelo 14-2. Kelkaj Komunuzaj adici-polimeroj

Formulo kaj Nomo de la monomero	Polimera formulo	Polimeraj nomoj	Tipaj uzoj
 etileno		polietileno	boteloj, ludiloj, pakado
 propileno		polipropileno	tapiŝa fibro, tuboj, valvoj, boteloj
 vinila klorido		polivinilklorido, vinilaj plastoj	plank-tegaĵoj, flekseblaj tuboj, pakado, gramofonaj diskoj
 tetrafluoretileno		politetrafluoretileno, Teflon, PFE	kuiril-tegaĵoj, lagroj, laboratoria ekipaĵo
 akrilonitrilo		poliakrilonitrilo, Acrilan (akrilan)	teksaĵaj fibroj
 vinila acetato		polivinilacetato	maĉgumo, adherenzoj, ŝtof-tegaĵoj
 stireno*		polistireno	ludiloj, modeloj, izolaĵo
 metila metakrilato		polimetilmetakrilato, akrilaj plastoj, Pleksiglaso	fenestroj, farboj, juveloj, dentaroj artefaritaj, dekoraĵoj

*La cirklon ene de la sesangulo klarigos Sekcio 15.2

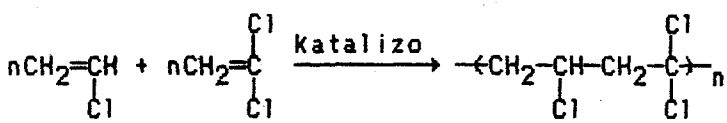
Polimerajn karakterizaĵojn oni modifas per la uzo de diversaj monomeroj.

Ekzemploj de adiciaj monomeroj estas donitaj en Tabelo 14-2.

Kopolimero

Kiam oni reakciigas kune inter si du diversajn monomerojn, la adicia polimero produktita nomiĝas kopolimero. La scienca prefikso ko- signifas kun.

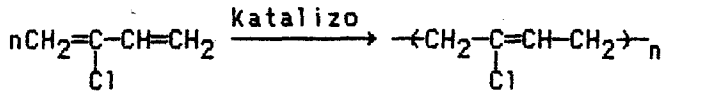
Oni fabrikas komerce gravan travideblan plastan filmon, kiu estas kopolimero de vinila klorido kaj vinilidena klorido (ekvacio 14-13).



14-13

vinila klorido — vinilidena klorido — fortika, travidebla filmo

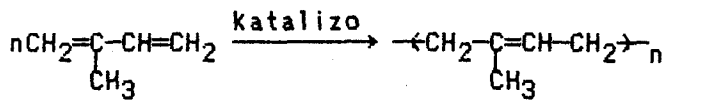
Interesa kaj grava tipo de adicia polimero estas sintezata el monomeroj kiuj entenas du duoblajn ligojn (dienoj). En tiuj reakcioj, ĉiu polimero retenas duoblan ligon, sed en loko malsama ol tiuj de la monomeraj molekuloj. Ĉi-tipaj polimeroj estas tre flekseblaj, kaj estas uzataj en sinteza kaŭĉuko (ekvacio 14-14).



14-14

kloropreno — neopreno, sinteza kaŭĉuko

Natura kaŭĉuko estas adicia polimero, kiu okazas grand-kvante en la kaŭĉuka arbo kaj multe malpli en aliaj plantoj kiel ora vergo (solidago) kaj leontodo. Natura kaŭĉuko konsistas el ripetaj izoprenaj unuoj kaj povas esti sintezita per tio, ke oni polimerigas izoprenon, kiel montras ekvacio 14-15. En la naturo, tamen, longa serio da komplikaj reakcioj produktas la polimeron.



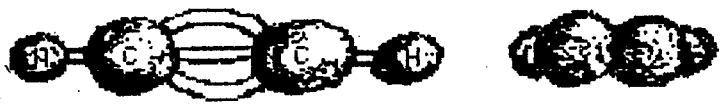
14-15

izopreno — poliizopreno, natura kaŭĉuko

Varmigite, pura natura kaŭĉuko estas mola kaj adhera. Por iĝi utila, natura kaŭĉuko estas vulkanizita por forigi tiujn nedeziritajn karakterizaĵojn. Dum vulkanizado, la kaŭĉuko estas varmigata kun sulfuro. Okazas reakcio, en kiu sulfuraj trans-ligoj formiĝas inter izoprenaj ĉenoj. La rezulto estas materialo kiu ne estas glueca, sed estas ankoraŭ resaltema, elasta, kaj akvo-rezista.

14.8 ALKINOJ

Alkinoj estas nesaturitaj hidrokarbonoj kiu entenas unu aŭ pli da karbon-karbonaj trioblaj ligoj. La ĝenerala formulo por alkinoj entenantaj unu trioblan ligon estas C_nH_{2n-2}. Tiel la plej simpla ano de tiu ĉi serio havas la formulon C_2H_2. Kiam enestas karbon-karbona triobla ligo en molekulo, tio ĉiam rezultigas strukture linian aranĝiĝon por la du atomoj alligitaj al la karbonoj de la triobla ligo. Perspektivajn desegnaĵojn de C_2H_2, kiu estas linia molekulo, donas Bildo 14-3. Pro la linieco ĉirkaŭ la triobla ligo, izomeroj cis-trans ne estas eblaj por alkinoj de tipo $CH_3C{\equiv}CCH_3$, kiel estis trovite por la 2-butenoj ($CH_3CH{=}CHCH_3$). Cikloalkinoj, molekuloj entenantaj trioblan ligon kiel parton de la cikla strukturo, estas konataj sed ne abundas.



Globostanga modelo Spaca modelo

Bildo 14-3. Perspektivaj desegnaĵoj de la acetilena (etina) molekulo

14.9 NOMENKLATURO DE ALKINOJ

Alkinojn oni nomas same kiel alkenojn, kvankam la sufikso -in- estas uzata.

Ekzemplo 14-4. Uzu IUPAK-regulojn kaj nomu jenajn kombinaĵojn:

a) $CH{\equiv}CH$ b) $CH_3CH_2{-}C{\equiv}CH$ c) $CH{\equiv}C{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_3$

Solvo. a) La nomo laŭ IUPAK baziĝas sur 2-karbona alkano, etano. La nomo estas etino.
b) Ni numeras la ĉenon maldekstren kaj havigas la nomon 1-butino.
c) La ĉenon numeras oni dekstren, kaj la alligita metilo estas trovita ĉe karbono 3. La nomo estas 3-metil-1-butino.

Etino, la plej simpla ano el la alkina serio, havas la kutiman (nesisteman) nomon acetileno.

14.10 ECOJ KAJ TROVIĜO DE ALKINOJ

La alkinoj similas al alkanoj kaj alkenoj pro tio, ke ili estas nesolveblaj en akvo kaj solveblaj en organikaj solvenzoj. La plej

simplaj alkinoj estas gasoj; tio validas ankaŭ por alkanoj kaj alkenoj.

Alkinoj ne estas vaste distribuitaj en la naturo kaj malofte partoprenas en biologiaj reakcioj. La esceptoj, tamen, estas interesaj. Oni eltrovis, ke iuj mikroorganismoj produktas kombinaĵojn entenantajn kelke da trioblaj ligoj, kiuj havas antibiotikan valoron. La aktiva kombinaĵo en kelkaj perbuŝaj kontraŭ-koncipenzoj (preventenzoj) havas acetilen-tipan grupon kiel parton de sia strukturo.

La kemiaj ecoj de alkinoj similas al alkenoj; ĉe alkinoj ankaŭ ĉefe gravas la reakcioj de bruligo kaj adicio. Pro la pli alta grado de nesatureco en triobla ligo, oni povas po-paŝe okazigi la adicion de reakciantoj, se la reakciaj kondiĉoj estas lerte regataj. La unua produkto de la adicio estas alkeno, kiu tiam plureakcias, donante alkanon. Tiu po-paŝa procedo estas ilustrita en ekvacioj 14-16 (simetria adicio) kaj 14-17 (nesimetria adicio).

$$\underset{\text{acetileno (etino)}}{CH{\equiv}CH} \xrightarrow[Pt]{H_2} \underset{\text{etileno (eteno)}}{CH_2{=}CH_2} \xrightarrow[Pt]{H_2} \underset{\text{etano}}{CH_3{-}CH_3} \qquad 14\text{-}16$$

$$\underset{\text{acetileno}}{CH{\equiv}CH} \xrightarrow{HBr} \underset{\text{1-brometeno}}{CH_2{=}CHBr} \xrightarrow{HBr} \underset{\text{1,1-dibrometano}}{CH_3CHBr_2} \qquad 14\text{-}17$$

Notu kiel la adicioj de ekvacio 14-17 sekvas la regulon de Markovnikov.

EKZERCOJ

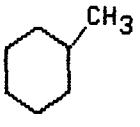
Nesaturitaj Hidrokarbonoj

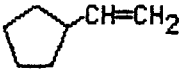
1. Klasu ĉiun el la sekvantaj hidrokarbonoj laŭ nesaturitaj aŭ saturitaj. Aldone, klasu ĉiun nesaturitan kombinaĵon laŭ alkeno, alkino, cikloalkeno, aŭ cikloalkino.

a) $CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3$

b) $CH{\equiv}C{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3$

c) 

ĉ) 

d) 

e) $CH_3{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3$

f) $\begin{matrix} CH{=}CH \\ | \quad | \\ CH_2{-}CH_2 \end{matrix}$

Nomenklaturo - Alkenoj kaj Cikloalkenoj

2. Uzante la IUPAK-sistemon, nomu la sekvantajn hidrokarbonojn, ĉiu el kiuj entenas unu aŭ pli da duoblaj ligoj.

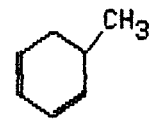
a) $CH_3-CH_2-CH=CH-CH_3$

b) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH=CH_2$

c) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_2-CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH=CH_2$

ĉ) 

d) $CH_3-CH=CH-CH=CH-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

e) 

3. Desegnu strukturajn formulojn (nur per karbonatomoj) por jenaj kombinaĵoj:

a) 4-etil-2-hepteno
b) 4,4-dietil-1-hekseno
c) 3-etil-1,4-pentadieno
ĉ) 3-metilciklopenteno
d) 2,3-dimetilcikloheksenо
e) 1-metilciklopropeno

4. Kio estas malĝusta en ĉiu el la sekvantaj nomoj? Donu la strukturon kaj ĝustigu la nomon por ĉiu kombinaĵo:

a) 3-metil-2-buteno
b) 3-buteno
c) 5-metilcikloheksenо
ĉ) 2,2-dimetil-4-penteno

Geometria Izomereco

5. Por ke izomereco geometria okazu, kiuj estas la devigitaĵoj?

6. Klarigu kial geometria izomereco ne povas okazi ĉe a) alkinoj kaj b) alkanoj.

7. El la sekvantaj, elektu la paron da molekuloj, kiu ne elmontras la izomerecon cis-trans. Por la du ceteraj paroj, indiku kiu estas izomero cis kaj kiu estas izomero trans.

a) 

b) 

c) 

8. Kiu(j) el la sekvantaj kombinaĵoj povas ekzisti en formoj cis kaj trans? Desegnu ambaŭ formojn se ili ekzistas.

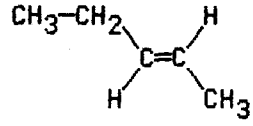
a) 1-hekseno
b) 3-hekseno
c) 2-metil-2-buteno
d) 1,3-heksadieno
e) metilciklobutano
f) 1,1-dimetilciklobutano

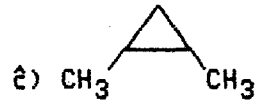
ĉ) 4-metil-2-penteno g) 1,2-dimetilciklobutano

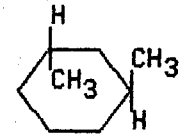
9. Geometriajn izomerojn ĝenerale indikas formuloj nur por tiuj reakcioj, en kiuj la enesto de preciza izomero gravas. Sed oni uzas alikaze formulon, kiu povas prezenti ĉiun el la du izomeroj. Por ĉiu el la sekvantaj formuloj, precizigu ĉu preciza izomero estas indikata aŭ ĉu la formulo figuras ambaŭ izomerojn.

a) $CH_3-CH=CH-CH_2-CH_3$

b) $CH_3-CH_2-CH_2$ (CH=CH-CH_3)

c) 

ĉ) 

d) 

Nomenklaturo - Alkinoj

10. Uzante la IUPAK-sistemon, nomu la sekvantajn hidrokarbonojn, ĉiu de kiuj entenas unu aŭ plurajn ligojn trioblajn:

a) $CH_3-C\equiv C-CH_2-CH_2-CH_3$

b) $CH_3-C\equiv C-CH(CH_3)-CH_3$

c) $CH_3-C\equiv C-CH_3$

ĉ) $CH_3-C\equiv C-CH(CH_3)-C\equiv CH$

d) $CH_3-CH_2-CH(CH_3-CH-CH_3)-C\equiv CH$

11. Desegnu strukturajn formulojn (montru nur la karbonatomojn) por ĉi tiuj:

a) 4,4,5-trimetil-2-heptino
b) 1,3-butadiino
c) 4-izopropil-2-pentino
ĉ) 6-klor-1-heksino
d) 2-metil-3-heksino

Ĝeneralaj Formuloj

12. La ĝenerala formulo por alkano estas donita en la antaŭa ĉapitro kiel C_nH_{2n+2}. Skribu similan formulon por:

a) alkeno (unu duobla ligo)
b) alkadieno (du duoblaj ligoj)
c) alkino (unu triobla ligo)
ĉ) alkadiino (du trioblaj ligoj)
d) cikloalkeno (unu duobla ligo)

Izomereco kaj Nesaturitaj Hidrokarbonoj

13. Kombinaĵo havas formulon C_4H_6. Desegnu strukturajn formulojn (sole la karbonojn) por ĉiuj kombinaĵoj eblaj kun tiu ĉi formulo, kiuj klaseblas kiel:

a) alkinoj b) alkadienoj c) cikloalkenoj

14. Skribu strukturajn formulojn por ĉiuj izomeroj deriveblaj de la sekvantaj molekulaj formuloj (la ĝusta nombro estas interkrampe indikita). Konsideru kaj strukturan kaj geometrian izomerecon.

a) C_3H_6 (2) b) C_4H_8 (6) c) C_3H_4 (3)

Adiciaj Reakcioj de Nesaturitaj Hidrokarbonoj

15. Klasu la sekvantajn laŭ tio, ĉu ili estas simetria aŭ nesimetria adiciaj reakciantoj:

a) H_2 b) H_2O c) Br_2 ĉ) Cl_2 d) HBr

16. Skribu ekvacion por reprezenti la adicion de ĉiu el la sekvantaj al etileno:

a) H_2 b) Cl_2 c) H_2O ĉ) HBr

17. Skribu ekvacion por la adicio de ĉiu el la sekvantaj al 1-buteno. Kiam eblas pli ol unu produkto, montru ambaŭ produktojn kaj substreku tiun, kiu estas plej grand-kvante produktita laŭ la regulo de Markovnikov.

a) H_2O b) Br_2 c) HCl

18. Skribu reakcion por montri kiel ĉiu el la sekvantaj povas esti produktita pere de adicia procedo:

a) propano c) $CH_3-\underset{Cl}{CH}-CH_3$

b) $\underset{Cl}{CH_2}-\underset{Cl}{CH}-CH_3$ ĉ) $CH_3-\underset{OH}{CH}-CH_3$

Adiciaj Polimeroj

19. Skribu ekvacion por reprezenti la formiĝon de ĉiu el la sekvantaj polimeroj el la konvenaj monomeroj:

a) Acrilan b) Teflon c) polistireno ĉ) Pleksiglaso

20. Identigu la strukturan trajton kiun ĉiuj monomeroj en Tabelo 14-2 komune havas.

21. Antaŭdiru la strukturon de adicia polimero formita de ĉiu el la sekvantaj monomeroj:

a) trikloretileno b) 2-brom-1,3-butadieno c) 1-buteno

22. Kiu estas la monomero, de kiu ĉiu el la sekvantaj polimeroj estas formita?

a) $-\left(CH_2-\underset{Cl}{CH}\right)_n-$ b) $-\left(CCl_2-CF_2\right)_n-$ c) $-\left(CH_2-\underset{Br}{C}=CH-CH_2\right)_n-$

23. Se la meznombra molekula maso de polietileno estas 50.000 amu, kiom da etilenaj unuoj ($CH_2=CH_2$) konsistigas unu molekulon de la polimero?

15 AROMATAJ HIDROKARBONOJ

CELOJ

15.1 Difini alifatan hidrokarbonon, aromatan hidrokarbonon, kaj la arilon (arilan grupon).

15.2 Kompreni kiel la ligiĝo en benzeno diferencas de tiu en alifataj hidrokarbonaj molekuloj.

15.3 Nomi benzenajn derivaĵojn kaj desegni ties strukturajn formulojn uzante taŭgajn nomenklaturajn sistemojn.

15.4 Rekoni kaj skribi ekvaciojn por la sekvantaj tipoj de benzenaj reakcioj: alkilizo, sulfonizo, bromizo, kaj nitroizo.

15.5 Koni la aplikojn de komunuzaj aromataj kombinaĵoj.

15.6 Rekoni simplajn polikernajn aromatajn hidrokarbonojn.

15.7 Diskuti pri la fontoj de aromataj hidrokarbonoj.

15.8 Priskribi la troviĝon kaj uzon de elektitaj heterociklaj nitrogenaj kombinaĵoj.

15.9 Kompreni kiel la diversaj hidrokarbonaj klasifikoj rilatas inter si.

Ni okupos nin ĉi-ĉapitre kun la lasta klaso de hidrokarbonaj molekuloj, la aromataj hidrokarbonoj. La trajtojn strukturajn oni ne povas tiom facile priskribi, kiel tiujn por alkanoj, alkenoj, kaj alkinoj. Historie, la distingaj karakterizaĵoj plej frue observitaj pri aromataj hidrokarbonoj ampleksis (1) rilatumon hidrogen-al-karbonan tre malaltan, kiu indikas ŝajnan altan gradon de nesatureco, kaj (2) mankon je reakciemo al multe da reakciantoj, kiuj kutime reakcias kun alkenoj kaj alkinoj, kio indikas ke la ligiĝo diferencas disde tiu en la tiuj du klasoj. Oni nuntempe scias ke aromataj kombinaĵoj entenas apartan tipon de ligiĝo, kiu implicas "dislokiĝintajn" elektronojn.

15.1 HISTORIA FONO

Frue, studante organikajn kombinaĵojn, kemiistoj iĝis scivolaj pri aromaj oleoj, kiuj povas esti ekstraktitaj el iuj plantoj. La kombinaĵoj respondecaj por la odoroj ŝajnas dividi multe da ecoj similaj. El tio sekvas, ke oni konsideris ilin specifa klaso de substancoj, kiujn kemiistoj nomas aromataj kombinaĵoj.

Kiam pluaj detaloj pri tiuj kombinaĵoj estis eltrovataj, klare jam sciiĝas, ke (1) ili estis anoj de pli granda familio de kombinaĵoj, kiuj estis strukture parencaj al benzeno, cikla hidrokarbono kun formulo C_6H_6, kaj (2) ke multaj el la kombinaĵoj en tiu ĉi klaso ne havas aromon kaj tial la termino <u>aromata</u> estis misnomo. Hodiaŭ, tamen, ni daŭrigas uzi la nomon, sed farante jenan difinon:

<u>aromata kombinaĵo</u>
Aromataj kombinaĵoj estas hidrokarbonoj, kiuj entenas la karakterizan benzenan strukturon.

<u>alifata kombinaĵo</u>
Hidrokarbonoj ne havantaj tiun strukturon (nearomataj kombinaĵoj) kelkfoje nomiĝas alifataj hidrokarbonoj.

Ĉiuj alkanoj, alkenoj, kaj alkinoj estas alifataj hidrokarbonoj.

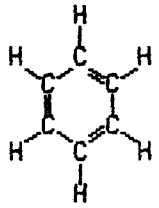
<u>arilo (arila grupo)</u>
La forpreno de hidrogenatomo el la ringo de aromata kombinaĵo rezultigas fragmenton nomatan arilo (arila grupo). Tiu estas mallongigo por <u>ar</u>omata + <u>ilo</u>.

La uzado de la termino arilo similas al la uzado de la termino alkilo en alkana kemio (Sekcio 13.8). La ĝenerala simbolo por arilo estas Ar-.

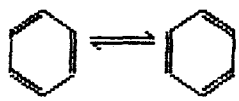
15.2 LA STRUKTURO DE BENZENO

Benzeno, la plej simpla el ĉiuj kombinaĵoj aromataj, estis unue izolita en 1825. Ĝia formulo, C_6H_6, indikas nur unu hidrogenatomon por ĉiu karbonatomo kaj pro tio altegan gradon de nesatureco. Malgraŭ tio, la antaŭsupozita vigla reakciemo de tiu ĉi molekulo, pro nesatureco, ne okazas. Adiciaj reakcioj kun benzeno procedas malrapide kaj ofte postulas varmon kaj katalizon; tio reliefe kontrastas kun alkena kaj alkina adiciaj reakcioj, kiuj ofte preskaŭ tuj okazas. Benzeno mult-aspekte kondutas pli kiel alkano ol alkeno aŭ alkino.

La ŝajna malakordo inter nesatureco kaj reakciemo ĝenadis kemiistojn dum multaj jaroj. Fine en 1865, kvardek jarojn post la eltrovo de benzeno, F. A. Kekulé proponis solvon. Li sugestis ke la benzena strukturo povas esti bildigita per ringa aranĝo de karbonatomoj en kiu estas alternaj ligoj unuoblaj kaj duoblaj.



Por ĝuste ekspliki la sciatan egalvalorecon de ĉiu el la karbonatomoj, li plue sugestis ke la duoblaj ligoj alternas en siaj pozicioj inter karbonatomoj. Tio estas, la duoblaj ligoj estas moviĝemaj, balanciĝantaj de pozicio al pozicio. Tial, la ligojn inter la karbonatomoj oni konsideras nek unuoblaj nek duoblaj ligoj sed kontraŭe "hibrido" (kunmetaĵo) de ambaŭ. Tiu ĉi interpretaĵo estas indikita per du egalvaloraj strukturoj kiuj diferencas nur koncerne la pozicion de la duoblaj ligoj.



Strukturo de Kekulé



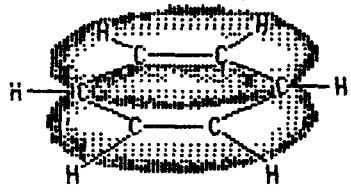
Moderna bildigo

Notu ke en tiu ĉi bildigo de benzeno ni uzis la geometrian figuran bildigon por cikla organika kombinaĵo (Sekcio 13.13): ĉiu pinto de la sesangulo simbolas karbonatomon. Pri la hidrogenoj oni supozas ke ili enestas kvankam ili ne estas montritaj.

Nuntempa liga teorio prenas la du strukturojn de Kekulé, kiuj estas bazitaj sur la moviĝo de la duoblaj ligoj ĉirkaŭ la rondo, kaj kombinas ilin en unu strukturon.

La cirklo ene de la ringo supozigas tion, ke la kuntrenitaj en la duoblajn ligojn elektronoj - ses elektronoj (du el ĉiu ligo) - estas egale komunaj al ĉiuj ses karbonatomoj; t.e., la elektronoj estas "dislokiĝintaj", aŭ dissternitaj, laŭ ĉiuj karbonatomoj. Bildo 15-1 ilustras tiun fenomenon, kiun oni science nomas "delokalizacio".

La diferenco en reakciemo de benzeno, kompare kun nesaturitaj hidrokarbonoj, estiĝas pro la stabiligaj efikoj fare de la dislokiĝintaj elektronoj laŭ la ringo. Ajna reakcio kiu uzas tiujn elektronojn rompas la dislokiĝon, formante molekulon malpli stabilan. Tial do, adiciaj reakcioj (kiuj rompas la dislokiĝon) sur benzeno estas tre endotermaj kaj okazas nur en ĉeesto de kondiĉoj ekstremaj. Atentu ke la benzena ringo estas plata (ebena) kontraste al la "ĉifiĝinta" ringo trovita ĉe cikloheksano (Sekcio 13.13).



Bildo 15-1. Struktura bildigo de la dislokiĝintaj elektronoj en benzeno.

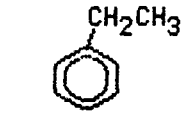
15.3 NOMENKLATURO DE BENZENAJ DERIVAĴOJ

Oni povas bildigi benzenajn derivaĵojn kiel kombinaĵojn en kiuj unu aŭ pli el la alligitaj al la ringo hidrogenatomoj estas forprenitaj kaj anstataŭigitaj per aliaj atomoj aŭ atomaroj, sen detrui la aromatan ringon. La nombro de la anstataŭigitaj hidrogenatomoj plej ofte estas unu, du, aŭ tri, kvankam kombinaĵoj estas konataj ĉe kiuj ĉiuj ses hidrogenoj estas anstataŭigitaj. Mult-foje la nova grupo aŭ grupoj alligitaj al la ringo estas alkiloj (metilo, etilo, ktp.) aŭ halogenatomoj. Aliaj ofte renkontataj grupoj estas hidroksilo (-OH), nitro ($-NO_2$), kaj amino ($-NH_2$).

La nomado de benzenaj derivaĵoj sekvas skemon iom malsaman ol tiu de alifataj hidrokarbonoj. Pri aromata nomenklaturo la sekvantaj reguloj laŭ IUPAK donas la plej gravajn punktojn. Uzante ilin, la leganto ne kapablos nomi ĉiujn aromatajn kombinaĵojn. Tamen, vi kapablos

nomi kaj rekoni tiujn de ni uzatajn en tiu ĉi libro.

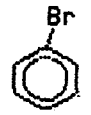
Regulo 1. Kiam unusolan hidrogenon alligitan al benzena ringo anstataŭas simpla substituanto, tiam oni nomas la kombinaĵon specifante la nomon de la nova substituanto, kiun sekvas la nomo benzeno.



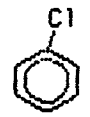
etilbenzeno



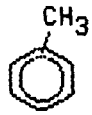
nitrobenzeno



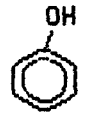
brombenzeno



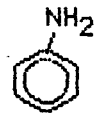
klorbenzeno



metilbenzeno
(tolueno)



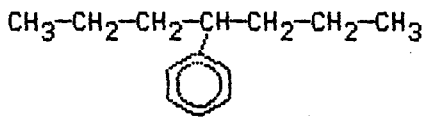
hidroksibenzeno
(fenolo)



aminobenzeno
(anilino)

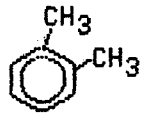
Atentu pri la donitaj interkrampe nesistemaj nomoj por kelkaj monosubstituitaj benzenoj.

Regulo 2. Kiam unusolan hidrogenatomon alligitan al benzena ringo anstataŭas kompleksa grupo de atomoj (kutime longa hidrokarbona ĉeno), tiam oni nomas la kombinaĵon traktante la aromatan ringon kiel substituanton aldonitan al la kompleksa grupo. Rezulte de tio, la benzena ringo nomiĝas fenilo (C_6H_5). La fenilo (aŭ fenila grupo) estas la plej simpla el ĉiuj ariloj (Sekcio 15.1).

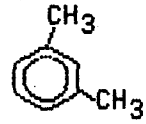


4-fenilheptano

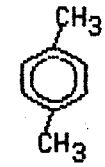
Regulo 3. Kiam alligitaj al la benzena ringo estas du aŭ pli da substituantoj, tiam iliaj pozicioj unu rilate la alian devas esti ankaŭ signitaj krom ilia identeco, ĉar izomeroj estas eblaj. Por di-substituitaj benzenoj, kie 3 izomeroj estas eblaj, la pozicio ĉirkaŭ la ringo estas ofte indikita per la perfiksoj orto- (apudaj substituantoj), meta- (substituantoj kiuj estàs je unu karbono apartigitaj), kaj para- (transaj substituantoj; substituantoj kiuj estas je du karbonoj apartigitaj). La prefiksoj estas ofte koncize skribitaj kiel o-, m-, kaj p-.



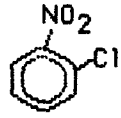
orto-dimetilbenzeno
(o-ksileno)



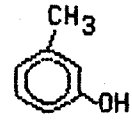
meta-dimetilbenzeno
(m-ksileno)



para-dimetilbenzeno
(p-ksileno)



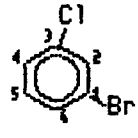
o-klornitrobenzeno



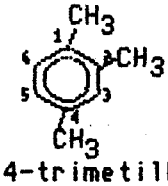
m-hidroksimetilbenzeno
(m-hidroksitolueno)
(m-metilfenolo)

Notu ke por uzi la prefiksojn orto-, meta-, kaj para- ambaŭ substituantoj ne devas esti la samaj. Ankaŭ notu la eblecon, ke oni povas uzi nesistemajn nomojn.

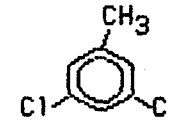
Regulo 4. Kiam alligitaj al la benzena ringo estas tri aŭ pli da substituantoj, tiam al la karbonatomoj en la ringo estas donitaj numeroj, kiuj servas por indiki la pozicion de la grupoj (Tiu ĉi sistemo rajtas esti ankaŭ uzata kiam ĉeestas nur du grupoj). La ringo estas numerita por havigi la plej malaltajn numerojn al la karbonoj, sur kiuj la grupoj estas alligitaj. Se eblas elekto, al tiu grupo, kiu antaŭas laŭ la alfabeta ordo, estas donita la numero pli malalta. Se oni volas nesisteme trakti kombinaĵon, tiam tiu grupo, sur kiu baziĝas la nesistema nomo, estos karbonatomo 1.



meta-bromklorbenzeno
aŭ 1-brom-3-klorbenzeno

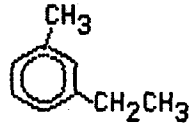


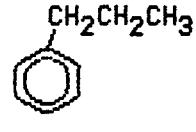
1,2,4-trimetilbenzeno
aŭ 2,4-dimetiltolueno

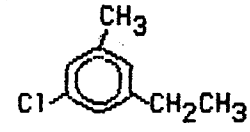


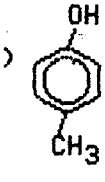
1,3-diklor-5-metil-benzeno
aŭ 3,5-diklortolueno

Ekzemplo 15-1. Nomu ĉiun el la sekvantaj aromataj kombinaĵoj, uzante kiel eble multajn el la nomenklaturaj reguloj.

a) 

b) 

c) 

ĉ) 

Solvo. a) Tiun ĉi kombinaĵon oni povas nomi substituita benzeno aŭ substituita tolueno. La ĉiuj sekvantaj estas ĝustaj:

1-etil-3-metilbenzeno, meta-etilmetilbenzeno, 3-etiltolueno, meta-etiltolueno.

b) Tiun ĉi kombinaĵon oni povas nomi substituita benzeno aŭ substituita propano: n-propilbenzeno, 1-fenilpropano.

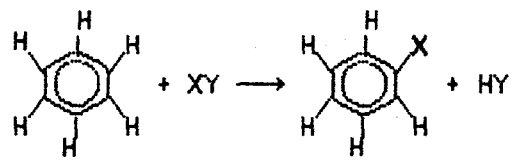
c) Ĉar surestas tri grupoj, plej taŭga estas probable la metodo ringonumerada, sed tiu ĉi kombinaĵo povas ankaŭ esti nomata kiel substituita tolueno: 1-etil-3-klor-5-metilbenzeno, 3-etil-5-klortolueno.

ĉ) Tiun ĉi kombinaĵon oni povas nomi substituita benzeno, substituita tolueno, aŭ substituita fenolo. Uzeblaj estas ringonumerado aŭ la lok-montra sistemo orto, meta, para: para-hidroksimetilbenzeno, 1-hidroksi-4-metilbenzeno, para-hidroksitolueno, 4-hidroksitolueno, para-metilfenolo, 4-metilfenolo.

15.4 REAKCIOJ DE BENZENO

Sub specialaj kondiĉoj, benzeno povas suferi adici-reakciojn, dum kiuj detruiĝas la aromateco de la ringo. Tamen, ĝia ĉefa maniero de reakcio estas substituo, ĉe kiu la aromata ringo restas sendifekta. La gravecon de substituaj reakcioj indikas la mult-nombraj substituitaj benzenoj, kiuj servis kiel ekzemploj en la antaŭa diskuto pri nomenklaturo.

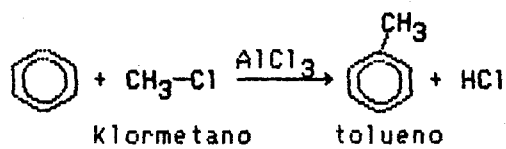
La ĝenerala ekvacio por benzena substitua reakcio estas:



15-1

Notu ke malgranda molekulo, pliofte neorganika acido aŭ akvo, estiĝas kun la substituita benzeno. Specifaj ekzemploj de substituaj reakcioj estas sube donitaj:

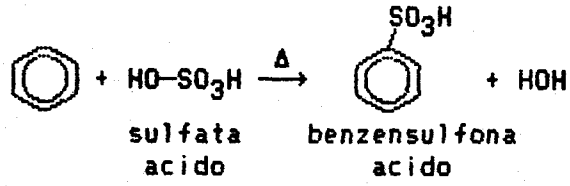
Alkilizo de benzeno. Kiam oni reakciigas benzenon kun alkila klorido en ĉeesto de alumini-klorida katalizenzo, tiam alkilo alligiĝas al la benzena ringo.



klormetano tolueno

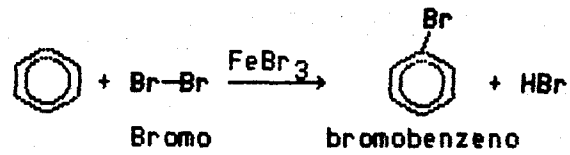
15-2

Sulfonizo de benzeno. Sulfonacida grupo ($-SO_3H$) alligiĝas al la ringo per varmigo (Δ) de miksaĵo el benzeno kaj sulfata acido.



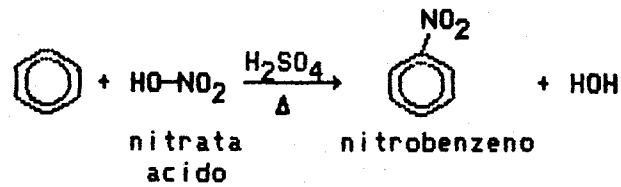
15-3

Bromizo de benzeno. Fera (III) bromido katalizas la reakcion inter bromo kaj benzeno.



15-4

Nitroizo de benzeno. Nitrata acido reakcias kun benzeno kiam la miksaĵo estas varmega; koncentrita sulfata acido estas aldonita kiel katalizenzo.



15-5

15.5 UZOJ DE BENZENO KAJ BENZENAJ DERIVAĴOJ

Benzeno kaj tolueno, la plej simplaj du aromataj hidrokarbonoj, estas vaste uzataj kiel laboratoria kaj industria solvenzoj. Aldone, ili estas *deir-materialoj por la sintezo de centoj da aliaj valoraj* aromataĵoj. La ksilenoj (dimetilaj benzenoj) estas ankaŭ bonaj solvenzoj, precipe por ŝmiraĵoj kaj oleoj. La vasta gamo da komercaj produktoj derivitaj el benzeno ampleksas eksplodaĵojn, abundon da drogoj, antisepsajn rimedojn, kemiaĵojn por agrikulturo, kaj insekticidojn.

En la naturo, molekuloj entenantaj la benzenringon troviĝas en kiel plantoj tiel bestoj, sed ili pli abundas en plantoj. Plantoj posedas la kapablon sintezi la benzenringon el karbona dioksido, akvo, kaj aliaj *neorganikaĵoj*. Bestoj *aliflanke ne* kapablas tian sintezon kaj devas enpreni manĝaĵon, kiu entenas la benzenringon, en siajn organismojn por vivadi. Multaj ekzemploj de tiuj nature estiĝantaj aromataj kombinaĵoj estos priskribitaj en la biokemiaj ĉapitroj de tiu ĉi libro.

15.6 POLIKERNAJ AROMATAJ HIDROKARBONOJ

Alia tipo de benzena derivaĵo ekzistas krom la substituitaj benzenoj:

polikerna aromata hidrokarbono

Polikernaj aromataj hidrokarbonoj entenas plurajn benzenringojn kiuj komune dividas flankojn. (Tio estas, ili kunhavas flankojn.)

La plej simpla kaj plej ofta el tiuj kombinaĵoj estas naftaleno, kiu entenas du ringojn (kernojn) kunhavantajn komunan flankon:



La karakteriza odoro de naftaleno estas konataj al multaj personoj, ĉar naftaleno estas la aktiva ingredienco en kelkaj tineaj forpelenzoj. Naftaleno do mallogas tineojn.

Gravas du polikernaj aromataj hidrokarbonoj kiuj entenas tri kondensitajn ringojn -- antraceno kaj fenantreno.



antraceno



fenantreno

Antraceno estas grava deir-materialo en la fabrikado de iuj kolorenzoj. Fenantreno, izomero de antraceno, estas ankaŭ uzata en kolorenzoj, kaj ankaŭ en eksplodaĵoj kaj la sintezo de iuj drogoj. Nombro da substancoj biokemie gravaj, nomataj steroidoj (Sekcio 21.4), havas strukturojn tre similajn al tiu de fenantreno.

Grava karakterizaĵo de iuj polikernaj hidrokarbonoj estas ke ili estas kancerogenaj (kancerigaj). Polikernaj kombinaĵoj kun tiu ĉi karakterizaĵo estas ofte produktataj per varmigo de organikaĵo ĝis altaj temperaturoj. Tiujn kombinaĵojn oni kredas respondecaj por la ofta okazado de pulma kancero inter cigaredaj fumantoj kaj de haŭta kancero ĉe personoj laborantaj super karba gudro. Eksterkutime aktiva kancerogeno trovata en cigareda fumo estas 1,2-benzpireno, kies strukturo implicas kvin kernojn aŭ kondensitajn ringojn:



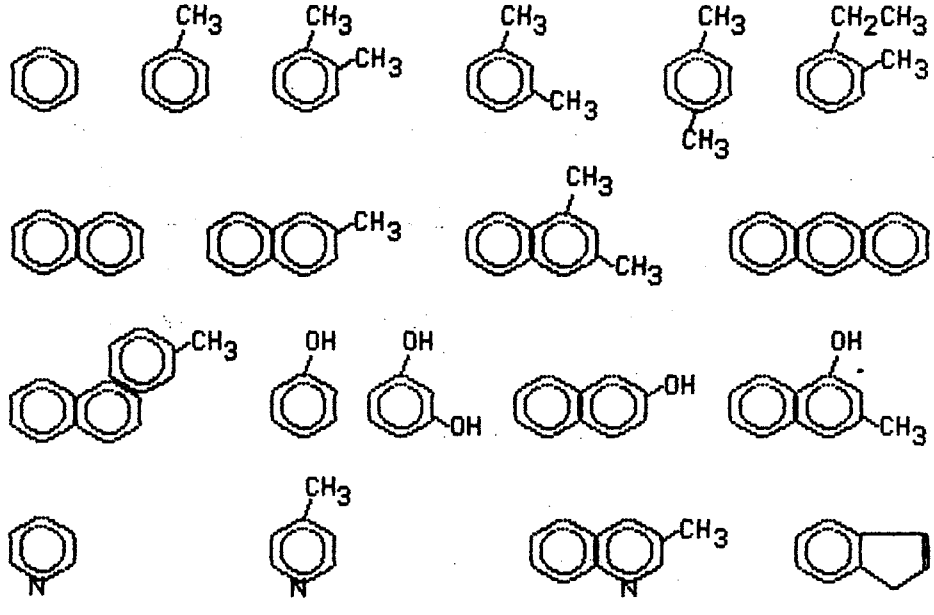
1,2-benzpireno

15.7 FONTOJ DE AROMATAJ HIDROKARBONOJ

Petrolo kaj karba gudro estas la du ĉefaj fontoj de aromataj kombinaĵoj. Kiam karbo estas varmigita en foresto de aero, formiĝas solida restaĵo nomata koakso (uzata grand-kvante en la fera kaj ŝtala indutrio) kaj likvo nomata karba gudro. Kvankam la karba gudro reprezentas nur malgrandan procenton el la origina karbo, ĝi sumiĝas al multaj tunoj jare pro la kolosa kvanto da karbo kiu estas ŝanĝata en koakson. La karba gudro enhavas multe da utilaj aromataĵoj, kiuj povas esti akiritaj per distilado kaj aliaj apartigaj metodoj. Pri kelkaj el la utilaj kombinaĵoj informas Tabelo 15-1.

Atentende estas, ke la akiritaj el karba gudro aromataj kombinaĵoj ne tiaforme ekzistas en karbo, sed formiĝas dum la intensa varmigo, kiun devigas koaksa produktado. La efektiva molekula strukturo de karbo ne estas plene komprenita. La preferata opinio estas ke la plejparto de la karbono en karbo *ekzistas en la formo de cikle kondensitaj "grapoloj"* entenantaj grandajn kvantojn da ringoj. Oni plue pensas ke kelkaj atomoj de nitrogeno, sulfuro, kaj oksigeno troviĝas en kelkaj ringoj (en la loko de karbonatomoj) aŭ inter grapoloj. Notu ke kelke da produktoj akiritaj el karba gudro, kiel montrite en Tabelo 15-1, estas aromataj kombinaĵoj entenantaj nitrogenatomon kiel parton de la ringo. Tiaj substancoj, kiuj estas konataj kiel heterociklaj kombinaĵoj, estos plue studataj en la suba sekcio.

Tabelo 15-1. Kelke da aromataj kombinaĵoj el karba gudro



15.8 HETEROCIKLAJ KOMBINAĴOJ

Estas multe da gravaj naturaj kaj sintezaj heterociklaj kombinaĵoj.

heterocikla kombinaĵo

Heterociklaj kombinaĵoj entenas ringajn strukturojn, en kiuj unu aŭ pli da ring-atomoj ne estas karbono.

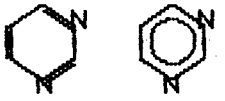
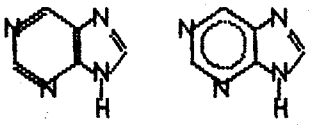
La nekarbonaj ring-atomoj plejofte trovataj estas oksigeno, nitrogeno, aŭ sulfuro. La heterociklo povas esti saturita, nesaturita, aŭ aromata. Kvankam heterociklaj kombinaĵoj ne estas hidrokarbonoj, ni ĉi tie ilin mencias pro tio, ke ĉeestas en multe da ili la aromata ringa strukturo.

Heterociklaj strukturoj estas vaste trovataj en kombinaĵoj gravaj por vivantaj organismoj. Pri nombro el tiuj kombinaĵoj diskutos la biokemia porcio de tiu ĉi lernolibro. Tabelo 15-2 donas ekzemplojn de nitrogen-entenaj aromataj heterociklaĵoj por ilustri tipojn de strukturoj kaj karakterizaĵoj. Atentu ke ni donis kaj la strukturon de Kekulé kaj la pli ĝustan elektrone dislokiĝintan strukturon en la formula rubriko de la tabelo.

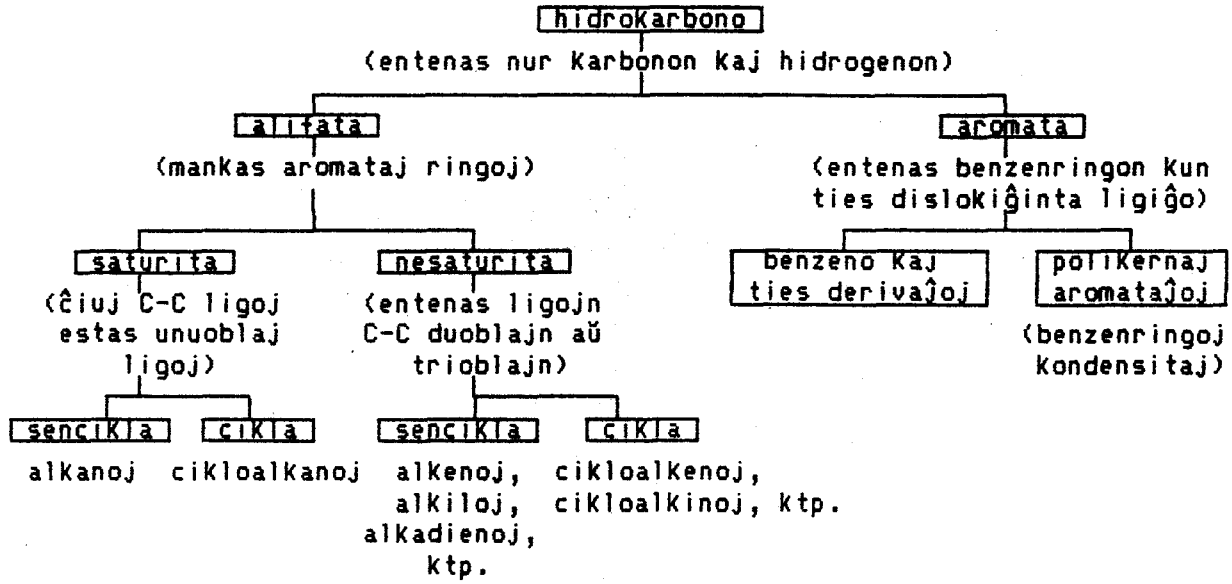
15.9 HIDROKARBONOJ: RESUMO

Hidrokarbonoj estas la plej simplaj el ĉiuj organikaj kombinaĵoj entenantaj nur du elementojn, hidrogenon kaj karbonon. Tamen tiuj du elementoj, kiel diskutoj de tiu ĉi kaj la du antaŭaj ĉapitroj indikas, povas esti divers-voje kombinitaj. Tio liveras preskaŭ senfinan nombron da kombinaĵoj. La klasifiko de tiuj multaj kombinaĵoj en familiojn (alkanojn, cikloalkanojn, ktp.) faciligas trakti ilian diversecon. Konvenas nun, ĉe la fino de nia studado pri hidrokarbonoj, resumi la rilatojn inter la hidrokarbonaj familioj.

Tabelo 15-2 Nitrogen-entenaj aromataj heterociklaj strukturoj

Nomo (nesistema)	Formuloj	Uzoj
piridino		Trovita kiel parto de la strukturo de niacino - unu el la vitaminoj B - kaj de nikotino, materialo intense venena en tabako
pirimidino		Ligiĝas kun sukeraj molekuloj, formante gravan strukturan trajton de nukleaj acidoj (Sekcio 24.2)
kinolino		Trovita en la substancoj kinino (ĥinono) kaj klorokino; uzata por kuraci malarion
purino		Trovita kiel grava struktura trajto de nukleaj acidoj

Hidrokarbonoj viciĝas en du larĝajn kategoriojn: alifatan kaj aromatan (Sekcio 15.1). Pri alifataj hidrokarbonoj, estas du tipoj: saturitaj (Sekcio 13.3) kaj nesaturitaj (Sekcio 14.1). Ĉiu el tiuj ĉi hidrokarbonaj kategorioj plue klasiĝas kiel cikla kaj sencikla. Al aromataj hidrokarbonoj apartenas du kategorioj: tiuj surbaze de unusola benzenringo kaj tiuj entenantaj kondensitajn benzenringojn (polikernaj aromatoj - Sekcio 15.6). Bildo 15-2 montras la interrilatojn inter la hidrokarbonaj klasifikoj.

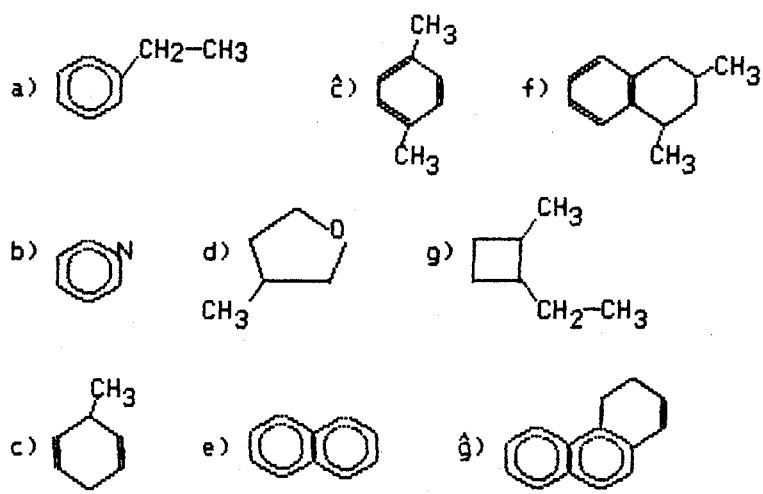


Bildo 15-2. Kategorioj de hidrokarbonoj

EKZERCOJ

Aromateco

1. Klasu la sekvantajn kombinaĵojn en la kategoriojn aromatan, alifatan, heterociklan, aŭ polikernan aromatan. Kombinaĵoj eble viciĝos en pli ol unu kategorion.

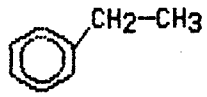


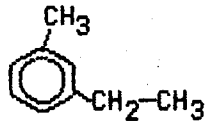
2. Priskribu la diferencojn en ligiĝo kaj kemia reakciemo inter benzeno kaj cikloheksano.

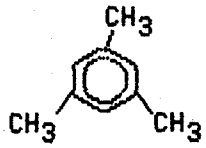
Nomenklaturo de Aromataj Kombinaĵoj

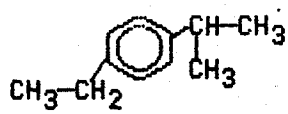
3. Nomu ĉiun el la sekvantaj hidrokarbonoj kiel derivaĵojn de benzeno. Uzu numerojn por indiki la pozicio(j)n de la alkilo(j) sur la ringo

kiam bezonataj.

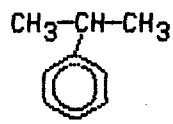
a) 

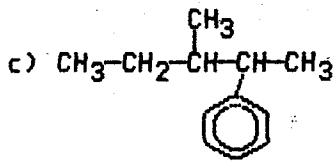
c) 

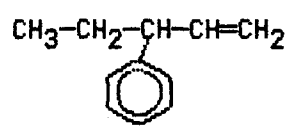
b) 

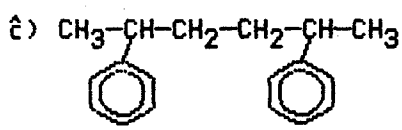
ĉ) 

4. Nomu la sekvantajn hidrokarbonojn. Traktu la aromatan ringon kiel substituanton alligitan al hidrokarbona ĉeno.

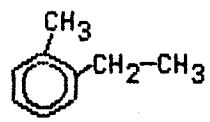
a) 

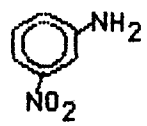
c) 

b) 

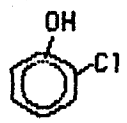
ĉ) 

5. Nomu la sekvantajn kombinaĵojn uzante nesistemajn nomojn kaj la vortetojn <u>orto</u>, <u>meta</u>, kaj <u>para</u> por precizigi la poziciojn de la substituantoj unu rilate la alian. (Atentu ke la vorto <u>benzeno</u> ne estos parto de la nomo laŭ tiuj ĉi instrukcioj.)

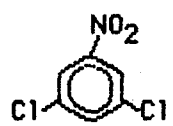
a) 

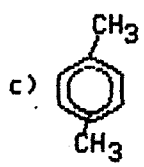
c) 

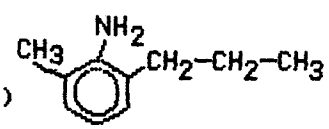
b) 

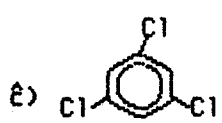
ĉ) 

6. Nomu la sekvantajn per numerado de la benzenringo. Kiam konvenas, nesistemaj nomoj rajtas esti uzataj.

a) 

c) 

b) 

ĉ) 

7. Skribu strukturajn formulojn por la sekvantaj:

a) 2,4-dietilanilino
b) o-ksileno
c) p-etiltolueno
ĉ) 1,2,4-tribrombenzeno
d) 3-metil-3-fenilpentano
e) naftaleno
f) 1,4-dibrom-2,5-diklorbenzeno

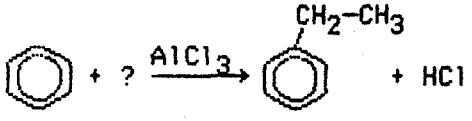
Izomereco kaj Aromataj Hidrokarbonoj

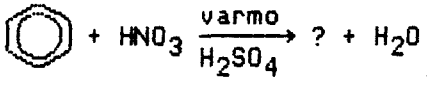
8. Desegnu strukturajn formulojn por la ses malsamaj molekuloj kiuj povas estiĝi per alligado de unu klora kaj du bromaj grupoj al benzenringo. Nomu ĉiun kombinaĵon.
9. Ekzistas ok benzenoj izomere substituitaj, kiuj havas la formulon C_9H_{12}. Desegnu strukturajn formulojn por ĉiu izomero kaj ilin nomu.
10. Kiom da diversaj kombinaĵoj ekzistas kiuj respondas al ĉiu el la sekvantaj priskriboj?

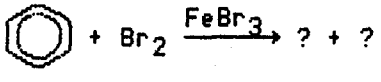
a) benzenoj monobromizitaj
b) naftalenoj monobromizitaj
c) antracenoj monobromizitaj
ĉ) benzenoj dibromizitaj
d) naftalenoj dibromizitaj

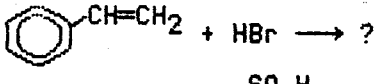
Kemiaj Reakcioj de Benzeno

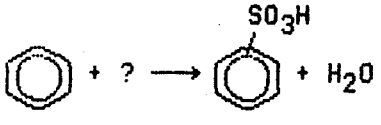
11. Ĝenerale, ĉu aromataj hidrokarbonoj kemie estas pli similaj al alkanoj aŭ alkenoj? kial?
12. Kompletigu la sekvantajn reakciojn.

a) 

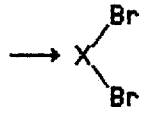
b) 

c) 

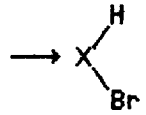
ĉ) 

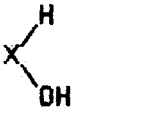
d) 

13. En la sekvantaj reakcioj, X povas esti aŭ aromata hidrokarbono kun neniu nesaturita alligita grupo, aŭ nesaturita alifata kombinaĵo. Klasu X en unu el tiuj kategorioj por ĉiu el la sekvantaj reakcioj:

a) $Br_2 + X \longrightarrow$ 

b) $Br_2 + X \longrightarrow X{-}Br + HBr$

c) $HBr + X \longrightarrow$ 

ê) $H_2O + X \longrightarrow$ 

d) $H_2SO_4 + X \longrightarrow X{-}SO_3H + H_2O$

e) $CH_3{-}Cl + HX \longrightarrow X{-}CH_3 + HCl$

16. ALKOHOLOJ, FENOLOJ, KAJ ETEROJ

CELOJ

16.1 Scii la strukturajn trajtojn (inkluzive de la funkcia grupo) de alkoholoj, fenoloj, kaj eteroj.

16.2 Atribui al alkoholo aŭ fenolo nomon laŭ IUPAK, se donita la struktura formulo. Scii la nesistemajn nomojn por la pli simplaj alkoholoj kaj fenoloj.

16.3 Klasu alkoholojn en primaran, sekundaran, aŭ terciaran surbaze de ties strukturaj trajtoj.

16.4 Memori ĝeneralajn fizikajn ecojn de alkoholoj kaj rakonti kiel hidrogena ligiĝo influas ilin.

16.5 Skribi ekvaciojn por alkohola deshidratigo, en kiuj partoprenas unu aŭ du alkoholaj molekuloj. Skribi ekvaciojn por la oksidigo de alkoholoj primara, sekundara, kaj terciara.

16.6 Listigi konatajn alkoholojn kaj ties uzojn. Difini la terminojn absoluta alkoholo kaj denaturita alkoholo.

16.7 Doni konatajn fenolojn kaj ties uzojn.

16.8 Diskuti pri la troviĝo de fenoloj en la naturo.

16.9 Difini simplan eteron, nesimplan (miksan) eteron, kaj epoksidon. Rekoni eterajn izomerojn kaj ankaŭ alkoholojn kiuj estas izomeraj al donita etero.

16.10 Atribui nomojn nesisteman kaj sisteman (laŭ IUPAK) al etero, se donita la struktura formulo.

16.11 Doni ĝeneralajn fizikajn ecojn de eteroj. Diskuti pri la uzado de eteroj kiel anestezaĵoj.

16.12 Doni konatajn epoksidojn kaj ties uzojn.

16.13 Scii la strukturajn trajtojn (inkluzive de la funkcia grupo) de tioloj kaj disulfidoj, kaj informiĝi pri iliaj ĝeneralaj fizikaj ecoj kaj kemiaj reakcioj.

Kelkaj gravaj familioj de organikaj kombinaĵoj havas funkciajn grupojn kiuj entenas oksigenon. Ni studas ĉi-ĉapitre tri el tiuj familioj: alkoholojn, fenolojn, kaj eterojn. Tiuj kombinaĵoj havas la komunan trajton, ke ĉiu ĉeestanta oksigeno estas alligita al karbono per unuoblaj ligoj. Molekuloj en kiuj troviĝas karbon-oksigenaj duoblaj ligoj estos en Ĉapitroj 17 kaj 18 pritraktataj.

La vorto "alkoholo" havas sian originon en la araba lingvo. Tamen al la araboj, "al-kuh(u)l" estis "la subtila pulvoro" kiu estis farata el stibio kaj uzata kosmetike. La vorto pruntiĝis en la mez-epokajn hispanan kaj latinan, sed ĝia signifo ŝanĝiĝis. En la 16a jarcento, la konata latin-parolanta kemiisto Paracelsus skribis "alcool vini", kiu signifis "la esenco de vino" kaj aludis la alkoholon en vino. Nur en la lasta jarcento oni ekuzis la vorton alkoholo per si mem en la moderna senco.

16.1 STRUKTURAJ TRAJTOJ DE ALKOHOLOJ, FENOLOJ, KAJ ETEROJ

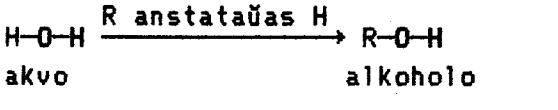
La funkcia grupo por kaj alkoholoj kaj fenoloj estas la hidroksilo (-OH).

alkoholo; fenolo

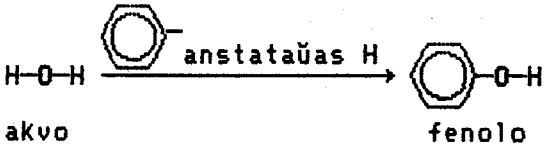
Ĉe alkoholoj, la hidroksilo estas ligita al alkilo (R-). Ĉe fenoloj, la hidroksilo estas alligita al arilo (Ar-).



Oni imagas, ke alkoholoj kaj fenoloj estas kvazaŭ deriveblaj el akvo; oni anstataŭigas unu hidrogenatomon per alkilo aŭ arilo.



16-1



16-2

Alia nomo por fenoloj estas aromataj alkoholoj.

Ĉe nefakuloj elvokas la vorto "etero" bildojn de kirurgoj kaj operaciejoj.

etero

Kemiistoj difinas eterojn kiel organikajn kombinaĵojn en kiuj du karbonatomoj estas alligitaj al oksigenatomo.

La funkcia grupo de etero estas do -O-. Estiĝas tiu strukturo kiam ambaŭ hidrogenatomoj de akvo anstataŭiĝas per alkiloj aŭ aromataj ringoj.

$$\underset{\text{akvo}}{H{-}O{-}H} \xrightarrow[\text{per R-grupo}]{\text{anstataŭigo de ĉiu H}} \underset{\text{etero}}{R{-}O{-}R} \qquad 16\text{-}3$$

16.2 NOMENKLATURO DE ALKOHOLOJ KAJ FENOLOJ

Laŭ la nesistemaj nomoj ofte konatiĝas la pli simplaj alkoholoj, kie la alkilan nomon sekvas la vorto alkoholo.

CH_3OH	CH_3CH_2OH	$CH_3CH_2CH_2OH$	$CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{C}}HCH_3$
metila alkoholo	etila alkoholo	n-propila alkoholo	izopropila alkoholo

La IUPAK-reguloj, kiuj nomas tiujn alkoholojn, kiuj entenas unu hidroksilon, estas:

Paŝo 1. Nomu la plej longan ĉenon, al kiu estas alligita la hidroksilo. Por havigi la ĉenan nomon, aldonu la sufikson -ol- al la nomo de tiu hidrokarbono, kiu entenas la saman nombron da karbonatomoj.

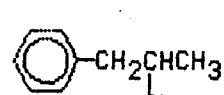
Paŝo 2. Numeru la ĉenon plej longan ekde la fino plej proksima al la hidroksilo.

Paŝo 3. Difinu la pozicion de la hidroksilo laŭ la numero de tiu karbono, al kiu ĝi estas alligita.

Paŝo 4. Trovu kaj nomu ceterajn grupojn alligitajn al la ĉeno.

Paŝo 5. Kombinu la plej longan ĉenon, la hidroksilan lok-numeron, kaj iujn ajn ceterajn grupojn en la definitivan nomon.

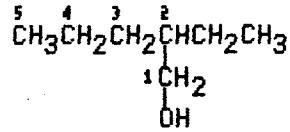
Ekzemplo 16-1. Nomu la sekvantajn alkoholojn laŭ la sistemo de IUPAK.

a) CH_3OH b) $CH_3CH_2CH_2\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{C}}HCH_2CH_3$ (CH₂ substituent) c)  ĉ) $CH_3{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{C}}H{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{C}}CH_2CH_3$

Solvo. a) Unu karbonatomon havas la plej longa ĉeno, do la alkoholo nomiĝos metanolo. Pro tio, kie la hidroksilo povas esti alligita nur

al la unusola karbonatomo, bezoniĝos neniu lok-numero.

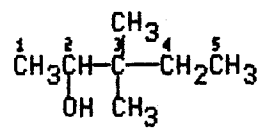
b) La OH-entena ĉeno plej longa estas numerita tiel:



Notu ke estas pli longa ĉeno (6 karbonatomoj), sed la grupo -OH ne estas senpere alligita al ĝi. Pro la kvin-karbona ĉeno, la alkoholo estas iu pentanolo. La grupo -OH estas sur karbonatomo 1, tial la kombinaĵo estas iu 1-pentanolo. Al karbonatomo 2 de la ĉeno estas alligita etila alkilo, do la definitiva nomo estas 2-etil-1-pentanolo.

c) La ĉeno plej longa entenas 3 karbonatomojn; plue la hidroksilo estas al karbon-numero 2 alligita. El tio sekvas, ke temas pri 2-propanolo. La benzenringon alligitan al karbonatomo 1 oni nomas fenilo. La kompleta nomo estas 1-fenil-2-propanolo. Notu ke ni tiamaniere numeris la ĉenon, ke la fenilo estas ĉe numero 1 anstataŭ numero 3.

ĉ) La ĉeno plej longa estas tiel numerita:



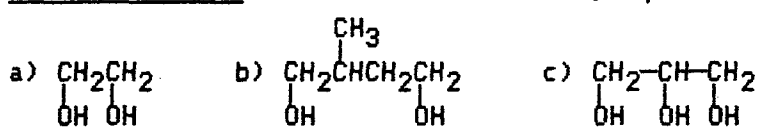
Tial, la alkoholo estas iu 2-pentanolo. Pro tio, ke alligitaj al karbona numero 3 estas du metiloj, ni havas la nomon 3,3-dimetil-2-pentanolo.

polihidroksila alkoholo (poliolo); glikolo (diolo); triolo

Multaj kombinaĵoj entenas pli ol unu hidroksilon; ili estas klasitaj laŭ polihidroksilaj alkoholoj (polioloj). Dihidroksilaj alkoholoj (du hidroksiloj) nomiĝas glikoloj aŭ dioloj. Trihidroksilaj alkoholoj (tri OH-grupoj) nomiĝas trioloj.

La IUPAK-nomenklaturaj reguloj por ĉi tiuj kombinaĵoj estas esence la samaj kiel por tiuj kun unu hidroksilo, krom ke la sufikso -diol- aŭ -triol- estas alligita al la nomo de la trunka hidrokarbono.

Ekzemplo 16-2. Nomu la sekvantajn poliolojn, uzante IUPAK-regulojn:



Solvo. a) La ĉeno plej longa havas du karbonojn, do ni havas iun etandiolon. La hidroksiloj estas alligitaj al karbonoj 1 kaj 2. La nomo estas 1,2-etandiolo. Tiu substanco estas nesisteme nomata etilena glikolo.

b) Kvar karbonojn havas la plej longa ĉeno, do la kombinaĵo estas

iu butandiolo. La hidroksiloj estas alligitaj al karbonoj 1 kaj 4, kaj metilo estas al karbono 2 alligita. La nomo estas 2-metil-1,4-butandiolo.

c) La ĉeno plej longa entenas tri karbonatomojn, do la kombinaĵo estas propantriolo. La hidroksiloj estas alligitaj al karbonoj 1, 2, kaj 3. La nomo estas 1,2,3-propantriolo. Tiu ĉi estas ankaŭ nomata glicerino aŭ (pli sisteme) glicerolo.

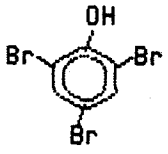
La plej simpla el ĉiuj fenolaj aŭ aromataj alkoholoj estas la kombinaĵo kiu implicas unu grupon -OH kaj benzenringon:



Tiu ĉi kombinaĵo mem, kiu povas esti konsiderita la fundamenta kombinaĵo por ĉiuj fenoloj, nomiĝas fenolo. Aliaj kombinaĵoj en la familio povas esti nomataj kiel derivaĵoj de fenolo, ekzemple



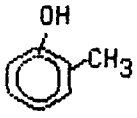
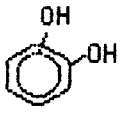
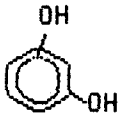
Kaj



p-bromfenolo 2,4,6-tribromfenolo

Same kiel ĉe substituitaj benzenoj (Sekcio 15.3), multaj el la plej simplaj substituitaj fenoloj konatiĝas laŭ nesistemaj nomoj. Tabelo 16-1 donas tiajn nomojn por metilfenolo kaj hidroksifenoloj.

Tabelo 16-1. Nesistemaj nomoj por elektitaj fenoloj

Strukturo	Nomo
	*orto*-Krezolo (ekzistas ankaŭ *meta*- kaj *para*-krezolo)
	katekolo
	rezorcinolo
	hidrokinono

16.3 KLASIFIKO DE ALKOHOLOJ

La karakteriza kemio de alkoholo kelkfoje dependas de la nombro da karbonatomoj alligitaj al tiu karbonatomo, kiu ankaŭ surhavas la hidroksilon. Alkoholoj klasiĝas laŭ primara, sekundara, aŭ terciara laŭ tiu ĉi fundamento (vidu Tabelon 16-2).

primara alkoholo

Ĉe primaraj alkoholoj, la kun-hidroksila karbonatomo estas alligita al unu alia karbonatomo kaj du hidrogenatomoj.

sekundara alkoholo

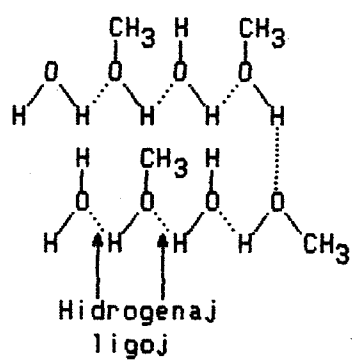
Ĉe sekundaraj alkoholoj, la kun-hidroksila karbonatomo estas alligita al du aliaj karbonatomoj kaj unu hidrogenatomo.

terciara alkoholo

Ĉe terciaraj alkoholoj, la kun-hidroksila karbonatomo estas alligita al tri aliaj karbonatomoj.

Tabelo 16-2. Primara, sekundara, kaj terciara alkoholoj

	Primara	Sekundara	Terciara
Ĝenerala formulo	$R-CH_2-OH$	$R-\underset{\displaystyle R'}{\underset{\vert}{CH}}-OH$	$R'-\underset{\displaystyle R''}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle R}{\overset{\vert}{C}}}}-OH$
Specifa ekzemplo	CH_3-CH_2-OH	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-OH$	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{C}}}}-OH$
	etanolo	2-propanolo	2-metil-2-propanolo



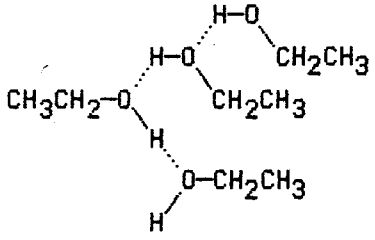
Bildo 16-1. Hidrogenaj ligoj en akvo-metanola solvaĵo

16.4 ECOJ DE ALKOHOLOJ

La anstataŭigo de unu akva hidrogeno per organika grupo ne malaperigas ĉiujn el la propecoj de akvo. Tial, la alkoholoj molekulmase malaltaj -- t.e., metila, etila, n-propila, kaj izopropila alkoholoj -- estas tute mikseblaj kun akvo. Kiel la grando de la alkilo en alkoholo pliiĝas, la fizikaj ecoj iĝas malpli akvecaj kaj pli alkanecaj. Alkoholoj longaĉenaj estas malpli solveblaj en akvo kaj pli solveblaj en tiaj nepolusaj solvenzoj, kiel benzeno, tetraklormetano, kaj etero (Sekcio 8.3). La solveblo en akvo dependas de la nombro da karbonatomoj por ĉiu alkohola hidroksilo. Ĝenerale, unu hidroksilo povas solvi tri ĝis kvar karbonatomojn. La alta solveblo de la alkoholoj molekulmase malaltaj en akvo povas esti atribuita al hidrogena ligiĝo inter la alkoholo kaj akvo-molekuloj (v. Bildon 16-1).

Hidrogena ligiĝo ankaŭ havigas al alkoholoj bolpunktojn multe pli altajn ol hidrokarbonoj aŭ la plimulto da aliaj kombinaĵoj kun simila molekula maso. La hidrogena ligiĝo ĉi-kaze estas inter alkoholaj molekuloj, kiel figurite en Bildo 16-2. Etanolo, CH_3CH_2OH, bolas ĉe 78°C, dum propano, $CH_3CH_2CH_3$, kiu havas proksimume la saman molekulan mason, bolas ĉe -42°C. Propano ne havas la kapablon ligiĝi per hidrogeno.

La hidroksilo en alkoholo diferencas en konduto disde la hidroksilo en bazoj. Alkoholoj estas nek acidoj nek bazoj, laŭ senco de Arrhenius (Sekcio 10.1). Ili liberigas nek hidroksidajn nek hidrogenajn jonojn en akvo.



Bildo 16-2. Hidrogena ligiĝo en likva etanolo

16.5 PREPARO KAJ REAKCIOJ DE ALKOHOLOJ

Ĝenerala laboratoria metodo por la preparo de alkoholoj - la hidratigo de alkenoj - estis pridiskutita en Sekcio 14.6 (ekvacioj 14-5 ĝis 14-7). Industriaj procedoj uzataj por la produktado de iuj alkoholoj komerce gravaj estos notitaj en la venonta sekcio.

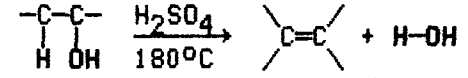
La reakcioj de alkoholoj okazas ĉefe ĉe la funkcia grupo (grupo -OH). Povas ankaŭ roli alligitaj al la kun-hidroksila karbonatomo hidrogenatomoj kaj tiuj sur apudaj karbonoj. Ni konsideros tie ĉi du ĉefajn tipojn de reakcioj: alkoholan deshidratigon kaj alkoholan oksidigon.

deshidratigo

Per deshidratigo (senakvigo) akvo estas kemie forprenita el kombinaĵo.

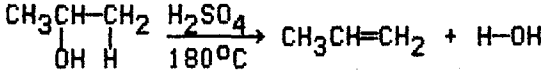
Deshidratigo kutime temas pri la aldonado de koncentra sulfata acido al la alkoholo kaj la varmigo de la akirita miksaĵo. Produktiĝos aŭ alkenoj aŭ eteroj en tiu procedo, depende de reakciaj kondiĉoj, precipe la temperaturo.

Ĉe temperaturoj pli altaj (ekz., 180°C) la eroj de akvo estas forprenitaj el unuopa alkohola molekulo. Tio donas la produkton alkeno. La ĝenerala reakcio estas:

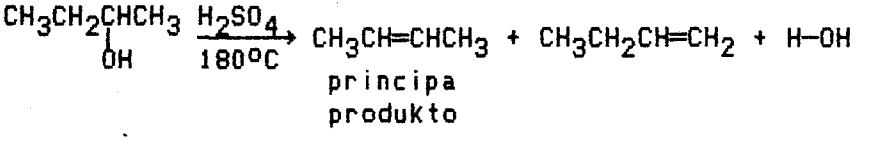


alkoholo alkeno 16-4

Notu kiel la reakciaj kondiĉoj estas signitaj ĉe la sago. Tiu ĉi reakcio estas esence la malo de la reakcio antaŭe priskribita por la sintezo de alkoholoj el alkenoj (ekvacio 14-5). Du specifaj ekzemploj estas:



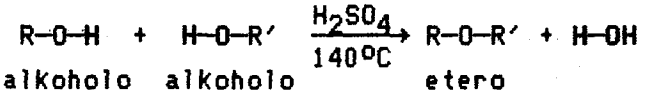
16-5



16-6

Atentu ke en reakcio 16-6, du alkenoj estas eblaj, depende de kiu karbono apuda al la kun-hidroksila karbono perdas la hidrogenatomon. La principa alkeno produktita en tiaj okazoj estos tiu, en kiu la plej alta nombro da alkiloj estas alligita al la karbonatomoj duoble ligitaj.

Ĉe temperaturoj pli malaltaj (ekz., 140°C), deshidratigo implicas du alkoholajn molekulojn anstataŭ unu. La alkoholaj molekulaj fragmentoj estiĝantaj el la deshidratigo ligiĝis inter si kaj formas eteron. La ĝenerala reakcio estas:



alkoholo alkoholo etero 16-7

La formiĝo de dietila etero (la anesteza etero) estas specifa ekzemplo:

$$\underset{\text{etanolo (etila alkoholo)}}{CH_3CH_2{-}O{-}H} + \underset{\text{etanolo (etila alkoholo)}}{H{-}O{-}CH_2CH_3} \xrightarrow[140^{o}C]{H_2SO_4} \underset{\text{dietila etero}}{CH_3CH_2{-}O{-}CH_2CH_3} + H{-}OH \qquad 16\text{-}8$$

deshidratiga sintezo

La reakcio kondukanta al eteroj estas ekzemplo de deshidratiga sintezo. Dum tiu reakcio, kuniĝas du molekuloj kaj generiĝas nova funkcia grupo per forpreno de akvo-molekulo.

Sub konvenaj kondiĉoj, alkoholoj estas oksidigeblaj laŭ regata vojo (ne bruligataj), dum kio foriĝas po du hidrogenatomoj el molekulo. Taŭgas nombro da oksidigantoj, inkluzive de kalia dikromato, $K_2Cr_2O_7$, kaj kalia permanganato, $KMnO_4$. La simbolo (O) estas aplikata por signi la oksidiganton. La ĝenerala reakcio estas:

$$\underset{\text{alkoholo}}{-\overset{|}{\underset{H}{C}}{-}O{-}H} + (O) \longrightarrow \underset{\text{aldehido aŭ ketono}}{-\overset{|}{C}{=}O} + H{-}O{-}H \qquad 16\text{-}9$$

La produktoj de oksidigo dependas de la tipo de alkoholo oksidigota, kiel montrite en la sekvantaj ekzemploj:

$$\underset{\text{primara alkoholo}}{R{-}\overset{OH}{\overset{|}{\underset{H}{C}}}{-}H} + (O) \longrightarrow \underset{\text{aldehido}}{R{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}H} + H{-}O{-}H \qquad 16\text{-}10$$

$$\underset{\text{sekundara alkoholo}}{R{-}\overset{OH}{\overset{|}{\underset{H}{C}}}{-}R'} + (O) \longrightarrow \underset{\text{ketono}}{R{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}R'} + H{-}O{-}H \qquad 16\text{-}11$$

$$\underset{\text{terciara alkoholo}}{R{-}\overset{OH}{\overset{|}{\underset{R''}{C}}}{-}R'} + (O) \not\longrightarrow \text{ne reakcias} \qquad 16\text{-}12$$

Tiel, primaraj alkoholoj liveras aldehidojn, sekundaraj alkoholoj ketonojn, kaj terciaraj alkoholoj ne estas submeteblaj al regata oksidigo. Aldehidoj kaj ketonoj, kombinaĵoj kiuj entenas karbon-oksigenan duoblan ligon, estos detale pridiskutataj en Ĉapitro 17.

16.6 KELKE DA OFTAJ ALKOHOLOJ

En tiu ĉi sekcio, ni okupos nin pri kvin komun-uzaj alkoholoj: metanolo, etanolo, 2-propanolo, 1,2-etandiolo, kaj 1,2,3-propantriolo. Strukturaj formuloj kaj nesistemaj nomoj (kiuj estas ofte uzataj) por tiuj ĉi alkoholoj estas en Tabelo 16-3 donitaj.

Tabelo 16-3. Kelke da gravaj komunuzaj alkoholoj

IUPAK-nomo	Struktura formulo	Nesistemaj nomoj
metanolo	CH_3-OH	metila alkoholo ligna alkoholo
etanolo	CH_3-CH_2-OH	etila alkoholo grena alkoholo trinka alkoholo
2-propanolo	$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}-CH_3$	izopropila alkoholo masaĝa alkoholo
1,2-etandiolo	$\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}$	etilena glikolo
1,2,3-propantriolo	$\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}$	glicerino glicerolo

Notu la simplecon de la strukturoj de tiuj alkoholoj. Ĉiuj entenas tri aŭ malpli da karbonatomoj.

Metanolo, kiu estas la plej simpla el ĉiuj alkoholoj, estas senkolora likvo kun karakteriza odoro. Ĝia vulgara nomo, ligna alkoholo, devenas de tio, ke ĝia ĉefa fonto dum multaj jaroj estis la distilado de ligno. Nuntempe, ĝi estas sinteze produktata grand-kvante per la reakcio de hidrogena gaso kun karbona monoksido.

$$CO + 2H_2 \xrightarrow[\text{katalizo}]{\text{premo, varmo}} CH_3OH \qquad 16\text{-}13$$

Oni uzas metanolon kiel kemian krudaĵon en la produktado de iuj plastoj, kiel solvenzon por lakoj kaj vernizoj, kaj kiel brulaĵon por motorveturiloj. Ĝi estas intense venena substanco kaj devas esti neniam uzata por medicinaj celoj. Se ĝi englutiĝas, eĉ malgrandaj kvantoj povas kaŭzi ĉiaman blindecon kaj paralizon, kaj grandaj kvantoj povas esti pereigaj. Etanolo, aŭ etila alkoholo, CH_3CH_2OH, estas la kombinaĵo kutime nomata "alkoholo" de la laiko. Krom tio, ke ĝi estas la ingredienco fiziologie aktiva en alkoholaĵoj, ĝi estas ankaŭ uzata en la farmacia industrio kiel solvenzo (tinkturoj estas etanolaj solvaĵoj), kiel medicina ingredienco (kontraŭtusaj siropoj ofte enhavas tiom multe kiel 20%

etanolo), kaj kiel industria solvenzo. Solvaĵo 70%-etanola estas elstara antisepsa likvo (Sekcio 22.9). El ĉiuj alkoholoj monohidroksilaj, sole etanolo havas toksajn efikojn tiom mildajn, ke oni konsideras ĝin "sendanĝera" por la homa konsumado. Daŭra, troa uzado, tamen, estas sciate kaŭzi tiajn nedeziratajn efikojn, kiel cirozon de la hepato.

