

MINERALOGIJA I PETROLOGIJA

Literatura:

Klein, C. (2002): Mineral Science. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Klein, C. & Hurlbut, C.S. (1999): Manual of mineralogy. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Vrkljan, M. (2001): Mineralogija i petrologija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Vrkljan, M. (2012): Uvod u mineralogiju i petrologiju. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Thompson, G. R. & Turk, J. (1999): Earth Science and the Environment. Saunders College Publishing, Fort Worth, Philadelphia, San Diego, New York.

Plummer, Ch. C., McGary, D. & Carlson, D. H. (2001): Physical Geology. Mc Graw Hill, New York, San Francisco.

Tišljar, J. (2004): Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Tišljar, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Hyndman, D.W. (1985): Petrology of igneous and metamorphic rocks.- McGraw-Hill Book Company, 786 str.

Blatt, H. & Tracy, R.J. (1996): Petrology. Igneous, Sedimentary and Metamorphic.- W.H. Freeman and co., 529 str.

Povijest mineralogije

- Teofrast (371-286 pr. K.) - “O stijenama”,
- Plinije Stariji (23-79) - “Historia naturalis”
- 1530. Georg Bauer (Georgius Agricola) - “De re metalica”
- 1669. Niels Stensen (Nicolaus Steno) pravilnost na kristalima kvarca
- 1772. Jean-Baptiste Romé de l’Isle 1. kristalografski zakon tzv. zakon o stalnosti kuteva,
- 1780. Carangeot - kontaktni goniometar
- 1784. René-Just Haüy - ”molekule sastavljačice”
- 1801. 2. kristalografski zakon tj. zakon o racionalnom odnosu parametara
- 1815. Cordier koristi obični mikroskop, 1828. W. Nicol izumio polarizator,
- 1858. H.C. Sorby konstruirao i koristio polarizacijski mikroskop

-druga polovica XIX. st. - E.S. Fjodorov, A. Schönflies i W. Barlow - teorije o unutrašnjoj simetriji i uređenosti kristalnih struktura - kristalna struktura je izgrađena od pravilno raspoređenih atoma koji sačinjavaju prostornu rešetku. Svojim teorijama postavljaju temelje rendgenske kristalografije.

-1912. W. Friedrich i P. Knipping na poticaj Maxa von Lauea, pokazali da kristali difraktiraju rendgensko zračenje i time dokazali da imaju pravilnu uređenu unutrašnju građu.

-1914. W.H. Bragg i njegov sin W.L. Bragg objavljuju prve kristalne strukture.

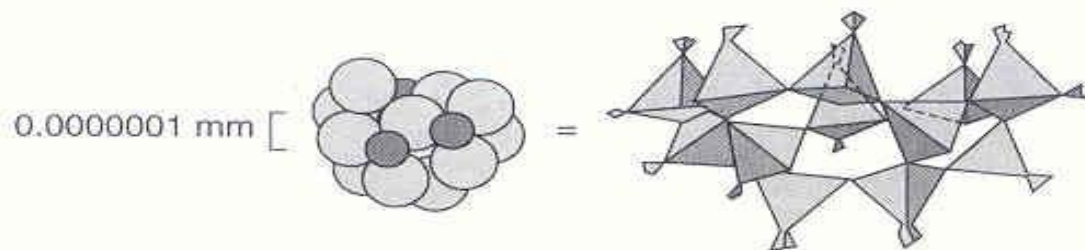
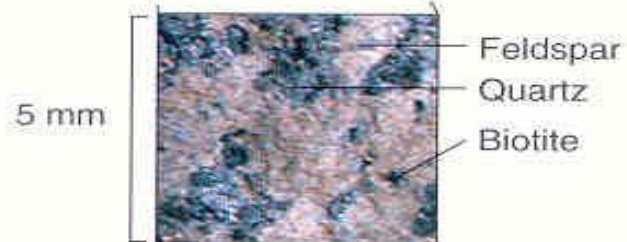
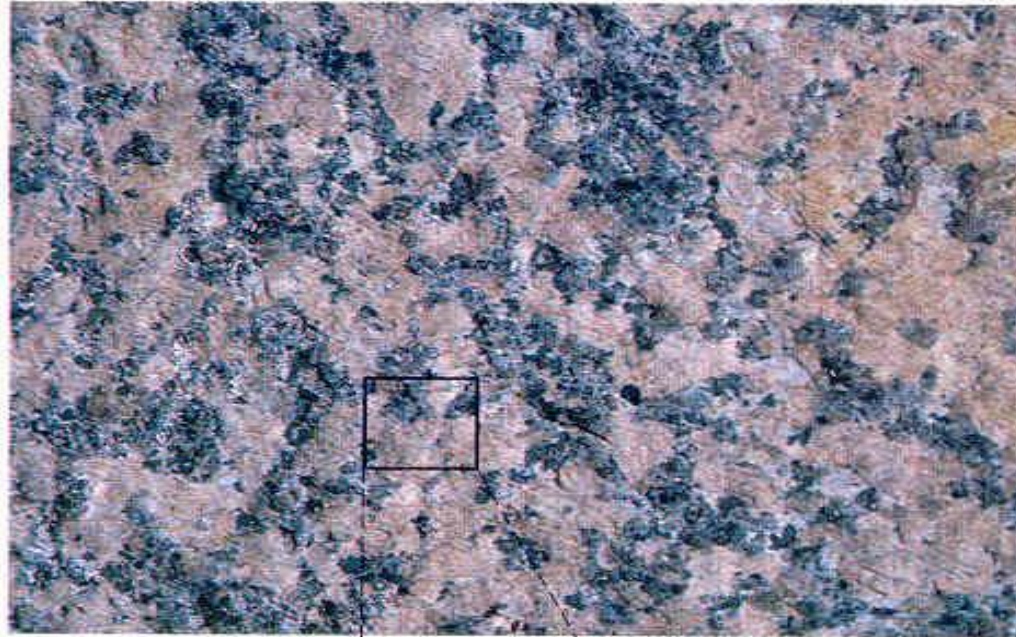
-početkom šezdesetih godina XX. st značajni doprinos razvoju mineralogije dala je pojava elektronske mikroprobe

-visokorazlučivi transmisijski elektronski mikroskop početkom sedamdesetih omogućio je svojim povećanjima od nekoliko miliona puta promatranje unutrašnje građe kristala.

MINERALOGIJA I PETROLOGIJA

(Materijali od kojih je izgrađena Zemlja)

- **Stijene** – “mješavina” minerala. Prirodno formirani, konsolidirani materijal sastavljen od jednog ili više minerala. Zemlja je gotovo u potpunosti stijena do dubine 2900 km (do granice čvrstog plašta s rastaljenom vanjskom jezgrom)
- **Minerali** - homogene čvrste tvari pravilne unutrašnje građe nastale prirodnim, uglavnom anorganskim procesima, definiranog kemijskog sastava koji se može izraziti kemijskom formulom. Iz kemijskih formula vidimo da minerali sadrže jedan ili više kemijskih elemenata.
- **Elementi** – fundamentalni sastojci materije koji se, uobičajenim kemijskim procesima, ne mogu razdijeliti u jednostavnije supstancije.
- **Atomi** – osnovne, najmanje čestice materije (elementa) koje zadržavaju svojstva te materije (elementa).

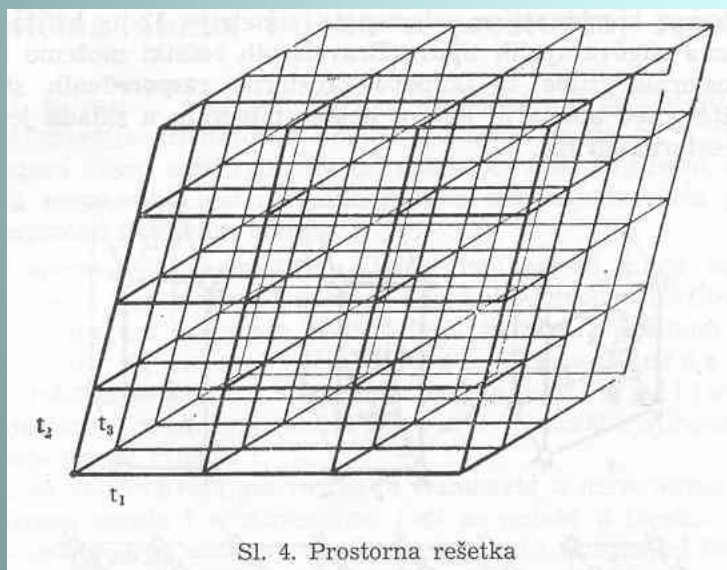
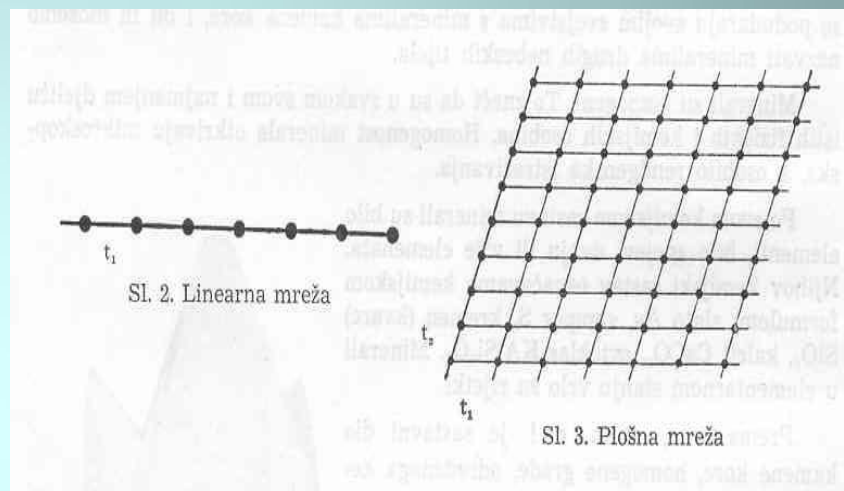


Silicon and oxygen atoms
in crystalline structure

Diagrammatic representation
of crystalline structure

PRAVILNA UNUTRAŠNJA GRAĐA

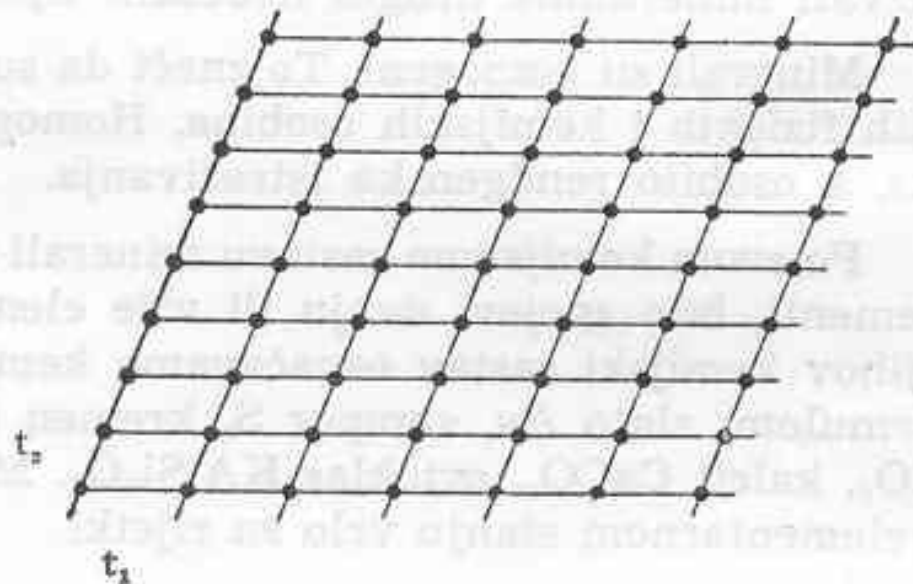
- materijalne čestice (atomi, ioni, molekule, anionske skupine)
- točkasti niz
- mrežna ravnina
- trodimenzionalna, kristalna rešetka



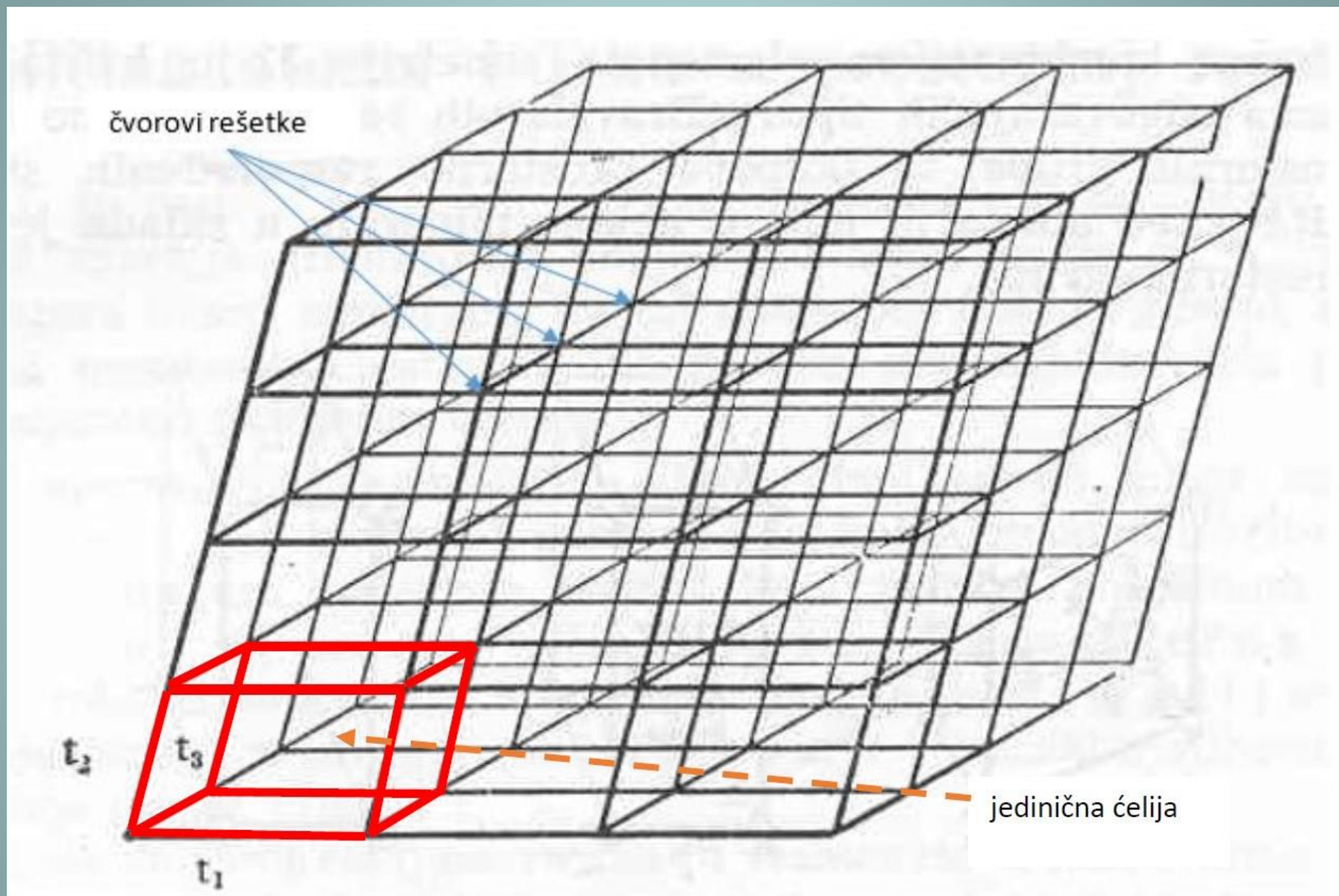
Unutarnja građa minerala može se predložiti pravilnom trodimenzionalnom rešetkom (sl.4) čije čvorove zamjenjuju materijalne čestice –ioni, atomi, molekule (slide 8). Ako materijalnu česticu ponavljamo, transliramo za udaljenost t_1 po nekom pravcu dobit ćemo točkasti niz istovrsnih materijalnih čestica (sl.2, slide 7). Ako takav točkasti niz transliramo za udaljenost t_2 po nekom drugom pravcu koji leži u istoj ravnini dobit ćemo mrežnu ravninu (sl.3, slide7), a ako tu mrežnu ravninu transliramo za neku udaljenost t_3 u smjeru trećeg pravca, koji ne leži u istoj ravnini s prva dva, dobit ćemo trodimenzionalnu, kristalnu rešetku istovrsnih materijalnih čestica (sl.4, slide 8).



Sl. 2. Linearna mreža

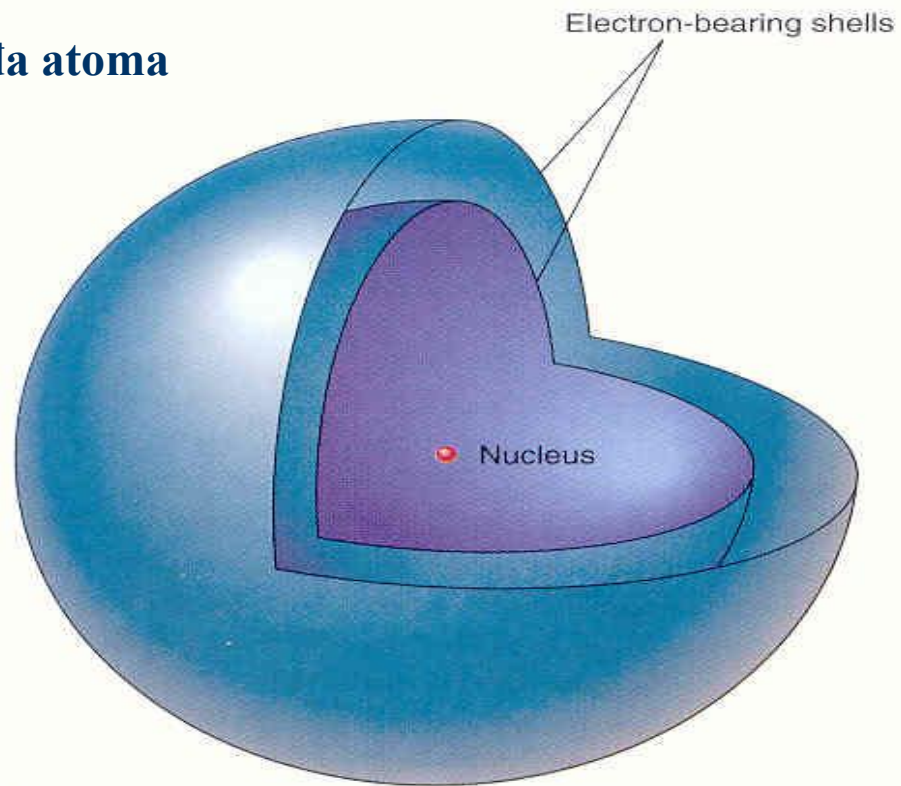


Sl. 3. Plošna mreža

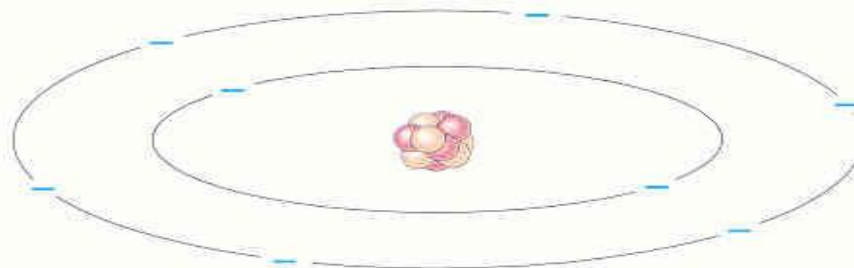


Kristalna (prostorna) rešetka

Grada atoma



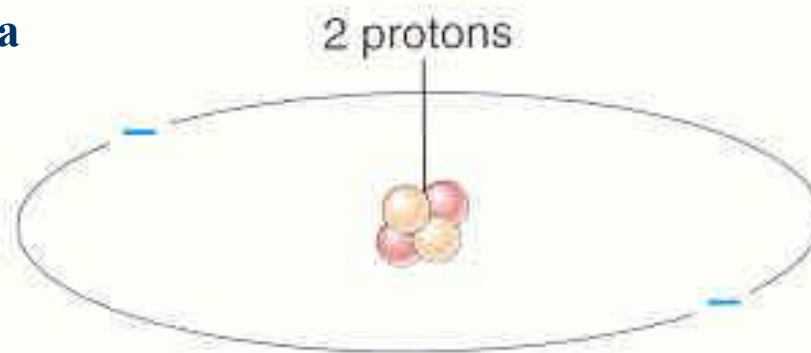
A



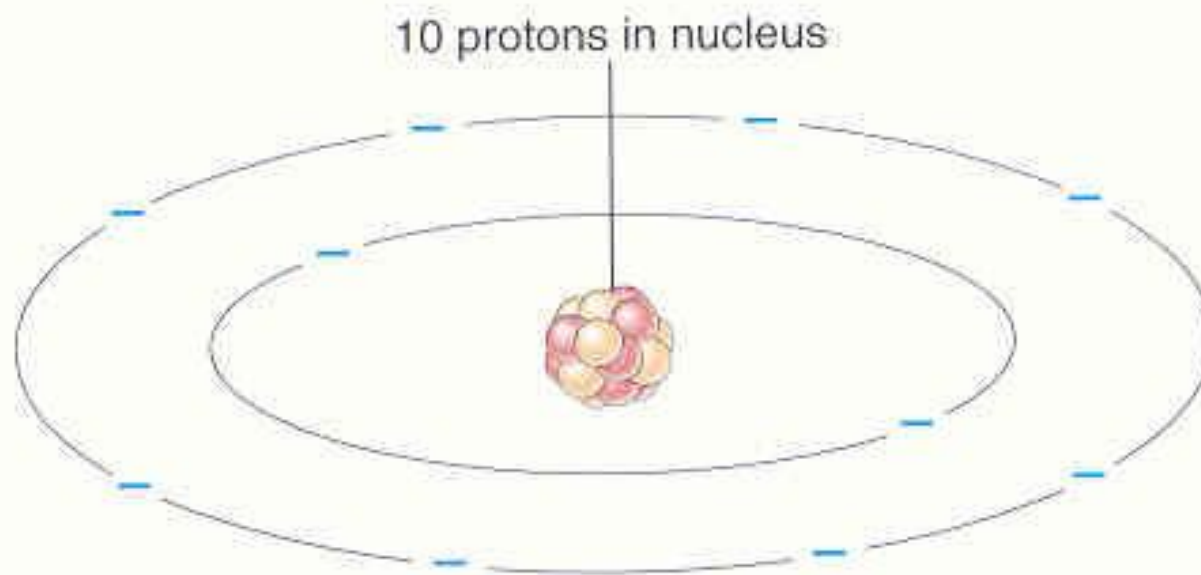
- Protons (8 are present)
- Neutrons (usually 8 are present)
- Electrons

