



Mineralogija

Sveučilišni prijediplomski studij Znanosti o okolišu – 1. godina (253566)

Doc. dr. sc. Petra Schneider

akad. god. 2024./25.



Sadržaj

- Kristalokemijska klasifikacija minerala
- Razredi, podrazredi, obitelj, supergrupa, grupa
- Pregled razreda
- Pregled odabranih minerala – Nesilikati
 - Razred 1: Samorodni elementi
 - Razred 2: Sulfidi, selenidi i teluridi
 - Razred 3: Oksidi i (oksi)hidroksidi

Uvod u sistematsku mineralogiju

sistematska podjela minerala
=
kristalokemijska klasifikacija
(kemijski sastav + kristalna struktura)

preko 6100 priznatih minerala
<https://rruff.info/ima/>
<https://www.mindat.org/minerals.php>
<https://mineralogy-ima-wordpress.website/>
<https://cnmnc.units.it/new-minerals.php>



➤ **Razred** = skupina minerala definirana na temelju kem. elementa (**aniona/anionske grupe**) kao najvažnije komponente u sastavu (pr. oksidi)

- minerali s istom anionskom grupom imaju slična svojstva (npr. karbonati)
- teže se pojavljivati zajedno u istim geološkim okolišima

aktualno
Prema Mills et al. (2009)

➤ **Podrazred** – na temelju načina vezanja SiO_4 tetraedara (ili BO_3 trokuta, BO_4 tetraedara) u strukturi
→ samo u razredima silikata i borata

➤ **Obitelj** = grupe ili supergrupe sa sličnim strukturnim i/ili kemijskim svojstvima koja ih čine jedinstvenima

➤ **Supergrupa** = dvije ili više grupa u osnovi s istom kristalnom strukturom* i kemijski sličnim elementima**

➤ **Grupe***** = dva ili više minerala u osnovi s istom kristalnom strukturom* i kemijski sličnim elementima**

➤ **Mineralna podgrupa ili mineralna serija**: homologne ili polisomatske serije koje ne spadaju u strogu definiciju mineralne grupe

***kod silikata unutar grupe i/ili niza moguće promjene simetrije krajnjih članova (raspon sastava čvrstih otopina)

*izotipska kristalna struktura; **elementi sa sličnim kristalokemijskim karakteristikama

➤ **Pojedinačni minerali / mineralne vrste**

Uvod u sistematsku mineralogiju

sistematska podjela minerala
=
kristalokemijska klasifikacija
(kemijski sastav + kristalna struktura)

preko 6100 priznatih minerala
<https://rruff.info/ima/>
<https://www.mindat.org/minerals.php>
<https://mineralogy-ima-wordpress.website/>
<https://cnmnc.units.it/new-minerals.php>



➤ **Razred** = skupina minerala definirana na temelju kem. elementa (**aniona/anionske grupe**) kao najvažnije komponente u sastavu (pr. oksidi)

- minerali s istom anionskom grupom imaju slična svojstva (npr. karbonati)
- teže se pojavljivati zajedno u istim geološkim okolišima

STARO

➤ **Tip** = grupa minerala istog razreda s **istom stehiometrijom***

*kod silikata na temelju načina vezanja SiO_4 tetraedara u strukturi → minerali unutar istog tipa ne moraju imati istu stehiometriju

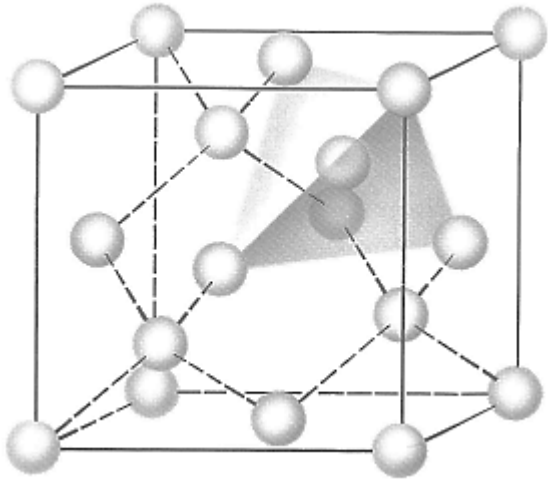
➤ **Grupe**** = skupine minerala s istim tipom strukture (pr. struktura tipa halita)

- **Nizovi**** = neprekinuti i s potpunim zamjenama kationa između krajnjih članova niza (pr. niz olivina)
- **Pojedinačni minerali / mineralne vrste**

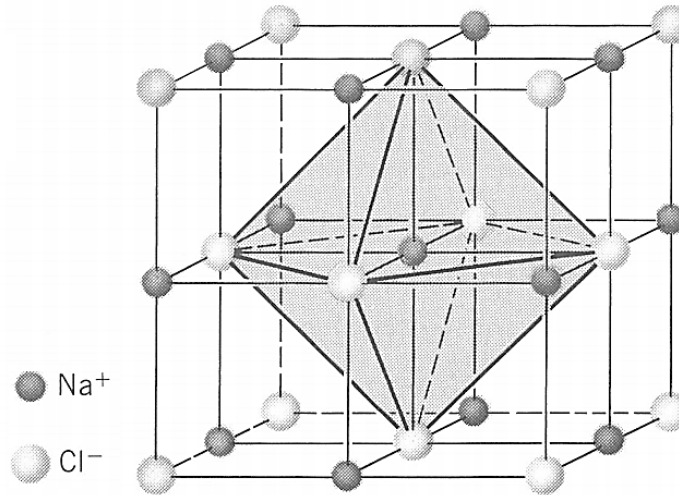
**kod silikata unutar grupe i/ili niza moguće promjene simetrije krajnjih članova (raspon sastava čvrstih otopina)

Kristalna struktura

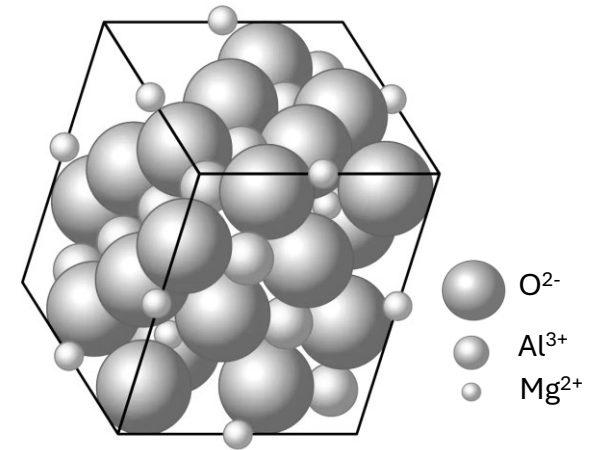
Sažetak nekih tipičnih kristalnih struktura



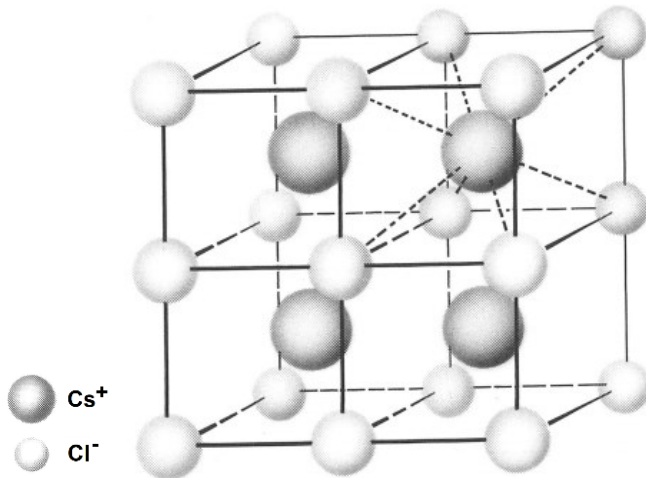
struktura dijamanta



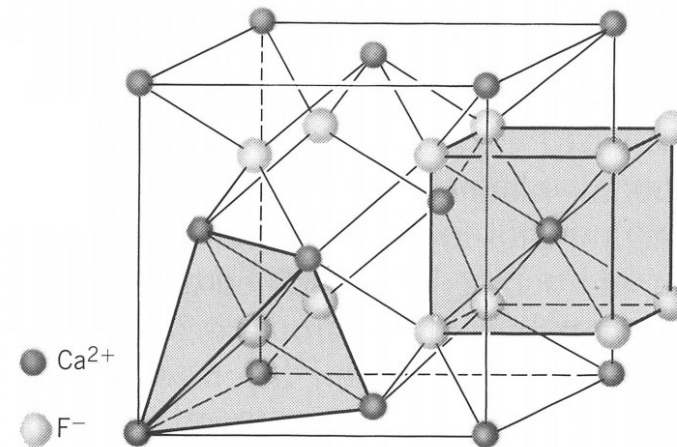
struktura halita



struktura spinela



struktura cezijeveg klorida



struktura fluorita

Uvod u sistematsku mineralogiju

Holotip = uzorak na kojem su prvi puta opisana sva svojstva nekog minerala

→ čuvaju se u profesionalno vođenim zbirkama

Kotip = uzorak na kojem su dobivene kvantitativne vrijednosti koje opisuju mineral

Neotip = uzorak odabran u slučaju kada nije moguće pronaći holotip ili kotip, služi za skupljanje novih podataka o nekom mineralu