Oni zorge reglamentas kaj severe impostas tiun etanolon, kiu estas destinata al homa konsumado. Etanolo por uzado en industrio ne estas impostata, kaj substancoj estas al ĝi aldonataj por igi ĝin netaŭga por trinki -- tial forigante ian ajn tenton. Tia alkoholo nomiĝas denaturita alkoholo. Oftaj denaturenzoj estas ligna alkoholo kaj formaldehido. La malgrandaj kvantoj ne malhelpas la industriajn celojn por etanolo, sed definitive igas ĝin netaŭga por trinki.

La plimulto da alkoholo industrie uzata estas grand-skale produkata pere de la rekta hidratigo de etileno. La reakcio estas:

$$CH_2{=}CH_2 + H{-}OH \xrightarrow[300^oC]{70\ atm} \underset{H}{CH_2}{-}\underset{OH}{CH_2} \qquad 16\text{-}14$$

Produktata industrie etanolo ĉiam enhavas malgrandajn kvantojn da akvo, kiu estas krom-produkto de la fabrikaj procedoj. Oni kutime ne forigas la akvon pro la elspezo kaj pro tio, ke la akvo malmulte efikas la proprecojn de etanolo. Akvo kaj etanolo estas tute mikseblaj. Etanolo, el kiu la tuta akvo estas forprenita (necesa nur por uzoj ege specialigitaj) estas nomata absoluta alkoholo.

Estas eble ankaŭ produkti etanolon per la gista fermentado de tiaj sakaridoj, kiel sukeroj, amelo, aŭ celulozo. Reakcio por la fermentado de glukozo (vinbera sukero) estas:

$$\underset{\text{glukozo}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{gisto}} \underset{\text{etanolo}}{2CH_3CH_2OH} + 2CO_2 \qquad 16\text{-}15$$

La uzado de fermentita kaĉo farata el tiaj grenoj, kiel maizo, rizo, aŭ hordeo por produkti etanolon elvokas ties nesisteman nomon, grena alkoholo. La fermenta produktado de drinkaĵoj estas tre grand-skale realigata en iuj landoj.

Izopropila alkoholo estas la alkoholo en komerca "masaĝa alkoholo". Oni uzas ĝin forme de adstringenzo, medikamento uzata ekstere por kuntiri histon kaj malpliigi la dimensiojn de angioj (sango-vazoj). Masaĝa alkoholo estas destinita nur por ekstera uzado. Akcidenta englutiĝo

instigos vomadon.

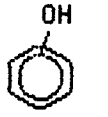
Etila glikolo estas la plej grava kaj ankaŭ la plej simpla el la *dihidroksilaj alkoholoj* (kun du grupoj -OH). Ĝi estas vaste uzata kiel la esenca ingredienco en kontraŭfrostaĵo, la likvo uzata en aŭtomobilaj radiatoroj (Sekcio 8.7). Ĝi estas ankaŭ krudaĵo por la produktado de fibroj sintezaj (Sekcio 18.11). Ĝi estas nevolatila (ne vaporiĝas), tute miksebla kun akvo, nekorodema, kaj relative malkare produktebla. El tio rezultas ĝia grand-skala industria uzado kiel kontraŭfrostaĵo.

La plej grava trihidroksila alkoholo estas glicerino aŭ glicerolo. La hidrogena ligiĝo, kiu rezultas pro tri hidroksiloj en ĉiu molekulo, kaŭzas ke glicerolo estas likvaĵo alt-bola kun afineco al akvo. Tiu propreco igas ĝin valorinda humidiganto en tabako kaj multe da manĝaj produktoj kiel sukeraĵoj kaj kokoseroj (dispecigita kokoso). Floristoj uzas glicerolon ĉe deširitaj floroj por reteni akvon kaj konservi freŝecon. En la naturo, glicerolo protektas algon, kiu kreskas en sal-marĉoj apud la Morta Maro, kontraŭ deshidratiĝo en la saleca akvo. Oni ankaŭ uzas glicerolon pro ties moligaj kaj balzamaj kvalitoj en raza kaj tualeta sapoj kaj en multaj kosmetikoj.

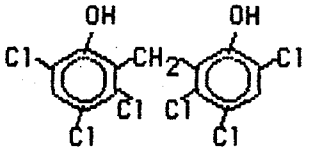
Alkoholoj estas ĝenerale tre gravaj biologie, ĉar la *hidroksilo* troviĝas en gamo da kombinaĵoj asociataj kun vivantaj sistemoj. Ekzemple, sukeroj entenas kelkajn hidroksilojn, dum amelo kaj celulozo entenas milojn da hidroksiloj (v. Ĉapitron 20).

16.7 KARAKTERIZAĴOJ KAJ UZOJ DE FENOLOJ

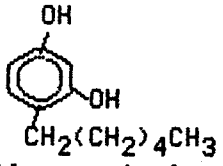
Fenolo estas senkolora solido kiu fandiĝas ĉe malalta temperaturo kaj havas medicinan odoron. Kiam oni aldonas malgrandan kvanton da akvo, la solido likviĝas je ĉambra temperaturo. Pura fenolo aŭ koncentritaj solvaĵoj bruligas la haŭton kaj devas esti zorge manipulataj. En diluaj solvaĵoj, ĝi estas uzata kiel antisepsenzo kaj desinfektenzo. Tiu ĉi likva miksaĵo kelkfoje nomiĝas karbola acido. Joseph Lister, angla kirurgo, enkondukis la uzadon de fenolo kiel hospitalan antisepsenzon en la malfruaj 1800aj jaroj. Antaŭ tiu tempo, antisepsenzoj ne estis uzataj, kaj la minaco de mortiga infekto alfrontis la plejmulton da kirurgiaj pacientoj. Nuntempe fenolo estas jam plejparte anstataŭigita per pli efikaj antisepsenzoj, kiuj malpli iritas la haŭton. Du tiaj kombinaĵoj estas heksaklorofeno kaj heksilrezorcinolo:



fenolo
(la origina
desinfektenzo
de Lister)



heksaklorofeno
(uzata en hospitaloj
kiel
disinfektenzo)

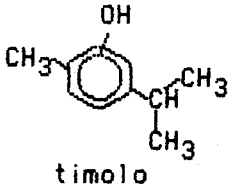


heksilrezorcinolo
(uzata en gargaraĵoj
kaj
gorĝaj lozanĝoj)

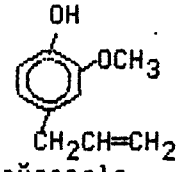
Krezoloj, la metilaj derivaĵoj de fenolo (Tabelo 16-1), estas efikaj kiel desinfektenzoj kaj konservenzoj. Oni ankaŭ uzas ilin en fenolaj rezinoj, en la traktado de ercoj, kaj en la fabrikado de herbicidoj. Kreozoton, oleeca, nigra, kruda miksaĵo de krezoloj, oni uzas por impregni kaj konservi la lignon uzatan por telefonaj fostoj, barilaj fostoj, kaj fervojaj rel-traboj (ŝpaloj). La oleeco de kreozoto forpelas akvon, dum la krezoloj protektas kontraŭ funga kresko.

16.8 FENOLOJ EN LA NATURO

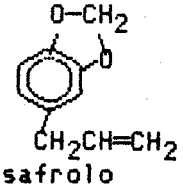
Troviĝas en la naturo tre multe da fenoloj kaj fenolaj eteroj. Timolo, gustiga konsistiganto de timiano, havas agrablan guston, kiu igas ĝin preferata antisepsa ingredienco en gargaraĵoj. Eŭgenolo respondecas por la gusto de kariofiloj. Kariofila oleo estas ofte antisepse uzata de dentistoj ĉar ĝi havas tiun fenolon. Safrolo, cikla kombinaĵo tre parenca al eŭgenolo, estas ĉefa konsistiganto de sasafrasa oleo kaj havas fortan odoron, kiu estas karakteriza por bongusta medikamento.



timolo

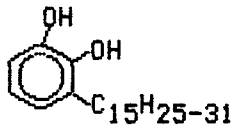


eŭgenolo

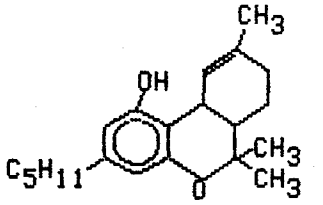


safrolo

Iuj fenoloj profunde efikas fiziologie. Ekzemple, la iritaj konsistigantoj de venen-hedero enhavas aromatajn kombinaĵojn, en kiuj la poziciaj numeroj 1 kaj 2 de la ringo estas okupitaj de hidroksiloj, kaj longa alkila ĉeno kun varia grado de nesatureco ligiĝas al pozici-numero 3. La ĉefa fiziologia ingredienco en kanabo (haŝiŝo kaj mariĥuano) estas kompleksa fenolo konata kiel tetrahidrokanabinolo.



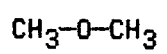
venen-hederaj iritantoj



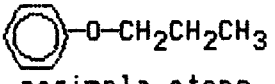
tetrahidrokanabinolo

16.9 TIPOJ DE ETEROJ

La ĝenerala formulo por etero estas R-O-R′, kie la R-grupoj rajtas esti aŭ alkiloj aŭ ariloj. Kiam ambaŭ grupoj estas la samaj, la kombinaĵo nomiĝas simpla etero. Kiam R kaj R′ estas malsamaj, rezultas nesimpla (aŭ "miksa") etero.

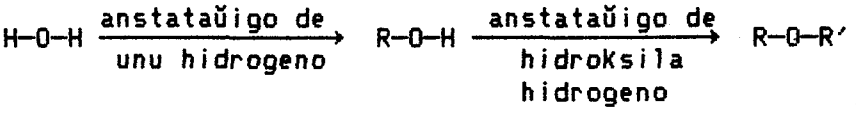


simpla etero
(R–O–R)



nesimpla etero
(R–O–R′)

Laŭ mencio en Sekcio 16.1, eterojn oni povas rigardi, kvazaŭ ili estus organikaj derivaĵoj de akvo en kiuj ambaŭ hidrogenoj estas anstataŭigitaj per R-grupoj. Aldone, ili estas trakteblaj kiel derivaĵoj de alkoholoj en kiuj la hidrogeno de la hidroksilo estas anstataŭigita per R-grupo.



akvo — alkoholo — etero

Eblas ciklaj eteroj, en kiuj la oksigenatomo estas parto de la cikla sistemo. Gravas aparte la epoksidoj.

epoksido

Epoksido estas tri-membraj ciklaj sistemoj entenantaj du karbonatomojn kaj unu oksigenatomon.

Tiaj ciklaj eteroj estos la stud-objekto de Sekcio 16.12.

Neciklaj eteroj estas multfoje izomeraj rilate al alkoholoj entenantaj la saman nombron de karbonoj. Ekzemple, la etero en kiu ambaŭ R-grupoj estas metiloj estas izomera al etila alkoholo. Ambaŭ havas la molekulan formulon C_2H_6O:



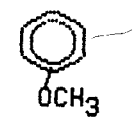
dimetila etero — etanolo

16.10 NOMENKLATURO DE ETEROJ

La nesistemaj nomoj por eteroj kunmetiĝas tiel: oni unue nomas la du hidrokarbonojn alligitajn al la oksigeno kaj tiam aldonas la vorton <u>etero</u>. Se la du hidrokarbonaj grupoj estas identaj, oni kutime ellasas la prefikson <u>di</u>-.

CH_3-O-CH_3	$CH_3CH_2-O-CH_2CH_3$	$CH_3-O-CH_2CH_2CH_3$
dimetila etero (metila etero)	dietila etero (etila etero)	metila <u>n</u>-propila etero

IUPAK-nomojn oni ricevas, nomante grupon -O-R alkoksigrupo. La alkoksi-grupo estas tiam traktita kiel substituanto sur ĉef-molekulo. En nesimplaj eteroj, la alkilo plej malgranda iĝas la alkoksi-grupo.

$CH_3CH_2-O-CH_2CH_3$	$CH_3CH_2\underset{\displaystyle OCH_3}{\underset{\vert}{C}}HCH_3$	$CH_3CH_2-O-CH_2CH_2-O-CH_2CH_3$	
etoksietano	2-metoksibutano	1,2-dietoksietano	metoksibenzeno

16.11 ECOJ DE ETEROJ

La manko de ligo inter oksigeno kaj hidrogeno igas hidrogenan ligiĝon malebla en eteroj. El tio sekvas, ke ili havas punktojn de bolado kaj fandiĝo multe pli malaltajn ol siaj izomeraj alkoholoj. Ekzemple, dimetila etero estas gaso ĉe ĉambra temperaturo, sed etila alkoholo estas likvo.

Eteroj estas nur ete solveblaj en akvo sed ĝenerale tre solveblaj en organikaj solvenzoj. Dietila etero estas eksterkutime bona solvenzo por multaj organikaj kombinaĵoj. Ĝi estas mult-foje uzata por ekstrakti organikajn substancojn el plantoj aŭ aliaj fontoj.

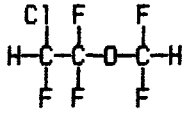
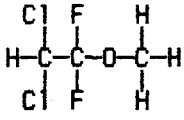
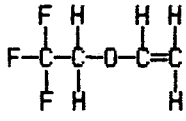
Eterojn kemie karakterizas manko de reakciemo, kio tute similas tion de saturitaj hidrokarbonoj. Tamen, eteroj, simile al la alkanoj, brulas facile en aero kiam ekbruligitaj. Dietila etero, pro ties forta volatileco, estas aparte danĝera tiurilate.

$$CH_3CH_2-O-CH_2CH_3 + 6O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O + \text{energio} \qquad 16\text{-}16$$

Pri multaj eteroj oni trovas, ke ili havas ĝeneralajn anestezajn ecojn. Dietila etero, kiu estas ankaŭ ofte nomata etila etero aŭ simple etero, estas jam uzata ekde 1846 kiel ĝenerala anestezaĵo. Ĝi estas facile dozi kaj kaŭzas bonegan trankviliĝon al la muskoloj. Ĝiaj mankoj estas, ke ĝi kaŭzas iometan spir-kanalan iriton kaj ioman post-anestezan naŭzon.

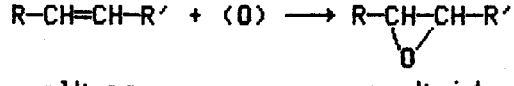
Mult-nombraj aliaj eteroj estas nun ankaŭ uzataj en hospitaloj kiel enspiraj anestezaĵoj. Multe da novaj eteroj estas halogenizitaj molekuloj. Oni trovis, ke la enkonduko de halogenatomoj (elementoj de grupo VIIA) en eterajn molekulojn kaŭzas mult-okaze nebrulemon kaj neeksplodemon. Oni devis esti ekstreme singarda, dozante kelkajn el la fruaj eteroj pro ties brulemo. Tabelo 16-4 informas pri la strukturoj kaj nomoj de kelkaj eteroj nun uzataj kiel enspiraj anestezaĵoj.

Tabelo 16-4. Kelke da oftaj enspiraj anestezaĵoj kiuj estas eteroj

Strukturo	Kemia nomo	Komerca nomo (prononco)
$CH_3-O-CH_2-CH_2-CH_3$	metila propila etero	neotilo
$CH_2=CH-O-CH=CH_2$	divinila etero	vinethene (vinetin)
	1,1,2-trifluor-2-kloretila difluormetila etero	enflurano
	1,1-difluor-2,2-diklor-etila metila etero	metoksiflurano
	2,2,2-trifluoretila vinila etero	Fluoromar

16.12 EPOKSIDOJ

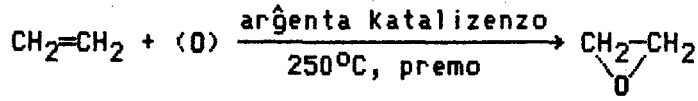
Iuj oksidigantoj povas transformi alkenojn en ciklajn eterojn, kiuj nomiĝas epoksidoj.



16-17

alkeno epoksido

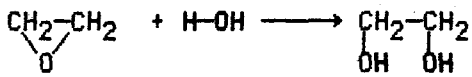
Konsumiĝas en la fabrikado de etilena oksido ĉirkaŭ 30 procentoj de la tuta etileno jare produktata.



16-18

etileno etilena oksido

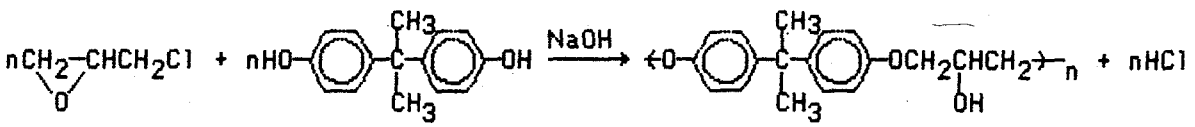
Tiu ĉi kombinaĵo komerce gravas, ĉar ĝi estas tre reakciema kaj povas esti transformita en multajn produktojn utilajn. Ekzemple, etilena oksido reakcias kun akvo, produktante etilenan glikolon, kiu estas ĉefe vendata kiel kontraŭfrostaĵo por aŭtomobiloj.



16-19

etilena oksido etilena glikolo

Epiklorhidrino, alia grava komerca epoksido, estas unu el du krud-materialoj uzataj por fabriki epoksi-rezinojn. La alia estas bisfenolo-A. La produkto estas linia kopolimero (polimero formita el du malsamaj monomeroj).



epiklorhidrino bisfenolo-A epoksi-kopolimero 16-20

Epoksi-rezinoj estas ĉefe uzataj en protektaj tegaĵoj kaj adherenzoj pro ĝia inerteco kaj nekutima kombino de forteco, dureco, kaj flekseblec o. Kelkaj el ni konatiĝas kun epoksi-rezinoj forme de du-komponaj adherenzoj en kiuj la komponantoj estas miksitaj ĵus antaŭ uzado.

16.13 TIOLOJ KAJ DISULFIDOJ

Multaj organikaj kombinaĵoj entenantaj oksigenon havas sulfur-analogojn, kombinaĵojn en kiuj sulfuratomo anstataŭas oksigenatomon. Oni ne miru pro tio, ke tia anstataŭado povas okazi, ĉar sulfuro estas senpere sub oksigeno en la sama grupo kiel ĝi en la perioda tabelo kaj tiel la du elementoj posedas similajn elektronajn konfiguraciojn (Sekcio 5.5).

tiolo; sulfhidrila grupo

Tioloj estas sulfur-analogoj de alkoholoj. Tiaj kombinaĵoj entenas grupon -SH anstataŭ grupo -OH. La grupo -SH konatiĝas kiel sulfhidrila grupo, aŭ sulfhidrilo.

R–OH	R–SH
alkoholo	tiolo

Laŭ la IUPAK-sistemo, oni nomas tiolojn tiel same, kiel alkoholojn, krom ke la sufikso -ol- fariĝas -tiol-. La prefikso tio- indikas la substituon de sulfuratomo al oksigenatomo en kombinaĵo. La sekvanta komparo montras la similecojn pri la nomado de tiuj ĉi du tipoj de kombinaĵoj.



3-pentanolo 3-pentantiolo

Pli malnova nomo por tioloj, ankoraŭ plurfoje renkontata, estas merkaptanoj. Nesistemaj nomoj estas foje bazataj sur tiu eks-nomenklaturo.

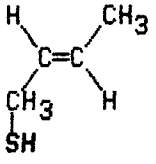


1-propantiolo (n-propila merkaptano)

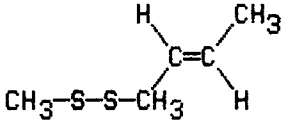
2-propantiolo (izopropila merkaptano)

Tioloj estas pli volatilaj (havas bolpunktojn pli malaltajn) ol siaj analogaj alkoholoj kaj estas ankaŭ multe malpli solveblaj en akvo. Tiuj diferencoj en ecoj rilatas al tio, ke sulfuro estas malpli elektronegativa ol oksigeno (Sekcio 6.7). Pro tiu pli malalta elektronegativeco, sulfuro ne povas formi fortajn hidrogenligojn, kontraste al oksigeno.

Kemia eco de tioloj plej grava estas ties konduto al mildaj oksidigantoj.

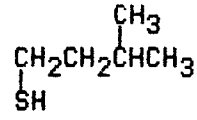


trans-2-buten-1-tiolo



metil-1-(trans-2-butenil)-disulfido





3-metil-1-butantiolo (izopentila merkaptano)

Bildo 16-3. La odoro de mefitoj

Tabelo 16-5. Kelke da naturaj tioloj kaj disulfidoj

Gusto aŭ odoro de...	Strukturoj de koncernaj kombinaĵoj
Cepoj freŝe hakitaj	$CH_3-CH_2-CH_2-SH$
Ajlo	$CH_2=CH-\underset{\displaystyle SH}{\underset{\vert}{CH_2}}$ kaj $CH_2=CH-CH_2-S-S-CH_2-CH=CH_2$
Ostroj	CH_3-SH

disulfido

Kiam tioloj oksidiĝas, okazas kunliga reakcio (du molekuloj iĝas unu). Formiĝas disulfido, kombinaĵo entenanta ligon -S-S-.

$$2\ R-SH + (O) \longrightarrow \underset{\text{disulfido}}{R-S-S-R} + H_2O \qquad 16\text{-}21$$

Disulfidaj ligoj estas gravaj strukturaj trajtoj de kelkaj proteinoj

(Sekcio 22.7). Oni povas inversigi la kunligan (kuplan) reakcion, traktante disulfidojn per milda reduktanto, kiu regeneras la tiolon.

Tioloj reakcias kun tiaj pezaj metal-jonoj, kiel plumbo kaj hidrargo, formante nesolveblajn kombinaĵojn. Tiu ĉi reakcio gravas biologie. La metalaj jonoj interagas kun sulfhidriloj laŭ la sekvanta vojo:

$$2\ R{-}SH + M^{2+} \longrightarrow R{-}S{-}M{-}S{-}R + 2\ H^{+} \qquad 16\text{-}22$$

Specifa reakcio estas:

$$2\ CH_3{-}SH + Hg^{2+} \longrightarrow CH_3{-}S{-}Hg{-}S{-}CH_3 + 2\ H^{+} \qquad 16\text{-}23$$

Multaj enzimoj (katalizenzoj por biologiaj reakcioj -- Sekcio 23.1) entenas la grupon -SH. Elmetado al pezaj metal-jonoj fiksas tiujn grupojn, per reakcio 16-22, malaktivigante la enzimon. Perdo de enzima aktiveco estigas seriozajn sekvojn biologiajn (Sekcio 23.6).

Studo pri tioloj kaj disulfidoj, eĉ mallonga, estus nekompleta sen mencii ties plej karakterizan fizikan econ -- odoron. Pri du tioloj kaj disulfidoj estas konate, ke ili respondecas por la odoro asociita kun mefitoj (v. Bildon 16-3).

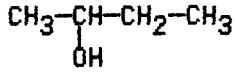
Kelkaj ne tiom malplaĉaj odoroj (kaj gustoj) ankaŭ karakterizas tiolojn kaj disulfidojn. Cepoj freŝe hakitaj, ajlo, kaj ostroj ĉiuj ŝuldas siajn gustojn aŭ odorojn al tiuj sulfur-entenaj kombinaĵoj. Pri la specifaj koncernaj kombinaĵoj informas Tabelo 16-5.

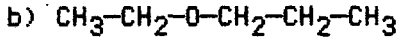
Tioloj ankaŭ kontribuas al la odoro de tergaso. Tioloj estas intence aldonataj al la gaso dum la fabrikado por tio, ke ĝi povu esti flarita kaj likoj estu trovitaj. Prilaborita tergaso, antaŭ la aldono de tiolo, estas senodora.

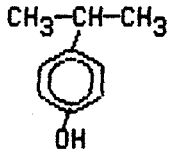
EKZERCOJ

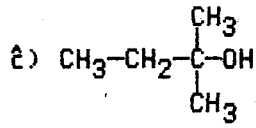
Identigo de Funkciaj Grupoj

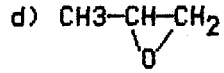
1. Klasu la sekvantajn kombinaĵojn laŭ alkoholo, fenolo, etero, epoksido, aŭ tiolo:

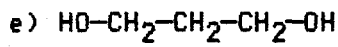
a) 

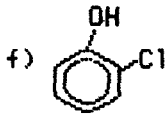
b) 

c) 

ĉ) 

d) 

e) 

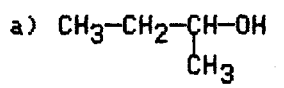
f) 

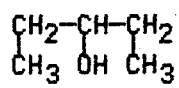
2. Klarigu la strukturajn diferencojn inter la sekvantaj tipoj de kombinaĵoj:

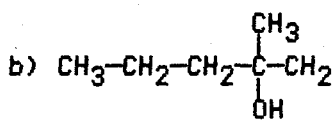
   a) epoksidoj kaj aliaj eteroj
   b) fenoloj kaj alkoholoj
   c) alkoholoj kaj tioloj

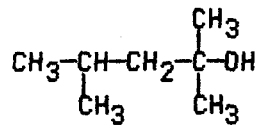
Nomenklaturo de Alkoholoj

3. Alskribu nomojn laŭ IUPAK al la sekvantaj alkoholoj:

a) 

c) 

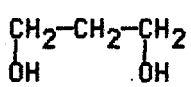
b) 

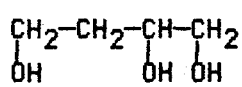
ĉ) 

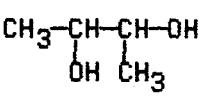
4. Skribu strukturajn formulojn por la sekvantaj alkoholoj:

   a) 4-metil-2-pentanolo
   b) 2,4,4-trimetil-2-heptanolo
   c) izopropila alkoholo
   ĉ) n-propila alkoholo
   d) cikloheksanolo
   e) 2-klor-4-izopropilcikloheksanolo

5. Donu nomojn laŭ IUPAK al la sekvantaj polihidroksilaj alkoholoj:

a) 

b) 

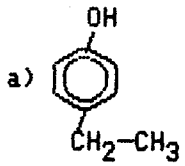
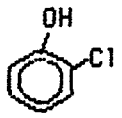
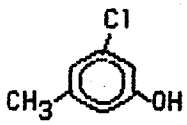
c) 

6. Desegnu strukturajn formulojn, kaj tiam klarigu kial ĉiu el la sekvantaj nomoj estas malĝusta. Alskribu ĝustan IUPAK-nomon al ĉiu kombinaĵo.

   a) 2-etil-1-propanolo.
   b) 3-metil-3-butanolo
   c) 4,5-diklorcikloheksanolo
   ĉ) 2,3-propandiolo

Nomenklaturo de Fenoloj

7. Nomu la sekvantajn kombinaĵojn kiel derivaĵojn de fenolo:

a) 
b) 
c) 
ĉ) 

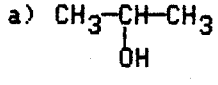
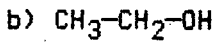
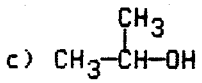
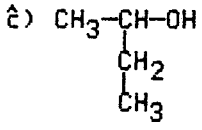
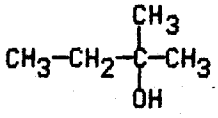
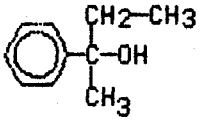
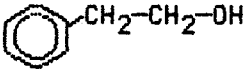
8. Skribu strukturajn formulojn por jenaj fenoloj:

   a) p-klorfenolo
   b) 4-metilfenolo
   c) m-krezolo
   ĉ) rezorcinolo

9. La fenolaj kombinaĵoj katekolo, rezorcinolo, kaj hidrokinono strukture estas tre similaj. Priskribu la similaĵojn.

Klasifikoj de Alkoholoj

10. Klasu la sekvantajn alkoholojn laŭ primara, sekundara, aŭ terciara:

a) 
b) 
c) 
ĉ) 
d) 
e) 
f) 

Izomereco (Alkoholoj kaj Fenoloj)

11. Desegnu strukturajn formulojn por ĉiuj alifataj alkoholoj kiuj estas eblaj kun la molekula formulo C_4H_9OH. Nomu kaj klasu ĉiun kombinaĵon en primaran, sekundaran, aŭ terciaran.

12. Desegnu strukturajn formulojn por ĉiuj fenoloj kiuj estas eblaj kun la molekula formulo C_8H_9OH. Nomu ĉiun kombinaĵon.

Hidrogena Ligiĝo kaj Solveblo (Alkoholoj kaj Fenoloj)

13. Montru kiel hidrogenaj ligoj formiĝas inter jenaj:

   a) 1-propanolo kaj akvo
   b) 1-propanolo kaj 1-propanolo

14. Elektu la anon de ĉiu el la sekvantaj paroj pri kiu vi supozas, ke ĝi estas pli solvebla en akvo. Klarigu resume vian elekton en ĉiu kazo:

   a) butano kaj 2-butanolo
   b) 2-propanolo kaj 2-pentanolo
   c) 2-butanolo kaj 2,3-butandiolo

15. Klarigu kial la bolpunktoj de alkoholoj estas multe pli altaj ol tiuj de fenoloj kun similaj molekulaj masoj.

Reakcioj de Alkoholoj kaj Fenoloj

16. Kompletigu la sekvantajn reakciojn:

a) $CH_3CH_2OH \xrightarrow[180^oC]{H_2SO_4} ? + H_2O$

b) $? \xrightarrow[140^oC]{H_2SO_4} CH_3CH_2CH_2{-}O{-}CH_2CH_2CH_3 + H_2O$

c) $CH_3CH_2OH + (O) \longrightarrow ? + H_2O$

ĉ) $? + (O) \longrightarrow CH_3CH_2{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}CH_3 + H_2O$

17. Kiuj produktoj rezultos el la sekvantaj procedoj? Skribu reakcion por prezenti ĉiun procedon.

a) 2-metil-2-butanolo estas submetita al regita oksidigo
b) 1-propanolo estas varmigita al 140°C en ĉeesto de sulfata acido
c) 3-pentanolo estas submetita al regita oksidigo
ĉ) 3-pentanolo estas varmigita al 180°C en ĉeesto de sulfata acido
d) 1-heksanolo estas submetita al regita oksidigo

18. Ekzistas tri izomeraj pentanoloj. Kiu el ili, kiam deshidratigita, donos nur 2-pentenon? Kiu pentanolo donos nun 1-pentenon?

19. Miksaĵo de etanolo kaj 1-propanolo estas varmigita ĝis 140°C en ĉeesto de sulfata acido. Zorga analizo montras, ke formiĝas tri eteroj. Skribu formulojn por tiuj tri produktoj, nomu ĉiun, kaj klarigu kial ili formiĝas prefere al unusola produkto.

Uzado de Alkoholoj kaj Fenoloj

20. Surpaperigu almenaŭ unu gravan uzo por ĉiu el la sekvantaj alkoholoj:

a) metanolo
b) etanolo
c) 2-propanolo
ĉ) 1,2-etandiolo
d) 1,2,3-propantriolo

21. Surpaperigu alkoholon aŭ fenolon kiu estas uzata laŭ ĉiu el la sekvantaj manieroj:

a) krud-materialo por fabriki eksplodaĵojn
b) humidiganto en multaj kosmetikoj
c) solvenzo en solvaĵoj nomataj tinkturoj
ĉ) aŭtomobila kontraŭfrostaĵo
d) ligna konservenzo
e) desinfektenzo uzata en hospitaloj

22. Kion signifas la sekvantaj terminoj?

a) grena alkoholo
b) ligna alkoholo
c) denaturita alkoholo
ĉ) absoluta alkoholo
d) masaĝa alkoholo
e) trinka alkoholo

Nomenklaturo kaj Tipoj de Eteroj

23. Asignu nesisteman nomon kaj IUPAK-nomon al ĉiu el la sekvantaj eteroj:

a) $CH_3-O-CH_2-CH_3$ c) $CH_3-O-C_6H_5$

b) $CH_3-CH_2-CH_2-O-CH_2-CH_3$ ĉ) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-O-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

24. Indiku ĉu ĉiu el la eteroj de Ekzerco 23 estas simpla aŭ nesimpla etero.

Izomereco (Eteroj)

25. Desegnu strukturajn formulojn por la ses eblaj izomeraj eteroj kiuj akordas al la molekula formulo $C_5H_{12}O$.

26. Desegnu la strukturan formulon de alkoholo kiu estas izomera al ĉiu el la sekvantaj eteroj:

a) $CH_3-O-CH_2-CH_3$ b) $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$

Uzoj de Eteroj kaj Epoksidoj

27. Donu eteron aŭ epoksidon kiu estas jene uzata:

a) bona solvenzo por organikaj kombinaĵoj
b) anestezaĵo
c) krud-materialo uzata por fabriki kontraŭfrostaĵon
ĉ) komponanto de protektaj tegaĵoj kaj adherenzoj

Tioloj kaj Disulfidoj

28. Klarigu la strukturajn diferencojn inter la sekvantaj tipoj de kombinaĵoj.

a) tioloj kaj disulfidoj
b) disulfidoj kaj eteroj
c) tioloj kaj tioalkoholoj

29. Kio estas sulfhidrilo?

30. Skribu formulojn por la produktoj de la sekvantaj reakcioj:

a) $2\ CH_3\underset{\displaystyle SH}{\underset{|}{C}}HCH_3 + Hg^{2+} \longrightarrow$

b) $2\ CH_3CH_2-SH + (O) \longrightarrow$

c) $CH_3CH_2-S-S-CH_2CH_3$ + milda reduktanto $\longrightarrow$

31. Kaj alkoholoj kaj tioloj povas esti oksidigitaj laŭ regita vojo. Informu pri la diferencoj de la rezultantaj produktoj.

17 ALDEHIDOJ KAJ KETONOJ

CELOJ

17.1 Scii la strukturajn diferencojn inter aldehidoj kaj ketonoj.

17.2 Nomi aldehidojn kaj ketonojn laŭ IUPAK.

17.3 Koni la ĝeneralajn fizikajn ecojn kaj uzojn de aldehidoj kaj ketonoj.

17.4 Skribi ekvaciojn por la preparo de aldehidoj kaj ketonoj.

17.5 Skribi ekvaciojn por la hidrogenizo de aldehidoj kaj ketonoj.

17.6 Scii la strukturajn trajtojn de hemi-acetaloj kaj acetaloj. Scii kiel oni preparas hemi-acetalojn kaj acetalojn.

17.7 Priskribi la klinikajn aplikojn por la oksidigo de aldehidoj. Distingi inter la reagenzoj de Tollens, Benedict, kaj Fehling.

La karakteriza funkcia grupo de aldehidoj kaj ketonoj estas la karbonilo.

Karbonilo

Karbonilo konsistas el karbonatomo ligita al oksigenatomo per duobla ligo.

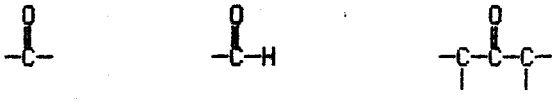
Aldehidoj kaj ketonoj troviĝas vaste en la naturo, kaj multaj ludas gravajn rolojn en vivantaj organismoj. Aldone, iuj kombinaĵoj de ambaŭ tipoj estas ege utilaj en la fabrikado de materialoj, kiujn oni konsideras nemalhaveblaj por moderna mondo.

17.1 LA STRUKTURO DE ALDEHIDOJ KAJ KETONOJ

aldehido; ketono

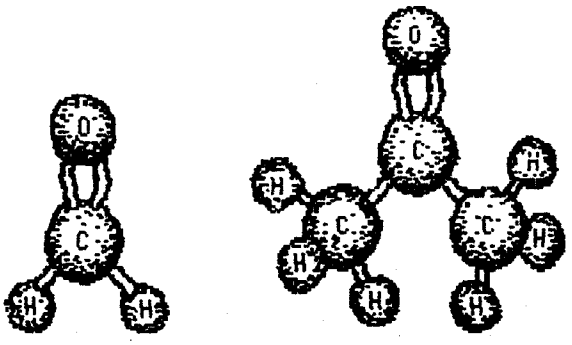
Kiam karbonilo estas senpere ligita kun almenaŭ unu hidrogenatomo, la kombinaĵo estas aldehido. En ketonoj, du karbonatomoj estas senpere ligitaj al la karbonilo.

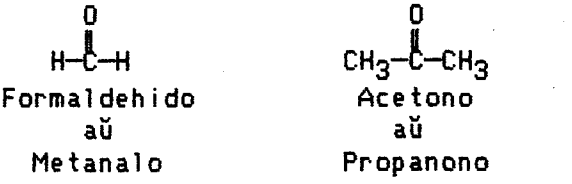
Kiel vi vidos, tiu struktura diferenco transdonas signifajn kemiajn diferencojn al aldehidoj kaj ketonoj.



karbonilo aldehido ketono

La plej simpla aldehido estas formaldehido (IUPAK: metanalo), kaj la plej simpla ketono estas acetono (IUPAK: propanono). Ili estas montritaj en Bildo 17-1. Ekzistas ankaŭ ciklaj ketonoj, en kiuj la karbonilo estas parto de la ringo. Ne eblas ciklaj aldehidoj.



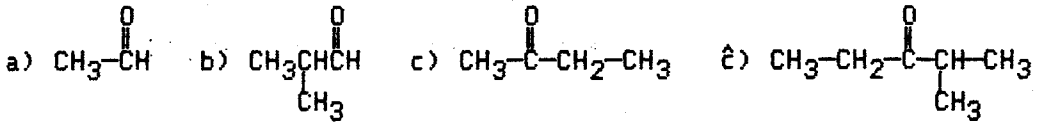


Bildo 17-1. *Globostangaj modeloj de formaldehido kaj acetono*

17.2 NOMENKLATURO DE ALDEHIDOJ KAJ KETONOJ

Laŭ la IUPAK-sistemo, aldehidojn oni nomas per la sufikso -al-, kiu estas aldonita al tiu hidrokarbono, kiu havas la saman nombron da karbonatomoj. Ketonojn oni simile nomas, sed la sufikso estas -on-. La pozicion de la karbonilo indikas la numero de la karbonila karbonatomo laŭ ties pozicio en la karbonĉeno. La ĉen-numeradon oni efektivigas ekde tiu fino, kiu donas la numeron plej malaltan por la karbonilo.

Ekzemplo 17-1. Nomu la sekvantajn aldehidojn kaj ketonojn laŭ la IUPAK-sistemo:



Solvo. a) Tiu ĉi aldehido entenas 2 karbonatomojn kaj neniujn alligitajn grupojn. Tial, la nomo estas etanalo. Ĝi estas ankaŭ konata laŭ la *nesistema nomo acetaldehido.*

b) La ĉeno entenanta la karbonilon havas 3 karbonatomojn. Al karbona numero 2 estas alligita metilo (ĉen-numerado komenciĝas ĉe la karbonila karbono). La nomo estas 2-metilpropanalo.

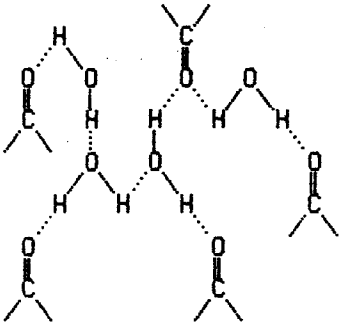
c) La ĉeno de ĉi tiu ketono entenas 4 karbonatomojn, kaj la karbonila karbono estas numero 2. La nomo estas 2-butanono.

ĉ) La karbonila karbonatomo de tiu ĉi ketono estas parto de kvinkarbona ĉeno. La karbonila karbonatomo estas numero 3, kaj metilo estas alligita al numero 2. La nomo estas 2-metil-3-pentanono.

Kelkaj aldehidoj kaj ketonoj estas konataj laŭ ties nesistemaj nomoj: formaldehido, acetaldehido, acetono, ktp. Por ŝpari spacon, la aldehida funkcia grupo estas ofte skribata -CHO, kiel en etanalo, CH_3CHO.

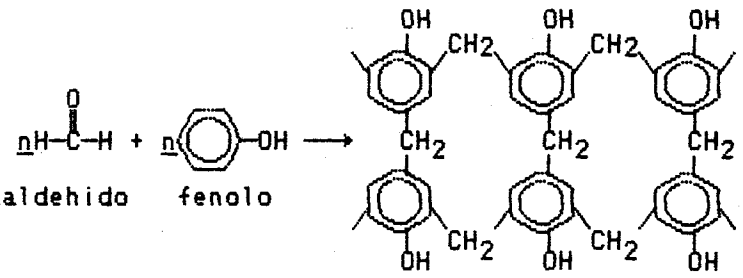
17.3 ECOJ KAJ UZOJ DE ALDEHIDOJ KAJ KETONOJ

La hidrogen-manko en la karbonilo malebligas al aldehidoj kaj ketonoj formi hidrogenligojn inter molekuloj. Tial, la puraj kombinaĵoj havas bolpunktojn pli malaltajn ol la respondaj alkoholoj. La karbonila oksigeno, tamen, ja formas hidrogenligojn kun akvo. El tio sekvas, ke molekulmase malaltaj aldehidoj kaj ketonoj estas akve solveblaj. Tiun hidrogenligiĝon prezentas Bildo 17-2.



Bildo 17-2. Hidrogen-ligiĝo inter akvo-molekuloj kaj la karbonila oksigeno

Formaldehido, senkolora gaso kun odoro akre irita, estas ofte uzata en 40-procenta solvaĵo nomata formalino. Oni uzas tiun solvaĵon por sterilizi kirurgilojn, malmoligi kaj konservi biologiajn specimenojn, kaj kiel enbalzamigan fluidon. Formaldehido estas industrie reakciigata kun fenolo por produkti bakeliton, polimeron duran kaj fortikan. Tiu ĉi havas multajn aplikojn, inkluzive de tablaj supraĵoj, murpaneloj, elektra izolaĵo, ansoj, butonoj, kaj manĝilaro.



formaldehido fenolo strukturo de bakelita polimero

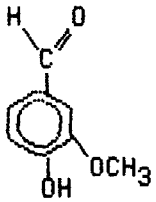
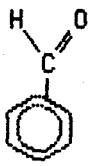
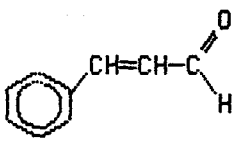
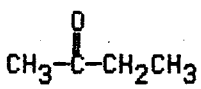
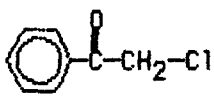
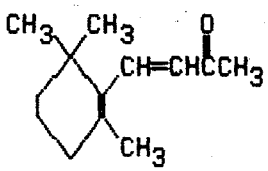
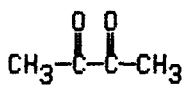
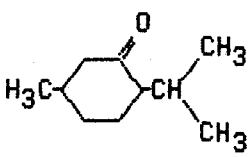
17-1

Se oni juĝas laŭ uzata kvanto, gravas precipe acetono el la ketonoj. Super 500.000 tunoj estas jare uzataj en Usono. Ĝi estas aparte utila kiel

solvenzo ĉar ĝi solvas la plejmulton da organikaj kombinaĵoj, kaj tamen ĝi estas miksebla kun akvo. Oni amplekse uzas ĝin kiel solvenzon por tegaĵoj, kiuj varias de ungolako ĝis eksteraj emajlofarboj.

Nombro da interesaj kaj utilaj aldehidoj kaj ketonoj estas registritaj en Tabelo 17-1.

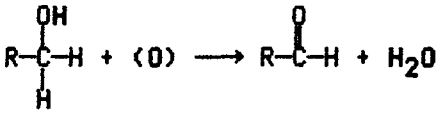
Tabelo 17-1. Kelke da utilaj aldehidoj kaj ketonoj

Struktura formulo	Nomo	Karakterizaĵoj kaj tipaj uzoj
Aldehidoj		
	vanilino	vanila gustigo
	benzaldehido	migdala gustigo
	cinamaldehido	cinama gustigo
Ketonoj		
	2-butanono	uzata kiel solvenzo kaj en ungolaka forpreno
	kloracetofenono	larmiganto; uzata kiel larmiga gaso
	β-ionono	substanco respondeca por la odoro de violoj
	biacetalo	ĉefa ingredienco en la gustigo de margarino
	mentono	substanco trovita en mentaj folioj

17.4 PREPARO DE ALDEHIDOJ KAJ KETONOJ

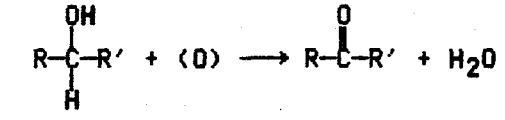
En Sekcio 16.5 ni vidis ke aldehidoj kaj ketonoj estas produkteblaj per la

oksidigo de primaraj kaj sekundaraj alkoholoj.



17-2

primara alkoholo — aldehido



17-3

sekundara alkoholo — ketono

Tiuj ĉi reakcioj estas ofte uzataj por prepari aldehidojn kaj ketonojn. Tamen, oni devas zorge klopodi tiel, ke iuj ajn preparitaj aldehidoj estu forprenataj el la reakcia miksaĵo por malebligi al ili oksidiĝi plue ĝis karboksilaj acidoj (Sekcio 17.7). Por forpreni aldehidojn, oni kutime varmigas la reakcian miksaĵon ĝis temperaturo ete pli malalta ol la bolpunkto de la alkoholo. La aldehido, pro ties pli malalta bolpunkto, tiam vaporiĝas kaj eliras el la miksaĵo tuj post ĝia formiĝo. La aldehidon oni tiam kondensas kaj kolektas.

Ekzemplo 17-2. Antaŭdiru la produkton kiu formiĝos kiam la donitaj alkoholoj estas oksidigitaj. Skribu ekvacion por ilustri ĉiun reakcion.

a) CH_3CH_2-OH b) $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$ c) $CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_2-OH$

Solvo.

a) La alkoholo, etanolo, estas primara alkoholo, kaj fariĝas aldehido post la oksidigo.

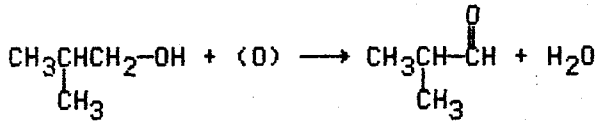
$$CH_3CH_2-OH + (O) \longrightarrow CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}H + H_2O$$

La produkto estas acetaldehido, aŭ etanalo.

b) La sekundara alkoholo liveros ketonon. La produkto estas 2-butanono.

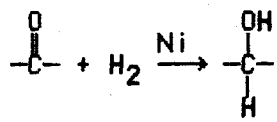
$$CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}H-CH_2-CH_3 + (O) \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2CH_3 + H_2O$$

c) Tiu ĉi substituita primara alkoholo liveras substituitan aldehidon. La produkto estas 2-metilpropanalo.



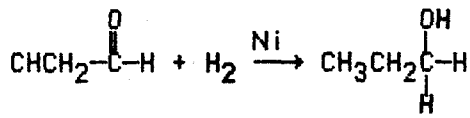
17.5 ADICIO DE HIDROGENO

Oni povas adicii iujn reagenzojn al la karbon-oksigena duobla ligo de aldehidoj kaj ketonoj. Hidrogeno, H_2, estas adiciebla al la karbonila duobla ligo plejparte tiel same, kiel ĝi adiciiĝas al la duobla ligo de alkenoj. Bezonataj estas tiaj metalaj katalizenzoj, kiel nikelo, paladio, aŭ plateno. Hidrogena adicio estas grava reakcio en vivantaj sistemoj. En tiaj sistemoj, tamen, la katalizenzoj estas enzimoj kaj la hidrogeno ne estas gasa H_2, sed fontas el redukta molekulo kiu disponigas hidrogenon. La ĝenerala reakcio estas:



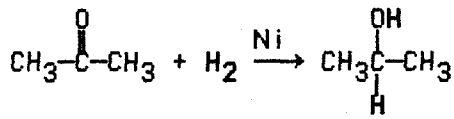
17-4

Kelkaj specifaj ekzemploj estas:



17-5

propanalo 1-propanolo

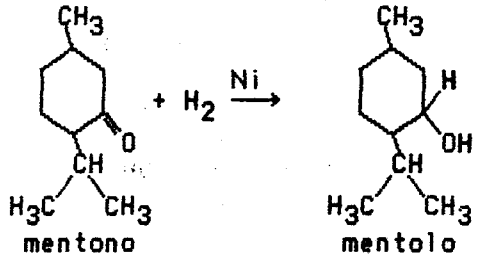


17-6

2-propanono 2-propanolo

La adicio de hidrogeno al aldehido rezultigas ĝenerale primaran alkoholon, dum adicio al ketono donas sekundaran alkoholon. Atentu ke tiuj reakcioj estas reduktoj, kiuj estas esence la inversaj de la alkoholaj oksidigoj uzataj por prepari aldehidojn kaj ketonojn (reakcioj 17-2 kaj 17-3).

Pli malsimpla ekzemplo estas la hidrogenizo de mentono al mentolo. Ambaŭ kombinaĵoj estas troveblaj en la aroma kaj gustoriĉa oleo, kiun produktas *mentaj plantoj*.



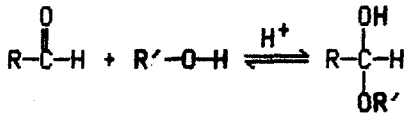
17-7

17.6 ADICIO DE ALKOHOLOJ

En ĉeesto de acida katalizo, la reakcio de alkoholoj kun aldehidoj formas hemiacetalojn.

hemiacetalo

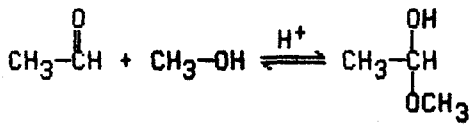
Hemiacetaloj entenas grupon -OH kaj grupon -OR alligitajn al la sama karbonatomo.



17-8

aldehido alkoholo hemiacetalo

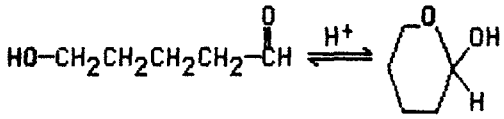
Specifa ekzemplo estas:



17-9

Tiu adicia reakcio kondukanta al hemiacetala formiĝo estas senĝene inversigebla, kaj karakterizaĵo de hemiacetaloj estas, ke per facila disiĝo ili naskas aldehidon kaj alkoholon. Pro tiu ĉi kialo, hemiacetalojn oni kelkfoje nomas eventualaj aldehidoj.

Kelkaj molekuloj entenas kaj alkoholan kaj aldehidan grupon. En tiaj kazoj, povas okazi intramolekula reakcio, per kiu estiĝas cikla hemiacetalo:



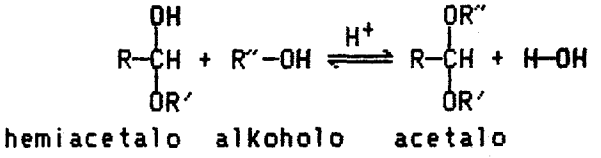
17-10

Ciklaj hemiacetaloj kiuj konsistas el kvin- aŭ ses-membraj ringoj estas multe pli stabilaj ol liniaj hemiacetaloj. Multaj sukeroj ekzistas precipe en la formo de ciklaj hemiacetaloj (vidu Ĉapitron 20).

La greka prefikso hemi- signifas duonon. Hemiacetalo do estas duono de acetalo. La reakcio de dua alkohola molekulo kun hemiacetalo kompletigas la formiĝon de acetalo.

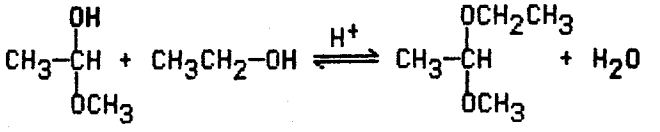
acetalo

Acetaloj entenas du grupojn -OR alligitajn al la sama karbonatomo.

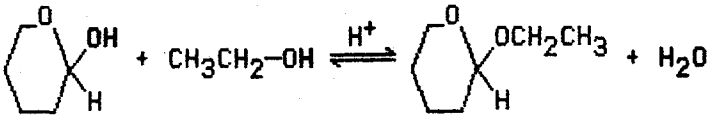


hemiacetalo alkoholo acetalo 17-11

Pluraj specifaj ekzemploj estas:



17-12

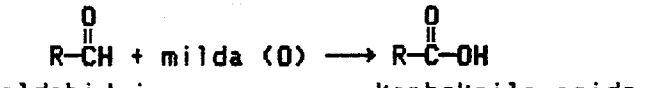


17-13

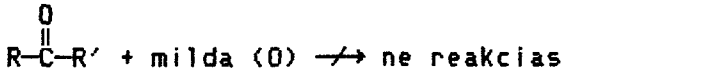
Acetaloj estas stabilaj en bazaj solvaĵoj, sed emas reakcii kun akvo (hidrolizo) en acida medio. La produktoj de tiu reakcio estas la aldehido kaj alkoholoj kiuj origine reakciis, formante la acetalon. La enzim-katalizita hidrolizo de acetalaj ligoj estas kerna procezo dum la digestiĝo de sakaridoj (vidu Ĉapitron 25).

17.7 OKSIDIGAJ REAKCIOJ

La formiĝo de hemiacetaloj kaj acetaloj akcentas kemian diferencon inter aldehidoj kaj ketonoj. Reliefas alia diferenco kiam ni provas oksidigi karbonilajn kombinaĵojn per mildaj oksidigantoj. Sub tiaj kondiĉoj, aldehidoj facile oksidiĝas ĝis karboksilaj acidoj (la temo de Ĉapitro 18), dum ketonoj ĝenerale restas neŝanĝitaj.

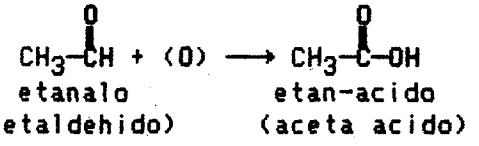


aldehidoj karboksila acido 17-14



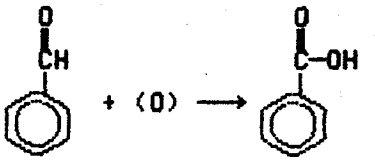
ketono 17-15

Du specifaj ekzemploj estas:



etanalo (acetaldehido) — etan-acido (aceta acido)

17-16



benzaldehido — benzoa acido

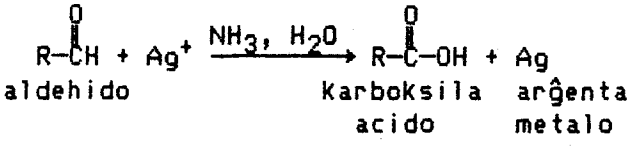
17-17

Mildaj oksidigantoj povas do esti uzataj por distingi inter aldehidoj kaj ketonoj. Oni uzas tri tipojn de solvaĵoj ĝuste por tiu celo: la reagenzojn de Tollens, Benedict /benedikt/, kaj Fehling /feling/.

<u>la reagenzo de Tollens</u>

La reagenzo de Tollens estas milda oksidiganto komponita el solvaĵo de arĝenta nitrato en dilua akva amoniako.

La aktiva oksidiganto estas arĝenta jono, kiu reduktiĝas ĝis metala arĝento dum la procedo. Ĉiuj aldehidoj reakcios kun la Ag^+, sed ketonoj ne reakcios:



aldehido — karboksila acido — arĝenta metalo

17-18

Kiam la reakcio estas realigita en pura, sengrasa vitra ujo, la metala arĝento deponiĝas sur la vitron kaj formas spegulon. Oni komence uzadas tiun reakcion por arĝentizi kelkajn spegulojn. Se la arĝenta spegulo ne estas pura, la arĝento apartiĝas kiel griza precipitaĵo subtile diserigita.

<u>la reagenzoj de Benedict kaj Fehling</u>

La reagenzoj de Benedict kaj Fehling estas mildaj oksidigantoj komponitaj el alkala solvaĵo de jonoj Cu^{2+}.

Tiuj solvajoj indikas la ĉeeston de aldehido kiam la jonoj Cu^{2+} reduktiĝas ĝis nesolvebla Cu_2O (precipitaĵo brik-ruĝa). La diferenco inter la du reagenzoj estas en la identeco de la stabiliganto. En alkalaj solvaĵoj, jono Cu^{2+} ordinare elprecipitiĝas kiel nesolvebla kupra dihidroksido, $Cu(OH)_2$; tion oni malebligas per la aldono de la citrata jono (en la reagenzo de Benedict) aŭ tartrata jono (en tiu de Fehling). El la du, la solvaĵo de Benedict estas pli ofte uzata, ĉar oni povas ĝin stoki longatempe. Antaŭ la aldono de aldehido, ambaŭ reagenzoj estas hel-bluaj

pro la ĉeesto de la jono Cu^{2+}.

Ambaŭ estas vaste uzataj por serĉi la ĉeeston de la sangosukero glukozo (Sekcio 20.2), kiu entenas aldehidan grupon, en urino. Normala urino ne enhavas glukozon. Tamen, iuj statoj aŭ malsanoj (tiaj, kiel diabeto) aperigas ĝin en urino, kaj ĝia rapida malkaŝo estas utila diagnozilo. Pozitivaj rezultoj el tia provo okazigas koloran ŝanĝiĝon kiu etendiĝas de flav-verda (0,25% glukozo) al flav-oranĝa (1% glukozo) ĝis brikruĝa (2% glukozo).

EKZERCOJ

Karboniloj

1. Kiuj el la sekvantaj kombinaĵoj entenas karbonilon?

a) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

b) $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_3$

c) $CH_3-CH_2-O-CH_3$

ĉ) $CH_3-CH_2-CH_2-OH$

d) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$

e) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$

f) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH_2$

2. Kiuj el la karbonil-entenaj kombinaĵoj de Ekzerco 1 povas esti ĝuste klasitaj sub la aldehidoj? Kiuj sub ketonoj?

Nomenklaturo de Aldehidoj kaj Ketonoj

3. Alskribu IUPAK-akcepteblajn nomojn al la sekvantaj aldehidoj kaj ketonoj:

a) $CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

b) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$

c) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

ĉ) $CH_3-CH_2-\underset{\underset{C_6H_5}{|}}{CH}-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

d) $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

e) 

4. Desegnu strukturajn formulojn por figuri la sekvantajn kombinaĵojn:

a) metanalo
b) 3-etil-2-pentanono

ç) 3-metilcikloheksanono
ĉ) 2,4,6-trimetilheptanalo
d) acetono (nesistema nomo)
e) formaldehido (nesistema nomo)

5. Klarigu kial la nomo ciklobutanalo neniam rajtas esti ĝuste atribuita al kombinaĵo.

Ecoj de Aldehidoj Kaj Ketonoj

6. Kial hidrogenligiĝo ne okazas inter molekuloj de aldehidoj aŭ ketonoj?
7. Kaj aldehidoj kaj ketonoj molekul-mase malaltaj estas solveblaj en akvo pro hidrogenligiĝo. Desegnu skizon montrantan la koncernajn interagojn inter akvo kaj acetono.

Uzoj de Aldehidoj Kaj Ketonoj

8. Kiu aldehido estas uzata kiel konservanto, steriliza solvaĵo, kaj kiel komponanto de grava polimero?
9. Identigu kaj desegnu strukturajn formulojn por tri aldehidoj uzataj por gustigi.
10. Identigu kaj desegnu strukturajn formulojn por du ketonoj kiuj estas uzataj kiel solvenzoj.

Preparo de Aldehidoj Kaj Ketonoj

11. Identigu la tipon de kombinaĵo formita en ĉiu el la sekvantaj oksidigaj reakcioj, kaj enmetu la produkton mankantan.

a) $CH_3-CH_2-CH_2-OH + (O) \longrightarrow ? + H_2O$

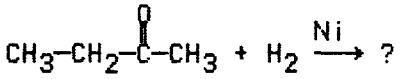
b) $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3 + (O) \longrightarrow ? + H_2O$

c) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_2-OH + (O) \longrightarrow ? + H_2O$

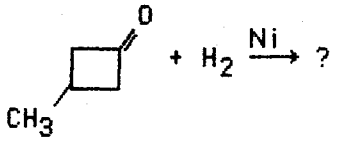
ĉ) $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3 + (O) \longrightarrow ? + H_2O$

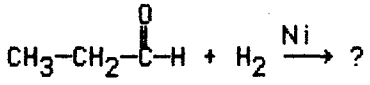
Hidrogenizaj Reakcioj de Aldehidoj Kaj Ketonoj

12. Kompletigu jenajn reakciojn:

a) 

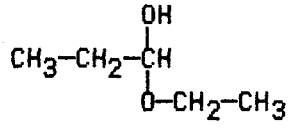
b) 

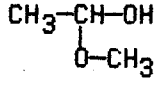
c) 

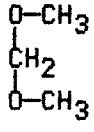
ĉ) 

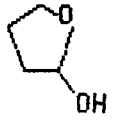
Hemiacetaloj kaj Acetaloj

13. Identigu la sekvantajn kombinaĵojn kiel hemiacetalojn, acetalojn, aŭ neniujn el la du.

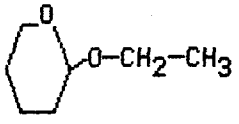
a) 

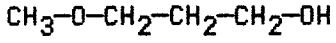
b) 

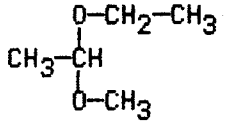
c) 

ĉ) 

d) 

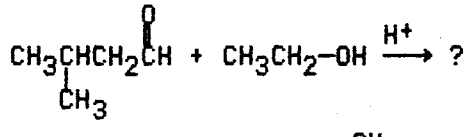
e) 

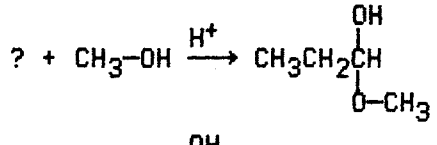
f) 

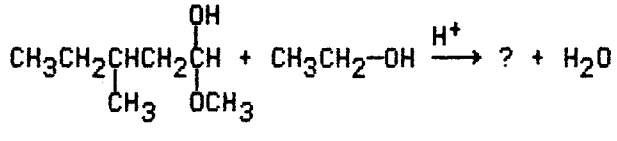
g) 

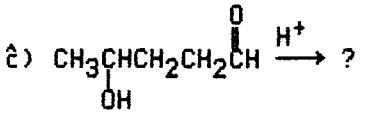
ĝ) 

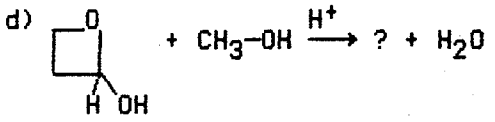
14. Kompletigu la sekvantajn reakciojn. Hemiacetalo aŭ acetalo estas parto de ĉiu reakcio.

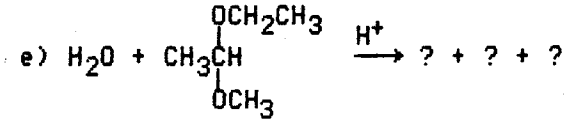
a) 

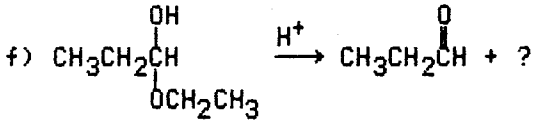
b) 

c) 

ĉ) 

d) 

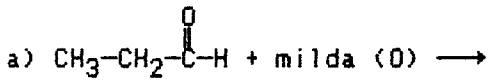
e) 

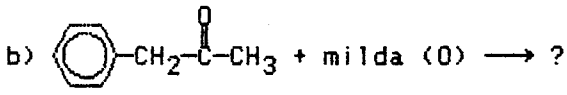
f) 

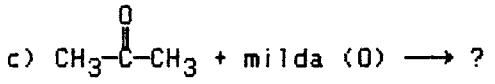
15. Klarigu kial oni nomas hemiacetalojn eventualaj aldehidoj.

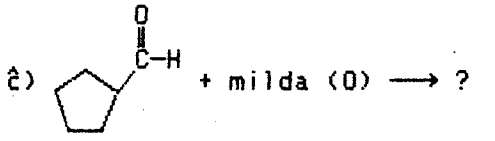
<u>Oksidigo de Aldehidoj kaj Ketonoj</u>

16. Identigu la tipon de kombinaĵo formita en ĉiu el la sekvantaj oksidigaj reakcioj, kaj kompletigu ĉiun reakcion. Se neniu reakcio estas atendita inter la reakciantoj, skribu N.R.

a) 

b) 

c) 

ĉ) 

17. Kio estas la oksidiganto en
    a) la reagenzo de Tollen?
    b) la reagenzo de Benedict?
    c) la reagenzo de Fehling?

18 KARBOKSILAJ ACIDOJ KAJ ESTEROJ

CELOJ

18.1 Scii la strukturajn trajtojn de karboksila acido.

18.2 Doni sistemajn nomojn al karboksilaj acidoj.

18.3 Koni la ĝeneralajn fizikajn ecojn de karboksilaj acidoj.

18.4 Skribi ekvaciojn por la preparo de karboksilaj acidoj ekde aŭ aldehidoj aŭ primaraj alkoholoj.

18.5 Rilatigi la strukturojn de karboksilaj acidoj al ties acida konduto en solvaĵo. Skribi ekvaciojn por la produktado de la saloj de karboksilaj acidoj.

18.6 Priskribi la ecojn, uzojn, kaj nomenklaturon de la saloj de karboksilaj acidoj.

18.7 Scii la strukturajn trajtojn de esteroj. Skribi ekvaciojn por la preparo de esteroj komence de karboksilaj acidoj kaj alkoholoj.

18.8 Atribui al esteroj nomojn kaj laŭ IUPAK kaj nesistemajn.

18.9 Koni la ĝeneralajn fizikajn ecojn kaj uzojn de esteroj.

18.10 Skribi ekvaciojn por estera hidrolizo kaj sapigo.

18.11 Trakti la formiĝon de poliesteraj kondensaj polimeroj.

18.12 Trakti la preparon kaj uzojn de oftaj esteroj de neorganikaj acidoj.

La plejmulto da homoj ŝatas iujn gustojn agrable acidetajn. Fruktoj adstringaj, acida lakto, kaj vinagro estas jarcentojn uzataj malgraŭ tio, ke oni ne sciis pri la substancoj elvokantaj la deziratajn gustojn. Pasis tempo, dum kiu la respondecaj substancoj estis izolitaj kaj identigitaj. Estis trovite, ke ili estas anoj de serio da kombinaĵoj nomataj karboksilaj acidoj. Havebla estis nenia sistema nomenklaturo, do la acidoj estis kutime nomitaj pro iu fama fonto. Aceta acido, ekzemple, estas la acida konsistiganto de vinagro, kaj la latina vorto por "vinagro" estas <u>acetum</u>. Butira acido troviĝas en ranca butero (la latina por "butero" estas <u>butyrum</u>), maturigita fromaĝo, kaj homa transpiraĵo (ŝvito); ĝi estas unu fonto de iliaj fortaj odoroj.

Karboksilaj acidoj kombiniĝas kun alkoholoj, formante esterojn, kiuj okazas en fruktaj gustoj, parfumoj, vegetaĵoj kaj bestaj grasoj, kaj oleoj. La esteroj molekul-mase malaltaj ofte odoras agrable aŭ dolĉe.

18.1 LA STRUKTURO DE KARBOKSILAJ ACIDOJ

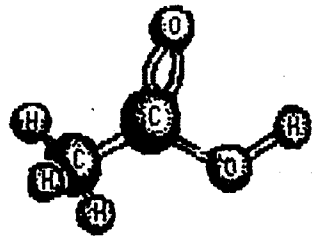
<u>Karboksila acido (Karbonacido); Karboksilo</u>

La karakteriza funkcia grupo de karboksilaj acidoj estas la karboksilo.



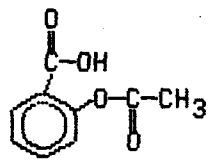
La karboksilon oni ofte mallongigas kiel -COOH aŭ $-CO_2H$. Kvankam la karboksilo aspektas kiel kombino de karbonilo kaj hidroksilo, tamen ĝi estas aparta funkcia grupo kun siaj propraj ecoj kaj reakcioj.

La plej konata karboksil-entena kombinaĵo estas aceta acido, kies strukturon donas Bildo 18-1. En koncentrita (pura) formo, aceta acido nomiĝas glacia aceta acido ĉar ĝi havas fandopunkton modere altan (17°C) kaj tiamaniere solidiĝas, ke formiĝas glaciemaj kristaloj en malvarma ĉambro. Vinagro estas solvaĵo kiu enhavas 4-5% de aceta acido. La kapablo de karboksilaj acidoj malhelpi mikroban kreskon klarigas tion, ke oni praktike uzas vinagron kiel konservenzon por viando, fiŝoj, kaj peklitaj legomoj.

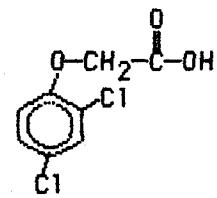


Bildo 18-1. Globostanga modelo de aceta acido

La karboksilo troviĝas en kombinaĵoj tiel diversaj kiel la analgeziko aspirino kaj la herbicido 2,4-D.



acetilsalicila acido
(aspirino)



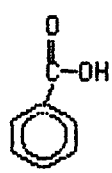
2,4-diklorfenoksiaceta acido
(2,4-D)

Multaj aliaj gravaj kombinaĵoj kiuj entenas la karboksilon ricevos atenton en venontaj ĉapitroj.

18.2 NOMENKLATURO DE KARBOKSILAJ ACIDOJ

Karboksilaj acidoj estis inter la unuaj organikaj acidoj detale studataj pro ilia vasta distribuiĝo kaj abundo en naturaj produktoj. Sekve de tio, multaj ricevis nomojn nesistemajn, kiuj estas vaste uzataj hodiaŭ (vidu Tabelon 18-1).

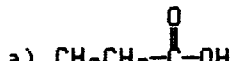
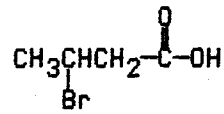
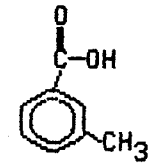
Uzante sisteman nomenklaturon, oni trovas tiun ĉenon plej longan, kiu ankaŭ havas la karboksilon. La numerado komenciĝas ĉe la karboksila karbono; en monokarboksilaj acidoj (unu grupo COOH), ĝi ĉiam estas ĉe la ĉen-komenco, do neniu numero estas necesa por loki ĝin. Al la trunka hidrokarbona nomo oni aldonas la vorteton acido. Grupoj alligitaj al la ĉeno estas nomitaj kaj lokitaj kiel antaŭe. Al aromataj acidoj oni donas nomojn derivitajn el la fundamenta kombinaĵo, benzoa acido.



benzoa acido

La sistema nomo por benzoa acido estas benzen-karbon-acido, kie la "karbon-acido" indikas la grupon -COOH.

Ekzemplo 18-1. Uzu sistemajn regulojn por nomi jenajn karboksilajn acidojn:

a)  b)  c) 

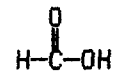
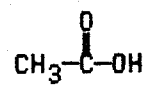
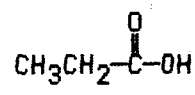
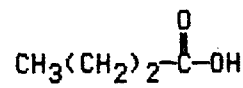
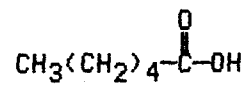
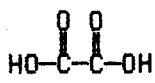
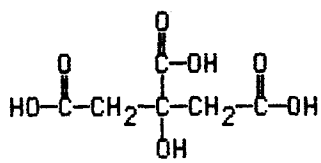
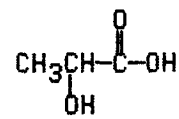
Solvo. a) La karbonĉeno entenas 3 karbonojn. Tiel, la nomo baziĝas sur la trunka propano. La nomo estas propanacido (propan-acido).

b) El 4 karbonatomoj konsistas la ĉeno, kaj al karbon-numero 3 estas alligita bromo. La nomo estas 3-brombutanacido.

c) La fundamenta hidrokarbono ĉi tie estas benzoa acido. La ringo-numerado komenciĝas ĉe la karboksilo. La ĝusta nomo estas 3-metilbenzoa acido.

Aliajn nesistemajn kaj sistemajn nomojn donas Tabelo 18-1, apud kiuj estas iom da karakterizaĵoj kaj aplikoj de kelkaj karboksilaj acidoj.

Tabelo 18-1. Ekzemploj de karboksilaj acidoj

Nesistema nomo	Sistema nomo	Struktura formulo	Karakterizaĵoj kaj tipaj uzoj
formia acido*	metanacido		pik-substanco de ruĝaj formikoj, abeloj, kaj urtiko
aceta acido	etanacido		aktiva ingredienco en vinagro
propiona acido	propanacido		saloj uzataj kiel ŝim-inhibenzoj en pano
butira acido	butanacido		odoriganto en ranca butero
kaprona acido	heksanacido		karakteriza odoro de fromaĝo limburgera
okzala acido	etandiacido		venenaĵo en folioj de tiaj plantoj, kiel rabarbo; uzata kiel puriganto por rustaj makuloj sur ŝtofo kaj porcelano
citra acido	2-hidroksi-1,2,3-propantrikarbonacido		enestas en citrusaj fruktoj; uzata kiel gustiganto en nutroj
lakta acido	2-hidroksipropanacido		trovebla en acida lakto kaj saŭrkraŭto (acida brasiko); formiĝas en muskoloj dum ekzercado

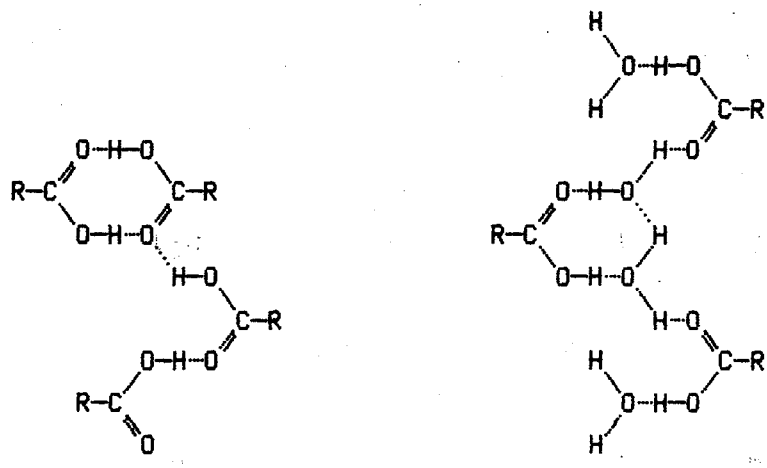
*Kelkaj esperanto-fakuloj (PIV ankaŭ) preferas skribi: formiata acido, acetata acido, propionata acido, ktp.

18.3 FIZIKAJ ECOJ DE KARBOKSILAJ ACIDOJ

La karboksilaj acidoj molekul-mase malaltaj estas likvoj ĉe ĉambra temperaturo kaj havas odorojn karakterize akrajn aŭ neagrablajn (Tabelo 18-1). La pli pezaj acidoj (entenantaj pli ol 10 karbonojn) estas vaks-similaj solidoj. Steara acido ($C_{18}H_{36}O_2$), ekzemple, estas miksita kun parafino por produkti la vakson uzatan en kandeloj. Dikarboksilaj kaj aromataj acidoj estas kristalaj solidoj ĉe ĉambra

temperaturo.

Polusaj estas karboksilaj molekuloj; kaj, simile al alkoholoj, ili formas hidrogenligojn inter si kaj kun aliaj molekuloj (v. Bildon 18-2). Tiu karakterizaĵo klarigas la altajn bolpunktojn de likvaj karboksilaj acidoj kompare kun la bolpunktoj de kombinaĵoj kun simila molekula maso, kiuj ne elmontras hidrogen-ligiĝon. Ĝi ankaŭ klarigas kial la molekulmase malaltaj acidoj estas solveblaj en akvo.



(a) inter acidaj molekuloj (b) Inter acidaj molekuloj kaj akvo

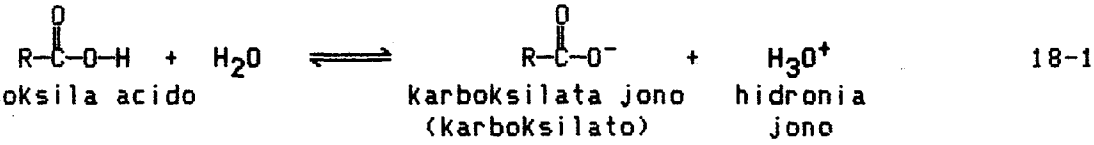
Bildo 18-2. Hidrogenligiĝo de karboksilaj acidoj

18.4 PREPARO DE KARBOKSILAJ ACIDOJ

Kiel ni lernis en Sekcio 17.7, karboksilajn acidojn oni povas sintezi per la oksidigo de aldehidoj helpe de Ag^+ aŭ Cu^{2+} en solvaĵo. Pli fortaj oksidigantoj de tipo $KMnO_4$ kaj K_2CrO_7 estas ankaŭ uzeblaj pro tio, ke karboksilaj acidoj estas rezistemaj al plua oksidigo. Karboksilaj acidoj povas esti ankaŭ preparitaj el primaraj alkoholoj anstataŭ aldehidoj kiel la deir-materialo (Sekcio 17.4).

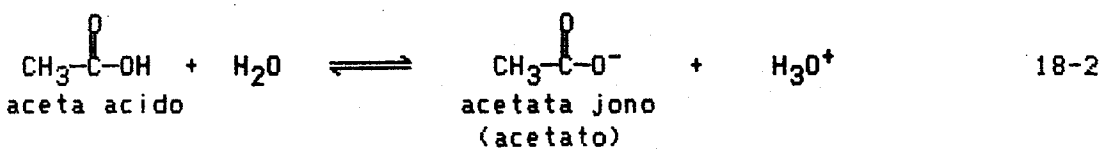
18.5 ACIDECO DE KARBOKSILAJ ACIDOJ

En Ĉapitro 10 vidis ni, ke acidoj estas substancoj havantaj la povon perdi protonon (rememoru ke protonoj estas hidrogenaj jonoj). La hidrogeno alligita al la oksigeno de la karboksilo donas al karboksilaj acidoj ties acidan karakteron. En akvo tiu protono forlasas la acidon, transformante ĝin en karboksilatan jonon (aŭ, pli simple, karboksilaton):



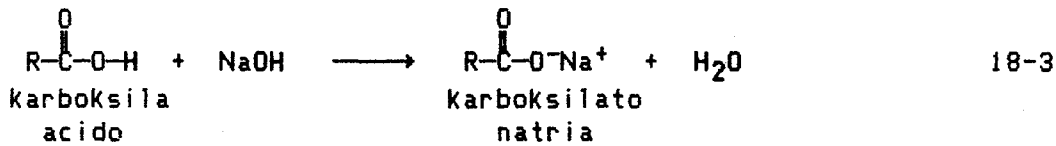
18-1

Specifaj ekzemploj estas:



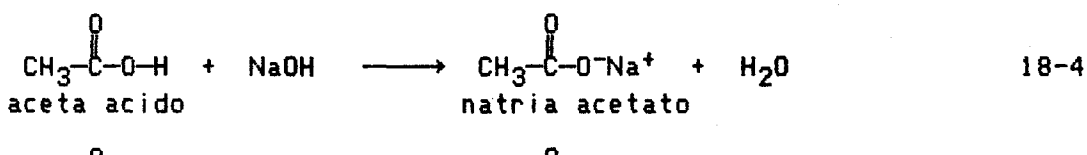
18-2

Karboksilaj acidoj ĝenerale kondutas kiel malfortaj acidoj. Ekzemple, unu-molara solvaĵo de aceta acido estas nur ĉ. 0,5% disociita. Kvankam ili estas malfortaj, karboksilaj acidoj reakcias glate kaj rapide kun tiaj fortaj bazoj, kiel natria aŭ kalia hidroksidoj, formante salojn.