B

Grada atoma



A Helium



B Neon

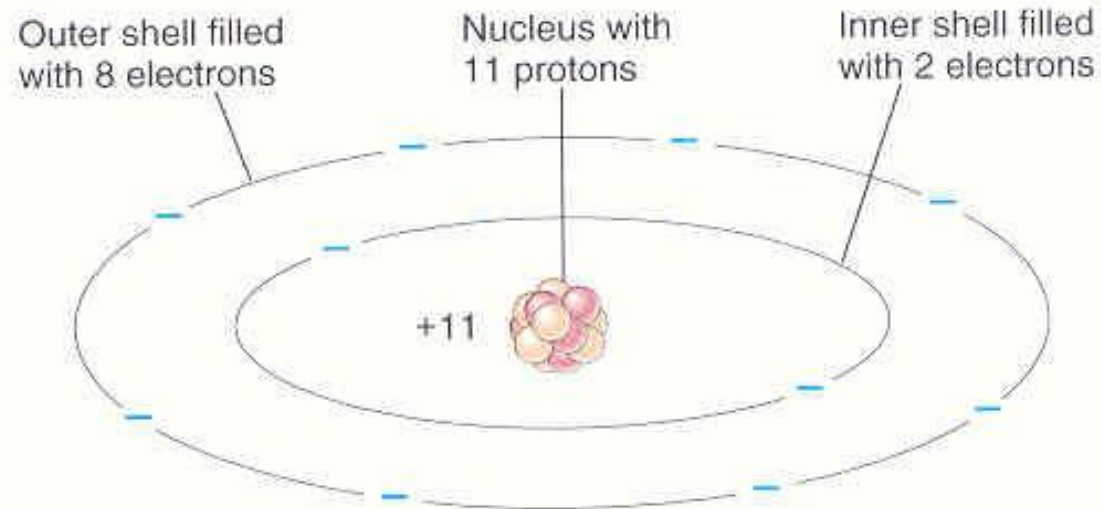
 Protons

 Neutrons

 Electrons

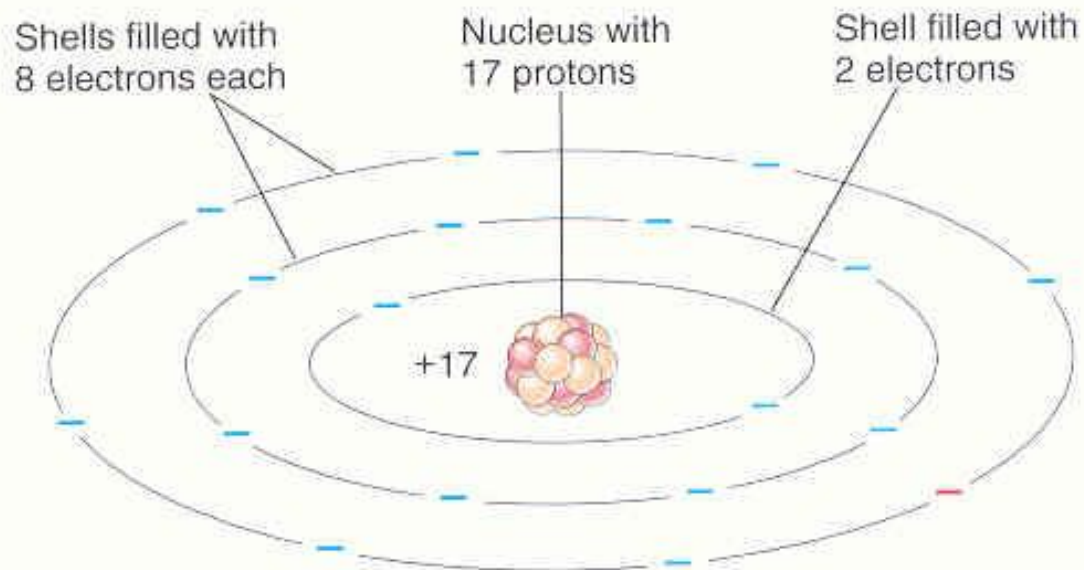
Ioni:

- kation



A Sodium (Na^+)

- anion



B Chlorine (Cl^-)

● Protons

● Neutrons

— Electrons

Periodic Table of the Elements

Periodic Table of the Elements												Representative (main group) elements													
Representative (main group) elements		Transition metals										Representative (main group) elements													
IA												VIIIA													
1	H 1.0079											2 He 4.003													
2	Li 6.941	Be 9.012											B 10.811	C 12.011	N 14.007	O 15.999	F 18.998	Ne 20.180							
3	Na 22.990	Mg 24.305											Al 26.982	Si 28.086	P 30.974	S 32.066	Cl 35.453	Ar 39.948							
4	K 39.098	Ca 40.078	Sc 44.956	Ti 47.88	V 50.942	Cr 51.996	Mn 54.938	Fe 55.845	Co 58.933	Ni 58.69	Cu 63.546	Zn 65.39	Ga 69.723	Ge 72.61	As 74.922	Se 78.96	Br 79.904	Kr 83.8							
5	Rb 85.468	Sr 87.62	Y 88.906	Zr 91.224	Nb 92.906	Mo 95.94	Tc 98	Ru 101.07	Rh 102.906	Pd 106.42	Ag 107.868	Cd 112.411	In 114.82	Sn 118.71	Sb 121.76	Te 127.60	I 126.905	Xe 131.29							
6	Cs 132.905	Ba 137.327	La 138.906	Hf 178.49	Ta 180.948	W 183.84	Re 186.207	Os 190.23	Ir 192.22	Pt 195.08	Au 196.967	Hg 200.59	Tl 204.383	Pb 207.2	Bi 208.980	Po 209	At 210	Rn 222							
7	Fr 223	Ra 226.025	Ac 227.028	Rf 261	Db 262	Sg 263	Bh 262	Hs 265	Mt 266	Uun 269	Uuu 272	Uub 277		114		116		118							
												Rare earth elements													
Lanthanides												58 Ce 140.115	59 Pr 140.908	60 Nd 144.24	61 Pm 145	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.925	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.934	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967
Actinides												90 Th 232.038	91 Pa 231.036	92 U 238.029	93 Np 237.048	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 262

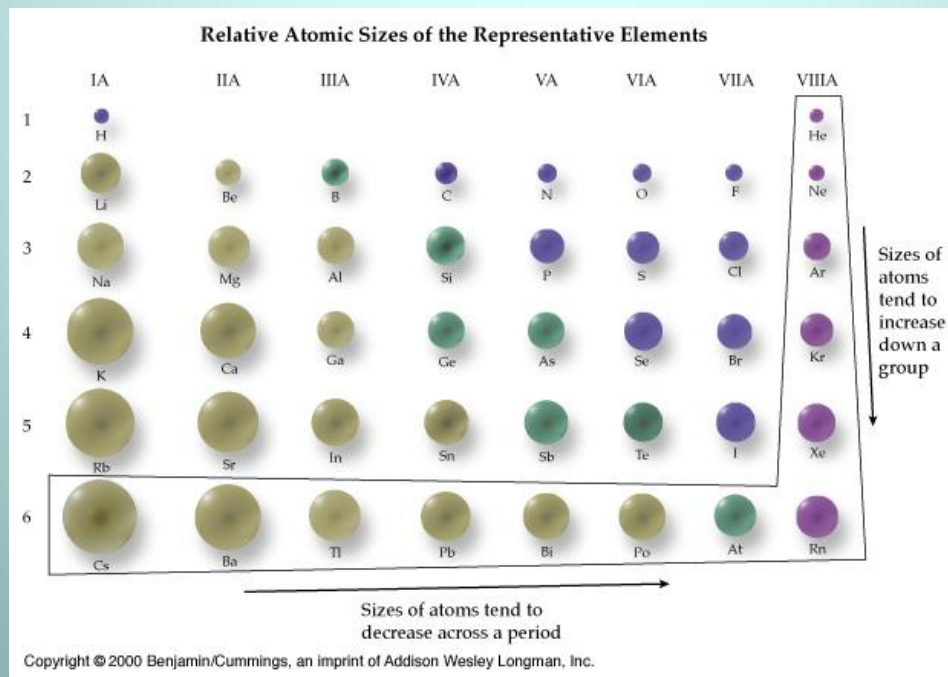
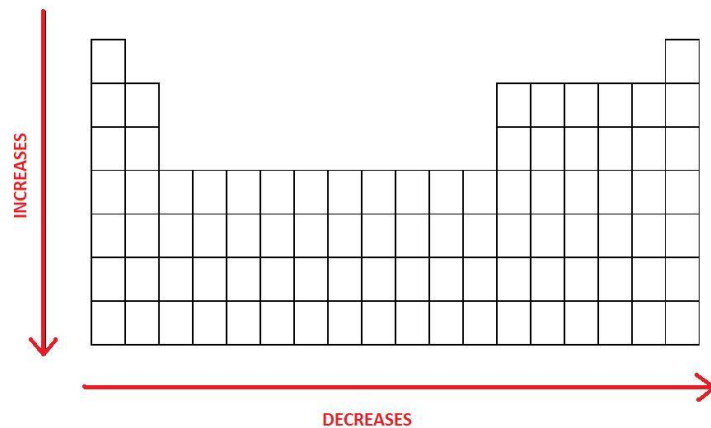
VELIČINA ATOMA

Atomski radijus je pojam kojim opisujemo veličinu atoma, govori koliko daleko se elektroni u jednom atomu mogu pružati daleko od jezgre, te predstavlja prostor u kojem je vjerojatnost nalaženja elektrona najmanje 95 % , drugim riječima to je udaljenost od jezgre do najzadnje elektronske orbitale ili pojednostavljeno, možemo ga definirati kao radijus kruga, kojemu je središte jezgra atoma, a rub vanjska orbitala elektrona.

Atomski radijus nekog elementa ili ionski radijus iona ne moraju biti konstantni, mogu biti različiti u različitim kristalnim strukturama. To ovisi o tipu kemijskih veza i koordinacijskom broju (broju najbližih susjednih atoma ili iona koji okružuju neki specifični atom ili ion). Tako postoje:

- Kovalentni radijus: radijus atoma nekog elementa kada je kovalentnom vezom vezan za drugi atom, izveden iz udaljenosti između jezgri atoma u molekuli. U principu udaljenost između dva atoma vezanih u molekuli (duljina kovalentne veze) treba odgovarati sumi njihovih kovalentnih radijusa.
- Metalni radijus: radijus atoma nekog elementa kada je vezan za drugi atom metalnom vezom
- Van der Walsov radijus: pola minimalne udaljenosti između jezgri dva atoma koja nisu vezana u istoj molekuli, a molekule se drže zajedno van der Walsovom vezom.
- Ionski radijus: radijus iona elementa u određenom ionizacijskom stanju, dobiven iz udaljenosti jezgri atoma u kristalima soli koje uključuju taj ion. U principu udaljenost između dva suprotno nabijena iona koji se dodiruju (duljina ionske veze) treba odgovarati sumi njihovih ionskih radijusa.
- Bohrov radijus: radijus elektronske orbite najniže energije predviđen Bohrovim modelom atoma. Prikladan je samo za atome i ione s jednim elektronom.

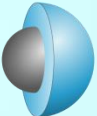
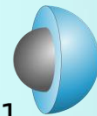
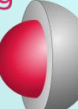
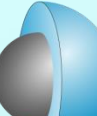
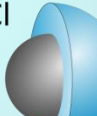
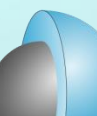
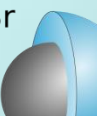
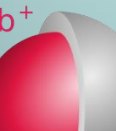
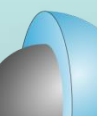
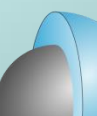
VELIČINA ATOMA



Ionski radijus

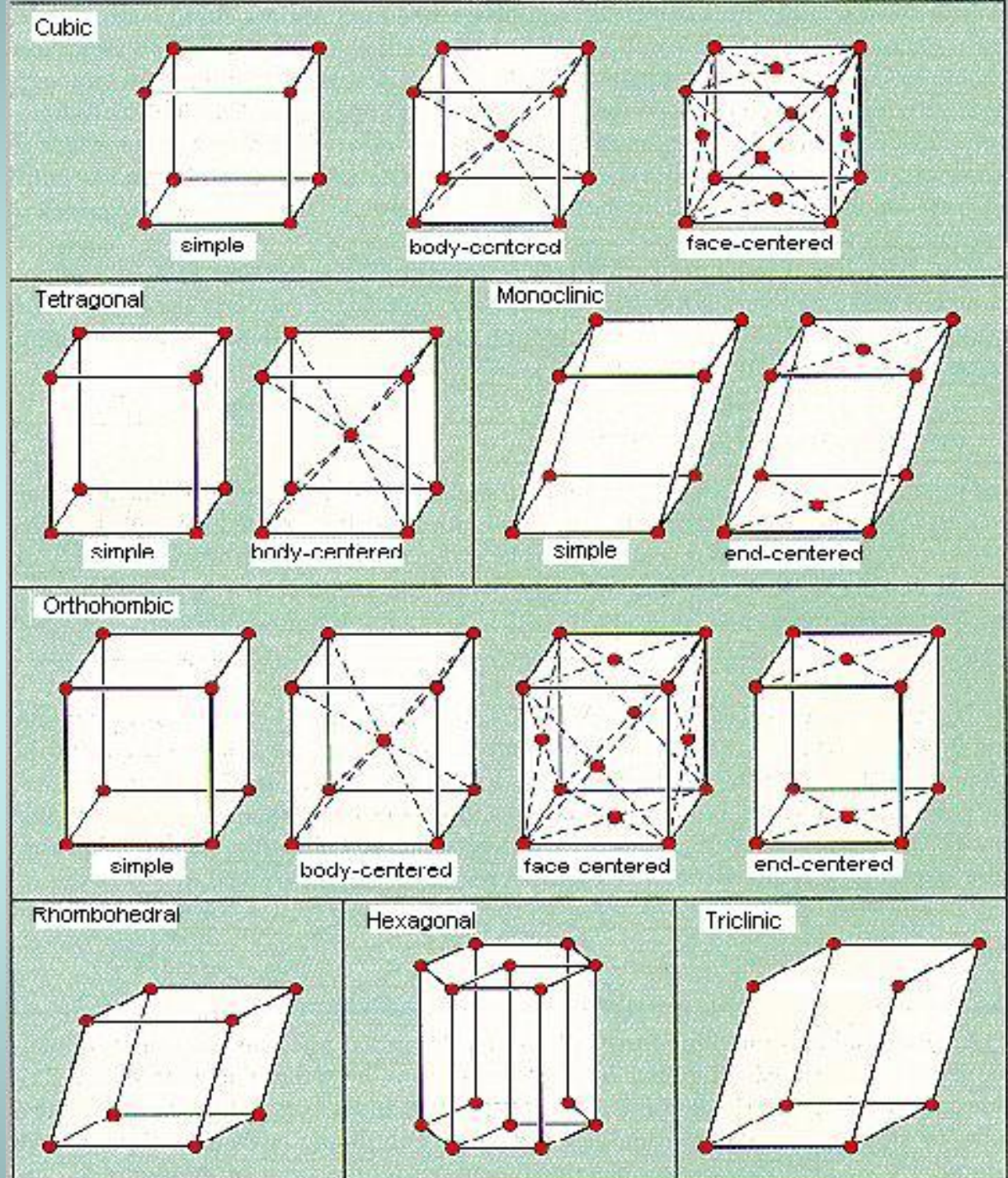
- prilikom prijelaza neutralnog atoma u ion dolazi do promjene u njegovoj veličini
- Kationi imaju manji ionski radijus od svojih neutralnih atoma
- Anioni imaju veći ionski radijus nego njihovi neutralni atomi
- Za elemente iste grupe, ionski radijus se povećava s povećanjem atomskog broja (npr. u grupi IIa najmanji ion je Be^{2+} (0,35Å), a najveći ion je Ra^{2+} (1,43Å). Iznimka su lantanidi.
- Za katione istog elementa, ali različitog naboja, npr. Mn^{2+} (0,80Å), Mn^{3+} (0,66Å), Mn^{4+} (0,60Å), Mn^{5+} (0,46Å), radijus se smanjuje s povećanjem naboja

Sizes of atoms and their ions in pm

Group 1	Group 2	Group 13	Group 16	Group 17
Li^+ Li  90 134	Be^{2+} Be  59 90	B^{3+} B  41 82	O O^{2-}  73 126	F F^-  71 119
Na^+ Na  116 154	Mg^{2+} Mg  86 130	Al^{3+} Al  68 118	S S^{2-}  102 170	Cl Cl^-  99 167
K^+ K  152 196	Ca^{2+} Ca  114 174	Ga^{3+} Ga  76 126	Se Se^{2-}  116 184	Br Br^-  114 182
Rb^+ Rb  166 211	Sr^{2+} Sr  132 192	In^{3+} In  94 144	Te Te^{2-}  135 207	I I^-  133 206

Bravais-ove jedinичne ćelije

- temeljna jedinica kristalne rešetke
- građena od istovrsnih materijalnih čestica
- ponavlja se u kristalu periodički u tri pravca od koji dva leže u istoj ravni
- definirana je bridovima i kutovima između njih, te položajem materijalnih čestica
- 14 tipova



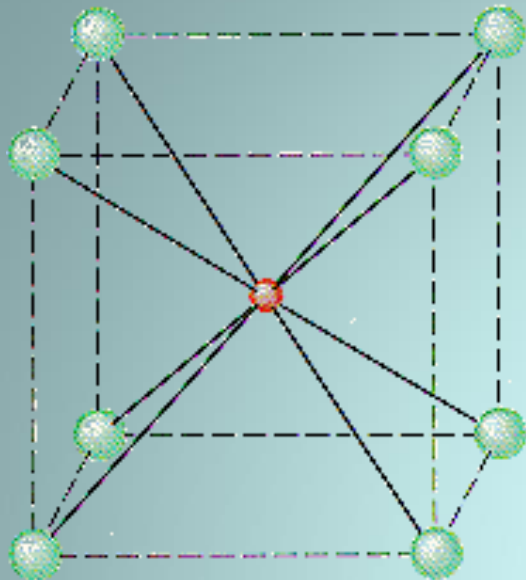
Bravais-ove jedinične ćelije

Prema duljini bridova i veličini kutova među njima razlikuje se sedam tipova jediničnih ćelija (kubična, tetragonska rompska, monoklinska, triklinska, heksagonska, trigonska).