Imenovanje minerala

- po nekim svojstvima (fizičkim, kemijskim)
- zaslužnim ili znamenitim ljudima
- karakterističnom (tipskom) lokalitetu – tamo gdje je mineral prvi put nađen

Opis novog minerala:

- Ime
- Kemijska formula (idealna)
- Simbol minerala
- Tipski lokalitet
- Autori i njihovi kontakti (e-mail adrese)
- Klasifikacija
- Kristalni sustav, kristalni razred, prostorna grupa
- Struktura
- Dimenzije jedinične ćelije
- Najjači difrakcijski maksimumi na rengenogramu uzorka minerala
- Mjesto gdje je pohranjen holotip i/ili kotip
- Reference

- Mineralni razredi:**
1. Samorodni elementi (=elementarni)
 2. Sulfidi (+selenidi, teluridi)
 3. Oksidi i hidroksidi
 4. Halogenidi
 5. Karbonati
 6. Nitrati
 7. Jodati
 8. Borati
 9. Sulfati (+oksisoli Se, Te, Cr)
 10. Fosfati (+oksisoli As, V)
 11. Volframati, molibdati
 12. Organski minerali
 13. Silikati
- 
- oksisoli

Razred 1. Samorodni elementi

Metali i legure

Grupa zlata: **zlato Au, srebro Ag, bakar Cu**, olovo Pb

→ potpuna čvrsta otopina između Au i Ag

→ djelomična čvrsta otopina između Cu i Au/Ag

Grupa platine: platina Pt, paladij Pd, platiniridij (Pt, Ir), iridijosmij/osmiridium/siserskit (Os, Ir)

Grupa željeza i meteorita: **željezo Fe, kamacit (Fe, Ni) 5.5% Ni, taenit (Ni, Fe) 27–65% Ni**, tantal Ta, kositar Sn, cink Zn

Polumetali

Grupa arsena: arsen As, antimon Sb, bizmut Bi

Grupa telura: telur Te, selen Se

Nemetali

Grupa sumpora: **sumpor S**

Grupa ugljika: **dijamant C, grafit C**

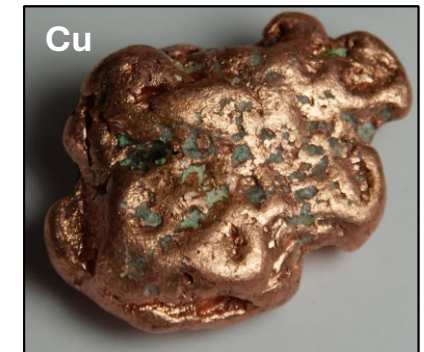
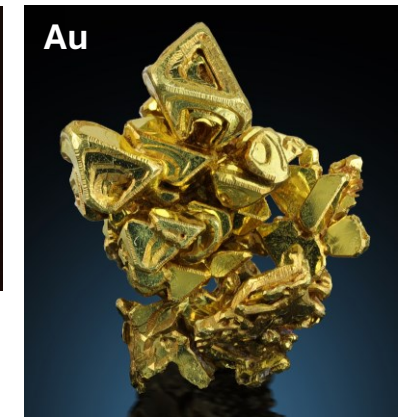


Razred 1. Samorodni elementi

Metali i legure – Grupa zlata

ZLATO Au, SREBRO Ag, BAKAR Cu

Kristalni sustav:	kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)
Habitus:	kristali su rijetki (oktaedarski i heksaedarski habitus); u vidu dendrita, iglica, spužvastih agregata, grumenja
Tvrdoća:	$2\frac{1}{2} - 3$
Gustoća:	19,3 (Au); 10,5 (Ag); 8,9 (Cu)
Kalavost:	nema
Lom:	kukast
Boja:	nijanse žute (Au), srebrno-bijela (Ag), bakreno-crvena (Cu)
Crt:	žut (Au), crn (Ag), svijetlocrven (Cu)
Sjaj:	metalni
Pojavljivanje:	u hidrotermalnim žilama, u oksidacijskim zonama sulfidnih ležišta srebra/bakra
Dodatno:	mekani, kovki, izvlače se u žice, mogu se lako rezati; jedni od najboljih vodiča topline i el. struje; Au se otapa u zlatotopci* i živi
Izmjene:	stajanjem na zraku prelaze u okside (Cu) ili sulfide (Ag, pr. akantit Ag_2S) – nahukano srebro (crne boje)



* smjesa dušične i klorovodične kis. u omjeru 1:3

Razred 1. Samorodni elementi

Metali i legure – Grupa zlata

ZLATO Au, SREBRO Ag, BAKAR Cu

Čistoća zlata u draguljarstvu:

→ **karat** (k, kt)

- 1 kt = 1/24
- 24 karatno Au = 100 % Au = 1000 ‰ Au
- 12 karatno Au = 50 % Au + 50 % neki drugi metal
- 925 ppt* = 22,2 kt

* parts per thousand (‰)

Bijelo zlato = legura Au + Ag / Ni / Pd / Pt / Zn

750 (750 ‰) = 18 kt

Crveno zlato, roza zlato = legura Au+Cu

Elektrum = prirodna slitina zlata i srebra



Razred 1. Samorodni elementi

Metali i legure – Grupa željeza

ŽELJEZO Fe, KAMACIT* (Fe,Ni), TAENIT** (Ni,Fe)

Kristalni sustav: kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)

Habitus: kristali su rijetki, u većim masama, u meteoritima (kamacit i taenit) u pločicama i lamelama polisintetski sraslaci po {111}

Tvrdoća: 4 – 5 ½ (taenit tvrdi)

Gustoća: 7,3 – 8,2 (raste s udjelom Ni)

Kalavost: dobra po {100}, taenit nema

Lom: kukast

Boja: čeličnosiva do crna (Fe, kamacit), sivobijela (taenit)

Crt: crn (Fe, kamacit), siv (taenit)

Sjaj: metalan

Pojavljivanje: terestričko (željezo) ili meteoritsko (kamacit, taenit)

Dodatno: može se kovati i razvlačiti u žice;
dobar vodič topline i el. struje;
feromagnetičan;
nestabilno u oksidiranim uvjetima (nastaju Fe-oksidi)

* 5–7 % Ni

** 25–40 % Ni, ali i do 65 %



terestričko željezo
u bazaltu



meteoritno željezo
(kamacit)