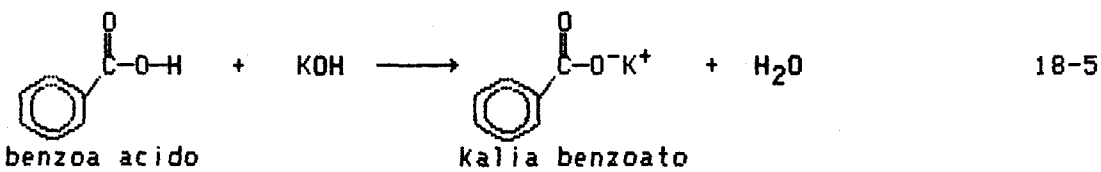


18-3

Kelkaj specifaj ekzemploj estas:



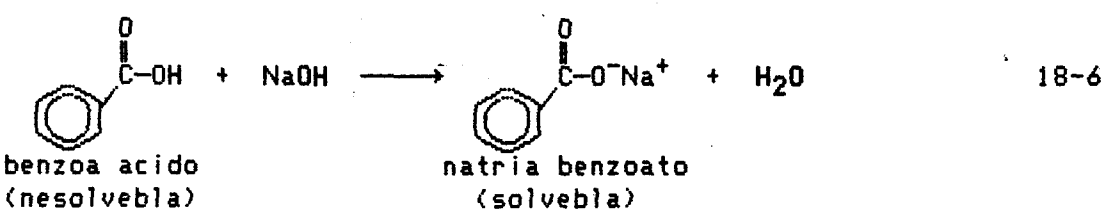
18-4



18-5

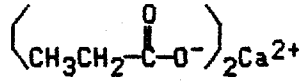
18.6 SALOJ DE KARBOKSILAJ ACIDOJ

Nesistemajn *nomojn por saloj oni ricevas per la anstataŭigo de la finaĵo* -a per la sufikso -at-, kiel ĉe natria acet<u>at</u>o, $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O^-Na^+$. Salaj nomoj laŭ IUPAK uzas similan regulon, sed aplikitan al la IUPAKa acid-nomo; la sufikso estas -<u>oat</u>-. Pro tio, ke ili jone kondutas, la saloj de karboksilaj acidoj estas kutime solveblaj en akvo, inkluzive de la saloj *de acidoj akve nesolveblaj.*



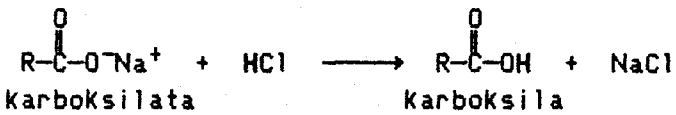
18-6

Natria benzoato estas ofte manĝaĵa konservenzo, uzata en cidro, spicita tomata saŭco, kaj multaj aliaj manĝaĵoj. Ĝi ankaŭ trovas aplikon en farmaciaj, medicinaj, kaj antisepsaj preparaĵoj. Kalcia propionato, alia salo, estas aldonata al pano kiel konservenzo, kiu malebligas al ŝimo kreski.



kalcia propionato

Oni povas transformi salojn returne al karboksilaj acidoj, igante ilin reakcii kun fortaj acidoj.



karboksilata salo — karboksila acido 18-7



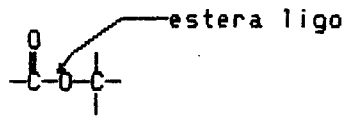
natria stearato — steara acido 18-8

18.7 LA STRUKTURO DE ESTEROJ

Okazas tre grava reakcio, kiam karboksilaj acidoj estas varmigitaj kun alkoholoj en medio de acida katalizo. Elfendiĝas molekulo de akvo, kaj formiĝas estero.

esterigo; estero

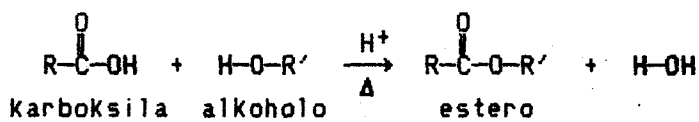
La procedo de estera formado estas nomata esterigo. Estero estas kombinaĵo entenanta la esteran funkcian grupon:



estera ligo

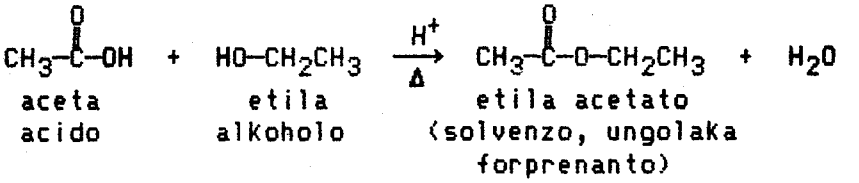
La karbon-oksigena unuobla ligo de la estera grupo nomiĝas la estera ligo.

La ĝenerala esteriga reakcio estas:

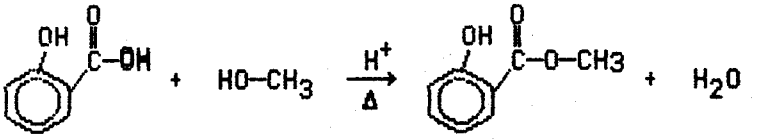


karboksila acido — alkoholo — estero 18-9

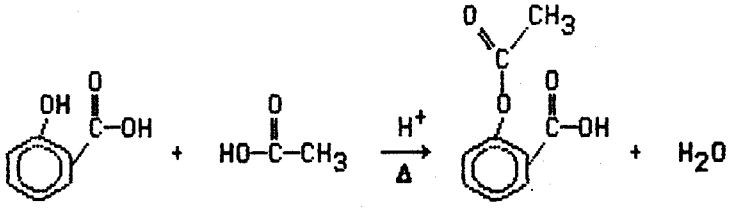
La sekvantaj specifaj ekzemploj ilustras la formiĝon de tri esteroj gravaj kaj multe uzataj:



18-10



18-11



18-12

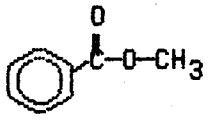
Notu ke salicila acido entenas kaj karboksilon kaj hidroksilon. Ĝi kondutas kiel karboksila acido en reakcio 18-11, kaj kiel alkoholo en reakcio 18-12.

18.8 NOMENKLATURO DE ESTEROJ

Nomoj de esteroj senpere rilatas al la nomoj de tiuj acidoj, de kiuj ili estas deriveblaj. La nomon de estero oni formas per aldono de sufikso -<u>at</u>- (por nesistemaj nomoj) aŭ per aldono de sufikso -<u>oat</u>- (por sistemaj nomoj laŭ IUPAK) al la acido. Oni tiam apudmetas la adjektivan formon de la alkilo derivita el la alkoholo.

<u>Ekzemplo 18-2</u>. Nomu la sekvantajn esterojn:

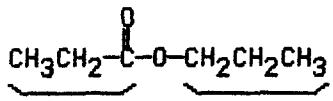
a) La estero ricevita el butira acido (butanacido) kaj etanolo

b) $CH_3CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-CH_2CH_2CH_3$ c) 

<u>Solvo</u>.

a) La alkilo de la alkoholo estas etilo, kaj la acido estas butira (nesistema) aŭ butanacido (sistema nomo de Tabelo 18-1). Tial do, la esteron oni nomas etila butirato (nesistema) aŭ etila butanoato (IUPAK).

b) Oni kutime skribas esteran formulon tiel, ke la acida porcio estas la unua, kiun sekvas la alkohola alkilo:



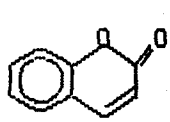
acida porcio alkohola alkilo

Tiel, tiu ĉi estero venas el 3-karbona acido, propiona acido aŭ propanacido kaj 3-karbona alkoholo, 1-propanolo. La estera nomo estas do n-propila propionato (nesistema) aŭ propila propanoato (IUPAK).

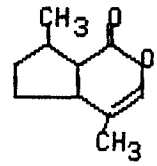
c) Nunokaze, la acido estas benzoa acido, kaj la alkoholo estas metanolo. Tiel la estera nomo estas metila benzoato.

18.9 ECOJ DE ESTEROJ

Esteroj estas respondecaj por iuj el la plej agrablaj odoroj en la naturo. Ili estas respondecaj por la gusto kaj aromo de multe da fruktoj kaj floroj. Artefaritaj gustigenzoj plejparte enhavas esterojn (v. Tabelon 18-2). La agrabla odoro de fojno freŝe falĉita kaj dolĉa trifolio ŝuldiĝas al kumarino, estero cikla. Ĉiajn katojn (leonoj ĝis hejm-katoj) forte altiras la nepetalaktono, cikla estero trovita en la "katherbo" (katario).



kumarino



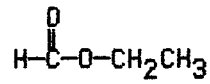
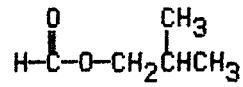
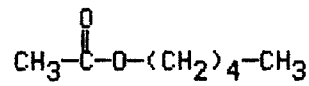
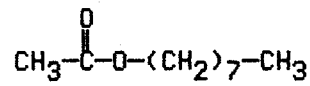
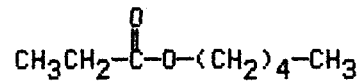
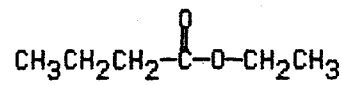
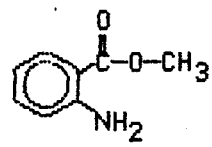
nepetalaktono

Naturaj vaksoj estas esteroj molekul-mase altaj, en kiuj kaj la acida kaj alkohola porcioj entenas longajn alkil-ĉenojn. En la naturo ili ofte liveras tian protekton, kiun oni pruntas kiam ili estas uzataj en aŭtomobila polurenzo, ŝu-ciro, kaj kosmetikoj.

18.10 REAKCIOJ DE ESTEROJ

La sola reakcio de esteroj, kiun ni konsideros, temas pri la rompo de la estera ligo. Tiun procedon oni nomas estera hidrolizo aŭ sapigo, depende de la reakciaj kondiĉoj.

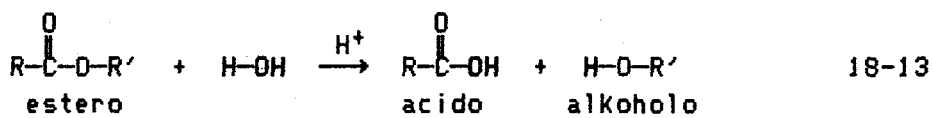
Tabelo 18-2. Ekzemploj de esteroj uzataj kiel gustigantoj

Nomo	Struktura Formulo	Karakteriza gusto kaj odoro
etila metanoato (etila formiato)		ruma
izobutila metanoato (izobutila formiato)		framba
n-pentila etanoato (n-pentila acetato)		banana
n-oktila etanoato (n-oktila acetato)		oranĝa
n-pentila propanoato (n-pentila propionato)		abrikota
etila butanoato (etila butirato)		ananasa
metila 2-aminobenzoato (metila antranilato)		vinbera

estera hidrolizo

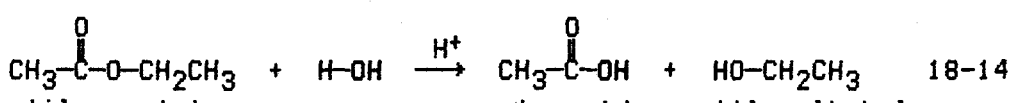
Estera hidrolizo estas la rompo de estera ligo sub acidaj kondiĉoj tiel, ke produktiĝas alkoholo kaj karboksila acido.

Estera hidrolizo estas, tial, simple la acid-katalizita inverso de la esteriga reakcio (Ekzemplo 18-13).

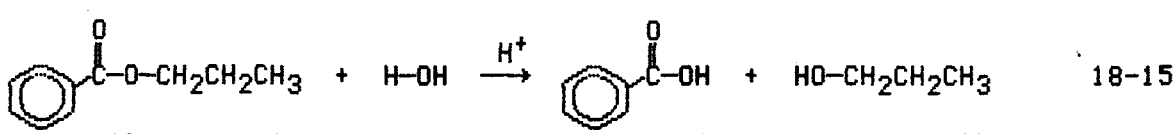


18-13

Iuj unuopaj ekzemploj de estera hidrolizo estas:

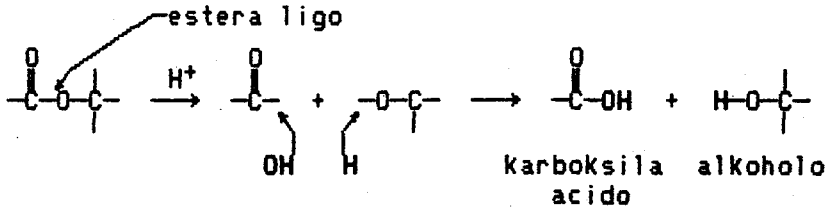


18-14



18-15

Atentu ke dum hidrolizado, rompiĝas la estera ligo kaj la eroj da akvo alligiĝas al la fragmentoj tiel, ke formiĝas acido kaj alkoholo:



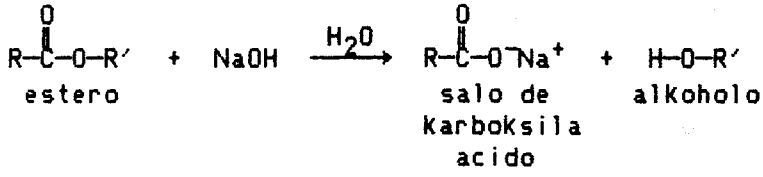
18-16

Bestaj grasoj kaj vegetaĵaj oleoj estas esteroj. Ilia hidrolizo estas grava procezo, kiu okazas kiam ili digestiĝas.

sapigo

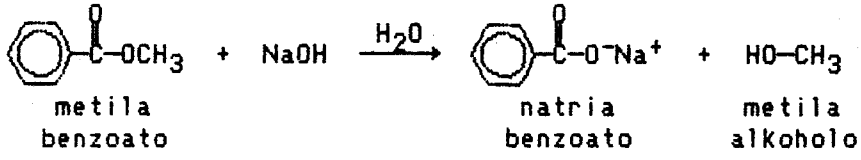
Simile al estera hidrolizo, sapigo rezultigas rompon ĉe la estera ligo kaj naskas alkoholon kaj karboksilan acidon.

Diference de estera hidrolizo, oni efektivigas sapigon sub bazaj kondiĉoj, en solvaĵoj de tipo kalia aŭ natria hidroksido. La produktoj estas esence la samaj kiel tiuj de hidrolizo, krom tio ke aperas karboksila acido kiel salo prefere al libera acido.



18-17

Unuopa ekzemplo de sapigo estas:



18-18

Produktiĝas sapoj kiam grasoj kaj oleoj, kiuj estas esteroj de glicerolo, estas sapigitaj (v. Sekcion 21.2).

18.11 POLIESTEROJ

En Sekcio 14.7 ni studis la polimerigon de alkenoj, kiuj okazas kiel rezulto de adiciaj reakcioj.

kondensa reakcio; kondensa polimero

Povas okazi polimeriĝo per kondensaj reakcioj, en kiuj funkciaj grupoj sur diversaj molekuloj interreakcias kaj tiaj pli malgrandaj molekuloj kiel akvo elfendiĝas. Formiĝintaj tiel polimeroj nomiĝas kondensaj polimeroj.

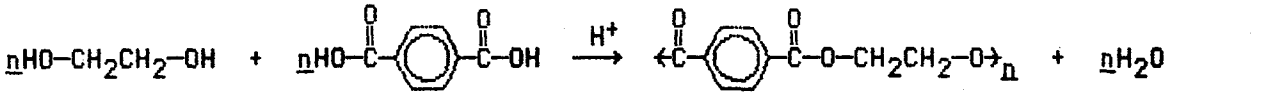
La fenol-formaldehida polimero priskribita en Sekcio 17.3 estas kondensa

polimero.

poliestero

Poliesteroj estas kondensaj polimeroj, en kiuj formiĝas esteraj ligoj inter tiuj molekuloj, kiuj havas du aŭ pli da hidroksiloj kaj tiuj, kiuj havas du aŭ pli da karboksiloj.

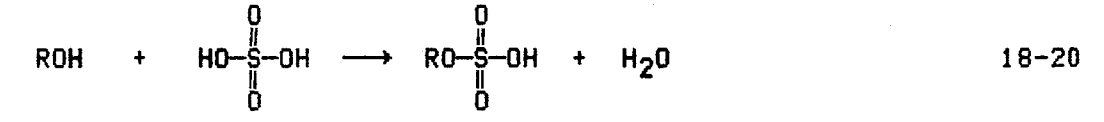
Inter la poliesteroj plej uzataj viciĝas polietilena tereftalato, komerce vendata sub tiaj proprietaj nomoj kiel Dacron (produkto de firmo DuPont) kaj Terylene. La reakcio de formiĝo estas:



etilena glikolo tereftala acido polietilena tereftalato 18-19

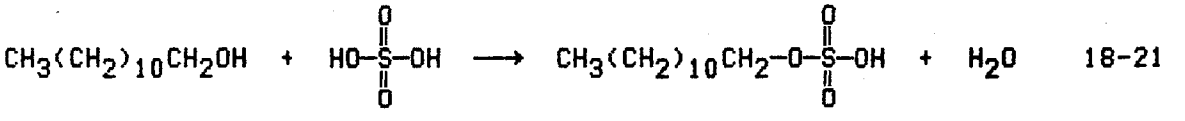
18.12 ESTEROJ DE NEORGANIKAJ ACIDOJ

Alkoholoj povas ankaŭ formi esterojn per reakciado kun tiaj neorganikaj acidoj, kiel sulfata, nitrata, aŭ fosfata acidoj. Ekzemple, sulfataj esteroj formiĝas per la reakcioj de sulfata acido kaj alkoholo.



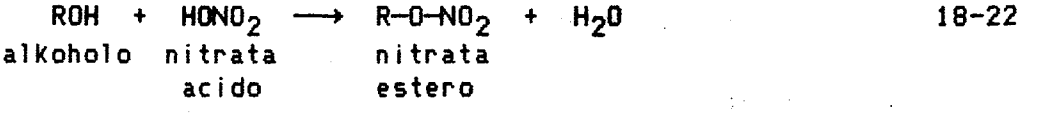
alkoholo sulfata alkila hidrogena sulfato 18-20

La sulfataj esteroj de iuj hidrokarbonaj alkoholoj longaĉenaj estas uzataj kiel sintezaj sap-pulvoroj, aŭ detergentoj. Ekvacio 18-21 donas tipan reakcion.



laŭrila alkoholo sulfata acido laŭrila hidrogena sulfato 18-21

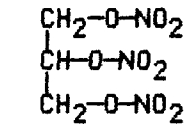
Nitrataj esteroj rezultas el reakcioj de nitrata acido kaj alkoholoj:



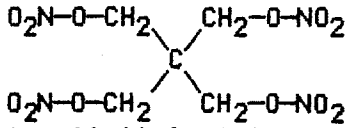
alkoholo nitrata acido nitrata estero 18-22

Nitroglicerino, la trinitrato de glicerolo, estas du-maniere uzata, kio ilustras du ecojn de la plejmulto da nitrataj esteroj. Ĝi havas aplikon en la rolo de eksplodaĵo, kaj ĝi ankaŭ estas glat-muskola malstreĉenzo kaj angia dilatenzo. Pentaeritritola tetranitrato, alia estero, utilas

por la malaltigo de la sanga premo kaj por kuracado de la kora stato brust-angoro.

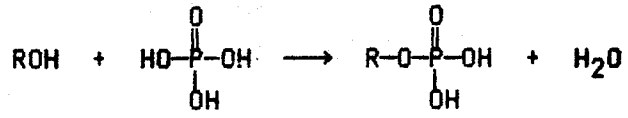


nitroglicerino



pentaeritritola tetranitrato

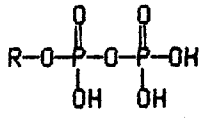
Fosfataj esteroj, formitaj per reakcioj inter fosfata acido kaj alkoholo, estas tre gravaj en biologiaj sistemoj.



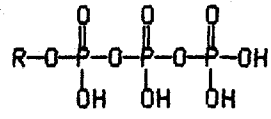
18-23

alkoholo — fosfata acido — fosfata estero

Di- kaj trifosfataj esteroj prizorgas la stokadon kaj transdonon de kemia energio en vivantaj sistemoj (Ĉapitro 25).

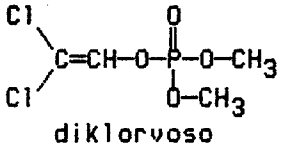


difosfata estero

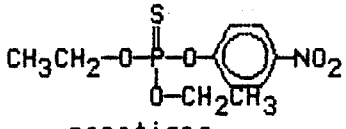


trifosfata estero

Sintezaj organikaj fosfatoj estas ofte tre venenaj, kaj multaj el tiuj kombinaĵoj estas uzataj kiel insekticidoj. Oni disvolvis ilin kiel surogatojn anstataŭ tiaj persistaj organokloraj insekticidoj kiel DDT, dieldrino, kaj aldrino. Ĉar la organofosfataj insekticidoj estas esteroj kaj tial disrompiĝas rapide pere de hidrolizaj reakcioj, la problemo de akumuliĝo en la vivomedio estas evitita.



diklorvoso (kontraŭ-insekta kombinaĵo)

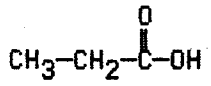


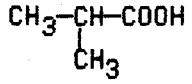
parationo (potenca insekticido)

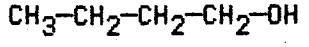
EKZERCOJ

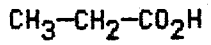
<u>Karboksila Funkcia Grupo</u>

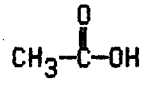
1. Kiu(j) el la sekvantaj kombinaĵoj entenas karboksilon?

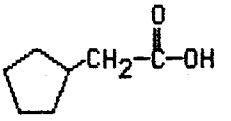
a) 

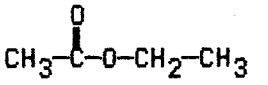
b) 

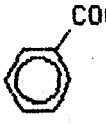
c) 

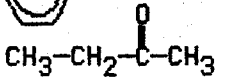
ĉ) 

d) 

e) 

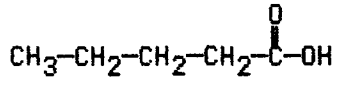
f) 

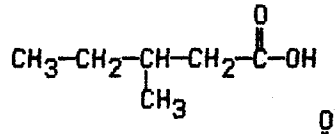
g) 

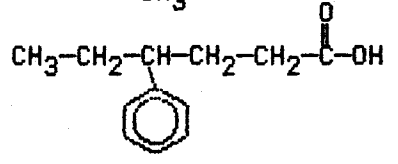
ĝ) 

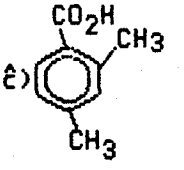
Nomenklaturo de Karboksilaj Acidoj

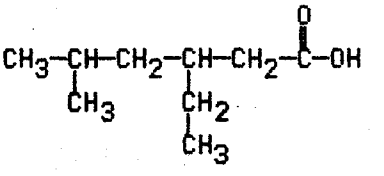
2. Uzante sisteman nomenklaturon, nomu la sekvantajn karboksilajn acidojn.

a) 

b) 

c) 

ĉ) 

d) 

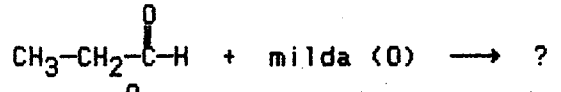
3. Desegnu strukturajn formulojn por figuri jenajn kombinaĵojn:

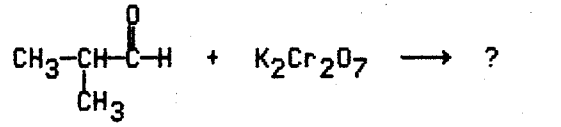
a) 2,3-dimetilbutanacido
b) 5-klor-2-pentenacido
c) aceta acido (nesistema nomo)
ĉ) etanacido
d) okzala acido (nesistema nomo)

4. Desegnu strukturajn formulojn por figuri la kvar izomerajn karboksilajn acidojn kun la molekula formulo $C_4H_9CO_2H$. Donu sistemajn nomojn al ĉiu izomero.

Preparo de Karboksilaj Acidoj

5. Identigu la tipon de organika kombinaĵo formita en ĉiu el la sekvantaj oksidigaj reakcioj, kaj kompletigu la ekvaciojn.

a) 

b) 

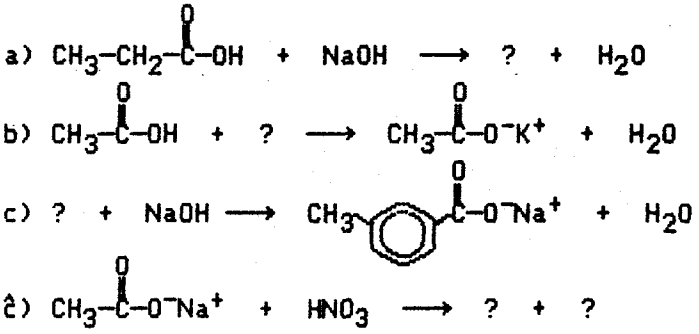
c) $CH_3-CH_2-CH_2-OH + KMnO_4 \longrightarrow ?$

Acideco de Karboksilaj Acidoj

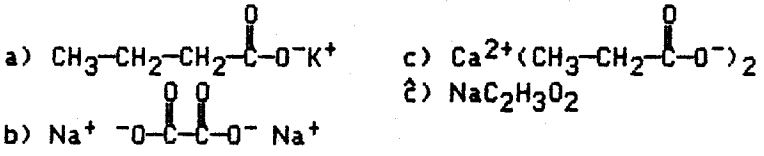
6. Skribu ekvacion por ilustri tion, kio okazas kiam organika acido estas metita en akvon.

Saloj de Karboksilaj Acidoj

7. Kompletigu la sekvantajn reakciojn:



8. Alskribu nesistemajn nomojn al la sekvantaj saloj de karboksilaj acidoj. Konsultu Tabelon 18-1 por la nesistemaj nomoj de la acidoj.



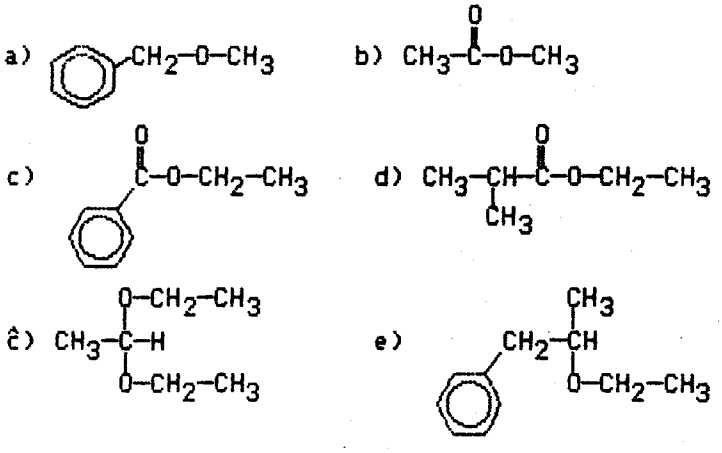
Uzoj de Karboksilaj Acidoj kaj ties Saloj

9. Skribu la formulojn por karboksila acido aŭ ties salo uzata laŭ ĉiu el la sekvantaj vojoj.

a) ĝenerala nutraĵa konservenzo
b) gustiganto
c) puriganto efika kontraŭ rust-makuloj
ĉ) ŝim-inhibenzo
d) aktiva ingredienco en vinagro

Estera Funkcia Grupo

10. Kiu(j) el la sekvantaj kombinaĵoj povas esti klasita(j) en estero(j)n?



Preparo kaj Nomenklaturo de Esteroj

11. Desegnu strukturojn por ĉiu el la sekvantaj esteroj:

a) etila propanoato
b) n-propila acetato
c) etila metanoato
ĉ) metila etanoato

12. Desegnu strukturajn formulojn kaj atribuu kaj sistemajn (IUPAK) kaj

nesistemajn nomojn al la simplaj esteroj, kiujn oni povas produkti per reakcio inter aceta acido kaj ĉiu el la sekvantaj:

a) etanolo b) 1-propanolo c) 1-butanolo

13. Desegnu strukturajn formulojn kaj asignu nomojn nesistemajn al la simplaj esteroj, kiuj povas esti produktitaj per reakcio inter etanolo kaj ĉiu el la sekvantaj:

a) propiona acido b) butira acido c) lakta acido

14. Desegnu, por ĉiu kiel estero klasita kombinaĵo en Ekzerco 10, rondon ĉirkaŭ la porcio kiu devenas de la acido, enkadrigu per kvadrato la porcion kiu devenas de la alkoholo, kaj per sago priluma la esteran ligon.

15. Asignu nomojn kaj nesistemajn kaj laŭ IUPAK al la sekvantaj esteroj. Konsultu Tabelon 18-1 por la nesistemaj nomoj de la acidoj.

a) $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_3$ c) $CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_2-CH_2-CH_3$

b) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_2-CH_2-CH_3$

16. Inversigu, por ĉiuj el la donitaj en Ekzerco 15 esteroj, la acidan kaj esteran partojn de la molekulo por doni novan esteron. Desegnu la strukturon kaj donu la nomon kaj nesisteman kaj laŭ IUPAK al ĉiu el la novaj esteroj.

17. Simplaj karboksilaj acidoj kaj esteroj povas esti izomeraj unu al la alia. Desegnu strukturajn formulojn kaj donu nesistemajn nomojn por ĉiuj simplaj esteroj kiuj estas izomeraj al pentanacido, $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$.

Uzoj de Esteroj

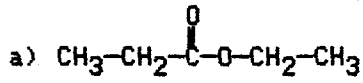
18. Surpaperigu almenaŭ unu uzon por ĉiu el la sekvantaj esteroj:

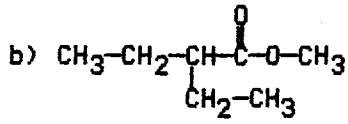
a) etila acetato
b) n-oktila acetato
c) acetilsalicila acido
ĉ) metila salicilato
d) polietilena tereftalato
e) nitroglicerino

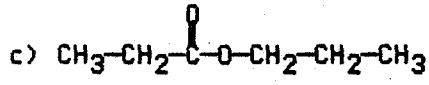
Hidrolizo kaj Sapigo de Esteroj

19. Difinu kaj komparu la terminojn estera hidrolizo kaj sapigo.

20. Plene skribu la sekvantajn reakciojn.

a)  + H_2O $\xrightarrow{H^+}$? + ?

b)  + NaOH $\xrightarrow{H_2O}$? + CH_3OH

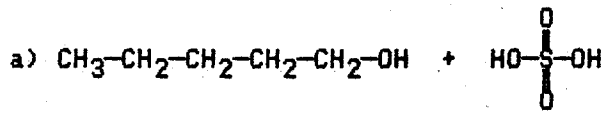
c)  + KOH $\xrightarrow{H_2O}$? + ?

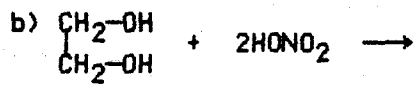
Poliesteroj

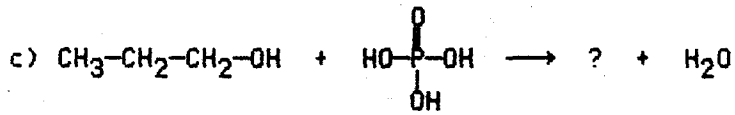
21. Kiel la acidoj kaj alkoholoj implicitaj en poliestera formiĝo diferencas de tiuj, kiuj ordinare formas simplajn esterojn?

Esteroj de Neorganikaj Acidoj

22. Kompletigu la sekvantajn reakciojn:

a) 

b) 

c) 

Pri-esteraj Reakcioj

23. Skribu ekvaciojn por prezenti jenajn procedojn:

a) la formado de aceta acido el n-propila acetato

b) la sapigo de n-propila acetato en medio de NaOH

c) la formado de la sulfata estero el 1-propanolo

ĉ) la reakcio de etanolo kaj propiona acido en ĉeesto de H^+ kaj varmo

d) la reakcio inter nitrata acido kaj metanolo

e) la formado de sinteza banana gustigo (v. Tabelon 18-2)

f) la produktado de natria acetato el sinteza oranĝa gustigo (vidu Tabelon 18-2)

19 AMINOJ KAJ AMIDOJ

CELOJ

19.1 Scii la strukturajn trajtojn de aminoj. Klasi aminojn laŭ primara, sekundara, aŭ terciara. Ĝuste nomi aminojn.

19.2 Koni la ĝeneralajn ecojn, troviĝon, kaj uzojn de aminoj.

19.3 Skribi ekvaciojn por la preparo de aminoj el alkilaj halogenidoj.

19.4 Klarigi kial aminoj donas bazajn akvajn solvaĵojn. Skribi ekvaciojn por la preparo de aminaj saloj.

19.5 Priskribi strukturajn karakterizaĵojn kaj uzojn de amfetaminoj.

19.6 Scii la strukturajn trajtojn de amidoj. Skribi ekvaciojn por la preparo de amidoj ekde karboksilaj acidoj. Atribui ĝustajn nomojn al amidoj.

19.7 Skribi ekvaciojn por amida hidrolizo.

19.8 Trakti la uzojn de elektitaj amidoj. Skribi ekvaciojn por la preparo de la poliamido nilono.

La kvar elementoj plej disvastiĝintaj en vivantaj sistemoj estas karbono, hidrogeno, oksigeno, kaj nitrogeno. En antaŭaj ĉapitroj ni diskutadis pri tiuj kombinaĵoj, kiuj entenas la unuajn tri el tiuj elementoj. Ĉiuj alkanoj, alkenoj, alkinoj, kaj aromataj hidrokarbonoj ope estas karbon-hidrogenaj kombinaĵoj. La traktitaj de ni karbon-hidrogen-oksigenaj kombinaĵoj ampleksas alkoholojn, eterojn, aldehidojn, ketonojn, karboksilajn acidojn, kaj esterojn. En ĉi tiu ĉapitro du klasoj de simplaj organikaj kombinaĵoj, en kiuj ĉeestas la elemento nitrogeno, estos esploritaj, la aminoj kaj la amidoj. Aminoj estas karbon-hidrogen-nitrogenaj kombinaĵoj dum amidoj entenas oksigenon aldone al la ceteraj tri elementoj.

19.1 KLASIFIKO KAJ NOMENKLATURO DE AMINOJ

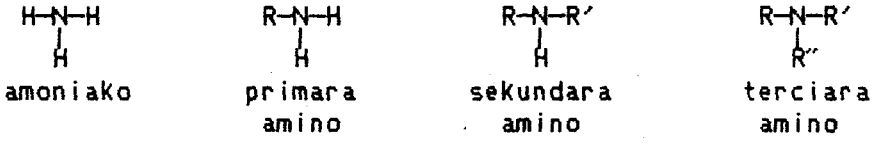
amino

Aminoj estas organikaj derivaĵoj de amoniako, NH_3, en kiu unu aŭ plurajn hidrogenojn anstataŭas alifataj aŭ aromataj grupoj.

Aminoj do tiel same rilatas al amoniako kiel la alkoholoj kaj eteroj rilatas al akvo. Same kiel alkoholoj, aminoj estas klasitaj laŭ primaraj, sekundaraj, aŭ terciaraj surbaze de molekula strukturo. Por aminoj la klasifiko estas determinita de la nombro de la organikaj grupoj alligitaj al la nitrogena atomo.

primara amino; sekundara amino; terciara amino

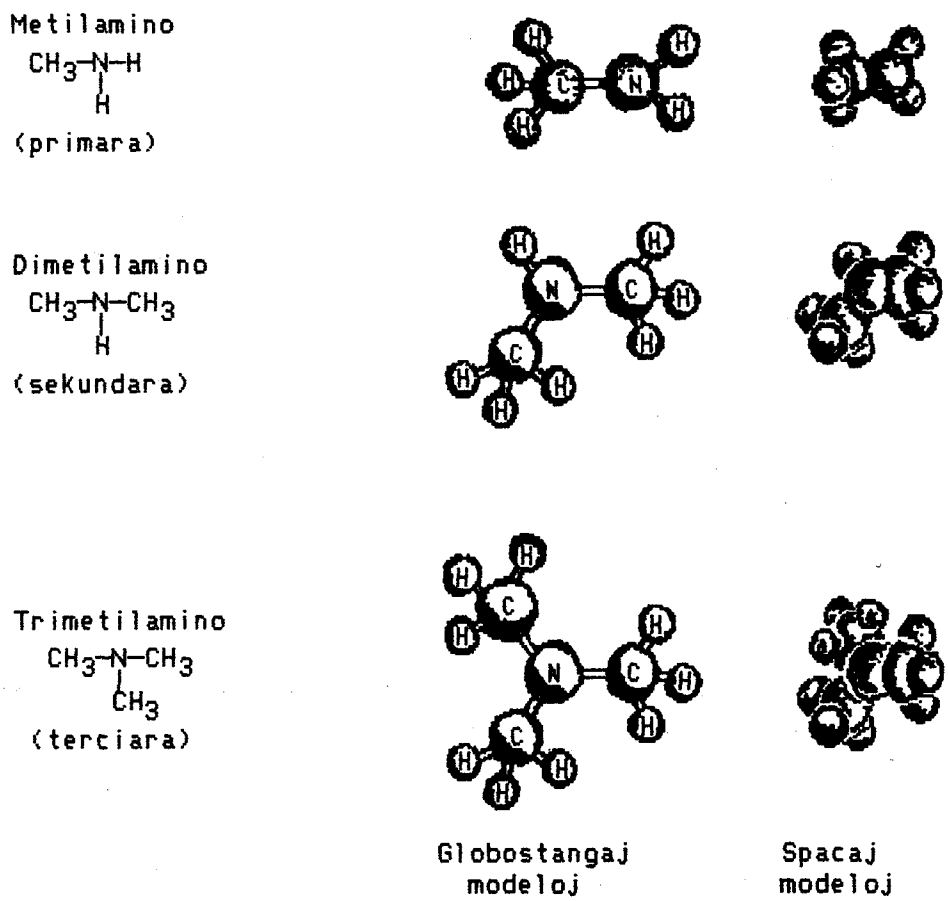
La nitrogena atomo en primara amino estas ligita al unu grupo R, sekundaraj aminoj havas du grupojn R, dum terciaraj aminoj havas tri.



Modelojn de la plej simplaj primara, sekundara, kaj terciara aminoj prezentas Bildo 19-1. Atentu ke tiu ĉi klasifika skemo por aminoj akre diferencas de tiu por alkoholoj (Sekcio 16.3). La klasifiko de alkoholoj baziĝas sur la nombro de alkiloj alligitaj al tiu karbono, kiu havas la hidroksilon. La diferencon inter la du sistemoj montras ĉi tiu komparo:



Aminoj estas nomataj pere de kelkaj rimedoj. Simplaj alkilaj aminoj estas kutime nomataj per aldono de la nomo -amino al la nomo de la alkilo alligita al nitrogeno, kiel estas farite en Bildo 19-1. Pluaj ekzemploj de tiu nomenklaturo estas donitaj en Ekzemplo 19-1.



Bildo 19-1. Modeloj de primara, sekundara, kaj terciara aminoj

Ekzemplo 19-1. Nomu la sekvantajn simplajn aminojn.

a) CH_3-NH_2 b) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{N}}-H$ c) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{N}}-CH_3$ ĉ) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_2CH_3}{\underset{|}{N}}-H$ d) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{N}}-CH_2CH_3$

Solvo. La nomo povas esti ĉiukaze atribuita per la supre donita regulo:

a) metilamino b) dimetilamino c) trimetilamino
ĉ) etilmetilamino d) dimetiletilamino

Pri aminoj pli malsimplaj, oni oportune ofte traktas la funkcian grupon $-NH_2$ kiel ĉen-substituanton nomatan la amino-grupo.

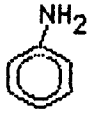
Ekzemplo 19-2. Nomu la sekvantajn aminojn tiel, ke la aminogrupo fariĝas ĉen-substituanto.

a) $CH_3CH_2CH_2\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{C}}HCH_3$ b) $H_2N-CH_2CH_2CH_2-OH$ c) $H_2N-CH_2CH_2CH_2-NH_2$

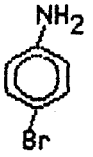
Solvo. La NH_2 estas pritraktita kiel substituanto, kaj ĝia loko estas per la kutima maniero indikita.

a) 2-aminopentano b) 3-amino-1-propanolo c) 1,3-diaminopropano

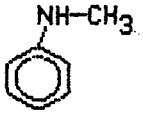
Aromataj aminoj estas ofte nomataj nesisteme kiel derivaĵoj de anilino, la amino komerce plej grava. Majusklon N oni uzas por indiki ke alkilo estas alligita al nitrogeno, kaj ne al la ringo:



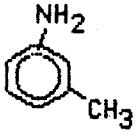
anilino
(aminobenzeno)



p-bromanilino
(p-bromaminobenzeno)



N-metilanilino
(N-metilaminobenzeno)



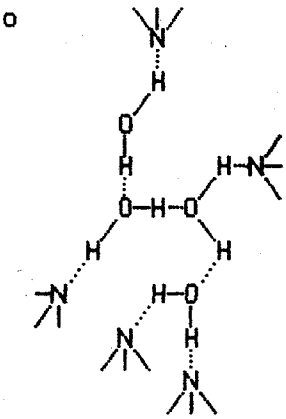
3-metilanilino
(3-metilaminobenzeno)

19.2 ECOJ, TROVIĜO, KAJ UZOJ DE AMINOJ

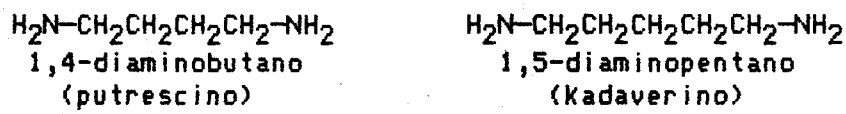
Alkilaminoj molekul-mase malaltaj estas gasoj aŭ likvoj je ĉambra temperaturo. La tri metilaminoj (primara, sekundara, kaj terciara), same kiel etilamino, estas gasoj. Likvoj ampleksas di- kaj trietilaminon kaj la primarajn aminojn kun tri ĝis dek karbonoj.

Aminoj havantaj malpli ol ses karbonojn estas ĝenerale solveblaj en akvo pro tio, ke ili hidrogenligiĝas inter si (v. Bildon 19-2). La hidrogenligiĝo povas ankaŭ okazi inter aminaj molekuloj mem. Ni estos vidantaj, ke tiuj hidrogenligoj, en kiuj enestas nitrogenatomoj, ankaŭ gravas sur la kampo de proteina kemio (Ĉapitro 22) kaj nukleaj acidoj (Ĉapitro 24). Aminoj entenantaj pli ol ses karbonatomojn estas kutime nesolveblaj en akvo, sed solveblaj en organikaj solvenzoj.

Bildo 19-2. Hidrogenligiĝo inter aminoj kaj akvo



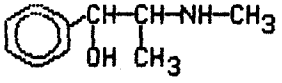
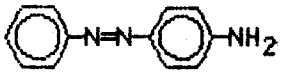
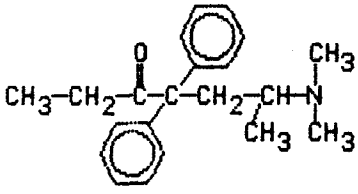
Alkilaminoj kaj aromataj aminoj estas venenaj; iliaj likvoj kaj vaporoj povas okazigi severajn iritojn al mukaj membranoj, okuloj, kaj haŭto. La pli volatilaj aminoj havas odorojn intense neagrablajn, pri kiuj oni plej ĝuste diras, ke ili estas kombino de amoniako kaj putrintaj fiŝoj. Kelkokaze estas aminoj respondecaj por la odoro de putrantaj bestaj histoj. Du kombinaĵoj en tiu kategorio, ambaŭ diaminoj (du grupoj $-NH_2$), ricevis tre trafajn nesistemajn nomojn - putrescino kaj kadaverino:



Pri mono-, di-, kaj trimetilamino oni trovas, ke ili ĉiuj enestas en plantaj histoj kaj la ekskrementoj de bestoj. Krom metilaminoj, troviĝas nature malmultaj primaraj aminoj. Nombro da diaminoj rezultas el la bakteria malkombiniĝo de proteinoj; putrescino kaj kadaverino estas ekzemploj.

Multaj el la aminoj pli simplaj estas industrie produktataj je granda skalo kaj estas uzataj en la fabrikado de vasta gamo de produktoj. Vidu Tabelon 19-1 por kelkaj ekzemploj.

Tabelo 19-1. Kelkaj interesaj aminoj

Nomo	Strukturo	Uzoj
metilamino	CH_3-NH_2	sintezo de la insekticido Sevin kaj la raketa fuzaĵo monometila hidrazino
trimetilamino	$(CH_3)_3N$	produktado de ĥolina klorido, vitamina aldonaĵo vaste uzata en bestaj furaĝoj
dietilamino	$(CH_3CH_2)_2NH$	produktado de mult-nombraj kemiaĵoj uzataj por trakti kaŭĉukon; produktado de klorokino, medikamento kontraŭ-malaria
trietilamino	$(CH_3CH_2)_3N$	uzata por ekstrakto kaj purigo de tiaj antibiotikoj, kiel penicilino kaj tetraciklinoj
heksametilendiamino	$H_2N-(CH_2)_6-NH_2$	krudaĵo por la produktado de nilono
efedrino		uzata por dilati la pupilojn dum okulaj ekzamenoj
mekloretamino	$ClCH_2CH_2-N(CH_3)-CH_2CH_2Cl$	uzata en kancera terapio
p-aminoazobenzeno		flava kolorenzo
metadono		uzata dum la kuracado de heroina manio

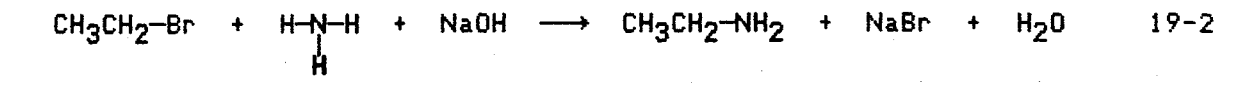
19.3 PREPARO DE AMINOJ

Primaraj alkilaminoj povas esti preparitaj per la reakcio inter alkilaj halidoj (Sekcio 13.11) kaj amoniako:

$$R-Br + H-NH_2 + NaOH \longrightarrow R-NH_2 + NaBr + H_2O \qquad 19\text{-}1$$

alkila halido amoniako amino

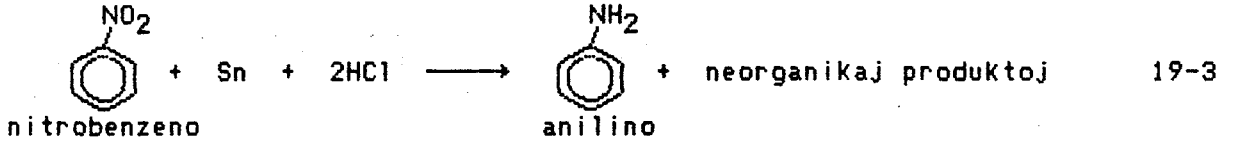
La preparo de etilamino havigas al ni specifan ekzemplon.



etila bromido (brometano) amoniako etilamino

Laŭ simila vojo, por prepari sekundarajn aminojn, oni povas reakciigi primaran aminon kun konvena alkila halogenido. Tiu tipo de reakcio povas esti ankaŭ aplikita por prepari terciarajn aminojn pere de sekundaraj aminoj.

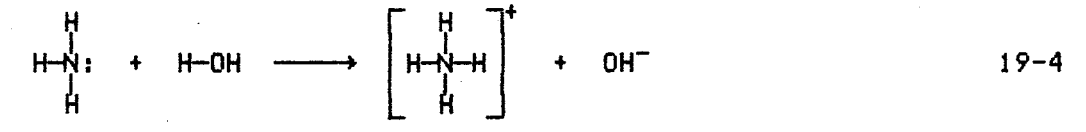
Por prepari aromatajn aminojn, oni reduktas tiujn aromatajn nitrokombinaĵojn, kiuj estis preparitaj per la nitroizo de la aromata ringo (Sekcio 15.4).



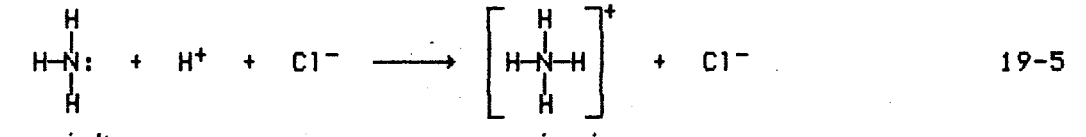
nitrobenzeno anilino

19.4 REAKCIOJ DE AMINOJ

La kemio de aminoj similas plejparte al tiu de amoniako. Pri tio oni ne miru, ĉar aminoj estas simple organikaj derivaĵoj de la amoniaka molekulo (Sekcio 19.1). Amoniako reakcias kun akvo, donante bazajn solvaĵojn (reakcio 19-4). Ĝi reakcias kun acidoj formante salojn (reakcio 19-5).



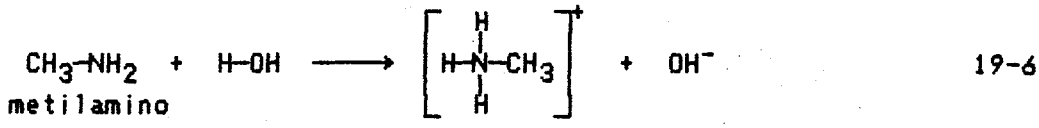
amoniako amonia jono



amoniako amonia jono

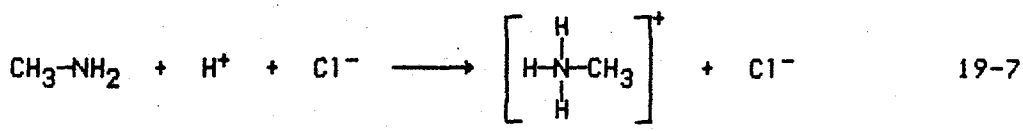
En ambaŭ reakcioj, la nekomuna paro de elektronoj ĉe la nitrogenatomo (Sekcio 6.6) estas uzita por formi novan ligon N-H, kaj la amoniaka molekulo transformiĝas en amonian jonon.

Aminoj, kiuj ankaŭ havas nitrogenatomon kun nekomuna paro de elektronoj, reakcias kun akvo (reakcio 19-6) kaj acidoj (reakcio 19-7) laŭ simila vojo. Kaj neorganikaj acidoj (HCl, H_2SO_4, ktp.) kaj organikaj (karboksilaj) acidoj kapablas ŝanĝi aminojn en amoniajn salojn.



metilamino — metilamonia jono

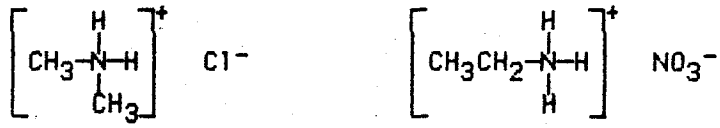
19-6



metilamonia jono

19-7

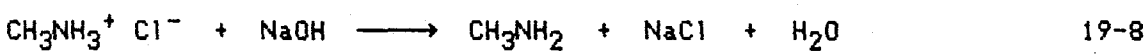
Aminaj saloj estas solidaj kaj havas fandopunktojn relative altajn. Ili estas ĝenerale solveblaj en akvo kaj nesolveblaj en nepolusaj organikaj solvenzoj. Tiuj saloj estas nomataj kiel derivaĵoj de amoniaj saloj. La nomo de la pozitiva jono estas ĉiam ia adjektivo apud kiu estas la substantiva nomo de la negativa jono.



dimetilamonia klorido — etilamonia nitrato

Pro sia joneco, aminaj saloj estas ĝenerale pli solveblaj en akvo ol la originaj aminoj. El tio sekvas, ke nombron da kompleksaj drogoj (inkluzive de kodeino kaj morfino) oni dozas pere de la aminaj saloj.

Se oni traktas la salon per forta bazo de tipo NaOH, tiam liberiĝos mult-okaze la libera amino disde la amina salo. Malsupre estas ekzemplo uzanta metilamonian kloridon.



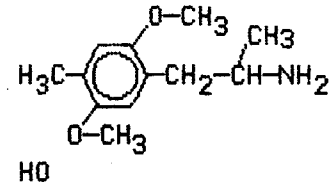
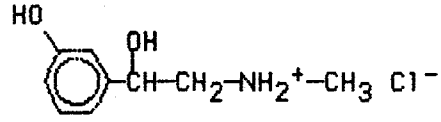
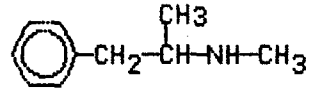
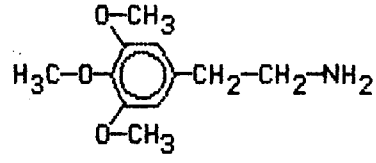
19-8

19.5 AMFETAMINOJ

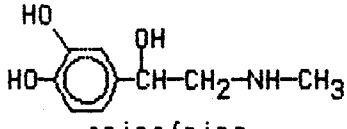
amfetaminoj

Amfetaminoj estas aro da sintezaj drogoj, kiuj stimulas la centran nervan sistemon.

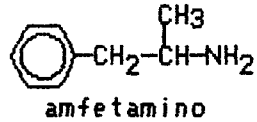
Tabelo 19-2. Amfetaminoj

Nomo	Formulo
2,5-dimetoksi-4-metilamfetamino	
fenilefrina hidroklorido (Neo-Synephrine)	
N-metilamfetamino	
meskalino	

"Benzedrine", aŭ benzedrino, la fundamenta kombinaĵo de tiu familio, estis unue sintezita en 1927 kiel drogo, kiu stimulas la funkciadon de la hormono adrenalino (epinefrino). Adrenalino ludas gravan rolon, provizante glukozon (fonto de energio) al la korpa histo. La strukturoj de la du kombinaĵoj estas:



epinefrino
(adrenalino)



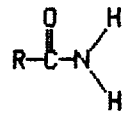
amfetamino
aŭ benzedrino

Post la sintezo de la origina benzedrino, oni produktas jam nombron da aliaj kombinaĵoj tre parencaj. Multaj el tiuj iĝas jam parto de la kontraŭ-leĝa droga "kulturo" en iuj partoj de la mondo. Kelkaj amfetaminoj kaŭzas halucinojn; meskalino estas ekzemplo. Tabelo 19-2 donas la kemian strukturon por kelkaj el tiuj drogoj. Notu ke iuj estas primaraj aminoj, dum aliaj estas sekundaraj aminoj. Notu ankaŭ kiom proksime iliaj strukturoj similas al tiu de adrenalino, kombinaĵo necesa por la vivo. Tio ilustras kiel nur etaj ŝanĝoj en organika molekulo povas draste aliigi la efikon de tiu molekulo.

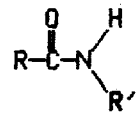
19.6 KARAKTERIZAĴOJ KAJ NOMENKLATURO DE AMIDOJ

Amidojn oni rajtas rigardi kiel derivaĵojn de karboksilaj acidoj, en kiuj la hidroksilon anstataŭas grupo $-NH_2$, grupo -NHR, aŭ grupo $-NR_2$. Amidoj

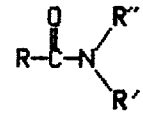
povas esti klasitaj laŭ primara, sekundara, aŭ terciara, depende de tio, kiun el tiuj tri grupoj ili entenas.



primara amido



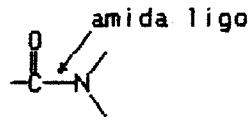
sekundara amido



terciara amido

amido; amida grupo

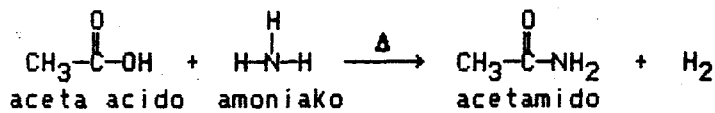
La karakteriza funkcia grupo de amidoj estas la amida grupo.



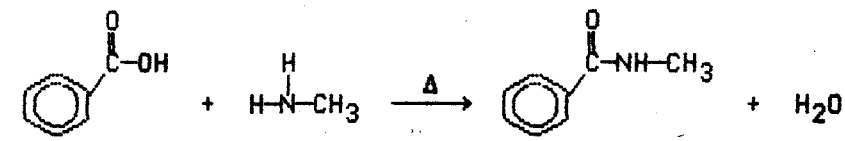
amida ligo

La karbon-nitrogena unuobla ligo de amida grupo nomiĝas amida ligo.

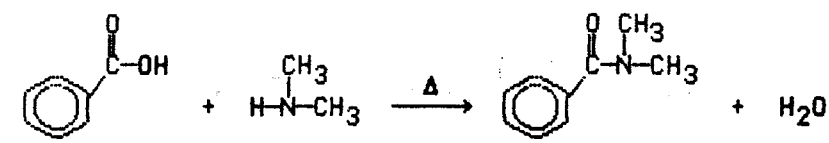
Amidoj povas esti preparitaj per la reakcio, ĉe altigitaj temperaturoj, de karboksilaj acidoj kun amoniako (kio donas primaran amidon), kun primaraj aminoj (kio donas sekundaran amidon), aŭ kun sekundaraj aminoj (kio donas terciaran amidon). Pluraj specifaj amid-donaj reakcioj estas:



19-9



19-10



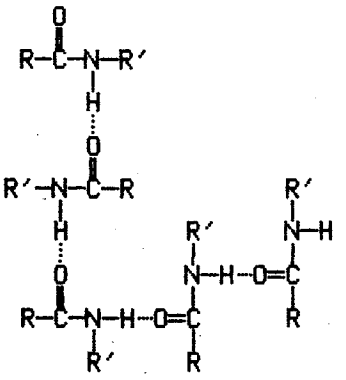
19-11

La kondiĉo, laŭ kiu oni devas disponi hidrogenatomon sur la nitrogeno de la reakcianta amino, malebligas al terciaraj aminoj formi amidojn.

Atentu ke por nomi amidojn, oni aldonas la vorteton amido al la radiko de la responda karboksila acido. Se alkiloj estas alligitaj al la nitrogeno de la amido, tiam la nomo de la alkilo antaŭas la nomon de la amido, kaj majusklo N estas uzata por indiki ke la alkilo estas ligita al nitrogeno.

Hidrogenligiĝo okazas vaste inter amidoj, kiel montrite en Bildo 19-3. Hidrogenligiĝo de ĉi tiu tipo estas grava faktoro por la formiĝo de la spaca figuro de proteinaj molekuloj (Sekcio 22.7).

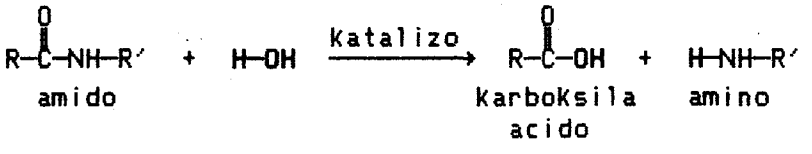
Bildo 19-3. Hidrogenligiĝo en amidoj



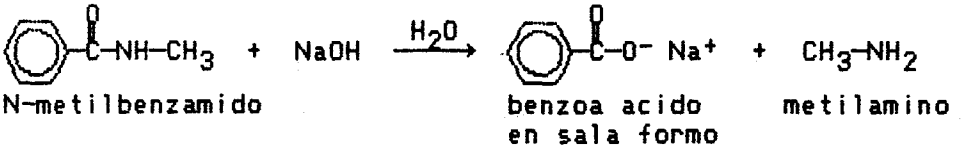
Amidoj ĝenerale estas neŭtraj kombinaĵoj, montrantaj nek senteblan acidan nek bazan konduton en akvo. Tio estas rekta kontrasto kun aminoj, kiuj ja montras bazan konduton.

19.7 REAKCIOJ DE AMIDOJ

La sola lernenda reakcio de amidoj estas hidrolizo, dum kiu molekulo de akvo reakcias kun amido, rompas la amidan ligon, kaj produktas la originan acidon kaj aminon. Tiu procezo respondas al la inverso de la prepara reakcio (ekvacioj 19-9 ĝis 19-11). Amida hidrolizo estas ĉef-rola procezo por la digesto de proteinoj en la korpo. La reakcion katalizas acidoj, bazoj, aŭ enzimoj. La ĝenerala reakcio kaj konkreta ekzemplo estas donitaj en reakcioj 19-12 kaj 19-13.



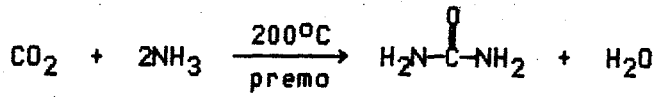
19-12



19-13

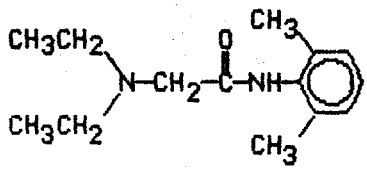
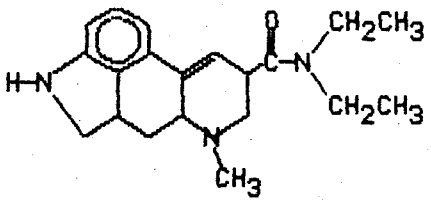
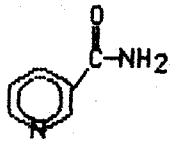
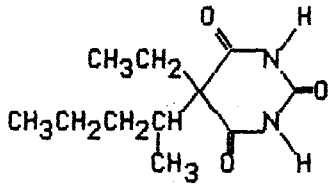
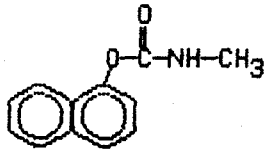
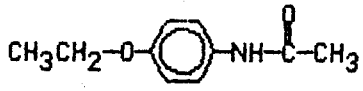
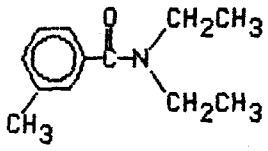
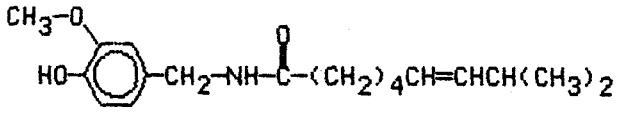
19.8 GRAVAJ AMIDOJ

La uzo kaj graveco de amidoj estas indikitaj de ekzemploj en Tabelo 19-3. Aliaj amidoj ege gravaj ampleksas ureon kaj la poliamidojn. Ureo, kies sintezo kondukas al la renverso de la vitalismo (Sekcio 13.1), estas la normala fin-produkto en la homa metabolo de nitrogen-entenaj nutraĵoj (proteinoj). Plenaĝulo mez-ranga eligas ĉ. 30 gramojn tage en la urino. Ureo estas multege produktata, pli ol milionon da tunoj jare. La krudaĵoj estas amoniako kaj karbona dioksido.



19-14

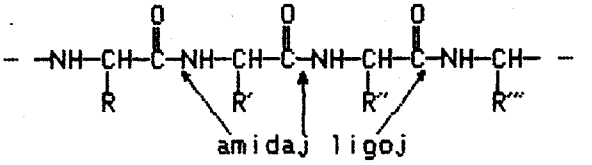
Tabelo 19-13. Kelkaj utilaj amidoj

Nomo	Struktura formulo	Tipa uzo
lidokaino (Xylocaine)		loka anestezaĵo
dietilamido de lizerga acido (L.S.D.)*		haluciniga drogo
nikotinamido (niacinamido)		unu el la B-vitaminoj
Nembutal (firmo "Abbott")		barbiturato
Karbarilo (Sevin)		insekticido
fenacetino		reduktas febron
N,N-dietil-m-toluamido		unu el la plej efikaj moskitaj forpelenzoj
Kapsaicino		pika ingredienco en papriko

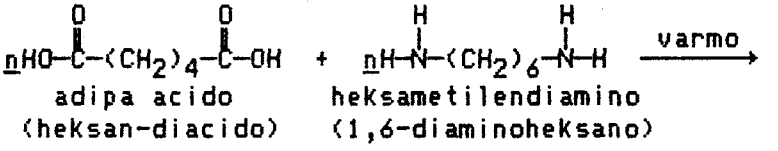
*Noto: la mallongigo "L.S.D." devenas de la angla nomo por tiu kombinaĵo: lysergic acid diethylamide.

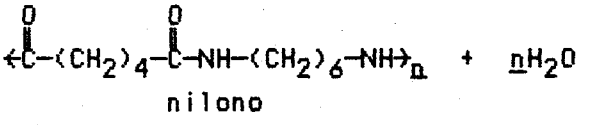
Preparata komerce ureo estas uzata ĉefe kiel sterkaĵo, dum kvantoj pli malgrandaj estas uzataj ankaŭ por la fabrikado de plastoj.

Poliamidoj estas polimeraj materialoj, en kiuj la amida ligo estas la karakteriza ligo inter monomeraj molekuloj. Silko kaj lano estas naturaj poliamidoj, kiujn ni klasas en proteinojn. Proteinoj estos detale studataj en Ĉapitro 22. Provizore ni nur notas la ripetajn unuojn kaj la amidajn ligojn, kiuj estas karakterizaj por amidoj. Tion bildigas la sekvanta porcio de poliamida proteina ĉeno:



Dum la Dua Monda Milito, aziaj provizoj de silko iĝis nehaveblaj por Usono. La serĉado de sintezaj substituaĵoj kondukis al la eltrovo de tiu sinteza poliamido, kiun ni nomas nilono. Nilono estas preparata el adipa acido kaj heksametilendiamino (1,6-diaminoheksano). La kondensa reakcio estas:





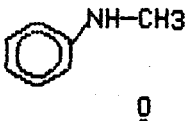
19-15

EKZERCOJ

Strukturaj Trajtoj en Aminoj

1. Kiuj el la sekvantaj kombinaĵoj estas aminoj?

a) $CH_3-NH-CH_2-CH_3$

b) 

c) $CH_3-CH_2-C(=O)-NH-C_6H_5$

ĉ) $CH_3-CH_2-N(CH_3)-CH_2-CH_3$

d) $CH_3-CH_2-C(=O)-NH_2$

e) $CH_3-N(CH_3)-CH_3$

f) $CH_3-C(CH_3)_2-NH_2$

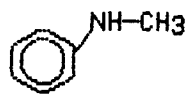
2. Priskribu la diferencojn inter primaraj, sekundaraj, kaj terciaraj aminoj laŭ ties ligiĝo al la nitrogena atomo.
3. Kiel la uzado de la terminoj primara, sekundara, kaj terciara en rilato al aminoj diferencas de ilia uzado ĉe alkoholoj?
4. Klasu ĉiun el la kombinaĵoj en Ekzerco 1, kiun vi identigis kiel aminon,

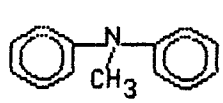
en primaran, sekundaran, aŭ terciaran.

Nomenklaturo de Aminoj

5. Nomu la sekvantajn aminojn, aldonante la vorteton -amino al alkilaj nomoj:

a) $CH_3-CH_2-NH-CH_2-CH_3$

b) 

c) 

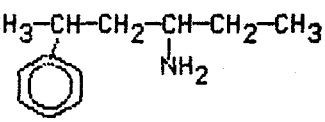
ĉ) $CH_3-CH_2-CH_2-N(CH_3)-CH_3$

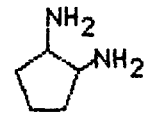
d) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-NH_2$

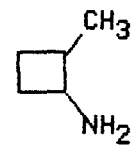
6. Nomu la sekvantajn aminojn tiel, ke la aminogrupo traktiĝas kiel branĉa substituanto:

a) $CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH(CH_3)-NH_2$

b) $CH_3-CH(NH_2)-CH_2-CH_2-NH_2$

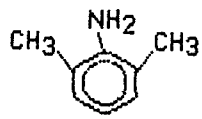
c) 

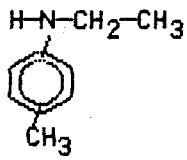
ĉ) 

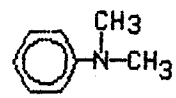
d) 

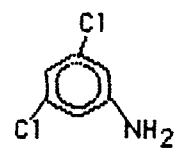
e) $CH_3-CH=CH-CH(NH_2)-CH_3$

7. Nomu la sekvantajn aromatajn aminojn kiel derivaĵojn de anilino:

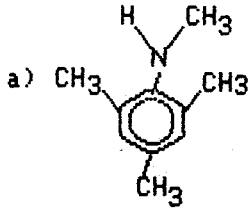
a) 

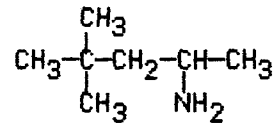
b) 

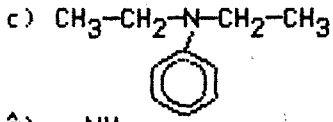
c) 

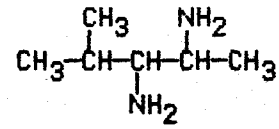
ĉ) 

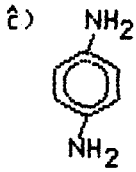
8. Nomu ĉiun el la sekvantaj aminoj laŭ unu el la metodoj uzitaj en Ekzercoj 5, 6, kaj 7.

a) 

b) 

c) 

d) 

ĉ) 

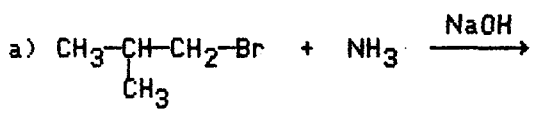
9. Desegnu strukturajn formulojn kaj nomu ĉiujn izomerajn aminojn (8), kiuj havas la molekulan formulon $C_4H_{11}N$.

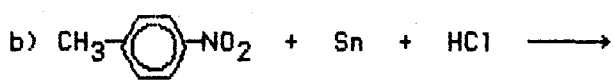
Hidrogenligiĝo kaj Aminoj

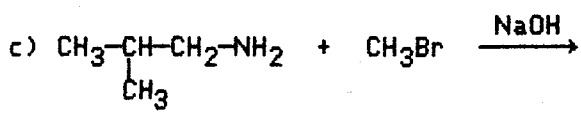
10. Desegnu bildon similan al Bildo 19-2 por ilustri la hidrogenligiĝon eblan inter aminaj molekuloj.

Preparo de Aminoj

11. Skribu la strukturan formulon de la amino rezultanta el ĉiuj jenaj reakcioj:

a) 

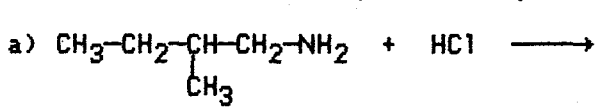
b) 

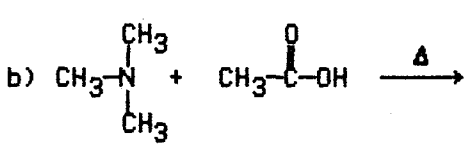
c) 

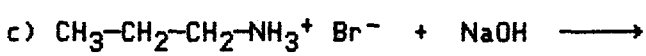
12. Skribu ekvaciojn (tri paŝojn) por prepari $N(CH_3)_3$ ekde CH_3Br.

Aminaj Saloj

13. Skribu la strukturan formulon por la ĉefa organika produkto rezultanta el ĉiu de la sekvantaj reakcioj:

a) 

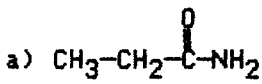
b) 

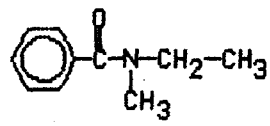
c) 

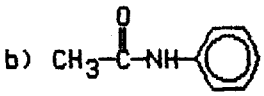
14. Klarigu kial morfino, drogo aminotipa, eble estos dozita al paciento en la formo de morfina sulfato.

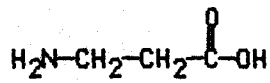
Strukturaj Trajtoj de Amidoj

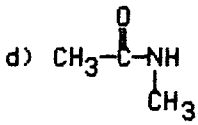
15. Kiuj el la sekvantaj kombinaĵoj entenas amidan funkcian grupon?

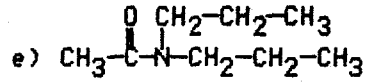
a) 

c) 

b) 

ĉ) 

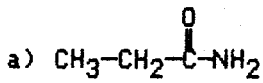
d) 

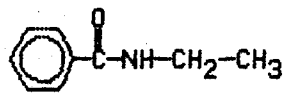
e) 

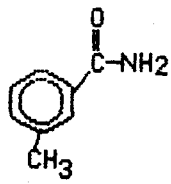
16. Kiuj el la amidoj en Ekzerco 15 povas esti plue klasitaj en la kategorion primara amido? sekundara amido? terciara amido?

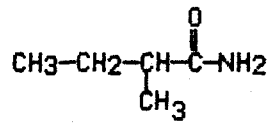
Nomenklaturo de Amidoj

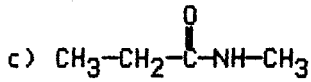
17. Alskribu nomojn laŭ IUPAK al jenaj amidoj:

a) 

ĉ) 

b) 

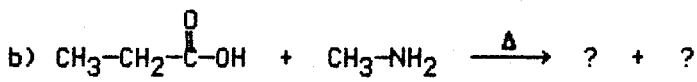
d) 

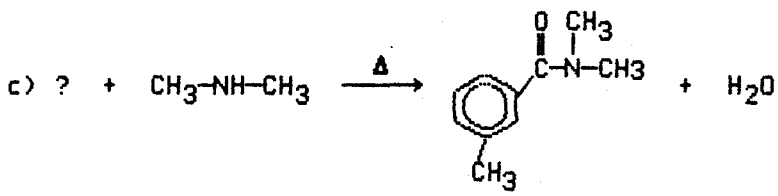
c) 

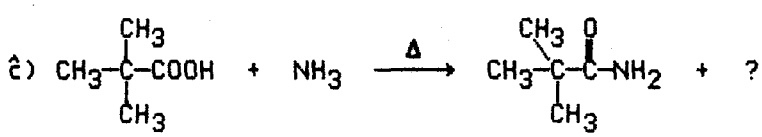
Preparo de Amidoj

18. Kompletigu la sekvantajn reakciojn:

a) 

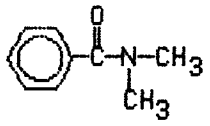
b) 

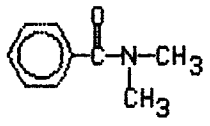
c) 

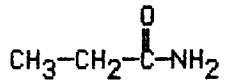
ĉ) 

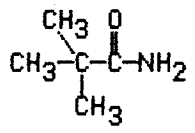
Reakcioj de Amidoj

19. Kompletigu la sekvantajn reakciojn:

a)  + H_2O $\xrightarrow{HCl}$? + ?

b)  + H_2O $\xrightarrow{NaOH}$? + ?

c)  + H_2O $\xrightarrow{NaOH}$? + ?

ĉ)  + H_2O $\xrightarrow{HCl}$? + ?

Uzoj de Amidoj

20. Donu la nomon (nesisteman aŭ IUPAKan) por amido kiu estas uzata kiel:

a) moskita forpelenzo
b) loka anestezaĵo
c) haluciniga substanco
ĉ) insekticido
d) vitamino
e) sterkaĵo

Reakcioj de Amidoj, Aminoj, kaj Aminaj Saloj

21. Skribu ekvacion por ilustri la sekvantajn procedojn:

a) formadon de N-metilacetamido
b) hidrolizon de la insekticido Sevin (vidu Tabelon 19-3)
c) formadon de N-metilanilino el nitrobenzeno (du reakcioj)
ĉ) reakcion de anilino kun HBr
d) preparo de 1-amino-2,2-dimetilpropano
e) formadon de N-metilanilino ekde amina salo

20 SAKARIDOJ

CELOJ

20.1 Klasi la sakaridojn laŭ monosakaridoj, disakaridoj, aŭ polisakaridoj. Identigi donitan monosakaridon kun triozon, tetrozon, pentozon, aŭ heksozon. Klasi monosakaridojn en aldozon kaj ketozon.

20.2 Priskribi la troviĝon kaj la uzadon de monosakaridoj. Rekoni la strukturajn formulojn de diversaj monosakaridoj kaj distingi ilin. Rekoni kaj distingi alfa- kaj beta-formojn de monosakaridoj.

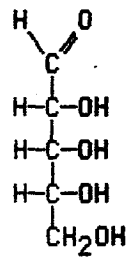
20.3 Identigi la reduktajn sukerojn kaj skribi ĝeneralan reakcion por ilia oksidigo.

20.4 Priskribi la troviĝon kaj aplikadon de disakaridoj. Rekoni la disakaridojn kaj skribi la ŝlosilajn reakciojn por ilia formiĝo el mono-sakaridoj, kaj por ilia hidrolizo. Klarigi kial iuj disakaridoj estas reduktaj sukeroj.

20.5 Priskribi la ecojn, troviĝon, uzadon kaj molekulan strukturon de polisakaridoj.

Sakaridoj estas gravegaj kombinaĵoj el biologia kaj komerca vidpunktoj. Ili estas vaste troveblaj en la naturo kaj ampleksas tiel konatajn substancojn kiel celulozon, tablan sukeron kaj amelon. En la naci-lingvoj, same kiel en Esperanto, la tradicia nomo por sakarido estas karbo(n)hidrato. Ĝi originas el tiu frua observo, ke la varmigo de tiuj kombinaĵoj rezultigas akvon kaj nigran karbon-restaĵon, kaj tio malĝuste supozigis, ke ili estas hidratoj de karbono. En tiu ĉi libro ni uzas sole la pli sciencan kaj internacian terminon sakarido.

La plej okulfrapa kemia karakterizaĵo de sakaridoj estas, ke ili entenas grandan nombron da funkciaj grupoj. Ekzemple, la sakarido ribozo havas funkcian grupon ĉe ĉiuj siaj atomoj de ĉeno konsistanta el kvin karbonatomoj:



ribozo

Krom la hidroksilaj grupoj, la plejmulto da sakaridoj havas ankaŭ karbonilan grupon - ĉu ketonan, ĉu aldehidan funkcian grupon - kiel parton de sia molekula strukturo. El tio venas la moderna difino.

sakarido

Sakaridoj estas polihidroksaj aldehidoj aŭ ketonoj, aŭ substancoj kiuj liveras tiajn kombinaĵojn post hidrolizo.

Sakaridoj plenumas kvar gravajn rolojn en vivaj organismoj. Ili provizas energion per sia oksidiĝo, ili disponigas karbonon por la sintezo de ĉelkomponantoj, ili servas kiel stokita formo de kemia energio, kaj ili formas parton de strukturaj elementoj de kelkaj ĉeloj kaj histoj. La fonto de tiuj tre gravaj substancoj estas la fotosinteza procezo.

fotosinteza procezo

En la fotosinteza procezo, plantoj enhavantaj klorofilon transformas karbonan dioksidon kaj akvon en sakaridojn, helpe de sunlumo kiel energi-fono.

$$\underline{n}\ CO_2 + \underline{n}\ H_2O \xrightarrow[\text{klorofilo}]{\text{sunlumo}} C_{\underline{n}}(H_2O)_{\underline{n}} + \underline{n}\ O_2 \qquad 20\text{-}1$$

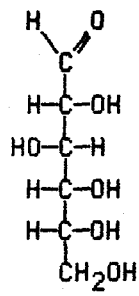
20.1 KLASIFIKO DE SAKARIDOJ

Ekzistas tri ĉefaj klasoj de sakaridoj: mono-, di-, kaj polisakaridoj.

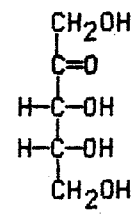
monosakarido (simpla sukero)

Monosakaridoj, aŭ simplaj sukeroj, konsistas el unusola polihidroksila aldehida aŭ ketona unuo.

Monosakaridoj estas plue klaseblaj konforme al la nombro de siaj karbonatomoj. Tiel, simplaj sukeroj enhavantaj tri, kvar, kvin aŭ ses karbonatomojn, nomiĝas respektive triozoj, tetrozoj, pentozoj, kaj heksozoj. La ĉeeston de aldehida grupo en monosakarido signas la prefikso aldo-. Simile, ketona grupo estas signita per prefikso keto-. Tiel, glukozo estas aldoheksozo kaj ribulozo estas ketopentozo.



glukozo (aldoheksozo)



ribulozo (ketopentozo)

disakarido

Disakaridoj estas sakaridoj kemie kunligitaj el du monosakaridaj unuoj.

Konata ekzemplo estas sakarozo, aŭ tabla sukero. En la kemia senco, sukero estas iu ajn sakarido, kiu havas dolĉan guston.

polisakarido

Polisakaridoj konsistas el tre longaj ĉenoj de kunligitaj monosakaridaj unuoj.