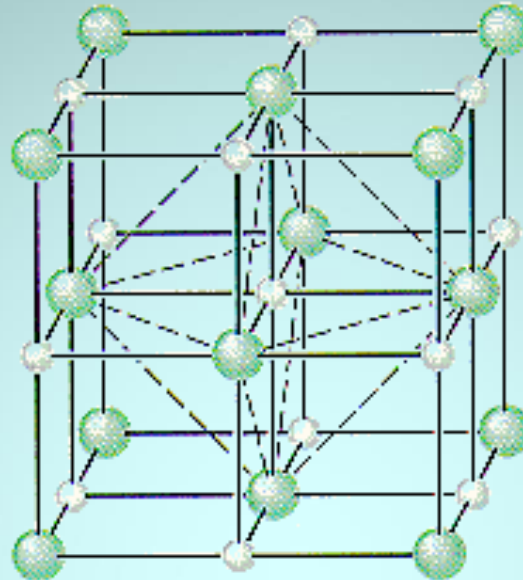
Prema rasporedu materijalnih čestica u ćeliji razlikuju se četiri tipa:

- Primitivna ili jednostavna ćelija (“simple”) (materijalne čestice samo u vrhovima paralelepipeda)
 - Volumno ili prostorno centrirana ćelija (“body centered”) (materijalne čestice na vrhovima i u središtu volumena paralelepipeda)
 - Plošno centrirana ćelija (“face centered”) (materijalne čestice na vrhovima i u sredini svake plohe paralelepipeda)
 - Bazno centrirana ćelija (“end centered”) (ćelija centrirana po paru ploha) (materijalne čestice na vrhovima i na sredini dviju nasuprotnih ploha paralelepipeda)
- Ako se udruže odnos bridova i kutova te raspored materijalnih čestica u jediničnoj ćeliji, moguće je izdvojiti 14 tipova jediničnih ćelija (Bravais-ove ćelije)

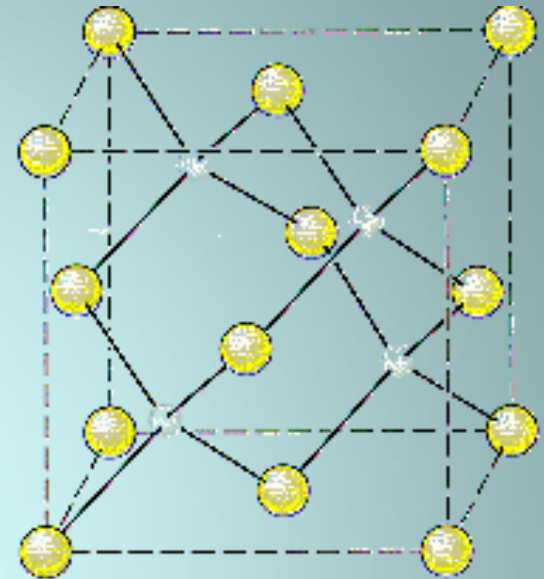
Kristalne strukture nekih minerala (zorni prikaz)



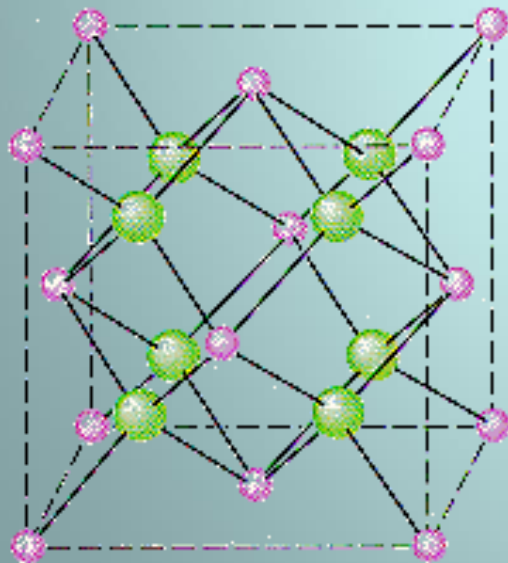
CsCl



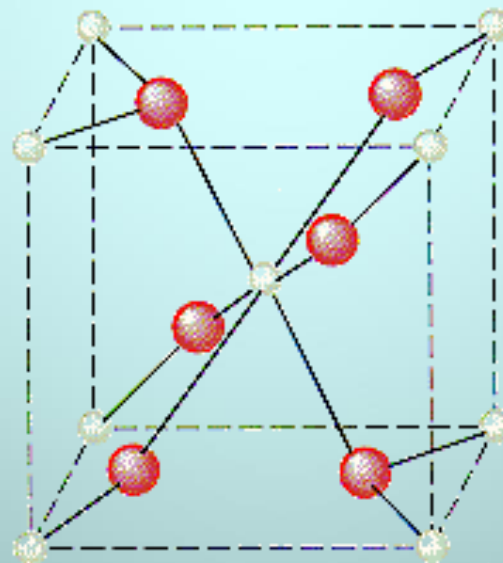
NaCl



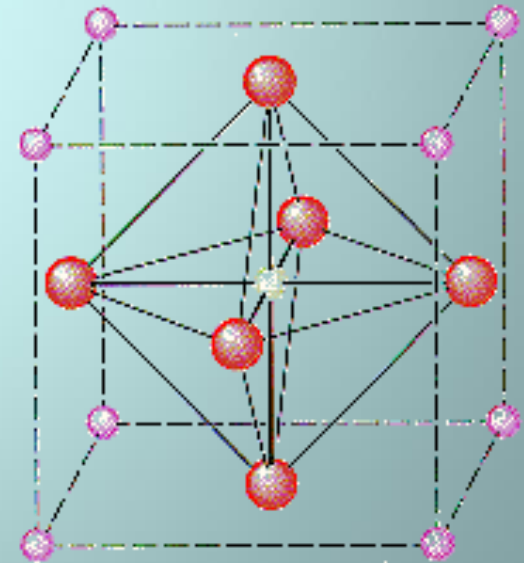
Zinc blende (cubic ZnS)



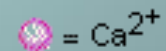
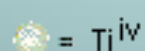
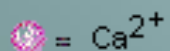
Fluorite (CaF_2)



Rutile (TiO_2)



Perovskite (CaTiO_3)



Koordinacijski poliedri (koordinacijski broj)

Kad se suprotno nabijeni ioni sjedine u kristalnu strukturu koje je dominantno ionska (elektrostatska), svaki ion ima tendenciju okupiti oko sebe (koordinirati) maksimalan broj suprotno nabijenih iona. Ione zamišljamo kao kugle koje su međusobno u kontaktu. Koordinirani ioni uvijek se grupiraju oko centralnog iona tako da njihovi centri leže u vrhovima poliedra. Tako, u stabilnoj kristalnoj strukturi, svaki kation leži u centru koordinacijskog poliedra građenog od aniona. Broj aniona u koordinacijskom poliedru oko centralnog kationa određuje koordinacijski broj kationa i determiniran je odnosom njihovih veličina. Po istom principu može se odrediti i koordinacijski broj aniona – broj kationa u koordinacijskom poliedru oko centralnog aniona.

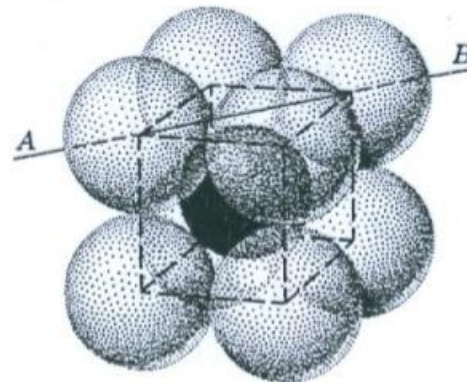
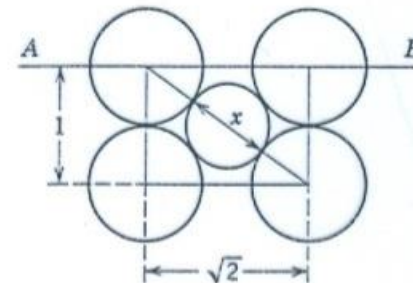


Fig. 4.8(a). Cubic or 8 coordination of Z ions about an X ion. $R_X:R_Z > 0.732$. (b) Limiting conditions for cubic coordination.

(a)



$$\begin{aligned}(1+x)^2 &= (1)^2 + (\sqrt{2})^2 \\ 1+x &= \sqrt{1+2} = 1.732 \\ x &= 0.732\end{aligned}$$

(b)

Koordinacijski poliedri (koordinacijski broj)

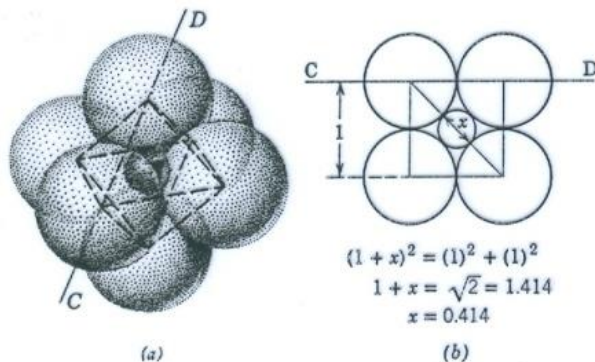
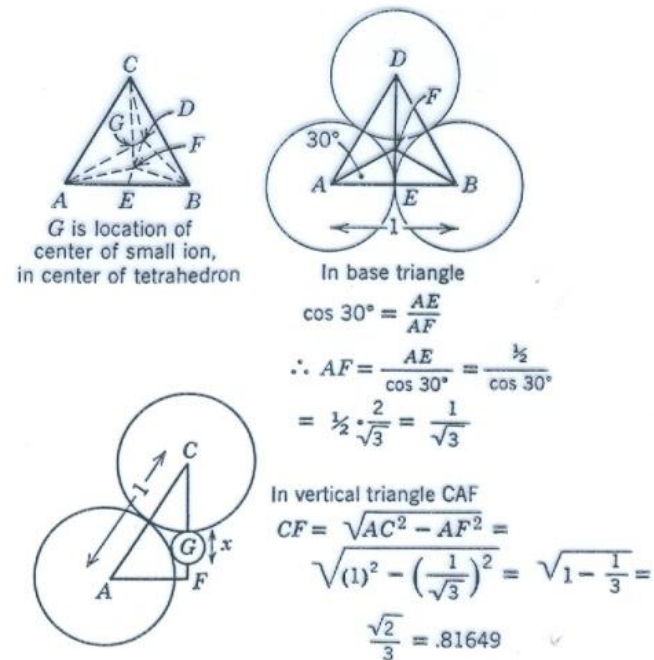


FIG. 4.9(a). Octahedral or 6 coordination of Z ions about an X ion. $R_X:R_Z = 0.732-0.414$. (b) Limiting condition for octahedral coordination.



Also $CG = \frac{3}{4} CF$, because center of tetrahedron G is $\frac{3}{4}$ up from the base.

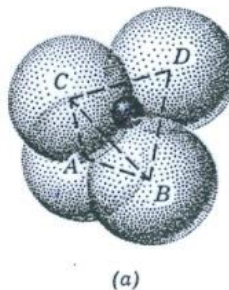
Furthermore $CG = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}x$

$$\therefore \frac{1}{2} + \frac{1}{2}x = \frac{3}{4} \cdot .81649 = .6124$$

$$\therefore \frac{1}{2}x = .6124 - .5 = .1124$$

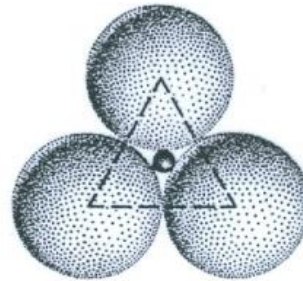
$$x = 0.225$$

FIG. 4.11(a). Tetrahedral or 4 coordination of Z ions about an X ion. $R_X:R_Z = 0.414-0.225$. (b) Limiting conditions for tetrahedral coordination.



(b)

Koordinacijski poliedri (koordinacijski broj)

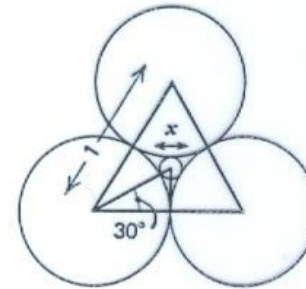


(a)

FIG. 4.12(a). Triangular or 3 coordination of Z ions about an X ion.

$R_X : R_Z = 0.225 - 0.155$. (b)

Limiting conditions for triangular coordination.



$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}x}$$

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}x = \frac{\frac{1}{2}}{\cos 30^\circ} = \frac{\frac{1}{2}}{0.8660} = 0.5774$$

$$\frac{1}{2}x = 0.5774 - 0.50 = 0.0774$$

$$x = 0.155$$

(b)

FIG. 4.13. Linear or 2 coordination of Z ions about an X ion.

$R_X : R_Z < 0.155$.

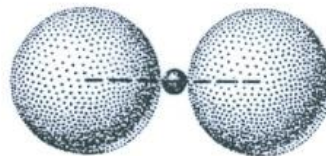


Table 10.1

**COORDINATION OF COMMON ELEMENTS
IN SILICATES^a**

	Coordination Number	Ion	Ionic Radius (Å)	$R_x : R_o$
Z	4	Si ⁴⁺	0.39	0.278
	4	Al ³⁺	0.51	0.364
Y	6	Al ³⁺	0.51	0.364
	6	Fe ³⁺	0.64	0.457
	6	Mg ²⁺	0.66	0.471
	6	Ti ⁴⁺	0.68	0.486
	6	Fe ²⁺	0.74	0.529
	6	Mn ²⁺	0.80	0.571
X	8	Na ⁺	0.97	0.693
	8	Ca ²⁺	0.99	0.707
X	8-12	K ⁺	1.33	0.950
	8-12	Ba ²⁺	1.34	0.957
	8-12	Rb ⁺	1.47	1.050

^a See Table 4.3 for a complete listing of ionic radii.

VEZIVANJE MATERIJSKIH ČESTICA - TIPOVI KEMIJSKIH VEZA

- Ionska veza
- Kovalentna veza
- Metalna veza
- Van der Waalsova veza

Svojstva	Tip veze			
	ionska	kovalentna	metalna	Van der Waals-ova
Jakost veze	Jaka	Vrlo jaka	Varijabilna jakost, općenito srednja	slaba
Mehanička svojstva	Tvrdoća umjerena do visoka, ovisno o međuionskom razmaku i naboju; krhki	Tvrdoća vrlo visoka; krhki	Tvrdoća niska do umjerena; plastičnost, kovnost	Kristali mekani
Električna	Slabi vodiči u čvrstom stanju; taljevine i otopine provode struju	Izolatori u čvrstom stanju i taljevini	Dobri vodiči	Izolatori i u čvrstom i tekućem stanju
Termalna (talište; koeficijent termalne ekspanzije=KTE)	Talište umjereno do visoko ovisno o međuionskom razmaku i naboju; niski KTE	Talište visoko; niski KTE; atomi i molekule u taljevini	Talište varijabilno; KTE također; atomi u taljevini	Nisko talište; visoki KTE; molekule tekućih kristala u taljevini
Topljivost	Topljivi u polarnim otapalima; daju otopine koje sadrže ione	Topljivost vrlo slaba	Netopljivi, osim u kiselinama ili lužinama	Topljivi u organskim otapalima
Strukturna	Strukture visoke koordinacije i visoke simetrije; neusmjerene	Strukture niže koordinacije i simetrije; strogo usmjerene	Strukture vrlo visoke koordinacije i simetrije; neusmjerene	Strukture niske simetrije; neusmjerene
Primjeri	halit, NaCl; kalcit, CaCO ₃ ; fluorit, CaF ₂ ; većina minerala	dijamant, C; sfalerit, ZnS; molekule O ₂ , organske molekule	bakar, Cu; srebro, Ag; zlato, Au; većina metala	Jod, I ₂ ; organski spojevi; grafit, C

Odnos tipa kemijske veze i fizičkih svojstava minerala

KRISTALIZACIJA

Kristali se formiraju (odnosno, dolazi do kristalizacije) iz otopina, taljevina i iz plinovitog stanja. Atomi, ioni, molekule u takvim neuređenim stanjima imaju slučajnu distribuciju (statistička homogenost), ali s promjenom temperature, tlaka i koncentracije oni mogu stvarati uređene, pravilne strukture (periodička homogenost) karakteristične za kristalizirano stanje.

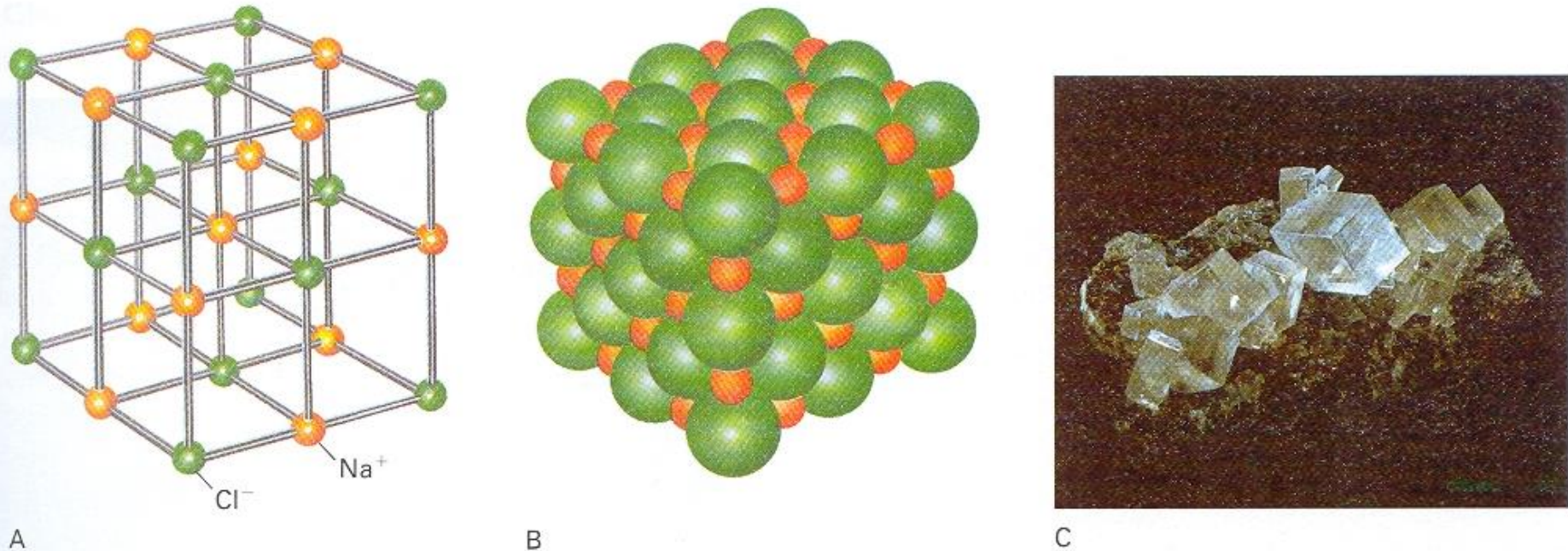
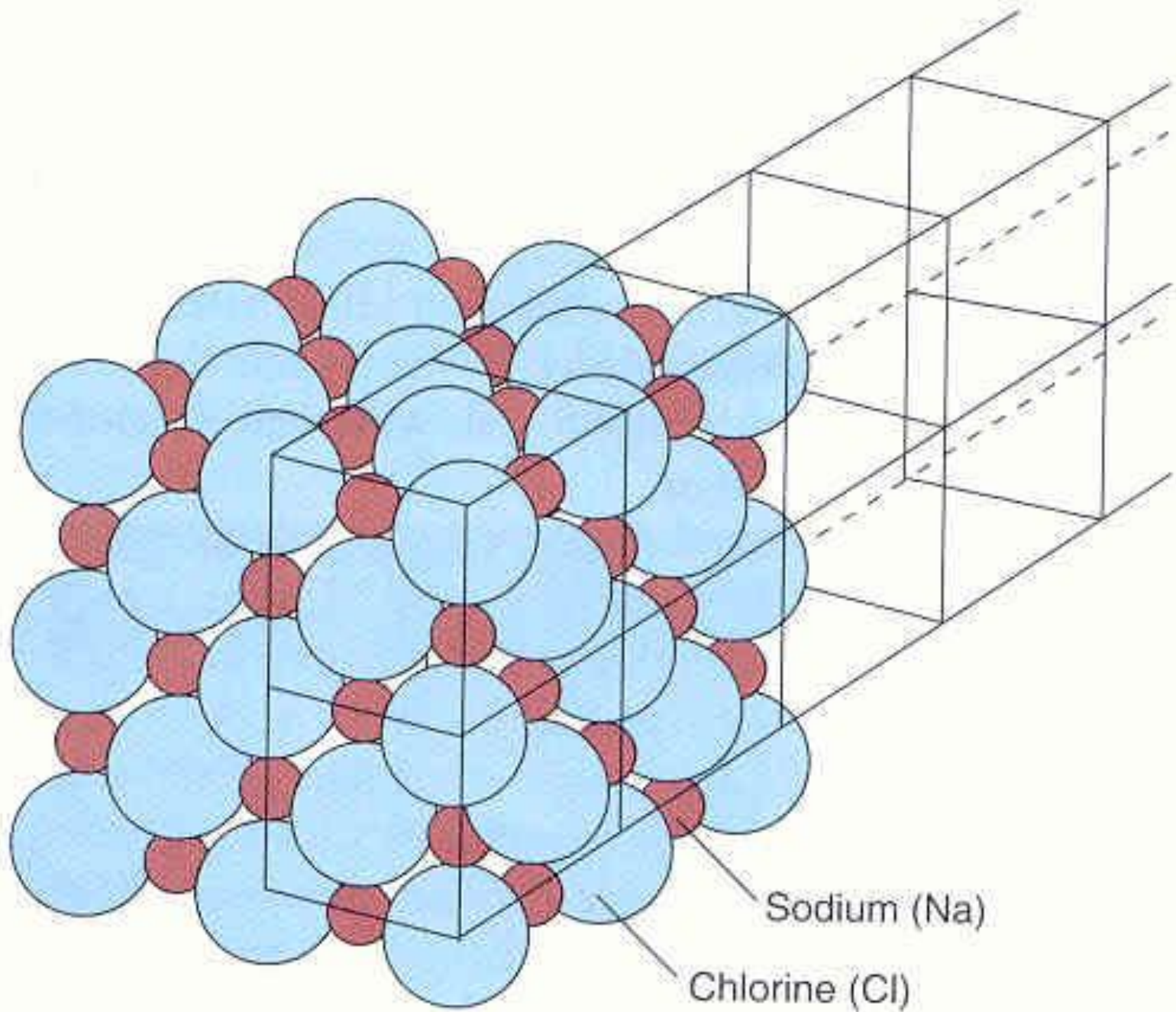