Widmanstättenove figure
na Fe-Ni-meteoritu

Razred 1. Samorodni elementi

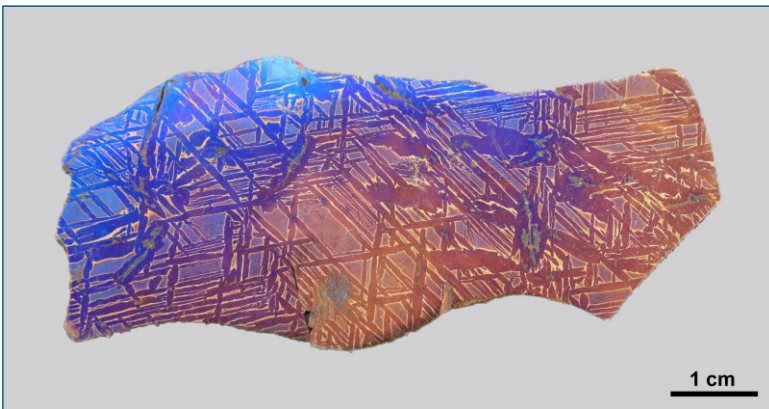
Metali i legure – Grupa željeza

Hrašćinski meteorit, Zagrebačko željezo

! prvi meteorit u povijesti sa zabilježenim vremenom i mjestom pada

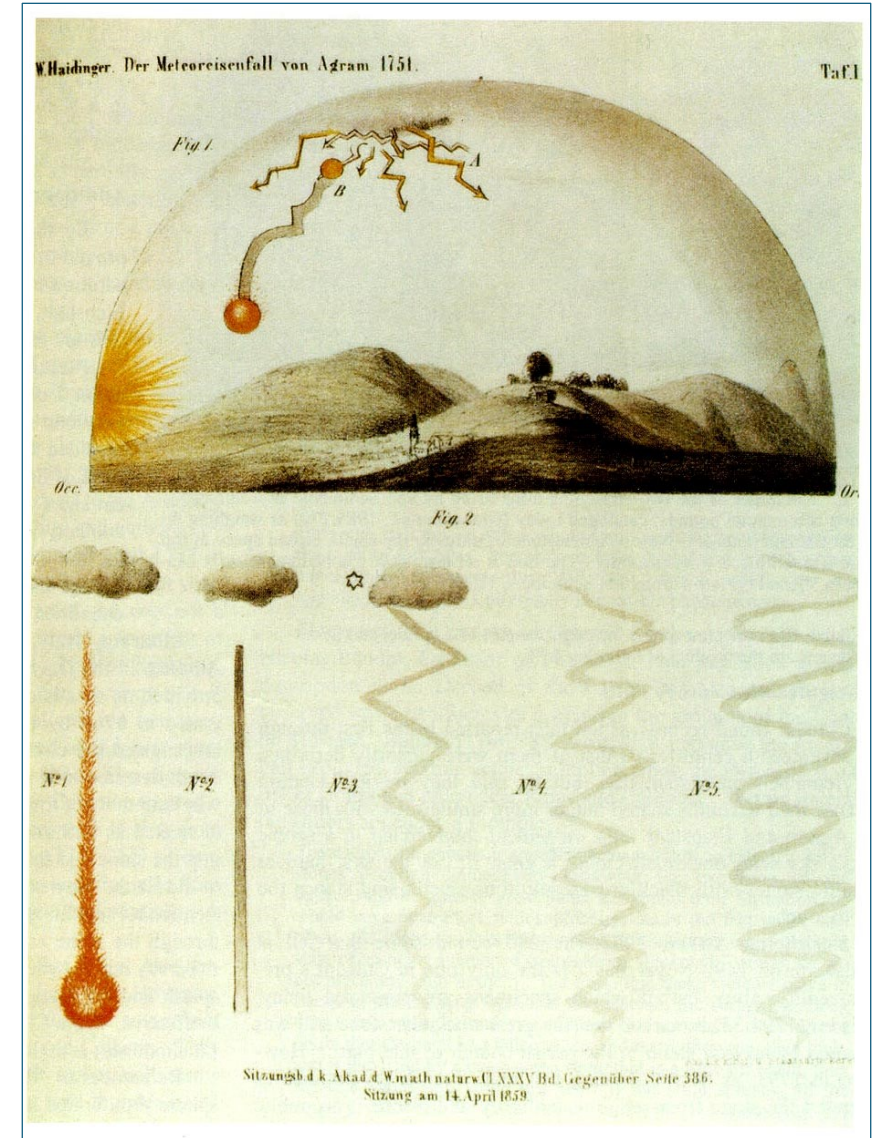
26. svibnja 1751. u 18 h

Masa: 49 kg (39,76 + 8,96)



Hrašćinski meteorit u 3D

<https://sketchfab.com/3d-models/hraschina-meteorite-nhmw-min-a2-52bbf1933af444d4adb2478d1bfafe0f>



crtež pada Hrašćinskog meteorita iz Sigeta

Razred 1. Samorodni elementi

Nemetali – Grupa sumpora

SUMPOR S

- Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m);
monoklinski (2/m) β -S iznad 95,6 °C
- Habitus: dipiramidski ili debelopločasti kristali; u masivnim i praškastim agregatima
- Tvrdoća: 1 ½ – 2 ½
- Gustoća: 1,96 – 2,07
- Kalavost: nesavršena po {001}, {110}, {111}
- Lom: školjkast do nepravilan
- Boja: svijetložuta, žuto-smeđa, žućkasto-siva, zelenkasta
- Crt: bijel
- Sjaj: smolast do dijamantan
- Pojavljivanje: uz rubove kratera aktivnih i neaktivnih vulkana (oksidacija H_2S), u vrućim izvorima, fumarolama; iz sulfata metabolizmom S-reducirajućih bakterija; oksidacija sulfida
- Dodatno: pucketa kad ga se zagrijava – različiti koef. linearnog rastezanja u različitim smjerovima

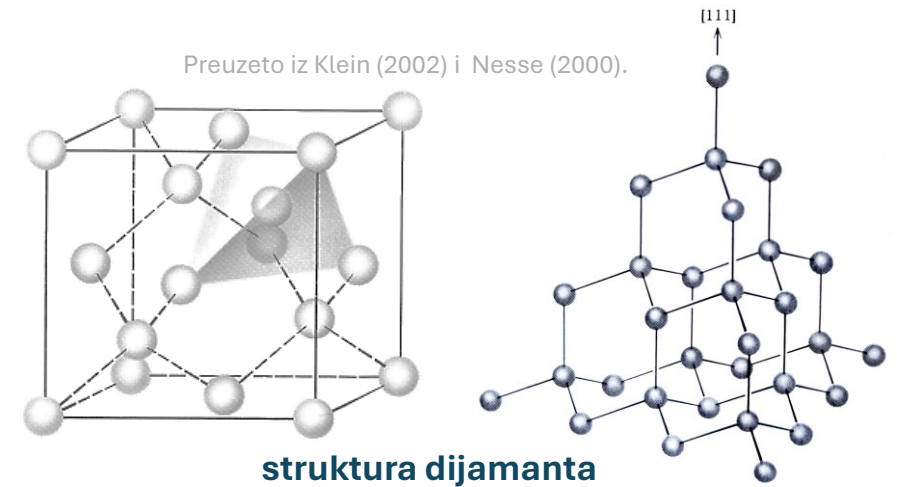


Razred 1. Samorodni elementi

Nemetali – Grupa ugljika

DIJAMANT C

Kristalni sustav:	kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)
Habitus:	oktaedarski kristali (mogu biti i dodekaedarski), česti sraslaci po {111}
Tvrdoća:	10
Gustoća:	3,52
Kalavost:	savršena po {111}, ali teško ju je postići
Lom:	školjkast
Boja:	blijedo-žut ili bezbojan, nijanse blijedo-crvene (ružičaste), narančaste, zelene, plave ili smeđe
Crt:	bijel
Sjaj:	dijamantni, neobrađeni kristali imaju karakterističan mastan izgled
Pojavljivanje:	nastaju u gornjem dijelu plašta (>200 km, $T > 1000$ °C), doneseni na površinu kimberlitnim cijevima; u sedimentima (rezistat iz primarnih stijena)
Dodatno:	lako gori



Razred 1. Samorodni elementi

Nemetali – Grupa ugljika

DIJAMANT C



Dijamant kao dragi kamen

4C kod dijamanta

- **clarity** (čistoća) – mineralni uklopci, pukotine kalavosti...
- **colour** (boja)
- **cut** (kakvoća reza) – utječe na briljantnost i vatru
- **carat** (metrički karat; težina u ct): **1 ct = 0,2 g = 200 mg**

Carat	Millimeter
0.25ct	4.0mm
0.50ct	5.2mm
0.75ct	5.8mm
1.00ct	6.5mm
1.25ct	7.0mm
1.50ct	7.2mm
2.00ct	8.0mm
3.00ct	9.2mm