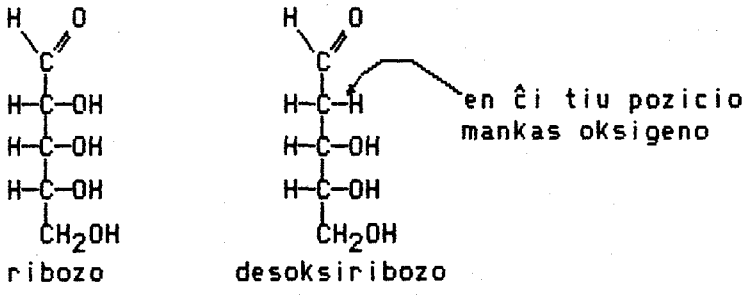
Polisakaridaj ĉenoj povas esti liniaj aŭ branĉaj. La ordinaraj polisakaridoj, pritraktataj en tiu ĉi ĉapitro, entenas glukozajn ripet-unuojn. Ekzemploj estas amelo kaj celulozo.

20.2 MONOSAKARIDOJ

La plej simplaj sakaridoj estas la monosakaridoj aŭ simplaj sukeroj. El la multaj sciataj, ni limigas nian pritrakton al du pentozoj kaj tri

heksozoj. Tamen ankaŭ triozoj, tetrozoj, kaj heptozoj estas gravaj, precipe kiel interproduktoj en la metabola procezo de kelkaj sakaridoj.

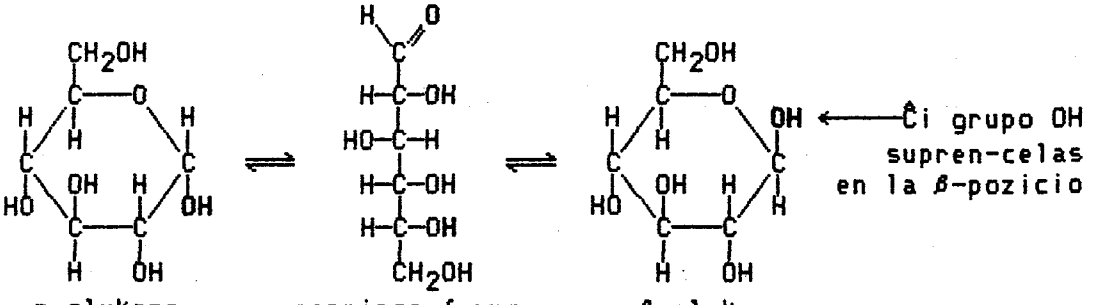
La du pentozoj, ribozo kaj desoksiribozo (ribozo sen unu oksigena atomo), estas biologie gravaj kiel komponantoj de nukleaj acidoj. Ili estas troveblaj en ĉiu vivanta ĉelo kaj rolas en la sintezo de proteinoj kaj en la transportado de genetikaj informoj (Ĉapitro 24).



ribozo desoksiribozo

El la monosakaridoj, la heksozoj estas la plej gravaj por la nutrado kaj ili estas la plej abundaj en la naturo. Glukozo kaj fruktozo troviĝas nature en la libera formo, dum galaktozo troviĝas nature nur en kombinita formo.

Glukozo, kelkfoje nomata dekstrozo, estas vaste trovebla en la naturo. Ĝiaj fontoj estas interalie mielo kaj tiaj fruktoj kiel vinberoj, figoj, kaj daktiloj. Maturaj vinberoj ekzemple enhavas 20 ĝis 30 procentojn de glukozo. Glukozo estas konata ankaŭ kiel sangosukero ĉar ĝi estas tiu sukero, kiun la sango transportas al la histoj de korpo por kontentigi ilian energi-bezonon. Aliaj sukeroj sorbitaj en la korpon devas transformiĝi en glukozon per la hepato. Tial ke glukozo ne bezonas tiun transformon, ĝi estas ofte injektata intravejne al pacientoj kiuj bezonas senprokrastan nutradon.

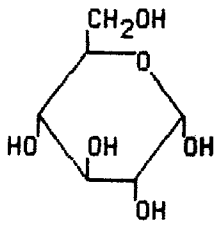


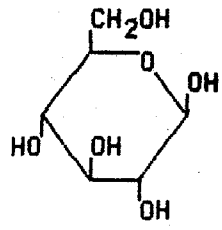
α-glukozo senringa formo de glukozo β-glukozo

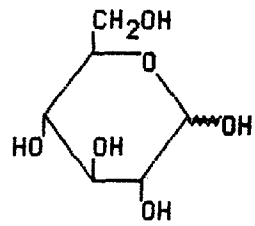
Bildo 20-1. Akva solvaĵo de glukozo kun la tri ekvilibraj formoj

Tri diversaj strukturoj estas konataj por glukozo: unu kun malfermita ĉeno kaj du ciklaj strukturoj: α-glukozo kaj β-glukozo (Bildo 20-1). Laŭ

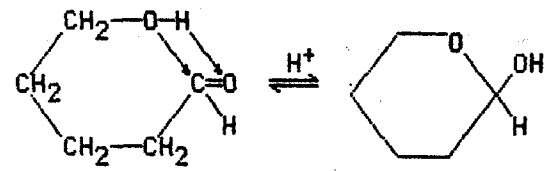
ekzamenoj, la ekvilibra distribuo de tiuj tri izomeroj en akva solvaĵo estas jena: ĉ 36% de α-glukozo, 0,02% de senringa formo kaj 64% de β-glukozo. Oportunaj simpligitaj formuloj por la ciklaj kombinaĵoj estas sube montritaj (onda linio indikas la ligon al hidroksilo ĉe la unua karbono, kiam oni ne bezonas distingi la α-formon kaj β-formon de sukero).


α-glukozo


β-glukozo


glukozo (se la signoj α kaj β ne necesas)

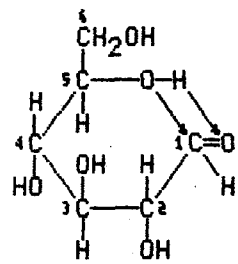
La ciklaj formoj de glukozo devenas de la intramolekula reakcio inter aldehida kaj alkohola grupoj, kiu formas ciklan hemiacetalon. La reakcio 20-2, montranta pli simplan molekulon, emfazas tipon de interago.


senringa molekulo entenanta aldehidan kaj alkoholan grupojn

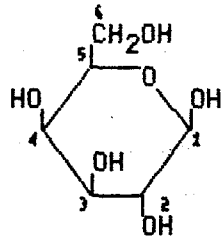
cikla strukturo entenanta hemiacetalan grupon

20-2

En tiu ĉi reakcio kun glukozo, la alkohola grupo ĉe la kvina karbonatomo adiciiĝas al la aldehida grupo ĉe la unua karbonatomo, kiel montrite. (Rememoru ke la numerado komenciĝas ĉe tiu fino, kiu donas la plej malaltan numeron al la karbonilo). Ĉar la reakcio estas inversigebla, la hemiacetala grupo estas konata kiel eventuala libera aldehida grupo.



Galaktozo estas heksozo kun strukturo tre simila al glukozo. La sola diferenco inter ili estas la orientiĝo de la hidroksilo ĉe la kvara karbonatomo. Simile al glukozo, ankaŭ galaktozo ekzistas en formoj α, β, aŭ senringa; jen la β-formo:



β-galaktozo

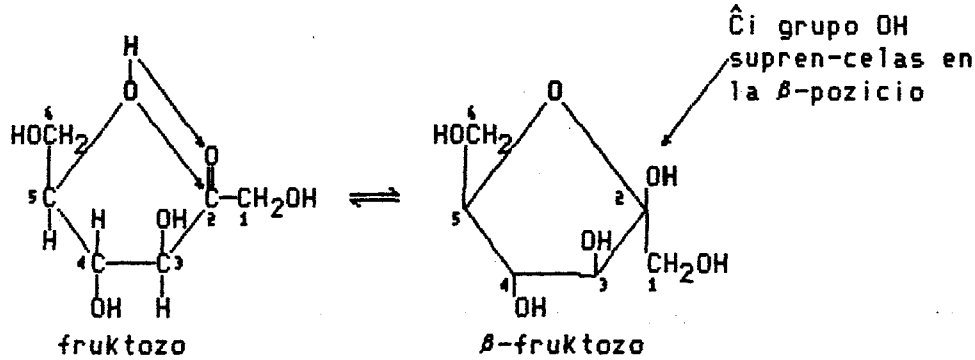
Galaktozo ne troviĝas libera en la naturo, sed ĝenerale estas ricevebla el hidrolizo de la disakarido laktozo. Galaktozo ofte troviĝas en kombinita stato en la cerba kaj nerva histo.

Fruktozo, la plej grava ketoheksozo, estas montrita kaj en cikla kaj en sencikla formoj en Bildo 20-2. La kvinmembra ringo formiĝas simile al la ringoformiĝo de glukozo. Alkoholo adiciiĝas al duobla ligo de karbonilo (en ĉi tiu kazo, ketono). La orientiĝo de la grupo -OH ĉe pozicio 2 determinas ĉu fruktozo estas en α- aŭ en β-formo.

Fruktozo, alinome levulozo aŭ frukta sukero, estas la plej dolĉa el la ordinaraj sukeroj. Fruktozo troviĝas en la libera stato en multaj fruktoj; ĝi estas en mielo kune kun glukozo en rilatumo 1:1. Ĝi estas preparebla per la hidrolizo de la disakarido sakarozo kaj ofte estas uzata por la dolĉigo de manĝaĵoj.

20.3 OKSIDIGO DE MONOSAKARIDOJ

En Sekcio 17.7, ni menciis ke kombinaĵoj entenantaj hidroksilon ĉe karbonatomo najbara al karbonilo estas oksidigeblaj per alkalaj solvaĵoj de Cu^{2+}. Kelkaj monosakaridoj, ĉar ili havas tiun strukturon aŭ la respondan hemiacetalan strukturon, estas facile oksidigeblaj per alkalaj solvaĵoj de jonoj Cu^{2+} aŭ Ag^{+}.



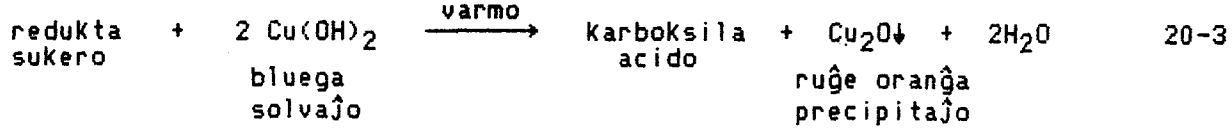
fruktozo β-fruktozo

Bildo 20-2. Strukturaj formuloj de fruktozo

reduktaj sukeroj

Sukeroj, kiuj estas oksidigeblaj per malfortaj oksidigantoj nomiĝas reduktaj sukeroj.

Reduktaj sukeroj ampleksas glukozon, galaktozon, kaj fruktozon. Kiam kuprika hidroksido, $Cu(OH)_2$, estas la oksidiganto, formiĝas ruĝe oranĝa precipitaĵo - kuproza oksido, Cu_2O (reakcio 20-3). Solvaĵoj de Benedict aŭ Fehling estas rutine uzataj en laboratoriaj testoj pri glukozo en urino. Ĉiuj ĉi reagenzoj enhavas kuprikan hidroksidon (kupran dihidroksidon). Se sukero (glukozo) ĉeestas en la urino, la koloro de la solvaĵo ŝanĝiĝas de profunde blua al verda, flava, oranĝa aŭ ruĝe oranĝa, depende de la koncentreco de glukozo. Pro tio, ke glukozo normale ne aperas longadaŭre en la urino, ĝia persista ĉeesto indikas ian misfunkcion, kiel sukeran diabeton (vidu Sekcion 25-7).

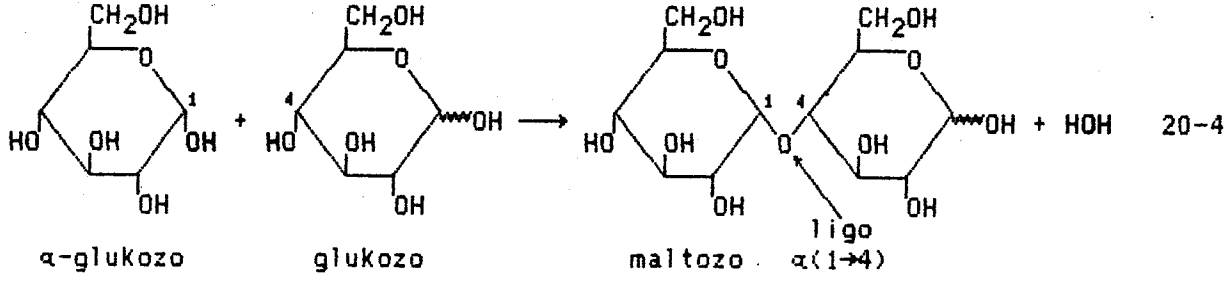


20-3

20.4 DISAKARIDOJ

Disakaridoj estas sukeroj komponitaj el du monosakaridaj unuoj kunligitaj per acetala ligo. Ili estas hidrolizeblaj kaj el tio rezultas iliaj monosakaridaj konstru-eroj per boligo kun diluaj acidoj aŭ per ilia reakciigo kun konvenaj enzimoj. El vidpunkto de nutrado, la plej gravaj membroj de tiu grupo estas maltozo, laktozo, kaj sakarozo.

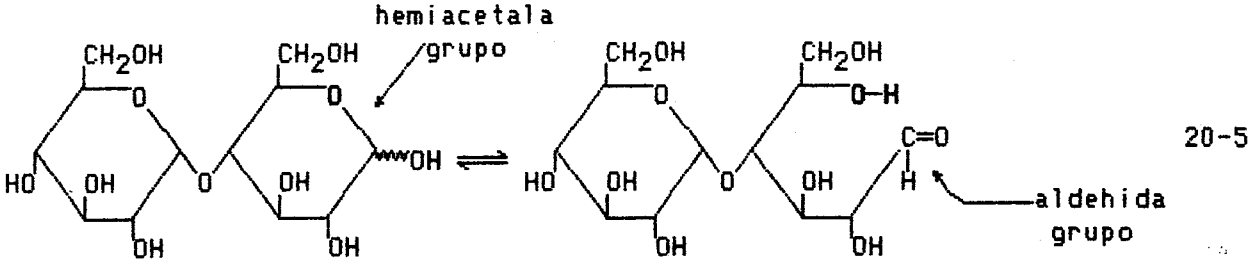
Maltozo, nomata ankaŭ maltosukero, entenas du glukozajn unuojn ligitajn per acetala ligo inter karbono 1 de la unua glukoza unuo kaj karbono 4 de la dua unuo (reakcio 20-4).



20-4

La konfiguracio de la ligo ĉe karbono 1 en la acetala ligo inter la du glukozaj unuoj estas α, kaj la ligon simbolas la esprimo α(1→4) por indiki tiun fakton. Maltozo estas reduktа sukero, ĉar ĝi entenas eventualan liberan aldehidan grupon (hemiacetalon) ĉe karbono 1 de la dua

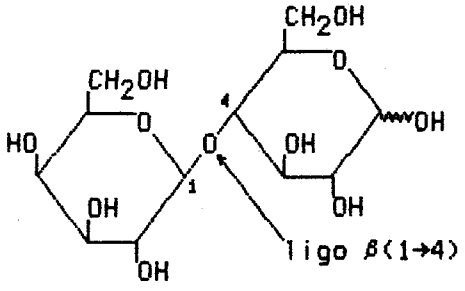
glukoza unuo (reakcio 20-5).



20-5

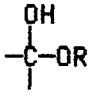
Maltozo, trovebla en ĝermanta greno, formiĝas dum la digestiĝo (hidrolizo) de amelo al glukozo. Ĝia nomo devenas de tio, ke dum la ĝermado (aŭ maltigado) de hordeo la amelo hidroliziĝas al la disakarido.

Laktozo, aŭ laktosukero, estas disakarido el galaktozo kaj glukozo kunigita per ligo $\beta(1\rightarrow4)$.



laktozo

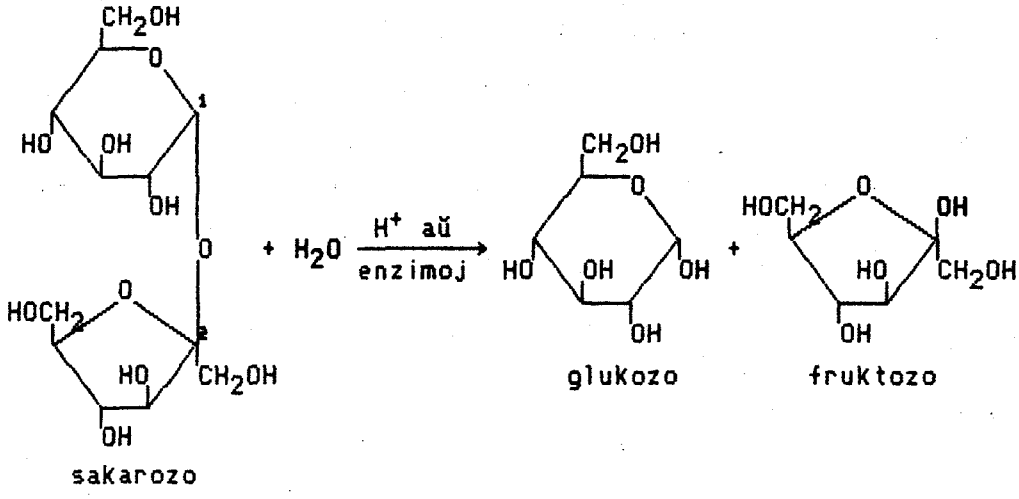
Ĉar laktozo posedas eventualan liberan aldehidan grupon en sia glukoza unuo, ĝi estas redukta sukero. La sola natura fonto de laktozo estas lakto, kiu sinteziĝas en la mamaj glandoj el glukozo de la sango. Laktozo estas grava ingredienco de komerce produktataj bebaj nutraĵoj, kiuj estas surogato por patrina lakto. Kiam lakto acidiĝas, laktozo transformiĝas en laktan acidon.

La disakarido sakarozo (saĥarozo), la ordinara tabla sukero, estas ege abunda en la vegetala regno. Ĝi troviĝas en multaj fruktoj, en la nektaro de floroj, kaj en la suko de multaj plantoj, precipe sukerkano kaj sukerbeto, ĝiaj komercaj fontoj. La kruda sukero de sukerkano nomiĝas sukrozo. Sakarozo entenas monosakaridojn, glukozon kaj fruktozon, kunigitajn per ligo inter karbono 1 de glukozo (α) kaj karbono 2 de fruktozo (β). Neniu ringo en la sakarozo entenas grupon 

necesan por ringo-malfermiĝo. Tiel do, malsimile al maltozo kaj laktozo, sakarozo ne estas redukta sukero.

Hidrolizo de sakarozo rezultigas la miksaĵon de glukozo kaj fruktozo en proporcio de 1:1, nomata invertita sukero aŭ invert-sukero. La miksaĵo

(reakcio 20-6) estas pli dolĉa ol la origina sukero. Kiam oni kuiras sakarozon kun manĝaĵoj enhavantaj acidojn, kiel fruktoj aŭ beroj, okazas parta hidrolizo kaj iom da invertita sukero formiĝas. Marmeladoj kaj konfitaĵoj preparitaj tiamaniere estas pli dolĉaj ol la pura sukero origine metita en ilin.



sakarozo

20-6

Tabelo 20-1. Komparo de kelkaj ecoj de polisakaridoj kun tiuj de monosakaridoj kaj disakaridoj

Eco	Monosakaridoj kaj disakaridoj	Polisakaridoj
Molekula maso	malgrandaj	tre grandaj
Solveblo en akvo	solveblaj	nesolveblaj aŭ formas koloidajn dispersaĵojn
Gusto	dolĉaj	sengustaj
Grando de eretoj	ili trapasas membranon	ili ne trapasas membranon
Testoj per $Cu(OH)_2$ (oksidiganto)	pozitivaj (krom sakarozo)	negativaj

20.5 POLISAKARIDOJ

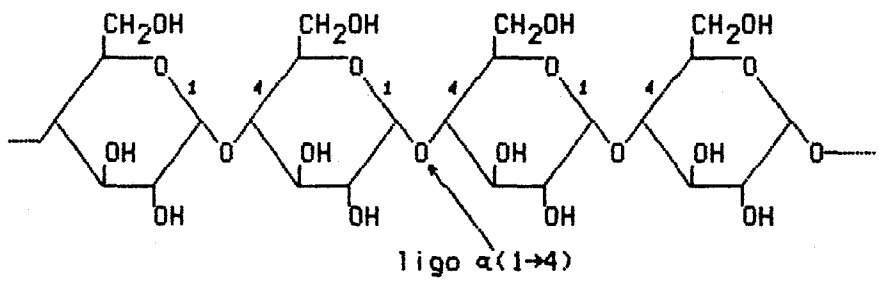
Polisakaridoj estas polimeroj de monosakaridoj kaj havas grandan molekulan mason. Post plena hidrolizo per acidoj aŭ enzimoj, ili redonas la konsistajn monosakaridojn. La ecoj de polisakaridoj signife diferencas disde tiuj de la ordinaraj monosakaridoj kaj disakaridoj (Tabelo 20-1).

Amelo troviĝas nature en multaj plantoj, kie ĝi funkcias kiel sistemo stokanta nutraĵon. Ĝi estas grava komponanto de la homa dieto kaj, en la formo de terpomoj, rizo, tritiko kaj aliaj grenoj, ĝi prezentas 70

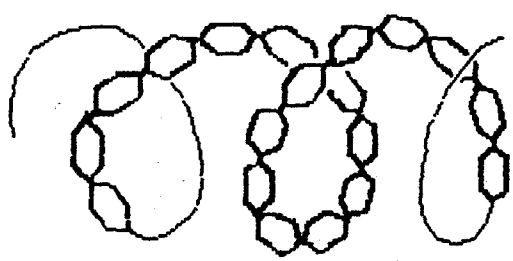
%-ojn de la tutmonda nutraĵo. Amelo entenas du tipojn de polisakaridoj: amelozon (ordinare 10 ĝis 30%) kaj amelopektinon (ordinare 70 ĝis 90%).

Amelozon konsistigas longaj senbranĉaj ĉenoj de glukozaj unuoj kunigitaj per ligoj α(1→4) (Bildo 20-3). La ameloza ĉeno alprenas helican konfiguracion, kun malfermita kerno iranta tra ĝia tuta longo (Bildo 20-4). Jodo reakcias kun amelo formante karakterizan bluegan koloron, kiu supozeble aperas kiam jodaj molekuloj plenigas la kavan kernon de la amela helico. La koloro iom post iom velkas kaj fine malaperas dum amelo estas hidrolizata per aŭ acido aŭ enzimoj, formante dekstrinojn (pli malgrandajn polisakaridojn), tiam maltozon, kaj fine glukozon. La malapero de la joda koloro estas verŝajne atribuebla al la disrompo de la amela helico. La joda reakcio estas vaste uzata por detekti amelon kaj kontroli ĝian hidrolizon.

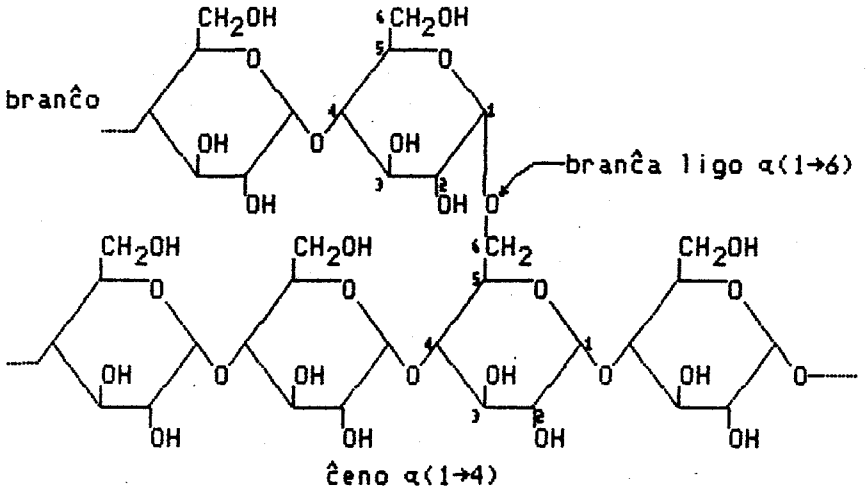
La strukturo de amelopektino similas tiun de amelozo, krom ke ĝi estas tre branĉohava kaj entenas ligojn kaj α(1→4) kaj α(1→6) (Bildo 20-5). Mezvalore, la disbranĉiĝo de la glukoza ĉeno troviĝas ĉe ĉiu dekdua glukoza unuo laŭlonge de la ĉefĉeno de amelopektino. La ĉefĉeno estas tiu longa ĉeno, kiu havas la ligojn α(1→4).



Bildo 20-3. La strukturo de amelozo



Bildo 20-4. Helica spiralo de la ameloza ĉeno

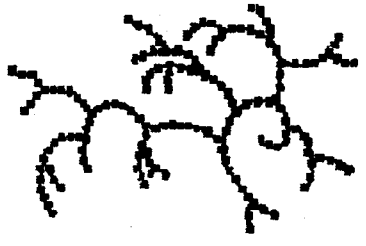


Bildo 20-5. La strukturo de amelopektino

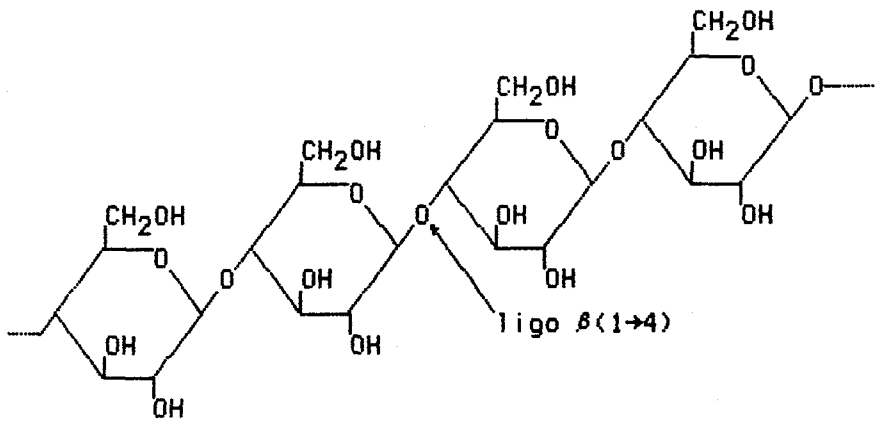
La molekula maso de amelozo estas ĉirkaŭ 50.000 amu, kaj tiu de amelopektino estas 300.000 amu aŭ pli.

La polisakaridon glikogeno oni kelkfoje nomas animala amelo, ĉar ĝi estas rezerva sakarido por bestoj kaj homoj, kiu analogas al la amelo de plantoj. Ĝi estas precipe abunda en la hepato kaj muskoloj, kie multe da superflua glukozo, enprenita de animalo, estas rezervata por estonta uzo. Ĉe hidrolizo, glikogeno formas glukozon, kiu helpas subtenadi la normalan nivelon de sangosukero kaj provizi la muskolojn per energio. Laŭstrukture, glikogeno estas tre simila al amelopektino. Ĝi entenas nome ligojn kaj α(1→4) kaj α(1→6) inter la glukozaj unuoj (Bildo 20-6). Glikogeno enhavas tamen pli da disbranĉiĝoj, kaj ĝia molekula maso estas multe pli granda, ofte superanta 3 milionojn da amu.

La polisakarido celulozo estas la ĉefa komponanto de la rigida ĉelparieto de plantoj. Ĝi estas linia polimero de glukozo, kiu entenas ligojn β(1→4) (Bildo 20-7). La taksita minimuma molekula maso varias inter 50.000 kaj 500.000 amu, kiu respondas al 300 ĝis 3000 glukozaj unuoj.



Bildo 20-6. Branĉa strukturo de amelopektino kaj glikogeno (ĉiu punkto simbolas unu glukozan unuon)



Bildo 20-7. La strukturo de celulozo

Celulozo estas kunmetita en fasko de paralelaj ĉenoj, aŭ fibretoj, kiuj aljuĝas rigidecon kaj forton al la strukturo.

Kvankam amelo, kiu entenas α-ligojn, estas facile digestebla, la homo kaj multaj ceteraj animaloj malhavas la bezonatajn enzimojn por la hidrolizo de la β-ligoj de celulozo. Tial, celulozo havas limigitan signifon kiel nutraĵon, sed ĝi estas utila en la digestado, ĉar ĝi donas mason al fekaĵo kaj preventas konstipon (mal-lakson). Bestoj, uzantaj celulozon kiel nutraĵon, faras tion nur kun helpo de bakterioj kiuj disponas pri la necesaj enzimoj. Herbovoraj bestoj kiel bovoj, ŝafoj, ĉevaloj, kaj eĉ termitoj, apartenas al tiu kategorio. Ĉiu el ili havas tiujn bakteriojn ie en sia digesta sistemo kaj uzas la simplajn sakaridojn kiuj rezultas el la bakteria hidrolizo de celulozo. Estas bone, ke la grundo ankaŭ enhavas organismojn kun la konvenaj enzimoj. Alikaze, la rubaĵo de *mortintaj plantoj akumuliĝus, anstataŭ esti bio-malkombinata.*

Homoj utiligas celulozon laŭ diversaj manieroj. Ekzemple, ni konstruas domojn el ĝi (ligno), skribas kaj presas sur ĝi (papero), vestas nin per ĝi (katuno, tolo, rajono), pakas per ĝi (papero kaj celofano), preparas el ĝi eksplodaĵojn (nitrocelulozo), kaj uzas ĝin por filmoj (celuloza acetato).

Bildo 20-4: El Robert C. Bohinski, "Modern Concepts in Biochemistry" (Modernaj Konceptoj en la Biokemio), 2a Eldono. Kopirajto ©1976 de Allyn and Bacon, Inc., Boston.

Bildo 20-6: El A.L. Lehninger, "Biochemistry" (Biokemio), 2a Eldono de Worth Publishers, Nov-Jorko, 1975, paĝo 265.

EKZERCOJ

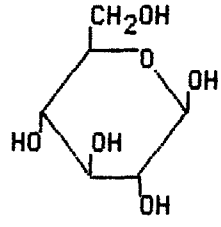
Rolo de Sakaridoj

1. Kiuj estas la kvar gravaj roloj de sakaridoj en vivaj organismoj?

Klasoj de Sakaridoj

2. Parigu la terminojn sakarido, monosakarido, disakarido kaj polisakarido kun la sekvaj (pluraj terminoj povas akordi).

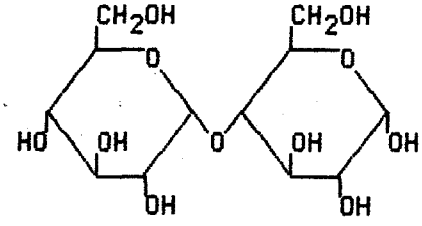
a) tabla sukero

b) 

c) amelo

ĉ) fruktozo

d) celulozo

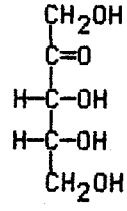
e) 

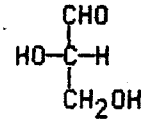
f) glikogeno

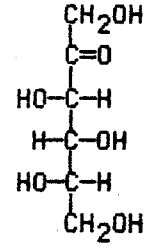
g) amelozo

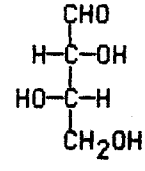
Strukturo de Monosakaridoj

3. Klasu ĉiun el la sekvantaj monosakaridoj en la kategoriojn aldozo aŭ ketozo:

a) 

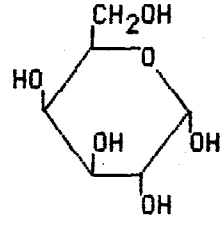
b) 

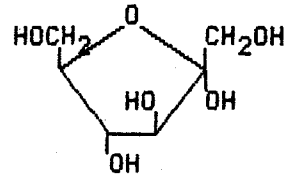
c) 

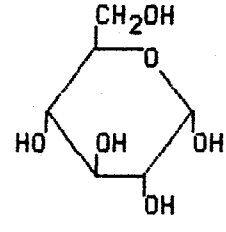
ĉ) 

4. Ordigu ĉiun el la monosakaridoj de Ekzerco 3 laŭ triozo, tetrozo, pentozo, aŭ heksozo.

5. Identigu ĉiun el la sekvantaj kun α- aŭ β-formo kaj desegnu la strukturan formulon de la alia formo:

a) 

b) 

c) 

6. Identigu laŭnome ĉiun el la monosakaridoj kies strukturaj formuloj estas donitaj en Ekzerco 5.

7. Laŭ strukturo, kiel diferencas la membroj de ĉiu el la sekvantaj monosakaridaj paroj unu de la alia?

a) ribozo kaj desoksiribozo
b) glukozo kaj galaktozo
c) glukozo kaj fruktozo

8. Kiu estas la *precipa formo* (cikla aŭ sencikla) de glukozo en akva solvaĵo?

Troviĝo kaj Uzoj de Monosakaridoj

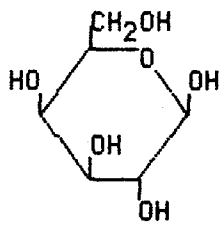
9. Nomu la monosakaridon kiu akordas kun la sekvaj eldiroj:

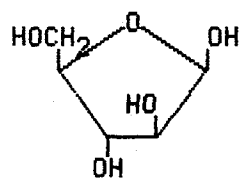
a) la plej dolĉa sukero ordinare trovebla en manĝaĵoj
b) komun-uza nutraĵo donata al hospitalaj pacientoj intravejne
c) ludas gravan rolon en protein-sintezo kaj en la transportado de genetikaj informoj
ĉ) tiu formo de sukeroj, kiu estas transportata per la sango al korpo-histoj por kontentigi ties energi-bezonon
d) ĉeestas en mielo kune kun glukozo en rilatumo 1:1

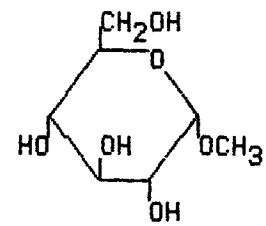
Oksidigo de Monosakaridoj

10. Kio estas redukta sukero?

11. Kiu el la sekvaj strukturoj figuras eventualan aldehidon?

a)


b)


c)


Disakaridoj

12. Kiu monosakarido estas komponanto de ĉiuj tri el la disakaridoj sakarozo, maltozo, kaj laktozo?

13. Skribu ekvaciojn por la formiĝo de la sekvaj disakaridoj el konvenaj monosakaridoj: a) sakarozo b) maltozo c) laktozo

14. Identigu disakaridon kiu akordas kun la sekvaj eldiroj:

a) la ordinara sukero al la laiko
b) transformiĝas en laktan acidon kiam lakto iĝas acida
c) ingredienco de sinteza patrina lakto por beboj
ĉ) formiĝas en ĝermanta greno
d) hidroliziĝas, kiam kuirita kun acidaj fruktoj, kaj donas invert-sukeron
e) trovebla en altaj koncentrecoj en la suko de multaj plantoj

15. Skribu ekvaciojn por la hidrolizo de jenaj disakaridoj al monosakaridoj:

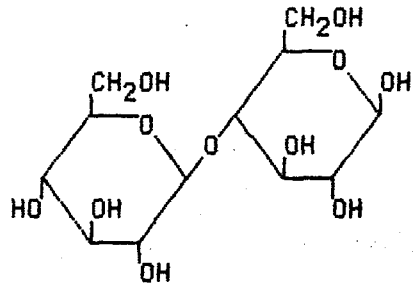
a) sakarozo b) maltozo c) laktozo
ĉ) celobiozo, komponita el du glukozaj unuoj per ligo $\beta(1\rightarrow4)$

16. Klarigu kial laktozo kaj maltozo estas reduktaj sukeroj, kaj sakarozo ne estas.

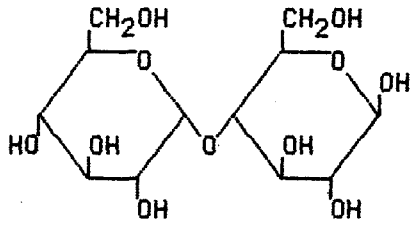
17. Kiuj el la sekvaj disakaridoj estas reduktaj sukeroj? Motivu vian

respondon.

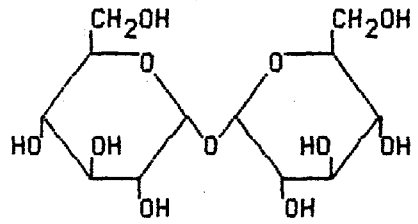
a)



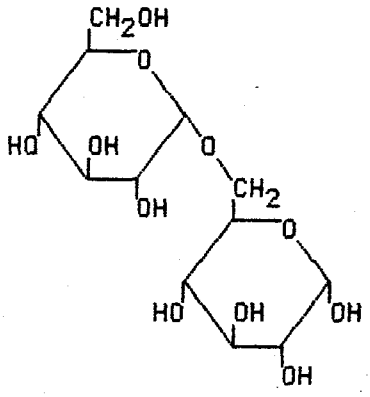
c)



b)



ĉ)



Polisakaridoj

18. Nomu polisakaridon kiu akordas kun la sekvaj eldiroj:

    a) la nebranĉa polisakarido en amelo
    b) la plej abunde trovebla polisakarido en amelo
    c) rezerva (stokita) formo de sakaridoj en animaloj

19. Parigu la sekvajn strukturajn karakterizaĵojn al la polisakaridoj amelopektino, amelozo, glikogeno, kaj celulozo. Iu karakterizaĵo eble estos atribuebla al pluraj polisakaridoj.

    a) enhavas ligojn kaj α(1→4) kaj α(1→6)
    b) komponita(j) el glukozaj monosakaridaj unuoj
    c) entenas acetal-ligojn inter la monosakaridaj unuoj
    ĉ) komponita(j) el tre branĉaj molekulaj ĉenoj
    d) komponita(j) el nebranĉaj molekulaj ĉenoj

21 LIPIDOJ

CELOJ

21.1 Identigi tiujn lipidojn, kiuj entenas grasajn acidojn kiel parton de sia strukturo. Priskribi la strukturajn karakterizaĵojn de grasa acido. Studi, kiel influas la fandopunkton de grasaj acidoj la relativa molekula maso kaj la grado de nesatureco. Priskribi la ĝeneralajn karakterizaĵojn de grasoj kaj oleoj laŭ a) strukturo, b) fontoj, c) nombro da duoblaj ligoj, kaj ĉ) fandopunkto. Rekoni kaj skribi reakciojn laŭ kiuj formiĝas grasoj kaj oleoj.

21.2 Rekoni kaj skribi ŝlosilajn reakciojn de grasoj kaj oleoj; t.e., hidrolizo, sapigo, kaj hidrogenizo. Priskribi la procezojn kaj reakci-produktojn kiuj kaŭzas la ranciĝon de grasoj kaj oleoj.

21.3 Rekoni kaj skribi reakciojn por la hidrolizo de vaksoj.

21.4 Rekoni la komunan molekulan strukturon de steroidoj. Priskribi la biologian gravecon de steroidoj.

21.5 Montri, ke vi komprenas la karakterizaĵojn kaj korpajn funkciojn de gras-solveblaj vitaminoj. Nomi la karencajn malsanojn kiuj rilatas al tiuj vitaminoj.

La grupo de kombinaĵoj, kiun ni nomas lipidoj, konstruiĝas el substancoj kun tre diversaj strukturoj kaj konsistoj. Pro tio, estas malfacile difini ilin koncize. La plej ofte uzata metodo baziĝas sur solveblo.

lipido

Kiam biologia materialo estas muelita kaj bone miksita kun nepolusa solvenzo, kiel etero, kloroformo aŭ tetraklormetano, la substancoj kiuj solviĝas en la solvenzo nomiĝas lipidoj.

Tiuj kombinaĵoj estas gravaj por homoj pro pluraj kaŭzoj. Kelkaj lipidoj estas energi-fontoj. Superfluaj sakaridoj kaj aliaj energi-donaj nutraĵoj estas transformataj kaj stokataj en la korpo kiel lipidoj, alinome grasoj. Tiuj gras-rezervoj konsistigas unu el la ĉefaj stokaj formoj de kemia energio kaj karbono en la korpo. Lipidoj ĉirkaŭas kaj izolas kelkajn vivogravajn korp-organojn. En tiu rolo, ili liveras protekton kontraŭ meĥanikaj skuoj kaj helpas subtenadi la ĝustan temperaturon de la korpo. Lipidoj servas ankaŭ kiel fundamentaj strukturaj komponantoj de ĉiuj ĉel-membranoj. Laŭ kelkaj taksoj, preskaŭ 40% de mez-valora usona dieto konsistas el manĝeblaj lipidoj. Certaj specifaj lipidoj, necesaj por la sano, devas esti en tiu dieto, ĉar la korpo ne povas ilin sintezi.

En nia pritrakto, lipidoj estos ordigitaj en du ĉefajn klasojn: tiuj, kiuj entenas gras-acidojn en sia strukturo (grasoj, oleoj, kaj vaksoj), kaj tiuj, kiuj ne havas gras-acidojn (steroidoj kaj gras-solveblaj vitaminoj). Gras-acidoj estas ĉefe longaĉenaj (12 aŭ pli da karbonaj atomoj) karboksilaj acidoj.

21.1 GRASOJ KAJ OLEOJ

Grasoj kaj oleoj estas la plej abunde troveblaj inter la naturaj lipidoj.

graso; oleo

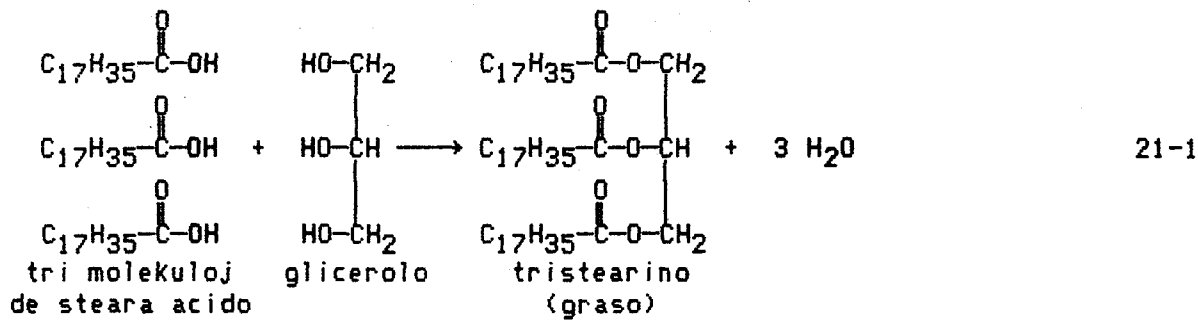
Laŭ strukturo, grasoj kaj oleoj estas esteroj (Sekcio 18.7) formitaj el grasacidoj kaj la triolo glicerolo. Ĉe ĉambra temperaturo, grasoj estas solidaj; oleoj estas likvaj.

Tri molekuloj de gras-acido kombiniĝas kun la tri hidroksilaj grupoj de glicerolo formante esteron.

triglicerido

Ĉar ili estas esteroj de glicerolo, grasoj kaj oleoj ofte nomiĝas trigliceridoj.

Ekzemplo pri la formiĝo de triglicerido estas la reakcio inter glicerolo kaj la grasacido steara acido (oktadekan-acido), kio donas tristearinon. Tiu ĉi estas graso, en kiu ĉiuj tri acidoj estas identaj.



21-1

simpla triglicerido

Simpla triglicerido estas graso aŭ oleo en kiu la tri acidaj unuoj estas identaj, kiel en tristearino.

miksa triglicerido

La plej multaj nature troveblaj grasoj kaj oleoj entenas malsamajn gras-acidajn unuojn; ili nomiĝas miksaj (nesimplaj) trigliceridoj.

Kiel menciite, la ĉefa diferenco inter graso kaj oleo estas la fandopunkto. Grasoj estas solidaj ĉe ĉambra temperaturo, dum oleoj estas likvaj. La fandopunkton determinas la grasacidoj karakterizaj por la graso aŭ oleo. Kiel konstatite, post hidrolizo oni ricevas pli grandajn kvantojn da nesaturitaj grasacidoj el oleoj, ol el grasoj. Lardo, bova graso, kaj butero (el bestoj) estas trigliceridoj kiuj entenas altajn procentojn da saturitaj grasacidoj, kaj ili estas solidoj (grasoj) ĉe ĉambra temperaturo. La respondaj produktoj el vegetaĵaj fontoj, kiuj enhavas multe pli malaltajn procentojn de saturitaj grasacidoj, estas likvoj (oleoj) je ĉambra temperaturo. La plejmulto da komercaj likvaj oleoj, uzataj por kuirado kaj kondimentoj, havas vegetaĵan originon.

Tabelo 21-1. Grasacidoj

Nomo	Nombro da Karbonatomoj	Formulo	Fandopunto (°C)	Kutimaj Fontoj
		Saturitaj		
Butira acido	4	$CH_3(CH_2)_2COOH$	-7	butero
Laŭra acido	12	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	44	kokosoleo
Mirista acido	14	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	54	butero kokosoleo muskata oleo
Palmita acido	16	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	63	lardo bovograso butero kotonsema oleo
Steara acido	18	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	70	lardo bovograso butero kotonsema oleo
Arakida acido	20	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	76	ternuksa oleo
Cerota acido	26	$CH_3(CH_2)_{24}COOH$	97	abelvakso langraso
		Nesaturitaj		
Olea acido	18	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	16	lardo bovograso ternuksa oleo oliva oleo
Linolea acido	18	$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_2(CH_2)_6COOH$	-5	kotonsema oleo sojfaba oleo maiza oleo linoleo
Linolena acido	18	$CH_3CH_2(CH{=}CHCH_2)_3(CH_2)_6COOH$	-11	linoleo maiza oleo
Arakidona acido	20	$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_4(CH_2)_2COOH$	-50	maiza oleo linoleo animalaj histoj

Tabelo 21-1 donas la vulgarajn nomojn, formulojn, fandopunktojn, kaj fontojn de diversaj grasacidoj. Kvankam ni nur neformale difinis la grasacidojn kiel longaĉenajn karboksilajn acidojn, nun ni difinas ilin pli precize:

grasacido

Grasacidoj estas ĝenerale longaj, nebranĉaj monokarboksilaj acidoj, kiuj entenas nur unu karboksilon por ĉiu molekulo. Ili kutime entenas

paran nombron da karbonatomoj, kaj ili povas esti saturitaj aŭ enteni duoblajn ligojn.

La fandopunktoj de la acidoj dependas de du faktoroj, la molekula maso kaj la grado de nesatureco (nombro de duoblaj ligoj en molekulo). El Tabelo 21-1 estas videble, ke en la vico de saturitaj acidoj altiĝon de fandopunkto akompanas altiĝo de molekula maso. Steara, olea kaj linolea acidoj ilustras la efikon de nesatureco sur la fandopunkton. Ĉiuj tri entenas 18 karbonatomojn kaj havas preskaŭ egalajn molekulmasojn (284, 282, 280 amu respektive), tamen la fandopunktoj estas 70, 16, kaj -5 °C.

Linolea, linolena kaj arakidona acidoj estas la tri esencaj grasacidoj. La manko de tiuj kombinaĵoj, precipe en la dieto de suĉ-infanoj, kaŭzas ekzemon kaj perdon de korpomaso. Tiu stato estas resanigebla per dozado de la esencaj acidoj en la formo de maiza oleo aŭ manĝebla boligita linoleo, kiuj ambaŭ enhavas ĉiujn tri esencajn acidojn.

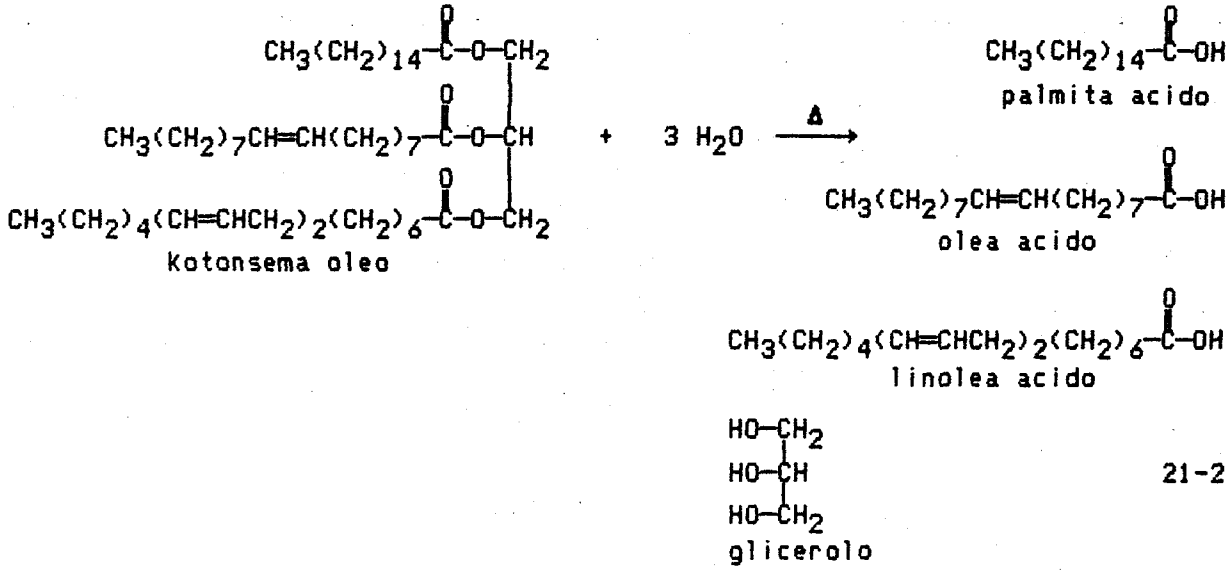
21.2 REAKCIOJ DE GRASOJ KAJ OLEOJ

Grasoj kaj oleoj suferas plurajn reakciojn, kvar el kiuj estas signifaj en la komerco: hidrolizo, sapigo, hidrogenizo kaj ranciĝo. La unuaj tri estas utilaj; la kvara estas nedezirata.

Hidrolizo

Hidrolizo estas unu el la plej gravaj reakcioj de grasoj kaj oleoj, same kiel por sakaridoj. La traktado de grasoj aŭ oleoj kun supervarmigita akvo-vaporo kaŭzas ilian hidrolizon al glicerolo kaj grasaj acidoj. Tiu reakcio, kiu estas la inverso de esterigo (reakcio 21-1), postulas la aldonon de akvo (ekzemple, vidu reakcion 21-2).

En Tabelo 21-1 la plej multe nesaturita acido, arakidona, havas kvar duoblajn ligojn. Tamen ekzemple fiŝ-oleoj enhavas acidojn kun kvin aŭ ses duoblaj ligoj. Ili estas nutre bonefikaj.

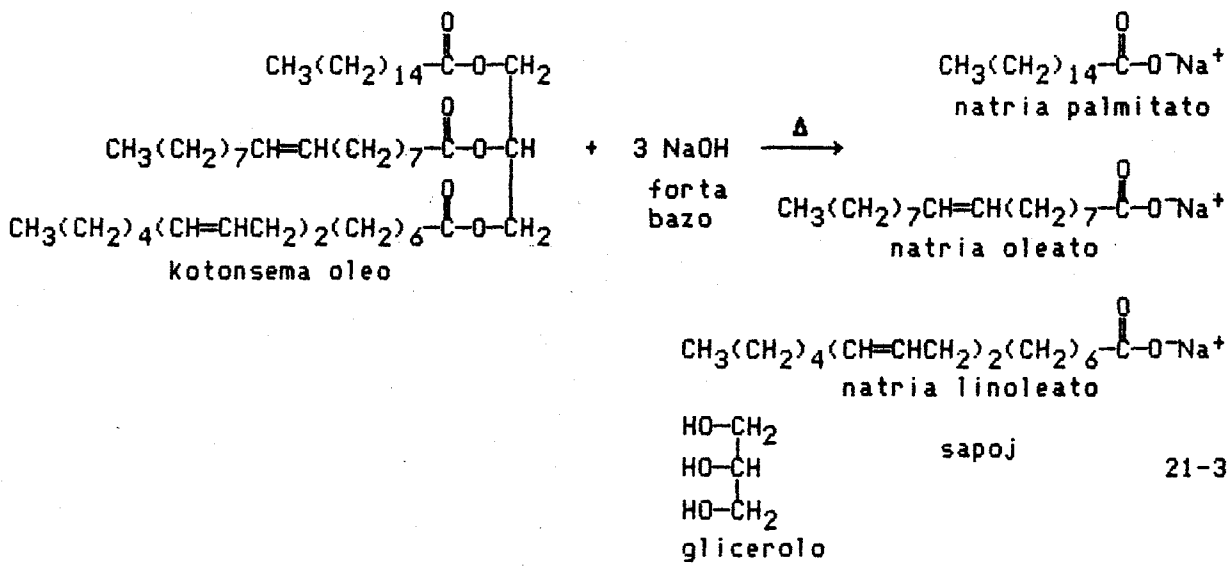


En komercaj procedoj la produktita glicerolo estas kolektata kaj purigata por uzado en la fabrikado de eksplodaĵoj kaj farmaciaj produktoj.

Certaj enzimoj de la digesta sistemo (lipazoj) katalizas la hidrolizan reakcion kaj efektivigas ĝin ĉe korpa temperaturo. Tiu reakcio estas la plej grava ŝanĝo kiu havas lokon en grasoj kaj oleoj dum la digestiĝo.

Sapigo

Kiam la hidrolizo de graso aŭ oleo estas realigita en ĉeesto de forta bazo, la procedon oni nomas sapigo (sapofarado). En tiu komerce grava reakcio, la produktoj estas glicerolo kaj la saloj de grasacidoj, aŭ sapoj (reakcio 21-3).



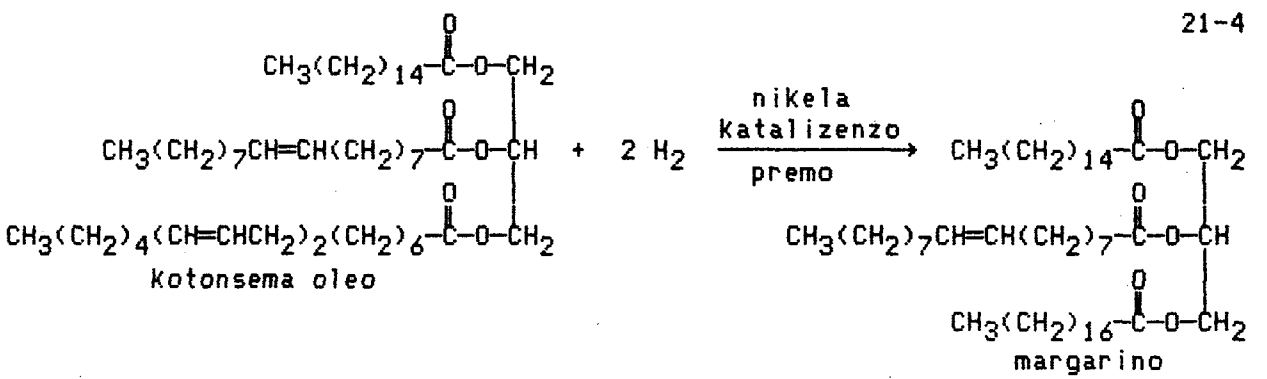
La ecoj de la sapoj, gajnitaj el la sapigo, dependas de la uzita bazo. La natriaj saloj, kiuj estas solidaj (malmolaj) sapoj, estas troveblaj

en la plejmulto da brik-sapoj uzataj en la hejmo. La kaliaj saloj, kiuj donas molajn sapojn, estas uzataj en kremoj por razado kaj en likvaj sap-preparaĵoj. Nesolveblaj sapoj formiĝas el kalcio kaj aliaj pezaj metaloj. La sapoj de pezaj metaloj, krom ke ili respondas por la malpura ringo ĉirkaŭ la bankuvo post lavado, estas uzataj en pudroj por la vizaĝo kaj en lubrikaj ŝmiraĵoj.

Hidrogenizo

La tria komerce grava reakcio de grasoj kaj oleoj estas la hidrogenizo, en kiu kelkaj duoblaj ligoj en grasacidoj reakcias kun hidrogeno sub premo. La rezulto estas malaltiĝo de la nesatureco kaj responda altiĝo de la fandopunkto de la graso aŭ oleo. Hidrogenizo estas plej ofte uzata en la produktado de margarinoj, kiuj estas artefarita butero. Estas grave ne plene efektivigi la reakcion, saturante ĉiun duoblan ligon. Se tio okazas, la produkto estas malmola kaj vakseca anstataŭ la glata, kremeca produkto, kiun deziras la aĉetanto. La reakcio 21-4 donas ekzemplon pri hidrogenizo uzanta metalan katalizilon (subtile diserigitan nikelon) por plirapidigi la reakcion:

21-4



Ranciĝo

La kvara, kaj nedezirata, reakcio de grasoj kaj oleoj estas verdire kunmeto de reakcioj kiuj kaŭzas la ranciĝon de grasoj kaj oleoj. Ranciĝo okazas, se grasoj kaj oleoj estas metitaj sub la efikon de varma, humida aero por certa daŭro; tio implicas ŝanĝiĝojn kiuj kaŭzas malagrablajn odorojn kaj gustojn. La ŝanĝiĝoj ĉefe temas pri du specoj de reakcioj: la hidrolizo de esteraj ligoj kaj la oksidiĝo de duoblaj ligoj en la karbonĉeno. La estera hidrolizo, kiun kutime kaŭzas enzimoj el mikroorganismoj, liberigas la grasacidojn. Multaj el la liberigitaj grasaj acidoj, precipe tiuj kun malalta molekulmaso, havas malagrablajn odorojn. Ekzemple, butira acido estas la fonto de la karakteriza odoro de ranca butero - kaj de nelavitaj ŝtrumpoj. La oksidiĝo kaj disfendiĝo de karbon-karbona duobla ligo ankaŭ naskas acidojn kaj, aldone, kelkajn aldehidojn kun malagrablaj odoroj.

Oksidiĝo-inhibenzoj (PIV: kontraŭoksidiloj), kiel hidrokinono kaj vitamino E, malebligas oksidiĝon kaj ofte estas aldonataj al margarinoj kaj aliaj grasoj kaj oleoj por bari ranciĝon.

Kiam aldehidoj kaj acidoj formiĝas per oksidiĝo, ili kelkfoje polimeriĝas al fortikaj, rezinecaj filmoj, kiujn akvo ne povas penetri. Tiaj oleoj, kiel linoleo, estas nomataj "sekiĝaj" oleoj ĉar ili estas grandparte nesaturitaj kaj ili iom facile suferas tiujn polimeriĝojn se elmetitaj al aero. Tial do, la sekiĝaj oleoj estas gravaj ingrediencoj en la plejmulto da dom-farboj, kiuj uzas oleon kiel la vehiklon. Linoleo estas ankaŭ uzata por produkti fortikan akvorezistan surfacon sur kelke da lignaj mebloj. La oksidiĝo de sekiĝaj oleoj povas havi lokon en ĉifonoj saturitaj per ili. Kiam la varmo, estiĝinta en la procezo, sufiĉas por ekbruligi la ĉifonojn, tio nomiĝas spontanea ekbrulo.

21.3 VAKSOJ

vakso

La lipidoj de la klaso vaksoj estas, simile al grasoj kaj oleoj, esteroj de grasacidoj. Tamen vaksoj estas derivitaj el molekulmase altaj alkoholoj anstataŭ glicerolo.

Vaksoj ne estas tiom facile hidrolizeblaj kiel grasoj kaj oleoj, sekve ili troviĝas en la naturo kelkfoje kiel protektaj tegaĵoj. Tiaj estas sur flor-petaloj kaj fruktohaŭtoj. La grasacidoj, el kiuj ili estas derivitaj, estas ĝenerale la samaj kiel tiuj de grasoj kaj oleoj, sed la alkoholoj ĝenerale entenas nur unu hidroksilon por ĉiu molekulo kaj 12 ĝis 32 karbonatomojn. El la nature troveblaj vaksoj vicigitaj en Tabelo 21-2, lanolino estas la plej grava el medicina vidpunkto, ĉar ĝi estas vaste uzata kiel vehiklo por multaj ungventoj, pomadoj, kaj kremoj.

Tabelo 21-2. Kelkaj vaksoj en la naturo

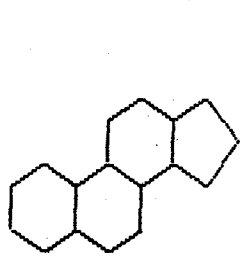
Nomo	Ĉefa alkoholo	Ĉefa acido	Fonto	Aplikoj
Abela vakso	$CH_3(CH_2)_{29}OH$ miricila	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$ palmita	mielĉelaro	ungventoj, kosmetikoj, kandeloj
Lanolino	miksaĵo	miksaĵo	lano	vehiklo por ungventoj, pomadoj, kaj kremoj
Spermaceto	$CH_3(CH_2)_{15}OH$ cetila	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$ palmita	kapo de makrocefalo	ungventoj, kosmetikoj, kandeloj
Karnaŭba vakso	$CH_3(CH_2)_{29}OH$ miricila	$CH_3(CH_2)_{24}COOH$ cerota	folioj de palmo	vaksoj por aŭtoj kaj plankoj

21.4 STEROIDOJ

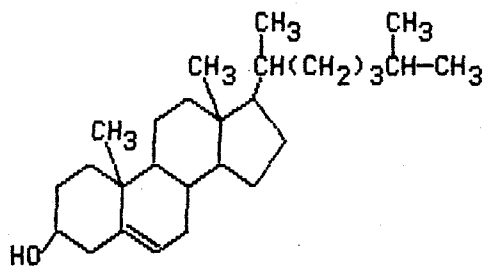
La steroidoj kaj la gras-solveblaj vitaminoj (Sekcio 21.5) estas du gravaj familioj de lipidoj, kiuj ne enhavas grasacidojn.

steroido

Steroidoj estas kombinaĵoj entenantaj la karakterizan steroidan kernon - tri sesmembrajn ringojn kunigitajn kun unu kvinmembra ringo.



steroida kerno

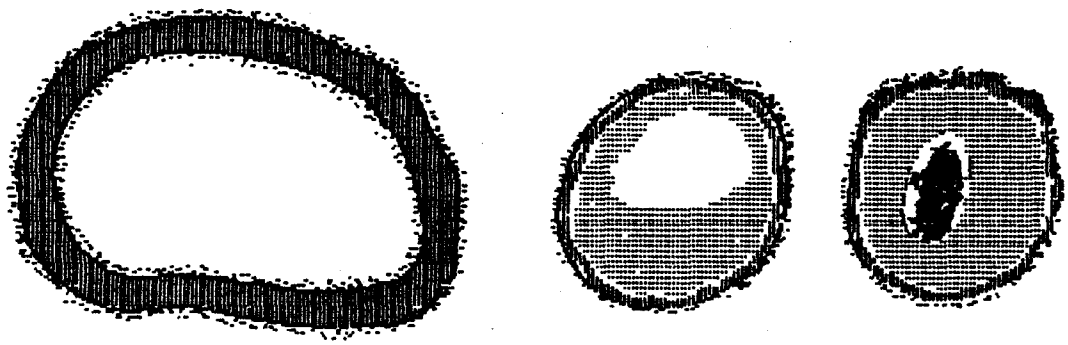


Kolesterolo

Kolesterolo

La plej fama kaj plej vaste trovebla steroido en la korpo estas kolesterolo, steroida alkoholo. Kolesterolo troviĝas en la nervaj kaj cerbaj histoj kaj en la sango, kaj ĝi estas la ĉefa komponanto de gal-ŝtonoj. Nuntempe ĝi ricevas multe da atento pro la ebla korelacio inter la kolesterol-nivelo en la sango kaj la afekcio aterosklerozo, aŭ rigidiĝo de la arterioj. Tiu stato estas karakterizita per la formiĝo de lipidaj deponaĵoj sur la internaj parietoj de sangovazoj. Tiuj deponaĵoj (vidu Bildon 21-1), kiuj enhavas grandan kvanton da kolesterolo, rigidiĝas kaj povas serioze obstrukci la sango-cirkuladon.

La plejparto da korpa kolesterolo sintezigas el sakaridoj kaj proteinoj kaj ankaŭ el grasoj. Tiel, la eliminado de kolesterol-enhavaj nutraĵoj el la dieto ne necese malpliigas la kolesterolan nivelon. Oni devas malpliigi la tutan konsumitan nutraĵon kaj ŝanĝi la tipojn kaj kvanton de enprenitaj grasoj. Laŭ la sperto, se certaj nesaturitaj fiŝaj kaj vegetaĵaj oleoj anstataŭas saturitajn grasojn, tiam malpliigas la kolesterol-nivelo en la sango.

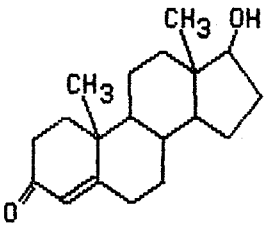


Bildo 21-1. Kversekcoj de sangovazoj, montrantaj progreson de aterosklerozo: (a) normala arterio, (b) deponaĵoj sur la interna parieto de arterio, (c) mallargigita aperturo ŝtopita de sangokoagulaĵo

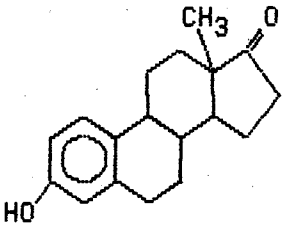
Seksaj hormonoj

La viraj kaj inaj seksaj hormonoj estas strukture tre parencaj al kolesterolo kaj dependas de gi por siaj sintezoj (Bildo 21-2). La cefaj vir-seksaj hormonoj, aŭ androgenoj, estas testosterono kaj androsterono; ambaŭ produktataj de la testikoj. Tiuj substancoj respondecas pri la produktigo kaj kresko de spermatozooj kaj pri la evoluo de sekundaraj viraj karakterizaĵoj, kiel haroj de korpo kaj vizaĵo, profunda voco kaj la tipa vira skelet-formo.

La gravaj inaj hormonoj, produktataj de la ovarioj, estas progesterono kaj la estrogenoj (estradiolo, estrono kaj estriolo)(Bildo 21-2). Tiuj hormonoj respondecas pri la sekundaraj seksaj karakterizaĵoj, reguligas la menstruan ciklon kaj elvokas ŝanĝigojn dum la gravedo. La estrogenoj estas klinike uzataj en la kuracado de menopaŭza hormona karenco.



testosterono (androgeno; vir-seksa hormono)

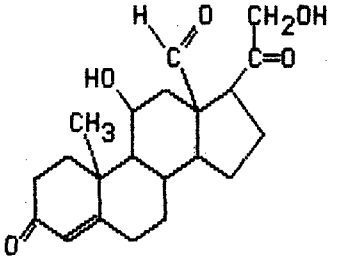


estrono (estrogeno; in-seksa hormono)

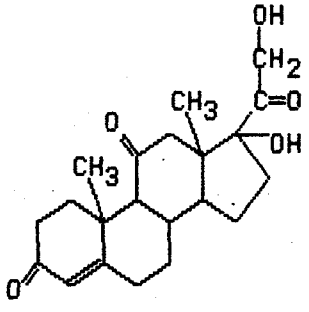
Bildo 21-2. Vir- kaj in-seksaj hormonoj

Kortikosurrenaj hormonoj

La ekstera ŝelo, aŭ kortiko, de la surrenaj glandoj sekrecias 28 hormonojn, kiuj estas ĉiuj la derivaĵoj de kolesterolo. Tiuj kortikosurrenaj hormonoj influas multajn fiziologiajn funkciojn de la korpo, inkludante la metabolon de proteinoj kaj sakaridoj, same kiel la ekvilibron de akvo kaj elektrolitoj. Tipa kaj konata ano el tiu grupo da kombinaĵoj estas kortizono (Bildo 21-3), kiu estas grava en la direktado de sakarida metabolo. Laŭsperte ĝi estas ankaŭ efika en la mildigo de kelkaj simptomoj de reŭmatoida artrito. Tamen, ĝi ne sanigas tiun staton kaj povas kaŭzi gravajn kromefikojn. Alia grava kortikosurrena hormono estas aldosterono (Bildo 21-3), kiu reguligas la ensorbon kaj la ekskrecion de natrio en la renoj.



Aldosterono



Kortizono

Bildo 21-3. Kortikosurrenaj hormonoj

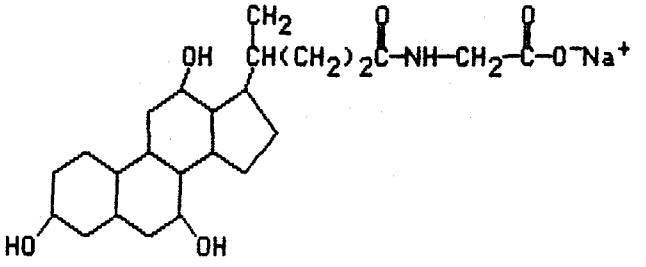
Galaj saloj

gal-salo

Galaj saloj agas kiel naturaj emulsienzoj en la galo, digesta suko produktata de la hepato kaj stokata en la gal-veziko ĝis la uzado. Simile al aliaj korpaj steroidoj, gal-saloj sintezigas el kolesterolo.

Dum la digestigo, gal-saloj estas eligataj en la inteston, kie ili helpas

la digestan procezon per emulsiado de la grasoj kaj oleoj, simile kiel agas sapoj dum la lavado. La natria salo de glikoĥola acido estas la ĉefa gal-salo en homa galo.

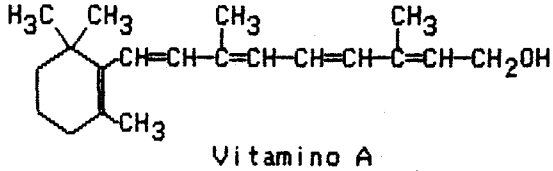


natria glikoĥolato

21.5 GRAS-SOLVEBLAJ VITAMINOJ

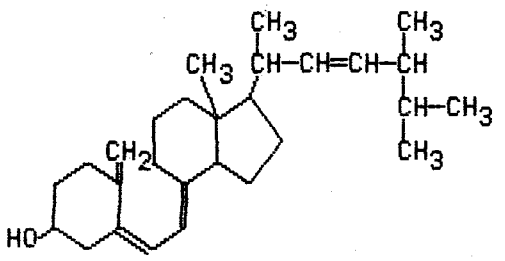
Vitaminoj estas esencaj organikaj substancoj kiujn la korpo ne kapablas produkti en sufiĉa kvanto kaj tial oni devas aĵiri ilin el la nutraĵo. La grassolveblaj vitaminoj (A, D, E, kaj K) pro ties nepoluseco, estas ekstrakteblaj el la histoj per nepolusaj solvenzoj. Sekve de tio, tiuj vitaminoj enlistiĝas en la klason de lipidoj.

Vitaminoj A abunde troviĝas en karotoj kaj "dolĉaj terpomoj" (batatoj) en la formo de prekursoroj (antaŭproduktoj), kiujn oni nomas karotenoj. Karotenoj havas flavan koloron, kiun ili transdonas al plantoj. Multaj verdaj plantoj (spinaco, petroselo, endivio) estas ankaŭ riĉaj je karoteno, kies koloron kaŝas la verda koloro de klorofilo.

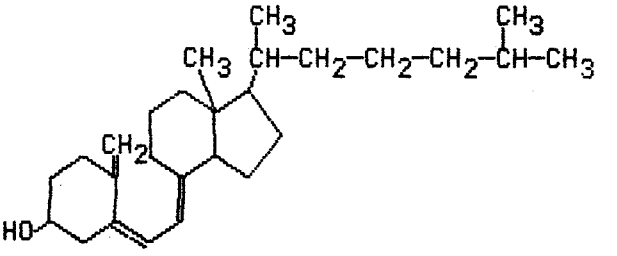


Vitamino A

La aldehida formo de vitamino A, nomata retinalo (aŭ retineno), estas grava parto de la strukturo de vid-proteino. La karenco de vitamino A kondukas al "nokta blindeco" (hemeralopio), t.e.- malkapablo vidi en malforta lumo aŭ alkutimiĝi al reduktita lum-intenso. La superflua kvanto de vitamino A stokiĝas en la hepato. La stokiĝo de vitamino A en tro-kvantoj por longaj periodoj kaŭzas venenajn efikojn, ope nomatajn hipervitaminozo A. En ekstremaj kazoj, oni raportas intestajn hemoragiojn.



Vitamino D_2 (kalciferolo)



Vitamino D_3

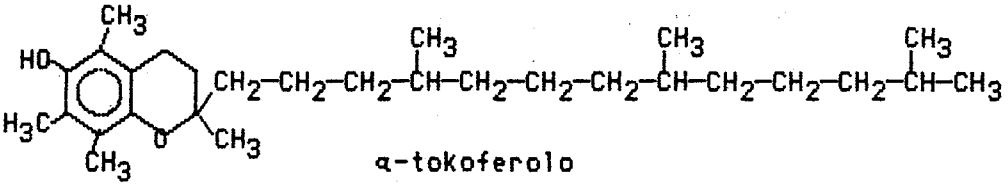
Bildo 21-4. Gravaj formoj de vitamino D

Vitamino D estas komponita el la grupo de tre parencaj steroidaj kombinaĵoj. La plej gravaj anoj de la grupo estas vitamino D_2 (kalciferolo) kaj vitamino D_3 (vidu Bildon 21-4). Vitamino D_2 estas produktata en la animala haŭto elmetata (eksponata) al sunlumo. En la procezo, la glutita planta steroido, ergosterolo, konvertiĝas en la vitaminon. Elmetado de kolesterolo al sunlumo transformas ĝin en la haŭto en vitaminon D_3. Hepataj oleoj de kelkaj fiŝoj enhavas vitaminon D_3, kio igas tiujn oleojn bonaj fontoj de du gras-solveblaj vitaminoj (A kaj D).

La malabundo de vitamino D en la nutraĵo kaj la manko de sufiĉa tutjara elmetado de haŭto al sunlumo necesigas aldoni la vitaminon al la dieto de infanoj kaj beboj. Nuntempe lakto kaj multaj aliaj manĝaĵoj estas riĉigitaj per vitamino D dum la prilaborado.

Vitamino D necesas por la ĝusta uzo de kalcio kaj fosforo en la formiĝo de ostoj kaj dentoj. Manko de vitamino D rezultigas rakiton; afekcion karakterizitan per nenormala kreskado de la ostoj. Hipervitaminozo D povas okazi se grandaj kvantoj de la vitamino estas enprenataj por longa daŭro. Simptomoj de tiu perturbo amplekas diareon (lakson), vomadon, kaj dormemon.

Vitamino E havas plurajn diversajn formojn; la kombinaĵo α-tokoferolo estas el ili biologie plej aktiva.



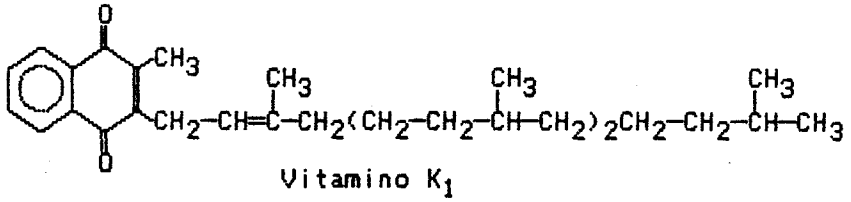
α-tokoferolo

La primaraj nutraĵ-fontoj de vitamino E estas vegetaĵaj oleoj kaj tritika ĝermo. En la korpo, vitamino E ŝajnas esti ĝenerala oksidiĝo-inhibenzo, protektanta korpajn grasojn kaj tiajn aliajn substancojn, kiel vitaminon A,

kontraŭ detrua oksidiĝo. Simpotomoj de karenco de vitamino E en prov-bestoj estas skvama haŭto, sterileco, anemio, kaj muskola malforteco. Ĝiaj oksidiĝo-inhibaj ecoj estas komerce aplikataj en la preventado de ranciĝo en vegetaĵaj oleoj kaj en butero.

Vitamino K troviĝas en pluraj formoj, kiuj diferencas unu de la alia nur en la longo de la flanka ĉeno. Vitamino K estas trovebla en multaj manĝaĵoj, sed ĉar intestaj bakterioj probable produktas ĝin en adekvata kvanto, ne necesas dieta preskribo. Ajna karenco rilate tiun vitaminon estas ĝenerale la rezulto de nesufiĉa sorbiĝo el la intesto.

Vitamino K partoprenas en la hepata sintezo de protrombino, proteino necesa por la ĝusta koaguliĝo de sango. Manko de vitamino K plilongigas la daŭron de sangokoaguliĝo. Dum gravaj operacioj, vitamino K estas kelkfoje dozata por preventi internan sangadon.



Vitamino K_1

EKZERCOJ

Tipoj de lipidoj

1. Kio estas la tri gravaj roloj de lipidoj en la homa korpo?
2. Kiuj el la sekvaj entenas grasacidojn kiel parton de sia molekula strukturo?

   a) vaksoj b) grasoj c) oleoj ĉ) steroidoj
   d) gras-solveblaj vitaminoj

Strukturo de Grasoj kaj Oleoj

3. Skribu la strukturon de graso formita el glicerolo kaj tri molekuloj de steara acido.
4. Kiuj estas la strukturaj karakterizaĵoj de grasacido?
5. Kiuj du faktoroj efikas la fandopunkton de grasacidoj?
6. Klarigu, kial la unua acido el la sekvaj paroj havas pli altan fandopunkton ol la dua:

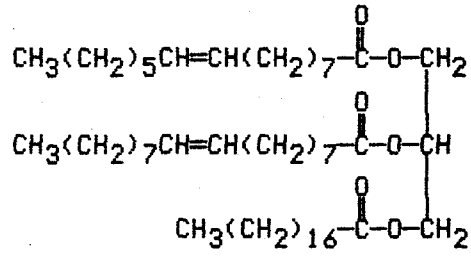
   a) mirista acido, laŭra acido b) olea acido, linolea acido
   c) arakida acido, olea acido

7. Komparu grasojn kaj oleojn laŭ (a) fonto, (b) nombro de duoblaj ligoj, (c) fandopunkto, (ĉ) produktoj de hidrolizo.

Reakcioj de Grasoj, Oleoj kaj Vaksoj

8. Nomu la produktojn de (a) la sapigo de triglicerido, (b) la hidrolizo de triglicerido, (c) la parta hidrogenizo de oleo.

9. Skribu la strukturon por la produktoj de la reakcio en Ekzerco 8, se la komenca triglicerido estas la suba:



10. Kiu tipo de reakcio uzeblas por prepari la sekvajn substancojn?

a) sapojn el lardo
b) margarinon el maiza oleo
c) stearan acidon el bova sebo
ĉ) palmitan acidon el abela vakso
d) glicerolon el bova sebo

11. Priskribu la procezojn kaj la reakci-produktojn kiuj kaŭzas la ranciĝon de grasoj kaj oleoj.

Steroidoj

12. Kial efikas nur malmulte la eliminado de kolesterol-enhavaj nutraĵoj el la dieto sur la nivelon de kolesterolo en la korpo?

13. Kiuj korpaj steroidoj dependas de kolesterolo kiel deir-materialo por ilia sintezo?

14. Identigu la glandon kiu sekrecias tiujn ĉi hormonojn:

a) aldosterono b) androsterono c) progesterono ĉ) kortizono

15. Donu ĉefan funkcion de ĉiu hormono en Ekzerco 14.

16. Identigu steroidon kiu akordas kun la sekvaj:

a) agas kiel emulsianto en la digesta procezo
b) koncernata en la rigidiĝo de la arterioj
c) ĉefa komponanto de gal-ŝtonoj

Gras-solveblaj vitaminoj

17. Kiu karenca malsano estas ligebla al (a) vitamino A? (b) vitamino D?

18. Donu funkcion por (a) vitamino A, (b) vitamino D, (c) vitamino E, (ĉ) vitamino K.

19. Kiu vitamino akordas kun la sekvaj eldiroj?

a) Mikroorganismoj de la intesta kanalo probable produktas sufiĉajn kvantojn por bona farto homa.
b) Tiu vitamino estas produktata en la haŭto de animaloj eksponataj al sunlumo.
c) La prekursoro de tiu vitamino estas karoteno.
ĉ) La aldehido de tiu vitamino grave rolas en la strukturo de vid-proteino.
d) Tiu vitamino estas aldonaĵo en vegetaĵaj oleoj.

e) Karenco de tiu vitamino malhelpas al la sango koaguliĝi.
f) Tiu vitamino estas ankaŭ steroido.