Figure 2-3 (A and B) The orderly arrangement of sodium and chlorine ions in halite. (C) Halite crystals. The crystal model in (A) is exploded so that you can see into it; the ions are actually closely packed as in (B). Note that ions in (A) and (B) form a cube, and the crystals in (C) are also cubes. (C, American Museum of Natural History)



Materija se javlja u tri agregatna stanja:

-plinovitom

veze među molekulama slabe i one se slobodno gibaju, slučajna raspodjela materije u prostoru –statistički homogena– isti sadržaj materije u nekom volumenu

Izotropna svojstva– grč. isos = jednak, grč. tropos=smjer -ista svojstva u različitim smjerovima

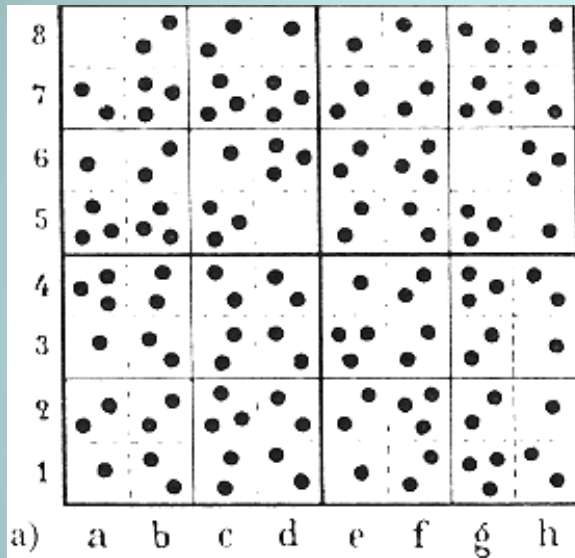
-tekućem

jače privlačne sile pa se molekule dodiruju, ali nemaju stalan položaj statistički homogen raspored materije i izotropna svojstva

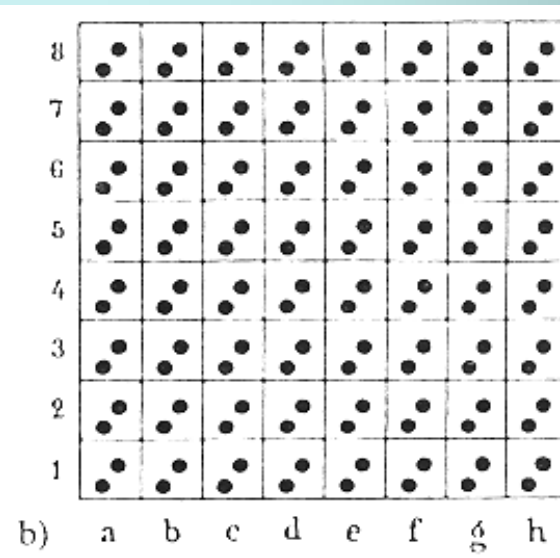
-krutom

kinetička energija atoma je toliko mala da su oni stalno vezani jedan za drugoga, gibanje atoma svodi se samo na titranje oko ravnotežnog položaja

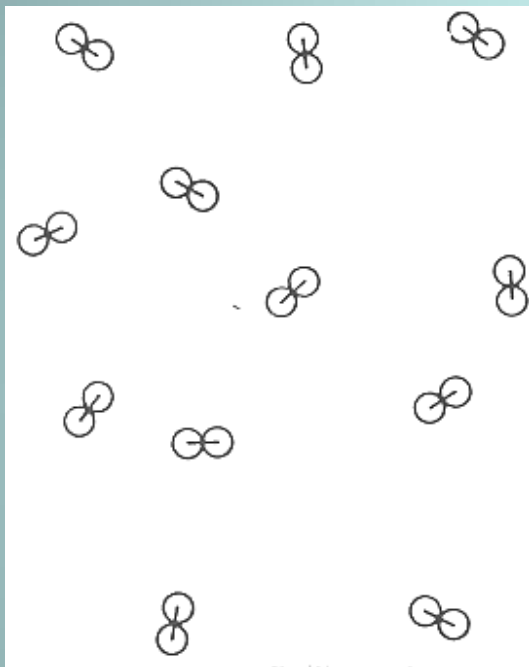
Statistička i periodična homogenost



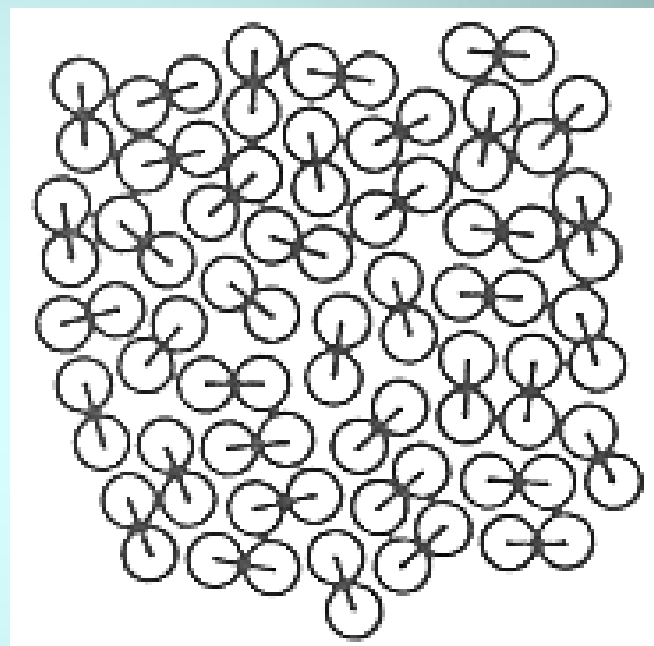
a) statistička homogenost - slučajan raspored materije



b) periodična homogenost – pravilan raspored materije

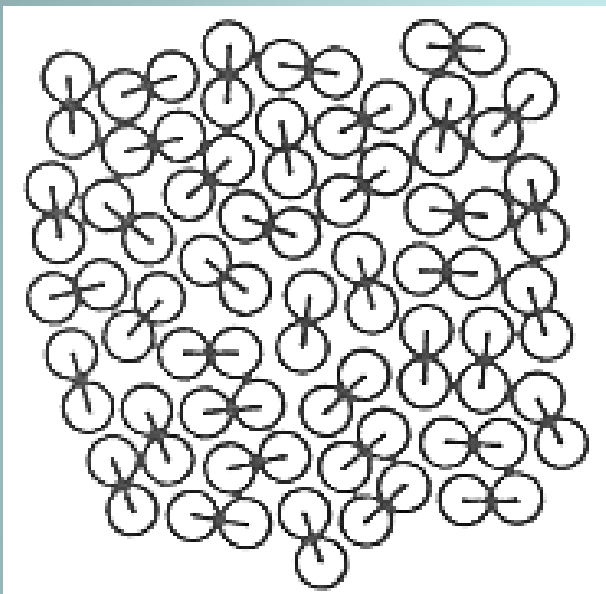


Plinovito agregatno stanje
(statistička homogenost)

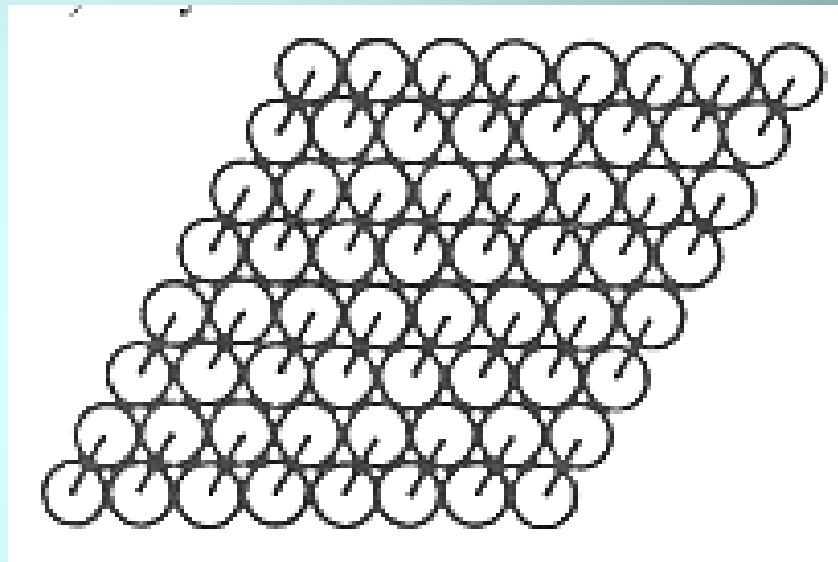


Tekuće agregatno stanje
(statistička homogenost)

Kruto agregatno stanje



Amorfna tvar
(statistička homogenost)



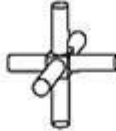
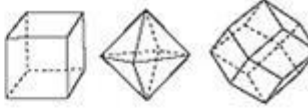
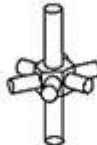
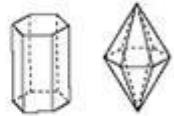
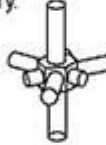
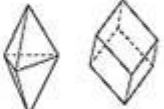
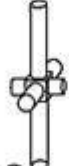
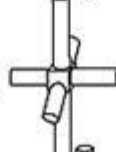
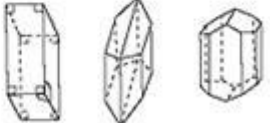
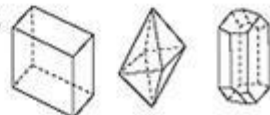
Kristalizirana tvar
(periodička homogenost)

Kristalni sustavi

-Za opis rešetke definira se koordinatni sustav, kojeg određuju tzv. kristalografske osi, paralelne s vektorima koji su definirali jediničnu ćeliju.

-Na temelju veličina kristalografskih osi, odnosno jedinica po njima koje su u skladu s dužinama bridova jedinične ćelije, te kuteva među osima, razlikujemo 6 odnosno 7 koordinatnih sustava tj. 6 odnosno 7 kristalnih sustava.

Kristalni sustav	Osni sustav
Trikliniski	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$
Monoklinski	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq (>) 90^\circ$
Rompski	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonski	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ tj. $a_1 = a_2 \neq c$
Trigonski	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ ili heksagonske osi
Heksagonski	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ tj. $a_1 = a_2 \neq c$ odnosno $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 120^\circ$ $\delta = 90^\circ$
Kubični	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ tj. $a_1 = a_2 = a_3$

crystal system	axes	typical forms
cubic three equal axes at right angles.		
tetragonal three axes at right angles, one unequal.		
hexagonal three equal axes at 120 degrees, a fourth at right angles with sixfold symmetry.		
trigonal as hexagonal, but with threefold symmetry		
orthorhombic three unequal axes at right angles		
monoclinic two axes at right angles, a third not.		
triclinic three axes: none at right angles		

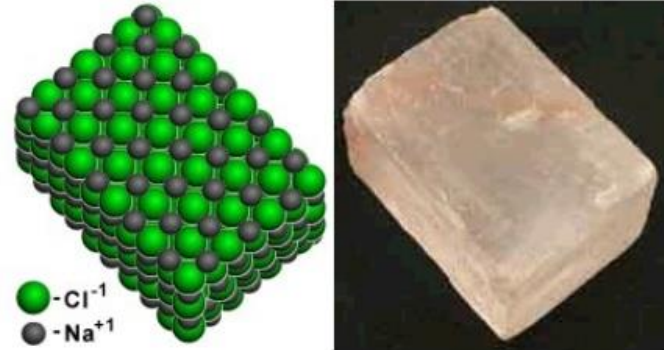
Morfologija

Morfologija se bavi proučavanjem i opisom vanjskog izgleda minerala.

Sve kristalizirane tvari, pa tako i minerali, mogu se razviti u kristalima. Kristal je kruto tijelo omeđeno prirodnim ploham nastalim prilikom njegova rasta koje su vanjski odraz njegove pravilne unutrašnje građe. Kristalne plohe su paralelne s mrežnim ravninama.

Crystal Shape

Crystal form(or shape) is the outward expression of a mineral's orderly internal arrangement of atoms.



The cubic shape of halite (salt) crystals results from the regular arrangement of sodium and chlorine atoms forming the crystal.

Habitus

Pomoću habitusa definiramo relativnu veličinu pojedinih ploha. Različiti habitusi su posljedica vanjskih utjecaja na rast kristala (pločasti, igličasti, prizmatski...)