žuto zasićenje

fancy colors



Karats

THE RARE GEMSTONE COMPANY



Carats



Carrots

<https://www.theraregemstonecompany.com>

Razred 1. Samorodni elementi

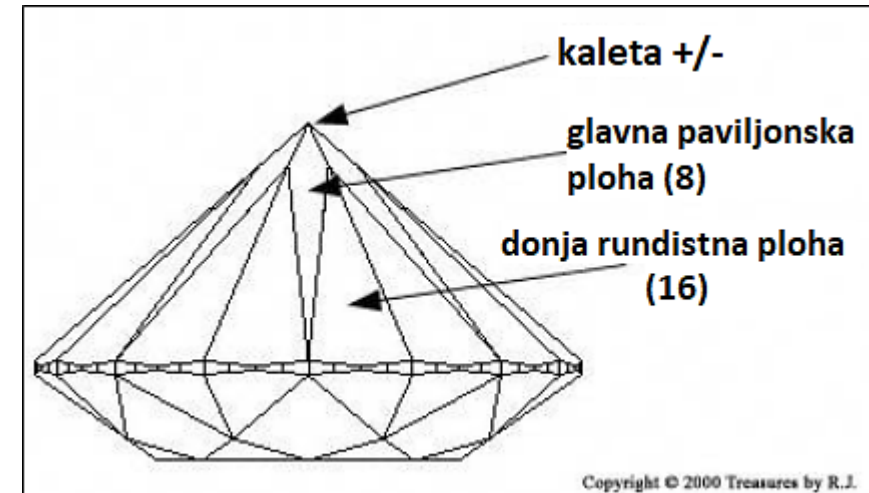
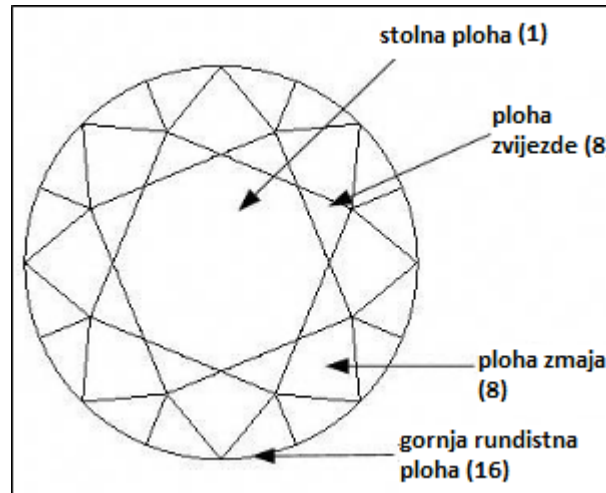
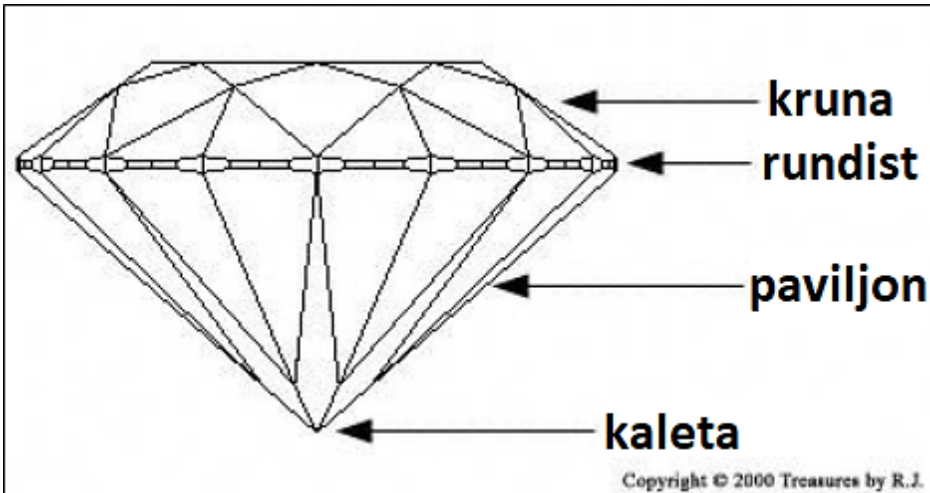
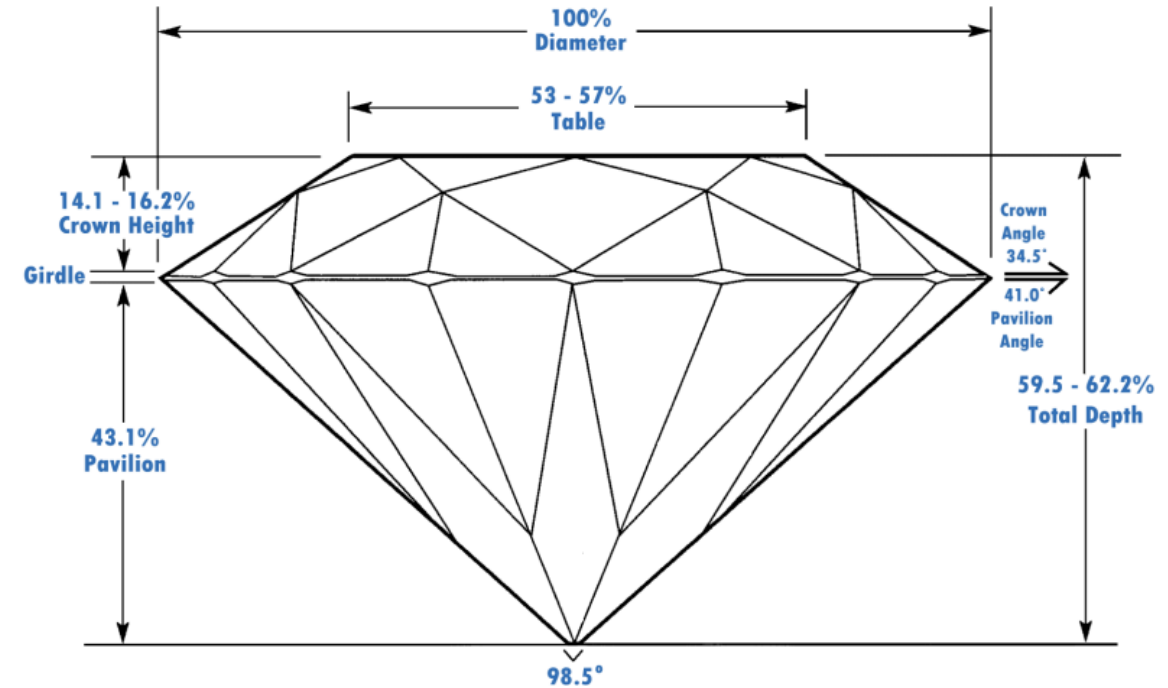
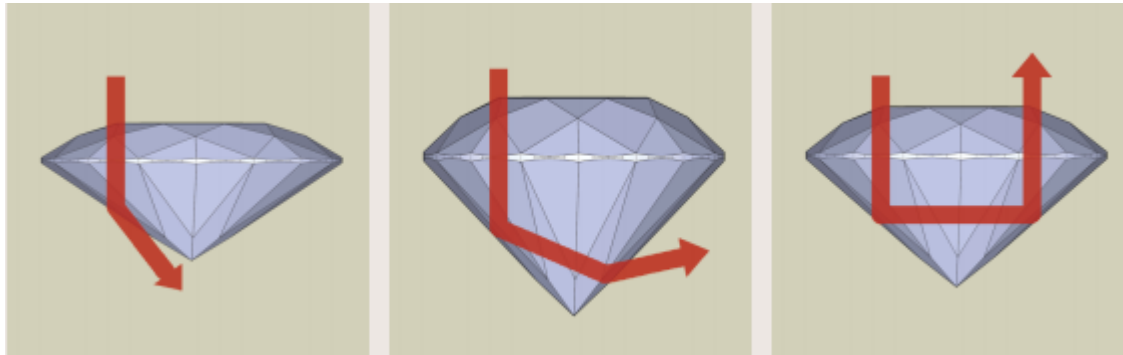
Nemetali – Grupa ugljika

DIJAMANT C



Dijamant kao dragi kamen

Briljantni rez = ukupno 57, tj. 58 ploha



Razred 1. Samorodni elementi

Nemetali – Grupa ugljika

DIJAMANT C

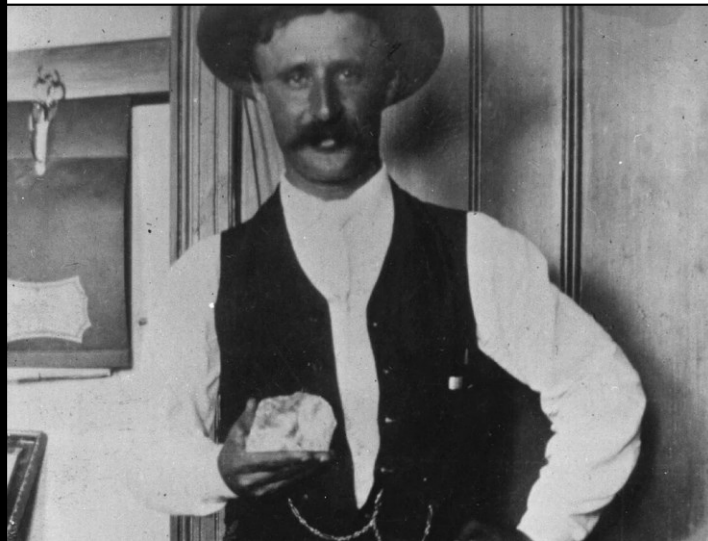
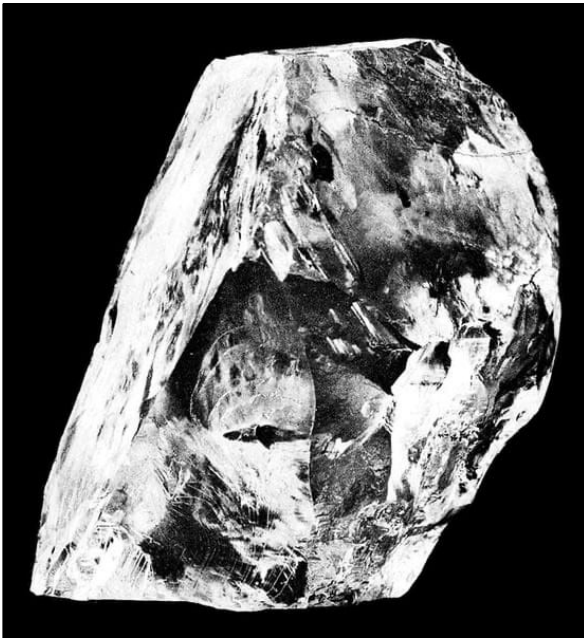
najveći dijamant

Cullinan (3106 ct) - JAR (de Beers Premier mine), 1905.

→ razrezan u 9 velikih komada + 96 manjih

Cullinan I (**Great Star of Africa**) – 530,20 ct

Cullinan II (Second Star of Africa) – 317,40 ct



Razred 1. Samorodni elementi

Nemetali – Grupa ugljika

GRAFIT C

Kristalni sustav: heksagonski (6/m 2/m 2/m)

Habitus: tanki pločasti heksagonski kristali;
sitnozranti, zemljasti, listićasti
agregati

Tvrdoća: 1 – 2

Gustoća: 2,09 – 2,23

Kalavost: savršena po {0001}, lako ju je postići

Lom: neravan

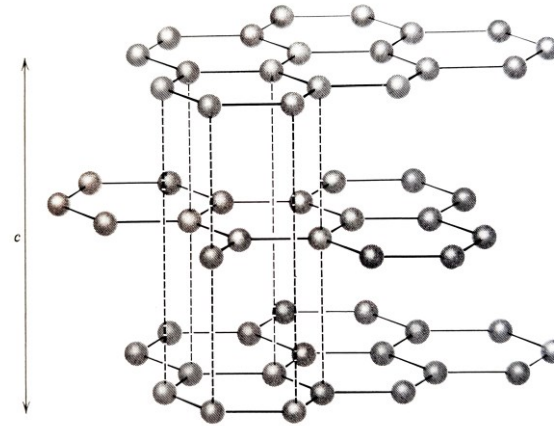
Boja: željeznocrna do čeličnosiva

Crt: crn

Sjaj: metaličan do zemljast

Pojavljivanje: metamorfne stijene (iz organske tvari)

Dodatno: može gorjeti



struktura grafita



Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Mnogi važni rudni minerali!