22 PROTEINOJ

CELOJ

22.1 Doni ekzemplojn kaj funkciojn de proteinoj.

22.2 Priskribi la molekulan amplekson de proteinoj.

22.3 Identigi la karakterizajn partojn de alfa-aminoacido. Klasu aminoacidojn laŭ neŭtraj, bazaj, aŭ acidaj surbaze de strukturaj formuloj.

22.4 Montri ke vi komprenas la biologian gravecon de esencaj aminoacidoj.

22.5 Rekoni kaj skribi ŝlosilajn reakciojn de aminoacidoj; t.e., la formiĝon de dipolaj jonoj kaj la reakcion kun acido kaj bazo.

22.6 Rekoni la strukturajn karakterizaĵojn de peptidoj. Rekoni kaj skribi reakciojn por la formiĝo de peptidoj. Enlistigi izomerajn strukturojn por donita peptido.

22.7 Priskribi la primaran, sekundaran, terciaran, kaj kvaternaran strukturojn de proteinoj. Identigi la tipojn de ligiĝo ĉe primara, sekundara, kaj terciara proteinaj strukturoj.

22.8 Rekoni proteinan hidrolizon, kaj skribi reakciojn por ĝi.

22.9 Enlistigi substancojn aŭ kondiĉojn kiuj povas denaturi proteinojn, kaj skribi ekvaciojn aŭ doni ekzemplojn.

La radiko de la vorto proteino liveras spuron pri la signifoplena rolo ludata de proteinoj en la vivaj procezoj. Oni alskribas la antaŭecon de la unua rekono de ilia graveco kaj por ilia nomo al la nederlanda kemiisto G.J. Mulder (1802-1880). La nomo, kiun li elektis, venas el la greka vorto protos, kiu signifas de unua graveco, spegulante la esencan naturon de ĉi tiuj kombinaĵoj.

22.1 LA GRAVECO DE PROTEINOJ

Proteinoj estas nemalhaveblaj komponantoj de ĉiuj vivantaĵoj, inkluzive de la plej simplaj formoj de vivo, kiel bakterioj, algoj, kaj aliaj mikroorganismoj. Ili devas ĉeesti en la dietoj de ĉiuj animaloj (bestoj kaj homoj) por sintezi histojn, enzimojn, iujn hormonojn, kaj kelkajn sango-komponantojn. Aldone al tio, ili uziĝas en la subtenado kaj riparo de ekzistantaj histoj kaj kiel fonto de energio por la korpo. La multaj tipoj kaj uzoj de proteinoj estas ilustritaj per la parta listo en Tabelo 22-1.

Tabelo 22-1. La biologiaj funkcioj de proteinoj

Ĝenerala funkcio	Ekzemplo	Specifa funkcio
Transporta	hemoglobino	portas oksigenon en la sango al la ĉeloj
	lipoproteino	portas grasacidojn en la sango
Struktura	kolageno	formas konektivan histon kaj kartilagon
	keratino	formas harojn, lanon, haŭton, ungojn, plumojn, kaj kornojn
Protekta	gama-globulino	helpas batali infektajn malsanojn
	protrombino	koaguligas la sangon
Kataliza (enzimoj)	tripsino	hidrolizas proteinojn
	sakarazo	hidrolizas sakarozon
Stoka	feritino	stokas feron por reuzo
	ova albumino	provizas evoluantan embrion per aminoacidoj
Hormona	insulino	reguligas glukozan metabolon

22.2 KARAKTERIZAĴOJ DE PROTEINOJ

La elementoj karbono, oksigeno, nitrogeno, hidrogeno, kaj sulfuro troviĝas en ĉiuj proteinoj. Aliaj elementoj, kiel fosforo, jodo, kaj fero estas esencaj konsistigantoj de iuj specialigitaj proteinoj. Kazeino, la ĉefa proteino de lakto, entenas fosforon, kiu estas gravega elemento en la

dieto de beboj kaj infanoj. Hemoglobino, la proteino en la sango kiu transportas oksigenon, entenas feron.

Proteinoj estas ege grandaj molekuloj kun molekulaj masoj inter ĉirkaŭ 6000 kaj kelkmilionoj da amu. Ilia mamuta grando (laŭ la molekula senco) vidiĝas en komparo de glukozo kun hemoglobino, relative malgranda proteino. Glukozo havas molekulan mason de 180 amu, dum la molekula maso de hemoglobino estas 65.000 amu. La molekula formulo de glukozo estas $C_6H_{12}O_6$, kaj tiu de hemoglobino estas $C_{2952}H_{4664}O_{832}N_{812}S_8Fe_4$. La molekulaj masoj de iuj tipaj proteinoj aperas en Tabelo 22-2.

Tabelo 22-2. Molekulaj masoj de kelkaj oftaj proteinoj

insulino (homa)	6.000
mioglobino (transportas O_2)	17.000
pepsino (digesta enzimo)	24.000
ovalbumino	40.000
hemoglobino	65.000
sera albumino (homa)	69.000
katalazo (ĉela enzimo)	250.000
fibrinogeno	400.000

22.3 AMINOACIDOJ: KONSTRU-EROJ DE PROTEINOJ

Ĉiuj proteinoj, senrigarde ties originon aŭ biologian funkcion, estas strukture similaj.

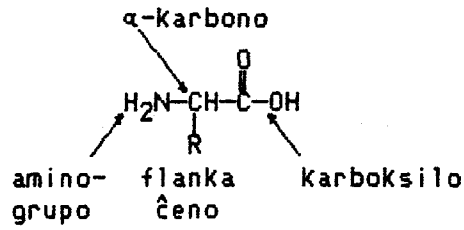
proteino
Proteinoj estas polimeroj kunmetitaj, en diversaj kombinoj, per kunligiĝo de nombro da similaj, sed ne samaj, etaj molekuloj nomataj aminoacidoj.

Oni identigis proksimume 30 diversajn aminoacidojn kiel konsistigantojn de proteinoj; 20 el ili estas relative oftaj kaj gravegaj.

aminoacido
Aminoacido estas organika molekulo kiu entenas du funkciajn grupojn, karboksilon (-COOH) kaj aminogrupon ($-NH_2$).

Aminoacidoj en proteinoj estas alfa(α)-aminoacidoj. La aminogrupo troviĝas sur la karbono α, la karbono tuj apud la karboksilo.

Ĉiu aminoacido havas karakterizan flankan ĉenon, aŭ R-grupon, kiu donas kemian individuecon al la molekulo. Ĉi tiuj flankaj ĉenoj povas enhavi nombron da malsamaj strukturaj trajtoj, kiel nepolusajn grupojn (hidrokarbonojn), polusajn grupojn (-OH kaj -SH), polusajn acidajn grupojn (-COOH), kaj polusajn bazajn grupojn ($-NH_2$). (Vidu Bildon 22-1.)



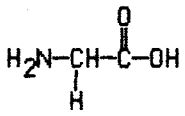
Bildo 22-1. La strukturo de alfa-aminoacidoj.

La tipo de aminoacidoj en la proteina strukturo plejparte determinas la ecojn de specifaj proteinoj. Ekzemple, tiaj nesolveblaj, strukturaj proteinoj (kiel tiuj en haroj, lano, kaj tendenoj) entenas altajn procentojn de aminoacidoj kun nepolusaj flankaj ĉenoj. La pli solveblaj proteinoj (kiel enzimoj, albumino, kaj hemoglobino) entenas grandajn kvantojn da aminoacidoj kun polusaj, acidaj, aŭ bazaj flankaj ĉenoj.

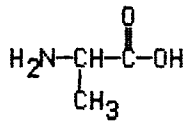
Kvankam oni povus nomi la aminoacidojn troveblajn en proteinoj uzante IUPAK-nomenklaturon, oni kutime uzas nesistemajn nomojn. Tabelo 22-3 donas strukturojn, nesistemajn nomojn, kaj ankaŭ tri-literajn mallongigojn por la nomoj de la 20 ofte troveblaj aminoacidoj. Oni uzas la tri-literajn mallongigojn kiam oni citas la sinsekvon de aminoacidoj en proteina strukturo (Sekcio 22.6). Rimarku, ke kelkaj mallongigoj ne estas deriveblaj de la esperantaj nomoj por tiuj ĉi aminoacidoj. La klarigo por tio estas la sama kiel ĉe la simboloj por la kemiaj elementoj (Sekcio 2.7).

Jen iom da informo pri la originoj de la nesistemaj nomoj por aminoacidoj. Glicino, la plej simpla, devenas de la sama radiko (GLIC aŭ GLIK) kiel ekzemple glicerolo aŭ glikolo. La radiko estas greka vorto kun la signifo "dolĉa". Valino, asparagino, cisteino, glutamino (kaj glutama acido), lizino, kaj histidino parencas al valera acido, asparago, cisto, gluteno, lizo kaj histo respektive. Malmultaj el la nomoj por aminoacidoj helpas klarigi al vi siajn strukturojn. Escepto estas metionino, el metano kaj tiol. Tabelo 22-4 enhavas la sistemojn nomojn por esencaj aminoacidoj aldone al la nesistemaj. Pro la pezeco de la sistemaj nomoj, evidentas la ĝenerala prefero por la vulgaraj, nesistemaj nomoj.

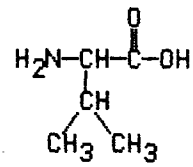
Tabelo 22-3. La oftaj aminoacidoj de proteinoj (simboloj en krampoj)



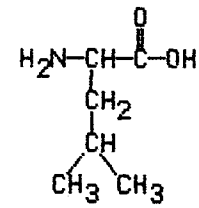
glicino (gly)



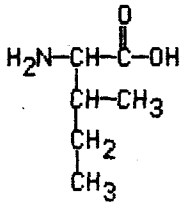
alanino (ala)



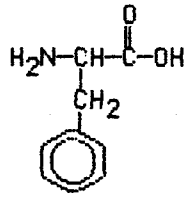
valino (val)*



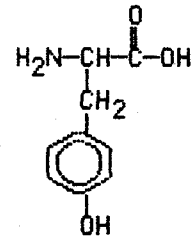
leŭcino (leu)*



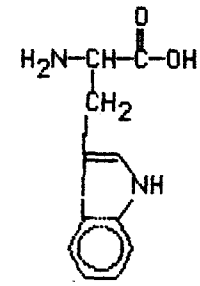
izoleŭcino (ile)*



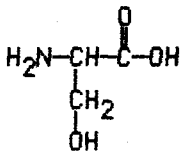
fenilalanino (phe)*



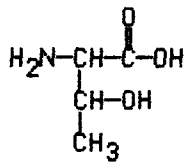
tirozino (tyr)



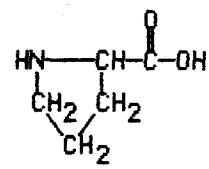
triptofano (trp)*



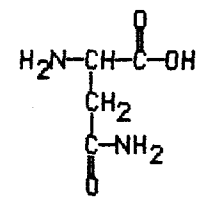
serino (ser)



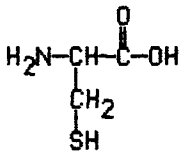
treonino (thr)*



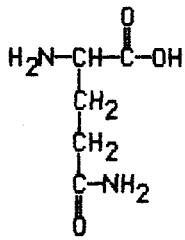
prolino (pro)



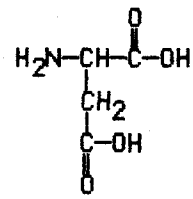
asparagino (asn)



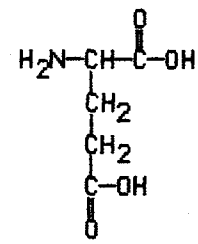
cisteino (cys)



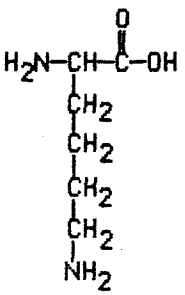
glutamino (gln)



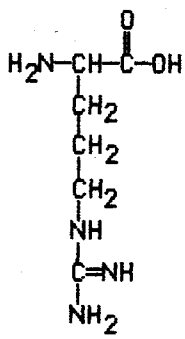
asparta acido (asp)



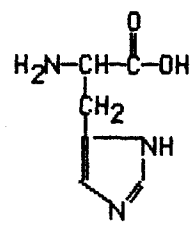
glutama acido (glu)



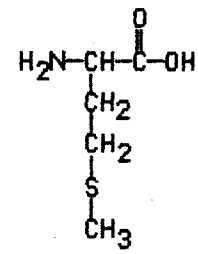
lizino (lys)*



arginino (arg)*



histidino (his)*



metionino (met)*

*Esencaj aminoacidoj

22.4 ESENCAJ AMINOACIDOJ

Ĉiuj el la aminoacidoj en Tabelo 22-3 estas necesaj konsistigantoj de la

homa proteino. Tamen ekzistas fortaj indikaĵoj laŭ eksperimentoj kun kreskantaj ratoj ke la korpo ne povas produkti dek el ili sufiĉe rapide, aŭ en sufiĉa kvanto, por subtenadi normalan kreskon. Tiuj esencaj aminoacidoj aperas en Tabelo 22-4. Adekvata homa dieto devas inkludi ok tiujn aminoacidojn (t.e. -- la dek en Tabelo 22-4 minus arginino kaj histidino; por infanoj naŭ aminoacidoj, t.e. -- la dek minus arginino) -- ordinare en la formo de vegetaĵa aŭ besta proteino. Iuj proteinoj ne entenas unu aŭ du esencajn aminoacidojn. Gelateno, proteino akirita per la hidrolizo de kolageno (trovebla en viando) entenas 19 el la oftaj aminoacidoj, sed al ĝi mankas triptofano, esenca aminoacido. Zeino, unu el la proteinoj de maizo, ne havas du esencajn aminoacidojn, lizinon kaj triptofanon. Tamen ili apartenas al esceptaj ekzemploj. Cetere, integra maizo inkludas la tutan aron da esencaj aminoacidoj, kvankam certe ne abundas la du esencaj. Ĉiuokaze estas vere, ke taŭge bilancita dieto devus enhavi diversecon de proteinaj fontoj por certigi sufiĉe da ĉiuj esencaj aminoacidoj.

Tabelo 22-4. La esencaj aminoacidoj

Nesistema nomo	Sistema nomo
Izoleŭcino	3-metil-2-aminopentan-acido
Leŭcino	4-metil-2-aminopentan-acido
Lizino	2,6-diaminoheksan-acido
Metionino	4-metilmerkapto-2-aminobutan-acido
Fenilalanino	3-fenil-2-aminopropan-acido
Treonino	3-hidroksi-2-aminobutan-acido
Triptofano	3-(3-indolil)-2-aminopropan-acido
Valino	3-metil-2-aminobutan-acido
Arginino*	5-guanadin-2-aminopentan-acido
Histidino**	3-(4-imidazolil)-2-aminopropan-acido

*Esenca por kreskantaj ratoj, sed ne por homoj
**Esenca por ratoj (kreskantaj kaj plenkreskaj) kaj por kreskantaj infanoj, sed ne por maturaj homoj

22.5 ECOJ DE AMINOACIDOJ

Aminoacidoj estas blankaj, kristalaj solidaĵoj, la plejparto el kiuj estas tre solvebla en akvo. Tiu solvebleco kaj iliaj relative altaj fandopunktoj supozigas al ni, ke aminoacidoj ekzistas en jona formo. Esploroj de aminoacidoj en solvaĵoj konfirmas ke ili estas ŝargitaj molekuloj. La ĉeesto de karboksilo kaj baza aminogrupo en la sama molekulo ebligas transdoni hidrogenan jonon en ia acid-baza reakcio (reakcio 22-1). La produkto de ĉi tiu reakcio estas tiel nomata "ambaŭ-jono".

ambaŭjono

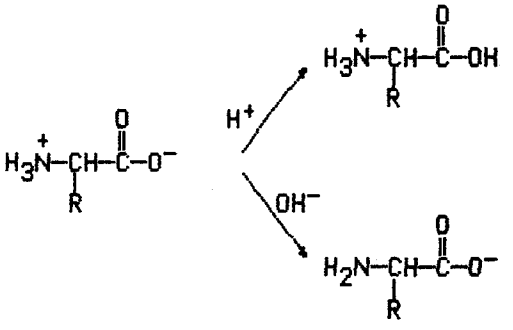
Ambaŭjono (Cviter-jono) estas dipola aminoacida molekulo entenanta kaj pozitivan kaj negativan ŝargojn.



22-1

nejoniĝinta aminoacido — dipola aminoacido (ambaŭjono)

Aminoacidaj ambaŭ-jonoj facile reakcias aŭ kun acidoj aŭ kun bazoj. La reakcio kun acidoj ŝanĝas la karboksilaton, $-COO^-$, en karboksilon, $-COOH$, dum la reakcio kun bazoj ŝanĝas la amonion, $-NH_3^+$, en aminogrupon, $-NH_2$ (reakcioj 22-2 kaj 22-3).



22-2

22-3

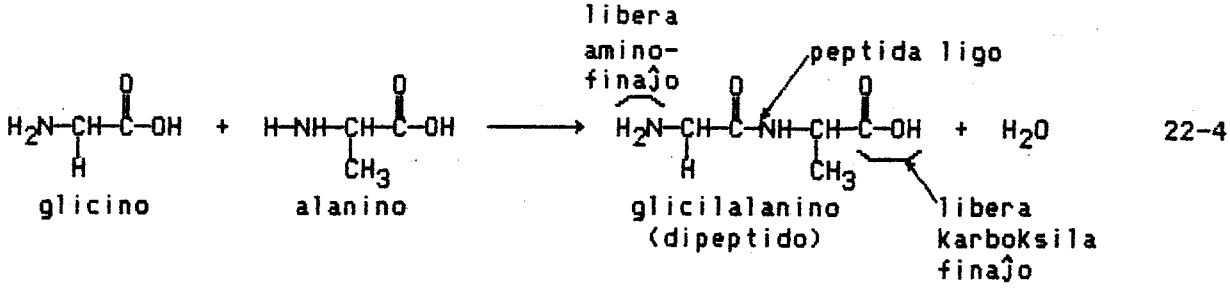
La kapablo de aminoacidoj reakcii kaj kun H^+ kaj kun OH^-, kiel montrite en reakcioj 22-2 kaj 22-3, permesas al solvaĵoj de aminoacidoj aŭ proteinoj konduti kiel bufroj (Sekcio 10.13). La bufra agado de sangaj proteinoj estas unu el ties plej gravaj funkcioj.

22.6 PEPTIDA FORMIĜO

Du aminoacidoj povas kunligiĝi per reakcio inter la karboksilo de unu aminoacido kaj la aminogrupo de la alia apuda aminoacido (reakcio 22-4).

dipeptido; peptida ligo

Kombinaĵoj konsistantaj el du aminoacidoj nomiĝas dipeptidoj, kaj la amida ligo kiu kuntenas ilin nomiĝas peptida ligo.



22-4

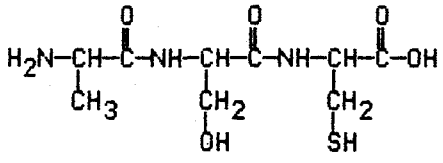
La ĉeesto de liberaj amina kaj karboksila grupoj ĉe la finaĵoj de dipeptidoj permesas la alkroĉiĝon de tria, kvara, aŭ pliaj aminoacidoj, formante tripeptidojn, tetrapeptidojn, ktp.

peptido; polipeptido

La termino peptido signifas simple ke du aŭ pli da aminoacidoj kunligiĝas. Peptidojn entenantajn 5-50 aminoacidajn unuojn oni nomas polipeptidoj.

Nomante peptidojn, oni nomas aminoacidon ĉe la libera amino-finaĵo alkilo; la aminoacido ĉe la libera karboksila finaĵo konservas la nomon de la aminoacido. Ordinare oni mallongigas strukturojn, uzante la tri-literajn simbolojn en Tabelo 22-3. Tiel, la strukturon de glicilalanino prezentas gly-ala. Rimarku ke dua (kaj izomera) dipeptido de glicino kaj alanino, ala-gly, ankaŭ eblas. Tiukaze, alanino estas ĉe la libera amino-finaĵo, kaj la glicino estas ĉe la libera karboksila finaĵo.

Ni povas etendi tiun metodon al tripeptidoj kaj pluraj. Ekzemple, la sinsekvo ala-ser-cys reprezentas tripeptidon.



ala-ser-cys

Aldone al ĉi tiu sinsekvo, eblas kvin aliaj aranĝoj, kaj ĉiu prezentas izomeran tripeptidon. La sinsekvoj estas: ala-cys-ser, ser-ala-cys, ser-cys-ala, cys-ala-ser, kaj cys-ser-ala.

Estas $1,55 \times 10^{66}$ eblaj sinsekvoj por la 51 aminoacidoj trovitaj en insulino. El tiuj eblecoj, la korpo fidinde produktas nur unu, kio ilustras la rimarkindan precizecon de la viva procezo. De la plej simpla bakterio ĝis la homa cerba ĉelo, estas produktataj nur tiaj proteinaj sinsekvoj, kiajn bezonas la ĉelo (Ĉapitro 24).

22.7 PROTEINA STRUKTURO

Laŭ molekula skalo, proteinoj estas grandegaj. Tio estas eco kiu permesas al ili alpreni formojn multe pli kompleksajn ol pli malgrandaj molekuloj. La terminoj primara, sekundara, terciara, kaj kvaternara esprimas ĉi tiun strukturan kompleksecon. Ĉi tiuj terminoj aludas la tipojn de koncernaj ligoj aŭ la formon (figuron) de la proteino.

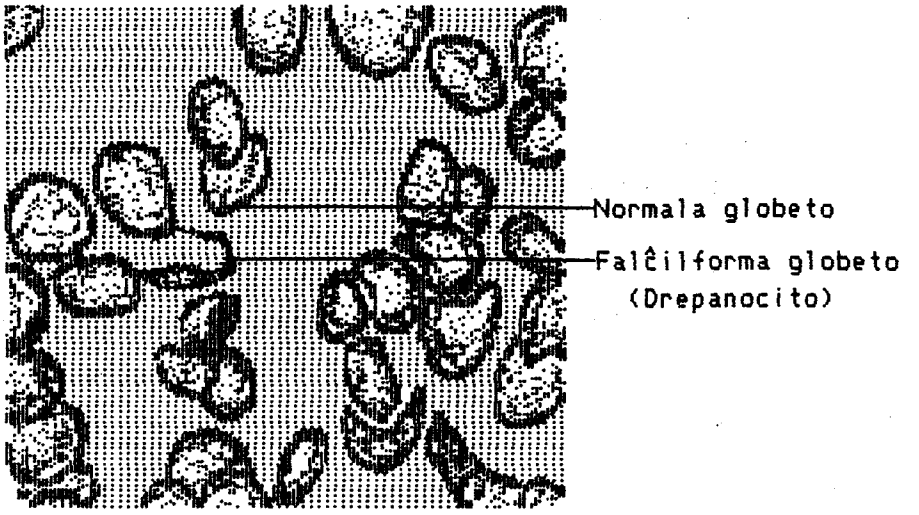
Primara Strukturo

primara strukturo

La primara strukturo signifas la ordon aŭ sinsekvon de aminoacidoj en proteina ĉeno, rezulto de la peptidaj ligoj inter aminoacidoj.

Ne estas atestoj ke iu ajn specifa ordo de aminoacidoj estas preferata aŭ superrega en proteinaj ĉenoj. La sinsekvo de aminoacidoj por iu ajn specifa proteino estas, tamen, ĉiam la sama; la plej eta devio foje havas gravajn sekvojn. Bona ekzemplo estas la hereda afekcio nomata falĉilforma anemio aŭ drepanocitemio. La hemoglobino de trafita persono enhavas valinan unuon en pozicio de proteina ĉeno kiun normale okupas glutam-acida unuo. Ĉi tiu substituo, en kiu partoprenas nur unu aminoacido inter 150 aminoacidaj unuoj de hemoglobino, kaŭzas drastan ŝanĝiĝon en la ecoj de la proteino.

Nenormala hemoglobino emas precipitiĝi en la ruĝaj globuloj, misformante ilin en karakterizan lunarkan formon - la kialo por la nomo falĉilforma anemio. La misformitaj ĉeloj (Bildo 22-2) kunbuliĝas kaj ofte ŝtopas kapilarojn, ĉesigante la provizon de oksigen-portanta sango al la histoj. Serpoĉela anemio, kiu estas ĝenerale mortiga, limiĝas preskaŭ senescepte al homoj de afrika deveno.



Bildo 22-2. Globetoj (sangoĉeloj) el persono kun falĉilforma anemio

Sekundara Strukturo

Se la sola struktura trajto de proteinoj estus la aminoacida sinsekvo, la molekuloj konsistus el longaj ĉenoj volviĝintaj en hazardajn formojn. Eksperimentaj atestoj montras ke tia kazo ne estas.

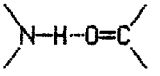
sekundara strukturo

La plejparto da proteinoj en sia natura stato estas tenata en difinitaj formoj (sekundaraj strukturoj) per hidrogen-ligoj inter la amidaj hidrogenoj kaj la karboksilaj oksigenoj de la polipeptida ĉefĉeno.

Aparte favora figuro de polipeptida ĉeno estas la alfa-helico.

alfa-helico

La ĉefa trajto de la alfa-helico estas la volviĝo de la polipeptida ĉeno en spiralan aranĝiĝon, tiel ke hidrogen-ligoj de la speco



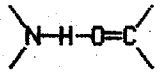
povas formiĝi inter grupoj N–H kaj C=O, kiuj estas tri aŭ kvar aminoacidajn unuojn disaj.

Bildo 22-3 montras tion. La plejparto da proteinoj havas helicajn regionojn de diversaj longoj, intermiksitaj kun regionoj de hazarda volvaĵo.

beta-plisita lameno

Dua stabila aranĝo de polipeptidaj ĉenoj estas la etendita ĉeno, aŭ beta-plisita lameno. En ĉi tiu strukturo, pluraj paralelaj polipeptidaj ĉenoj, plene etenditaj, estas tenataj en lamen-simila aranĝo per

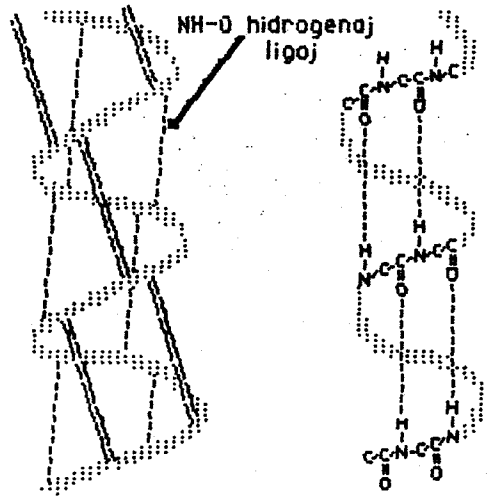
hidrogen-ligoj de la tipo



En ĉi tiu aranĝo, la hidrogen-ligoj estas inter ĉenoj prefere al inter aminoacidoj en unuopa ĉeno, kiel en la alfa-helico (vidu Bildon 22-4). Bildo 22-5 donas pliajn detalojn pri la figuro de la beta-plisita lameno. Lamenoj povas esti paralelaj aŭ kontraŭparalelaj, depende de tio, ĉu la N-finlokaj aminoacidoj estas ĉe la sama finaĵo (paralelaj), aŭ ĉe malaj finaĵoj (kontraŭparalelaj). La lameno montrita en Bildo 22-5(b) estas kontraŭparalela figuro.

Oni trovas la beta-plisitan lamenon ofte nur en la proteino de silko. Se oni vaporumas la lanan proteinon, alfa-keratinon, kaj poste sekigas ĝin dum ĝi estas strečata, ĝi daŭre tenas la strečitan formon. La proteino alprenas la aranĝon de la beta-plisita lameno en la strečitaj lanaj fibroj. Oni konas kelkajn ekzemplojn kie unuopa polipeptida ĉeno formas mallongajn sekciojn de kontraŭparalela beta-plisita lameno per refaldo sur sin, kiel montrite en Bildo 22-6.

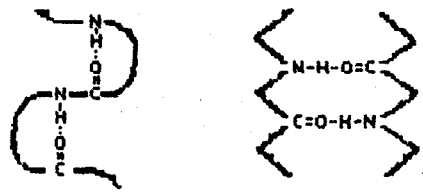
La hidrogen-liga naturo de sekundaraj proteinaj strukturoj signifas ke tiaj strukturoj estas relative facile disrompeblaj pro ŝanĝoj de pH, temperaturo, aŭ koncentrecoj de solvenzo aŭ salo.



a) alfa-helico sen strukturaj detaloj

b) strukturaj detaloj montrantaj hidrogen-ligojn inter aminoacidoj

Bildo 22-3. Peptida ĉeno de proteino volviĝinta en la formo de alfa-helico



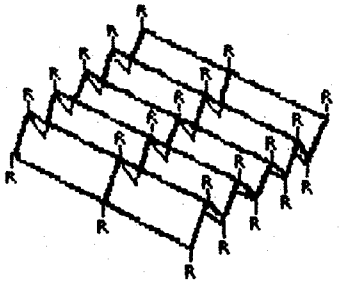
Bildo 22-4. Ilustraĵo de hidrogenaj ligoj inter la amido N–H kaj karboksilo C=O ene de polipeptida ĉeno kaj inter polipeptidaj ĉenoj

Terciara strukturo

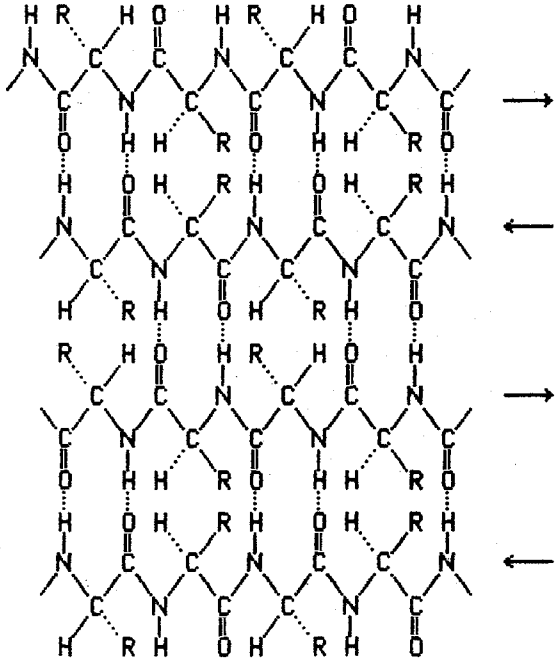
terciara strukturo

Oni trovis ankaŭ ke ekzistas tria, aŭ terciara, strukturo. Ĉi tiu struktura trajto rezultas el interagoj inter R-flankĉenoj de la aminoacidoj, kiujn entenas la polipeptidaj ĉenoj. Plufaldiĝo de helicaj segmentoj, aŭ intermetiĝo de flekseblaj hazardaj volvaĵoj fontas el tiaj interagoj.

Oni povas vidi la rilatojn de terciaraj strukturoj al la antaŭaj niveloj de proteinaj strukturoj, primara kaj sekundara, per analogio, uzante modernan objekton - la telefonan streĉ-kablon (vidu Bildon 22-7). La primara strukturo estas la longa rekta kablo. La volviĝo de la kablo en helican aranĝon donas la sekundaran strukturon. La pluvolviĝa aranĝo, kiun alprenas la kablo kiam oni demetas la parolilon, estas la terciara strukturo.



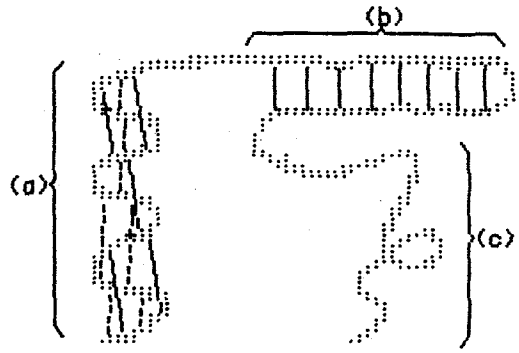
a) beta-plisita lameno sen strukturaj detaloj



b) strukturaj detaloj montrantaj hidrogenligojn inter aminoacidoj

Bildo 22-5. Figuro de beta-plisita lameno de polipeptidaj ĉenoj

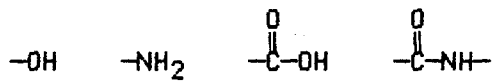
Ekzistas kvar tipoj de R-grupaj interagoj kiuj partoprenas en la terciara strukturo: disulfidaj ligoj, sal-ligoj, hidrogen-ligoj, kaj hidrofobiaj altiroj. La disulfida ligo estas kovalenta ligo inter la sulfuratomoj de du cisteinaj restaĵoj. La kovalenta naturo de la disulfida ligo malhelpas al ĝi rompiĝi per ŝanĝiĝoj de pH, solvenzo, aŭ koncentrecoj de saloj. Tamen, redukto povas rompi ĝin.



Bildo 22-6. Volviĝo de proteino, montranta regionojn de (a) alfa-helico, (b) beta-plisita lameno, kaj (c) hazarda volvaĵo

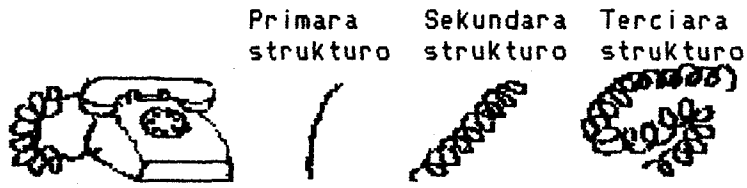
La sal-ligo estas la rezulto de elektrostatika altiro inter la joniĝintaj karboksilo de asparta aŭ glutama acido, kaj la grupo $-NH_3^+$ de arginino, lizino, aŭ histidino. La procenta kiomo de tiuj ĉi grupoj dependas de la pH; la sal-ligo estas, tial, tre sentema al pH-ŝanĝiĝoj.

Hidrogenaj ligoj povas estiĝi inter diverseco de flankaj ĉenoj, precipe tiuj kiuj posedas la jenajn funkciajn grupojn:



Bildo 22-8 montras unu eblan interagon, inter la -OH de serino kaj la oksigeno de asparta acido. Hidrogen-ligoj estas relative malfortaj, kaj facile rompeblaj per ŝanĝiĝoj de pH kaj temperaturo.

Hidrofobiaj altiroj rezultas kiam du nepolusaj grupoj kuŝas apude. Estante nesolveblaj, ili reciproke forpuŝas la akvan solvenzon, estigante forton, kiu pelas ilin kunen. Tiaj interagoj oftas inter tiaj R-grupoj, kiel la nepolusaj fenilaj ringoj de fenilalanino. Bildo 22-8 ilustras la interagojn kondukantajn al terciaraj proteinaj strukturoj.



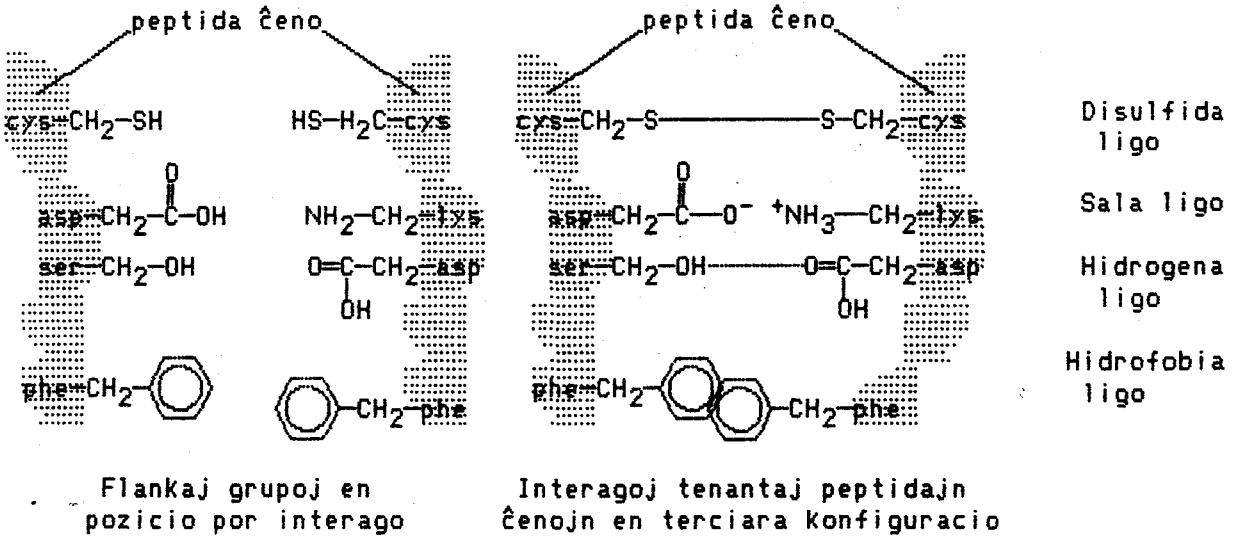
Bildo 22-7. Tri niveloj de strukturo en telefona streĉ-kablo

La terciaraj strukturoj kiuj rezultas pro interagoj de R-grupoj povas esti imagitaj kiel diversaj aranĝoj de la alfa-helico en specifajn, tridimensiajn formojn. Kelkfoje, la alfa-helico estas faldita (aŭ kunpuŝita) en globecan aŭ pilkan formon. Tiaj proteinoj kutime havas notindajn

akvosolveblojn ĉar multaj el la nepolusaj R-grupoj (kiuj malhelpas akvosolveblon) enŝoviĝas en la pilko-similan aranĝon. Insulino, hemoglobino, kaj ova albumino estas globecaj proteinoj.

La terciara strukturo de aliaj proteinoj implicas ŝnur-similajn faskojn de alfa-helicaj strukturoj. La ĉefa proteino de konektiva histo, kolageno, estas de tia speco. Ĝi estas la proteino kiu donas forton al osto, dentoj, kartilago, tendenoj, kaj haŭto.

Strukture, kolageno konsistas el triopa helico - tri proteinaj ĉenoj, ĉiu volvita ĉirkaŭ komuna akso (Bildo 22-9). Hidrogenligoj kuntenas la ĉenojn. Ankaŭ ekzistas trans-ligiĝo per kovalentaj ligoj inter la ĉenoj. Ĉe la kolageno en viando, la grado de transligiĝo estas funkcio de la aĝo de la besto. Ju pli maljuna la besto, des pli granda la transligiĝo kaj la fortikeco de la viando. La procedo de tanado, kiu ŝanĝas haŭton en ledon, plialtigas la gradon de la transligiĝo.



Bildo 22-8. Interagoj de flankaj grupoj, kondukantaj al terciaraj proteinaj strukturoj

Kolageno, same kiel aliaj proteinoj kun ŝnur-similaj strukturoj, ne estas facile digestebla. Bolanta akvo ŝanĝas kolagenon en gelatenon, akvosolveblan digesteblan substancon. Kuirado de viando transformas parton de la kolageno en gelatenon, donante pli delikatan produkton.

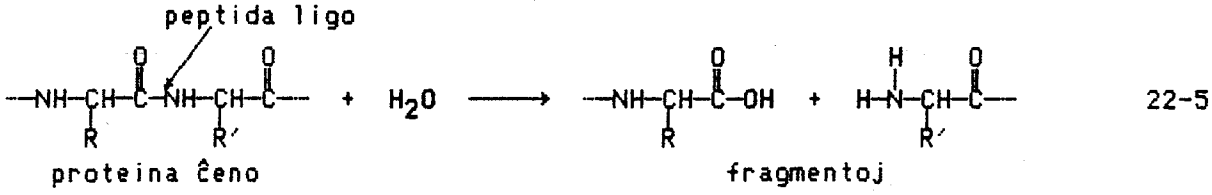
kvaternara strukturo

Kvaternara strukturo temas pri la ariĝo de proteinaj unuoj en specifajn figurojn.

Kelkaj proteinoj konsistas el agregaĵoj de individuaj proteinaj subunuoj kiuj estas sendependaj en la senco ke ili ne estas ligitaj unu al la aliaj per kovalentaj ligoj. Ilin kuntenas diversaj surfacaj interagoj. Hemoglobino estas bona ekzemplo de ĉi tiu fenomeno. Natura hemoglobino konsistas el kvar polipeptidaj ĉenoj kuntenataj en specifa, iom sfereca konfiguracio. Perdo de biologia aktiveco kutime akompanas la disrompon aŭ detruiĝon de la kvaternara strukturo de proteino -- tiu ĉi ne plu plenumas sian funkcion.

22.8 PROTEINA HIDROLIZO

En hidrolizaj reakcioj, rompiĝas ligoj per la aldono de akvo. La centro de hidrolizo en polipeptidoj kaj proteinoj estas la peptida ligo kies formiĝon reprezentis pli supre reakcio 22-4. Hidrolizo disrompas la amidajn ligojn, tiel regenerante la originajn aminajn kaj karboksilajn funkciajn grupojn. Tiel, hidrolizo renversas la primaran strukturon de proteinoj. Dum ĉi tiu reakcio, kiu ludas gravan rolon en la digesto de nutraj proteinoj, grandaj proteinoj rompiĝas en pli malgrandajn polipeptidojn aŭ individuajn aminoacidojn. La ĝenerala hidrolizo de proteinoj montriĝas en reakcio 22-5, kiu estas esence la inverso de reakcio 22-4.



22-5

Analizo de proteino por ties aminoacida konsisto kaj sinsekvo postulas hidrolizon.

Proteina hidrolizo eksplikas kelkajn ŝanĝojn ĉe kuirado de protein-riĉaj manĝaĵoj. Ekzemple, dum kuirado la vianda proteino, kolageno estas parte hidrolizita en la konatan substancon gelatenon.

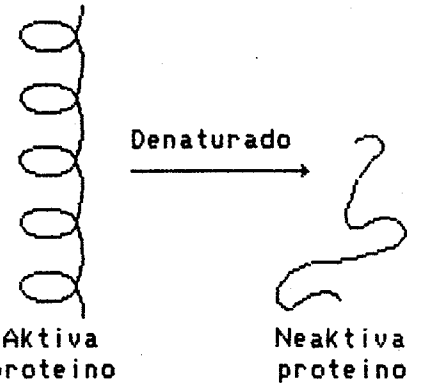
22.9 PROTEINA DENATURADO

proteina denaturado

Kiam reagiloj aŭ kondiĉoj disrompas la hidrogen-ligojn kaj transligojn ĉe sekundaraj, terciaraj, kaj kvaternaraj strukturoj, ni diras ke la proteino estas denaturita (Bildo 22-10).



Bildo 22-9. Parto de triopa helico -- tri spiraloj volviĝintaj en "ŝnuron"



Bildo 22-10. Proteina denaturado. Rimarku ke la primaran strukturon (la sinsekvo de aminoacidoj en la ĉeno) ne ŝanĝas denaturado.

Denaturado igas proteinon esti biologie senefika kaj, sub fortaj kondiĉoj, precipitiĝi el solvaĵo. Kiam denaturado okazas sub mildaj kondiĉoj, ofte oni povas restarigi ĝin al ĝia origina strukturo kaj efikeco per zorga inversigo de la kondiĉoj. Kelkaj el la plej gravaj kaj komunuzaj denaturenzoj trovos mencion sube.

Varmo

La plejparto da proteinoj en solvaĵoj estos denaturitaj ĉe varmigo, tiel ke ili fariĝas nesolveblaj kaj koagulemaj. La ŝanĝiĝo de ovoblanko (koncentrita albumina solvaĵo) de klara materio kun gelatenema konsistenco en blankan solidon post kuirado estas grandparte pro ĉi tiu reakcio. Oni uzas varmon por steriligi kirurgajn instrumentojn ĉar bakterioj estas detruitaj kiam la varmo koagulas iliajn proteinojn. Oni povas kontroli urinajn specimenojn pri proteino per varmigo en acido. Iu ajn enestanta proteino koaguliĝas kaj videbliĝas.

Acidoj kaj Bazoj

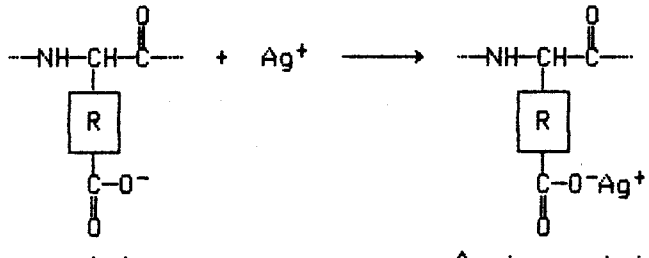
La agado de acidoj kaj bazoj denaturas kaj precipitas kelkajn proteinojn el solvaĵo. Ekzemple, en la stomako la reakcio inter la klorida acido de stomaka suko kaj lakto formas kazeecan precipitaĵon. La natura kazeiĝo (eliĝo de kazeo) de lakto, kiam lakto acidiĝas aŭ kiam oni faras fromaĝon, estas rezulto de la ĉeesto de lakta acido, kiu formiĝas kiel kromprodukto de bakteria kresko. Kontakto kun acidoj aŭ bazoj povas grave difekti la okulon. La rezulto de tia kontakto ofte estas nubeca korneo, kaŭzita pro neinversigeble denaturita kaj koagulita proteino.

Alkoholo

Denaturiĝo de bakteria proteino okazas kiam oni uzas alkoholon kiel desinfektan rimedon. Tio klarigas la oftan praktikon viŝi la haŭton per alkoholo antaŭ ol tiri sangospecimenojn aŭ doni injektaĵojn. Interese, pura alkoholo estas malpli efika ol la ordinare uzata 70-procenta solvaĵo. Pura alkoholo rapide denaturas kaj koagulas la bakterian surfacon, tiel formante efikan baron kontraŭ plia penetrado fare de la alkoholo. Tia protekta reakcio ne okazas kiam oni uzas 70-procentan solvaĵon. La pli dilua solvaĵo denaturas pli malrapide, kaj permesas atingi kompletan penetradon antaŭ ol koaguliĝo (de la tuta bakterio) okazas.

Saloj de Pezaj Metaloj

Oni nomas kombinaĵojn kiuj entenas tiajn jonojn kiel Pb^{2+}, Hg^{2+}, kaj Ag^{+} saloj de pezaj metaloj. Ĉi tiuj jonoj estas ege toksaj por la plejparto da vivantaj organismoj. Oni opinias ke la tokseco estas la rezulto de malaktivigo de enzimoj (vidu Sekcion 23.6) kiel rezulto de reakcio kun grupoj entenantaj sulfuron aŭ jonigeblajn flankĉenojn. Reakcio 22-6 ilustras la denaturadon de proteino per jonoj Ag^{+} pro la formiĝo de karboksilata salo.



22-6

proteino arĝenta proteinato

Oni ofte uzas ovoblankojn kaj lakton kiel antidoton (kontraŭvenenon) kontraŭ venenigo pro enstomakigo de peza metalo. La proteinoj en ĉi tiuj substancoj estas rapide denaturitaj, kaj kombiniĝas kun la toksaj jonoj, formante

nesolveblajn solidojn. Tio malhelpas denaturadon de aliaj proteinoj en la korpo kaj ensorbon de la metalaj jonoj en la sangon. Oni ofte dozas natrian hidrokarbonaton, salon kiu donas bazan solvaĵon, kune kun la lakto kaj ovoblankoj, por havigi al iliaj proteinoj negativan ŝargon. La negativa ŝargo pliefikigas la kapablon de la proteinoj reakcii kun la pozitivaj toksaj metalaj jonoj. Oni dozas emetikon (vomigan drogon), aŭ uzas aliajn metodojn por vomigi, por ke la precipitataj proteinoj estu forigitaj el la stomako antaŭ ol ili povas esti digestitaj kaj la toksaj saloj liberigitaj.

Bildo 22-3. Represita laŭ permeso de Roberts, John D. kaj Caserio, Marjorie C., "Basic Principles of Organic Chemistry" (Bazaj Principoj de Organika Kemio), 2a eldono. Menlo Park, Kalifornio: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1977.

Bildo 22-4: El "Chemistry: A Modern Introduction" (Kemio: Moderna Enkonduko) de Frank Brescia. Kopirajto ©1978 de W.B. Saunders Company. Kopirajto 1974 de W.B. Saunders Company. Adaptita laŭ permeso de Holt, Rineholt and Winston.

Bildo 22-5(a): El John W. Hill kaj Dorothy M. Feigl, "Chemistry and Life" (Kemio kaj Vivo). Kopirajto ©1978, de Burgess Publishing Company.

Bildo 22-5(b): Represita laŭ premeso de Roberts, John D. kaj Caserio, Marjorie C., "Basic Principles of Organic Chemistry" (Bazaj Principoj de Organika Kemio), 2a eldono. Menlo Park, Kalifornio: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1977.

Bildo 22-6: Represita laŭ permeso de Roberts, John D. kaj Caserio, Marjorie C., "Basic Principles of Organic Chemistry" (Bazaj Principoj de Organika Kemio), 2a eldono. Menlo Park, Kalifornio: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1977.

Bildo 22-7: El John W. Hill kaj Dorothy M. Feigl, "Chemistry and Life" (Kemio kaj Vivo). Kopirajto ©1978, de Burgess Publishing Company.

Bildo 22-9: El "Chemistry: A Modern Introduction" (Kemio: Moderna Enkonduko) de Frank Brescia. Kopirajto ©1978 de W.B. Saunders Company. Kopirajto ©1974 de W.B. Saunders Company. Adaptita laŭ permeso de Holt, Rinehart and Winston.

EKZERCOJ

<u>La Graveco de Proteinoj</u>

1. Parigu la agojn maldekstre kun la proteinaj nomoj dekstre:

a) formas konektivan histon kaj kartilagon	(1) keratino
b) reguligas glukozan metabolon	(2) kolageno
c) formas harojn kaj haŭton	(3) insulino
ĉ) stokas feron por reuzo	(4) hemoglobino
d) portas oksigenon en la sango	(5) feritino

2. Klasu ĉiun el la sekvantaj laŭ stoka proteino, hormona proteino, kataliza proteino, aŭ transporta proteino.

a) sakarazo b) ova albumino c) insulino ĉ) lipoproteino

Aminoacidoj

3. Kiuj funkciaj grupoj troviĝas en ĉiuj aminoacidoj?
4. Desegnu la strukturan formulon por valino kaj klare identigu la sekvantajn:

   a) la karboksilon
   b) la α-karbonan atomon
   c) la aminogrupon
   ĉ) la flankan ĉenon

5. Donu la nomon por ĉiu el la sekvantaj aminoacidoj.

   a) ala b) asp c) lys ĉ) leu

6. Klasu ĉiun el la flankaj ĉenoj en la aminoacidoj de Ekzerco 5 laŭ nepolusa, acida aŭ baza.
7. Kio estas esencaj aminoacidoj?
8. Montru per ekvacio kiel ĉiu el la sekvantaj aminoacidoj iĝas ambaŭjonoj (cviter-jonoj):

   a) valino b) serino

9. Montru per du ekvacioj kiel la aminoacido alanino povas funkcii kiel bufro per reakcioj kun jonoj kaj H^+ kaj OH^-.

Formiĝo de Peptidoj

10. Kio estas la diferenco inter peptido kaj aminoacido?
11. Kio estas la diferenco inter polipeptido kaj proteino?
12. Skribu ekvacion (similan al ekvacio 22-4) por la formiĝo de la dipeptido leu-phe.
13. Montru la strukturon de la tripeptido ala-ser-cys kaj klare identigu la sekvantajn:

   a) la liberan aminogrupon
   b) la liberan karboksilon
   c) la peptidajn ligojn

14. Enlistigu la ĉiujn tripeptidojn formeblajn per kunigo de la aminoacidoj val, leu, arg.
15. Kiom da malsamaj polipeptidoj, kiuj entenas du molekulojn da glicino kaj du molekulojn da valino, eblas?

Proteina Strukturo

16. Bildigu al vi peptidan ĉenon, kvazaŭ tiu ĉi estus longo de maldika drato. Priskribu (a) primaran, (b) sekundaran, (c) terciaran, kaj (ĉ) kvaternaran proteinajn strukturojn laŭ la pripensita modelo.
17. Priskribu la du oftajn tipojn de sekundaraj strukturoj en proteinoj.
18. Kiu tipo de ligoj partoprenas en la sekvantaj proteinaj strukturoj?

   a) primara b) sekundara c) terciara

19. Imagu ke la sekvantaj paroj da aminoacidaj restaĵoj estas ligitaj en apudaj ĉenoj kaj lokitaj proksime, unu al la alia. Antaŭdiru la plej probablan interagon de la flankaj grupoj inter la ĉenoj.

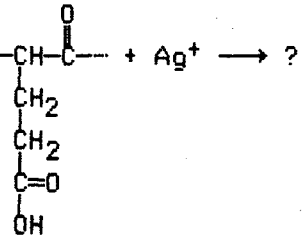
a) treonino kaj serino
b) arginino kaj asparta acido
c) cisteino kaj cisteino
ĉ) leŭcino kaj fenilalanino

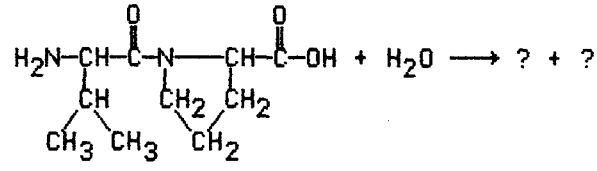
20. Uzante strukturajn formulojn, skizu ĉiun el la interagoj de la flankaj grupoj antaŭdiritaj en Ekzerco 19.

Hidroliza kaj Denatura Reakcioj

21. Parta hidrolizo de nekonata tetrapeptido produktis la fragmentojn ala-ser-val kaj ser-val-glu. Surbaze de ĉi tiu informo, kio estas la strukturo de la nekonata tetrapeptido?

22. Desegnu strukturajn formulojn de la produkto aŭ produktoj kiuj rezultas el la sekvantaj reakcioj.

a) 

b) 

23. Enlistigu kvar kondiĉojn aŭ substancojn kiuj povas denaturi proteinojn.

24. Donu almenaŭ unu praktikan uzon por ĉiu kondiĉo aŭ substanco kiun vi enlistigis por Ekzerco 23.

25. Priskribu la ŝanĝiĝojn kiuj okazas kiam proteino estas denaturita.

23 ENZIMOJ: KATALIZILOJ DE LA NATURO

CELOJ

23.1 Klarigi kial enzimoj estas esencaj por korpa kemio.

23.2 Priskribi la ĝeneralajn ecojn de enzimoj.

23.3 Determini la funkcion kaj/aŭ la substraton de enzimo surbaze de ĝia nomo.

23.4 Priskribi la meĥanismon de enzim-efiko.

23.5 Identigi la faktorojn kiuj influas enziman aktivecon.

23.6 Klarigi la inhibiĝon de enzimoj kaj priskribi kiel funkcias iuj inhibenzoj.

23.7 Difini izoenzimojn kaj studi ties klinikan aplikadon.

23.8 Enlistigi la afekciojn (specifajn malsanojn) rezultantajn el difektitaj enzimoj.

23.9 Montri, ke vi komprenas la medicinan aplikadon de enzimoj.

Enzimoj estas biologiaj katalizenzoj esencaj por la subtenado kaj sano de la korpo. Estas klare montrite, ke specifaj malsanoj rezultas el la manko aŭ nesufiĉo de enzimoj en la korpo. Ĉi tiu ĉapitro okupiĝas ne nur pri tio, kiamaniere rilatas enzimoj al la malsanoj, sed ankaŭ pri tio, kiel tiuj gravaj substancoj ebligas al vivaj ĉeloj funkcii kun mirinda efikeco.

23.1 LA GRAVECO DE ENZIMOJ

enzimo

Enzimoj estas tre specialiĝintaj proteinoj kiuj agas kiel biologiaj katalizaj substancoj.

Kiel tiaj, ili estas koncernataj en ĉiu aspekto de la vivo. Ili reguligas la esencajn reakciojn de digesto, sorbiĝo, kaj utiliĝo de nutraĵoj, kaj ili reguligas la liberigon de energio en la korpo. Sen enzimoj, ne povus okazi spirado, kreskado, muskola kuntiriĝo, kaj aliaj fizikaj kaj mensaj agadoj.

Historie, oni uzadis alian terminon, fermento, anstataŭ enzimo. En multaj lingvoj, nuntempe, enzimo jam forŝovas fermenton. Oni povus ankoraŭ uzi fermenton en la senco de ajna aĵo, kapabla elvoki fermentadon. Tiaokaze fermento estus pli ĝenerala termino ol enzimo kaj ampleksus enzimojn, gistojn, bakteriojn, ktp. En tiu ĉi libro, nur enzimo estos uzata.

Apartaj enzimoj necesas por katalizi preskaŭ ĉiun reakcion en la korpo. Sola ĉelo per si mem povas enhavi ĝis tri mil diversajn enzimojn. Ilia funkcio estas plirapidigi reakciojn por ke la fiziologiaj bezonoj estu kontentigataj. Bona ekzemplo estas la bezono forigi karbonan dioksidon, kromprodukton de ĉela spirado, el la korpo. Antaŭ ol tio povas okazi, la karbona dioksido devas kombiniĝi kun akvo por formi karbonatan acidon (reakcio 23-1).

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{karbonata anhidrazo}} H_2CO_3 \qquad 23\text{-}1$$

En foresto de la konvena enzimo, karbonata anhidrazo, la formiĝo de karbonata acido okazas multe tro malrapide por subtenadi la necesan interŝanĝon de karbona dioksido inter la sango kaj pulmoj. Sed en ĉeesto de karbonata anhidrazo, tiu viv-esenca reakcio iras rapide. Ĉiu molekulo de la enzimo povas katalizi la formiĝon de karbonata acido je la rapido de 36 milionoj da molekuloj minute.

Multaj el la korpe gravaj enzim-katalizitaj reakcioj estas similaj al la

reakcioj traktitaj en la ĉapitroj pri organika kemio: hidrolizo de esteroj, amidoj kaj acetaloj, hidratigo de duoblaj ligoj, oksidigo de alkoholoj, ktp. Tamen, laboratoriaj kondiĉoj ne povas konkuri kun tio, kio okazas dum tiuj reakcioj en la korpo: enzimoj ebligas realigi tiujn reakciojn sub tre mildaj pH- kaj temperatur-kondiĉoj. Aldone, enzima katalizado en la korpo povas realigi milisekunde reakciojn, kiuj ordinare daŭras semajnojn aŭ eĉ monatojn sub laboratoriaj kondiĉoj. Plie, enzime katalizitaj reakcioj donas 100 %-an rikolton; t.e., nedezirataj kromproduktoj ne formiĝas. Tio ne validas por organikaj reakcioj realigataj en laboratorioj. Tiujn reakciojn preskaŭ ĉiam akompanas la formiĝo de unu aŭ pli da kromproduktoj, eĉ se katalizenzoj ĉeestas.

23.2 ĜENERALAJ ECOJ DE ENZIMOJ

Enzimoj estas veraj katalizenzoj. Ili ne foruziĝas, aŭ nerevokeble ŝanĝiĝas, dum kemiaj reakcioj. Ili akcelas reakciojn kiuj alie tre malrapide okazus. Ĉar enzimoj estas proteinoj, ajnaj procezoj aŭ kondiĉoj kiuj difektas proteinon strukture ankaŭ difektas enzimojn kaj kaŭzas al ili la perdon de kataliza aktiveco. Tiel, kiam enzimoj estas tro varmigitaj, traktitaj per bazoj aŭ acidoj, aŭ elmetitaj al aliaj denaturenzoj, ili perdas sian katalizan aktivecon.

Interesa eco de enzimoj estas ties specifeco.

<u>absoluta specifeco; grupa specifeco</u>

Enzimoj povas katalizi reakciojn nur de unusola substanco (absoluta specifeco), aŭ de tre parencaj substancoj, en kiuj unusola tipo de funkcia grupo estas koncernata (grupa specifeco).

Ekzemple, la hidrolizo de ureo estas la sola reakcio kiun katalizas la enzimo <u>ureazo</u> (reakcio 23-2). Simile, la <u>lipazoj</u> hidrolizas lipidojn, <u>proteazoj</u> disigas proteinojn, kaj <u>fosfatazoj</u> hidrolizas fosfatajn esterojn.

$$NH_2\text{—}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{—}NH_2 + H_2O \xrightarrow{\text{ureazo}} CO_2 + 2NH_3 \qquad 23\text{-}2$$

La molekula maso de enzimoj etendiĝas de ĉ. 12.000 ĝis pli ol 1.000.000 amu. En kelkaj kazoj, la enzimo plene konsistas el polipeptidoj aŭ proteinoj.

<u>kofaktoro; koenzimo; aktiviganto; apoenzimo</u>

Enzimoj tamen povas konsisti el proteina parto kaj el iu alia komponanto, nomata kofaktoro. Kiam la kofaktoro estas organika substanco, ĝi nomiĝas koenzimo. Se la kofaktoro estas neorganika jono (kutime metala jono), ĝi

nomiĝas aktiviganto. La proteina parto de tiuj kombin-tipaj enzimoj nomiĝas *apoenzimo*.

Tiel, la kombiniĝo de apoenzimo kun kofaktoro estigas aktivan enzimon (reakcio 23-3).

apoenzimo + kofaktoro (koenzimo aŭ aktiviganto) ⟶ aktiva enzimo 23-3

Kelkaj vitaminoj (vidu Ĉapitron 25) funkcias kiel koenzimoj. Ekzemple, nikotinamido en NAD (nikotinamida adenina dinukleotido) kaj riboflavino en FAD (flavina adenina dinukleotido). Tipaj aktivigantoj estas tiaj metal-jonoj kiel Mg^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, kaj Fe^{2+}. Ankoraŭ aliaj aktivigantoj estas implicitaj en la agado de <u>saliva amelazo</u>, kiu bezonas la kloridan jonon por hidrolizi amelozon, kaj en la agado de <u>renino</u>, kiu bezonas kalcian jonon por kazeigi (koaguli) lakton.

Por malebligi al ili sur-agi (kaj detrui) la glandojn aŭ histojn men kiuj produktas ilin, kelkaj enzimoj generiĝas unue en malaktiva formo.

<u>proenzimo (zimogeno)</u>
La neaktivaj formoj de enzimoj nomiĝas proenzimoj aŭ zimogenoj.

Tiuj neaktivaj formoj devas esti aktivigitaj de aliaj substancoj antaŭ ol ili povas agi kiel enzimoj. Ekzemple, la proenzimo <u>pepsinogeno</u> sekreciiĝas en la stomakon, kie hidrogenaj jonoj de stomaka suko katalize hidrolizas ĝin en pepsinon, kiu estas la aktiva enzimo. La pepsino siavice katalizas la ŝanĝon de plua pepsinogeno en pepsinon.

$$\text{pepsinogeno} + H_2O \xrightarrow{H^+} \text{pepsino} + \text{polipeptido}$$

$$\text{pepsinogeno} + H_2O \xrightarrow{\text{pepsino}} \text{pepsino} + \text{polipeptido}$$

23.3 NOMENKLATURO DE ENZIMOJ

Multaj malsamaj tipoj de enzimoj necesas por la diversaj kemiaj procezoj en vivantaj ĉeloj. La plej frue eltrovitaj enzimoj ricevis nomojn kun la sufikso -<u>in</u>- por indiki ilian proteinan konsiston. (Ne konfuzu tiun ĉi -<u>in</u>- kun la sama sufikso uzata por triobla ligo en Sekcio 14.9 aŭ kun ĝia ordinara nekemia senco en Esperanto.) Kelkaj el tiuj nomoj estas ankoraŭ komunuzaj. Ekzemple tri enzimoj, kiuj helpas hidrolizi proteinojn, nomiĝas <u>pepsino</u>, <u>tripsino</u>, kaj <u>kimotripsino</u>. La nomoj donitaj al pli malfrue eltrovitaj enzimoj havas la sufikson -<u>az</u>- kombinitan kun

vort-radiko indikanta aŭ la substancon, sur kiun ili agas, aŭ la reakcion, kiun ili katalizas.

substrato
La substanco sur kiun la enzimo efikas nomiĝas substrato.

Maltazo, ekzemple, katalizas la hidrolizon de la sukero maltozo (la substrato). Tiu sama enzimo klasiĝas sub hidrolazo, ĉar ĝi katalizas hidrolizan reakcion.

23.4 MEĤANISMO DE ENZIM-EFIKO

Oni proponis teorion por klarigi la katalizan konduton de enzimoj. Laŭ tiu teorio, enzimo unue kombiniĝas kun sia substrato por formi komplekson. Tiam la kompleksо fendiĝas formante la reakci-produktojn. La enzimoj liberiĝas por plua katalizado (reakcio 23-4).

$$\underset{\text{substrato}}{\text{sakarozo}} + \underset{\text{enzimo}}{\text{sakarazo}} \longrightarrow \underset{\substack{\text{kompleksо de}\\ \text{substrat-enzimo}}}{\text{Kompleksо}} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{produktoj}}{\text{glukozo + fruktozo}} + \underset{\text{enzimo}}{\text{sakarazo}} \qquad 23\text{-}4$$

$$S + E \longrightarrow S\text{–}E \longrightarrow P + E$$

Etendo de tiu teorio estas uzata por klarigi la grandan specifecon de enzima aktiveco.

teorio de ŝlosilo kaj seruro
Laŭ tiu etendo, nomata la teorio de ŝlosilo kaj seruro (Bildo 23-1), enzim-surfacoj estas adapteblaj nur al tiuj substratoj, kiuj havas specifajn formojn kaj grandojn.

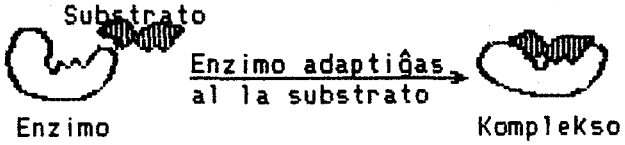
Tiel, nur specifaj substratoj ĝuste "sidas" sur donita enzimo kaj povas formi komplekson kun ĝi.

aktiva centro
La regiono de enzimo, kie la substrato ligiĝas, estas nomata aktiva centro. La teorio de ŝlosilo kaj seruro havas limigon, ĉar ĝi subkomprenigas ke la figuroj de enzimoj estas fiksitaj aŭ rigidaj.

teorio de adaptiĝo
Nuna modifo de la teorio de ŝlosilo kaj seruro, konata kiel la teorio de adaptiĝo, premisas ke enzimoj posedas iom flekseblajn figurojn, kiuj povas adaptiĝi al la alvenantaj substratoj.



Bildo 23-1. La teorio de ŝlosilo kaj seruro pri la interago de substrato kaj enzimo

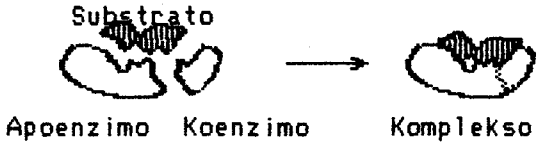


Bildo 23-2. La teorio de adaptiĝo pri la interago de substrato kaj enzimo

La alproksimiĝo de konvena substrato, oni pensas, subtile ŝanĝas la aktivan centron por krei favoran orientiĝon (Bildo 23-2).

La kombiniĝo de koenzimo kun apoenzimo, por formi aktivan enzimon estas ankaŭ klarigebla kiel per la teorio de ŝlosilo kaj seruro tiel per tiu de adaptiĝo. Povas esti, ke la necesa figuro de enzimo ne ĉeestas, aŭ ke la aktiva centro ne estas kompleta, ĝis la du enzim-komponantoj kombiniĝas (Bildo 23-3).

La modelo de ŝlosilo kaj seruro kaj la teorio de adaptiĝo ankaŭ donas klarigon pri la neorganikaj jonaj aktivigantoj (metalaj jonoj) en kelkaj enzim-sistemoj. Oni kredas ke la jono servas kiel ligilo por teni kune la enzimon kaj substraton, kiel montrite por zinko en Bildo 23-4.



Bildo 23-3. Partopreno de koenzimo en substrat-enzima interago



Bildo 23-4. Neorganikaj jonaj aktivigantoj en enzim-sistemoj

23.5 FAKTOROJ INFLUANTAJ ENZIMAN AKTIVECON

La *fulma rapido (po 36 milionoj da molekuloj minute) je kiu unu molekulo* de karbonata anhidrazo transformas karbonan dioksidon en karbonatan acidon estas menciita pli frue. Tiu rapido, kiun oni nomas la transforma nombro, estas unu el la plej altaj inter la enzim-sistemoj.

transforma nombro

Por enzim-sistemoj, ĝenerale, la transforma nombro estas la nombro de substrataj molekuloj suferantaj reakcion ĉiuminute dank' al unusola enzim-molekulo.

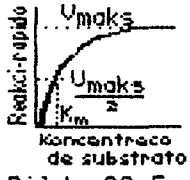
La transforma nombro estas ĉiam iom granda, kvankam ĝenerale ne tiom granda kiel por karbonata anhidrazo.

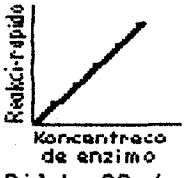
Multaj faktoroj influas la katalizan aktivecon, aŭ reakci-rapidon, de enzimo. La plej gravaj faktoroj estas la substrata koncentreco, enzima koncentreco, pH, kaj temperaturo. Kelkaj malpli gravaj faktoroj estas la naturo de la fin-produktoj kaj la ĉeesto de enzim-inhibenzoj.

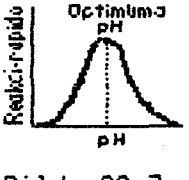
Koncentreco de Substrato

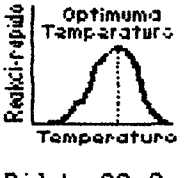
Kiel montrite per Bildo 23-5, la koncentreco de substrato grave influas la rapidon de enzim-katalizitaj reakcioj. Ĉe malaltaj substrataj koncentrecoj, la rapido kreskas proporcie al la substrata koncentreco. Dum la koncentreco de substrato kreskas, ĝi atingas valoron preter kiu plua rapido-kresko ne akompanas la kreskon de substrata koncentreco. La maksimuma rapido (simbolo V_{maks}) okazas ĉar la enzimo saturiĝas per substrato kaj ne povas pli rapide funkcii sub la aplikataj kondiĉoj.

Tre grava konstanto en enzimaj studoj estas la konstanto de Michaelis /miĥaelis/; K_m. Ĝi karakterizas la katalizajn ecojn de enzimo rilate la koncernan substraton. La konstanto estas difinita kiel tiu substrata koncentreco, ĉe kiu la rapido de la enzima reakcio atingas ĝuste la duonon de la maksimuma rapido. Vidu Bildon 23-5.









Bildo 23-5. Bildo 23-6. Bildo 23-7. Bildo 23-8.

Bildo 23-5. La efiko de substrat-koncentreco sur la reakci-rapidon
Bildo 23-6. La efiko de enzim-koncentreco sur la reakci-rapidon
Bildo 23-7. La efiko de pH sur reakci-rapidon
Bildo 23-8. La efiko de temperaturo sur reakci-rapidon

Koncentreco de Enzimo

Studoj faritaj kun purigitaj enzimoj malkaŝis la konduton montritan en Bildo 23-6. La rapidon de enzim-katalizita reakcio oni trovis proporcia al la koncentreco de uzita enzimo, en sufiĉe larĝa amplekso. Tiu konduto

estas karakteriza nur tiom longe, kiel la koncentreco de la substrato estas tenata konstanta kaj super tiu nivelo bezonata por saturi la enzimon.

La Efiko de pH

optimuma pH

La pH, ĉe kiu enzimoj montras maksimuman aktivecon, nomiĝas optimuma pH.

La aktiveco forte falas se la pH varias for de la optimuma valoro (Bildo 23-7). Por multaj enzimoj en la korpo, la optimuma pH estas ĉirkaŭ 7, sed esceptojn oni scias. Ekzemple, la pepsino de stomaka suko estas plej aktiva kiam la pH estas 1,5; kaj la tripsino de pankreata suko pleje funkcias kiam la pH estas ĉirkaŭ 8.

Temperaturo

En la Sekcio 9.3 ni konstatis ke la rapido de la plejmulto da kemiaj reakcioj kreskas kun la kresko de temperaturo. Kiel indikite en Bildo 23-8, enzim-katalizitaj reakcioj ne estas esceptoj, se la temperaturo ne estas troe altigita. La plejmulto da enzimoj estas aktiva en la temperatur-amplekso 10 ĝis 50 °C.

optimuma temperaturo

Por enzimoj en la korpo, la optimuma temperaturo - la temperaturo, ĉe kiu enzima aktiveco estas plej alta - estas ĉirkaŭ 37°C.

Ĉe temperaturoj pli altaj ol 50°C, la enzima aktiveco kelkfoje altiĝas, sed nur por mallonga tempo. Ĉe altaj temperaturoj, la proteino de enzimoj denaturiĝas kaj koaguliĝas, kaj la enzim-aktiveco do perdiĝas. La pasteŭrizado de manĝaĵoj profitas de tiu fakto. Ĉe 60°C, la uzata temperaturo de pasteŭrizo, malmultaj mikroorganismoj estas senpere mortigitaj, sed iliaj enzimoj iĝas neaktivaj. Tiu perdo de enzima aktiveco rapide kondukas al la detruiĝo de la mikroorganismoj, ĉar ili ne kapablas realigi siajn esencajn enzim-katalizatajn vivo-procezojn. Ĉe la alia ekstremo, la neaktiveco de enzimoj ĉe malaltaj temperaturoj ebligis krei la industrion de frostigitaj nutraĵoj, kiu grave ŝanĝis manĝo-kutimojn en kelkaj landoj. Manĝaĵoj konservitaj per rapida frostigo estas deponeblaj sub frostiĝo por longa daŭro sen difektiĝo; tiel plilongiĝas la benoj de abundaj rikoltoj.

23.6 INHIBENZOJ DE ENZIMOJ

enzima inhibenzo

Enzim-inhibenzoj estas kemiaj substancoj kiuj havas la kapablon detrui aŭ igi enzimojn neaktivaj.

Konkura inhibenzo

Konkuraj inhibenzoj estas enzim-inhibenzoj kiuj efikas per tio, ke ili okupas la aktivan centron de enzimo, tiel malebligante al la substrato de enzimo okupi la centron.

La strukturoj de konkuraj inhibenzoj similas al enzim-substratoj; tio ebligas al ili konkuri kun la substrato por la enzim-liganta centro. Jam ligiĝinta al la enzimo, la konkura inhibenzo funkcias malsame ol funkcias la normala substrato, tiel la enzimo iĝas neaktiva (Bildo 23-9).



(a) (b)

Bildo 23-9. Konkura enzim-inhibiĝo: (a) normala komplekso de enzim-substrato (b) inhibiĝinta enzimo

nekonkura inhibenzo

Alia klaso de enzim-inhibenzoj, nomataj nekonkuraj enzim-inhibenzoj, sin ligas al enzimo ĉe centro malsama ol la aktiva centro. Tio ĉi kaŭzas ŝanĝiĝon en la figuro de aktiva centro, kaj rezultigas pli malgrandan afinecon de la enzimo rilate sian substraton.

La enzim-inhibenzoj de tiu tipo ne devas simili laŭ strukturo al la enzim-substrato.

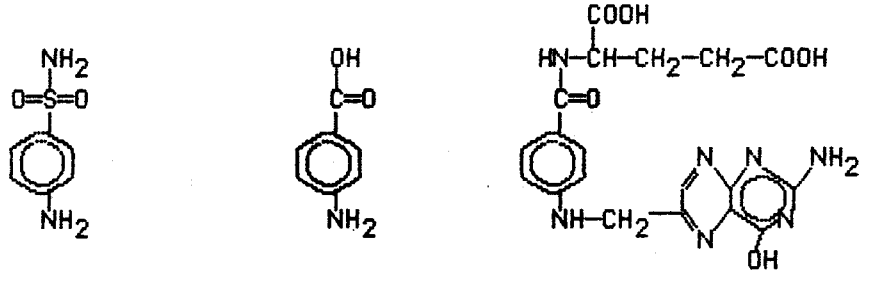
Mult-nombrajn kazojn de enzima inhibiĝo oni scias, kiu liveras bonajn efikojn al la homa korpo. Multaj utilaj medikamentoj realigas siajn salubrajn efikojn pere de enzim-inhibiĝo. Ekzemplo estas la sulfonamidaj drogoj. Aliflanke, multaj el la plej mortigaj venenoj, inkluzive de cianidoj, arsenikoj, neŭroparalizaj gasoj, funkcias pere de enzima inhibiĝo.

Interesan ekzemplon de enzim-inhibiĝo donas la parazita askarido (fadenvermoj), trovebla en la intesta kanalo de bestoj. Du polipeptidoj, kiujn sekrecias la vermo, certigas (por la vermo) bonajn efikojn de enzim-inhibiĝo. Unu el tiuj polipeptidoj inhibas la enzimon pepsinon kaj la

alia inhibas tripsinon. Tiuj inhibenzoj kune protektas la vermon kontraŭ digestiĝo, dum ĝi vivas en la intesta kanalo de la besto.

Sulfonamidaj Drogoj

La efiko de sulfonamidaj drogoj sur bakteriojn estas klasika ekzemplo de konkura enzim-inhibiĝo. Fola acido, esenca substanco bezonata por la kreskado de kelkaj patogenaj bakterioj, estas sintezata interne de la bakterio per kemia procezo, kiu bezonas para-aminobenzoan acidon (Bildo 23-10). Tial ke sulfanilamido, la unua sulfonamida drogo, similas para-aminobenzoan acidon kaj konkuras kun ĝi por la aktiva centro de la bakteria enzimo implicata en la sinteza procezo, ĝi povas ekstermi tiujn bakteriojn. Tio eblas, ĉar la bakteria enzimo facile ligiĝas al ambaŭ molekuloj. Tial, la enkonduko de grandaj kvantoj da sulfanilamido en la korpon de paciento kaŭzas ke la plejparto da aktivaj centroj iĝas okupataj de (el la vidpunkto de bakterio) "trompa" substrato. La sintezo de fola acido do haltas aŭ malrapidiĝas kaj la bakterio estas malhelpata en sia plimultiĝo. Dumtempe, la normala korpa defendo laboras por detrui ilin.



Sulfanilamido | p-Aminobenzoa acido | Fola acido

Bildo 23-10. Strukturaj rilatoj inter sulfanilamido, para-aminobenzoa acido, kaj fola acido

Cianidoj

La veneneco de la cianida jono (CN^-) rezultas el nekonkura enzima inhibo. La povo de ĉeloj utiligi oksigenon dependas de la efiko de fer-entena komplekso, nomata citokroma oksidazo. La cianida jono reakcias kun la fero de la enzimo, formas tre stabilan komplekson, kaj malebligas al la enzimo ĝuste funkcii. Rezulte, la ĉelspirado haltas.

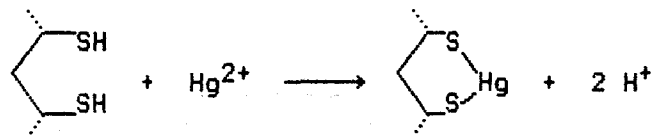
$$\underset{\text{citokroma oksidazo}}{Cit\text{–}Fe^{3+}} + CN^- \longrightarrow \underset{\text{stabila komplekso}}{Cit\text{–}Fe\text{–}CN^{2+}} \qquad 23\text{-}5$$

Kelkaj naturaj fontoj de cianidaj kombinaĵoj estas la semoj de ĉerizoj,

prunoj, persikoj, pomoj, kaj abrikotoj. Oni rakontas plurajn kazojn, en kiuj homoj veneniĝis per tio, ke ili manĝis grandan nombron da pom-semoj. La cianida jono ĝenerale estas mortiga por homoj en dozo de 1 mg da CN^- je 1 kg da korpomaso. Tio signifas, ke 100-kilogram-homon povas mortigi 0,1g da CN^-.

Pezaj metaloj

La veneneco de tiaj pezaj metaloj, kiel hidrargo kaj plumbo, rezultas el ties kapablo igi neaktivaj enzimojn pere de nekonkura inhibo. Tiuj ĉi metaloj tiele agas ke, ili kombiniĝas kun la sulfhidrilaj grupoj (-SH) troveblaj en multaj enzimoj (vidu reakcion 23-6). Aldone, kiel ni jam vidis en Sekcio 22.9, pezaj metaloj povas kaŭzi nespecifan precipitiĝon de proteinoj.