C

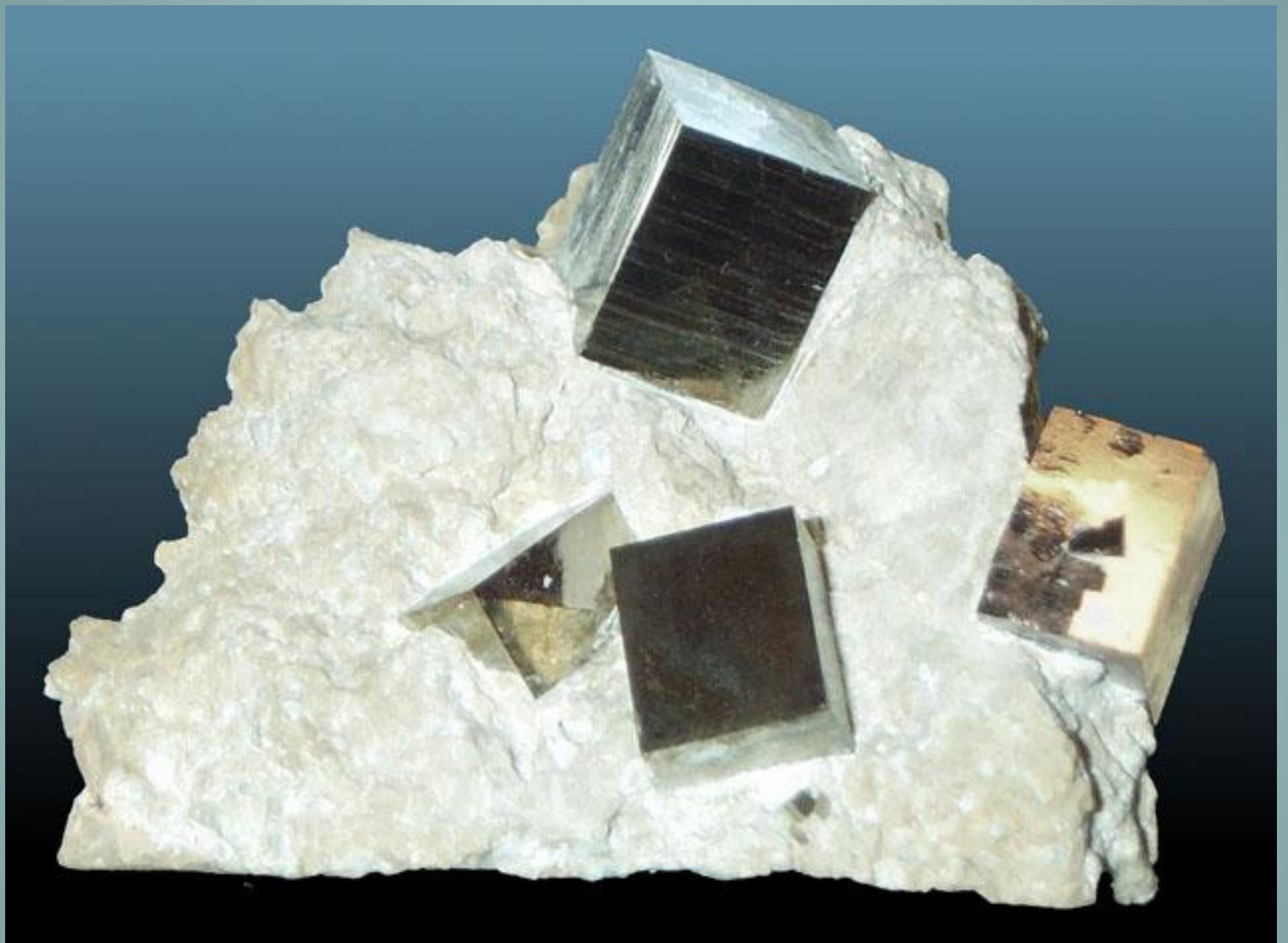
kristali halita

topaz



beril





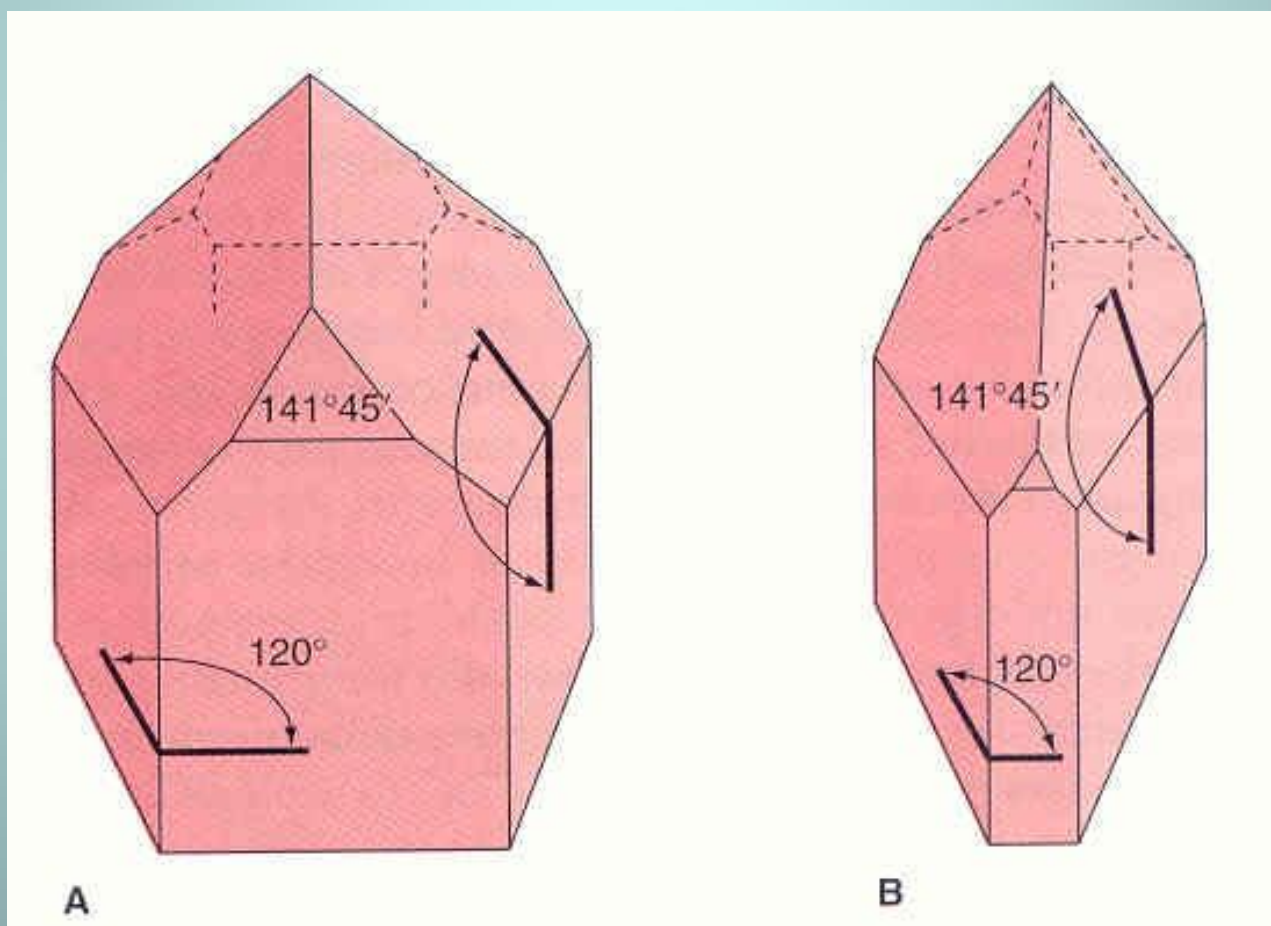
pirit

kvarc



Zakon o stalnosti kuteva

Kutevi između ekvivalentnih ploha na kristalima istog minerala, mjereni kod iste temperature, su konstantni. Minerali iste supstancije mogu stvarati kristale različitih oblika i veličina, ali kutevi između istovrsnih ploha su identični. Zbog toga je morfologija kristala korisno sredstvo u identifikaciji minerala.



Simetrija kristala

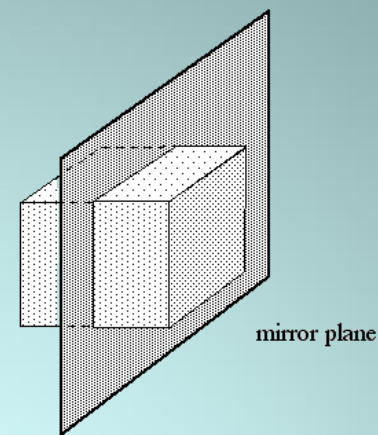
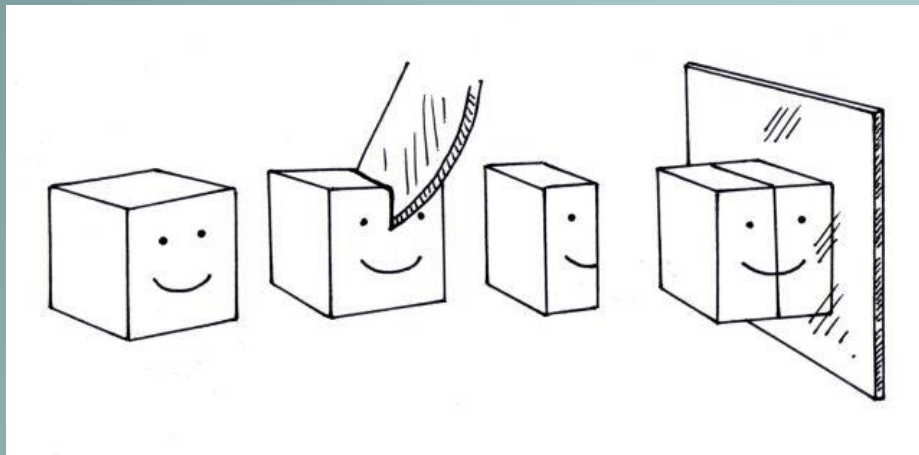
Simetrija je jedno od temeljnih svojstava kristala, izraženo jednim od kristalografskih zakona, zakonom simetrije, prema kojem se pri promjeni nekoga geometrijskog elementa kristala mijenjaju i ostali istovrsni geometrijski elementi. Ovaj zakon je 1815. definirao francuski mineralog R. J. Haüy. Ako npr. na jednom vrhu kristala oblika kocke (heksaedra) započne tvorba nove plohe, na svim ostalim vrhovima također će nastati istovrsna ploha. Elementi simetrije kristala mogu biti elementi makrosimetrije koji imaju odraz na vanjskoj simetriji kristala i elementi mikrosimetrije zbog kojih kristali imaju unutarnju simetriju (na nivou atoma i iona). Na temelju elemenata makrosimetrije kristali su grupirani u 32 kristalne klase, a na temelju svih elemenata simetrije (i makro i mikro) u 230 prostornih grupa. Dakle, svaka kristalna klasa predstavlja jednu jedinstvenu kombinaciju elemenata makrosimetrije.

Jednostavni elementi makrosimetrije (ponavljaju istovrsne geometrijske elemente samo jednom simetrijskom operacijom) su ravnina simetrije (zrcaljenje), rotacijske osi simetrije (rotacija) i centar simetrije (inverzija).

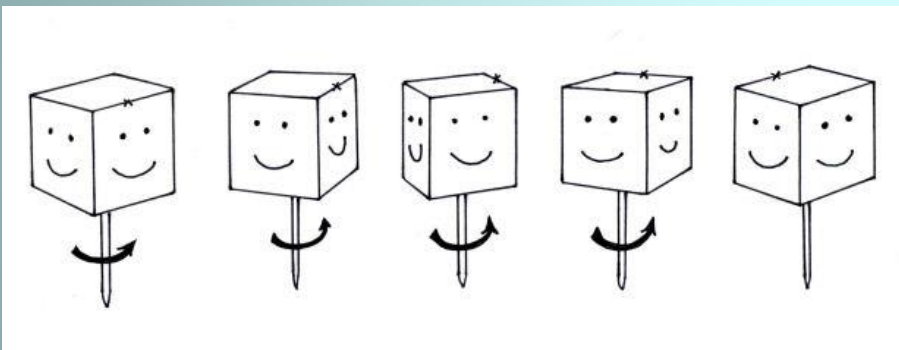
Ravnina simetrije – ravnina zamišljena kroz središte kristala koja dijeli kristal na dva jednaka, zrcalno *simetrična* dijela

Os simetrije (gira) - pravac zamišljen kroz središte kristala oko kojeg se kristal može okrenuti 2 (digira), 3 (trigira), 4 (tetragira) ili 6 (heksagira) puta unutar 360° (tj. Za 180° , 120° , 90° ili 60°), a da pri tome dođe u istovrsan položaj.

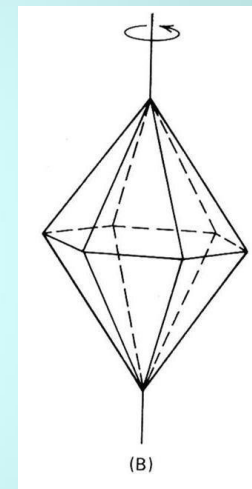
Centar simetrije – zamišljena točka u središtu kristala koja raspolavlja spojnice svih nasuprotnih, istovrsnih geometrijskih elemenata. Na kristalu koji ima centar simetrije za svaku plohu postoji istovrsna, usporedna i protivno orijentirana ploha na suprotnoj strani kristala.



ravnina
simetrije

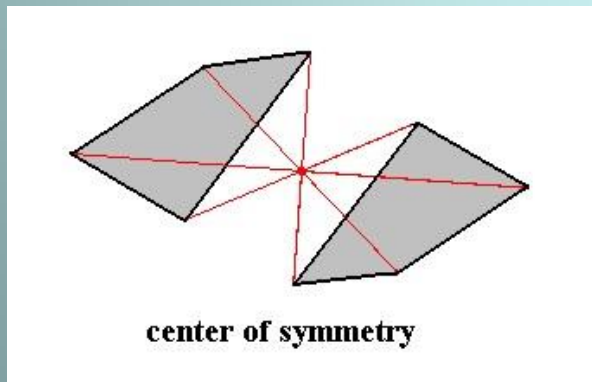


tetragira



heksagira

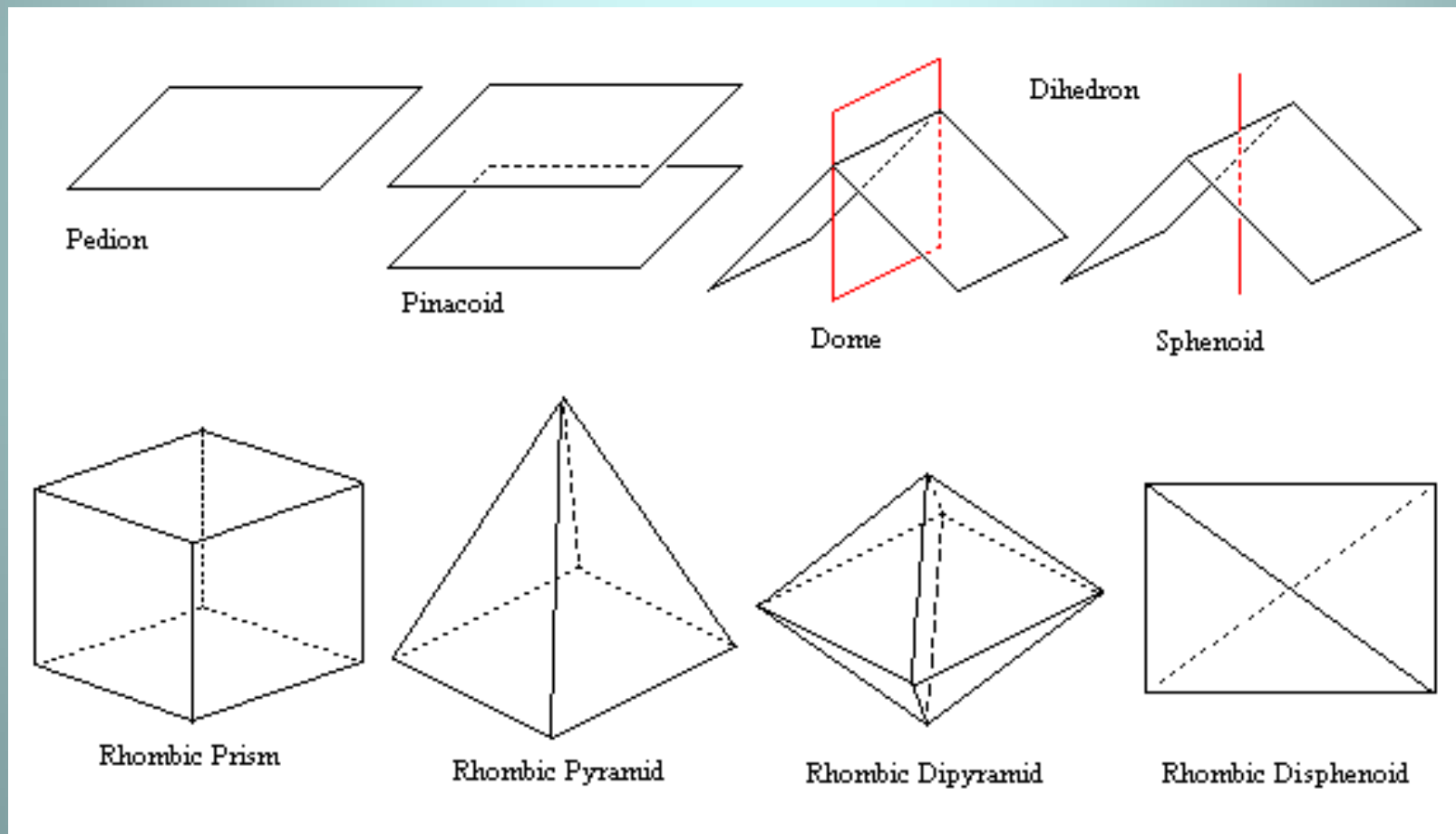
osi
simetrije



centar simetrije

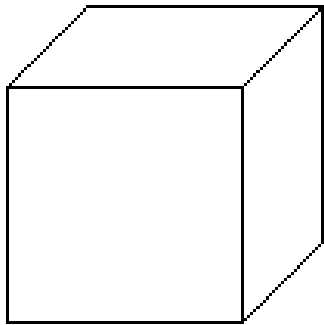
KRISTALNE FORME

Kristalna forma je skup istovrsnih ploha koji kao cijelina ima određenu simetriju. Zatvorena forma je forma čije plohe zatvaraju neki prostor, npr. heksaedar, dok plohe otvorene forme ne zatvaraju prostor, npr. prizme. Kristali mogu biti građeni od jedne ili kombinacije više formi. Unutar svake kristalne klase kristali mogu imati samo sedam različitih formi, ali velik broj njihovih kombinacija. Forme s najvišom simetrijom unutar jednog kristalnog sustava zovu se *holoedri*, a one s nižom simetrijom su *hemiedri*, *tetartoedri* itd.

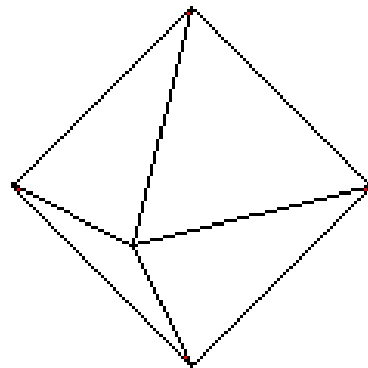


Zatvorene forme (kubični sustav)

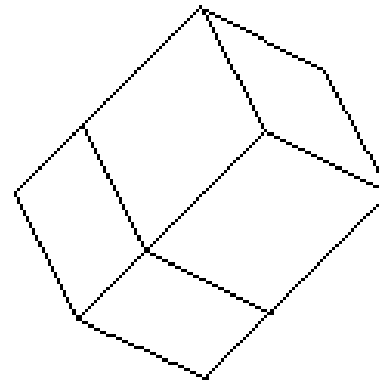
7 holoedarskih formi kubičnog sustava



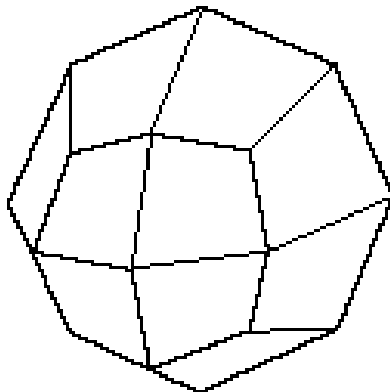
Cube



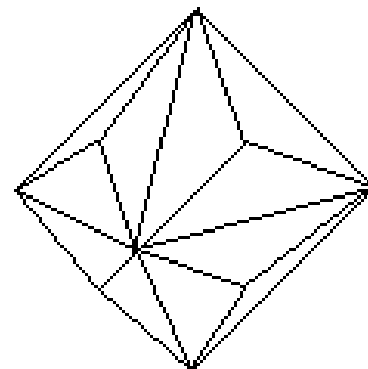
Octahedron



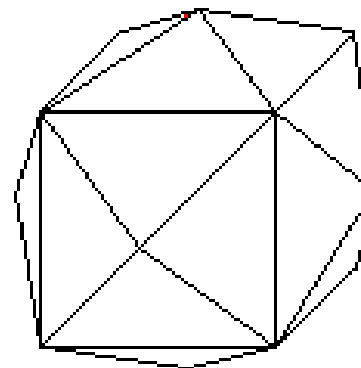
Rhombic
Dodecahedron



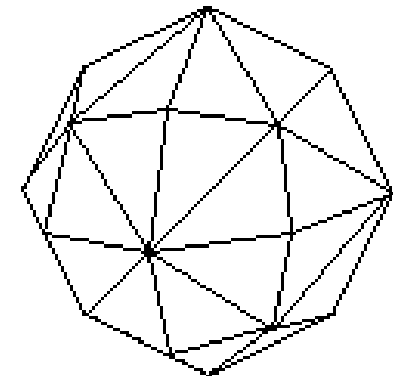
Trapezohedral
Trisoctahedron



Trigonal
Trisoctahedron

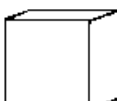
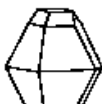
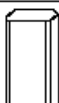
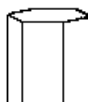


Tetrahexahedron

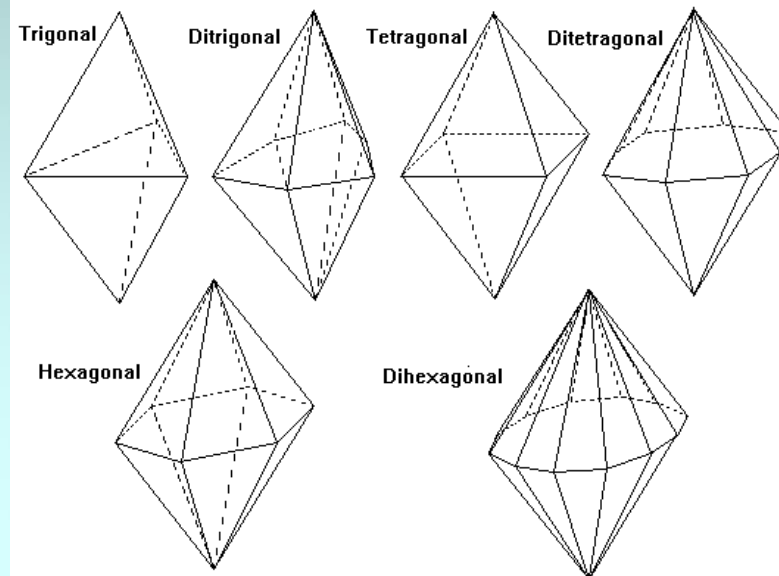


Hexoctahedron

Crystal form of the seven crystal systems

1. Cubic					
	cube	octahedron	Galena		
2. Tetragonal					
	Cassiterite	Zircon	Scheelite		
3. Orthorhombic					
	Sulfur	Barytes	Olivine		
4. Monoclinic					
	Wolframite	Gypsum	Augite	Orthoclase	
5. Triclinic					
	Chalcanthite	Kyanite	Axinite	Rhodonite	Albite
6. Hexagonal					
	Beryl	Apatite	Zincite		
7. Trigonal					
	rhombohedron	Calcite	Corundum	Quartz	

Zatvorene forme (bipiramide)



Otvorene forme (prizme)