- **Rudni minerali** = metalni minerali koji se pojavljuju kao dio **rude**, od ekonomske važnosti
→ rudna petrologija, ekonomska geologija, geologija mineralnih ležišta
- **ruda** = mineralni agregat koji sadrži korisne komponente
 - izdvajanje metala tehnološkim postupcima
 - ostatak, nepoželjan materijal = **jalovina**

Cu

- halkozit (halkozin) Cu_2S
- **covellit (covellin) CuS**
- **halkopirit CuFeS_2**
- bornit Cu_5FeS_4

Ag

- argentit, akantit Ag_2S
- pirargirit, Ag_3SbS_3
- proustit Ag_3AsS_3

Fe

- **pirit FeS_2**
- markazit FeS_2
- pirhotit Fe_{1-x}S
- pentladit $(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$

Co

- kobaltit $(\text{Co},\text{Fe})\text{AsS}$

As

- realgar AsS
- **auripigment As_2S_3**
- **arsenopirit FeAsS**

Pb

- **galenit PbS**

Hg

- **cinabarit HgS**

Sb

- **stibnit Sb_2S_3**

Mo

- **molibdenit MoS_2**

Ni

- millerit NiS
- **pentladit $(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$**

Zn

- **sfalerit ZnS**
- wurtzit ZnS

Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Stara podjela

- **sjajnici** – jaki metalni sjaj, opáki, siva boja, crt crn, male tvrdoće (2-3), često savršena kalavost
pr. galenit PbS (olovni sjajnik)
halkozit Cu_2S (bakarni sjajnik)
- **pakovine** – jaki metalni sjaj, opáki, svijetlih boja (žuta, crvenkasta, bijela), crni ogreb, tvrdoća 5-6, najčešće bez kalavosti, krti
pr. halkopirit CuFeS_2 (bakarna pakovina)
bornit Cu_5FeS_4 (šarena bakarna pakovina)
pirit FeS_2 (željezna pakovina)



- **blistavci** – dijamantni sjaj, providni, male tvrdoće, kalavost, krti
pr. sfalerit ZnS (cinkov blistavac)



- **sinjavci** – tamnosivi, metalni sjaj, opaki, ogreb crn, male tvrdoće, nemaju kalavosti, krti

Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX_2 – Grupa pirita

PIRIT FeS_2

* željezna pakovina

Kristalni sustav: kubični ($2/m\bar{3}$)

Habitus: česti idiomorfni kristali, heksaedar (prutan), pentagonski dodekaedar, prodorni sraslaci (željezni križ), također zrnat, masivan

Tvrdoća: 6–6 ½

Gustoća: 5,0

Kalavost: nema

Lom: školjkast do neravan

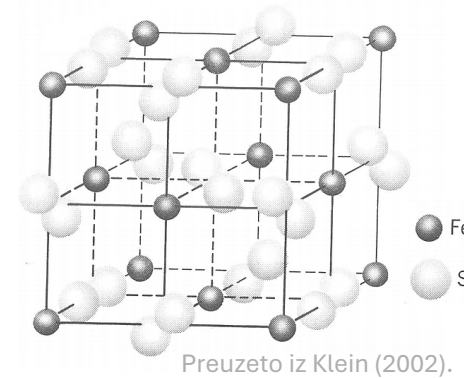
Boja: blijedo brončano-žut

Crt: zelenosiv do zelenocrn

Sjaj: metaličan

Pojavljivanje: najrašireniji sulfid, u svim vrstama stijena;
reduktivne sredine

Dodatno: „zlato za budale” („*fool's gold*”);
nije rudni mineral željeza – koristi se za
proizvodnju sumporne kiseline



Preuzeto iz Klein (2002).

struktura pirita
(struktura tipa halita)



željezni križ

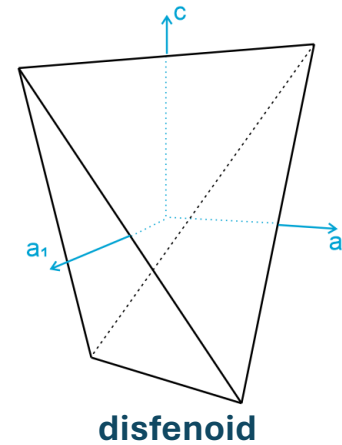


Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX (omjer 2:2) – Grupa halkopirita

HALKOPIRIT CuFeS_2 * bakarna pakovina

- Kristalni sustav: tetragonski ($\bar{4}2m$)
- Habitus: rijetki kristali disfenoidskog habitusa (podsjećaju na tetraedre) s prutanim ploham; masivni i bubrežasti agregati
- Tvrdoća: $3\frac{1}{2} - 4$
- Gustoća: 4,35 – 4,40
- Kalavost: jasna po {011}
- Lom: neravan
- Boja: brončanožut (svjež), lako se nahuče crno
- Crt: crn sa zelenim odsjajem
- Sjaj: metaličan
- Pojavljivanje: najčešći mineral bakra; u hidrotermalnim žilama, u mafičnim magmatskim stijenama
- Dodatno: glavni rudni mineral bakra



Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX_2 – Grupa arsenopirita

ARSENOPIRIT $FeAsS$

- Kristalni sustav: monoklinski (2/m)
- Habitus: kratkoprizmatski do igličasti kristali rompskog izgleda; sraslaci dvojci (kosi križevi) i trojci (zvijezde); masivni agregati
- Tvrdoća: $5\frac{1}{2} - 6$
- Gustoća: 6,07
- Kalavost: jasna po {101}
- Lom: neravan
- Boja: srebrnobijela, nahuče se žuto
- Crt: crn
- Sjaj: metaličan
- Pojavljivanje: najrašireniji arsenski mineral; u hidrotermalnim žilama, u mafičnim magmatskim i metamorfnim stijenama
- Dodatno: glavni rudni mineral arsena

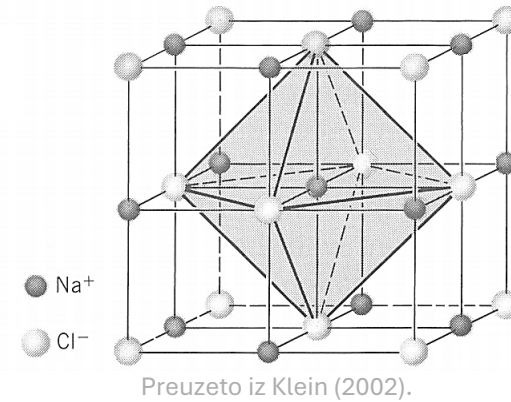


Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX – Grupa galenita

GALENIT PbS * olovni sjajnik

Kristalni sustav:	kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)
Habitus:	heksaedarski i oktaedarski habitus, često svinuti bridovi kristala i spirale rasta na plohama
Tvrdoća:	2 ½
Gustoća:	7,6
Kalavost:	savršena po {100}
Lom:	školjkast
Boja:	olovnosiva (plavičasto-siva)
Crt:	crn
Sjaj:	metaličan
Pojavljivanje:	najčešći mineral olova; u hidrotermalnim žilama uz sfalerit, u sedimentnim stijenama
Dodatno:	glavni rudni mineral olova



struktura galenita
(**struktura tipa halita**)



Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX – Grupa sfalerita

SFALERIT ZnS

* cinkov blistavac

Kristalni sustav: kubični ($\bar{4} 3 m$)

Habitus: tetraedar, dodekaedar, heksaedar, zaobljeni agregati, polisintentski sraslaci, grubo do fino zrnat

Tvrdoća: $3\frac{1}{2} - 4$

Gustoća: 4,0

Kalavost: savršena po $\{110\}$ (6 smjerova)

Lom: školjkast

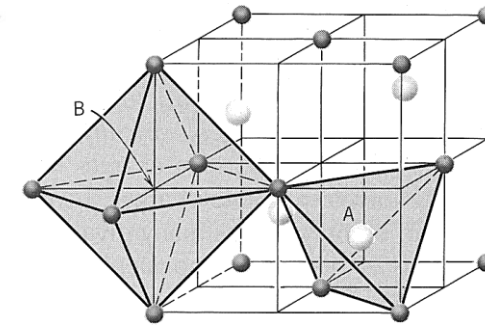
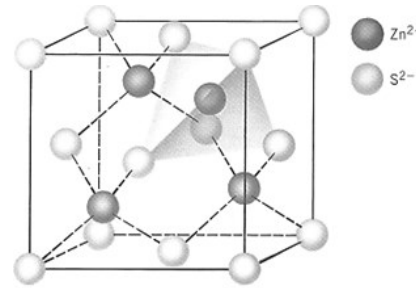
Boja: bezbojan (čist), zelen, žut, crven, smeđ do crn
(**marmatit** = crni od Fe)

Crt: bijel do smeđ

Sjaj: smolast do polumetalan, ponekad dijamantan

Pojavljivanje: najčešći mineral cinka;
u hidrotermalnim žilama uz galenit, u sedimentnim stijenama

Dodatno: glavni rudni mineral cinka



Preuzeto iz Klein (2002).

struktura sfalerita
(struktura tipa dijamanta)