23-6

funkcianta enzimo — nefunkcianta enzimo

23.7 IZOENZIMOJ

izoenzimoj (izozimoj)

Multaj enzimoj estas troveblaj en pli ol unu molekula formo ene de la sama specio, histo, aŭ ĉelo. Tiuj diversaj formoj koniĝas kiel izoimoj aŭ izozimoj.

Laktata deshidrogenazo estas la plej konata ekzemplo; ĝi troviĝas en kvin malsamaj formoj en animalaj histoj. Kiam histo malsaniĝas, iom da ties karakteriza laktata deshidrogenazo estas enlasata en la sangon. Per la determino de la formo de la enzimo (izoenzimo), kiu ĉeestas en la sango, oni povas en kelkaj kazoj identigi la tipon de afekciata histo. Ekzemple, la pli alta enzim-enhavo de sango karakteriza por kor-infarkto diferencas de tiu karakteriza por akuta hepat-malsano.

23.8 DIFEKTITAJ ENZIMOJ KAJ AFEKCIOJ

denaska eraro de metabolo

Multaj el la heredaj afekcioj (specifaj malsanoj) ŝajnas deveni de la foresto de enzimoj aŭ de la ĉeesto de difektitaj enzimoj. Tiuj malsanoj ofte nomiĝas denaskaj eraroj de metabolo.

Tabelo 23-1. Kelkaj afekcioj kaŭzitaj de enzim-difektoj

Afekcio	Enzimo
Afekcio de Gaucher	β-glukozidazo
Metahemoglobinemio	metahemoglobina reduktazo
Albinismo	tirozinazo
Podagro	hipoksantin-guanina fosforibozil-transferazo
Afekcio de Niemann-Pick	sfingomjelinazo
Afekcio de Tay-Sachs	heksozaminidazo
Galaktozemio	fosfogalaktoza uridil-transferazo

Tabelo 23-2. Enzimoj uzataj kiel diagnoziloj

Enzimo	Testenda likvo	Patologia kondiĉo
Sera glutama-okzalaceta transaminazo (SGOT)	sango-sero	koronaria okluzio kun damaĝo al la kor-muskolo
Sera glutama-piruva transaminazo (SGPT)	sango-sero	infekta hepatito
Lizozimo	sango-sero aŭ urino	monocita leŭkemio
Amelazo	sango-sero	malsanoj de pankreato
Acida fosfatazo	sango-sero	prostata kancero

Fenil-ketonurio, kiu kaŭzas mensan malfruiĝon, rezultas el karenco de la enzimo fenilalanina hidroksilazo. Tiu ĉi enzimo partoprenas la transformadon de fenilalanino en tirozinon. En foresto de la enzimo, fenilpiruva acido (fenilketono) formiĝas anstataŭ tirozino. La fenilpiruva acido akumuliĝas en la korpo kaj fine aperas en la urino. La sango-testo pri fenilketonurio estas rutina ekzameno ĉe novnaskitaj beboj. Trafitaj beboj devus esti nutrataj per dieto kun malgranda fenilalanina enhavo ĝis ĉ. la unua jaro de vivo. Se oni faras ĉi tion, estas alta probablo, ke ili ne plu suferos. Pri kelkaj aliaj afekcioj, kaŭzitaj de enzim-difektoj, informas Tabelo 23-1.

23.9 MEDICINAJ APLIKOJ DE ENZIMOJ

Enzimoj jam fariĝas valoraj helpiloj en diagnoza medicino. Sub normalaj kondiĉoj, ĉelaj enzimoj ne aperas en mezureblaj kvantoj en sango, urino, aŭ cerebrospina likvaĵo. Tamen, kiel supre menciite, kelkaj enzimoj enlasiĝas en tiujn likvaĵojn kiel rezulto de afekcioj kaŭzantaj damaĝon al histoj. Sentivaj analizaj metodoj estas ellaboritaj por mezuri la koncentrecon de enzimoj rilate al specifaj patologiaj kondiĉoj, tiel helpante ties diagnozon (Tabelo 23-2).

EKZERCOJ

La Graveco de Enzimoj

1. Klarigu kial enzimoj estas viv-esencaj al korpa kemio.
2. Komparu la rikoltojn de enzim-katalizitaj reakcioj kun tiuj de ne-enzim-katalizitaj reakcioj.

Ĝeneralaj Ecoj de Enzimoj

3. Kiu eco de enzimoj indikas, ke ili estas veraj katalizenzoj?
4. Donu du ĝeneralajn ecojn de enzimoj, kiuj identigas ilin kiel proteinojn.
5. Kion signifas la termino grupa specifeco?
6. Kelkaj enzimoj konsistas el proteino plus alia komponanto. Kiu el la terminoj kofaktoro, koenzimo, kaj aktiviganto priskribas ĝuste ĉiun el la sekvaj ne-proteinaj komponantoj?

   a) neorganika jono b) nespecifa komponanto c) organika substanco
   ĉ) riboflavino d) Fe^{2+}

7. Priskribu la gravecon de proenzimoj, aŭ zimogenoj, en la korpo.

Nomenklaturo de Enzimoj

8. Parigu la sekvajn ĝeneralajn enzim-nomojn kaj katalizitajn reakciojn:

enzimoj	reakcioj
a) deskarboksilazo	a) formiĝo de esteraj ligoj
b) fosfatazo	b) forigo de karboksiloj el kombinaĵoj
c) peptidazo	c) hidrolizo de peptidaj ligoj
ĉ) esterazo	ĉ) hidrolizo de fosfat-esteraj ligoj

9. Ni vidis en Ĉapitro 9 ke katalizenzoj ambaŭdirekte plirapidigas la reakciojn (kaj antaŭen kaj malantaŭen). Sciante ĉi tion, sugestu reakcion, aldone al tiuj de Ekzerco 8, kiujn la sekvaj enzimoj povas katalizi.

   a) fosfatazo b) esterazo c) deskarboksilazo

10. Parigu la sekvajn enzimojn kaj substratojn:

enzimoj	substratoj
a) ureazo	a) fumara acido
b) fumarazo	b) arginino
c) fruktazo	c) laktozo
ĉ) arginazo	ĉ) ureo
d) laktazo	d) fruktozo

11. Identigu la substraton kaj tipon de reakcio por la sekvantaj enzim-nomoj:

   a) ĥolinesterazo b) citokroma oksidazo c) histidina deskarboksilazo
   ĉ) glukoz-6-fosfata izomerazo d) laktata deshidrogenazo

Meĥanismo de Enzim-efiko

12. Kiel interrilatas la substrato kaj aktiva centro de enzimo?

13. Priskribu la konduton de enzimoj, uzante ĉiujn el sekvaj konceptoj:

    a) la formiĝo de kompleksо enzim-substrato
    b) la ĝenerala teorio de ŝlosilo kaj seruro
    c) la teorio de ŝlosilo kaj seruro, inkludante la koncepton de adaptiĝo
    ĉ) la teorio de ŝlosilo kaj seruro, inkludante la koenziman koncepton
    d) la teorio de ŝlosilo kaj seruro, inkludante la koncepton de neorganika aktiviganto

Faktoroj Influantaj Enziman Agadon

14. Difinu la transforman nombron.

15. Uzu grafikaĵojn por ilustri enziman aktivecon kiel funkcion de la sekvaj:

    a) koncentreco de substrato b) koncentreco de enzimo
    c) pH ĉ) temperaturo

16. Skribu po unu frazon por resumi la informojn de ĉiu grafikaĵo en Ekzerco 15.

Enzim-inhibiĝo

17. Klarigu la diferencon inter konkura kaj nekonkura enzim-inhibiĝo.

18. Kiel inhibas la enzim-aktivecon ĉiu sekva substanco?

    a) sulfonamidaj drogoj b) cianidoj c) pezaj metaloj

Izoenzimoj, Difektitaj Enzimoj, Kaj Medicinaj Aplikoj

19. Kio estas izoenzimoj?

20. Kiu izoenzimo havas gravajn medicinajn aplikojn?

21. Listu kvar afekciojn, kiuj rezultas el enzim-difektoj.

22. Kiel estas uzataj la sekvaj enzimoj en diagnoza medicino?

    a) SGOT b) lizozimo c) SGPT ĉ) acida fosfatazo

24 NUKLEAJ ACIDOJ: MOLEKULOJ DE HEREDECO

CELOJ

24.1 Priskribi la karakterizaĵojn de DNA kaj RNA, inklude iliajn situojn en la ĉelo kaj la produktojn formitajn ĉe ilia hidrolizo.

24.2 Rekoni la molekulan strukturon de nukleotidoj.

24.3 Montri ke vi komprenas la strukturon de nuklea acido.

24.4 Priskribi la mem-replikiĝon de DNA.

24.5 Montri ke vi komprenas la strukturon, funkcion kaj situon de la tri tipoj de RNA.

24.6 Montri ke vi komprenas la genetikan kodon.

24.7 Priskribi la meĥanismon de protein-sintezo.

Unu el la plej rimarkindaj ecoj de vivantaj ĉeloj estas ilia kapablo produkti preskaŭ ekzaktajn replikojn (duoblaĵojn) de si mem tra centoj kaj miloj da generacioj. Tia procezo postulas ke certaj tipoj de informoj estu transdonataj senŝanĝe de unu generacio al la sekvanta.

nuklea acido

La transdono de necesa genetika informo al novaj ĉeloj efektiviĝas per substancoj nomataj nukleaj acidoj.

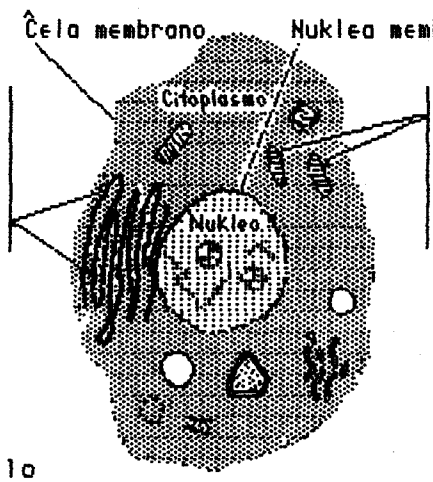
Tiuj nukleaj acidoj prezentas kodigitan informon same kiel vortoj en libro prezentas informon. La preskaŭ senlima varieco de eblaj strukturoj ebligas al nukleaj acidoj reprezenti la kvantegon da informo kiu devas esti transdonita en vivanta organismo. Ĉi tiu informo regas la hereditajn trajtojn de la nova generacio kaj ankaŭ multajn el ĝiaj viv-procezoj.

24.1 TIPOJ DE NUKLEAJ ACIDOJ

ribonuklea acido (RNA); desoksiribonuklea acido (DNA)

Oni klasas la nukleajn acidojn en du kategoriojn: ribonukleajn acidojn (RNA), troviĝantajn ĉefe en la citoplasmo (fluido) de vivantaj ĉeloj (Bildo 24-1) kaj desoksiribonukleajn acidojn (DNA), troviĝantajn en la nukleoj de ĉeloj.

La meĥanismon, per kiu organismo transdonas genetikan informon de unu generacio al alia dum dividiĝo de ĉelo, regas DNA. La DNA, kunlabore kun RNA, respondas pri la biosintezo de la diversaj tipoj de proteinoj bezonataj de la organismo. Scio de la strukturo de nuklea acido estas antaŭkondiĉo por kompreni kiel tiaj molekuloj faras siajn taskojn.



Endoplasma retikulo kun ribosomoj sur la surfaco (sintezo de proteino, diskutota en Sekcio 24.8)

Mitoĥondrio (sintezo de kombinaĵoj uzataj por energio, pritraktota en Ĉapitro 25)

Bildo 24-1. Tipa ĉelo

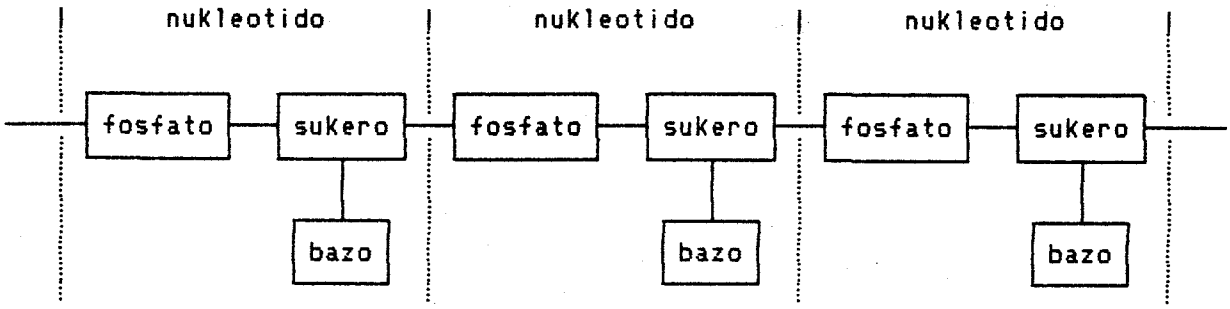
24.2 NUKLEOTIDOJ

Simile al proteinoj kaj la sakaridoj amelo kaj celulozo, kaj RNA-oj kaj DNA-oj estas polimeroj.

nukleotido

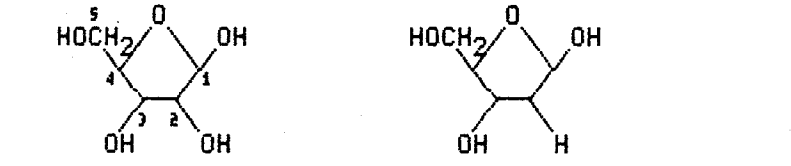
La monomeroj, aŭ ripetaj strukturaj unuoj de la nukleaj acidoj, nomiĝas nukleotidoj. Ekzistas nombro da diversaj, sed similaj, nukleotidoj.

Ĉiu nukleotido konsistas el tri pli simplaj komponantoj: fosfato, sukero, kaj nitrogena bazo (nitrogen-hava heterocikla kombinaĵo -- Sekcio 15.8). Bildo 24-2 montras la fundamentan strukturon de kaj nuklea acido kaj nukleotido en la kadro de tiuj komponantoj. La polimero, nuklea acido, estas do alterna ĉeno de fosfataj kaj sukeraj restaĵoj; la sukeroj portas bazon.



Bildo 24-2. Fundamenta strukturo de polimero, nuklea acido

La sukera restaĵo en nukleotido ĉiam estas kvinkarbona sukero (pentozo -- Sekcio 20.1). Ribozo estas la sukera komponanto de RNA; en DNA ĝi estas 2-desoksiribozo. La strukturoj de ĉi tiuj sukeroj aperas en Bildo 24-3. Notu ke la sola diferenco inter la du sukeroj estas la anstataŭigo de OH en la pozicio numero 2 per H en desoksiribozo.



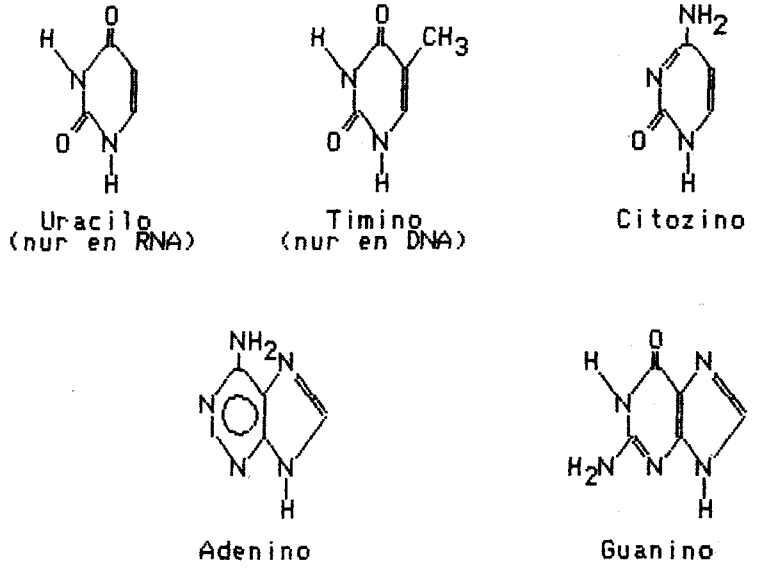
Ribozo (β-D-Ribofuranozo)

2-Desoksiribozo (2-Desoksi-β-D-Ribofuranozo)

Bildo 24-3. Sukeroj de nukleaj acidoj

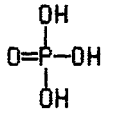
La nitrogenhava heterocikla kombinaĵo kiu ofte enestas en nukleotido estas unu el kvin molekuloj, kiujn pentras Bildo 24-4. Adenino, guanino kaj

citozino -- kutime mallongigitaj per A, G, kaj C -- troviĝas kaj en DNA kaj en RNA. Kutime, uracilo (U) troviĝas nur en RNA, kaj timino (T) nur en DNA.

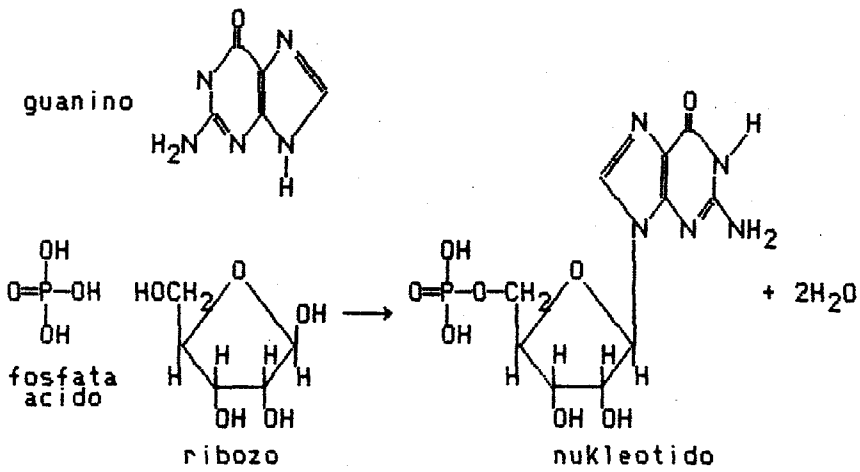


Bildo 24-4. La ĉefaj bazoj de nukleaj acidoj

La neorganika komponanto de la nukleotido, la fosfata grupo, deriviĝas de fosfata acido:



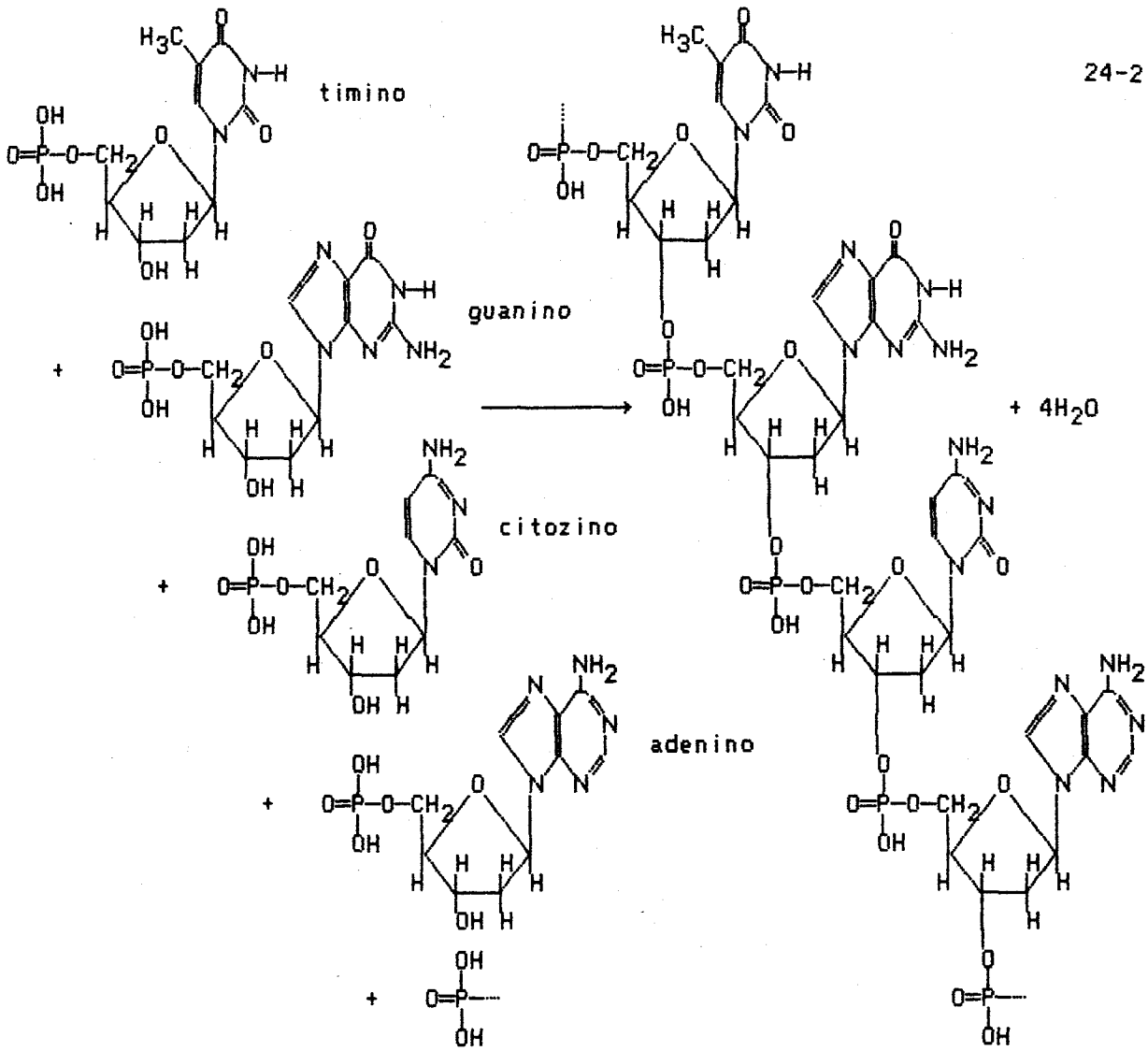
La formiĝo de nukleotidoj el ĉi tiuj tri tipoj de komponantoj montriĝas en reakcio 24-1. Rimarku ke akvo eliminiĝas dum la formiĝo de ligoj. La inversa reakcio, hidrolizo, generas la individuajn komponantojn; ĝi estas unu tipo de reakcio uzata por analizi la konsiston de nukleotidoj. Ĉar ribozo estas en la reakcio, la nukleotido formita en ekvacio 24-1 estas tiu kiu troviĝas en RNA. La bazo kaj la fosfato estas ĉiam alligataj al la pentozo ĉe la pozicioj montritaj en la reakcio.



24-1

24.3 STRUKTURO DE NUKLEA ACIDO

Nukleotidoj polimeriĝas, formante nukleajn acidojn per esteraj ligoj (Sekcio 18.7). Kaj la sukera kaj la fosfata restaĵoj de nukleotido havas OH-grupojn disponeblajn por tia reakcia procezo, montrita en reakcio 24-2 por sinsekvo de kvar nukleotidoj. La montrita polinukleotido entenas la sukeron desoksiribozo, kaj tial la ricevita segmento de nuklea acido venas el DNA.



24-2

nukle-acida ĉefĉeno

En polinukleotido aŭ nuklea acido, la ĉeno de alternaj fosfataj kaj sukeraj unuoj, el kiu elstaras diversaj heterociklaj bazoj, nomiĝas la nukle-acida ĉefĉeno.

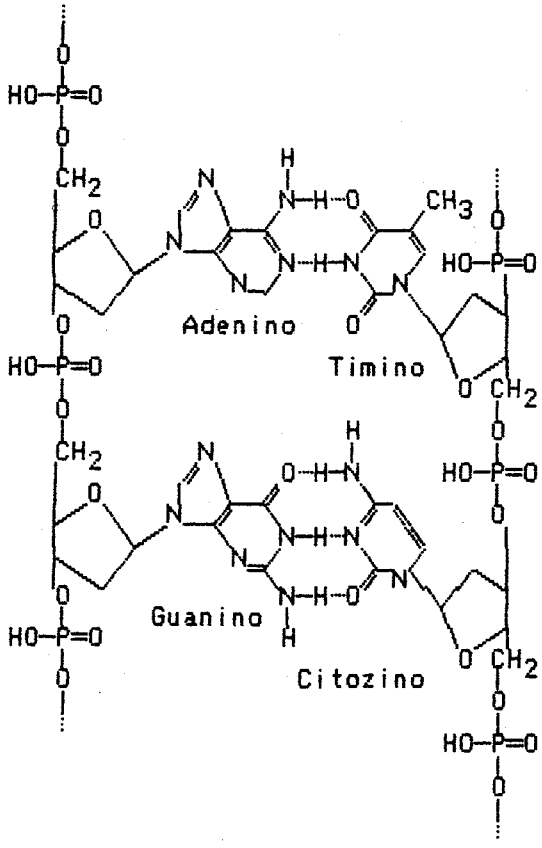
Pro tio, ke la ĉefĉena strukturo laŭlonge de la ĉeno ne varias, polinukleotida strukturo povas esti oportune mallongigita per tio, ke oni donas nur la sinsekvon de la bazoj laŭlonge de la ĉefĉeno. Ekzemple, TGCA prezentas la tetranukleotidon montritan en reakcio 24-2 en kiu la bazoj elstarantaj el la ĉefĉeno estas timino, guanino, citozino, kaj adenino.

Nukleaj acidoj ankaŭ havas certagrade kompleksajn tri-dimensiajn strukturojn simile al la strukturoj de proteinoj. La akceptitan DNA-strukturon proponis en 1953 usona biologo J.D. Watson /ŭatsen/ kaj angla sciencisto F.H.C. Crick /krik/, scienca kontribuaĵo kiu alportis al la eltrovintoj la

Nobel-premion pri medicino kaj fiziologio en 1962. Laŭ la propono de Watson kaj Crick, DNA ekzistas en la formo de du polinukleotidaj ĉenoj volvitaj ĉirkaŭ si en duopa helica strukturo. La unika trajto de ilia proponita strukturo estas la maniero per kiu la ĉenoj estas kuntenataj en la duopa helico. Watson kaj Crick teoriumis ke la DNA-strukturo stabiliĝas per hidrogenaj ligoj inter la bazoj etendiĝantaj internen el suker-fosfataj ĉefĉenoj (Bildo 24-5). La strukturoj de la bazoj estas tiaj, ke la adenino ĉiam ligiĝas al timino per du hidrogen-ligoj, kaj guanino ĉiam ligiĝas al citozino per tri hidrogen-ligoj. La du polinukleotidaj DNA-filamentoj, kuntenataj per ĉi tiuj komplementaj bazoparoj (adenino ligita al timino, kaj guanino ligita al citozino), havas tiel nomatajn komplementajn sinsekvojn (Bildo 24-6). La proponita pariĝo de la bazoj estas subtenita de DNA-analizoj, kiuj montras ke adenino kaj timino ĉiam troviĝas laŭ proporcio 1:1, kiel ankaŭ citozino kaj guanino.



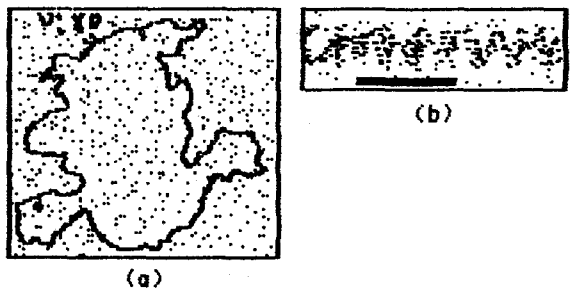
Bildo 24-5. La duopa helico de DNA



Bildo 24-6. Hidrogen-ligoj inter komplementaj bazoparoj

La moderna tekniko -- ĉefe la elektrona mikroskopo -- donis al ni rektan konfirmon de la strukturo proponita de Watson-Crick. Bildo 24-7(a) emfazas la grandecon de la DNA-molekulo. Ĉe pli alta pligrandigo (b),

ĝia helica strukturo iĝas klare videbla.



Bildo 24-7. Elektron-mikroskopaj fotoj de DNA:
(a) DNA de streptokoko, grandigita 19.175-oble
(b) parteto de DNA-helico; la streko indikas 5nm ($1nm=10^{-9}m$)

Kontraste al la duopa helico de DNA, molekuloj de RNA estas en la formo de unuopaj filamentoj. Sed iom da intramolekula (interna) pariĝado eblas en sekcioj kie la molekulo refaldiĝas sur sin. Tiel, partoj de la RNA-molekuloj povas ekzisti en la formo de duopa helico.

24.4 MEM-REPLIKIĜO DE DNA

Nukleaj acidoj respondas pri unu el la plej esencaj funkcioj de vivantaj organismoj, la stokado kaj transdono de hereda informo.

Kromosomo; geno

Homa ĉelo normale enhavas 46 filamentojn de DNA nomatajn kromosomoj. Iuj regionoj de la kromosomoj entenas koditajn informojn bezonatajn por la sintezo de specifaj proteinoj. Ĉi tiuj koditaj regionoj nomiĝas genoj.

La nombro da genoj en la struktura unuo de organismo varias laŭ la tipo de organismo. Ekzemple, viruso, la plej malgranda strukturo konata kiel portanto de genetika informo, supozeble enhavas de kelkaj ĝis kelkcent genojn. Bakteria ĉelo, kiel kojlobacilo, Escherichia coli (E. coli) (La "Esperanta Medicina Terminaro" uzas Eŝeriko, la esperanta formo de la supre donita latina nomo.) enhavas ĉirkaŭ 1000 genojn. Sed homa ĉelo enhavas milionon aŭ pli.

La duopa helica strukturo proponita por DNA liveras la unuan akcepteblan klarigon pri la mem-replikiĝo de DNA.

mem-replikiĝo

Mem-replikiĝo de DNA estas la procezo per kiu DNA estas kopiata, t.e. -- duplikatoj produktiĝas.

Mem-replikiĝo necesas por ke ĉiu tiel nomata "filina ĉelo" havu

Kompletan aron da genoj identan kun la aro en la patrina ĉelo.

La meĥanismo de replikiĝo koncernas la malvolviĝon de la duopa helico.

ŝablono

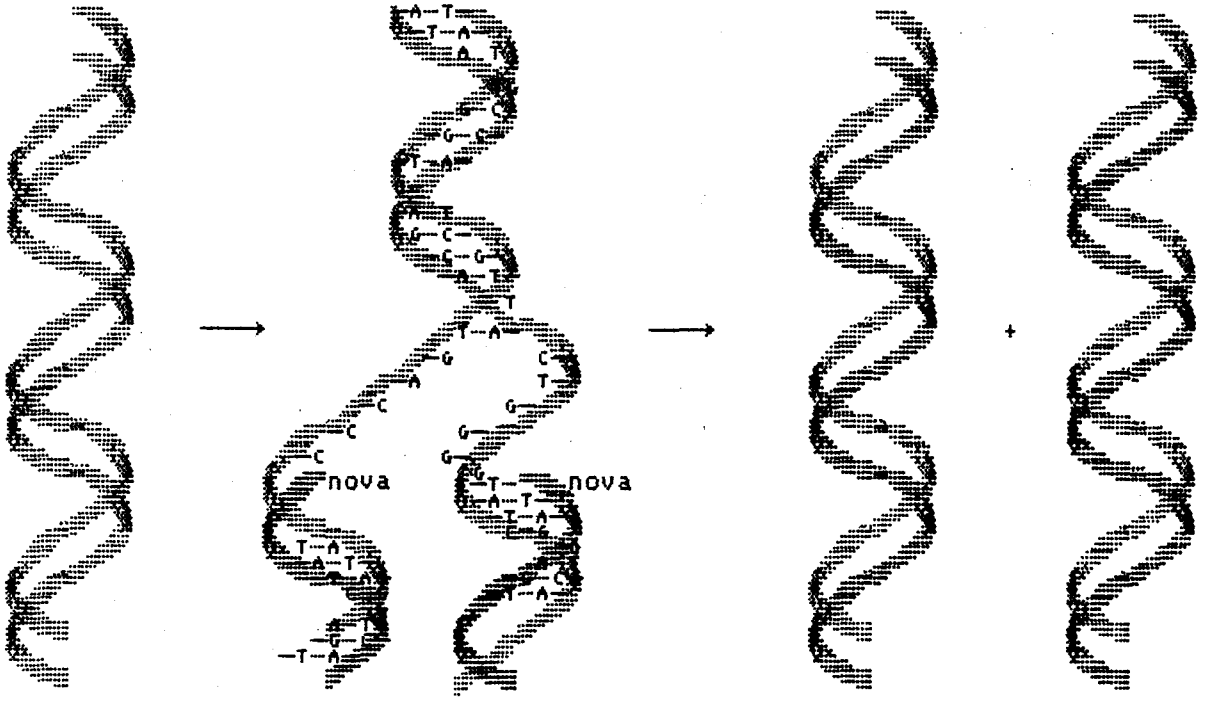
Ĉiu apartiĝinta filamento de la DNA servas kiel ŝablono, aŭ modelo, sur kiu komplementa filamento, identa kun la antaŭa partnero, povas esti konstruita.

Estas la pariĝaj ecoj de bazoj kiuj trudas al la nove formiĝinta komplementa filamento ke ĝi estu identa kun la antaŭa partnera filamento. Ĉi tiuj bazoj estas partoj de la nukleotidoj kiuj venas el la likva medio ĉirkaŭ la origina DNA en la ĉela nukleo.

nukleotida rezervujo

Tia fonto de nukleotidoj en ĉirkaŭa medio nomiĝas nukleotida rezervujo.

Ĉi tiu kontinua procezo daŭre konstruadas du duopajn helicojn de DNA (filinajn molekulojn) por ĉiu antaŭekzistinta duopa helico (Bildo 24-8). Mem-replikiĝo probable komenciĝas tuj kiam la helico ekmalvolviĝas, kaj probable ne finiĝas ĝis la malvolviĝo estas kompleta.



patrina DNA-molekulo | novaj filamentoj formiĝantaj apud apartaj filamentoj patrinaj | filinaj DNA-molekuloj

Bildo 24-8. Replikiĝo de DNA (novaj filamentoj estas malhelaj)

24.5 ROLO DE RNA EN LA SINTEZO DE PROTEINO

DNA ne ĉeestas en la centro de proteina sintezo, ĉar la plejparto de tiaj sintezoj okazas ekster la ĉela nukleo en regionoj de la ĉelo kiuj ne enhavas DNA. Tial la informo en DNA devas esti transdonita selektive al RNA, kiu portas la instrukciojn el la nukleo al la centroj de la proteina sintezo.

Tri tipoj de RNA estas konataj: ribosoma RNA (rRNA), mesaĝa RNA (mRNA), kaj transiga RNA (tRNA). La nomoj aligitaj al la tri tipoj de RNA indikas la probablajn funkciojn en protein-sintezo. Ĉiuj tipoj de RNA estas sintezitaj el ribonukleotidoj per la formiĝo de komplementaj filamentoj laŭ DNA-ŝablono.

Ribosoma RNA

ribosomo; ribosoma RNA (rRNA)
Ribosomoj, nukleoproteinaj eretoj en la citoplasmo de ĉeloj (Bildo 24-1), servas kiel centroj sur kiuj okazas la sintezo de proteinoj. Ribosoma RNA kaj proteino estas la ĉefaj komponantoj de ribosomoj.

La ribosoma RNA en ĉi tiuj eretoj reprezentas preskaŭ 60 procentojn de la tuta RNA enhavata en ĉeloj. Ribosoma RNA ne direktas aktive la sintezon de proteino, sed ŝajne stabiligas kelkajn el la molekuloj en la procezo.

Mesaĝa RNA

mesaĝa RNA (mRNA)
Molekuloj de mRNA portas la kodon, aŭ instrukciojn, por proteina sintezo el la DNA en ĉela nukleo eksteren al la ribosomoj.

Ĉi tiuj molekuloj de mRNA estiĝas en la nukleo kiam DNA-molekulo parte malvolviĝas kaj elmetas ĉenan segmenton kun bazo-unuoj kiuj signifas la specialan mesaĝon, aŭ kodon transdonotan. En ĉeesto de la enzimo RNA-polimerazo nukleotidoj el la nukleotida rezervujo formas komplementan ĉenon de mRNA per la parigo de taŭgaj bazaj unuoj kun tiuj de DNA. La mRNA tiam foriras el la DNA kaj difuziĝas for de la nukleo, por alligiĝi al unu aŭ pli da ribosomoj en preparo por la sekvanta paŝo en la sintezo de proteino.

poliribosomo (polisomo)
Enirante la ĉelan citoplasmon, molekulo de mRNA povas kroĉiĝi al pluraj de ribosomoj, tiel estigante kompleksaĵon nomatan poliribosomo, aŭ polisomo.

Ĉiu ligita ribosomo moviĝas laŭlonge de la mRNA-filamento unudirekte dum proteina sintezo. Oni opinias ke molekulo de mRNA uziĝas nur kelkfoje, antaŭ ol ĝi hidroliziĝas ree en nukleotidojn. Tia konduto eble ŝajnas malŝpara, sed ĝi permesas al ĉeloj produkti diversspecajn proteinojn post tre mallonga prepartempo.

Transiga RNA

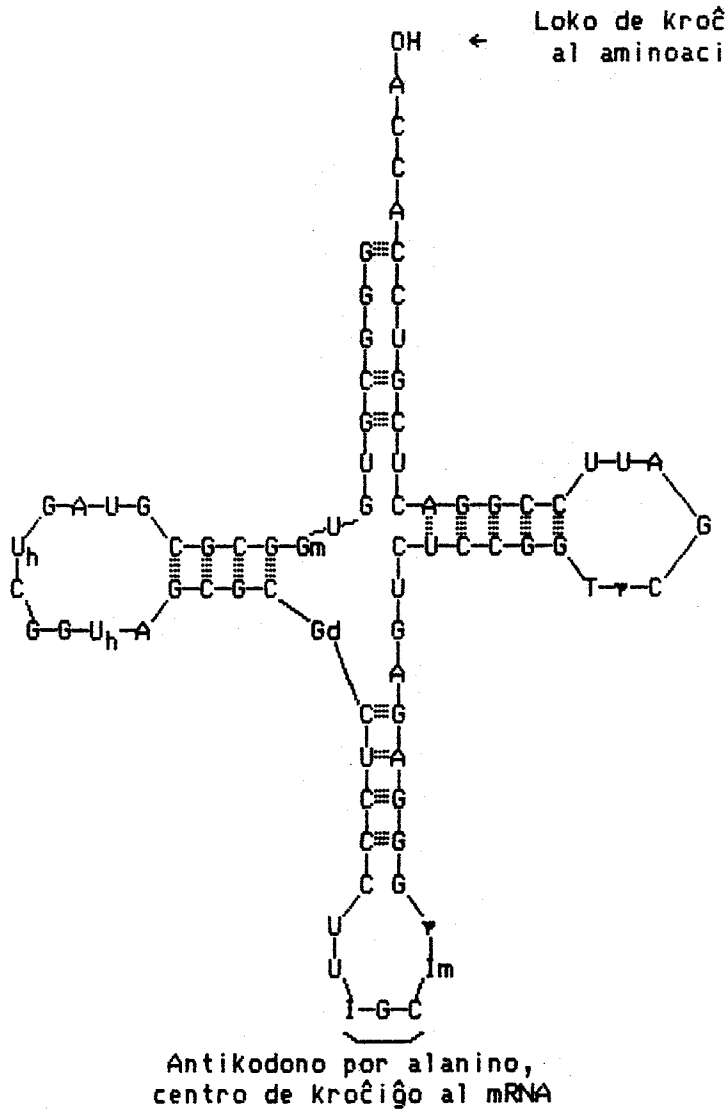
Transiga RNA produktiĝas per la formiĝo de komplementaj filamentoj laŭ DNA-ŝablono. Transigaj RNAoj entenas 75-90 nukleotidajn unuojn kaj havas molekulajn masojn de 23.000-30.000 amu. Tio estas multe malpli ol la molekulaj masoj de aliaj RNAoj.

transiga RNA (tRNA)

La ĉefa funkcio de transiga RNA estas liveri unuopajn aminoacidojn el rezervujo de aminoacidoj al la centro de protein-sintezo.

La aminoacidoj devas esti liverataj laŭ la sinsekvo postulata de la kodo de la mRNA. Ĉiu el la 20 aminoacidoj konataj en proteinoj havas unu aŭ pli da respondaj RNAoj. En 1965 oni deduktis la tutan bazosinsekvon de gist-alanina tRNA. Poste, oni determinis la bazosinsekvon de pluraj aliaj tRNA-molekuloj.

Du unikaj trajtoj de tRNA estas (1) karakteriza figuro kiu rezultas de bazopariĝo kaj (2) la ĉeesto de multaj neĉefaj bazoj, aldone al la normalaj adenino, uracilo, guanino, kaj citozino. La neĉefaj bazoj lokiĝas primare en la maŝoj kaj faldoj de la molekulo kaj ne partoprenas ajnan bazopariĝon. Ĉiuj tRNA-molekuloj havas CCA-bazosinsekvon ĉe la centro de aminoacida alkroĉiĝo (Bildo 24-9).



Bildo 24-9. La sinsekvo de bazoj en alanina tRNA (A, G, U, kaj C estas la ĉefaj bazoj; ψ, T, U_h, Gm, Gd, I, kaj Im estas la neĉefaj bazoj)

antikodono

La antikodono de tRNA estas specifa sinsekvo de nukleotidoj entenanta tri bazojn. Ili kapablas formi hidrogenajn ligojn kun komplementa sinsekvo de bazoj (kodono) sur mRNA-molekulo.

Antaŭ ol aminoacido povas esti transportata, ĝi devas formi ligon kun la tRNA. La alkroĉiĝo okazas ĉe la CCA-finaĵo de tRNA, kie estera ligo formiĝas inter la karboksilo de la aminoacido kaj hidroksilo de la finloka nukleotido de la tRNA.

24.6 LA GENETIKA KODO

Proteinoj plenumas multajn malsamajn biologiajn funkciojn. Ili estas la

fundamentaj unuoj de tiel diversaj strukturoj kiel haroj, muskoloj kaj enzimoj. Proteinoj nepras por preskaŭ ĉiuj korpaj funkcioj; cetere, ili havas grandan specifecon. La sekreto de tia specifeco kuŝas en la maniero per kiu aminoacidoj kunligiĝas por formi specifan sinsekvon en polipeptido.

La sinsekvo de bazoj en la DNA-molekulo enhavas la genetikan informon necesan por ordoni la sintezon de ĉiuj proteinoj. La genetika kodo esprimas tiun sinsekvon.

genetika kodo; kodono

La genetika kodo estas aro da 3-literaj "kodaj vortoj" (kodonoj) kiuj specifas la diversajn aminoacidojn de proteinoj.

La literoj de la genetika kodo respondas al la bazoj laŭlonge de la grandega DNA-molekulo. La mamuta varieco de bazo-sinsekvoj en DNA provizas preskaŭ senliman sistemon por la stokiĝo de informoj. Oni taksas ke ordinara homa ĉelo enhavas sufiĉan informon por plenigi 20.000 plenformatajn librojn.

Ĉar nur 4 bazoj (ACGT) ekzistas en DNA, ĉiuj vortoj de la genetika kodo devas esti esprimitaj per kombinoj de nur 4 literoj. Almenaŭ 20 "vortoj" estas bezonataj por esprimi unike ĉiun el la 20 aminoacidoj trovataj en proteinoj. Por havi 20 vortojn por la kodo, ĉiu aminoacido bezonus vorton enhavantan ne malpli ol 3 literojn. (Se la vortoj konsistus el unusola litero, nur 4 aminoacidoj povus esti unike esprimataj. La uzo de 2-literaj vortoj permesus 4^2, aŭ nur 16 unikajn vortojn. La uzo de 3-literaj vortoj permesus 4^3, aŭ 64 unikajn vortojn, kiuj estas pli ol sufiĉaj.) Tabelo 24-1 donas la 3-literajn kodajn vortojn (kodonojn) por mRNA. Rememoru: en RNA, uracilo (U) anstataŭas la timinon (T) de DNA.

Tabelo 24-1. Kodonoj por mRNA

Aminoacido	Kodonoj
alanino	GCA, GCC, GCG, GCU
arginino	AGA, AGG, CGA, CGC, CGG, CGU
asparagino	AAC, AAU
asparta acido	GAC, GAU
cisteino	UGC, UGU
fenilalanino	UUC, UUU
glicino	GGA, GGC, GGG, GGU
glutama acido	GAA, GAG
glutamino	CAA, CAG
histidino	CAC, CAU
izoleŭcino	AUA, AUC, AUU
leŭcino	CUA, CUC, CUG, CUU, UUA, UUG
lizino	AAA, AAG
metionino	AUG
prolino	CCA, CCC, CCG, CCU
serino	UCA, UCC, UCG, UCU, AGC, AGU
tirozino	UAC, UAU
treonino	ACA, ACC, ACG, ACU
triptofano	UGG
valino	GUA, GUC, GUG, GUU

Oni deĉifris la genetikan kodon per aldono de artaj mRNAoj al ĉelaj ekstraktoj, kaj la posta determinado de la strukturo de iu ajn nove sintezita proteino. En klasika eksperimento de tia tipo, raportita en 1961, usona biokemiisto M. Nirenberg uzis la artefaritan mesaĝan poliuridilan acidon, kiu entenas la ripetan bazosinsekvon UUU. Li izolis la nove formitan proteinon kaj identigis ĝin kiel polifenilalaninon. Tio implicis ke la mRNA-kodono por fenilalanino estas UUU (Tabelo 24-1).

Pluraj interesaj faktoj pri la genetika kodo estis el trovitaj. Unu el tiaj faktoj estas videbla en Tabelo 24-1.

Koda degenereco (ambigueco)

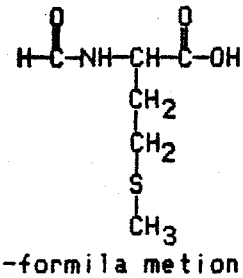
La plejparton de la aminoacidoj reprezentas pli ol unu kodono, kondiĉo konata kiel koda "degenereco".

Ĉi tiu termino ne necese implicas ĥaoson aŭ konfuzon, ĉar ankaŭ videblas en Tabelo 24-1 ke neniu kodono reprezentas pli ol unu aminoacidon.

Ankaŭ la genetika kodo estas nesurkuniĝa, kio signifas ke la bazoj de najbaraj kodonoj de RNA ne funkcias en ambaŭ kodonoj. Tiel, bazosinsekvo de GCAAUG, kiu reprezentas alaninon (GCA) kaj metioninon (AUG), ne povas ankaŭ reprezenti glutaminon (CAA) aŭ asparaginon (AAU). Interese, la genetika kodo estas sen-koma; tio estas, neniu interpunkcia signalo estas deviga por indiki la finon de unu kodono kaj la komencon de la sekvanta

kodono en la sinsekvo.

Oni nun scias ke en kojlobacilo (E. coli) kaj eble en ĉiuj specioj de la vivo, sintezo de proteino komenciĝas per la kodono AUG. Uzata tiamaniere por startigi polipeptidan ĉenon, AUG esprimas N-formilmetioninon, kiu iĝas la N-finloka aminoacido de la rezultanta proteino. La strukturo de N-formilmetionino, kun la N-formil-grupo en dikaj literoj estas jena:



N-formila metionino

La N-formila grupo blokas la amino-grupon de la metionino tiel ke la kresko de la ĉeno povas partoprenigi nur la karboksilon, kaj tial povas okazi en ununura direkto. Enzima disfendo deprenas la tutan N-formilmetioninon disde la finpreta proteino.

sensignifa kodono

Tri el la 64 genetikaj kod-vortoj (UAG, UAA, UGA) ne reprezentas iun ajn sciatan aminoacidon; tial oni nomis ilin sensignifaj kodonoj.

Nun oni scias ke ili estas halt-signaloj, kiuj haltigas la sintezon de proteinoj kaj tiel ĉesigas la kreskon de proteinaj ĉenoj.

Oni jam montris ke la kodonoj enlistigitaj en Tabelo 24-1 estas idente samaj en homoj, kojlobaciloj, kobajoj kaj tabak-plantoj. Ege probablas, ke la aminoacidaj kodonoj estas la samaj por ĉiuj vivantaj specioj. Tabelo 24-2 estas resumo de la ĝeneralaj trajtoj de la genetika kodo.

Tabelo 24-2. Ĝeneralaj trajtoj de la genetika kodo

Trajto	Ekzemplo
Kodonoj estas tri-literaj vortoj.	GCA = alanino
La kodo estas degenera	GCA, GCC, GCG, GCU ĉiuj esprimas alaninon
La kodo estas nesurkuniĝa, kaj bezonas neniun interpunkcion	GCACUA = alanino, leŭcino, sed ne treonino (ACU)
Starto de ĉeno estas kodita	AUG = N-formilmetionino kiam uzata kiel unua kodono de sinsekvo
Finiĝo de ĉeno estas kodita	UAA, UAG kaj UGA = sensignifaj kodonoj
La kodo estas universala	GCA = alanino, eble en ĉiuj organismoj

24.7 SINTEZO DE PROTEINOJ

La homa korpo posedas mirindan kapablon por proteina sintezo. Ĉiuj proteinoj en la korpo estas en stato de dinamika ekvilibro, en kiu ili estas daŭre hidrolizataj kaj poste re-sintezataj. Ĉi tiu procezo ne nur permesas al la korpo ripari la difektitajn proteinojn, sed ankaŭ ebligas rapidan respondon al ŝanĝiĝantaj bezonoj por specifaj enzimoj aŭ aliaj proteinoj. Sintezo de proteino okazas tre rapide, precipe kiam oni konsideras la kompleksecon de la sintezitaj molekuloj. Oni demonstris la rapidecon de la procezo per injekto de radioaktivaj aminoacidoj en bestojn; post nur kelkaj minutoj oni izolis radioaktivajn proteinojn el tiuj bestoj.

Oni priskribas proteinan formiĝon kiel du-paŝan procezon: transskribo kaj traduko.

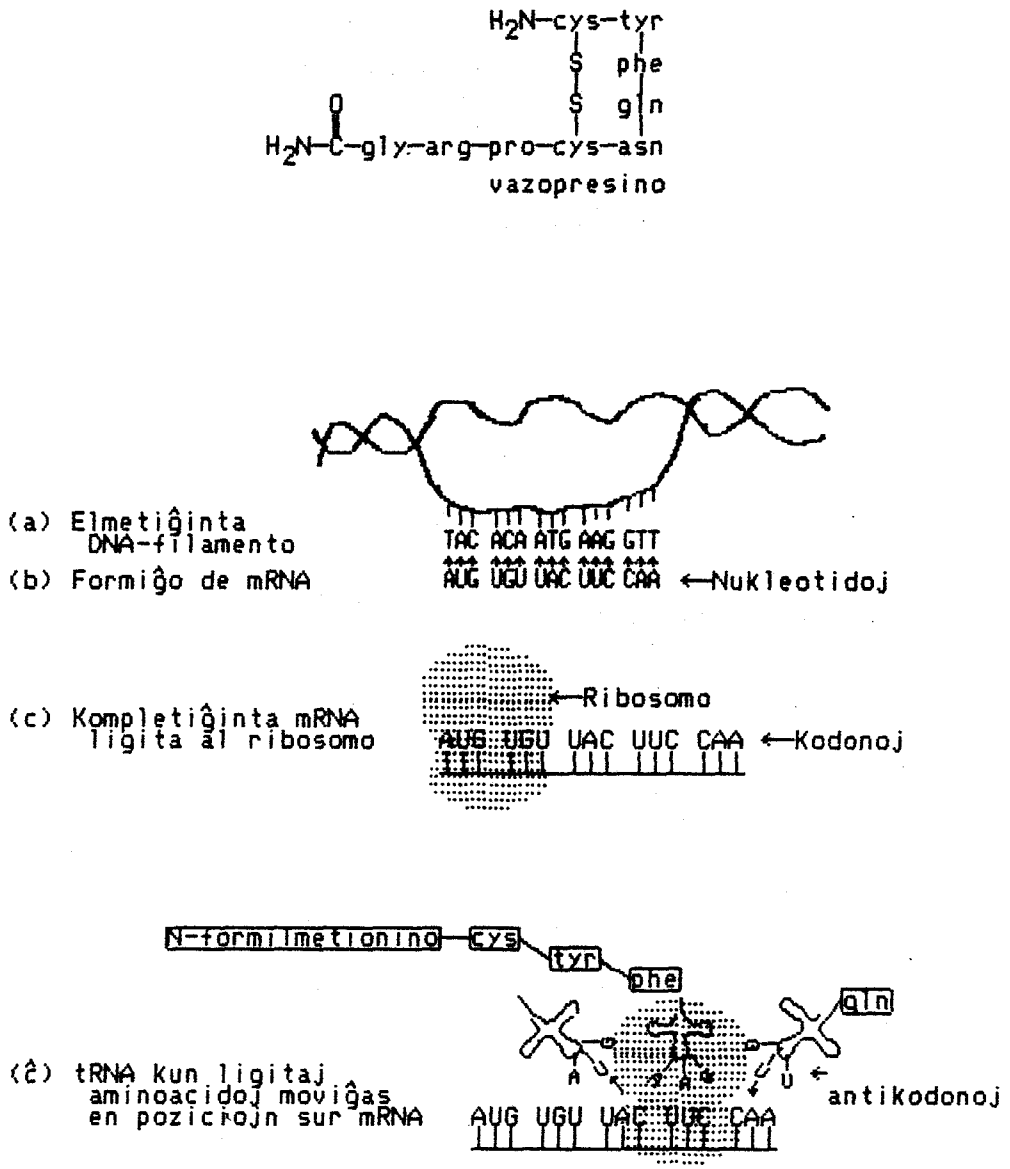
transskribo

Transskribo aludas la fluon de genetikaj informoj de la DNA al la mRNA.

traduko

Traduko de la genetika kodo sur mRNA okazas kiam la ĝustaj aminoacidoj muntiĝas en proteinon.

Por helpi al vi videbligi la formiĝon de proteino kaj la paŝojn de transskribo kaj traduko, ni konsideru parton de la ĉeno komponanta la etan peptidon nomatan vazopresino.

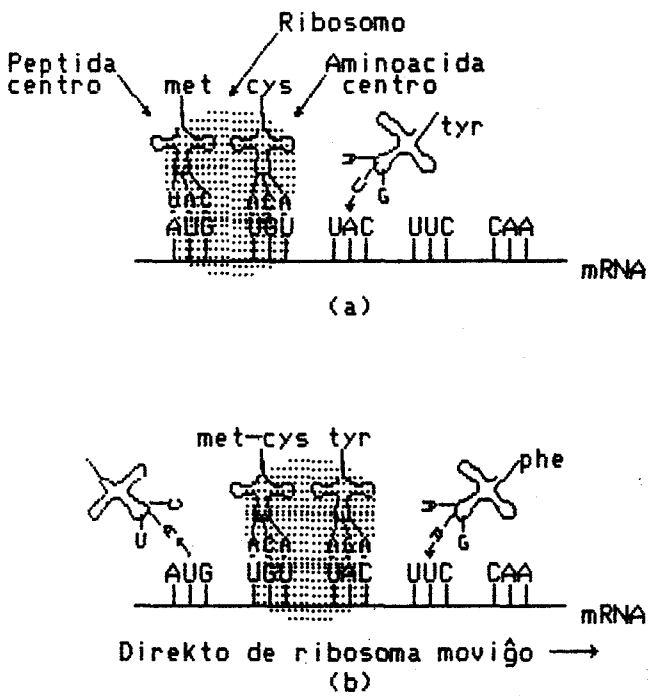


Bildo 24-10. Sintezo de vazopresino

Bildo 24-10 montras la procezon por la unuaj el ĉi tiuj aminoacidoj, komence kun cisteino (cys). EKe, segmento de la duopa helico de DNA malvolviĝas, elmetante la sinsekvon de bazoj reprezentantaj la genon de vazopresino (Bildo 24-10(a)). Tiam nukleotidoj el la nukleotida rezervujo moviĝas en la ĝustan sinsekvon, kiel determinite per la eblecoj por bazopariĝo kun la elemetita DNA-filamento (Bildo 24-10(b)). Post tio, la nukleotidoj interligiĝas kaj la mRNA kompletiĝas (transskribo de la kodo). La mRNA (enhavanta la kodojn por N-formilmetionino -- la startiganto por ĉenoj -- kaj por cisteino, tirozino, fenilalanino, glutamino, ktp.) moviĝas el la nukleo kaj en la citoplasmon, kie ĝi ligiĝas al unu aŭ pli da ribosomoj (Bildo 24-11 kaj 24-10(c)). Tiam transigaj RNA-molekuloj, ligitaj al la konvenaj aminoacidoj, moviĝas en poziciojn sur la mRNA (Bildo 24-10(ĉ)).

La eblecoj por bazopariĝo inter la tRNA-antikodonoj kaj la mRNA-kodonoj determinas (tradukas la kodon) la sinsekvon de la aminoacidoj. La aminoacidoj reakcias inter si, formante peptidajn ligojn. Fine, post kompletiĝo de la peptidoj, sensignifa kodono ĉesigas la ĉenon. La ĉen-startiga N-formilmetionino fendiĝas kaj la ĉeno, havanta la primaran strukturon de vazopresino, moviĝas for de la tRNA. Post tiu malligiĝo, la peptido ekhavas siajn karakterizajn sekundaran kaj terciaran formojn.

Ribosomoj posedas du tipojn de centroj al kiuj tRNA-molekuloj ligiĝas (Bildo 24-11(a)).



Bildo 24-11. Ribosoma konduto dum proteina sintezo

aminoacida centro

La unua ribosoma centro, la aminoacida centro, ricevas kaj lokas la tRNA-on kiam ĝi alvenas, trenante sian aminoacidon.

peptida centro

La dua ribosoma centro, la peptida centro, tenas unu tRNA-on dum ĝia aminoacido aŭ kreskanta peptida ĉeno reakcias, formante peptidan ligon kun la aminoacido sur la tRNA ligita al la centro por aminoacido.

Dum la proteina sintezo, ribosomoj iras laŭlonge de la mRNA (Bildo 24-11(b)). Tiu moviĝo kaŭzas ke la tRNA molekuloj sinsekve okupas la centron por aminoacido, poste la centron por peptidoj kaj fine malligiĝas de la ribosomo.

EKZERCOJ

Tipoj de Nukleaj Acidoj

1. Priskribu la rilaton de nukleotidoj al nukleaj acidoj.
2. Kie troviĝas RNA kaj DNA en la ĉelo?

Nukleotidoj

3. Desegnu la strukturon de nukleotido el DNA entenanta la bazon timinon.
4. Desegnu la strukturon de nukleotido el RNA entenanta la bazon uracilon.

Strukturo de Nuklea Acido

5. Desegnu strukturan formulon por segmento de DNA entenanta la bazojn citozinon kaj timinon.
6. Klarigu la signifon de nukleacida ĉefĉeno.
7. Priskribu la modelon de Watson kaj Crick por DNA.
8. Uzante la koncepton de pariĝo de komplementaj bazoj, skribu komplementajn nukle-acidajn filamentojn por ĉiu el la sekvantaj filamentoj.

   a) TATGCA b) TTACCG

DNA-Replikiĝo

9. Difinu mem-replikiĝon.
10. La bazosinsekvo CTTAAG esprimas unuopan filamenton de parto de la DNA-molekulo. Skribu la kompletan parton de la filamento, kaj uzu ĉi tiun por reprezenti la replikiĝon de DNA. Certiĝu ke vi identigu la nukleotidojn, novajn filamentojn, kaj filinajn DNA-molekulojn.

RNAoj

11. Parigu la sekvantajn priskribojn al la ĝusta tipo de ĉela RNA:

    a) estas la RNA kun la plej malgranda molekulmaso
    b) verŝajne stabiligas molekulojn kiuj partoprenas la sintezon de proteino
    c) komponas la plejparton da RNA en ĉelo
    ĉ) liveras aminoacidojn al la centro de protein-sintezo
    d) entenas la kodonojn de aminoacido
    e) entenas la antikodonojn de aminoacido

La Genetika Kodo

12. Kiuj el jenaj asertoj pri la genetika kodo estas malveraj? Korektu ĉiun malveran aserton.

    a) Ĉiu kodono konsistas el kvar literoj.
    b) Iujn aminoacidojn reprezentas pli ol unu kodono.
    c) La genetika kodo enhavas la egalvaloron de kodono.
    ĉ) Ĉiuj kodonoj reprezentas aminoacidon.
    d) Oni opinias ke ĉiu vivantaĵo havas sian propran unikan genetikan kodon.
    e) La kodonoj ne surkuniĝas.

f) Proteina sintezo komenciĝas ĉe la C-finloka aminoacido.
g) Oni ne scias ĉu aŭ ĉu ne la kodo enhavas halt-signalojn por proteina sintezo.
ĝ) La sinsekvo ~~AAA~~CCA reprezentas kodonojn por iu ajn el la sekvantaj aminoacidoj: lizino, asparagino, treonino, aŭ prolino.
h) Oni opinias ke la kodono AUG ĉe la komenco de sinsekvo havas malsaman signifon ol AUG aliloke en sinsekvo.

Proteina Sintezo

13. Priskribu kun iuj specifaj kodonoj la sintezon de la tetrapeptido gly-leu-pro-cys. Estu certa ke vi enkalkulas jenajn procezojn: formiĝon de mRNA, alligiĝon de mRNA al ribosomo, liveron de aminoacidoj al la centro de sintezo, la funkcion de la aminoacida centro kaj la peptida centro de la ribosomo.

25 BIOKEMIA ENERGIO KAJ METABOLO

CELOJ

25.1 Kontrastigi bruligon de hejtaĵoj kaj regatan oksidiĝon de ĉela brulaĵo.

25.2 Priskribi la ŝtupojn de oksidiĝa produktiĝo de energio.

25.3 Montri ke vi komprenas la uzon de ATF por energia stokado.

25.4 Difini metabolon, anabolon, kaj katabolon.

25.5 Priskribi la gravecon de sakarida metabolo.

25.6 Diskuti pri biologia graveco de la nivelo de sanga glukozo.

25.7 Klarigi kiel la korpo reguligas la nivelojn de sangosukero. Priskribi la rezultojn de glukoza tolereca testo.

25.8 Enlistigi la ĉefajn fazojn de glukoza katabolo.

25.9 Priskribi la procezon de glikolizo.

25.10 Priskribi la gravecon de la ciklo de Krebs.

25.11 Montri ke vi komprenas la elektron-transportan ĉenon.

25.12 Priskribi la procezojn de lipida metabolo.

25.13 Diskuti la signifon de ketonaj korpoj.

25.14 Priskribi la gravecon de aminoacida metabolo.

Unu okulfrapa trajto de vivaj organismoj estas la povo eltiri energion el la ĉirkaŭaĵo kaj ŝanĝi ĝin en diversajn formojn bezonatajn por konstrui kaj subtenadi vivan histon. Ekzemple, inter la energiaj bezonoj de la homa korpo estas jenaj: (1) varmo por subtenadi korpan temperaturon; (2) meĥanika energio por muskola kuntiriĝo; (3) elektra energio por uzo en transsendo de nervaj impulsoj; (4) kemia energio por plenumi la sintezon de ĉelaj komponantoj. En ĉi tiu ĉapitro ni konsideras kelkajn el la procezoj per kiuj plenumiĝas tiel diferencaj energiaj bezonoj.

25.1 UTILIĜO DE ENERGIO EN VIVAJ SISTEMOJ

La sakaridoj, lipidoj, kaj proteinoj en manĝaĵo estas la brulaĵoj kaj hejtaĵoj de vivantaj sistemoj. Ĉi tiuj grandaj, kompleksaj molekuloj estas kemie ŝanĝitaj dum digestiĝo en relative etajn, simplajn molekulojn. La pli malgrandaj molekuloj (grasacidoj, glicerolo, sukeroj, kaj aminoacidoj) estas sorbitaj en la korpon kie ili estas uzataj kiel energifontoj kaj konstruaj materialoj. Grasa kaj glikogena provizoj en la korpo, same kiel histaj proteinoj, estas ankaŭ utiligataj en la produktiĝo de energio.

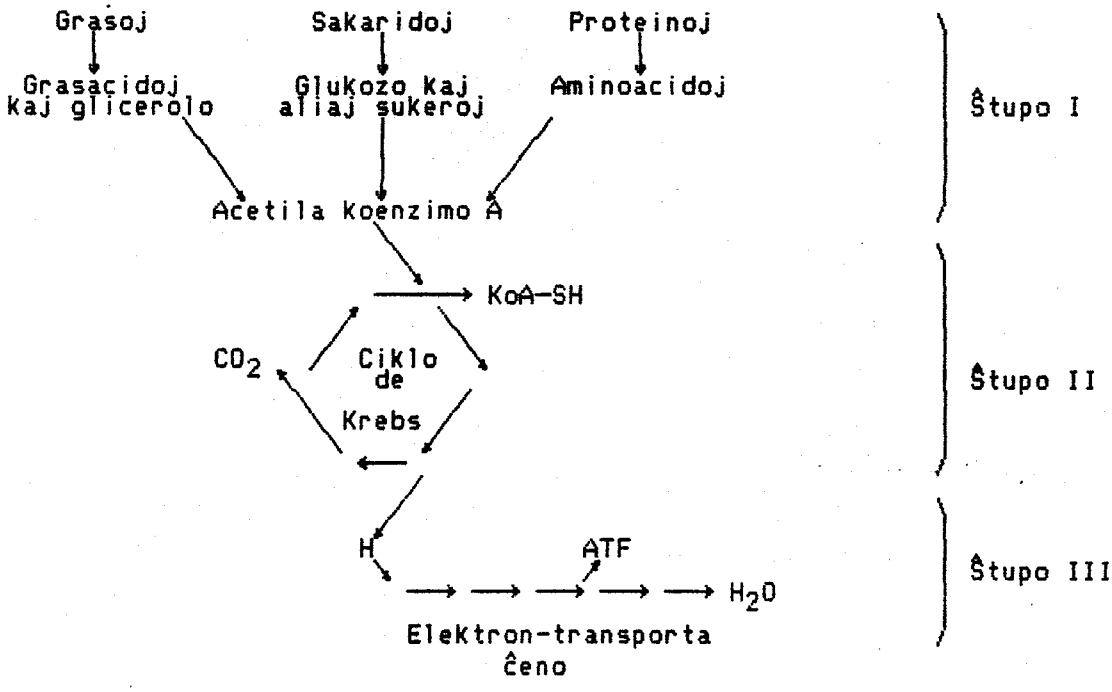
Komparo de la bruligo de ligno en libera flamo kun metabolo (brulado) de sakaridoj de manĝaĵo per vivanta organismo helpos gajni perspektivon de energi-ŝanĝaj procezoj en biokemiaj sistemoj. Ambaŭ procezoj sekvas la saman resuman ekvacion:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + 686\ \text{kkal}\ (2867\ \text{kĵuloj}) \qquad 25\text{-}1$$

Dum la bruligo de ligno, la 686 kkal da energio rapide liberiĝas en la formo de varmo. Oni povas konsideri ĉi tiun brul-procedon neregita ellaso de energio. Kontraste, la ĉela oksidiĝo de sakaridoj okazas laŭ popaŝa maniero. Ĉe specifaj paŝoj en la serio de reakcioj, iomete da energio liberiĝas kaj estas stokita (kiel kemia energio) de aliaj molekuloj per ligo-formiĝo. Kiam taŭgas, la ligoj estas rompitaj kaj la energio iĝas disponebla en konvenaj kvantoj kie ĝi estas bezonata. Ĉeloj konsistas el relative rompiĝemaj kaj nestabilaj molekuloj, kiuj estus detruitaj aŭ grave difektitaj per la altaj temperaturoj de neregata bruligo.

25.2 SUPERRIGARDO DE ENERGIA PRODUKTIĜO

La dekoj da biologiaj oksidiĝaj reakcioj, kiuj kuntrenas energian produktiĝon, povas esti arigitaj en tri ŝtupojn (Bildo 25-1).



Bildo 25-1. La tri ŝtupoj de oksidiĝa energia produktiĝo

acetila koenzimo A

En la unua ŝtupo de energia produktiĝo, sakaridoj, grasoj, kaj proteinoj estas enzime rompitaj en pli simplan unuon, acetilan koenzimon A (KoA; ofte mallongigita kiel CoA).

Do, ĉi tiuj tri reliefe malsamaj brulaĵoj estas reduktitaj al ia "komuna divizoro". En la dua ŝtupo, la ciklo de Krebs (citr-acida ciklo), alia aro da enzimoj oksidigas karbonon en karbonan dioksidon, kun la ellaso de hidrogeno al molekuloj-portantoj. Tiam la hidrogeno estas transdonita al la tria ŝtupo, la elektron-transporta ĉeno. En la elektron-transporta ĉeno, *mult-enzima sinsekvo igas hidrogenon kombiniĝi kun oksigeno, formante* akvon, la duan produkton de biologia oksidiĝo.

adenozina trifosfato (ATF)

La energio ellasita dum oksidiĝo estas stokata en la kemiaj ligoj de speciala energi-tena kombinaĵo, adenozina trifosfato (ATF).

En la formo de ATF-molekuloj, la energio povas esti oportune liverita al la ĉeloj kie ĝi uziĝos.

La reakcioj de la ciklo de Krebs kaj la elektron-transporta ĉeno okazas proksime unu al la alia en ĉelaj strukturoj nomataj mitoĥondrioj (vidu Bildon 24-1).

mitoĥondrioj

Mitoĥondrioj estas la ĉefaj centroj por ATF-sintezo en la ĉelo. Pro tio, oni ofte nomas ilin ĉelaj "centraloj".

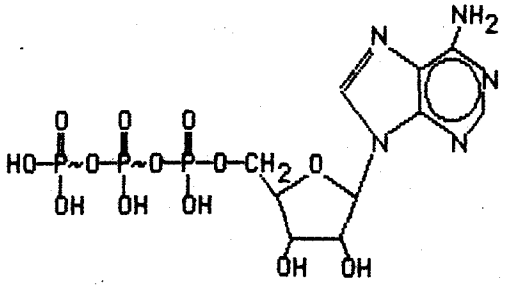
Depende de funkcio, tipa ĉelo povas enhavi 50 ĝis 50.000 mitoĥondriojn.

25.3 ENERGIA STOKIĜO EN ATF

alt-energia fosfata ligo

La stokata energio de ATF estas tenata ĉefe en du tiel nomataj alt-energiaj fosfataj ligoj, indikitaj per ~ en Bildo 25-2.
La stokata energio estas ellasita kiam la ATF-fosfataj ligoj estas hidrolizitaj, formante ADF kaj fine AMF (reakcioj 25-2 kaj 25-3). La rilato de ATF al ADF kaj AMF estas montrita en Bildo 25-3.

$$ATF + H_2O \longrightarrow ADF + \underset{\substack{\text{neorganika}\\\text{fosfato}\\(F_n)}}{H_3PO_4} + \underset{(30.500\ \text{ĵuloj})}{7300\ \text{kalorioj}} \qquad 25\text{-}2$$



Bildo 25-2. La strukturo de ATF

$$ADF + H_2O \longrightarrow AMF + \underset{\substack{\text{neorganika}\\\text{fosfato}\\(F_n)}}{H_3PO_4} + 7300\ \text{kalorioj} \qquad 25\text{-}3$$

ATF-molekulo estas analoga al plen-ŝargita pilo. Ambaŭkaze, kemiaj reakcioj okazas kiam energio liberiĝas.

adenozina difosfato (ADF)

Kiam ATF-molekulo "malŝargiĝas", fin-loka fosfata grupo perdiĝas, kaj la ATF iĝas adenozina difosfato.

Por "re-ŝargi" la sistemon, energio devas esti provizita por formi novan ATF el la ADF. Bildo 25-4 emfazas la centran rolon de ATF en ĉi tiu energia ciklo.

25.4 METABOLO

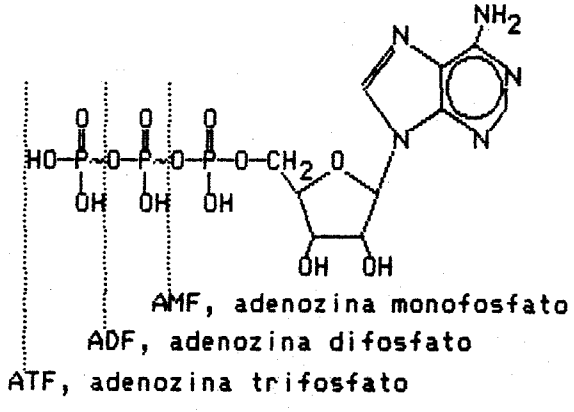
metabolo

Metabolo estas la tuto de ĉiuj reakcioj kiuj okazas en vivaj ĉeloj. La plejparto de tiaj reakcioj estas enzime katalizitaj.

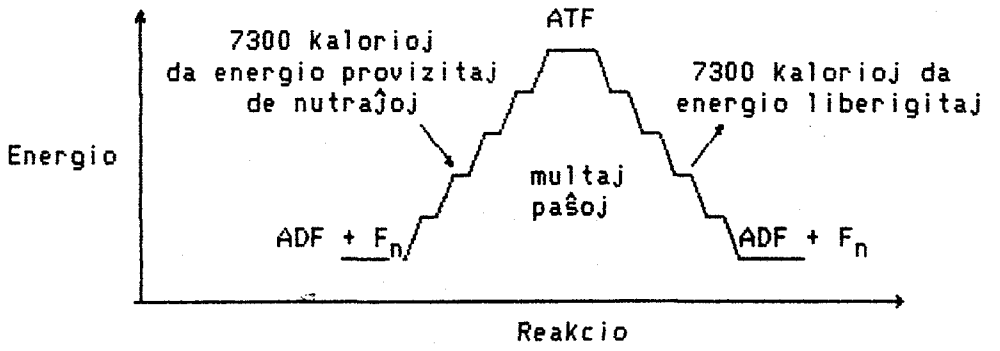
Metabolo estas la kombino de du procezoj, katabolo kaj anabolo, kiuj ambaŭ konsistas el multaj kemiaj reakcioj.

Katabolo

Katabolo estas disiĝa procezo en kiu sorbitaj digestaj produktoj estas disrompitaj por provizi la ĉelojn per energio en la formo de ATF (Bildo 25-5). (Malkombino de histaj proteinoj al aminoacidoj ankaŭ apartenas al katabolo, kvankam tiaokaze neniu ATF produktiĝas.)



Bildo 25-3. La strukturo de ATF, ADF, kaj AMF



Bildo 25-4. La energia ciklo de ĉeloj

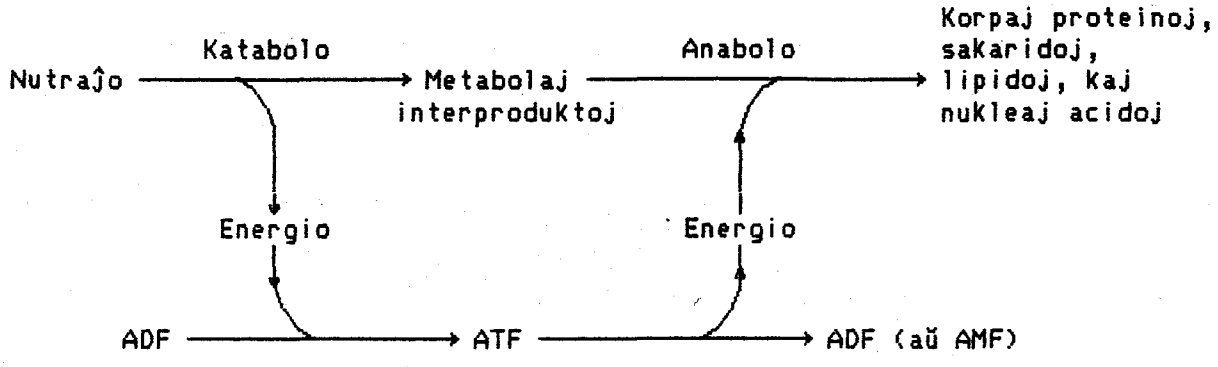
anabolo (biosintezo)

Anabolo uzas ĉi tiun haveblan energion por la sintezo de novaj ĉelaj komponantoj. Sekve, oni ankaŭ nomas anabolon biosintezo.

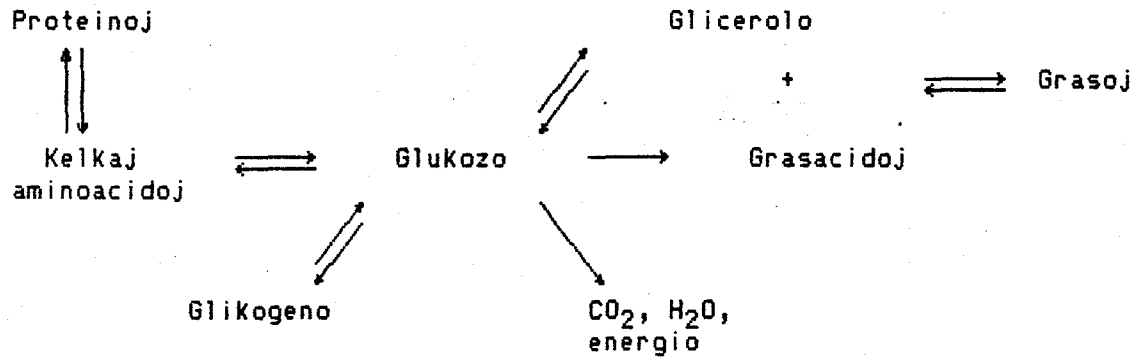
La procezoj de katabolo kaj anabolo estas identaj en la plejparto da vivantaĵoj. Ambaŭ procezoj ilustras la principon de maksimuma ekonomio, kio estas komuna en vivantaj organismoj. La rapido de katabolo estas ĝenerale regata, ne per la haveblo de brulaĵo, sed anstataŭe per la momenta bezono de ATF. Tiel do, brulaĵoj estas oksidigitaj en ĉeloj precize tiom rapide kiel necese por la energi-provizado. Simile, la biosintezo de ĉelaj komponantoj okazas precize tiom rapide kiel necese por la momentaj ĉelaj bezonoj. Ekzemple, aminoacidoj sintezĝas en kreskantaj ĉeloj je rapido kiu egalas la rapidon je kiu ili enkorpiĝas en novajn proteinojn. Neniuj superfluoj de aminoacidoj amasiĝas.

25.5 SAKARIDA METABOLO

Sakarida metabolo treege gravas. Ĝi servas kiel fonto de energio, kaj ĝi disponigas karbonajn ĉenojn kiuj bezoniĝas por la sintezo de aliaj molekuloj. Ekzemple, diversaj metabolaj reakcioj ŝanĝas glukozon en glikogenon, grasojn, kaj la interproduktojn uzatajn por la sintezo de aminoacidoj kaj proteinoj (Bildo 25-6).



Bildo 25-5. La transiĝo de biokemia energio dum katabolo kaj anabolo



Bildo 25-6. Produktoj de glukoza metabolo

25.6 SANGOSUKERA NIVELO

La monosakaridoj glukozo, fruktozo, kaj galaktozo estas la finproduktoj de sakarida digestiĝo. Ĉi tiuj simplaj sukeroj estas sorbitaj en la sangon kaj portitaj al la hepato. En la hepato, fruktozo kaj galaktozo estas aŭ ŝanĝitaj en glukozon aŭ metabole transformitaj per reakcioj similaj al tiuj en kiuj glukozo partoprenas. Tial, sakarida metabolo estas esence la metabolo de glukozo.

La ĝusta funkciado de la korpo estas tre dependa de la koncentreco de glukozo en la sango. Ĉi tiu sukero ĉiam ĉeestas en la sango, kaj kiam ĝia nivelo falas sub la normalan fastan nivelon (70 - 90 mg je 100 ml), la glikogeno stokita en la hepato estas ŝanĝita al glukozo-1-fosfato, kiu estas hidrolizita al glukozo kaj fosfato. Glukozo tiel formita transiras el la hepato en la sangon. Dum pena ekzercado, per kiu sanga glukozo eluziĝas pli rapide ol ĝi povas esti reprovizata el hepata glikogeno, sangoglukozaj niveloj povas efemere fali sub la normalan fastan nivelon.

hipoglikemio

Ĉi tiu stato de malalta koncentreco de sangosukero, nomata hipoglikemio, karakteriziĝas en ekstremaj kazoj per ĝenerala malforteco, tremado, abunda transspiro, rapida kor-bato, blankiĝo de la haŭto, kaj perdo de konscio.