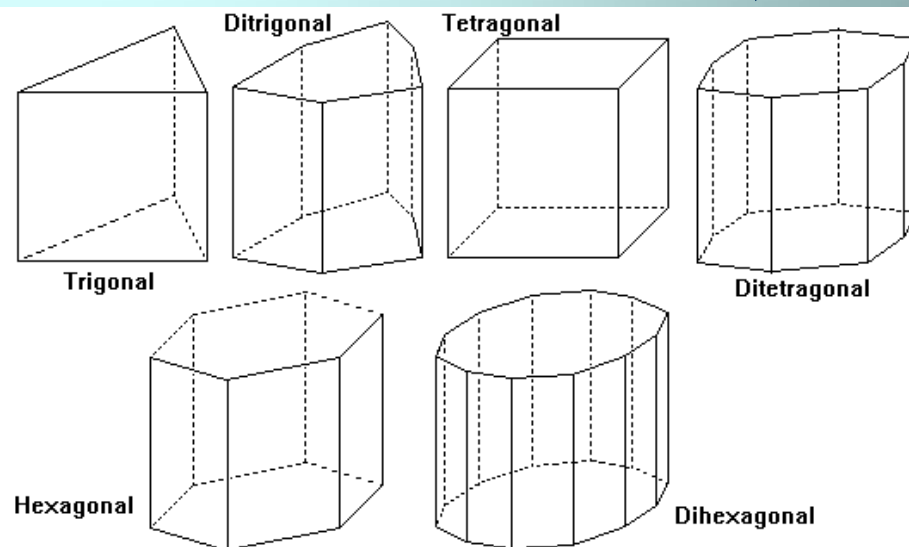


Table 2.3.
THE THIRTY-TWO
CRYSTAL CLASSES
AND THEIR
SYMMETRY

Crystal System	Crystal Class	Name	Symmetry Content
Triclinic	1	Pedial	none
	$\bar{1}$	Pinacoidal	i
Monoclinic	2	Sphenoidal	$1A_2$
	m	Domatic	$1m$
	$2/m$	Prismatic	$i, 1A_2, 1m$
Orthorhombic	222	Rhombic-disphenoidal	$3A_2$
	$mm2$	Rhombic-pyramidal	$1A_2, 2m$
	$2/m \ 2/m \ 2/m$	Rhombic-dipyramidal	$i, 3A_2, 3m$
Tetragonal	4	Tetragonal-pyramidal	$1A_4$
	$\bar{4}$	Tetragonal-disphenoidal	$1\bar{A}_4$
	$4/m$	Tetragonal-dipyramidal	$i, 1A_4, 1m$
	422	Tetragonal-trapezohedral	$1A_4, 4A_2$
	$4mm$	Ditetragonal-pyramidal	$1A_4, 4m$
	$\bar{4} \ 2m$	Tetragonal-scalenohedral	$1\bar{A}_4, 2A_2, 2m$
	$4/m \ 2/m \ 2/m$	Ditetragonal-dipyramidal	$i, 1A_4, 4A_2, 5m$
Hexagonal Rhombohedral division	3	Trigonal-pyramidal	$1A_3$
	$\bar{3}$	Rhombohedral	$1\bar{A}_3 (= i + 1A_3)$
	32	Trigonal-trapezohedral	$1A_3, 3A_2$
	$3m$	Ditrigonal-pyramidal	$1A_3, 3m$
	$\bar{3} \ 2/m$	Hexagonal-scalenohedral	$1\bar{A}_3, 3A_2, 3m$ $(1\bar{A}_3 = i + 1A_3)$
Hexagonal division	6	Hexagonal-pyramidal	$1A_6$
	$\bar{6}$	Trigonal-dipyramidal	$1\bar{A}_6 (= 1A_3 + m)$
	$6/m$	Hexagonal-dipyramidal	$i, 1A_6, 1m$
	622	Hexagonal-trapezohedral	$1A_6, 6A_2$
	$6mm$	Dihexagonal-pyramidal	$1A_6, 6m$
	$6m2$	Ditrigonal-dipyramidal	$1\bar{A}_6, 3A_2, 3m$ $(1\bar{A}_6 = 1A_3 + m)$
	$6/m \ 2/m \ 2/m$	Dihexagonal-dipyramidal	$i, 1A_6, 6A_2, 7m$
Isometric	23	Tetartoidal	$3A_2, 4A_3$
	$2/m \ \bar{3}$	Diploidal	$3A_2, 3m, 4\bar{A}_3$ $(1\bar{A}_3 = 1A_3 + i)$
	432	Gyroidal	$3A_4, 4A_3, 6A_2$
	$\bar{4} \ 3m$	Hextetrahedral	$3\bar{A}_4, 4A_3, 6m$
	$4/m \ \bar{3} \ 2/m$	Hexoctahedral	$3A_4, 4\bar{A}_3, 6A_2, 9m$ $(1\bar{A}_3 = 1A_3 + i)$

IZOMORFIJA

Izomorfija je pojava u kojoj minerali različita, ali analognog kemijskog sastava, imaju slične kristalne rešetke i slična svojstva, te gotovo u pravilu tvore izomorfne smjese ili kristale mješance.

CaCO_3 kalcit

CaCO_3 aragonit

MnCO_3 rodohrozit

SrCO_3 stroncijanit

FeCO_3 siderit

PbCO_3 ceruzit

ZnCO_3 smitsonit

BaCO_3 viterit

MgCO_3 magnezit

Izomorfne smjese – npr. niz plagioklasa od albita- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ do anortita- $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; olivin- $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$...

POLIMORFIJA

Polimorfija je pojava u kojoj minerali istog kemijskog sastava imaju različite kristalne rešetke, a time i različita svojstva. Takvi se minerali nazivaju polimorfnim modifikacijama.

Kemijska supstancija

polimorfne modifikacije

C

grafit, dijamant

CaCO₃

kalcit, aragonit

TiO₂

rutil, anatas, brukit

Table 4.10
**EXAMPLES OF
 POLYMORPHOUS
 MINERALS**

Composition	Mineral Name	Crystal System and Space Group	Hardness	Specific Gravity
C	Diamond	Isometric— $Fd\bar{3}m$	10	3.52
	Graphite	Hexagonal— $P6_3/mmc$	1	2.23
FeS ₂	Pyrite	Isometric— $Pa\bar{3}$	6	4.99
	Marcasite	Orthorhombic— $Pn\bar{n}m$	6	4.85
CaCO ₃	Calcite	Rhombohedral— $R\bar{3}c$	3	2.71
	Aragonite	Orthorhombic— $Pnam$	3½	2.93
SiO ₂	Low quartz	Rhombohedral— $P3_121$	7	2.65
	High quartz	Hexagonal— $P6_222$		2.53
	High tridymite	Hexagonal— $C6/mmc$	7	2.20
	High cristobalite	Isometric— $P2_13(?)$	6½	2.20
	Coesite	Monoclinic— $C2/c$	7½	3.01
	Stishovite	Tetragonal— $P4/mnm$		4.30

SRASLACI

- dva ili više kristala pojedinca iste mineralne vrste pravilno spojena po određenom zakonu. Interpretiraju se kao tvorevine nastale zakretanjem jednog pojedinca za 180° oko zamišljenog pravca koji se naziva sraslačka os.

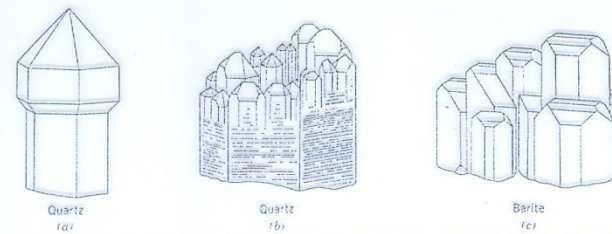
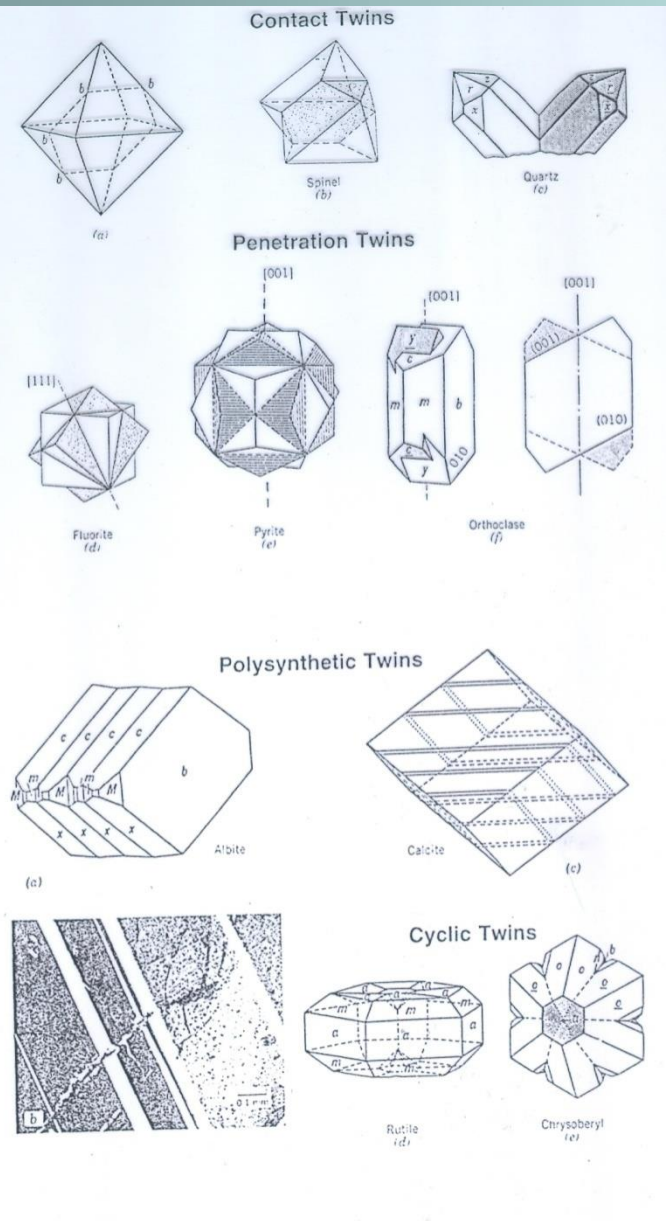


FIG. 2.110. Examples of parallel growth. (a) Overgrowth of a larger crystal of quartz on a smaller one, forming the shape of a scepter. (b) The termination of a large quartz crystal in a collection of smaller crystals, all in parallel orientation. (c) Parallel intergrowth of barite crystals.

FIZIČKA SVOJSTVA MINERALA

(koja se mogu odrediti na uzorku, prostim okom ili jednostavnim dijagnostičkim postupcima)

- Habitus, agregati
- Tvrdoća
- Kalavost
- Lom
- Kovnost
- Gustoća
- Boja
- Sjaj
- Crt (boja praha)
- Luminiscencija
- Toplinska svojstva
- Električna svojstva
- Magnetična svojstva
- Radioaktivnost
- Fiziološka svojstva

Fizička svojstva mogu biti vektorska i skalarna. Vektorska svojstva ovise o smjeru i različita su u različitim smjerovima u kristalu, a jednaka su samo u paralelnim smjerovima. Skalarna svojstva ne ovise o smjeru i jednaka su u svim smjerovima u kristalu. Većina fizičkih svojstava je vektorska, npr. kohezijska (tvrdoća, kalavost, lom, kovnost), optička, toplinska, električna, magnetična. Skalarna su svojstva npr. fiziološka i gustoća.

Svojstva	Tip veze			
	ionska	kovalentna	metalna	Van der Waals-ova
Jakost veze	Jaka	Vrlo jaka	Varijabilna jakost, općenito srednja	slaba
Mehanička svojstva	Tvrdoća umjerena do visoka, ovisno o međuionskom razmaku i naboju; krhki	Tvrdoća vrlo visoka; krhki	Tvrdoća niska do umjerena; plastičnost, kovnost	Kristali mekani
Električna	Slabi vodiči u čvrstom stanju; taljevine i otopine provode struju	Izolatori u čvrstom stanju i taljevini	Dobri vodiči	Izolatori i u čvrstom i tekućem stanju
Termalna (talište; koeficijent termalne ekspanzije=KTE)	Talište umjereno do visoko ovisno o međuionskom razmaku i naboju; niski KTE	Talište visoko; niski KTE; atomi i molekule u taljevini	Talište varijabilno; KTE također; atomi u taljevini	Nisko talište; visoki KTE; molekule tekućih kristala u taljevini
Topljivost	Topljivi u polarnim otapalima; daju otopine koje sadrže ione	Topljivost vrlo slaba	Netopljivi, osim u kiselinama ili lužinama	Topljivi u organskim otapalima
Strukturna	Strukture visoke koordinacije i visoke simetrije; neusmjerene	Strukture niže koordinacije i simetrije; strogo usmjerene	Strukture vrlo visoke koordinacije i simetrije; neusmjerene	Strukture niske simetrije; neusmjerene
Primjeri	halit, NaCl; kalcit, CaCO ₃ ; fluorit, CaF ₂ ; većina minerala	dijamant, C; sfalerit, ZnS; molekule O ₂ , organske molekule	bakar, Cu; srebro, Ag; zlato, Au; većina metala	Jod, I ₂ ; organski spojevi; grafit, C

Odnos tipa kemijske veze i fizičkih svojstava minerala

Habitus i agregati

Habitus ili izgled pojedinačnih kristala kao i način na koji se pojedinačni kristali udružuju u **agregate** vrlo su važno sredstvo i pomoć kod prepoznavanja minerala. Pomoću habitusa definiramo relativnu veličinu pojedinih ploha. Različiti habitusi su posljedica vanjskih utjecaja na rast kristala (pločasti, igličasti, prizmatski...).

Najčešći pojmovi za:

- minerale u izoliranim, pojedinačnim kristalima – igličasti, vlaknasti, stubasti (prizmatski), pločasti, ekvidimenzionalni (kuglasti)

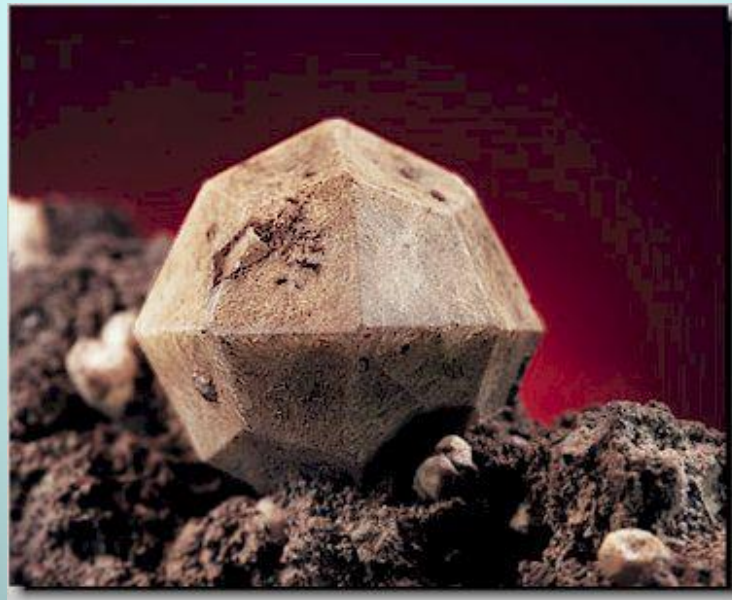
- agregate pojedinačnih minerala – druzni (površina prekrivena slojem malih kristala), fibrozni (igličast i vlaknasti kristali međusobno paralelni), radijalno zrakasti (radijalno poredani izduženi kristali), globularni (radijalno raspoređeni kristali koji tvore sferične do hemisferične oblike), koloformni (sferične forme sastavljene od radijalno agregiranih pojedinačnih kristala bez obzira na njihovu veličinu), dendritični (razgranati agregati koji podsjećaju na biljku), lističavi (agregat koji se može cijepati u vrlo tanke listiće), granularni (agregat sastavljen od približno ekvidimenzionalnih zrna), masivni (kompaktni materijal bez neke određene strukture ili posebnih, razlikovnih karakteristika) ...

ekvidiemnzijski kristali

granati



leucit



stubasti kristali kvarca



štapičasti kristali



igličasti kristali



rutil (uklopci u kvarcu)

rutil (strši iz kristala
kvarca)



druzni rast kvarca





radijalno-zrakasti agregati
štapícastih kristala

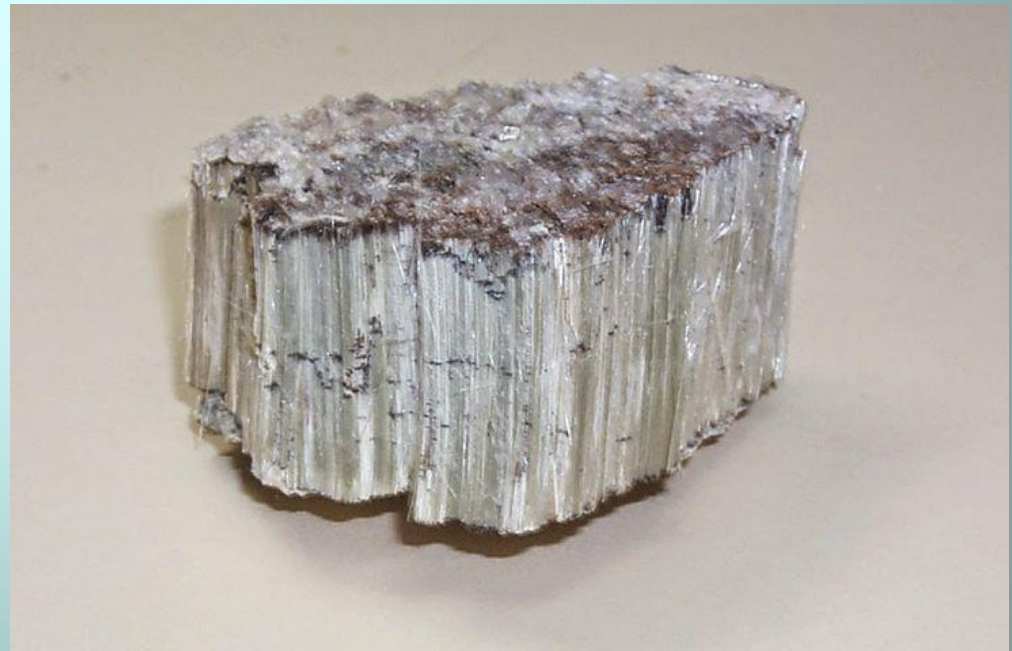




igličasti kristali u radijalno zrakastom, globularnom agregatu



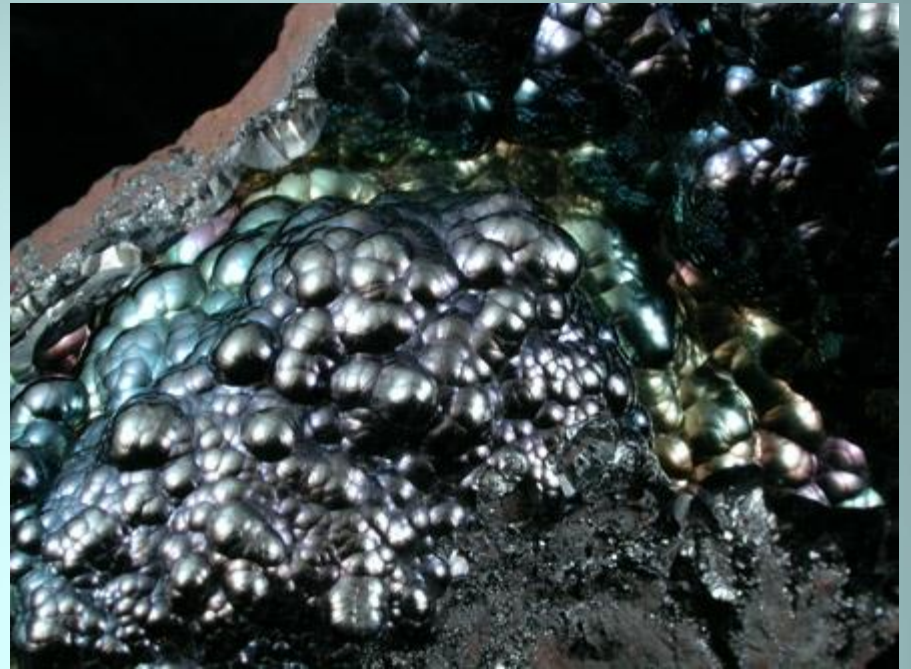
fibrozni agregat (križotil – vlaknasti varijetet
serpentinskih minerala)





listićavi agregat (tinjci)

koloformni agregat (goethit - limonit)



MOHS HARDNESS SCALE



I
N
C
R
E
A
S
I
N
G

H
A
R
D
N
E
S
S

↓



1 TALC



2 GYPSUM

← FINGERNAIL



3 CALCITE

← COPPER COIN



4 FLUORITE



5 APATITE

← KNIFE / GLASS



6 FELDSPAR

← STEEL



7 QUARTZ



8 TOPAZ



9 CORUNDUM



10 DIAMOND

Tvrdoća

Tvrdoća je otpor minerala prema djelovanju mehaničke sile na njegovu površinu i to prema utiskivanju, odskoku, brušenju ili paranju. Razlikuju se apsolutna i relativna tvrdoća. Apsolutna može biti tvrdoća prema utiskivanju, odskoku ili brušenju. Relativna tvrdoća prema paranju je bezdimenzijski broj koji označuje je li jedan mineral tvrđi ili mekši od drugoga, bez obzira koliko se oni razlikovali po apsolutnoj tvrdoći. Njemački mineralog E. von Mohs predložio je početkom XIX. stoljeća deset minerala različite tvrdoće kao standarde za određivanje relativne tvrdoće. Svakome je pridodao jedan broj od 1 do 10, idući od najmekšeg, talka, do najtvrđeg, dijamanta (Mohs-ova ljestvica tvrdoće).