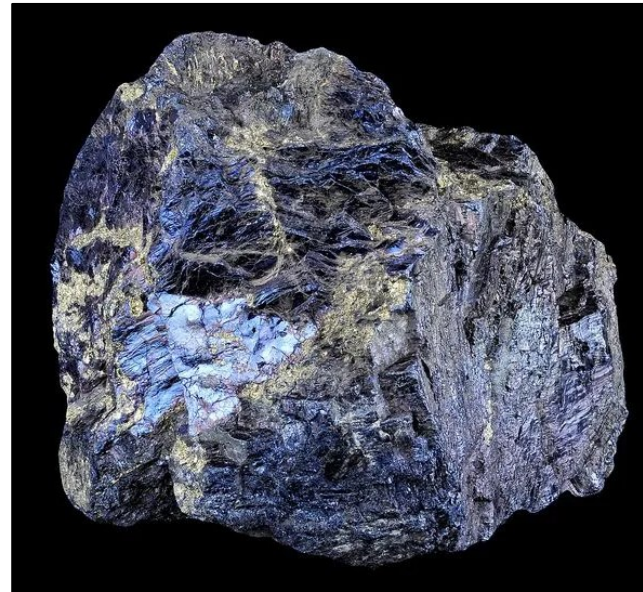


Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX – Grupa covellita

COVELLIT CuS

Kristalni sustav:	heksagonski (6/m 2/m 2/m)
Habitus:	rijetki tankopločasti kristali; masivni do listićasti agregati
Tvrdoća:	1 ½ – 2
Gustoća:	4,68
Kalavost:	savršena po {0001}
Lom:	neravan
Boja:	indigoplava, nahuče se purpurno
Crt:	blistavo sivocrn
Sjaj:	polumetalni do mutan
Pojavljivanje:	u zoni sekundarnog obogaćenja bakrenih sulfidnih ležišta

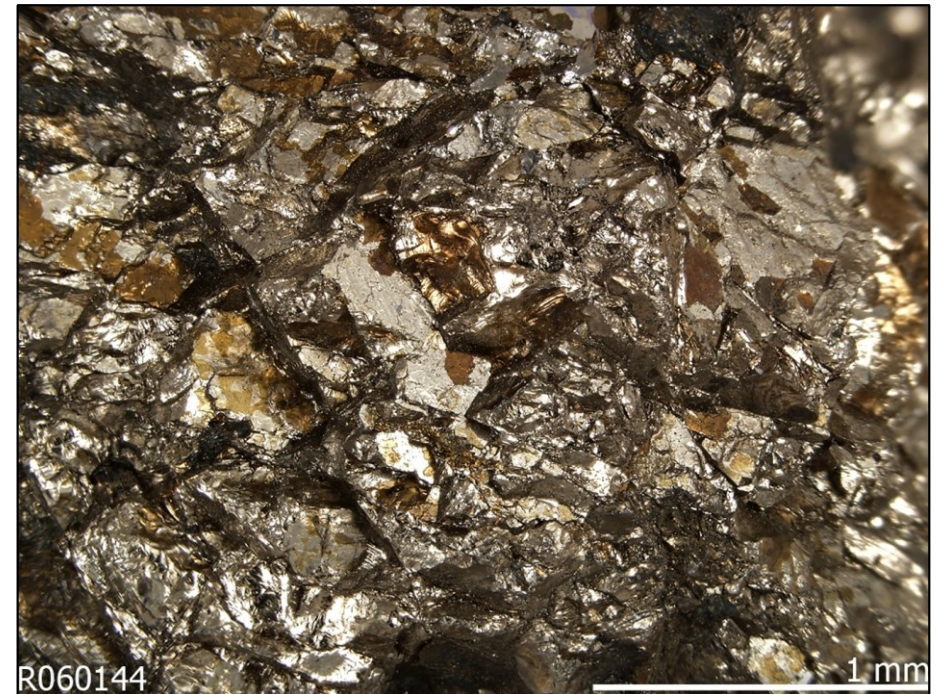


Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX – Grupa pentladi

PENTLADIT $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$

Kristalni sustav:	kubični ($4/m \bar{3} 2/m$)
Habitus:	masivan do zrnat; bez krupnih kristala
Tvrdoća:	$3\frac{1}{2} - 4$
Gustoća:	4,6 – 5,0
Kalavost:	nema
Lom:	školjkast, krt
Boja:	brončano-žuta, boja duhana
Crt:	brončano-smeđ
Sjaj:	metaličan
Pojavljivanje:	u ultrabazičnim magmatskim stijenama
Dodatno:	najvažniji primarni rudni mineral nikla



Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip A_2X_3 – Grupa stibnita

STIBNIT Sb_2S_3

Kristalni sustav:	rompski (2/m 2/m 2/m)
Habitus:	pločasti i štapićasti kristali; u radijanozrakastim druzama
Tvrdoća:	2
Gustoća:	4,66
Kalavost:	savršena i laka po {010}
Lom:	neravan do školjkast
Boja:	siva
Crt:	siv
Sjaj:	metalan
Pojavljivanje:	najčešći mineral antimona; u hidrotermalnim žilama i metasomatskim ležištima
Dodatno:	savitljiv (plastičan)



Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip A_2X_3 – Grupa auripigmenta

AURIPIGMENT As_2S_3

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	listićavi, bubrežasti i praškasti agregati, kratkoprizmatski kristali
Tvrdoća:	1 ½ – 2
Gustoća:	3,5
Kalavost:	savršena po {010}
Lom:	nema, savitljiv je, plastičan
Boja:	zlatnožuta, narančastožuta, limunžuta, smeđežuta
Crt:	svjetložuta
Sjaj:	smolast, sedefast
Pojavljivanje:	rijedak mineral; u hidrotermalnim žilama i vrućim izvorima
Dodatno:	koristio se kao pigment u slikarstvu (zlatnožuta boja)



Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX

CINABARIT HgS

- Kristalni sustav: trigonski (32)
- Habitus: rijetki kristali romboedarskog ili pločastog habitusa, uglavnom masivni agregati ili kristalaste korice i prah
- Tvrdoća: 2 – 2 ½
- Gustoća: 8,1
- Kalavost: savršena po {1010}
- Lom: školjkast do neravan
- Boja: jarkocrvena, smeđe-crvena, smeđa, crna (od primjesa)
- Crt: cinobercrven do crvenkastosmeđ
- Sjaj: dijamantan, polumetalan do metalan
- Pojavljivanje: najčešći mineral žive; u hidrotermalnim žilama, u sedimentima
- Dodatno: glavni rudni mineral žive; rudnik žive – Idrija (Slovenija); koristio se kao crveni pigment – **cinober** (otrovan!), danas sintetska boja; **vermilion**



Razred 2. Sulfidi, selenidi i teluridi

Tip AX_2 – Grupa molibdenita

MOLIBDENIT MoS_2

Kristalni sustav:	heksagonski (6/m 2/m 2/m)
Habitus:	pločasti kristali, listićavi agregati
Tvrdoća:	1 – 1 ½
Gustoća:	4,6 – 5,05
Kalavost:	savršena i laka po {0001}
Lom:	nema
Boja:	olovnosiva
Crt:	zelenkast
Sjaj:	metalan
Pojavljivanje:	najčešći mineral molibdena; u hidrotermalnim žilama i kiselim magmatskim stijenama
Dodatno:	sličan grafitu; kruto mazivo



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Oksidi

Tip A_2O

- **led H_2O**
- kuprit Cu_2O

Tip AO

- periklas MgO
- **vapno CaO**

Tip AB_2O_4

- **spinel $MgAl_2O_4$**
- gahnit $ZnAl_2O_4$
- **magnetit Fe_3O_4**
- **kromit $FeCr_2O_4$**
- hausmannit $MnMn_2O_4$
- **krizoberil $BeAl_2O_4$**

Tip A_2O_3

- **hematit Fe_2O_3**
- **korund Al_2O_3**
- ilmenit $FeTiO_3$
- perovskit $CaTiO_3$

Tip AO_2

- **kvarc SiO_2**
- **rutil, anatas, brookit TiO_2**
- piroluzit MnO_2
- kasiterit SnO_2
- **uraninit UO_2**
- torijanit ThO_2

Mnogi važni rudni minerali!
(Fe, Mn, Al, U, ...)

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip A_2O – Led

LED H_2O

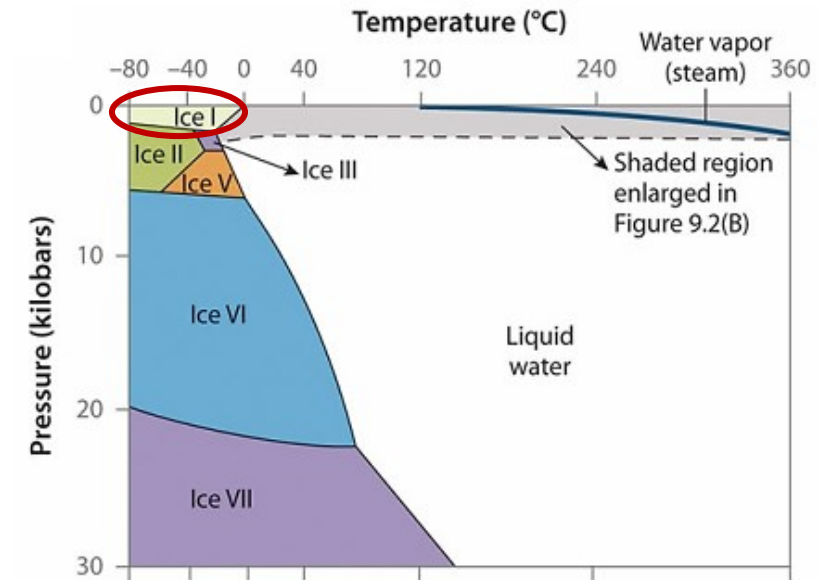
Kristalni sustav:	heksagonski (6/m 2/m 2/m)*
Habitus:	sitni do krupnozrnati agregati (snijeg i led), skeletni kristali
Tvrdoća:	1 ½, ali varira s temperaturom (pr. 6 na -70 °C)
Gustoća:	0,92 – 0,99 (na 4°C), varira s temperaturom
Kalavost:	nema
Lom:	školjkast
Boja:	bezbojan, transparentan, bijel od uklopaka zraka
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	vezan uz okoliše niskih temperatura (<0 °C)

* preko 10 različitih polimornih modifikacija!