Konscio estas perdita ĉar la cerbo estas senigita je sia ĉefa energia fonto, glukozo. Pro similaj simptomoj, oni foje konfuzas hipoglikemion kun tiaj aliaj statoj, kiel ebrieco aŭ epilepsio.

hiperglikemio

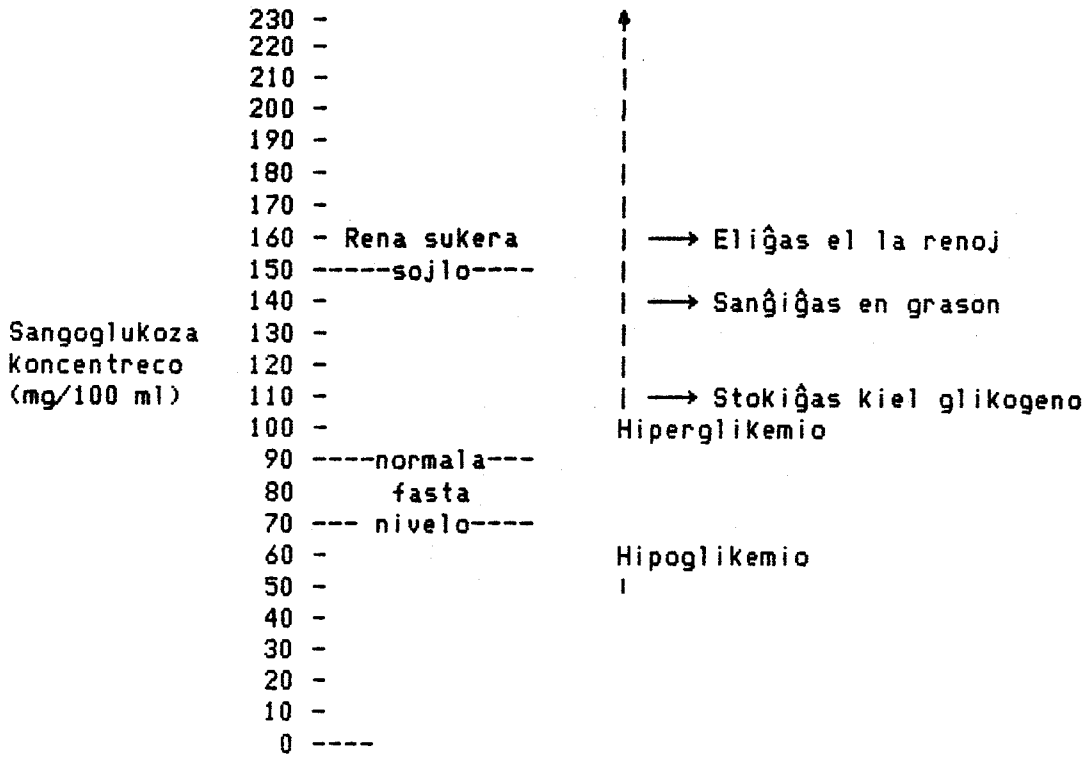
Alta nivelo de sangosukero, nomata hiperglikemio, povas efemere estiĝi post riĉa kaj peza manĝo de sakaridoj.

Monosakaridoj el la digesta procezo estas sorbitaj en la sangon pli rapide ol ili povas esti ŝanĝitaj en glikogenon kaj stokitaj en la hepato. Kiam la sangosukera nivelo leviĝas, iom da glukozo eble estos transformita en grason kaj stokita en la grasa histo.

rena (sukera) sojlo; glukozurio

Kiam sangosukeraj niveloj atingas la renan sukeran sojlon de 150 - 170 mg je 100 ml da sango, glukozo eliĝas el la renoj kaj aperas en la urino. Ĉi tiu stato nomiĝas glukozurio.

Tiel do, hiperglikemiaj glukozaj niveloj povas ree normaliĝi per oksidiĝo de la glukozo, kiu produktas energion, per stokiĝo de glukozo kiel glikogeno, per ŝanĝo de glukozo en grason, aŭ per ekskrecio tra la renoj (Bildo 25-7).



Bildo 25-7. Reguligo de sangoglukozaj niveloj

25.7 NENORMALA GLUKOZA METABOLO

Sangosukeraj niveloj reguliĝas per hormonoj sekreciataj el iaj glandoj. Ĉi tiuj hormonoj inkludas epinefrinon (adrenalinon) el la surrena medolo, kaj insulinon kaj glukagonon el la pankreato. Altaj sangosukeraj niveloj stimulas la produktiĝon de insulino. La insulino tiam helpas formeti glukozon el la sango, transdonante ĝin en ĉelojn kaj akcelante la rapidon, je kiu ĝi ŝanĝiĝas en glikogenon kaj grason. Epinefrino kaj glukagono havas efikon kontraŭ tiu efikon de insulino; ili ekscitas la ŝanĝon de glikogeno en glukozon. Ordinare ĉi tiuj sekreciaĵoj ekvilibras tie glukoza nivelo en la sango restas inter normalaj limoj. Sed teruro aŭ kolero kaŭzas la ellason de plia epinefrino, tiel stimulante la ŝanĝon de glikogeno en glukozon, kaj la sangosukera nivelo leviĝas.

Sukera Diabeto

sukera diabeto

Daŭra hiperglikemia stato estas karakteriza por la afekcio nomata sukera diabeto.

Ĉe tiu ĉi afekcio, la sangosukera nivelo estas sufiĉe alta, ke ĝi aperigas

glukozon en la urino, efiko kutime uzata por diagnoza testo. Sukera diabeto estas la rezulto de inhibita kapablo metabole disigi glukozon. Ĉar la glukozo ne estas oksidigita aŭ ŝanĝita en stok-formojn je normala rapido, ĝi akumuliĝas en la sango. Oni kuracas diabeton per injektado de insulino aŭ per dozado de drogoj kiuj stimulas la korpon produkti pli da insulino.

Hiperinsulinismo

hiperinsulinismo
Tro multe da insulino en la sango nomiĝas hiperinsulinismo.

En ĉi tiu stato, troaj kvantoj da glukozo estas forprenitaj el la sango, kaj la sangosukera nivelo malaltiĝas. La rezultanta hipoglikemio povas redukti la proviziĝon de la cerbo per energio.

insulina ŝoko
Severa hipoglikemio plej ofte okazas kiam diabetuloj injektas tro multe da insulino. Oni nomas la rezulton insulina ŝoko.

Multaj diabetuloj portas glukoz-riĉan manĝaĵon, ekzemple sukeraĵon, por preventi insulinan ŝokon.

Hiperinsulinismo ankaŭ povas esti stimulita per sakaridoj. Ĉi tiu stimulo estas tiom intensa en kelkaj, alie normalaj, homoj ke hipoglikemiaj simptomoj aperas du aŭ tri horojn post kiam ili manĝis relative etajn kvantojn da sakaridoj.

funkcia hipoglikemio
Homoj, kiuj ekhavas malaltan sangosukeran nivelon rezulte de manĝado de sakaridoj, suferas pro funkcia hipoglikemio, kies kaŭzoj ankoraŭ ne estas komprenataj.

La stato estas plibonigebla per dieto malriĉa je sakaridoj kaj riĉa je proteinoj.

Pli modera hipoglikemio povas okazi en homoj kiuj manĝas forte sukeritan manĝaĵon. La rezultanta trostimulado de insulino kaŭzas, ke la komence alta sangosukera nivelo malaltiĝas iom sub la fastan nivelon. Ekzemple, ĉirkaŭ tri horoj post sukerriĉa matenmanĝo, la homo sentas sin dormema, kverelema, kaj ĝenerale laca, ĉar la sangosukera nivelo estas tro malalta por plenumi la energiajn bezonojn de la cerbo. En tiaj cirkonstancoj, studento eble ekdormas en klaso. Bedaŭrinde, la plejparto de la homoj kiuj suferas pro mezmatena "enuo" batalas kontraŭ ĝi per alia dozo de sukerriĉaj manĝaĵoj,

kiel dolĉigita kafo aŭ teo, kukaĵo, aŭ bombonoj. Pro tio, ke efemere plialtiĝas la sangosukero, la persono sentas sin pli bone, sed la stimulo al la pankreato denove kaŭzas troan insulinon, kaj la "enuo" reaperas.

La plej grava manĝo de la tago estas la matenmanĝo, kiu devus esti riĉa je proteinoj, kaj kiu devus enhavi iom da grasoj kaj sakaridoj. Proteinoj kaj grasoj emas moderigi la produktiĝon de glukozo. Anstataŭ subite verŝiĝi en la sangovazojn, glukozo eniras la sangon malrapide, tiel evitante trostimulon al la pankreato.

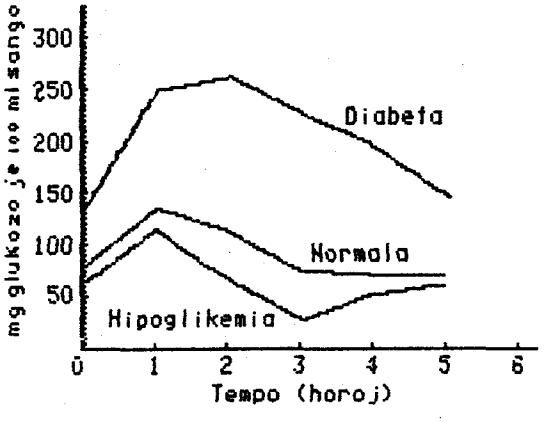
Glukoza Tolereca Testo

glukoza tolereca testo

Variaĵoj de normala glukoza metabolo estas ofte konstateblaj per tolereca testo por glukozo.

Post fastado dum almenaŭ ok horoj, la paciento manĝas 50 - 100 gramojn da glukozo. Oni akiras sangajn kaj urinajn provaĵojn je regulaj intervaloj, kaj analizas ilin por glukozo. Bildo 25-8 prezentas ekzemplajn test-rezultojn por normalaj, diabetaj, kaj hipoglikemiaj homoj. La diabeta kurbo montras altan dumfastan nivelon de sangosukero, ekstreman pliiĝon en sangosukero post la enpreno de glukozo, kaj ŝtupan malpliiĝon al la normala nivelo. Post la unuaj 30 minutoj, la rena sukera sojlo ordinare estas superita, kaj sukero aperas en la urino de diabetuloj.

Afekcio nomata rena diabeto ankaŭ aperigas sukeron en la urino.



Bildo 25-8. Rezultoj de glukoza tolereca testo

rena diabeto

Homo kiu suferas pro rena diabeto havas normalan sangosukeran nivelon, sed subnormalan renan sukeran sojlon.

Glukozurio ankaŭ povas rezulti el lezo al la hepato aŭ reno, aŭ el emocia aflikto aŭ konsterno.

25.8 ENERGIO EL GLUKOZO

La tuja fonto de ĉela energio, ATF, devas esti reprovizita dum ĝi uziĝas. Sen tia reprovizado, muskola aktiveco kaj aliaj korpaj procezoj baldaŭ estus neeblaj. Kiel ni vidis en reakcio 25-1, la oksidiĝo de glukozo liberigas energion, kiu estas tiam uzita en la sintezo de ATF.

La tri ĉefaj fazoj de la energi-liberiga katabolo de glukozo estas glikolizo, la ciklo de Krebs, kaj la elektron-transporta ĉeno. Ĉi tiu reto de reakcioj ne havas lokon krom se estas bezono de plia ATF. La tuta sinsekvo estas preskaŭ mem-reguliga: dum ekzerco aŭ aliaj aktivecoj eluzas ATF kaj produktas ADF kaj neorganikan fosfaton (F_n), komenciĝas la longa serio de reakcioj, kaj ADF kaj F_n estas rekombinitaj en ATF-on. Ĉi tiu rimarkinda meĥanismo similas termostaton kiu reguligas la varmon en domo laŭ bezono.

25.9 GLIKOLIZO

Dum muskola aktiveco, ATF estas ŝanĝata en siajn malalt-energiajn produktojn. Energio estas bezonata por rekombini la produktojn en ATF-on.

glikolizo

Parto de la energio bezonata por retroformi ATF-on iĝas disponebla kiam glukozo ŝanĝiĝas en piruvan acidon en la ĉela citoplasmo per serio de reakcioj nomataj glikolizo.

Reakcio 25-4 ĝenerale montras la procezon.

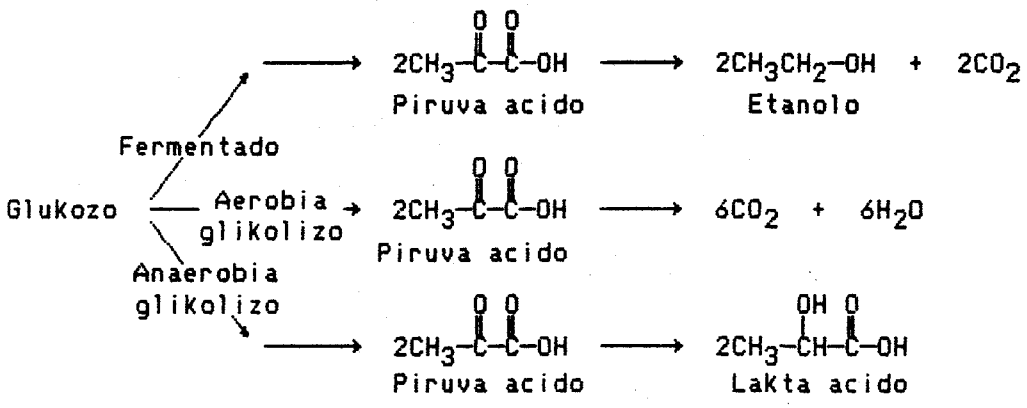
$$\underset{\text{glukozo}}{C_6H_{12}O_6} + 2NAD + 2ADF + 2F_n \longrightarrow \underset{\text{piruva acido}}{2CH_3\text{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}\text{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}\text{-}OH} + 2ATF + 2\,NADH_2 \qquad 25\text{-}4$$

En la plejparto da organismoj la sinsekvo de reakcioj kondukantaj de glukozo al piruva acido similas. Tamen la sorto de la piruva acido varias.

fermentado

En la fermentada sinsekvo plenumita de gistoj, piruva acido estas ŝanĝiĝas en etanolon.

Dum glikolizo sub aerobiaj kondiĉoj, piruva acido ŝanĝiĝas en karbonan dioksidon kaj akvon; glikolizo sub anaerobiaj kondiĉoj kondukas al lakta acido (Bildo 25-9).

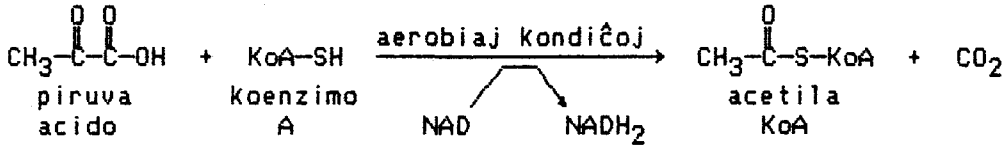


Bildo 25-9. La tri eventualaj glikolizaj voj-strekoj por glukozo

aerobia; anaerobia

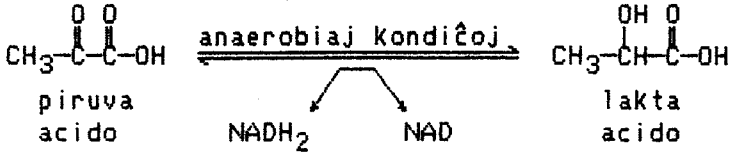
Aerobia signifas bezonon de oksigeno, kaj anaerobia (malaerobia) signifas la foreston de oksigeno.

La tuta oksidiĝo de piruva acido en CO_2 kaj H_2O disponigas la plejparton de la energio uzata en la korpo por sintezi freŝajn stokojn de ATF. Ĉi tiu oksidiĝo okazas en la ciklo de Krebs kaj en la elektron-transporta ĉeno. La enirpunkto al ĉi tiu oksidiĝa vojo estas acetila KoA, formita el piruva acido (reakcio 25-5).



25-5

La anaerobia ŝanĝiĝo de piruva acido en laktan acidon (reakcio 25-6) estas normala procezo en multaj organismoj.



25-6

La reakcio ankaŭ okazas en la ĉeloj de pli altaj organismoj, sed ĝi okazas nur kiam la provizo de oksigeno estas limigita, kiel en muskoloj dum

intensa aktiveco. Ĉi tiu reakcio estas inversigebla; kaj, kiam oksigeno iĝas havebla, lakta acido estas reŝanĝita en piruvan acidon, kiu tiam uziĝas en la ciklo de Krebs. Ĉirkaŭ 25 procentoj de la lakta acido generita en muskoloj suferas ĉi tiun reakcion. La cetero estas reŝanĝita en piruvan acidon kaj tiam en glikogenon en la hepato.

La vojstreko kiu produktas laktan acidon gravas ĉar ĝi havigas la solan energian fonton por histoj sen la uzo de oksigeno. Tiel, la muskoloj povas agi tuj, sen atendi la alporton de plia oksigeno per la sango. Tamen, lakta acido akumuliĝas dum longigita muskola aktiveco, kaŭzante la malkomforton kiun ni rekonas kiel muskola laceco.

oksigena ŝuldo

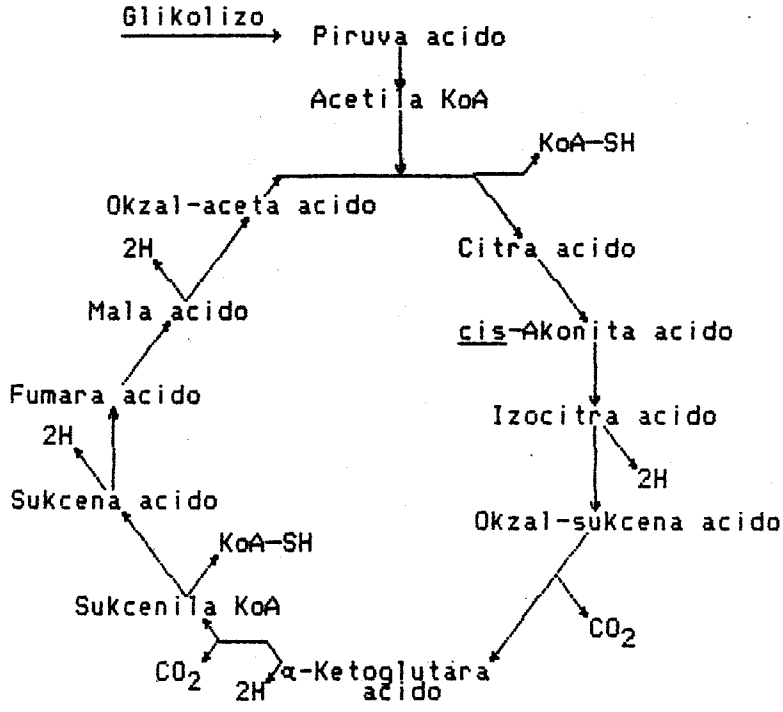
La akumulita lakta acido, rezultanta pro superflua anaerobia glikolizo, estas la oksigena ŝuldo.

Forta spirado post ekzerco repagas la ŝuldon per tio, ke ĝi disponigas oksigenon por aerobiaj procezoj, kiuj permesas ke la lakta acido estu oksidigita returne en piruvan acidon.

25.10 LA CIKLO DE KREBS

ciklo de Krebs

La ciklo de Krebs (citr-acida ciklo) estas serio de reakcioj en kiuj acetila koenzimo A ŝanĝiĝas en hidrogenatomojn kaj karbonan dioksidon (Bildo 25-10). Oni ankaŭ aludas ĝin sub la nomo ciklo de trikarboksilaj acidoj.



Bildo 25-10. Skemo de la ciklo de Krebs

La neta resuma reakcio de la ciklo de Krebs vidiĝas en reakcio 25-7.

$$\underset{\text{acetila KoA}}{CH_3{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}S{-}KoA} + 3H_2O \longrightarrow 2CO_2 + 8H + \underset{\text{Koenzimo A}}{KoA{-}SH} \qquad 25\text{-}7$$

La ĉefa funkcio de la ciklo de Krebs estas provizi per hidrogenatomoj (ankaŭ ties elektronoj) la elektron-transportan ĉenon. Ĉi tiuj atomoj estas prenitaj kaj transportitaj el la ciklo de Krebs per pluraj koenzimoj. Reakcio 25-8, kiu koncernas la koenzimon NAD por la deshidrogeniĝo de mala acido, estas tipa ekzemplo.

$$\underset{\substack{\text{mala acido}\\(\text{hidroksi-butan-diacido})}}{HO{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}CH_2{-}\overset{OH}{\underset{|}{CH}}{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}OH} + NAD \xrightarrow[\text{deshidrogenazo}]{\text{mala}} \underset{\substack{\text{okzal-aceta acido}\\(\text{okso-butan-diacido})}}{HO{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}CH_2{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}OH} + NADH_2 \qquad 25\text{-}8$$

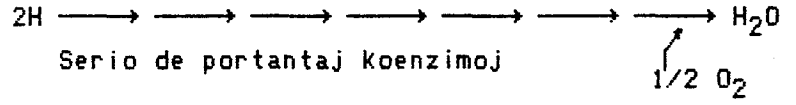
Ne konfuzu la "mala" ĉi uzatan kun ties ordinara senco en Esperanto. En la nuna senco, "mala" devenas de latina malum (pomo), ĉar mala acido troviĝas 1.a. en pomoj.

25.11 LA ELEKTRON-TRANSPORTA ĈENO

elektron-transporta ĉeno (spirada ĉeno)

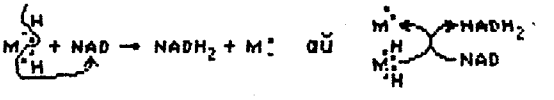
La fina fazo de glukoza katabola konsistas el la elektron-transporta ĉeno, aŭ spirada ĉeno, serio de enzime katalizitaj reakcioj kiuj kondukas al la redukto de oksigeno en akvon en la ĉeloj.

Bildo 25-11 resumas ĉi tiun serion



Bildo 25-11. Resumo de la elektron-transporta ĉeno

La redukto de oksigeno en akvon postulas ke ĉiu oksigenatomo ricevu du hidrogenatomojn. Ĉi tiuj hidrogenatomoj venas el la ciklo de Krebs. Ĝenerale, la interproduktoj kiuj liveras la hidrogenon povas esti prezentitaj kiel MH_2, kie M estas iu metabola produkto, kiel mala acido. Ekzemple, NAD povas ekstrakti du hidrogenatomojn el MH_2 (reakcio 25-9).

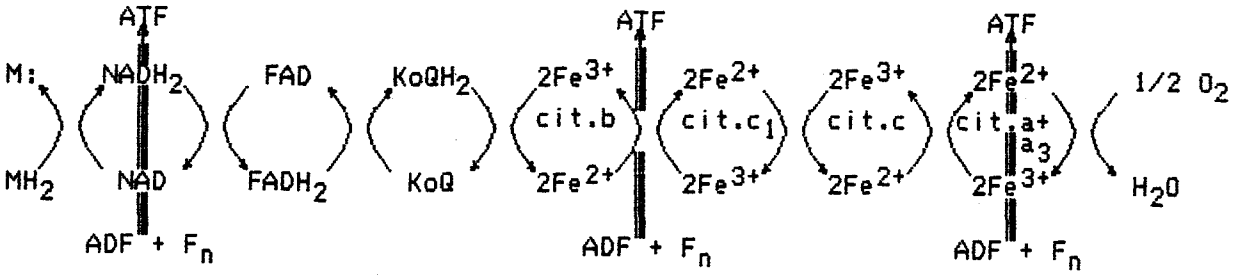


25-9

La koenzimo FAD partoprenas la sekvantan paŝon en ĉi tiu branĉo de la elektron-transporta ĉeno. FAD akceptas hidrogenatomojn el NAD kaj pasigas ilin laŭ la ĉeno (reakcio 25-10 kaj Bildo 25-12).

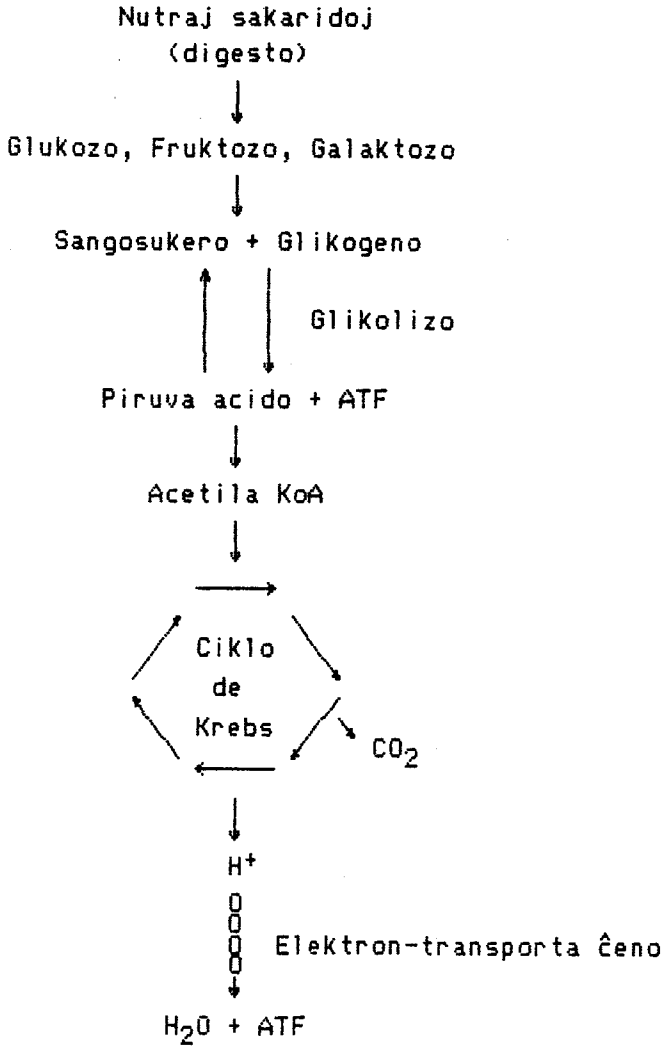
$$NADH_2 + FAD \longrightarrow NAD + FADH_2 \qquad 25\text{-}10$$

La hidrogenatomoj estas tiamaniere pasigitaj laŭ la ĉeno (Bildo 25-12). Ĉe paŝo kiu koncernas koenzimon Q, la hidrogenatomoj estas apartigitaj disde ties elektronoj. La rezultantaj hidrogenaj jonoj estas ellasitaj en la intraĉelan medion por uzo en la fina paŝo, kie ili reakcias kun elektronoj kaj oksigeno, formante akvon. Tiuj elektronoj, kiuj estis apartigitaj disde la hidrogenatomoj, daŭre iras laŭ la ĉeno kun citokromoj (fer-entenaj enzimoj), kiuj faras la transportadon. Partoprenas kelkaj diversaj citokromoj - signitaj en Bildo 25-12 kiel citokromoj b, c_1, c, kaj a + a_3. Post la transdono de la hidrogenatomoj, la koenzimoj estas redonitaj en la ciklon de Krebs.



Bildo 25-12. La spirada ĉeno kaj ATF-sintezo

Ĉe tri ŝtupoj de la elektron-transporta ĉeno, kemia energio estas elprenita kaj enkorpigita en ATF-molekulojn. Ĉi tiu agado vidiĝas en Bildo 25-12, kie ĉiu larĝa sago simbolas serion de reakcioj kaj kemiaj ŝanĝiĝoj kiuj ankoraŭ ne estas plene komprenataj. Bildo 25-13 resumas la kompletan ATF-sintezon per sakarida katabolo.



Bildo 25-13. ATF-produktiĝo pere de sakarida katabolo

La neta rezulto de la kombino de la elektron-transporta ĉeno kun la ciklo

de Krebs estas ŝanĝi piruvan acidon en CO_2 kaj H_2O kaj produkti ATF (reakcio 25-11). La ŝlosila produkto de la reakcio estas ATF; la karbonan dioksidon kaj akvon oni konsideras rub-materialo.

$$C_3H_4O_3 + 15ADF + 15F_n + 5/2\ O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 2H_2O + 15ATF \qquad 25\text{-}11$$

Ĉar *du piruv-acidaj molekuloj estas formitaj el unu glukoza molekulo dum* glikolizo (reakcio 25-4), 30 ATF-molekuloj estas produktitaj kiam unu glukoza molekulo estas oksidigita tra la ciklo de Krebs kaj la elektron-transporta ĉeno. Ok aldonaj ATF-molekuloj formiĝas dum glikolizo (du senpere, kaj ses el la rezultanta $NADH_2$), donante entute 38 ATF-molekulojn generitajn kontraŭ ĉiu molekulo de glukozo kiu estis plene oksidigita.

Ni vidis en Sekcio 25.1 ke kompleta bruligo de unu molo da glukozo en CO_2 kaj H_2O ekster la korpo ellasas 686 kKal da varmo. Ĉiufoje, kiam molo da fosfataj ligoj de ATF estas rompita, 7,3 kKal (30,5 kJ) da uzebla energio liberiĝas. Tial, la 38 moloj da ATF venantaj el unu molo da glukozo liveras ĉirkaŭ 277 kKal da uzebla energio:

$$(38\ \text{moloj ATF})\left(\frac{7{,}3\ \text{kKal}}{1\ \text{molo ATF}}\right) = 277{,}4\ \text{kKal (1161 kiloĵuloj)}$$

Tio estas rendimento de ĉirkaŭ 40 procentoj por la livero de uzebla energio el la tuta havebla energio. (La kalorio estas vulgara metra mezur-unuo por energio, kaj la ĵulo estas la SI-unuo; vidu Tabelon 1-3.)

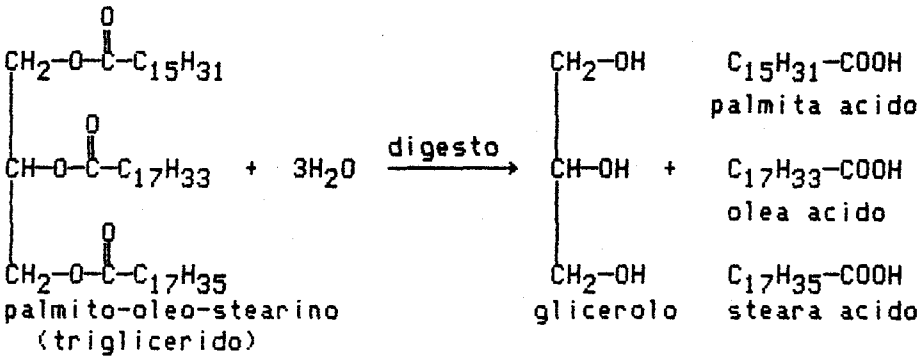
$$\text{Rendimento} = \left(\frac{\text{uzebla energio}}{\text{tuta energio}}\right)(100) = \left(\frac{277\ \text{kKal}}{686\ \text{kKal}}\right)(100) = 40{,}4\ \text{procentoj}$$

La cetera energio liberiĝas kiel varmo, kiu subtenadas la korpan temperaturon. *Rendimento de 40 procentoj estas tute bona, precipe* kompare kun aliaj energi-ŝanĝiĝaj procezoj. Ekzemple, aŭtomobila motoro disponigas nur ĉirkaŭ 20 - 30 procentojn de la energio vere ellasita per benzin-bruligo.

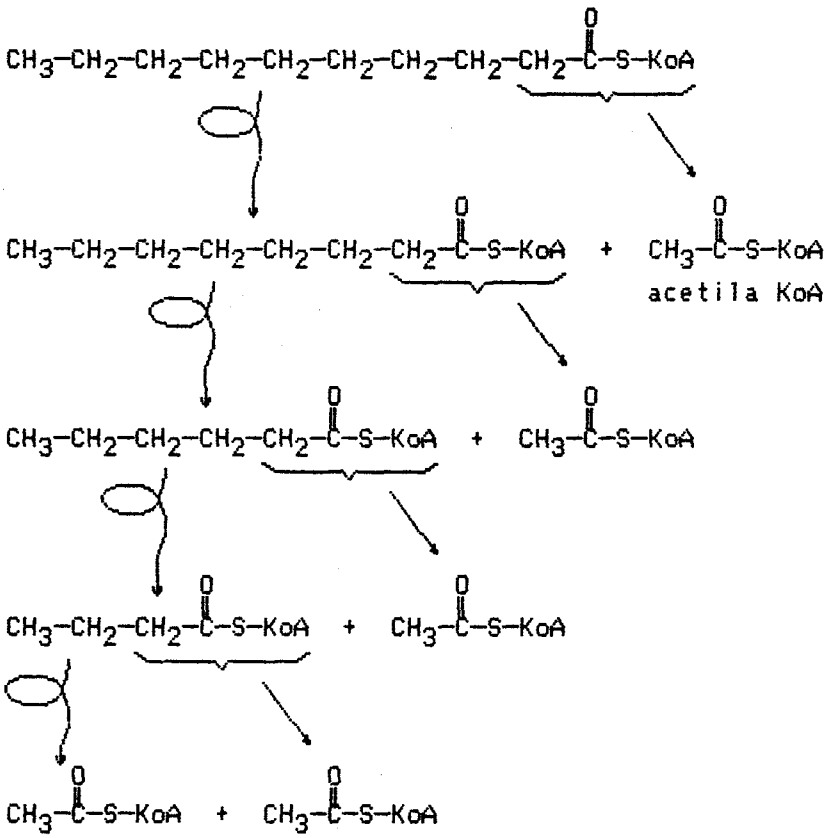
25.12 LIPIDA METABOLO

Grasacidoj kaj glicerolo estas la ĉefaj produktoj de la digesto de lipidoj (reakcio 25-12). Ĉi tiuj produktoj estas sorbitaj en la limfon, kie ili tuj rekombiniĝas en trigliceridojn. La rezultantaj globetoj de trigliceridoj eniras la sangon kaj cirkulas ĝis ili atingas organon, kie ili estas denove hidrolizitaj en grasacidojn kaj glicerolon. La grasacidoj kaj glicerolo tiam estas rekombinitaj en la trigliceridojn

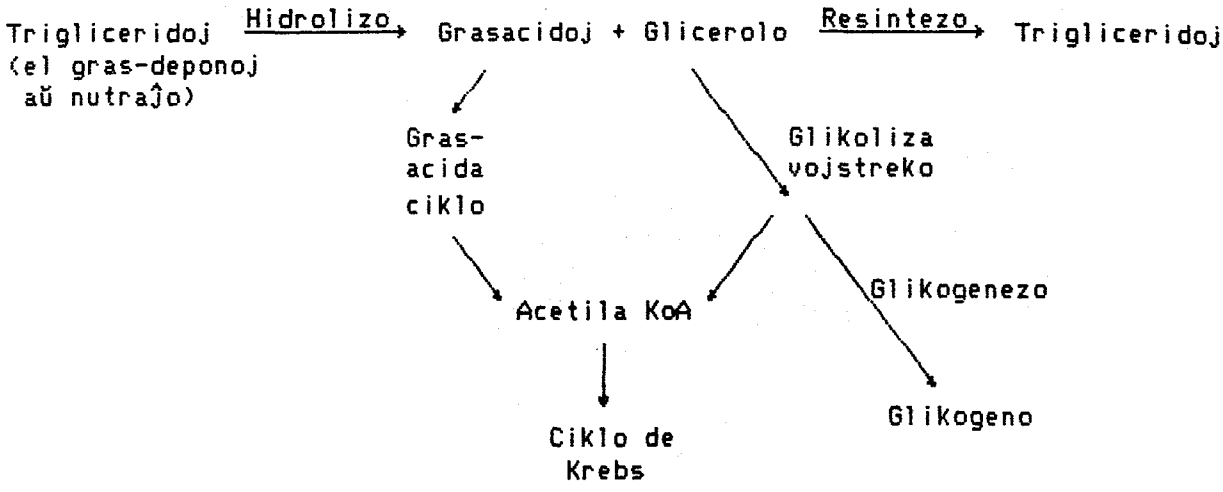
kiuj estas karakterizaj por la koncernaj animalo aŭ organoj; aŭ ili oksidiĝas por ellasi energion kaj formi CO_2 kaj H_2O.



25-12



Bildo 25-14. Disiĝo de grasacido en la grasacida ciklo



Bildo 25-15. Lipida metabolo en la korpo

La glicerola porcio de hidrolizitaj trigliceridoj eniras la glikolizan vojstrekon kaj povas esti uzita por formi glikogenon aŭ acetilan KoA.

gras-acida ciklo

La grasacidoj de hidrolizitaj trigliceridoj oksidiĝas en popaŝa procezo konata kiel la grasacida ciklo. En ĉi tiu serio de reakcioj, dukarbona unuo da acetila KoA fendiĝas el ĉiu longaĉena grasacido.

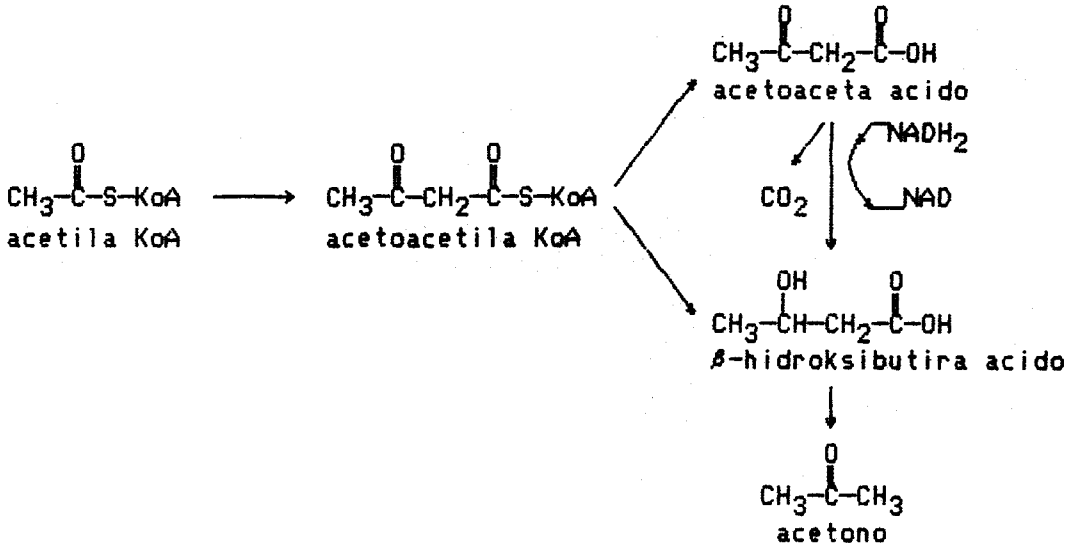
La sinsekvo ripetiĝas ĝis kiam ĉiom el la grasacido estas ŝanĝita en acetilan KoA, kiu tiam povas esti enkorpigita en la ciklon de Krebs. La kompleta disiĝo de kapra acido (dekanacido) estas montrita en Bildo 25-14, kie la buklaj sagoj montras vojaĝon tra la grasacida ciklo. Bildo 25-15 resumas lipidan metabolon en la korpo.

25.13 KETONAJ KORPAJ

Sub iuj kondiĉoj, oksidiĝo de grasacidoj produktas pli da acetila KoA ol la korpo povas uzi.

Ketonaj korpoj

Per la enzima aktiveco de la hepato, troa acetila KoA ŝanĝiĝas en tri substancojn nomatajn ketonaj korpoj aŭ ketosubstancoj: acetoaceta acido, β-hidroksibutira acido, kaj acetono (reakcio 25-13).



25-13

La sango portas la ketonKorpojn al la ĉirkaŭaj korpaj histoj, kie ili povas oksidiĝi ~~en la~~ ciklo de Krebs.

~~Normale~~, la koncentreco de ketonKorpoj en la sango estas mez-valore tre malalta 0,5 mg je 100 ml. Ege altaj niveloj rezultas el troa metabolo de graso, kiun povas kaŭzi tiaj kondiĉoj kiel (1) inanicio (malsato) - kiam la korpa graso estas la sola energia fonto; (2) diabeto - kie glukozo ne povas esti utiligita, kaj graso denove estas la energia fonto; kaj (3) gras-riĉaj dietoj.

<u>Ketozo</u>

Sub tiuj cirkonstancoj, ketonKorpoj akumuliĝas en korpaj histoj kaj aperas en la sango, kaŭzante staton nomatan ketozo.

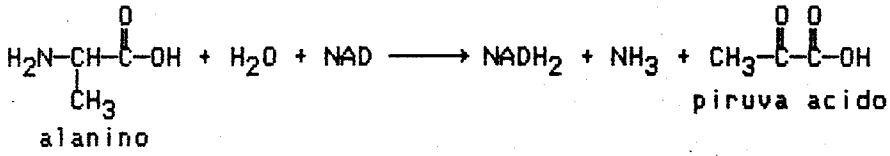
La ketonKorpoj ankaŭ ekskreciiĝas en la urino, kaj oni povas flari acetonon en la spiro kiam ketozo iĝas ekstrema. Du el la ketonKorpoj estas acidoj, kaj ilia akumuliĝo en la sango dum kelkaj tagoj malaltigas la pH de la sango (stato nomata <u>acidozo</u>). En nekuracata suker-diabeto, acidozo povas iĝi sufiĉe grava por kaŭzi komaton. La komato estiĝas el la reduktita kapablo de la hemoglobino liveri oksigenon al la ĉeloj.

25.14 METABOLO DE AMINOACIDOJ

<u>desaminiĝo</u>

Aminoacidoj povas esti ŝanĝitaj en respondajn keto-acidojn per la procezo de desaminiĝo (depreno de la amino-grupo).

Ĉi tiuj keto-acidoj povas esti uzitaj en energia produktiĝo. Ekzemple, piruva acido, prekursoro de la ciklo de Krebs, formiĝas kiam la aminoacido alanino desaminiĝas (reakcio 25-14).



25-14

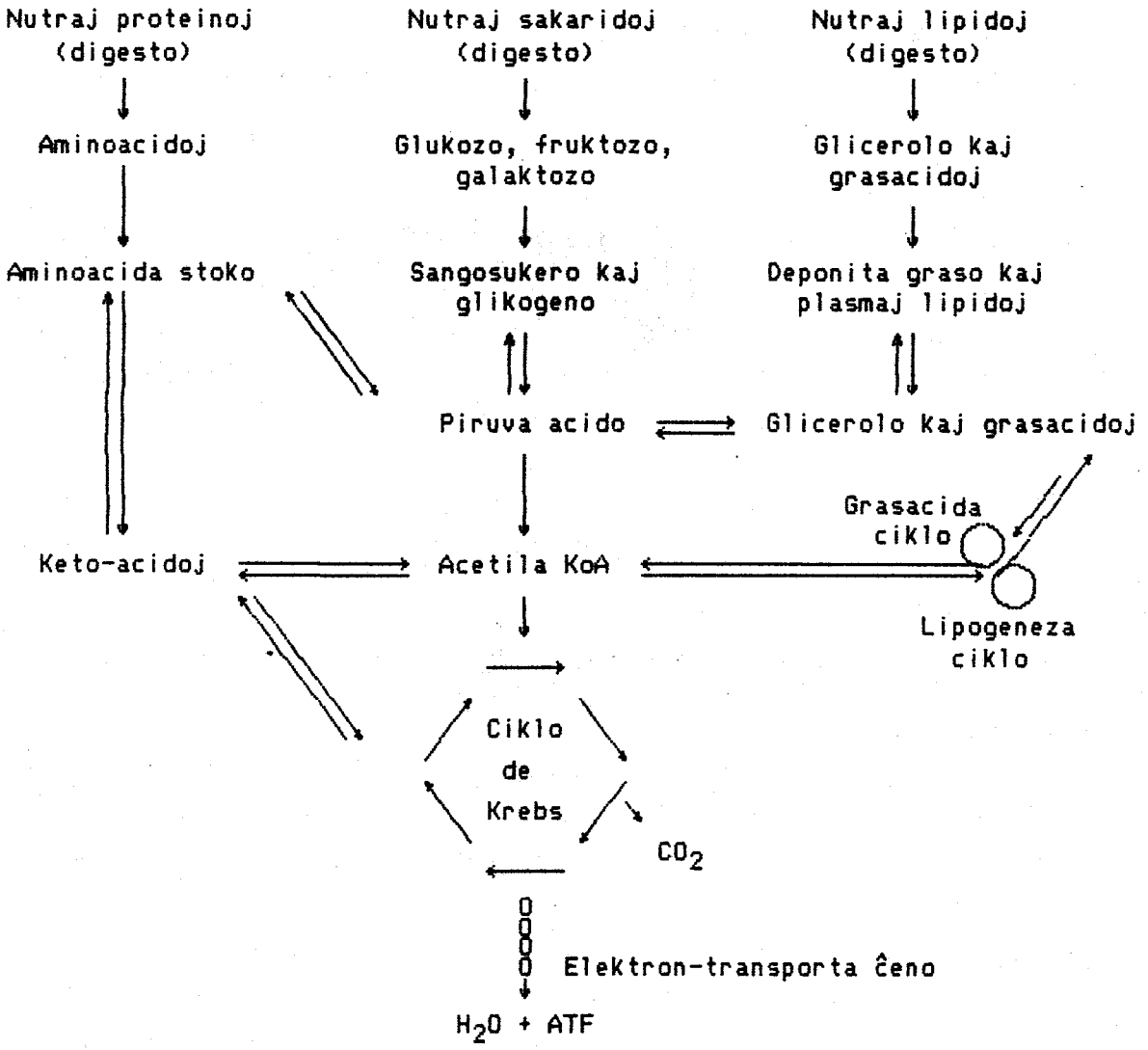
Tabelo 25-1 listigas aliajn aminoacidojn kiuj povas desaminiĝi, formante prekursorojn aŭ interproduktojn de la ciklo de Krebs.

La ŝanĝiĝo de kelkaj aminoacidoj en acetilan KoA liveras ligilon inter la metabolo de proteinoj kaj tiu de lipidoj. Ni vidas do, ke la sakarida, lipida, kaj proteina metaboloj estas interligitaj inter si (vidu Bildon 25-16).

Tabelo 25-1. Formiĝo de prekursoroj kaj interproduktoj de la ciklo de Krebs*

Piruva acido	Acetila KoA	α-Ketoglutara acido	Sukcena KoA	Fumara acido	Okzal-aceta acido
↑	↑	↑	↑	↑	↑
alanino	leŭcino	arginino	izoleŭcino	(fenilalanino)	asparta acido
cisteino	lizino	glutama acido	metionino	(tirozino)	asparagino
glicino	(fenilalanino)	glutamino	valino		
serino	(izoleŭcino)	histidino	(izoleŭcino)		
(treonino)	(tirozino)	prolino	(treonino)		
(triptofano)	(treonino)				
	(triptofano)				

*La parentezaj aminoacidoj produktas 2 aŭ 3 prekursorojn kaj inter produktojn.



Bildo 25-16. Interrilatoj inter proteina, sakarida, kaj lipida metaboloj

EKZERCOJ

Energio en Vivantaj Sistemoj

1. Priskribu manierojn en kiuj hejtaĵa bruligo kaj regata ĉela oksidiĝo de brulaĵo malsamas.
2. Donu du kialojn, kial varmo-energio ne estas la plej dezirinda aŭ uzebla formo de energio por viva organismo.

Supervido de Energia Produktiĝo

3. Priskribu per vortoj la tri ŝtupojn de oksidiĝa energia produktiĝo.
4. La subaj reakcioj prezentas la ŝtupojn de oksidiĝa energia produktiĝo. Alskribu ĉiun reakcion al la ĝusta ŝtupo.

a) acetila KoA $\longrightarrow$ KoA-SH + CO_2 + hidrogenatomoj
b) grasoj $\longrightarrow$ acetila KoA
c) hidrogenatomoj + O_2 $\longrightarrow$ H_2O + ATF

ĉ) sakaridoj ⟶ acetila KoA

5. Kio estas la rolo de la ĉelaj mitoĥondrioj en la uzo de energio de vivaj organismoj?

Energia Stokiĝo en ATF

6. Komparu ATF kaj ADF laŭ la vidpunkto de (a) molekula strukturo kaj (b) energia enhavo.
7. Montru la lokon de alt-energiaj ligoj en ATF-molekulo. Kia reakcio liberigas la energion de tiuj ligoj? Kiuj estas la produktoj de ĉi tiu reakcio?

Metabolo

8. Komparu kaj distingu metabolon, katabolon, kaj anabolon.

Sakarida Metabolo

9. Donu du kialojn, kial sakarida metabolo gravas por la korpo.

Sangosukera Nivelo

10. Kio estas hipoglikemio? Kio estas la simptomoj de ekstrema hipoglikemio?
11. Kio estas hiperglikemio? Kiuj procezoj en la korpo kontraŭagas hiperglikemion?
12. Kiu afekcio ordinare kunestas kun glukozurio? Ĝenerale, kiu korpa misfunkcio kondukas al la afekcio?
13. Priskribu tri aktivecojn aŭ kondiĉojn kiuj povas konduki al hipoglikemio.
14. Kiel rena diabeto malsamas ol sukera diabeto?
15. Priskribu du manierojn per kiuj insulino helpas regi la nivelojn de sanga glukozo.
16. Komparu la influon de insulino sur la sangoglukozajn nivelojn kun la influo de epinefrino kaj glukagono.
17. Ĝenerale, kiel la dumfasta nivelo de sanga glukozo kompariĝas en normalaj, diabetaj, kaj hipoglikemiaj personoj?
18. Priskribu la konduton de sango-glukozaj niveloj post la enstomakigo de grandaj kvantoj da glukozo far normalaj, diabetaj, kaj hipoglikemiaj personoj.

Energio el Glukozo

19. Kiuj estas la tri ĉefaj fazoj de glukoza katabolo?
20. Kio estas la neta rezulto de glikolizo?
21. Kion signifas oksigena ŝuldo? Sub kiuj kondiĉoj ĝi okazas?

22. Kiel spirado ligiĝas al energia produktiĝo por la korpo?
23. Skribu frazon kiu resumas la ĝeneralan funkcion de (a) la ciklo de Krebs, kaj (b) la elektron-transporta ĉeno.
24. Parigu la sekvantajn procezojn al la kondiĉoj aerobia kaj anaerobia.

a) glukozo ⟶ piruva acido ⟶ lakta acido
b) glukozo ⟶ piruva acido ⟶ CO_2 + H_2O

25. Aranĝu jenajn kombinaĵojn laŭ ordo de apero kiam glukozo komplete oksidiĝas al CO_2 kaj H_2O: CO_2, H_2O, glukozo, citra acido, piruva acido, acetila KoA.

Lipida Metabolo

26. En kiu formo cirkulas en la sango la ĉefaj produktoj de lipida digesto?
27. Dum lipida metabolo trigliceridoj estas hidrolizataj en grasacidojn kaj glicerolon.

a) Priskribu 2 metabolajn vojstrekojn kiujn povas sekvi la grasacidoj.
b) Priskribu 2 metabolajn vojstrekojn kiujn povas sekvi la glicerolo.

28. Kio estas ketonaj korpoj?
29. Kio estas la malsan-stato karakterizita de altaj niveloj de ketonkorpoj en la korpaj histoj?

Metabolo de Aminoacidoj

30. Kiuj estas la ĝeneralaj produktoj de desaminiĝo de aminoacido?
31. Priskribu kiel aminoacidoj povas esti uzataj en la produktiĝo de energio.
32. Kiu kombinaĵo de sakarida metabolo ankaŭ liveras ligilon inter proteina kaj lipida metaboloj?

RESPONDOJ AL ELEKTITAJ EKZERCOJ

Ĉapitro 1

3. a) fizika ĉ) fizika
4. a) fizika ĉ) fizika
5. a) $6{,}435 \times 10^{2}$ ĉ) $8{,}13 \times 10^{-6}$
6. a) 0,00103 ĉ) 0,000000100
7. a) 8×10^{5} ĉ) 6×10^{-8}
8. a) 3×10^{3} ĉ) $2{,}0 \times 10^{5}$
9. 4×10^{2}
13. a) centimetro ĉ) kilogramo f) milimetro
14. a) mili, deci, mega ĉ) nano, mikro, centi
15. a) 1000-oble pli granda ĉ) 10^{9}-oble pli granda
16. a) $6{,}345 \times 10^{6}$ g ĉ) 1 ml
17. $7{,}6 \times 10^{2}$ paskaloj
19. 25.000 haroj
21. 3 pasteloj
23. 0,92 g/ml
25. 9,07 g/ml
28. K = 317
30. $^{o}C = 23{,}9$

Ĉapitro 2

1. a) homogena miksaĵo ĉ) pura substanco
5. a) heterogena miksaĵo kaj homogena miksaĵo
6. a) A-elemento ĉ) H-eblas nenia klasifiko
7. a) vera ĉ) vera f) vera
8. a) heterogena miksaĵo ĉ) elemento
12. a) 2 elementoj, 2 atomoj ĉ) 2 elementoj, 5 atomoj

Ĉapitro 3

1. 5 gramoj da D; leĝo de konserviĝo de maso
2. 100 gramoj da NaCl; 39 gramoj da Cl superflua; leĝo de Konstantaj proporcioj
6. a) eksperimentoj 1, 2, aŭ 3
   c) eksperimentoj 1 kaj 3 aŭ eksperimentoj 2 kaj 3
7. a) protono ĉ) protono f) protono kaj neŭtrono
9. a) neŭtrono (1839), protono (1836), elektrono (1)
12. a) protonoj = elektronoj = 24, neŭtronoj = 36
    ĉ) protonoj = elektronoj = neŭtronoj = 16
13. a) kupro (Cu), protonoj = elektronoj = 29, neŭtronoj = 36
    ĉ) oro (Au), protonoj = elektronoj =79, neŭtronoj = 118
15. a) $^{15}_{7}N$ ĉ) $^{155}_{64}Gd$
16. a) $^{50}_{25}X$ kaj $^{49}_{25}X$, ĉ) $^{53}_{30}X$
17. 6,95 amu
19. 21,9

Ĉapitro 4

2. a) 8 atomoj, 1 ereto ĉ) 8 atomoj, 8 eretoj
3. a) $2Mg + O_2 \longrightarrow 2MgO$ ĉ) $2H_2O_2 \longrightarrow O_2 + 2H_2O$
   f) $2C_2H_6 + 7O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 6H_2O$
5. a) 156,7 amu ĉ) 180,0 amu
6. 5
8. a) $2{,}21 \times 10^{-24}$ molekuloj da CO
9. a) 103 gramoj CO
10. a) 0,103 molo $C_8H_{11}O_3N$
11. a) 54,0 g Ag
13. a) $1{,}1 \times 10^{-4}$ molo $C_3H_5ClF_5O$ ĉ) $2{,}0 \times 10^{20}$ atomoj C

15. 103 amu
17. a) 57,1 g O_2
18. a) $CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$

Ĉapitro 5

2. a) grupo ĉ) periodo f) periodo
4. a) $_{11}Na$ kaj $_{55}Ce$
6. a) orbitalo ĉ) ŝelo
7. a) dependa de ĉ) depende de
9. a) plej malalta (1s), plej alta (3s)
   ĉ) plej malalta (6p), plej alta (6d)
11. a) $1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^4$ ĉ) $1\underline{s}^2 2\underline{s}^2 2\underline{p}^6 3\underline{s}^2 3\underline{p}^6 4\underline{s}^2 3\underline{d}^{10} 4\underline{p}^6 5\underline{s}^2 4\underline{d}^{10} 5\underline{p}^6$
13. a) subŝelo 2s ne povas havi 3 elektronojn
    ĉ) la subŝelo 4s pleniĝas post la 3p kaj antaŭ la 3d
15. a) subŝelo s, 2 elektronoj ĉ) subŝelo d, 3 elektronoj
16. a) metalo, transira ĉ) metalo, maloft-tera

Ĉapitro 6

1. a) 7 ĉ) 5
2. a) $:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Br}}\cdot$ ĉ) $\cdot\ddot{\underset{\cdot}{P}}\cdot$
9. a) ŝargo +2 ĉ) ŝargo +1
10. a) Ca^{2+} ĉ) Na^+
12. a) -3 ĉ) -1
13. a) 18 ĉ) 10
15. a) AB ĉ) AB f) A_3B_2
20. a) natria klorido ĉ) stana(II) oksido
21. a) MgF_2 ĉ) AlP
22. a) $:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:$ ĉ) $H:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\underset{H}{P}}}:H$
24. a) :N:::N: ĉ) H:C::::C:H
30. a) 63% ĉ) 22%
32. a) polusaj ligoj, nepolusa molekulo
    ĉ) polusaj ligoj, polusa molekulo
33. a) fosfora triklorido ĉ) sulfura heksafluorido
36. a) sen poliatomaj jonoj
    ĉ) ĉeestas la poliatoma jono PO_4^{3-} (fosfato)
38. a) kalia fosfato ĉ) kalcia cianido f) stana(II) karbonato
39. a) $Be(NO_3)_2$ ĉ) $Fe_2(SO_4)_3$ f) $(NH_4)_2CO_3$

Ĉapitro 7

1. a) gasa stato ĉ) gasa stato
4. Disrompaj fortoj kreskas kun kreskanta temperaturo. Koheraj fortoj estas esence sendependaj de temperaturaj ŝanĝoj.
11. a) falos
12. a) 740 mm Hg ĉ) 15 mm Hg
13. a) 1,00 litro
14. a) 6,7 litroj
15. a) 3,37 atm
17. 24,6 litroj
19. a) endoterma ĉ) ekzoterma
20. a) malkombiniĝo ĉ) vaporiĝo f) bolpunkto
22. temperaturo de la likvo; likva surfac-areo

Ĉapitro 8

2. a) solvebla ĉ) solvebla
3. a) solvebleta ĉ) solveblega
7. a) solvebla ĉ) nesolvebla

9. 4% (m/m)
10. a) 6% (v/v)
11. a) 2,0% (m/v)
13. a) 4,0 M
14. a) 5,85 g NaCl
15. 0,15 M
16. a) 10 m
17. a) 0,07 g
19. a) 55,5 amu ĉ) 59,6 amu
20. a) 0,1 N ĉ) 9,0 N
21. a) 0,28 N
23. a) 300 ml
24. a) 0,1 M
25. 0,20 M
28. a) 2 ĉ) 1
30. a) 100,8°C, -3,0°C ĉ) 80,7°C, 4,1°C
31. a) la sama ĉ) pli ol
33. a) hemolizo ĉ) kreneliĝo f) hemolizo
39. KCl, glukozo
40. a) ambaŭdirekte ĉ) restas en tubo

Ĉapitro 9

1. a) nespontanea ĉ) nespontanea
2. a) ekzergona ĉ) ekzergona
5. a) entropia pliiĝo, energia pliiĝo
10. naturo de reakciantoj, kaj ties koncentrecoj kaj temperaturo, kaj ĉeesto de katalizenzo
18. a) delokiĝas maldekstren
19. a) delokiĝas dekstren ĉ) delokiĝas dekstren

Ĉapitro 10

3. hidronia jono (H_3O^+) estas hidratigita hidrogen-jono (H^+)
4. a) $HI \xrightarrow{H_2O} H^+ + I^-$ ĉ) $LiOH \xrightarrow{H_2O} Li^+ + OH^-$
6. a) acido--HBr, bazo--H_2O ĉ) acido--H_2S, bazo--H_2O
8. procenta disocio estas la elstara trajto por kaj fortaj kaj malfortaj acidoj kaj bazoj
11. por distingi inter acidaj kaj neacidaj hidrogenoj en la molekulo
13. a) Na^+ (natria jono), Cl^- (klorida jono)
    ĉ) NH_4^+ (amonia jono), PO_4^{3-} (fosfata jono)
    f) Ag^+ (arĝenta jono), Br^- (bromida jono)
16. a) elektrolitoj naskas jonojn en akva solvaĵo; *neelektrolitoj ne naskas jonojn en solvaĵo*
20. a) $H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$ ĉ) $Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl$
    f) $2K + 2H_2O \longrightarrow 2K^+ + 2OH^- + H_2$
22. a) $2LiOH + H_2SO_4 \longrightarrow Li_2SO_4 + 2H_2O$
    ĉ) $3Ba(OH)_2 + 2H_3PO_4 \longrightarrow Ba_3(PO_4)_2 + 6H_2O$
24. a) $1,3 \times 10^{-8}$ M ĉ) $6,7 \times 10^{-13}$ M
26. a) 9 ĉ) 12
29. solvaĵo A estas 1000-oble pli acida
30. a) 2,22
33. pH = 10
35. b) 3,2 N
37. a) 12,5 ml ĉ) 200 ml
39. a) neŭtra (nenia hidrolizo) ĉ) baza ($C_2H_3O_2^- + H_2O \longrightarrow HC_2H_3O_2 + OH^-$)

44. aldonon de acido: $H^+ + HPO_4^{2-} \longrightarrow H_2PO_4^-$;
aldonon de bazo: $OH^- + H_2PO_4^- \longrightarrow HPO_4^{2-} + H_2O$

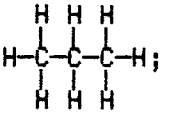
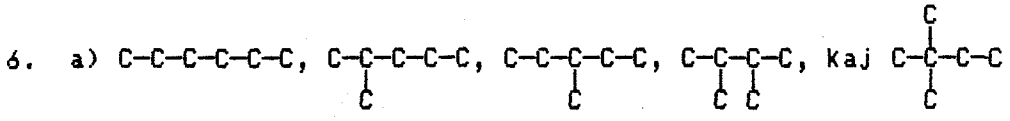
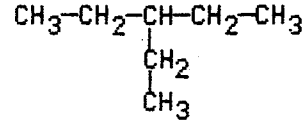
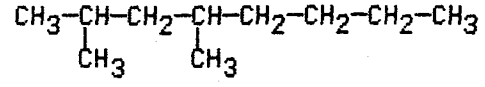
Ĉapitro 11

3. a) +4 ĉ) 0 f) +5
4. a) N = +5, O = -2 ĉ) Ca = +2, C = +4, O = -2
f) N = +5, O = -2
5. a) -1 ĉ) -2
7. a) H en H_2 = 0, Cl en Cl_2 = 0, H en HCl = +1, Cl en HCl = -1, H_2 estas la reduktanto, Cl_2 estas la oksidiganto
ĉ) H en H_2S = +1, S en H_2S = -2, I en I_2 = 0, I en I^- = -1, H en H^+ = +1, S en S = 0, H_2S estas la reduktanto, I_2 estas la oksidiganto
f) Mn en MnO_4^- = +7, O en MnO_4^- = -2, H en H^+ = +1, Hg en Hg = 0, Mn en Mn^{2+} = +2, H en H_2O = +1, O en H_2O = -2, Hg en Hg_2^{2+} = +1, Hg estas la reduktanto, MnO_4^- estas la oksidiganto
8. a) oksidigita ĉ) nek oksidigita nek reduktita
11. a) sintezo ĉ) duobla substituo

Ĉapitro 12

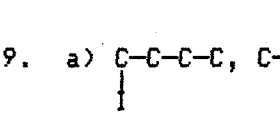
2. a) $_{-1}^{0}\beta$ ĉ) $^{226}_{88}Ra$
3. a) $^{4}_{2}\alpha$ ĉ) $^{18}_{8}O$
5. masnombro estas je kvar malpli; atomnumero estas je du malpli
8. restas 1/16
11. penetrivo: gama > beta > alfa; jonpara produktiĝo: alfa > beta > gama

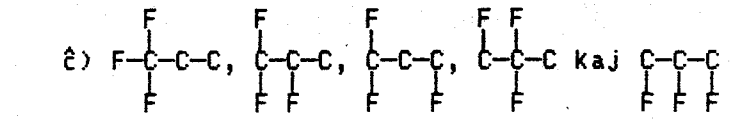
Ĉapitro 13

2. a) la detala struktura formulo estas  ;
la kondensa struktura formulo estas $CH_3-CH_2-CH_3$
3. a) 12 ĉ) 12
5. a) malsamaj manieroj per kiuj oni desegnas la saman molekulon
ĉ) molekuloj havantaj malsamajn molekulajn formulojn
6. a) 
7. a) 7 ĉ) 7
8. a) 2-metilbutano ĉ) 3-etilheksano
10. a) 
ĉ) 

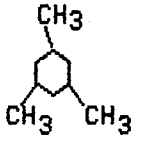
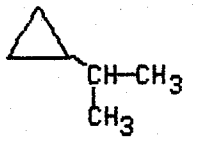
13. a) C–C–C– kaj  ĉ)  kaj 

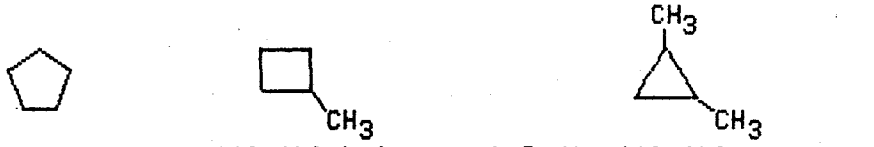
17. a) $2C_2H_6 + 7O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 6H_2O$

19. a) 

ĉ) 

22. a) 14 ĉ) 13

24. a)  ĉ) 

26. 

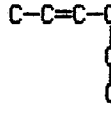
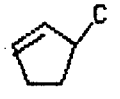
ciklopentano metilciklobutano 1,2-dimetilciklopropano



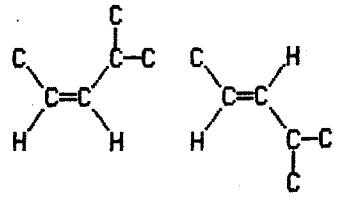
1,1-dimetilciklopropano etilciklopropano

Ĉapitro 14 1. a) nesaturita, alkeno ĉ) saturita
f) nesaturita, cikloalkeno

2. a) 2-penteno ĉ) ciklopenteno

3. a)  ĉ) 

7. a) unua molekulo, trans; dua molekulo, cis

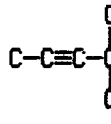
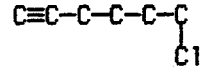
8. a) forestas izomereco cis-trans ĉ) 

cis trans

f) forestas izomereco cis-trans

9. a) ambaŭ izomeroj ĉ) ambaŭ izomeroj

10. a) 2-heksino ĉ) 3-metil-1,4-heksadiino

11. a)  ĉ) 

12. a) C_nH_{2n} ĉ) C_nH_{2n-6}

13. a) C≡C–C–C, C–C≡C–C

14. a) C=C–C, 

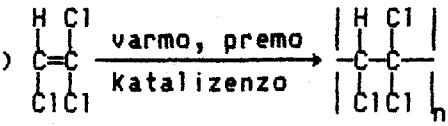
16. a) $CH_2=CH_2 + H-H \longrightarrow CH_3-CH_3$

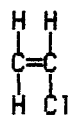
ĉ) $CH_2=CH_2 + H-Br \longrightarrow Br-CH_2-CH_2-H$

17. a) $CH_2=CH-CH_2-CH_3 + H-OH \longrightarrow CH_3-CH(OH)-CH_2-CH_3 +$ $HO-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

18. a) $CH_2=CH-CH_3 + H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3-CH_2-CH_3$

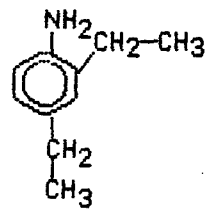
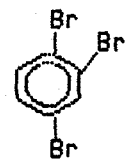
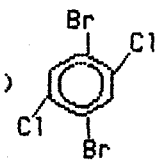
ĉ) $CH_2=CH-CH_3 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3-CH(OH)-CH_3$

21. a) 

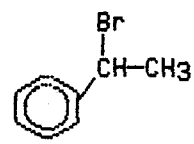
22. a) 

Ĉapitro 15

1. a) aromata ĉ) aromata f) aromata
3. a) etilbenzeno ĉ) 1-etil-4-izopropilbenzeno
4. a) 2-fenilpropano ĉ) 2,5-difenilheksano
5. a) o-etiltolueno ĉ) orto-klorfenolo
6. a) 1,3-diklor-5-nitrobenzeno ĉ) 1,3,5-triklorbenzeno

7. a)  ĉ)  f) 

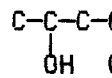
8. la ses izomeroj estas:
1,2-dibrom-3-klorbenzeno, 1,2-dibrom-4-klorbenzeno,
1,3-dibrom-2-klorbenzeno, 1,3-dibrom-4-klorbenzeno,
1,3-dibrom-5-klorbenzeno, kaj 1,4-dibrom-2-klorbenzeno
10. a) 1 ĉ) 3

12. a)  ĉ) 

13. a) nesaturita kaj alifata ĉ) nesaturita kaj alifata

Ĉapitro 16

1. a) alkoholo ĉ) alkoholo f) fenolo
3. a) 2-butanolo ĉ) 2,4-dimetil-2-pentanolo

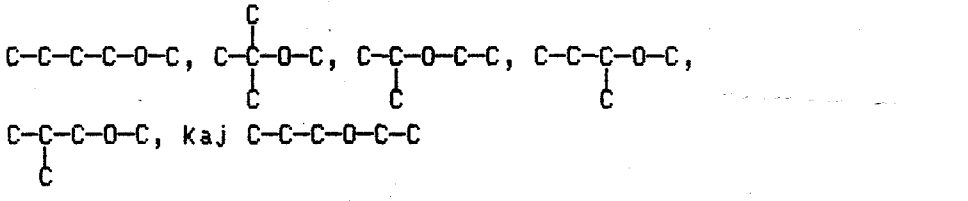
4. a)  ĉ) 

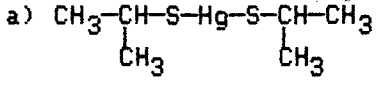
5. a) 1,3-propandiolo
7. a) p-etilfenolo ĉ) p-hidroksifenolo

10. a) sekundara ĉ) sekundara f) primara
11. 1-butanolo (primara), 2-butanolo (sekundara), 2-metil-1-propanolo (primara), kaj 2-metil-2-propanolo (terciara)

16. a) $CH_2=CH_2$ ĉ) $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

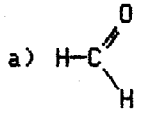
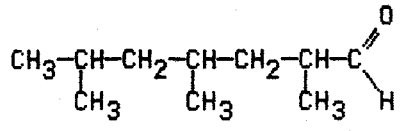
18. 3-pentanolo liveras nur 2-pentenon; 1-pentanolo liveras nur 1-pentenon
23. a) etila metila etero, metoksietano
ĉ) di-n-butila etero aŭ n-butila etero, 1-n-butoksibutano

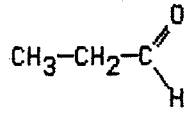
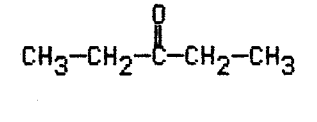
25. 

30. a) 

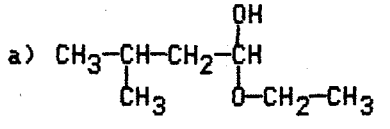
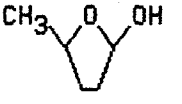
Ĉapitro 17

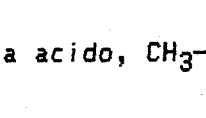
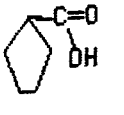
1. a) entenas karbonilon ĉ) ne entenas karbonilon f) entenas karbonilon
3. a) butanalo ĉ) 3-fenilpentanalo

4. a)  ĉ) 

11. a) aldehido,  ĉ) ketono, 

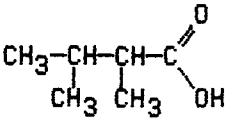
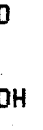
13. a) hemiacetalo ĉ) hemiacetalo f) neniu

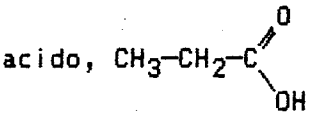
14. a)  d) 
f) CH_3-CH_2-OH

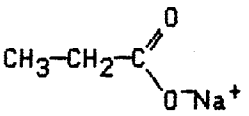
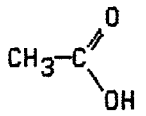
16. a) karboksila acido,  ĉ) karboksila acido 

Ĉapitro 18

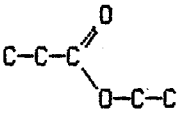
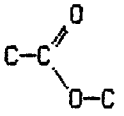
1. a) entenas karboksilon ĉ) entenas karboksilon
f) ne entenas karboksilon
2. a) pentanacido ĉ) 2,4-dimetilbenzoa acido

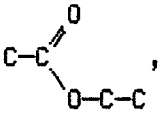
3. a)  ĉ) 

5. a) acido, 

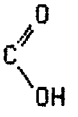
7. a)  ĉ)  + $NaNO_3$

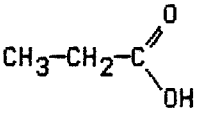
8. a) kalia butirato ĉ) natria acetato

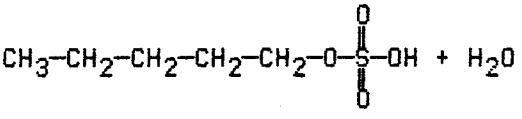
11. a)  ĉ) 

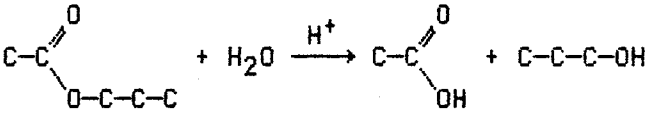
12. a)  , etila acetato, etila etanoato

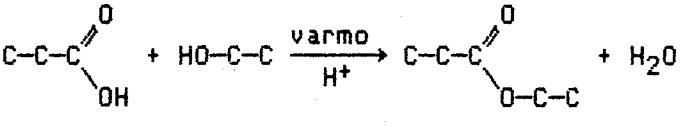
15. a) metila acetato, metila etanoato

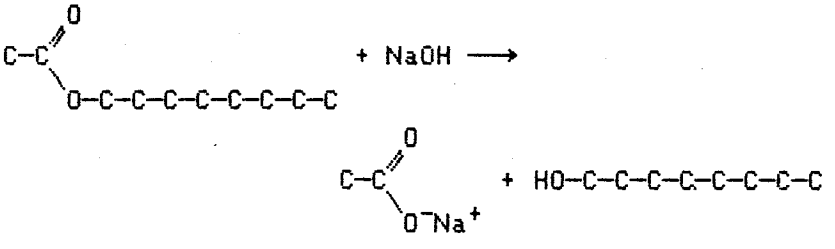
16. a)  , etila formiato, etila metanoato

20. a) 

22. a) 

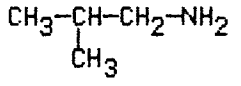
23. a) 

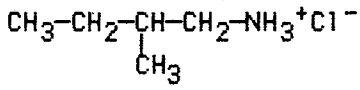
ĉ) 

f) 

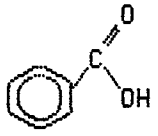
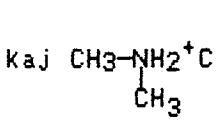
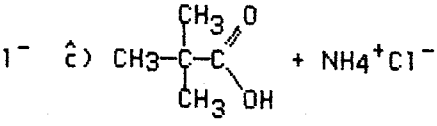
Ĉapitro 19
1. a) amino ĉ) amino f) amino
5. a) dietilamino ĉ) dimetil-n-propilamino
6. a) 2-amino-4-metilpentano ĉ) 1,2-diaminociklopentano

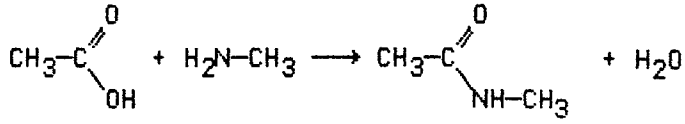
7. a) 2,6-dimetilanilino ĉ) 3,5-dikloranilino
8. a) N-metil-2,3,6-trimetilanilino ĉ) 1,4-diaminobenzeno aŭ 4-aminoanilino

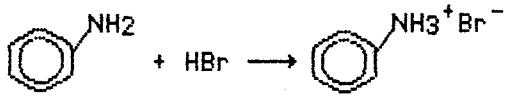
11. a) 

13. a) 

15. a) entenas amid-grupon ĉ) ne entenas amid-grupon
17. a) propanamido ĉ) N-etilbenzamido
18. a) NH_3 ĉ) H_2O

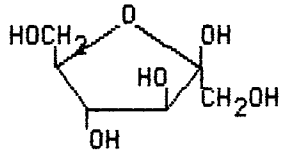
19. a)  kaj  ĉ) 

21. a) 

22. a) 

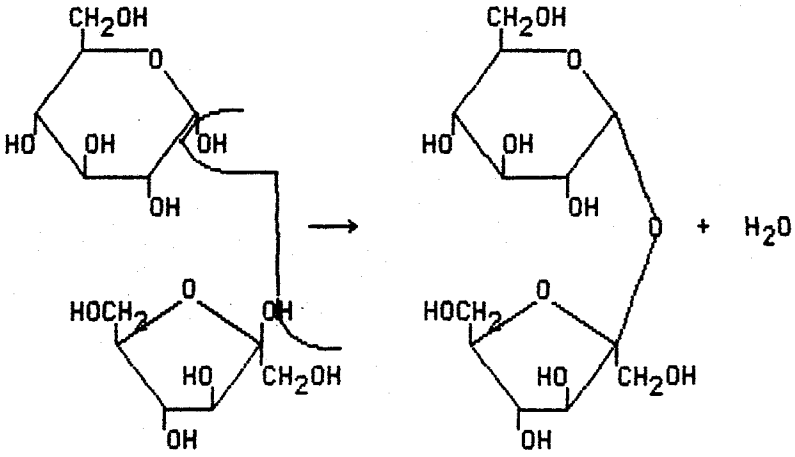
Ĉapitro 20

2. a) sakarido kaj disakarido c) sakarido kaj polisakarido d) sakarido kaj polisakarido f) sakarido kaj polisakarido
3. a) ketozo b) aldozo
4. a) pentozo b) triozo

5. b) α 

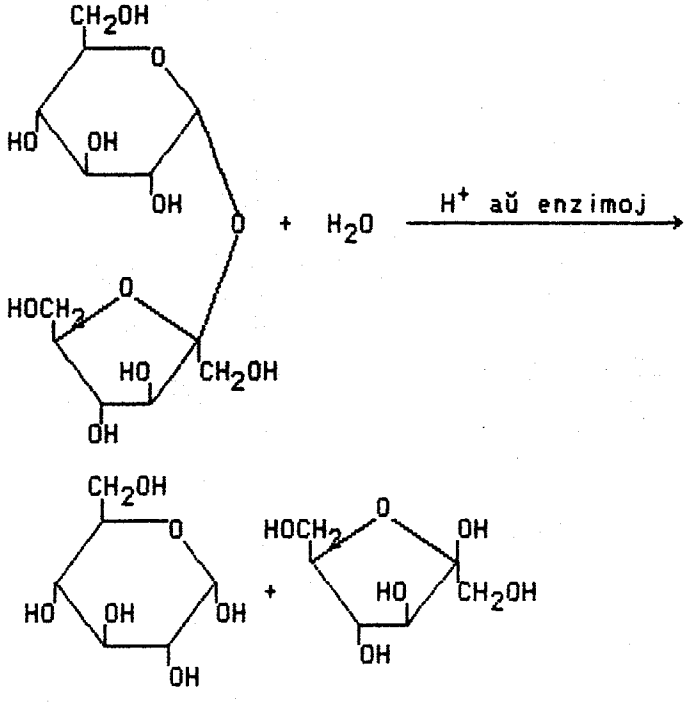
6. b) fruktozo
7. b) en glukozo la grupo —OH de pozicio 4 celas malsupren, sed en galaktozo ĝi celas supren
8. cikla
9. a) fruktozo c) ribozo kaj desoksiribozo d) fruktozo
11. a) jes c) ne

13. a)

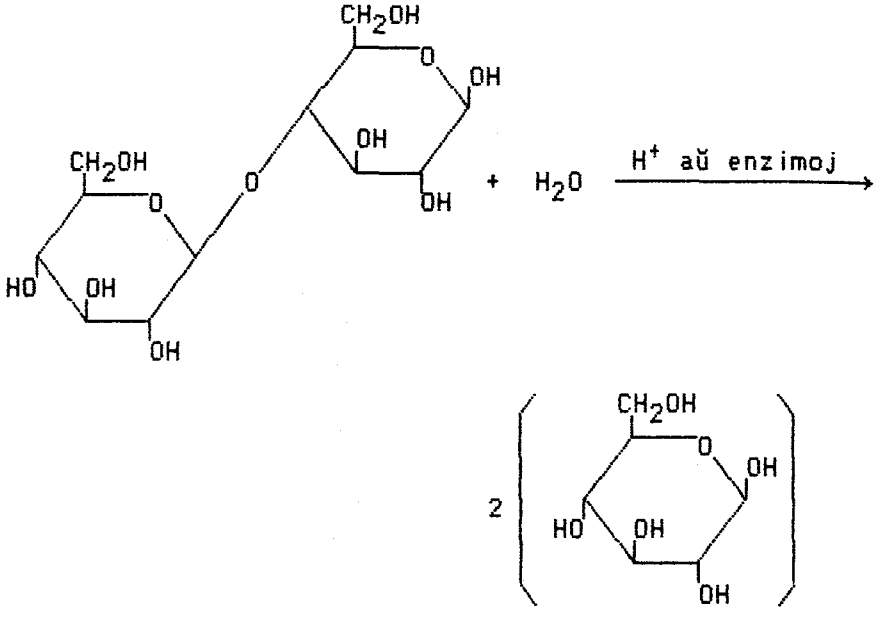


14. a) sakarozo c) laktozo d) sakarozo

15. a)



ĉ)

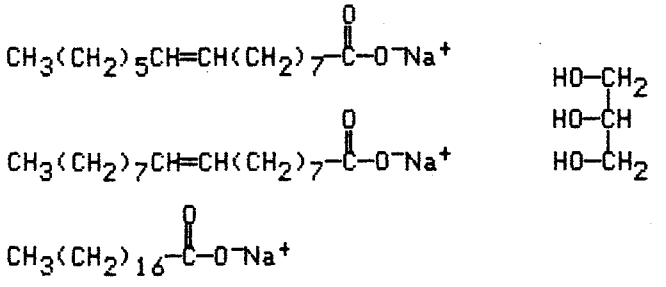


17. a) jes b) ne
18. a) amelozo c) glikogeno
19. a) amelopektino c) amelopektino

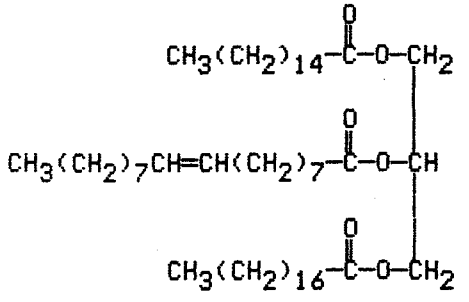
Ĉapitro 21

2. a) jes c) jes
5. molekul-maso kaj grado de satureco
6. b) olea acido estas pli saturita
7. a) grasoj - el animaloj; oleoj - el vegetaĵoj
   ĉ) ambaŭ liveras glicerolon kaj tri molekulojn de grasacido
8. a) glicerolo kaj tri molekuloj de grasacidaj saloj (sapoj)
   c) solidaĵo

9. a)



c)



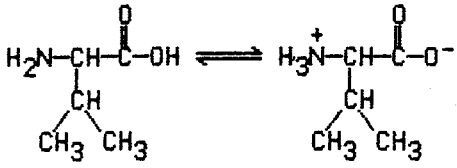
10. a) sapigo ĉ) hidrolizo
13. ĉiuj korpaj steroidoj
14. a) surrena kortiko c) ovarioj
16. a) natria glikoĥolato
18. a) vitamino A liveras parton de la strukturo de vida proteino

c) vitamino E ŝajnas agi kiel oksidiĝo-inhibenzo, protektante korpan grason kaj aliajn substancojn

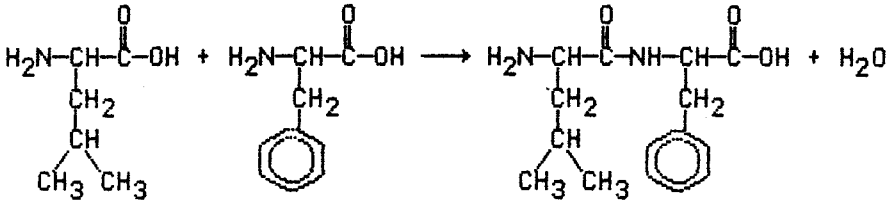
19. a) vitamino K ĉ) vitamino A e) vitamino K

Ĉapitro 22

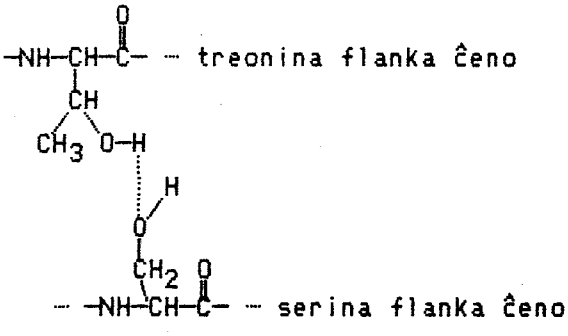
1. a) 2 c) 1
2. a) kataliza c) hormona
5. a) alanino c) lizino
6. a) nepolusa c) baza

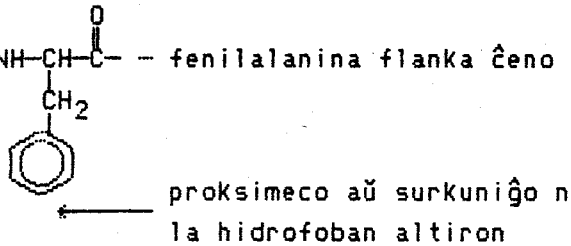
8. a) 

10. peptido entenas plurajn aminoacidajn unuojn kemie kunligitajn

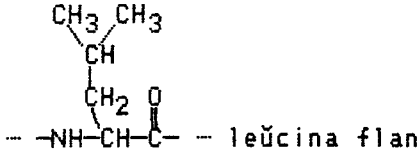
12. 