Kalavost

Kalavost je pravilno lomljenje minerala paralelno kristalnim plohama (paralelno mrežnim ravninama atoma i iona) kada na njih djeluje vanjska sila. Mnogi minerali posjeduju planarne smjerove u svojoj strukturi koji su sistematično slabiji od ostalih (npr. prisutnost slabije veze, veći međumrežni razmak...), te pri djelovanju vanjske sile pucaju točno tim, određenim smjerovima (kohezija je kod njih različita u različitim smjerovima). Kalavost je svojstvo minerala koje ga jednoznačno i nedvosmisleno određuje i njegova je stalna i nepromjenjiva karakteristika. Minerali se mogu kalati jednom plohom, ali i po više ploha. Neki minerali imaju odličnu kalavost (npr. tinjci, kalcit, galenit...), neki dosta nejasnu (npr. beril, apatit...), a neki je uopće nemaju (npr. kvarc...).



kalavost kalcita

kalavost kalcita



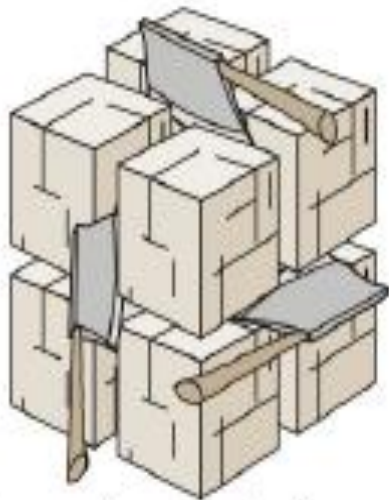
KALAVOST



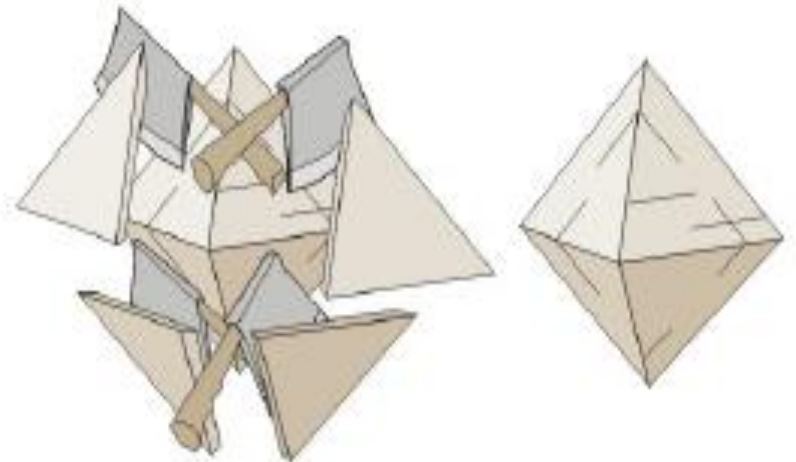
One plane of cleavage



Two planes of cleavage



Three planes of cleavage



Four planes of cleavage

KALAVOST

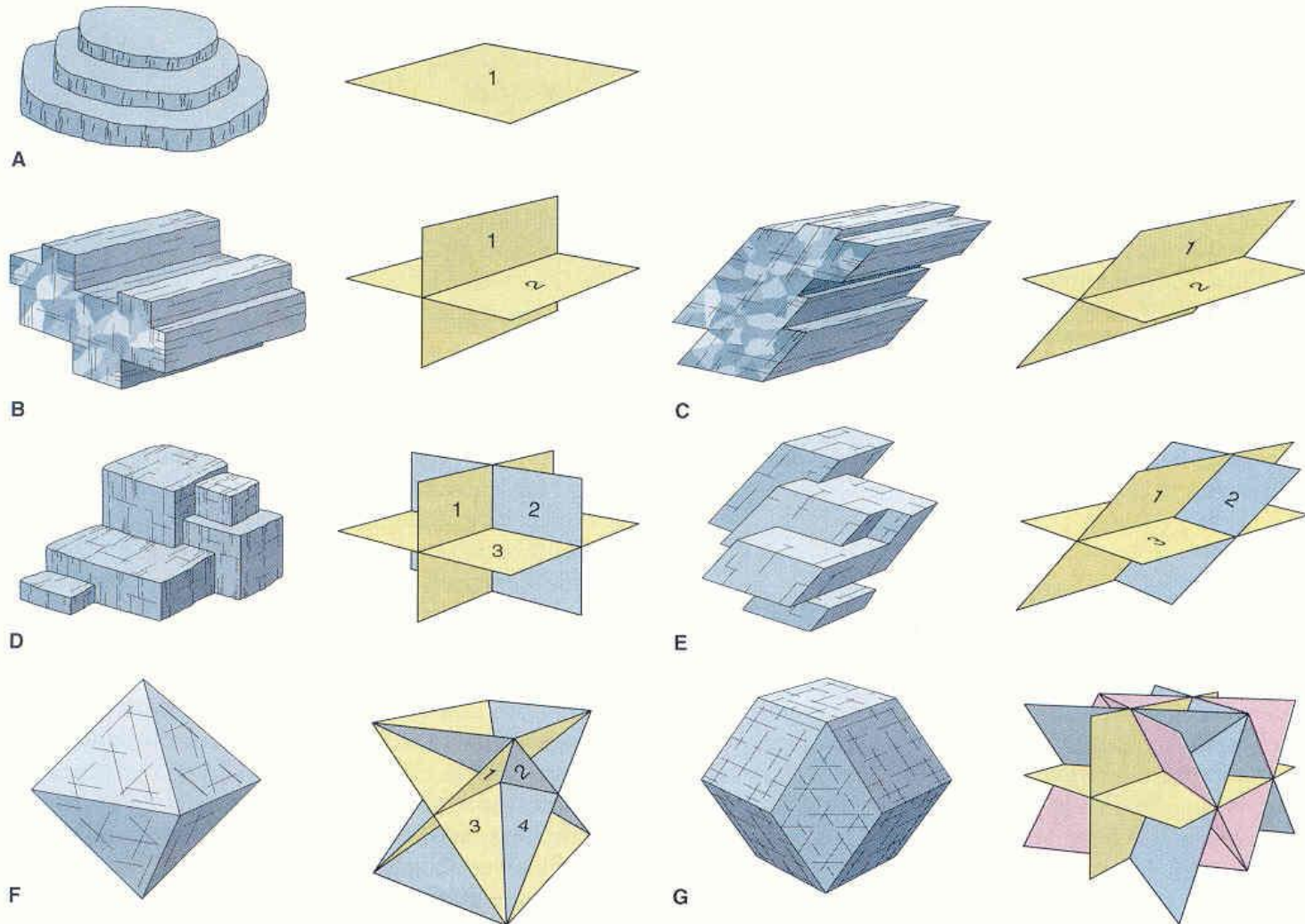


Figure 2.20

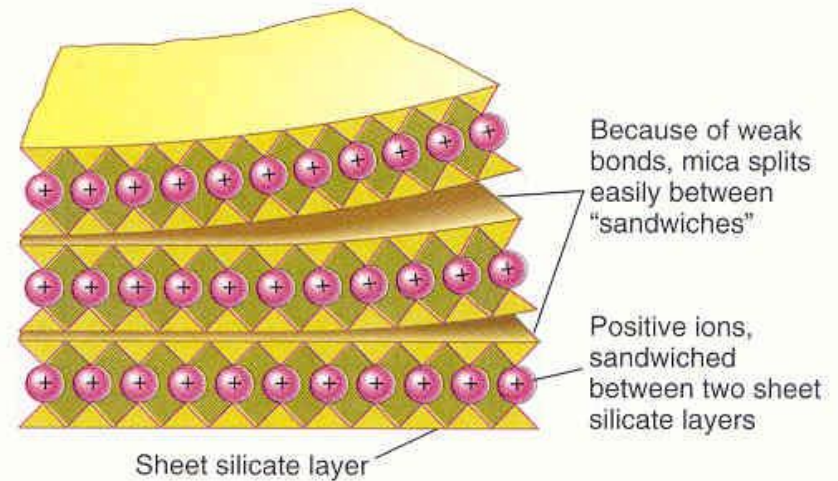
Possible types of mineral cleavage. (A) One direction of cleavage. (B) Two directions of cleavage that intersect at 90° angles. Feldspar is an example. (C) Two directions of cleavage that do not intersect at 90° angles. Amphibole is an example. (D) Three directions of cleavage that intersect at 90° angles. Halite is an example. (E) Three directions of cleavage that do not intersect at 90° angles. Calcite is an example. (F) Four directions of cleavage. Diamond is an example. (G) Six directions of cleavage. Sphalerite is an example.

Reprinted by permission from R. D. Dallmeyer, *Physical Geology Laboratory Manual*, Dubuque, Iowa: Kendall-Hunt Publishing Company, 1978.

utjecaj strukture na kalavost tinjaca



A



B

Figure 2.19

(A) Mica pulled apart along cleavage planes. (B) Relationship of mica to cleavage. Mica crystal structure is simplified in this diagram.

Lom

Lom je nepravilno pucanje minerala pod djelovanjem vanjske sile. Lome se oni minerali kod kojih je kohezija podjednaka u svim smjerovima. Prema izgledu površine prijeloma razlikuju se školjkasti, zemljasti, neravni lom ...



(lom, školjkastog, konveksno-konkavnog oblika)

Kovnost

Kovnost je svojstvo minerala, osobito kovina, da se pod udarcem tvrdim predmetom stanje, a da pri tom ne pucaju. Uzrok tome je metalna veza u kristalnim strukturama kod koje pokretni oblak elektrona omogućuje klizanje slojeva atoma i/ili iona bez kidanja veze.

Optička svojstva (koja se zapažaju prostim okom)

Optička svojstva (boja, sjaj, crt minerala) ovise o svjetlosti, Svjetlost je dio spektra elektromagnetskog zračenja, valnih duljina između 400 i 700 nm. Dio svjetlosti koja dolazi do površine minerala se odbija (reflektira), dio uđe u mineral i u njemu se apsorbira, a dio prolazi kroz njega. Minerali koji potpuno propuštaju svjetlost su prozirni, koji propuštaju (apsorbiraju) samo dio svjetlosti su djelomično prozirni. Neprozirni minerali svjetlost u potpunosti apsorbiraju.

Boja je posljedica selektivne refleksije i/ili apsorpcije različitih valnih duljina u mineralu. To može biti uzrokovano:

- prisutnošću nekih kromofornih glavnih elemenata (elementi esencijalni za kemijski sastav minerala). Takvim mineralima (*idiokromatski minerali*) boja je stalno i nepromjenjivo svojstvo koje ih jednoznačno određuje (azurit je uvijek plav, sumpor je uvijek žut ...)

- prisutnošću kromofornih elemenata u tragovima (elementi koji mogu (ali i ne moraju) biti prisutni i koji nisu esencijalni za kemizam minerala), te primjesama stranih minerala dispergiranih u mineralu domaćinu. Npr. kvarc je, s obzirom na glavne elemente u svom sastavu, proziran, ali s različitim primjesama i kromofornim elementima u tragovima može biti ljubičast, crven ružičast, žut, crn ...). Takvi minerali su *alokromatski*, jer im boja nije stalna i ne određuje ih jednoznačno.

- postojanjem određenih defekata u kristalnoj strukturi

Crt (ogreb) minerala je boja praha minerala. U tu svrhu se mineralom zagrebe po neglaziranoj bijeloj keramičkoj pločici (tvrđa je od većine minerala), pa ako je trag koji mineral ostavi na pločici (crt ili ogreb) bezbojan, mineral je alokromatski, a ako je obojen onda je mineral idiokromatski (pri tome je boja praha slična boji minerala u grumenu, ali svjetlijeg tona)

Sjaj je svojstvo minerala ovisno o refleksiji svjetlosti koja je jača s ravnih i glatkih ploha nego s neravne odlomljene površine. Sjaj je ovisan i o indeksu loma, pa je jači kod minerala većeg indeksa loma. Razlikuju se staklasti, dijamantni smolasti, sedefasti, masni, voštani, metalni sjaj.

Idiokromatski minerali



Azurite $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$



Native Sulfur (S)



Malachite $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$



Kvarc (prozirac)



Kvarc (čadavac)



Kvarc (ružičnjak)

Alokromatski minerali



Kvarc (ametist)



Metallic Luster - Pyrite



Nonmetallic Luster - Kaolinite

Toplinska svojstva

Dovođenjem ili odvođenjem topline u mineralu se udaljavaju, odnosno zbližavaju materijalne čestice u kristalnoj strukturi, što dovodi, uz promjenu temperature, do deformacije strukture. Vanjska manifestacija tog procesa je *toplinska rastezljivost* minerala. *Toplinska vodljivost* je količina topline koja prođe u jedinici vremena kroz tijelo jedinične duljine i jediničnog presjeka. Ona ovisi o kristalnoj građi. Najveću toplinsku vodljivost ima dijamant. Minerali kovina su dobri vodiči topline, pa imaju hladan opip.

Električna svojstva

Glavno električno svojstvo minerala je *vodljivost električne struje*, pa se razlikuju minerali koji su dobri vodiči struje od onih koji su loši vodiči ili čak izolatori. Kovine su, zbog metalne veze u kristalnoj strukturi bolji vodiči od nekovina. Neki minerali, koji su inače loši vodiči, mogu zagrijavanjem ili pritiskom proizvesti mali električni naboj, tzv. *pirelektricitet*, odnosno *piezoelektricitet*.

Magnetična svojstva

Minerali mogu, s obzirom na magnetska svojstva, biti *feromagnetični*, ako ih privlači obični ručni magnet (npr. magnetit, pirhotit). Minerali koji pokazuju slabi magnetizam kada se nađu u jakom magnetskom polju su *paramagnetični* (npr. siderit). *Dijamagnetični* minerali imaju slabo izražena magnetska svojstva, ali ih, za razliku od paramagnetičnih, jaki magnet odbija (npr. kalcit).

Fiziološka svojstva

Fiziološka svojstva su ona svojstva koja se opažaju neposredno osjetilima. To su okus, miris i opip. *Okus* imaju minerali koji su topljivi u vodi (npr. halit). *Miris* se može osjetiti kod nekih minerala pri mrvljenju (npr. kod nekih sulfida – miris po sumporovodiku), zagrijavanju (npr. spojevi arsena – miris bijelog luka) ili vlaženju (npr. minerali glina – miris sličan mirisu spojeva amonijaka). *Opip* može biti tipičan, npr. masni, za minerale male tvrdoće (npr. talk, grafit)

Radioaktivnost

Jezgre nekih elemenata su nestabilne i mogu se spontano mijenjati, odnosno raspadati u neke druge jezgre, npr. za vrijeme α -raspada iz jezgre nestabilnog elementa izbačene su α -čestice (sastoje se od dva protona i dva neutrona) i pri tome se atomski broj Z tog elementa („roditelja”) smanjuje za dva (zbog manjka dva protona), a maseni broj za četiri (dva protona i dva neutrona). Radioaktivni su, dakle, oni minerali koji sadrže takve elemente s nestabilnim jezgrama, odnosno radioaktivne elemente. Za prijelaz nestabilnog izotopa radioaktivnog elementa („roditelj”) u drugi izotop ili element („kći”) potrebno je vrijeme koje je određeno laboratorijskim istraživanjem. Ono se naziva *vremenom poluraspada* (vrijeme potrebno da se početna količina određenog izotopa smanji na polovicu). Ta zakonitost raspadanja omogućuje izračunavanje apsolutne starosti minerala, odnosno stijena, a time i Zemlje kao planeta i to prema količini radiogenog elementa „kćeri” kao krajnjeg proizvoda raspada u odnosu prema količini radioaktivnog elementa „roditelja”, koji se još neraspadnut nalazi u mineralu ili stijeni.

Gustoća

Gustoća je po definiciji masa jediničnog volumena (omjer mase tijela i njegovog volumena) i izražava se u g/cm^3 . Postoji i razlikovanje minerala po *specifičnoj težini*. Ona se izražava bezdimenzijskim brojem koji predstavlja odnos težine minerala i težine vode istog volumena pri 4°C (to znači da npr. mineral sa specifičnom težinom 2, teži dva puta više od istog volumena vode). Kod minerala gustoća ovisi o kemijskom sastavu i kristalnoj strukturi, pa veću gustoću (specifičnu težinu) imaju minerali koji sadrže elemente većih atomskih brojeva, odnosno minerali s gušćim rasporedom materijalnih čestica u strukturi. Najveću gustoću imaju plemeniti metali (do 23 g/cm^3), petrogeni minerali imaju gustoću između $2,6$ i $3,5 \text{ g/cm}^3$, a za rudne minerale ona je između $4,0$ i $7,5 \text{ g/cm}^3$.

KEMIJSKA SVOJSTVA MINERALA

- Kemijski sastav
- Voda u mineralima
- Kristali mješanci

Kemijski sastav ima, uz unutrašnju strukturu i način vezivanja materijalnih čestica, fundamentalno značenje u razumijevanju geneze minerala i njihovih različitih osobina. Kao što se vidi na slijedećem slajdu, 8 elemenata čini približno 99 težinskih postotaka Zemljine kore. Ako te postotke preračunamo u volumne udjele ispada da kisik čini preko 90% volumena kore. Drugim riječima, Zemljinu koru možemo, na atomskoj skali, zamisliti kao slagalinu kisikovih aniona kojoj se u međuprostorima između iona kisika nalaze kationi svih ostalih elemenata (ponajviše ovih sedam prikazanih u tabeli).

Najzastupljeniji elementi Zemljine kore

Table 2.1

Crustal Abundance of Elements

Element	Symbol	Percentage by Weight	Percentage by Volume	Percentage of Atoms
Oxygen	O	46.6	93.8	60.5
Silicon	Si	27.7	0.9	20.5
Aluminum	Al	8.1	0.8	6.2
Iron	Fe	5.0	0.5	1.9
Calcium	Ca	3.6	1.0	1.9
Sodium	Na	2.8	1.2	2.5
Potassium	K	2.6	1.5	1.8
Magnesium	Mg	2.1	0.3	1.4
All other elements		1.5	—	3.3

Zastupljenost elemenata prikazana u tabeli indicira da će minerali koji u svom sastavu imaju kisik i neke od ostalih najzastupljenijih kationa, kao što su silikati, oksidi, karbonati biti najzastupljeniji minerali Zemljine kore.

Njačešći petrogeni minerali

Od velikog broja pojedinačnih minerala, njih osam tvori više od 95vol. % stijena Zemljine kore i svi pripadaju silikatima. To su kvarc, feldspati (plagioklasi, K- feldspati), tinjci (muskovit, biotit), pirokseni, amfiboli, olivin). Silikati su, dakle, najrasprostranjenija i najobilnija skupina minerala.

Table 2.2

Minerals of the Earth's Crust

Name	Chemical Composition	Type of Silicate Structure or Chemical Group
<i>The most common rock-forming minerals. (These make up more than 90% of the earth's crust.)</i>		
<u>Feldspar group</u>		
Plagioclase	Ca and Na Al silicate	Framework silicate
Potassium feldspar (orthoclase, microcline)	K Al silicate	Framework silicate
<u>Pyroxene group</u> (augite most common)		
	Fe, Mg silicate (some with Al, Na, Ca)	Single-chain silicate
<u>Amphibole group</u> (hornblende most common)		
	Complex Fe, Mg, Al silicate hydroxide	Double-chain silicate
Quartz	Silica	Framework silicate
<u>Mica group</u>		
Muscovite	K Al silicate hydroxide	Sheet silicate
Biotite	K Fe, Mg Al silicate hydroxide	Sheet silicate

Other common rock-forming minerals

Other common rock-forming minerals.