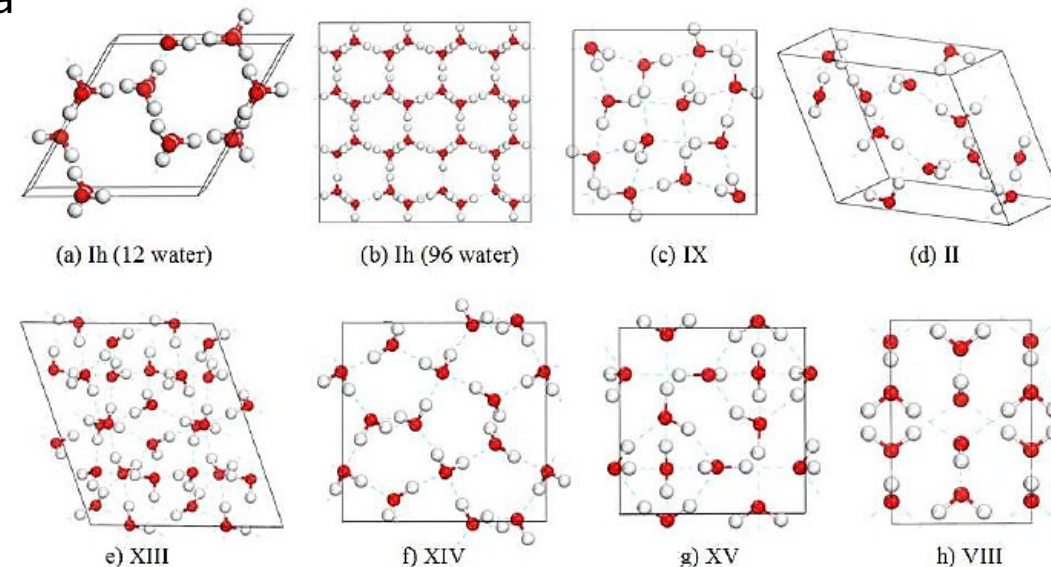


The Snowflake Myth

<https://www.youtube.com/watch?v=ao2Jfm35XeE>



Preuzeto iz Klein & Phillips (2013).



Santra et al. (2013), <https://doi.org/10.1063/1.4824481>

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip A_2O – Led

LED H_2O

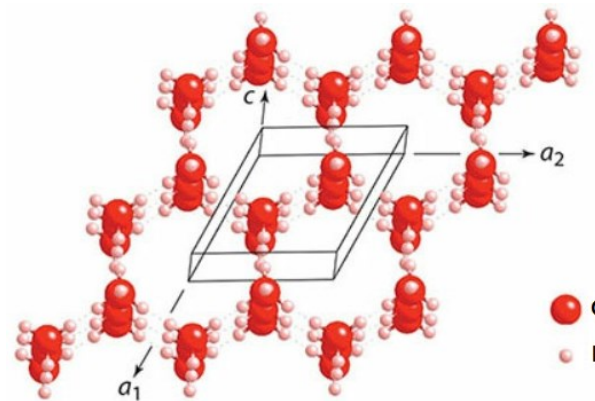
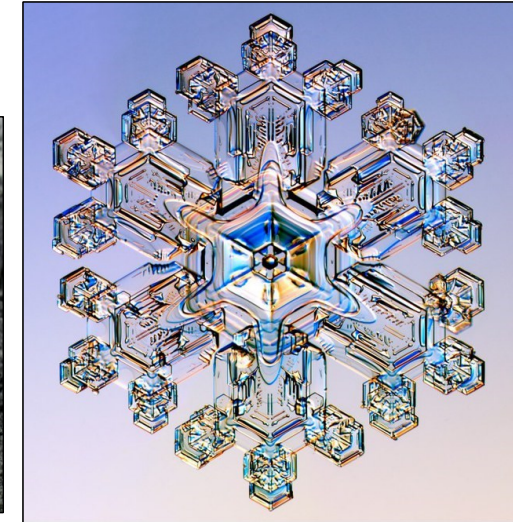
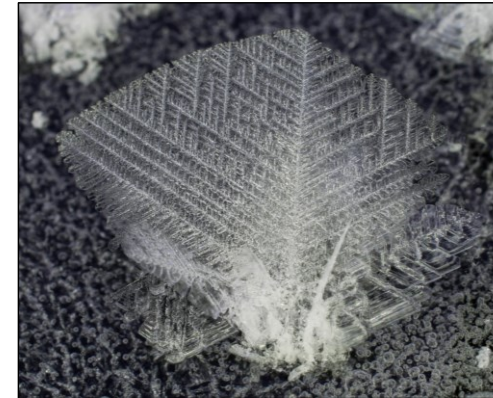
- Kristalni sustav: heksagonski ($6/m\ 2/m\ 2/m$)*
- Habitus: sitni do krupnozrnati agregati (snijeg i led), skeletni kristali
- Tvrdoća: $1\frac{1}{2}$, ali varira s temperaturom (pr. 6 na $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Gustoća: 0,92 – 0,99 (na 4°C), varira s temperaturom
- Kalavost: nema
- Lom: školjkast
- Boja: bezbojan, transparentan, bijel od uklopaka zraka
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast
- Pojavljivanje: vezan uz okoliše niskih temperatura ($<0\text{ }^{\circ}\text{C}$)

* preko 10 različitih polimornih modifikacija!



The Snowflake Myth

<https://www.youtube.com/watch?v=ao2Jfm35XeE>



Preuzeto iz Klein & Phillips (2013).



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO – Grupa periklasa

VAPNO CaO

Kristalni sustav:	kubični ($4/m \bar{3} 2/m$)
Habitus:	u masivnim agregatima
Tvrdoća:	3 ½
Gustoća:	3,35
Kalavost:	savršena po {001}
Lom:	neravan
Boja:	bijela
Crt:	bijel
Sjaj:	mutan
Pojavljivanje:	raspadanje kalcita pri visokim temperaturama