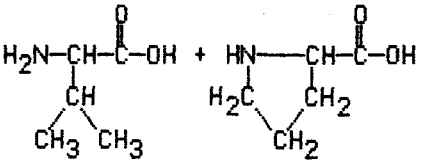
14. val-leu-arg, val-arg-leu, leu-val-arg, leu-arg-val, arg-leu-val, arg-val-leu
15. 6
18. a) amidaj ligoj (aŭ peptidaj ligoj) c) disulfidaj ligoj, sal-ligoj, hidrogen-ligoj, kaj hidrofobaj altiroj
19. a) hidrogen-ligiĝo c) disulfida ligo

20. a) 

ĉ) 

proksimeco aŭ surkuniĝo naskas la hidrofoban altiron

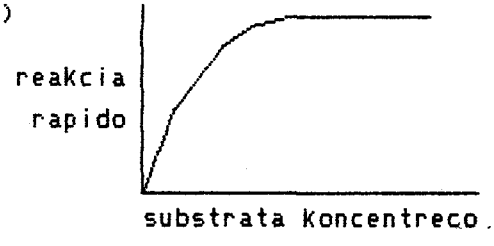


22. b) 

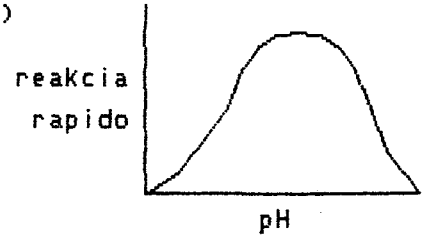
25. La sekundara, terciara, kaj kvarternara strukturo de proteinoj aliformiĝas ĉe denaturado. La procedon ofte akompanas precipitiĝo de la proteino kaj perdo de biologia aktiveco.

Ĉapitro 23

2. Enzim-katalizitaj reakcioj produktas nur la deziratan produkton, dum neenzim-katalizitaj reakcioj preskaŭ ĉiam naskas unu aŭ pli da kromproduktoj.
4. La altaj molekul-masoj de enzimoj estas en akordo kun sia proteineco. Enzimoj perdas sian katalizan agadon, submetite al varmo, acidoj, bazoj, kaj aliaj kondiĉoj kiuj kutime denaturas proteinojn.
6. a) aktiviganto, kofaktoro c) koenzimo, kofaktoro
8. a) b c) c
9. a) formiĝo de fosfataj esterligoj c) adicio de karboksiloj al kombinaĵoj
10. a) ureo c) fruktozo
11. a) substrato - ĥolino, reakcia tipo - formiĝo de esterligoj
    c) substrato - histidino, reakcia tipo - forpreno de karboksilo
12. La substrato havas formon kaj grandon, kiu konformiĝas al la formo kaj grando de la aktiva centro.
14. Transforma nombro estas la nombro da substrataj molekuloj sur kiujn agas ĉiuminute unu molekulo de enzimo.
15. a)



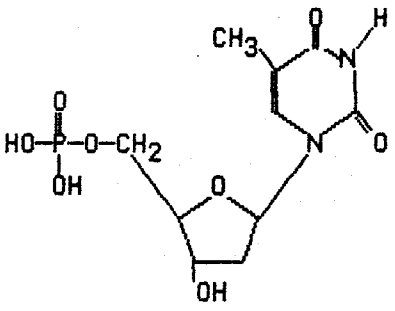
c)



17. Konkura kaj nekonkura inhibiĝo enzima diferencas en la situo kie la inhibenzo ligiĝas al la enzimo. En konkura enzima inhibiĝo, la inhibenzo ligiĝas ĉe la aktiva centro, dum en nekonkura enzima inhibiĝo la inhibenzo ligiĝas ĉe alia regiono esenca por konvena funkciado, kvankam tiu regiono ne estas la aktiva centro.
18. a) Sulfamidaj drogoj ilustras konkuran inhibiĝon per tio, ke ili ligiĝas al la aktivaj centroj de enzimoj sed rifuzas konduti kiel normalaj substratoj.
    c) Pezaj metaloj, kiaj estas hidrargo kaj plumbo, reakcias kun sulfhidriloj (-SH) troveblaj en multaj enzimoj. Ili povas ankaŭ kaŭzi enziman denaturiĝon.
20. laktata deshidrogenazo
22. a) Kor-muskola damaĝo estas diagnozebla per la ĉeesto de SGOT en sero.
    c) Troaj kvantoj da sera glutama-piruva transaminazo (SGPT) indikas infektan hepatiton.

Ĉapitro 24

1. Nukleotidoj estas la monomeroj aŭ la ripetaj strukturaj unuoj de nukleaj acidoj.

3. 

6. la ĉeno de alternaj fosfataj kaj sukeraj unuoj
8. a) ATACGT b) AATGGC
11. a) transiga RNA c) ribosoma RNA d) mesaĝa RNA
12. a) malvera; ĉiun kodonon komponas tri literoj
    c) malvera; la genetika kodo ne havas interpunkcian signalon por marki la finon de unu kodono kaj la komencon de la sekvanta
    d) malvera; tute probablas ke la aminoacidaj kodonoj estas la samaj por ĉiuj vivuloj
    f) malvera; protein-sintezo komenciĝas ĉe la N-finloka aminoacido
    ĝ) malvera; la kodono AAA prezentas lizinon, kaj la kodono CCA prolinon.

Ĉapitro 25

2. a) Por ke varmo-energio estu maksimume utila, signifaj temperaturaj diferencoj devas ekzisti inter regionoj de la korpo. La temperaturaj diferencoj ene de la korpo, tamen, estas tre malgrandaj.
    b) Energio en la formo de varmo povus difekti la rompiĝemajn kaj temperatur-sentivajn molekulojn de ĉeloj.
4. a) ŝtupo 2, la ciklo de Krebs b) ŝtupo 1
    c) ŝtupo 3, la elekton-transporta ĉeno ĉ) ŝtupo 1
6. a) ATF entenas trifosfatan grupon. ADF havas difosfatan grupon.
    b) ATF entenas du alt-energian fosfat-ligojn. Hidrolizo de ATF al ADF liveras 7300 kaloriojn. ADF entenas unu alt-energian fosfat-ligon. Hidrolizite al AMF, ĝi liveras 7300 kaloriojn.
8. Anabolo temas pri la sintezo de novaj ĉelaj komponantoj. Katabolo estas la disrompo de molekuloj en ĉeloj. Metabolo estas la totalo de ĉiuj reakcioj de anabolo kaj katabolo.
10. Hipoglikemio estas kondiĉo karakterizita per malalta sango-sukera nivelo. En ekstremaj kazoj, estiĝas diversaj el la sekvantaj karakterizaj simptomoj: ĝenerala malforteco, tremado, abunda transspiro, rapida korbato, blankiĝo de la haŭto, kaj perdo de konscio.
12. Glikozurio ofte kunestas kun sukera diabeto. Sukera diabeto estiĝas kiam la korpo produktas nesufiĉajn kvantojn da insulino.
14. Sukera diabeto estas karakterizita per nesufiĉaj kvantoj da insulino. Renan diabeton karakterizas nenormale malalta rena sojlo por glukozo.
16. Insulino reduktas sangajn glukozajn nivelojn. Epinefrino kaj glukagono efikas kontraŭe per tio, ke ili ekscitas la ŝanĝon de glikogenon en glukozon.

19. glikolizo, ciklo de Krebs, elektron-transporta ĉeno
21. Oksigena ŝuldo estas stato en kiu lakta acido estas akumuliĝinta en la korpo. Ĝi rezultas el streĉa ekzercado.
22. La elektron-transporta ĉeno konvertas la de ni spiratan oksigenon en akvon kaj energion por ATF-sintezo.
24. a) anaerobia b) aerobia
26. trigliceridoj
28. La termino keton-korpoj aludas tri substancojn: acetoacetan acidon, β-hidroksibutiran acidon, kaj acetonon - ĉiuj el acetila KoA.
30. ketoacidoj
32. piruva acido

I N D E K S O

Tiuj terminoj markitaj per steleto (*) en la Indekso estas neologismoj. Tio estas, ili ne troviĝas en PIV aŭ havas tute alian sencon ol la samformaj vortoj troveblaj tie. Multajn kemiajn terminojn -- precipe substanc-nomojn -- ni ne rigardas neologismoj, ĉar ili estas facile kunmeteblaj el vorteroj jam registritaj en PIV far tiuj, kiuj konas kemion. Multaj el la sube markitaj neologismoj enestas en aliaj verkoj krom PIV, ekzemple: "International Chemical Dictionary" (Internacia Kemio-Vortaro). Angla-Esperanta-Germana Eldono. Verlag G. + M. Westermayer, 198[illegible].

La mallongigoj uzitaj en la Indekso estas: V = vidu; Va = vidu ankaŭ.

A

absoluta alkoholo (Va: etanolo) 349
aceta acido
    formanta acetilsalicilan acidon 384
    formanta etilan acetaton 384
    formanta natrian acetaton 382
    formita per oksidigo de etanalo 371
    glacia 377
    strukturo 378, 380
    uzoj 380
acetaldehido (Va: etanalo)
acetaloj 369-370
acetila KoA (koenzimo A)
    glukoza metabolo 499
    lipida metabolo 514-516
    produktita per disiĝo de grasacidoj 515-516
    strukturo 517
    troaĵo ŝanĝita en ketonkorpojn 517
acetileno (etino) 318-319
acetil-salicila acido 378, 384
aceto-aceta acido 517
aceto-acetila KoA (koenzimo A) 517
acetono (Va: 2-propanono)
    ekstrema ketozo 517
    ketonkorpo 516-517
    strukturo 364
    uzoj 365-366
acida solvaĵo 214
acid-bazaj difinoj 203-205
acid-bazaj indikenzoj 221
acid-baza reakcio 205
acideco 219
acido de Arrhenius 203
acido de Brønsted-Lowry 204
acidoj
    disocio 205-206
    klasitaj laŭ jona produktivo 206
acidoj kaj bazoj

analizo 219-221
forto 205-206
acidozo 233, 517
adenino* 480
adenozina difosfato 501
adenozina monofosfato 501
adenozina trifosfato 499
altenergiaj fosfataj ligoj 500
energia stokiĝo 500-501
produktita de sakarida katabolo 513
rolo (en energia ciklo) 500, 508
strukturo 500-501
ŝanĝita en malaltenergiajn produktojn 508
adherenzo 291
adiciaj polimeroj 315
adipa acido 406
adrenalino (epinefrino) 402
aerobiaj kondiĉoj 509
aerosolo 178
akonita acido 511
akrilaj plastoj (V: polimetilmetakrilato)
aktiva centro 467
aktiviga energio 190
aktiviganto 465-466
akva solvaĵo 155
akvo 213-214
alanino 446, 488, 518
aldehidoj
ecoj 365
eventualaj 369
formantaj acetalojn kaj hemiacetalojn 369
hidrogenizo 368
Komparitaj kun ketonoj 363-364
nomenklaturo 364-365
oksidigaj reakcioj 370-371
oksidigitaj en karboksilajn acidojn 371
pozicio de karbonilo 363-364
preparo 366-368
produktado 347, 367
reakcioj (kun alkoholoj) 368
strukturo 363-364
aldosterono* 436
aldozoj 411, 413
aldrino* 389
alfa-ereta diseriĝo 256-257
alfa-ereto 255, 265-266
alfa-helico 451, 453
alfa-keratino 452
alfa-radioj 255
alifata kombinaĵo 324
alifataj hidrokarbonoj (Va: alkanoj, alkenoj, alkinoj) 334-335
alkalozo 233
alkanoj
branĉaj 283
fando- kaj bolpunktoj 291-292
feromonoj 295-296
fizikaj ecoj 291-292
formitaj el alkenoj 312
halogenizo 293-295

Kemiaj ecoj 292-293
molekula strukturo 278-279
nature ekzistantaj 295-296
nomenklaturo por 284-288
normalaj 283
struktura izomereco 279-280
strukturaj formuloj 282
vivaj organismoj 295-296
alkenoj
bruligo 314
fizikaj ecoj 311
formado de adicia polimero 315
formitaj el alkinoj 319
halogenizo 314
hidratigo 313
hidrogenizo 313
Kemia reakciemo 312
laboratoria testo 312
natura estiĝo 311-312
ne-simetria aldono de molekuloj 313-314
nomenklaturo 307-309
polimerigo 315-317
produktitaj per deshidratigo de alkoholoj 346
simetria adicio de molekuloj 312-313
strukturo 306
ŝanĝitaj en alkanojn 313
alkilaj grupoj (V: alkiloj)
alkilaminoj
ecoj 397-398
nomenklaturo 396-397
tokseco 398
alkilizo (de benzeno) 329
alkiloj 285-289
alkinoj
adiciaj reakcioj 319
kiel antibiotikoj 319
hidrogenizo 319
Kemiaj ecoj 318-319
nature ekzistantaj 319
nomenklaturo (ecoj de) 318
ŝanĝitaj en alkenojn 319
alkoholoj
biologia graveco 350
deshidratigo 346-347
dihidroksilaj 342
efiko de hidrogena ligiĝo 344
fizikaj ecoj 345
formantaj acetalojn kun aldehidoj 369-370
formantaj esterojn kun karboksila acido 383-384
formantaj esterojn kun neorganikaj acidoj 388-389
formantaj hemiacetalojn kun aldehidoj 369-370
hidroksiloj (nombro) 340, 344
kiel izomeroj de neciklaj esteroj 352
klasifiko 344
Komparitaj kun tioloj 355
nomenklaturo 341-343
polihidroksilaj 342
preparo 313-314
primaraj 344

reakcioj 346-347
regita oksidigo 347
sekundaraj 344
solveblo en akvo 345
strukturaj trajtoj 340
terciaraj 344
trihidroksilaj 342
alkoksi-grupo 353
alt-energiaj fosfataj ligoj 500
ambaŭ-jono* 448
amelazo 466
amelo 419-420, 422
amelopektino 421
amelozo 420
amfetaminoj* 401-402
amida grupo 403
amida hidrolizo 404
amida ligo 403
amidoj
hidrogena ligiĝo 403-404
hidrolizo 404
klasifiko 402-403
nomenklaturo 403
preparo 403
reakcioj 404
uzoj 404-406
amilozo (V: amelozo)
aminaj saloj 401
aminoacida centro 494
aminoacida metabolo 517-519
aminoacidoj
ambaŭ-jonoj 448
ciklo de Krebs 518
determinantaj la ecojn de proteinoj 444-445
esencaj 446-447
graveco de sinsekvo 449
kodonoj por mesaĝa RNA 489
metabolo 517-519
solvaĵoj (kiel bufroj) 448
strukturo 445-446
ŝanĝitaj en keto-acidojn 517-519
p-aminoazobenzeno 399
aminobenzeno 327, 397
amino-grupo 395
aminoj (Va: amfetaminoj)
aromataj 397
estiĝo 398
hidrogena ligiĝo 398
klasifiko 395
nomenklaturo 395-397
odoro 398
preparo 399-400
primaraj 395
reakcioj 400-401
saloj 401
sekundaraj kaj terciaraj 395
uzoj 398-399
amu (V: atomaj masaj unuoj)
anabolo 502

anaerobia glikolizo 509
anaerobiaj kondiĉoj 509
androsterono* 435
anestezaj ecoj de eteroj 353-354
anilino
    preparo 400
    strukturo 327, 397
antraceno 331
antikodono* 488
antisepsenzo 349-350
apoenzimo* 465
arakida acido 429
arakidona* acido 429
arginazo* 475
arginino* 446, 490
arilo 324-325
aromata kombinaĵo 324
aromataj alkoholoj (V: fenoloj)
aromataj aminoj 397
aromataj hidrokarbonoj
    fontoj 332
    Kompare kun alifataj hidrokarbonoj 335
    polikernaj 331
Arrhenius (, Svante) 203
artefarita radioaktiveco 259
askorba acido (V: vitamino C)
asparagino 446, 490
asparta* acido 446, 490
aspirino 378, 384
astato 263
aterosklerozo 434
atmosfero 128
atoma maso 47, 65
atoma nukleo 254
atoma numero 45
atoma strukturo 44, 75-81
atoma teorio 38
atomaj masaj unuoj (amu) 47
atomoj (Va: elementoj)
    determino de la nombro 59
    diferencoj inter 44-47
atributo XII
Avogadro (, Amedeo) 62, 65

B

bakelito 365
bak-pulvoro 111
baza solvaĵo 214
bazo (V: acidoj kaj bazoj)
bazo de Arrhenius 203, 205
bazo de Brønsted-Lowry 204
Becquerel (, Henri) 255
Benedict (V: reagenzo de Benedict) 371
benzaldehido 371
benzedrino 402
benzenaj derivaĵoj (polikernaj) 331
benzenaj derivaĵoj (substituitaj)
    nomenklaturo 326-328
    reguloj por nomado 326-328

uzoj 330
benzeno
alkilizo 329
bromizo 330
derivaĵoj 330
malalta reakciemo 324-325
nitroizo 330
polikernaj aromataj hidrokarbonoj derivitaj 331
reakcioj 329-330
strukturo 325-326
substituaj reakcioj 329-330
sulfonizo 329-330
uzoj 330
benzensulfona acido 330
benzino (denso de) 17-18
benzoa acido 371, 382
strukturo 378
1,2-benzpireno 331
beta-ereta diseriĝo 257-258
beta-ereto 256
penetra kapablo 266
beta-plisita lameno 451-452
artefarite produktita en lana proteino 452
hidrogenaj ligoj 452-454
kontraŭparalela 452
nature estanta en silko 452
paralela 452
strukturo 453-455
beta-radioj 256
biacetilo 366
bilancita kemia ekvacio 55
bilancita nuklea ekvacio 257
binaraj jonaj kombinaĵoj 99
biosintezo 502
bisfenolo-A (diano) 355
bobelo 140
bolado 140
bolpunkto 140-141
efiko de solvezo 170-172
leviĝo 170
normala 141
solvaĵo 169
bombarda reakcio 259, 263-264
Boyle (, Robert) 129
branĉa alkano 283
p-bromaminobenzeno 397
p-bromanilino 397
brombenzeno 327, 330
1-brometeno 319
p-bromfenolo 343
bromizo
alkenoj 312
benzeno 330
propano 294
1-brom-3-klorbenzeno 328
meta-bromklorbenzeno 328
1-brom-2,2,2-trifluor-1-kloretano 295
Brønsted (, J.N.) 204
Brown (, Robert) 179

brulemo 354
bruligo 249
    alkanoj 292
    alkenoj 314
    rilatumo aero/brulaĵo 292
butanacido 380
    kaŭzanta odoron de ranca butero 432
trans-2-buteno 308
trans-2-buten-1-tiolo 356
buter(at)a acido (V: butanacido)
α-butileno 308
β-butileno 308
sek-butilo 289
terc-butilo 289
butira acido (Va: butanacido) 429

C

Celsius 19
celulozo 421-422
cerota* acido 429
cetila alkoholo 434
Charles (, Jacques) 132
ciklaj eteroj 352
ciklaj hemiacetaloj 369
    glukozo 415
ciklo de Krebs 499-500, 510-511
    aminoacidoj 518
    elektron-transporta ĉeno 513
    neta resuma reakcio 511
    vojstreko 511
cikloalkanoj 277
    figuroj uzataj por bildigi strukturon 297
    geometria izomereco 297, 310
    nomenklaturo 297-299
    strukturo 297
cikloalkeno 307
cikloalkinoj 318
cinamaldehido 366
cisteino 446, 490
citokroma oksidazo 472
citokromoj 512
citozino* 480
citra acido 380
citr-acida ciklo (V: ciklo de Krebs)
Crick (, F.H.C.) 482-483
Curie (, Marie) 255
Curie (, Pierre) 255
cviter-jono (V: ambaŭ-jono)

Ĉ

ĉef-grupaj elementoj 86
    valentaj elektronoj 92
ĉef-rola elektrono 84
ĉel-parieto 421
ĉifiĝo ringa 297

D
Dacron 388
Dalton (, John) 38
defalaĵo radioaktiva 268-269
deir-materialo 330, 381
dekstrozo (V: glukozo)
delokalizacio* 326
denaska eraro de metabolo 473
denaturita alkoholo (V: etanolo)
denso 16-18, 123-124
    ekzemploj 17
    kalkulo 16-18
    transkalkula faktoro (uzo kiel) 17-18
desaminiĝo 517
deshidratigo 346
deshidrogenazo 473
desinfektenzo 351, 459
desoksiribonuklea acido (Va: nukleaj acidoj, ribonuklea acido) 478
    bazaj sinsekvoj 483, 488-489
    duopa helica strukturo 483
    komplementaj bazaj paroj 483
    memreplikiĝo 484-485
desoksiribozo 414
2-desoksiribozo 479
detala struktura formulo 281
detergento* 3, 388
diabeto 417, 505-506, 508, 517
dializo 180
diano (V: bisfenolo-A)
1,1-dibrometano 319
1,2-dibrometano 295
dieldrino* 389
dietilamido de lizerga acido (L.S.D.) 405
dietilamino 399
dietiletero 353
N,N-dietil-m-toluamido 405
1,2-dietoksietano 353
1,1-difluor-2,2-diklor-etila metila etero 354
difluordiklormetano 295
dihidroksilaj alkoholoj 342
2,4-diklorfenoksiaceta acido 378
diklormetano 293
1,3-diklor-5-metilbenzeno 328
3,5-diklortolueno 328
diklorvoso* 389
dilatiĝo 19
dilua solvaĵo 155
dimensia analizo 14-16, 64
dimetila etero 352
dimetilamino 396
dimetilamonia klorido 401
N,N-dimetilbenzamido 403
meta-dimetilbenzeno 328
orto-dimetilbenzeno 328
para-dimetilbenzeno 328
2,4-dimetilpentano 286
3,3-dimetilpentano 286
2,3-dimetil-5-sek-butilnonano 289

2,4-dimetiltolueno 328
2,5-dimetoksi-4-metilamfetamino 402
dioloj 342
dipeptidoj 448
dipola interago 141
    hidrogena ligiĝo 142
    poluseco 141
diprotona acido 207
disakaridoj 413, 417-418
    ecoj 419
    hidrolizo 419
diseriĝo (V: radioaktiva diseriĝo)
dislokiĝintaj elektronoj 326
disocio
    acidoj kaj bazoj 205-207
    pura akvo 213-214
dispersaĵo 177
dispersanta medio 178
dispersita fazo 178
disrompa forto 122
distil-benzino* 291
disulfidaj ligoj 356, 454
disulfidoj 356-357
divinila etero 354
DNA (V: desoksiribonuklea acido)
dodekano* 285
donanto 95, 105
dratigeblo 87
duatomaj molekuloj 108
duobla kovalenta ligo 103
duobla substitua reakcio 248
duoblaj ligoj
    adicio 312-314
    alkenoj 306
    cis- kaj trans-formoj 309-310
    geometria izomereco 309-311
duoniĝo-daŭro* 262-263
    ekzemploj 262
    kalkulo 263
    sintezaj elementoj 263-264
duonmetaloj 88
duontralasa membrano 175-176
duopa helico 483

E

efedrino 399
eksponenta notacio 7-11
eksponento kaj bazo 8
ekvilibro
    kemia 194
    pozicio 195
ekvivalenta maso 165
ekvivalenta punkto 221
ekvivalento 165
    acidoj kaj bazoj 221
    determino 222
ekzergona* procezo 187
ekzoterma ŝanĝiĝo 136-137, 187
elektrolitoj 209

fiziologia graveco 209
sanga plasmo 230
elektrona kunhaviĝo 95
neegaleco 106
elektrona transiĝo 95-97
elektronaj konfiguracioj 81-85
kemiaj ecoj 83-84
noblaj gasoj 93-94
perioda tabelo 85
elektronoj 43-46
aranĝiĝo ĉirkaŭ nukleo 75-82
dislokiĝintaj (en benzeno) 326
energio 76
kondutaj figuroj 75-81
partoprenantaj en kemiaj ligoj 92-94
valentaj 92-93
elektron-punkta strukturo 93-94
elektron-transporta ĉeno 499-500
elektrostatikaj interagoj 512-514
elektrostatikaj precipitatoroj 180
elementoj 30-31
ĉef-grupaj 86-87, 93
elektronegativeco 106-107
formiĝo 256-257
klasifikaj sistemoj 86-88
komparitaj kun kombinaĵoj 30-31
maloftaj teroj 87
nomoj kaj simboloj 31-33
radioaktivaj 263-265
sintezaj 263-265
transiraj 86-87
varia jona ŝargo 99
emulsio 178
endergona* procezo 187
endoterma ŝanĝiĝo 136, 187
energia ciklo 502
energia produktiĝo 499
energia rendimento de glukoza metabolo 514
energia stokiĝo 500
enflurano* 69, 354
entropio 187-188
-enz* (sufikso) XII
enzima agado (meĥanismo de) 467-468
enzima aktiveco
faktoroj influantaj 468-470
inhibenzoj 471
enzim-katalizitaj reakcioj 464
enzimoj 464
absoluta specifeco 465
aktivigantoj 465
apoenzimoj 465
diagnozaj 474
difektoj aŭ foresto 473-474
ecoj 465-466
faktoroj influantaj aktivecon 468-470
graveco 464-465
grupa specifeco 465
inhibenzoj de aktiveco 471-473
katalizenzoj 464

koenzimoj 465
kofaktoroj 465-466
komponantoj 465-466
malaktivigitaj per varmo 470
medicinaj aplikoj 474
meĥanismo de agado 467-468
molekulaj formoj 473
molekulaj masoj 465
nomenklaturo 466-467
optimuma temperaturo por aktiveco 470
pH influanta aktivecon 470
proteinoj 465-466, 470, 473
specifeco de agado 465, 467
substrata koncentreco influanta aktivecon 469
substrato ricevanta agadon 467-468
temperaturo influanta aktivecon 470
teorio de adaptiĝo 467-468
teorio de ŝlosilo kaj seruro 467
transforma nombro 469
epiklorhidrino* 354
epinefrino* (V: adrenalino)
epoksidoj 354-355
epoksi-kopolimeroj 355
epoksi-rezinoj 355
ereto (Va: subatomaj eretoj) 179
ergosterolo 438
esencaj aminoacidoj 446-447
fontoj 447
esencaj grasacidoj 430
estera hidrolizo 386-387
estera ligiĝo 383
formita de nukleotidoj 480-481
esterigo 383
esteroj
ecoj 385
formitaj el karboksilaj acidoj kaj alkoholoj 384
formitaj el neorganikaj acidoj 388-389
formuloj 384
gustigantoj 386
hidrolizo 386-387
nomenklaturo 384-385
polimerigo 387-388
reakcioj 385-387
reguloj por nomado 384-385
sapigo 387
sintezaj detergentoj 388
strukturo 386
uzataj kiel polurenzoj kaj ciroj 385
estradiolo 435
estriolo 435
estrogenoj 435
estrono 435
etanalo
oksidigita en acetan acidon 371
etandiacido 380
1,2-etandiolo 348, 350, 355
etano 279, 319
etanolo 347
denso 17

desinfekta efiko 349
ekzemplo de primara alkoholo 344
formanta etilan acetaton 384
hidrogena ligiĝo 345
izomero de dimetila etero 352
komerca produktado 348-349
produktita per fermentado de sakaridoj 349
produktita per gista fermentado de piruva acido 509
strukturo 348, 352
uzoj 348-349
eteno 308
eteroj
anestezaj ecoj 353-354
ciklaj 354
ecoj 353-354
funkciaj grupoj 341
izomeroj de alkoholoj 352
miksaj (nesimplaj) 352
nomenklaturo 353
simplaj 352
strukturaj trajtoj 341
tipoj 352
uzataj kiel enspiraj anestezaĵoj 354
etila acetato 384, 386
etila alkoholo (V: etanolo)
etila butanoato 386
etila butirato 386
etila etero 353
etila formiato 386
etila klorido 295
etilamino 400
etilamonia klorido 401
etilbenzeno 327
etilena glikolo (Va: 1,2-etandiolo)
etilena oksido 355
etileno (Va: eteno)
adicia polimerigo 316
bromizo 312
formado 319
molekula strukturo 308
oksidigita en etilenan oksidon 354
uzo (fruktaj kultivistoj) 311-312
5-etil-3-metiloktano 286
etino (V: acetileno)
etoksietano 353
eŭgenolo* 351
eventualaj aldehidoj 369

F

falĉil-forma anemio 450-451
fandiĝo 143
fandopunkto de grasaj acidoj 429
Farenhejta temperatura skalo 23
fazo 25
Fehling (V: reagenzo de Fehling)
fenacetino 405
fenilalanina hidroksilazo 474
fenilalanino

kodonoj 490
strukturo 446
fenilefrina hidroklorido 402
4-fenilheptano 327
fenilketonurio 474
feniloj 327
fenolo 343
derivaĵoj 343
ecoj 350
polimerigo 365
strukturo 327, 351
uzo (kiel antisepsa substanco) 350
fenoloj
fiziologiaj efikoj 351
hidroksilo 340
karakterizaĵoj 350-351
nature estantaj 351
nomenklaturo 341-343
strukturaj trajtoj 340
uzoj 350-351
feritino* 443
fermentado 464
fermento 464
feromonoj* 509
filina izotopo 257
finpunkto 221
fizika ŝanĝiĝo 5
fizikaj ecoj 4
solidoj, likvoj, kaj gasoj 120
fiziologia sal-solvaĵo 176
flanka ĉeno 445
flavino* 466
fluomaro* 354
fluoro 106
fona radiado 268-269
formaldehido
polimerigo (per fenolo) 365
strukturo 364
uzoj 365
formalino 365
formia acido 380
forpuŝoj 179
forta elektrolito 209
fosfata grupo 480
fosfataj esteroj 389
fosfataj ligoj 500
fosfatazo 465, 474
fosiliaj brulaĵoj 289
fotosintezo 249-250
Freon 295
fridigenzo 295
frostigenzo 295
frostopunkto (V: solidiĝopunkto)
β-fruktozo 416
funkcia grupo 306
funkcia hipoglikemio 506
fuzaĵo 399

G
galaktozemio 474
galaktozo 415
β-galaktozo 416
gal-saloj 436
gama-radiada diseriĝo 258-259
gama-radioj 256
    penetra kapablo 266-267
gasa stato 124
gasleĝaj variabloj 126
gasleĝoj 126
    kombinita leĝo 133-134
    leĝo de Boyle 129, 133
    leĝo de Charles 132-133
gasoj
    ecoj 120, 124-125
    komparitaj kun solidoj kaj likvoj 125-126
    premoj (en miksaĵoj) 134-135
genetika kodo 488-490
    deĉifrado 490
    degenereco 490
    ĝeneralaj trajtoj 489
    nesurkuniĝa trajto 490
geno 484
geometria izomereco 297, 309-311
    graveco 311
geometriaj izomeroj 309-310
    retinalo 311
glicerino (V: glicerolo)
glicerolo
    kombiniĝanta kun steara acido formante tristearinon 428
    kromprodukto de hidrolizo de kotonsema oleo 431
    kromprodukto de sapigo de grasoj kaj oleoj 431
    strukturo 348
    uzoj 350, 431
glicilalanino 449
glicino 446, 490
glikogenezo* 516
glikogeno 421
glikonola* acido 437
glikolizo* 508
glikoloj 342
globostanga modelo 278
glukagono* 505
glukoza katabolo
    ciklo de Krebs 511
    elektron-transporta ĉeno 512-513
    glikolizo 508-510
    ŝtupoj 508-514
glukoza metabolo 502-514, 518
    aerobia 509
    anaerobia 509
    energia rendimento 514
    produktoj 503
    reguliĝo 505-507
    rolo de proteinoj kaj grasoj 507
glukoza tolereca testo 507
glukozo

cikla hemiacetalo 414
ciklaj formoj 415
energifonto 508
fermentado 349
metabolo 502-507
natura troviĝo 414
polimeroj 420-421
provo por ĉeesto 417
strukturaj izomeroj 414-415
strukturo 413
ŝanĝita en piruvan acidon dum glikolizo 509
α-glukozo 414-415
β-glukozo 414-415
glukozurio 504
glutama* acido 446, 490
glutamino 446, 490
grando XII
grasacida ciklo 515-516
grasacidoj 429-430
ekzemploj 429
esencaj 430
fandopunktoj 429
fontoj 429
metabolo 514-516
molekulmasoj 430
produktitaj per hidrolizo de grasoj kaj oleoj 430-431
saturado 430
saturitaj kaj ne-saturitaj 429
ŝanĝitaj en acetilan koenzimon A 516
grasoj (Va: trigliceridoj)
digesto 431
ecoj 428
hidrogenizo 432
hidrolizo 430-431
ranciĝo 432-433
reakcioj 430-433
sapigo 431-432
grekaj nombro-prefiksoj 110
grena alkoholo (Va: etanolo) 348
grupa specifeco de enzimoj 465
guanino* 480

Ĝ

ĝelo 178

H

halidoj (V: halogenidoj)
halogenaj derivaĵoj de alkanoj 295
halogenidoj 314
halogenizitaj alkanoj 293-295
halogenizo 293
alkanoj 293-294
alkanoj kaj alkenoj (komparo) 312
alkenoj 312
Halothane 295
heksaklorofeno* 351
heksametilendiamino 399
heksanacido 380

heksilrezorcinolo 351
heksozoj (Va: monosakaridoj) 413, 415
    biologia graveco 414
hemiacetala grupo
    glukozo 415
    maltozo 418
hemiacetaloj* 369
    ciklaj 369
    formado 369
hemoglobino
    molekula formulo 444
    molekula maso 444
heteroatoma molekulo 29
heterociklaj kombinaĵoj 333
    entenantaj nitrogenon 334, 479
    komponantoj de acetaloj 479
heterogena katalizenzo 193
heterogena miksaĵo 26-28
hidratigita jono 158
hidrofobaj* altiroj 455
hidrogenizo
    aldehidoj 368
    alkenoj 313
    alkinoj 319
    grasoj kaj oleoj 313, 432
    ketonoj 368-369
    komerca uzo 432
hidrogen-ligoj
    alfa-helica strukturo de proteinoj 451-452
    alkoholoj 344-345
    amidoj 397-398, 403-404
    beta-plisita lamena strukturo de proteinoj 452
    duopa helico de DNA 483
    karboksilaj acidoj 381
    mesaĝa RNA kaj transiga RNA 488
    proteinoj 451-455
hidrokarbonoj 333-335
hidrogeno
    elektron-transporta ĉeno 512
hidrokinono 343
hidroksibenzeno 327
β-hidroksibutira acido 517
hidroksilo 340
    alkoholoj 340
    bazoj de Arrhenius 203
    fenoloj 340
m-hidroksimetilbenzeno 328
2-hidroksipropanacido (Va: lakta acido) 380
2-hidroksi-1,2,3-propantrikarbonacido 380
m-hidroksitolueno 328
hidrolazo 467
hidroliza reakcio 226
hidrolizaj trajtoj de saloj 226-229
hidrolizo
    acetaloj 371
    alkenoj 313-314
    alt-energiaj fosfataj ligoj 500
    amelo 420
    amidoj 404

celulozo 422
esteraj ligoj 432
glikogeno 421
grasoj kaj oleoj 430-431
nukleotidoj 480
proteinoj 457
sakarozo 418-419
hidrolizo de saloj 226-229
fiziologia graveco 229
hidronia jono 204
hiperglikemio* 504
hiperinsulinismo 506
hipertona* solvaĵo 177
hipervitaminozo 438
hipoglikemio* 504
funkcia 506
hipotona* solvaĵo 177
histidino* 446, 490
homoatoma molekulo 30
homogena katalizenzo 193
homogena miksaĵo 25-28

Ĥ

ĥalkogeno* 97
ĥemio (V: kemio)
ĥolina* klorido 399
ĥolinesterazo* 381

I

iks-radioj (V: X-radioj)
indikenzaj koloroj 221
indikenzaj paperoj 221
indikenzo 220
inertaj gasoj (V: noblaj gasoj)
inhibenzo 193
insulino 444
molekula maso 444
reganta nivelojn de sangosukero 443, 505-507
intermolekulaj fortoj en likvoj 141-142
Internacia Unio de Pura kaj Aplikata Kemio (IUPAK) 284
intramolekula reakcio 369
inversa proporcio 129
inverta sukero 418-419
β-ionono* 366
IUPAK (V: Internacia Unio de Pura kaj Aplikata Kemio)
izobutila formiato 386
izobutila metanoato 386
izobutileno 308
izobutilo 289
izoenzimo* 473
izoleŭcino* 490
kodonoj 490
strukturo 446
izomereco (V: geometria izomereco; struktura izomereco)
izopentila merkaptano 356
izopreno 317
izopropila alkoholo (Va: 2-propanolo) 341
izopropila merkaptano 356

4-izopropilheptano 289
izopropilo 289
izotona solvaĵo 176
izotopo 46-49
    filina 257
    patrina 257
    radioaktiva 254

J

jona formulo 98
jona ligiĝo kaj poliatomaj jonoj 111
jona ligo 95
jona paro 265-266
jona ŝargo
    antaŭdiro 96
    variema konduto de elementoj 99
jonaj kombinaĵoj 98
    binaraj 99
    formuloj 98, 109-113
    nomenklaturo 99-100
    solveblo-gvidlinioj 156
joniĝo 265-266
jonliga formiĝo 97-98
jonliga modelo de kemia ligiĝo 95-99
jono 95
    hidratigita 158
    kemiaj ecoj 97
jonono (V: ionono)

K

kadaverino* 398
kadavrino (V: kadaverino)
kalcia propionato 383
kalciferolo 438
kalia benzoato 382
kalio 83
kalk-ŝtono 290
kancerogenezo 331
kaprona acido (heksanacido) 380
kapsaicino* 405
karba gudro 332
karbarilo* 405
karbohidratoj (V: sakaridoj)
karboksilaj acidoj
    acideco 381-382
    fizikaj ecoj 380-381
    formado de esteroj 383-384
    hidrogena ligiĝo 381
    inhibantaj mikroban kreskon 377
    nomenklaturo 378-380
    preparo 381
    produktitaj per oksidigo de aldehidoj 371
    reguloj por nomado 378-380
    saloj 382-383
    strukturo 377-378
karboksilato 381
karboksilo 377
karbola acido 350

Karbona monoksido 68, 348
Karbona tetraklorido (Va: tetraklormetano)
Karbonata acido 232-233
Karbonata anhidrazo 464
Karbonilo 363
Karbon-karbona duobla ligo (V: duoblaj ligoj)
Karbon-12-skalo 48
Karencaj malsanoj 426
Karnaŭba* vakso 434
Katabolo (Va: glukoza katabolo) 501-502
Katalazo* 444
Katalizenzo (Va: enzimoj)
    efiko 193
    heterogenaj 193
    hidrogenizo de aldehidoj kaj ketonoj 368-369
    hidrolizo de amidoj 404
    hidrolizo de esteroj 386-387
    homogenaj 193
    polimerigo de alkenoj 315-317
    produktado de etilena oksido 354
    sintezo de metanolo 348
    substituaj reakcioj de benzeno 329-330
    surfaca 193
Katekolo (m-dihidroksi-benzeno) 343
Kaŭĉuko 317
Kekulé (, F.A.) 325
Kelvino* 14
Kelvin-skalo 19-20
Kemia ekvilibro 194-195
    reakcia rapido 194-198
Kemia formulo 34-35
    interpretado 34
    molo 61
Kemia ligo
    jona modelo 95-98
    kovalenta modelo 100-105
    tipoj 95
    valentaj elektronoj implicitaj 92-94
Kemia notacio 31
Kemia simbolo 31-33
Kemia speco 210
Kemia ŝanĝ(iĝ)o 5
    leĝoj regantaj 38-42
    spontanea kaj nespontanea 186-188
Kemiaj ecoj 4
    elektrona konfiguracio 83-84
Kemiaj ekvacioj 54-58
    bilancitaj 54-58, 65
    molo 64
    validaj 55
Kemiaj kalkuloj
    moloj 64-68
Kemiaj kombinaĵoj (V: kombinaĵoj)
Kemiaj reakcioj 246-248
Kemio 2
Keton-korpoj 516-517
Ketonoj
    adicio de hidrogeno 368-369
    ciklaj 363

distingitaj disde aldehidoj 371
ecoj 365-366
kemiaj ecoj 370-371
nomenklaturo 364-365
pozicio de karbonilo 364
preparo 366-367
produktado 347, 366-367
strukturo 363-364
ketozo* (malsan-stato) 517
ketozoj 411, 413
kimotripsino* 466
kineta energio (Vd: molekul-kineta teorio) 121
kinolino 334
kloracetofenono 366
klorbenzeno 327
kloretano 295
klorizitaj hidrokarbonoj 293-295
klorizo de metano 293
klormetano 293
o-klornitrobenzeno 328
kloroformo (triklormetano) 293-294
klorokino 334
kloropreno 317
koda degenereco 490
kodono* 489
aminoacidoj en mesaĝa RNA 489-490
sensignifa 491
koenzimo* 465-466
koenzimo A 499, 516
kofaktoro* 465-466
kohera forto 122
kolageno 443, 456-457
kolesterolo
aterosklerozo 434-435
kortikosurrenaj hormonoj derivitaj 436
reduktiĝo (en la sango) 435
rilate seksajn hormonojn 435
sintezo (en la korpo) 435
strukturo 434
troviĝo 434
koligativaj* ecoj de solvaĵoj 168-177
kolizia geometrio 190-191
kolizia teorio 189
koloida stabilo 179
koloidaj dispersaĵoj 177-178
koloido 177
kolorenzo 399
kombinaĵoj 30-31, 34
komparitaj kun elementoj 30
nomado 34
kombinita gasleĝo 133-134
kompar-elemento 106
koncentrecaj ŝanĝoj 197
koncentreco de solvaĵoj 158-166
koncentr(it)a solvaĵo 557
kondensa polimero 378-379
kondensa reakcio 387
kondensa struktura formulo 281-282
konduktivo 87, 277

Konfiguracio 355
Konkura inhibenzo 471
Konservenzo 377
Konserviĝo de maso (leĝo de) 39
Konserviĝo de maso kaj energio (leĝo de) 40
Konsisto de substanco 2
Konstantaj proporcioj (leĝo de) 40-41
Kontraŭfrostaĵo* 154, 350, 355
Kontraŭkoncipenzo 319
Kopolimero* 317
Korpusklo (V: ereto)
Kortikosurrenaj hormonoj 436
Kortizono (17-hidroksi-11-deshidrokortikosterono) 436
Kotonsema oleo
    donanta grasacidojn dum hidrolizo 431
    donanta salojn de grasacidoj dum sapigo 431
    grasacidojn enhavanta 429
    hidrogenizo 432
Kovalenta ligiĝo
    duatomaj molekuloj 101
    poliatomaj jonoj 111
    poliatomaj molekuloj 102
Kovalentaj kombinaĵoj 109-110
Kovalentaj ligoj
    duobla 103-104
    kunordiĝa 104-105
    multobla 103-105
    nepolusa 105-106
    polusa 106
    triobla 103-104
    unuobla 103
Kovalent-liga modelo de kemia ligiĝo 100-107
Kreozoto 351
Krezolo 351
orto-Krezolo 343
Kriosekigo* 143
Kristala krado 144
Kristal-krada centro 144
Kromosomo 484
Ksileno (formoj de) 328
Ksilenoj 330
Kumarino 385
Kunliga reakcio 357
Kunordiĝa* kovalenta ligo 104
Kunpremeblo 123-125
Kupla reakcio (V: kunliga reakcio)
Kvaliteca* observo 6
Kvanteca observo 7
Kvantuma meĥaniko 75
Kvantumiĝo de energio 76
Kvaternara strukturo de proteinoj 457

L

L.S.D. (V: dietilamido de lizerga acido)
laktata acido
    estiĝo kaj strukturo 380
    inversigebla produktiĝo 509-510
laktata deshidrogenazo 473

laktozo 418
lana graso 429
laŭra acido 429
laŭrila hidrogena sulfato 388
Le Chatelier (, Henri Louis) 196-197
leĝo de Charles 132-133
leĝo de Dalton
    biokemiaj procezoj 135-136
    partaj premoj 134-135
leĝo de konserviĝo de maso (V: konserviĝo de maso)
leĝo de konstantaj proporcioj 40-41
Lemery (, Nicholas) 275
leŭcino 446, 490
lidokaino* (Xylocaine) 405
liga poluseco 105-109
ligna alkoholo 348
ligo (V: kemia ligo)
likva stato 123-124
likvoj
    ecoj 123-124, 126
    intermolekulaj fortoj 141-142
    komparitaj kun gasoj kaj solidoj 125-126
    vapora premo 140
    vaporiĝo 138-139
linolea acido 429
linolena acido 429
lipida metabolo 514-516
    rilate metabolon de proteinoj kaj sakaridoj 519
lipidoj
    biologia graveco 427
    entenantaj grasacidojn 427-428
    metabolo 514-516
    produktoj de digesto 516
    sen grasacidoj 434-439
lipogenezo 519
lipoproteino* 443
lizino* 446, 490
lizozimo* 474
Lowry (, T.M.) 204

M

magnezio 98
mala* acido (hidroksi-butan-diacido) 512
malforta elektrolito 209
malkombiniĝa reakcio 247
malkombiniĝo 144
malleviĝo de solidiĝopunkto 172-173
malmolaj sapoj 431
maloft-teraj elementoj 87
maltozo 417-418
Markovnikov (, V.W.) 314
marteleblo 87
masa nombro 45
masa rilatumo 59-61
masaĝa alkoholo 349
maso 13-14, 47-49, 58-59
materio 2
    fizika ŝanĝiĝo 5
    fizikaj ecoj 4

kategorioj 25
kinetika molekula teorio 121-122
kondiĉoj influantaj ecojn 4-5
konsisto 2-3
statoj 120
strukturo kaj kemia konduto 2-3
ŝanĝoj en stato 136-138
ŝanĝoj okazantaj al materio 5-6
mazuto 291
mekloretamino* 399
mem-replikiĝo de RNA 484-485
Mendeleev (, Dmitri) 72
mentolo 368
mentono* 368
merkaptanoj (V: tioloj)
mesaĝa RNA
formanta poliribosomon 486-487
formiĝo 493
funkcio 486
kodono formanta hidrogenligojn kun transiga RNA 488
proteina sintezo 486-487, 493-494
meskalino 402
metabolo 501
maksimuma ekonomio 502
procezoj 501-502
proteinoj (V: proteina metabolo)
sakaridoj 502
metadono* 399
metahemoglobino* 474
metaloidoj (V: duon-metaloj)
metaloj 87
metanalo (V: formaldehido)
metano
klorizo 292
molekula strukturo 278
metanolo 348-349
metateza* reakcio 246
metil-2-aminobenzoato 386
metil-benzeno 327
3-metil-1-butantiolo 356
metil-1-(trans-2-butenil)-disulfido 356
2-metil-2-propanolo 344
metila alkoholo 348-349
metila antranilato* 386
metila benzoato 387
metila etero 353
metila klorido 293
metila metakrilato 316
metila propila etero 354
metila n-propila etero 353
metila salicilato 384
N-metilamfetamino 402
metilamino 396, 399
3-metilaminobenzeno 397
N-metilaminobenzeno 397
3-metilanilino 397
N-metilbenzamido 403
metilena klorido 293
m-metilfenolo 328

2-metilheptadekano 296
2-metilpentano 286
2-metilpropeno 308
metionino* 446, 490
metoksibenzeno 353
2-metoksibutano 353
metoksiflurano* 354
metra sistemo 11-14
Meyer (, Julius Lothar) 72
mezurado (sistemoj de) 11
miksa etero 352
miksa triglicerido 428
miksaĵo
apartigo de komponantoj 25-26
heterogena kaj homogena 25-28
komparita kun pura substanco 25
miksebla 152
mioglobino* 444
miricila alkoholo 434
mirista acido 429
mitoĥondrio* 478, 500
molaj sapoj 432
molaleco* 159, 161, 163
molareco 159, 161-162
molekula formulo
gasoj 57
komparita kun struktura formulo 281-282
molekula maso 58-59, 65
enzimoj 465
proteinoj 444
molekulaj kolizioj 189-190
molekul-kineta teorio de materio 121-122
leĝo de Boyle 129
leĝo de Charles 132
postulatoj 121
molekulo 29
heteroatoma 29
homoatoma 30
nepolusa 108
nesaturita 305-306
polusa 108
molo 61
kemiaj ekvacioj 64
kemiaj formuloj 62-63
kemiaj kalkuloj 64-68
koncepto 61-62
monomero 315-317
monoprotona acido 207
monosakaridoj 413
aldozoj kaj ketozoj 411
ecoj 419
klasifiko 413
oksidigo 416-417
polimerigo 419-420
moviĝo de Brown 179
Mulder (, G.J.) 443
multobla kovalenta ligo 103-104
multoblaj proporcioj (leĝo de) 42
muskata oleo 429

N
naftaleno 331
nafto 289-290
    frakcia distilado 291
    komponantoj 290
natria acetato 382
natria benzoato 382, 387
natria hidrokarbonato 208
natria linoleato 431
natria oleato 431
natria palmitato 431
natria stearato 383
natura gaso (V: tergaso)
natura kaŭĉuko 317
    vulkanizo 317
natura radioaktiveco 254-255
naturo de reakciantoj 191-192
neelektrolito 209
neinversigebla reakcio 196
nekonkura inhibenzo 471
Nembutal 405
nemetaloj 88
nemiksebla 151-152
neopreno 317
neorganika kemio 276
    historio 275-276
neorganikaj kombinaĵoj 276
neotilo 354
nepetalaktono* 385
nepolusa kovalenta ligo 105-106
nepolusa molekulo 108-109
nesaturita hidrokarbono 305
nesaturita molekulo 305-306
nesaturitaj grasacidaj (Va: grasacidoj) 429
nesimetria adicio 312-314
nespontanea procezo 186
nespontanea ŝanĝo 186-188
nestabilaj nuklidoj 254
net-jona ekvacio 210-212
    neŭtrigo 212-213
    skribado 210-212
neŭtra atomo 44
neŭtra solvaĵo 214
neŭtrigo 212
neŭtrino 258
neŭtrono 43
    ŝanĝita en protonon 258
nevolatila solvezo 169
niacinamido* 405
nikotinamido 405
nilono 406
Nirenberg (, M.) 490
nitrataj esteroj 388
nitrobenzeno
    formado 330
    strukturo 327, 330
    uzo (por prepari anilinon) 400
nitroglicerino 389
nitroizo de benzeno 330

noblaj gasoj 86
    nereakciemo 94
nombro de Avogadro 62, 65
nomenklaturo 109-111, 294
noradrenalino* 69
norepinefrino 69
normala alkano 283
normala bolpunkto 141
normala fasta nivelo 505
normaleco* 159, 164
    unuo de koncentreco por titra kalkulado 222
nuklea stabilo 259-262
nukle-acida ĉefĉeno 482
nukleaj acidoj (Va: desoksiribonuklea acido, ribonuklea acido)
    ĉefĉeno 482
    duopa helica strukturo 484-485
    formitaj per polimeriĝo de nukleotidoj 482-483
    fosfataj grupoj kiel komponantoj 480-481
    hidrogena ligiĝo 483
    mem-replikiĝo 484-485
    pentozoj kiel komponantoj 480
    polimera strukturo 479, 482
    rolo (en stokado kaj transsendo de koditaj informoj) 478, 484
    strukturo 481-484
    tipoj 478
nukleaj ekvacioj 256-258
    bilancitaj 257
nukleaj reakcioj (ekvacioj por) 256-258
nukleo 43-44
nukleono 44
nukleotida rezervujo 485
nukleotidoj
    formiĝo 480
    hidrolizo 480
    komponantoj 479-480
    polimeriĝo formanta nukleajn acidojn 479-482
    rezervujo (en nukleo) 485
nuklido
    notacio 254
    stabilo 259-261

O

observoj (tipoj de) 6-7
oestrogenoj (V: estrogenoj)
okopa regulo 94, 98, 104
oksidiganto 241
oksidiĝo 240-241
    biologiaj reakcioj 498-499
    grasoj kaj oleoj 432-433
oksidiĝo-inhibenzo 433, 438
oksidiĝonombra ŝanĝiĝo
    redukt-oksidiĝa terminaro 245
    sintezaj reakcioj 246-247
oksidiĝonombro 242
    reguloj 242-243
oksigena ŝuldo 510
n-oktila acetato 386
oktila etanoato 386

okzala acido 380
okzal-aceta acido 511, 518
olea acido 429, 431
olefinoj (V: alkenoj)
oleo por domaj farboj 433
oleoj (Va: trigliceridoj)
    digesto 431
    ecoj 428
    hidrogenizo 432
    hidrolizo 430-432
    ranciĝo 432-433
    reakcioj 430-433
    sapigo 431-432
    sekiĝaj 433
oliva oleo 429
optimuma pH 470
optimuma temperaturo 470
orbitalo* 78-81
organika kemio 276
    historio 275-276
organikaj kombinaĵoj 276
organikaj molekuloj 281-282
organofosfataj* insektocidoj 387
orientiĝo 79, 281
osmoza premo 175-177
osmozecaj fenomenoj 175-176
osmozo 174
ov-albumino 444

P

palmita acido 429, 431
parationo* 389
parta premo 134
    leĝo 134-135
partiklo (V: ereto)
paskalo* 14, 128
pasteŭrizo 470
patrina izotopo 257
pelforto 157
pelgaso* 295
pentaeritritola* tetranitrato 389
3-pentanolo 355
3-pentantiolo 355
n-pentila acetato 386
n-pentila etanoato 386
n-pentila propanoato 386
n-pentila propionato 386
pentozoj (Va: monosakaridoj kiel komponantoj de nukleotidoj) 413
pepsino 444
pepsinogeno* 466
peptida centro 494
peptida ligo 448-449
peptidoj 449
perioda leĝo 72-73
    difinita 72
    elektronaj konfiguracioj 83-84
    teoria klarigo 73
perioda tabelo 73-75
    elektronaj konfiguracioj 81-85

formoj 74
grupoj kaj periodoj 74-75
periodeco de ecoj 72
petrola etero 291
petrola ĝelo (V: vazelino)
petrolo (Va: nafto) 289-290
pezaj metaloj 473
pezmetalaj sapoj 432
pezo (Va: maso) 13
PFE 316
pH 215
elektitaj salaj solvaĵoj 229
influanta enzimaktivecon 470
influanta protein-strukturon 454-455
pH-skalo 215-218
pH-valoro 217-219
ne-entjera 217
piridino 334
pirimidino* 334
piruva* acido
donanta acetilan koenzimon A 509
donanta etanolon 509
donanta karbonan dioksidon kaj akvon 509
donanta laktan acidon 509-510
produktita per desaminiĝo de alanino 518
produktita el glukozo dum katabolo 509
strukturo 509
plasta filmo 317
pleksiglaso* (Plexiglas) 316
poliakrilonitrilo 316
poliamidoj 406
poliatomaj jonoj 111
poliatomaj molekuloj 102
poliestero 387-388
polietilena tereftalato 388
polietileno 315-316
polihidroksilaj alkoholoj 342
poliizopreno 317
polikernaj aromataj hidrokarbonoj 331-332
kancerigaj ecoj 331
polimerigo 315
adicio 315-316
akrilonitrilo 316
amidoj 406
etileno 315-316
fenolo 365
formaldehido 365
formanta kopolimerojn 317
izopreno 317
kloropreno 317
kondensa reakcio 387-388
metila metakrilato 316
nukleotidoj 481-482
propileno 316
sekiĝaj oleoj 433
stireno 316
tetrafluoretileno 316
vinila acetato 316
vinila klorido 317

polimetilmetakrilato 316
polinesaturitaj oleoj 313
polioloj 342
polipeptida sinsekvo 489-490
polipeptidaj ĉenoj
    alfa-helica figuro 451, 453
    beta-plisita lamena figuro 451-452, 454
polipeptidoj 449
polipropileno 316
poliribosomo 486-487
polisakaridoj 413
    ecoj (komparitaj kun mono- kaj disakaridoj) 419
    strukturo 420-422
polisomo* 486-487
polistireno 316
politetrafluoretileno 316
polivinilacetato 316
polivinilklorido 316
poluenzo* 178, 180
polusa kovalenta ligo 106
polusa molekulo 108
poluseco de molekuloj 108-109
pozicio de ekvilibro 195-196
    efiko de katalizo 198
    efiko de koncentreco 197
    efiko de temperaturo 197-198
prekursoro* 437, 518
premo
    atmosfera 127
    metodoj por mezurado 128
    parta 134-135
    rilate volumenon kaj temperaturon 129-134
    unuoj 128
primara strukturo de proteinoj 450
    disrompita per hidrolizo 457
    graveco de aminoacida sinsekvo 450
primaraj alkoholoj
    deshidratigo 367
    strukturo 344
primaraj aminoj 395-396
    preparo 399-400
    strukturo 395-396
principo de Le Chatelier 196-198, 214, 219, 226
procenta koncentreco 159
proenzimo* 466
prolino 446, 490
propanacido 380
propanalo 368
propano 279
1-propanolo 368
2-propanolo
    ekzemplo de sekundara alkoholo 344
    produktita per hidratigo de propeno 313
    produktita per hidrogenizo de 2-propanono 368
    strukturo 348
2-propanono (Vd: acetono) 368
1-propantiolo 356
2-propantiolo 356
1,2,3-propantriolo 348, 350, 428, 431

propeno
    reakcio 313-314
    struktura formulo 308
n-propila alkoholo 341
n-propila benzoato 386
n-propila merkaptano 356
propileno (Va: propeno) 316
propiona acido 380
proteazo* 465
proteina denaturado 458-459
    acidoj kaj bazoj 459
    alkoholo 459
    pezmetalaj saloj 459-460
    varmo 458
proteina metabolo
    rilate lipidan metabolon 519
    rilate lipidan kaj sakaridan metabolojn 519
proteina sintezo 492-494
    kodono startiganta 489
    paŝoj 492-494
    rolo de ribosomoj 494
    rolo de RNA 486-488
    traduko 492, 494
    transskribo 492
proteina strukturo 450-457
    alfa-helico 451, 453, 455
    beta-plisita lameno 451-452, 454-455
    disiĝo 457
    disrompo per hidrolizo 457
    disulfidaj ligoj 454, 456
    hidrofobiaj altiroj 454-455
    hidrogenaj ligoj 452-456
    kvaternara 457
    pH influanta ligojn 454-455
    primara 450
    R-grupa interago 453-456
    salaj ligoj 454-456
    sekundara 451
    temperaturaj ŝanĝiĝoj influantaj ligojn 452, 455
    terciara 453-456
proteinato 459
proteinazo (V: proteazo)
proteinoj
    biologiaj funkcioj 443, 488-489
    bufra agado 448
    denaturado 458
    digesto 457
    disrompo de strukturo 457
    ecoj 444-445
    elementoj trovitaj 443-444
    graveco 443
    graveco de aminoacida sinsekvo en strukturo 450
    hidrolizo 443
    metabolo 519
    molekulaj masoj 444
    solveblo 455-456
    specifeco 489
    trajtoj 443-444
protona transiĝo 204

protonaj acidoj 206-207
protono 43-47, 258
protrombino* 439
pura substanco 25
    karakterizo 28-29
    komparita kun miksaĵo 26
purigenzo 380
purino 334
putrescino* 398

R

radiado
    biologiaj efikoj 266-267
    ekspono 267-269
    fontoj 268-269
    jonigaj efikoj 265-267
    medicinaj uzoj 269-271
    porpersona radiada dozo 269
radioaktiva diseriĝo 255-260
    kurbo 263
radioaktivaj elementoj 255
radioaktivaj nukleoj (V: radionuklido) 263-265
radioaktiveco
    artefarita 259-260
    eltrovo 255
    elvokita 259
    nature estanta 255-256
    uranio 255
radioizotopo 254
    medicinaj uzoj 269-271
radiomarkenzo (V: tracenzo)
radionuklido 254
    arta produktado 259-260
radiumo (eltrovo de) 255
rakito 438
ranciĝo 432-433
rapido de returniĝo de ruĝaj globetoj 270
reagenzo de Benedict 371-372, 417
reagenzo de Fehling 371-372, 417
reagenzo de Tollens 371
reakcia rapido 188
    faktoroj influantaj 191-193
    kemia ekvilibro 194
    mezurado 188-189
    teorio 188-191
reakcianto
    koncentreco 192
    temperaturo 192
reakcio
    duobla substitua 248
    malkombina 247
    metateza 246
    neinversigebla 196
    sinteza 246-247
    unuobla substitua 247
redoksa reakcio 241
reduktaj sukeroj 417
reduktanto 241

redukto 240-241
redukt-oksidiĝa reakcio 241
redukt-oksidiĝa terminaro 241
    oksidiĝonombra ŝanĝiĝo 244-245
regita reakcio 360
regulo de Markovnikov 314
remo* 267
rena diabeto 508
rena sojlo 504-505, 507
renino* 466
rentgen-radioj (V: X-radioj)
repliko de DNA (V: memreplikiĝo de RNA)
retinalo* (alia nomo: retineno)
    aldehida formo de vitamino A 437
    graveco (por vidado)
    ŝanĝiĝo de cis-formo en trans-formon per lumo 311
cis-retinalo 311
trans-retinalo 311
rezorcinolo 343
ribonuklea acido (Va: desoksiribonuklea acido) 478
    mesaĝa 486
    ribosoma 486
    rolo (en sintezo de proteinoj) 486-487
    tipoj 486
    transiga 487
    unuopa filamenta strukturo de molekuloj 484
ribosoma RNA 486
ribosomoj* 486-487
    aminoacidaj centroj 494
    formantaj poliribosomojn 486
    konduto 493-494
    peptidaj centroj 494
ribozo
    biologia graveco 414
    komponanto de ribonuklea acido 479-481
    strukturo 414, 479
ribulozo* 413
ringofermiĝo 414-415
ripeta unuo 406, 479
RNA (V: ribonuklea acido)
rotacio ĉirkaŭ unuoblaj ligoj en organikaj molekuloj 283
rubidio 83
ruĝaj globetoj 176-177
Rutherford (, Ernest) 255, 259

S

safrolo* 351
sakarazo 467
sakarida metabolo (Va: glukoza metabolo) 503-514, 519
sakaridoj
    biologiaj roloj 412
    disakaridoj 413, 417-419
    funkciaj grupoj 412
    klasoj 413
    metabolo 503-514
    pentozoj 413-414, 479-481
    polisakaridoj 419-422
    reduktaj sukeroj 417-418
sakarozo 17, 418

salicila acido 384
saliva amelazo 466
saloj 208
    ekzemploj kaj uzoj 208
    formitaj de aminoj 400-401
    grasacidoj 431
sanga koaguliĝo 439
sanga plasmo 17, 229-230
sangaj proteinoj 448
sango kiel bufra solvaĵo 232-233, 448
sangosukera nivelo 503-507
sapigo 387
    esteroj 387
    grasoj kaj oleoj 431-432
    komerca graveco 431
sapoj 431-432
    produktado 387
    tipoj 431-432
saturita solvaĵo 152-153, 158
saturitaj grasacidoj (Va: grasacidoj) 429
saturitaj hidrokarbonoj
    alkanoj 277-296
    cikloalkanoj 277, 296-299
seka glacio* 143
sekiĝaj oleoj 433
seksaj hormonoj 435
sekundara amino 395-396
    preparo 400
    strukturo 395-396
sekundara strukturo de proteinoj 451
    alfa-helico 451-453
    beta-plisita lameno 451-453
    hidrogenaj ligoj 451-453
sekundaraj alkoholoj
    deshidratigo 347, 367
    strukturo 344
senakvigo (V: deshidratigo)
sencikla 335
sensignifaj kodonoj 491
serino* 446, 490
serpoĉela anemio (V: falĉil-forma anemio)
Sevin 399, 405
sfingomjelinazo* 474
simetria adicio 312-313
simpla etero 352
simpla triglicerido 428
sinteza kaŭĉuko 317
sinteza reakcio 246
sintezaj elementoj 263-264
sintezaj organikaj fosfatoj 389
sintezo per deshidratigo (senakvigo) 347
solida stato 122-123
solidiĝopunkto
    efiko de solvezo 172
    malleviĝo 172-173
    solvaĵo 172-173
solidoj
    ecoj 120, 122-123
    jonaj 144-145

komparitaj kun gasoj kaj likvoj 120, 125-126
solo 178
solva procezo 157-158
solvaĵa nomenklaturo 151-155
solvaĵaj koncentrecoj 158-165
solvaĵoj 27
akvaj 155
bolpunkto 170
dilu(it)aj 155
hipertonaj kaj hipotonaj 177
izotonaj 176
koligativaj (ecoj de) 168-177
koncentr(it)aj 155
saturitaj 152
solidiĝopunkto 172-174
stokaj 167
tipoj 150-151
vapora premo 169
solveblo 153
antaŭdiro 155-156
ekzemploj 154
gvidlinioj 156
reguloj 155-156
terminoj 154
solvenzo 150
solvezo 150
solvezo-solvenzaj interagoj 157
Sørensen (, Søren) 215
spaca modelo 278-279
spektanta jono 210
spermaceto 434
spirada ĉeno 512
spontanea ekbrulo 433
spontanea procezo 186
rilate energion kaj entropion 187-188
spontanea ŝanĝiĝo 186-188
stabila substanco 188
stabilaj nuklidoj 260-261
statoj de ekvilibro 139
statoj de materio
komparitaj 120, 125-126
ŝanĝiĝoj 136-137
steara acido 429
formado 383
kombinita kun glicerolo 428
sterkaĵo 111, 405
sterlinga argento 151
steroidoj 331, 434-437
stireno 316
stoka solvaĵo 167
struktura formulo
detala 281-282
komparita kun molekula formulo 282-283
kondensa 281-282
struktura izomereco 279-281
alkanoj 279-281
fruktozo 416
galaktozo 416
glukozo 415

neciklaj eteroj kaj alkoholoj 252
peptidoj 449
struktura izomero 280
strukturo 2-3
subatomaj eretoj 42
sublimiĝo 143
substrato
difinita 467
koncentreco 469
subŝelo 77-79
sukrozo 418
sulfataj esteroj 388
sulfhidrilo* 355
sulfonamidaj drogoj 472
sulfonizo de benzeno 329-330
surfaca katalizo 193
surrena glando 436
suspensio (Vd: dispersaĵo) 177

Ŝ

ŝablono 485
ŝanĝ(iĝ)o (endoterma kaj ekzoterma) 136
ŝanĝ(iĝ)o de stato 5
ŝaŭmo 178
ŝelo 76-78, 80-84

T

Teflon 316
tegaĵo 355, 433
temperaturaj skaloj 19-20
temperaturaj ŝanĝoj 197-198
temperaturo
influanta enziman aktivecon 470
kaŭzanta denaturon de proteinoj 458
rilate premon kaj volumenon 126, 132-134
teorio de adaptiĝo 467-468
teorio de ŝlosilo kaj seruro 467-468
terciara amino 395-396
preparo 400
strukturo erciaro 395-396
terciara strukturo de proteinoj 453
disulfidaj ligoj 454, 456
hidrofobiaj altiroj 454-455
hidrogenaj ligoj 454-456
salaj ligoj 454, 456
tergaso 289-290
termika dilatiĝo 123-125
Terylene 388
tetraciklino* 399
tetrafluoretileno 316
tetrahidrokanabinolo* 352
tetraklormetano 293-294
timino* 480
timolo 351
tine-globoj* 142
tinkturo 348
tioloj
aldonitaj al tergaso 357

biologia graveco de reakcioj 357
fizikaj ecoj 356
komparitaj kun alkoholoj 355
nomenklaturo 355-356
odoro 356-357
oksidigo 356
troviĝo en la naturo 356-357
tirozino 446, 490
titradaj kalkuloj 221-224
titrado 220-222
α-tokoferolo 438
Tollen (V: reagenzo de Tollens)
tolueno
formado 329
strukturo 327
uzoj 330
torio 255
toro* 127-128
Torricelli (, Evangelista) 127
tracenzo* 269-270
traduko 492
transaminazo 474
transferazo* 474
transforma nombro 469
transiga RNA 487, 493
transiraj elementoj 86-87
transkalkulaj faktoroj 14-15, 64-65
trans-ligoj 317
transskribo 492
transuraniaj elementoj 264
treonino*
kodonoj 490
strukturo 446
2,4,6-tribromfenolo 343
tridekano* 295
trietilamino 399
2,2,2-trifluoretila vinila etero 354
1,1,2-trifluor-2-kloretila difluormetila etero 354
trifosfataj esteroj 389
trigliceridoj 428
formiĝo 428
metabolo 514-516
miksaj (nesimplaj) 428
simplaj 428
trihidroksilaj alkoholoj 342
triklormetano 293-294
trimetilamino 396, 398-399
1,2,4-trimetilbenzeno 328
trinkebla alkoholo (V: etanolo)
triobla kovalenta ligo 103-104
trioblaj ligoj 305, 318-319
trioloj 342
triprotona acido 207
triptofano 446, 490
tristearino 428

U
undekano* 295
ungolako 366
unnilenio 33, 264
unnilheksio 33, 264
unnilkvadio 33, 264
unniloktio 33, 264
unnilpentio 33, 264
unnilseptio 33, 264
unuobla kovalenta ligo 103
unuobla substitua reakcio 247
uracilo* 480
uranio 255
ureazo 465
ureo. 404-405
utiliĝo de energio 498

V
vaksoj 433
    natura troviĝo 433-434
valentaj elektronoj 92-94
valino* 446, 490
vanilino 366
vapora premo
    likvo 138-140
    solvaĵo 169
vaporiĝo
    faktoroj influantaj rapidon 137-140
    fermita ujo 138-139
    influanta temperaturon kaj volumenon de likvo 138
    likvo 137-138
    nefermita ujo 137-138
vaporo 138
varia jona formiĝo de metaloj 99-100
vazelino 291
vazopresino 493
vegetaĵaj oleoj (hidrogenizo de) 313
venen-hederaj iritantoj 351-352
vida proteino 437
vinila acetato 316
vinila klorido 316-317
vinilidena* klorido 317
vinilo 317
vitalismo 275-276
vitamino A 437
vitamino D 438
vitamino E 438-439
vitamino K 439
vitaminoj
    gras-solveblaj 437-439
    koenzimoj 466
volatila substanco 140
volumeno 126, 129-131
volumeno kaj formo 123-125

W
Watson (, J.D.) 481-482
Wöhler (, Friedrick) 275-276

X
X-radioj 208
Xylocaine (V: lidokaino)

Z
zimogeno* 466
zviterjono (V: ambaŭ-jono)

Tabelo de Elementoj laŭ Pliiĝantaj Atomaj Numeroj[a,b]

Atoma Numero	Nomo	Simbolo	Atoma Maso	Atoma Numero	Nomo	Simbolo	Atoma Maso
1	hidrogeno	H	1,0	56	bario	Ba	137,3
2	heliumo	He	4,0	57	lantano	La	138,9
3	litio	Li	6,9	58	cerio	Ce	140,1
4	berilio	Be	9,0	59	prazeodimo	Pr	140,9
5	borio	B	10,8	60	neodimo	Nd	144,2
6	karbono	C	12,0	61	prometio	Pm	(145)
7	nitrogeno	N	14,0	62	samario	Sm	150,4
8	oksigeno	O	16,0	63	eŭropio	Eu	152,0
9	fluoro	F	19,0	64	gadolinio	Gd	157,3
10	neono	Ne	20,2	65	terbio	Tb	158,9
11	natrio	Na	23,0	66	disprozio	Dy	162,5
12	magnezio	Mg	24,3	67	holmio	Ho	164,9
13	aluminio	Al	27,0	68	erbio	Er	167,3
14	silicio	Si	28,1	69	tulio	Tm	168,9
15	fosforo	P	31,0	70	iterbio	Yb	173,0
16	sulfuro	S	32,1	71	lutecio	Lu	175,0
17	kloro	Cl	35,5	72	hafnio	Hf	178,5
18	argono	Ar	39,9	73	tantalo	Ta	180,9
19	kalio	K	39,1	74	volframo	W	183,9
20	kalcio	Ca	40,1	75	renio	Re	186,2
21	skandio	Sc	45,0	76	osmio	Os	190,2
22	titanio	Ti	47,9	77	iridio	Ir	192,2
23	vanadio	V	50,9	78	plateno	Pt	195,1
24	kromio	Cr	52,0	79	oro	Au	197,0
25	mangano	Mn	54,9	80	hidrargo	Hg	200,6
26	fero	Fe	55,8	81	taliumo	Tl	204,4
27	kobalto	Co	58,9	82	plumbo	Pb	207,2
28	nikelo	Ni	58,7	83	bismuto	Bi	209,0
29	kupro	Cu	63,5	84	polonio	Po	(209)
30	zinko	Zn	65,4	85	astato	At	(210)
31	galiumo	Ga	69,7	86	radono	Rn	(222)
32	germaniumo	Ge	72,6	87	franciumo	Fr	(223)
33	arseno	As	74,9	88	radiumo	Ra	226,0
34	seleno	Se	79,0	89	aktinio	Ac	227,0
35	bromo	Br	79,9	90	torio	Th	232,0
36	kriptono	Kr	83,8	91	protaktinio	Pa	231,0
37	rubidio	Rb	85,5	92	uranio	U	238,0
38	stroncio	Sr	87,6	93	neptunio	Np	237,0
39	itrio	Y	88,9	94	plutonio	Pu	(244)
40	zirkonio	Zr	91,2	95	americio	Am	(243)
41	niobio	Nb	92,9	96	kuriumo	Cm	(247)
42	molibdeno	Mo	95,9	97	berkelio	Bk	(247)
43	teknecio	Tc	(98)	98	kalifornium o	Cf	(251)
44	rutenio	Ru	101,1	99	ejnstejnio	Es	(252)
45	rodio	Rh	102,9	100	fermio	Fm	(257)
46	paladio	Pd	106,4	101	mendelevio	Md	(258)
47	arĝento	Ag	107,9	102	nobelio	No	(259)
48	kadmio	Cd	112,4	103	laŭrencio	Lr	(260)
49	indiumo	In	114,8	104	unnilkvadio	Unq	(261)
50	stano	Sn	118,7	105	unnilpentio	Unp	(262)
51	stibio	Sb	121,8	106	unnilheksio	Unh	(263)
52	teluro	Te	127,6	107	unnilseptio	Uns	(262)
53	jodo	I	126,9	108	unniloktio	Uno	(265)
54	ksenono	Xe	131,3	109	unnilenio	Une	(266)
55	cezio	Cs	132,9	110			

a) Atomaj masoj baziĝas sur karbono-12.
b) La uzo de krampoj kun atomaj masoj indikas elementojn kiuj estas relative nestabilaj. La donita maso estas tiu de la plej longe daŭra izotopo de la elemento. (Vidu Ĉapitron 12 de la lernolibro.)