Silicates

Olivine (especially common in the mantle)	Mg, Fe silicate	Isolated silicate
Garnet group	Complex silicates	Isolated silicate
Clay minerals group (especially common at the earth's surface)	Complex Al silicate hydroxides	Sheet silicate

Nonsilicates

Calcite	CaCO_3	Carbonate
Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Carbonate
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfate

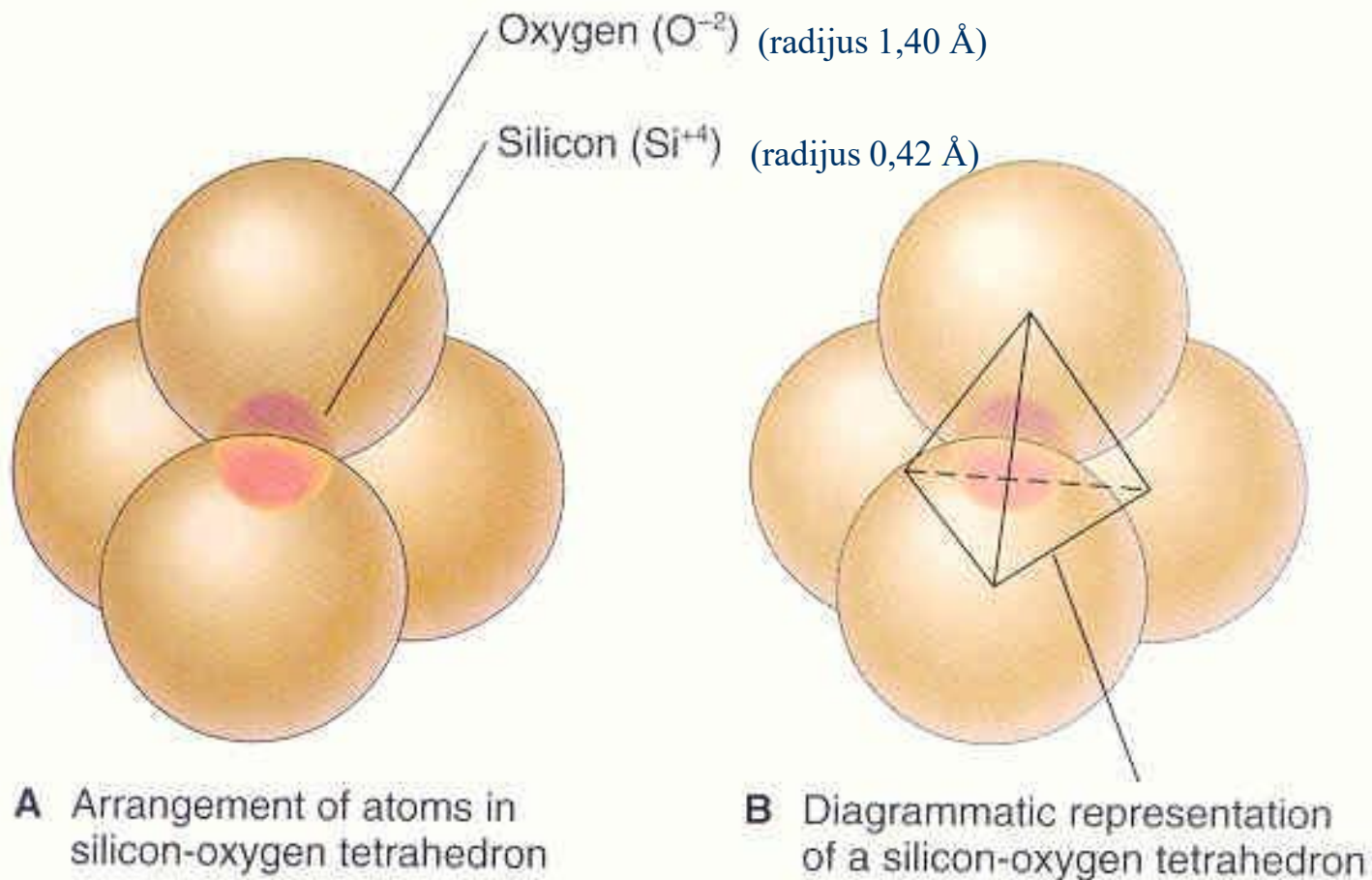
Much less common minerals of commercial value.

Halite	NaCl	Chloride
Diamond	C	Native element
Gold	Au (gold)	Native element
Hematite	Iron oxide (Fe_2O_3)	Oxide
Magnetite	Iron oxide (Fe_3O_4)	Oxide
Chalcopyrite	Cu, Fe sulfide	Sulfide
Sphalerite	Zn sulfide	Sulfide
Galena	Pb sulfide	Sulfide

Ostali vrlo zastupljeni petrogeni minerali i neki od minerala komercijalne vrijednosti

SILIKATI

Silikati su najzastupljenija skupina minerala. 25% svih poznatih minerala i gotovo 40% onih najčešćih pripada silikatima. Temeljna strukturna jedinica silikata je $(\text{SiO}_4)^{4-}$ tetraedar (to proizlazi iz odnosa radijusa Si^{4+} i O^{2-} , koji iznosi 0,30, što je vrijednost koja indicira koordinacijski broj 4 kao stabilno stanje grupiranja Si^{4+} i O^{2-} iona, odnosno tetraedar kao koordinacijski poliedar, kojemu se u vrhovima nalaze anioni kisika, a u središtu poliedra kation silicija).



Nezosilikati (silikati kod kojih se u strukturi pojavljuju izolirani $(\text{SiO}_4)^{4-}$ tetraedri). Svaki kisik vezan je polovinom svoje potencijalne energije vezanja (kovalentna veza) uz silicij, a preostala neiskorištena valencija (jedan negativni naboj) neutralizira se vezivanjem s nekim drugim kationom izvan tetraedra.

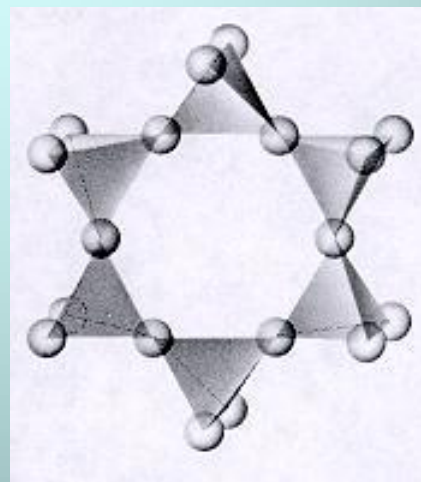
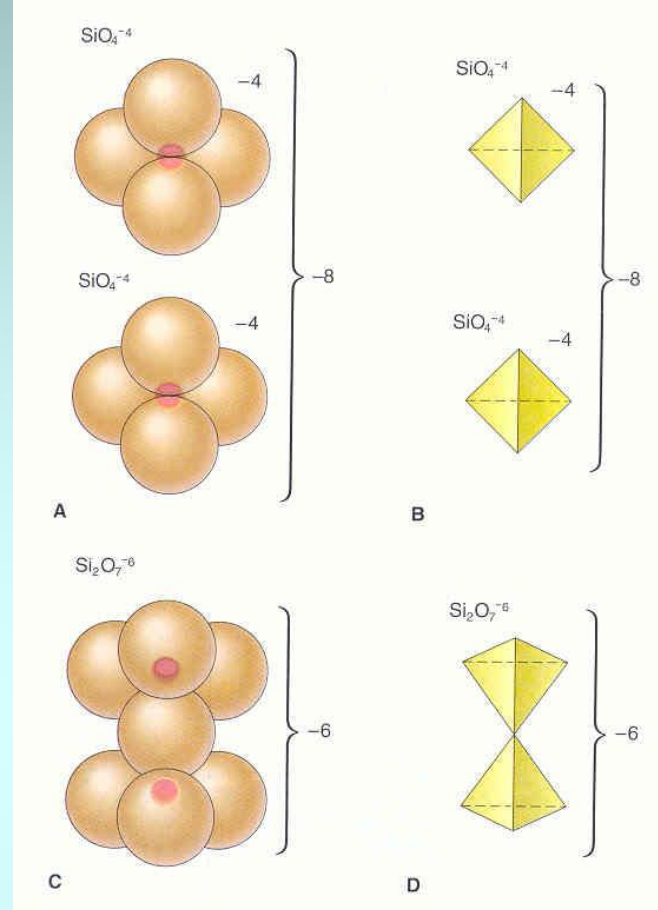
Primjer: olivin $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$

Sorosilikati (silikati kod kojih se u strukturi pojavljuju dva tetraedra povezana preko jednog zajedničkog kisika). Osnovna funkcionalna skupina je $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$

Primjer: zoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$

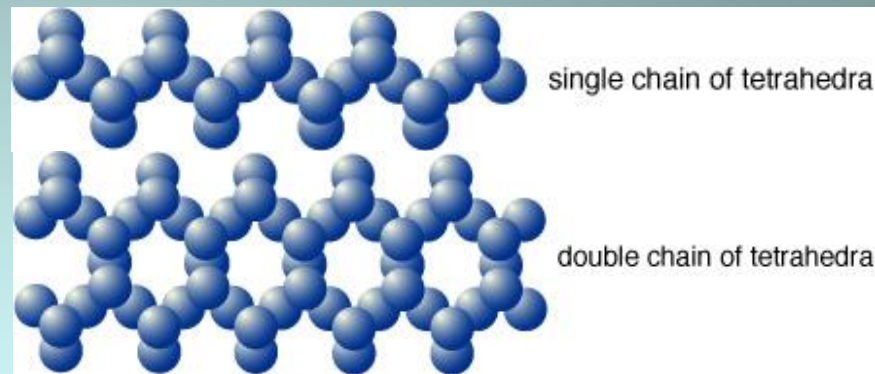
Ciklosilikati (silikati prstenaste strukture kod kojih u strukturi postoje međusobno povezana 3, 4 ili 6 tetraedara u prsten). Funkcionalne skupine ciklosilikata su $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$, $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$ i $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$

Primjer: beril $\text{Al}_2\text{Be}_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})$



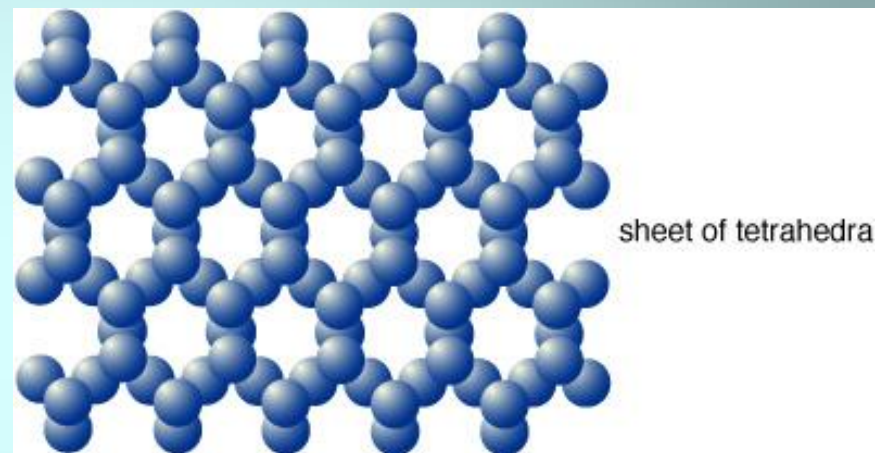
Inosilikati (silikati koji posjeduju lančaste strukture $(\text{SiO}_4)^{4-}$ tetraedara i to u obliku jednostrukih (pirokseni, funkcionalna skupina $\text{Si}_2\text{O}_6^{4-}$) i dvostrukih lanaca (amfiboli, funkcionalna skupina $\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-}$).

Primjeri: pirokseni - diopsid $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
amfiboli – tremolit $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$



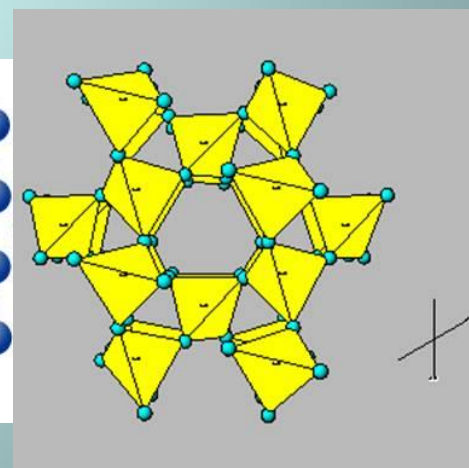
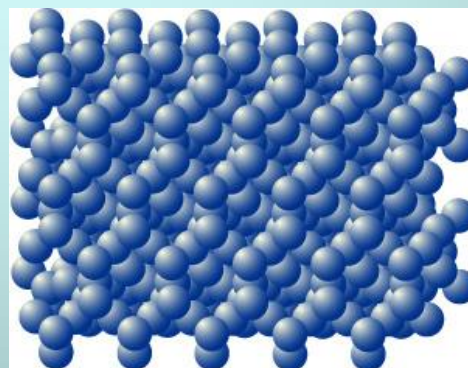
Filosilikati (silikati slojevite strukture kod kojih su tetraedri povezani preko svoja tri kisika stvarajući beskonačan sloj šesterostruke simetrije (poput saća). Slobodni kisici (iz svakog tetraedra po jedan) nalaze se na istoj strani tog beskonačnog sloja i na njih se vežu kationi i hidroksid-ioni koji na taj način povezuju slojeve. Funkcionalna anionska skupina je $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$.

Primjer: talk $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$



Tektosilikati (silikati kod kojih su tetraedri povezani prostorno preko sva četiri kisika tako da niti jedan kisik nema slobodne valencije. Često se dio silicija zamjenjuje s aluminijem, pa se na taj način oslobađaju slobodne valencije za vezivanje s drugim kationima. Funkcionalne skupine: $(\text{SiO}_2)^0$ –kvarc; $(\text{AlSi}_3\text{O}_8)^-$, $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)^{2-}$ -feldspati; $(\text{Si}_3\text{O}_6)^0$, $(\text{AlSi}_2\text{O}_6)^-$, odnosno $(\text{Si}_2\text{O}_4)^0$, $(\text{AlSiO}_4)^-$ -feldspatoidi.

Primjer: ortoklas KAlSi_3O_8



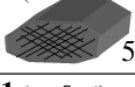
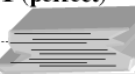
SYSTEMATIC CLASSIFICATION OF SILICATE MINERALS

Dr. James Martin-Hayden, EEES-1010

Silicon-oxygen tetrahedron apex toward you

Silicon-oxygen tetrahedron apex away from you

Mg²⁺ or Fe²⁺

Silicate Structure	Example Mineral	Silica Content (%SiO ₂)	Fe/Mg [†] Content	Al [‡] content	Cleavage Hardness	Density Color	‡Ferromagnesians †Alluminosilicates
Isolated Silicates	Olivine	~16%	~50%	0%	none 	~4 g/cm ³ green	Comprises most of the Mantle
Single Chain Silicates	Pyroxene [#] Group (e.g., Augite)	25-50%	18-26%	0-16% ^(†)	2 (90°) 	~3.3 black	Found in <u>basalt Oceanic Crust</u> with Ca-Plag. [#]
Double Chain Silicates	Amphibole [°] Group (e.g., Hornblende)	50-60%	15-22%	0-9% [†]	2 (120°-60°) 	~3.3 black	Found in Continental Crust [°]
Sheet Silicates	Mica Group (e.g., Biotite [°])	39%	18-33%	6% [†]	1 (perfect) 	~3.0 black	Found in Continental Crust [°]
	(e.g., Muscovite [°])	39%	0%	20%		2.8 slvr	
	Clay Group (e.g., Kaolinite)	46%	0%	21% [†]	Microscopic platelets 	2.6 green or gray	From chemical weathering of silicates*
Framework Silicates	Feldspar Group , Plagioclase (Na [°] -Ca [#])	43-69%	0%	10-19% [†]	2 (90°) 	2.6 wht-blk	Ca Plag. [#] in <u>Oceanic Crust</u>
	Orthoclase (K [°])	76%	0%	10% [†]		2.7 pink	Others Contin. [°]
	Quartz (pure SiO₂[°])	100%	0%	0%	none (fracture) 	2.6 white to gray	Concentrated in Continental Environments

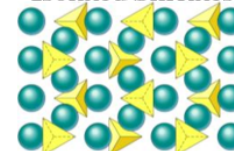
General trends toward bottom: Increasing SiO₂, Decreasing Fe/Mg, Lighter in density, Lighter in Color

Other Trends

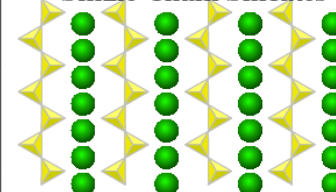
- [#]**Oceanic crust** (basalt) is mostly **pyroxene** and **Ca-plagioclase** (Ca-Feldspar) and thus **more dense** and **dark**.
- [°]**Continental crust** (e.g., granite) contains minerals **rich in silica**, **low in iron**, and thus **less dense** and **light in color**.
- **Melting points** (and crystallization temperature) **decrease** toward bottom.
(e.g., **quartz** melts first and is the last to crystallize, ~700°C. **Pyroxene** and **Ca-plagioclase** ~1000°C)
- **Rate** of chemical weathering **decreases** toward bottom of the chart or
- **Resistance** to chemical weathering **increases** toward bottom.
(e.g., **quartz** is extremely resistant to chemical weathering)
- *All silicates (except **quartz**) are converted to **clay minerals** by chemical weathering.

Chemical Weathering

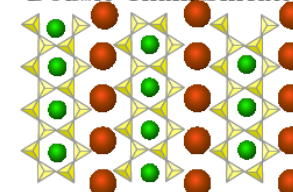
Isolated Silicates



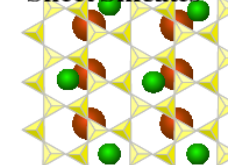
Single Chain Silicates



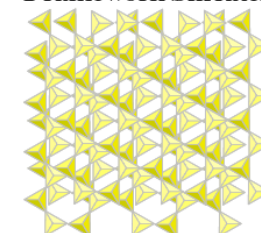
Double Chain Silicates



Sheet Silicates



Framework Silicates



Voda u mineralima

- **Konstitucijska voda** - u obliku hidroksid iona $(OH)^-$, kao sastavni dio kristalne rešetke.
- **Kristalna voda** – nalazi se u obliku molekula H_2O na određenim mjestima kristalne rešetke (npr. u gipsu $CaSO_4 \times 2 H_2O$)
- **Adsorpcijska voda** – nema strogo određeno mjesto u kristalnoj rešetki.



Iskazuje se u kemijskoj formuli

- **Higroskopna voda** – je zapravo vlaga koja se nalazi u obliku molekula H_2O na površini minerala i nije vezana za kristalnu rešetku.
- **Mehanički uklopljena voda** – kao inkluzije uklopljene za vrijeme rasta minerala.

Kristali mješanci

Kristali mješanci nastaju međusobnom zamjenom iona iz kristalnih struktura dvaju minerala, ako su zamjenjivi ioni, najčešće kationi slične veličine i valencije. Moguća je njihova potpuna zamjena. Češći su kod silikatnih minerala, a u njihovoj formuli se u okrugloj zagradi navode elementi koji se međusobno zamjenjuju.

Primjeri:

- Olivin $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4$ – izomorfno se zamjenjuju magnezij i željezo
- Plagioklasi – kristali mješanci dva krajnja člana albita- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ i anortita- $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ u kojima dolazi da zamjene iona u paru. Naime, zamjenjuju se ioni sličnih veličina, ali različitih valencija (Ca^{2+} i Na^+), pa se radi održavanja neutralnosti rešetke istodobno zamjenjuju i Al^{3+} i Si^{4+}

Kristali mješanci prevladavaju u svijetu minerala, minerali koji kristaliziraju kao čisti spojevi su rijetkost.