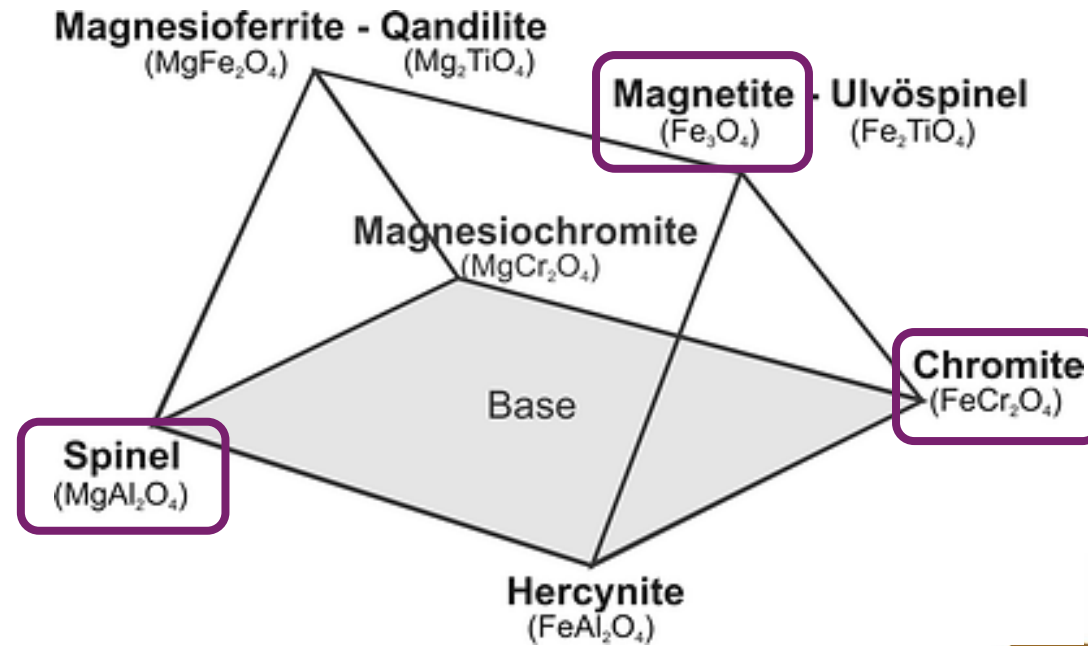


Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AB_2O_4 – Grupa spinela

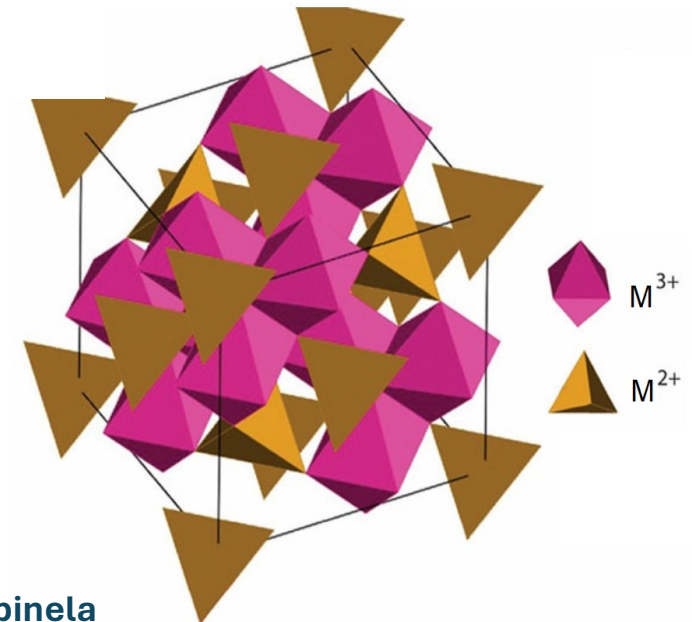
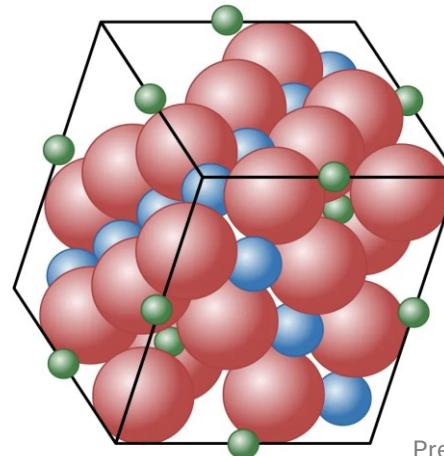
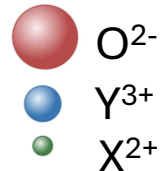
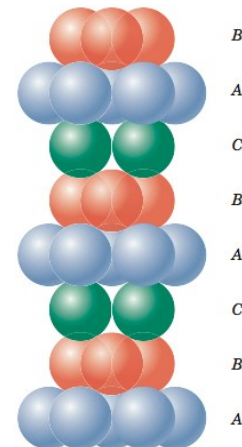
Grupa spinela $X^{2+}Y^{3+}_2O_4$

- Niz aluminijских spinela
spinel $MgAl_2O_4$
- Niz željeznih spinela
magnetit Fe_3O_4
- Niz kromnih spinela
kromit $FeCr_2O_4$



Ferracutti et al. (2015), <https://doi.org/10.1007/s00710-014-0363-1>

Kristalni sustav:
kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)



struktura spinela

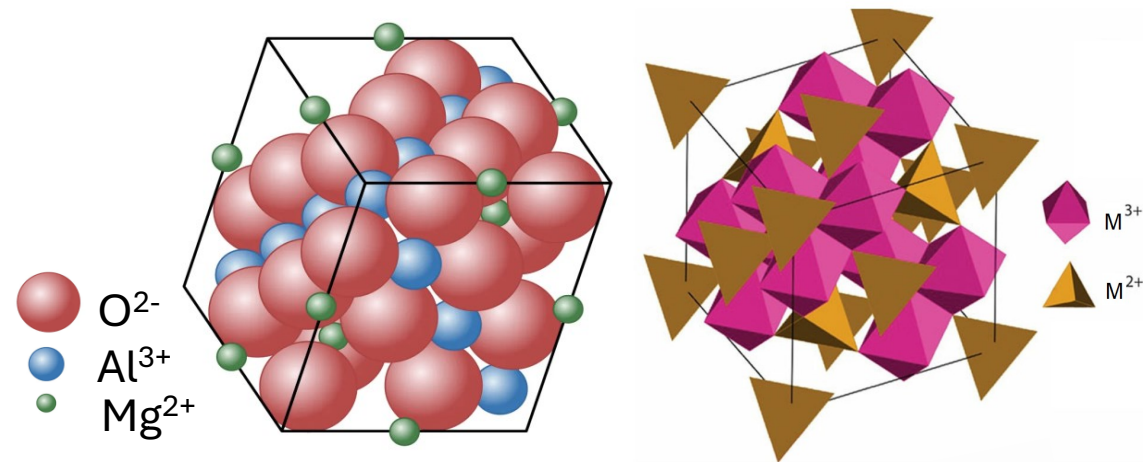
Preuzeto iz Klein & Phillips (2013).

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AB_2O_4 – Grupa spinela – Niz Al spinela

SPINEL $MgAl_2O_4$

Kristalni sustav:	kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)
Habitus:	uglavnom oktaedarskog habitusa, rijetko heksaedarskog i dodekaedarskog; uobičajeni sraslaci (ponekad polisintetski) po $\{111\}^*$
Tvrdoća:	$7 \frac{1}{2} - 8$
Gustoća:	3,58
Kalavost:	nema
Lučenje:	po $\{111\}$
Lom:	školjkast
Boja:	crvena, zelena, plava, smeđa, crna
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	u metamorfnim stijenama (vezani uz visokotemperaturne parageneze), u bazičnim magmatskim stijenama, u pijescima



veličina kristala ~4,5 mm



veličina kristala ~4 mm



*spinelski sraslački zakon

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AB_2O_4 – Grupa spinela – Niz Fe spinela

MAGNETIT Fe_3O_4 ($FeO \cdot Fe_2O_3$)

Kristalni sustav: kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)

Habitus: oktaedarski kristali, rijetko dodekaedri,
sraslaci po spinelskom sraslačkom zakonu;
također zrnat, masivan

Tvrdoća: 6

Gustoća: 5,18

Kalavost: nema

Lučenje: oktaedarsko kod nekih uzoraka

Lom: неправиан do poluškoljkast

Boja: željezno-crna

Crt: crn

Sjaj: metalni

Pojavljivanje: jedan od najraširenijih oksida, u svim
geološkim sredinama

Dodatno: magnetičan (ferimagnetičan)



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AB_2O_4 – Grupa spinela – Niz Fe spinela

KROMIT $FeCr_2O_4$ ($FeO \cdot Cr_2O_3$)

Kristalni sustav: kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)

Habitus: rijetki kristali (oktaedri ili kuboktaedri);
obično u krupnozrnatim agregatima

Tvrdoća: $5 \frac{1}{2}$

Gustoća: 4,5 – 4,8

Kalavost: nema

Lom: неправиан

Boja: crna

Crt: smeđ

Sjaj: metalni

Pojavljivanje: u olivinskim ultrabazičnim stijenama,
u meteoritima

Dodatno: jedini izvor kroma



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AB_2O_4 – Krizoberil

KRIZOBERIL $BeAl_2O_4$

Kristalni sustav:	rompski (2/m 2/m 2/m)
Habitus:	obično debelopločasti kristali; sraslaci dvojci ili trojci (pseudoheksagonski)
Tvrdoća:	8 ½
Gustoća:	3,75
Kalavost:	jasna po {110}
Lom:	nepravilan do poluškoljkast
Boja:	zelen, žut, smeđ, crven aleksandrit (zelen vs. crven)
Crt:	bijeli
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	u pegmatitima, aplitima, tinjčevim škrljavcima
Dodatno:	var. majče oko (engl. cat eye)



efekt mačjeg oka na krizoberilu

„Emerald by day, ruby by night”



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

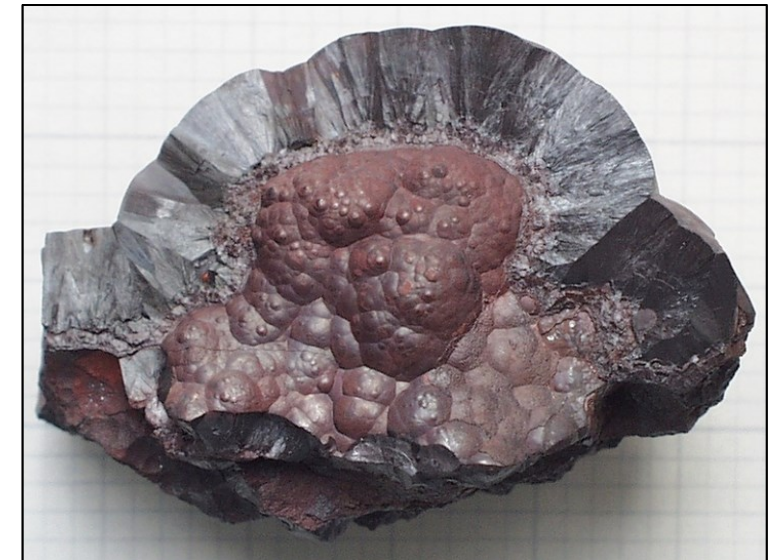
Tip A_2O_3 – Grupa korunda – hematita

HEMATIT Fe_2O_3

- Kristalni sustav: heksagonski ($\bar{3} 2/m$)
- Habitus: pločast, plohe baznog pinakoda s trokutastim obilježjima; rozete; rijetko romboedarski; grozdast do bubrežast s radijalnom unutarnjom strukturom, zemljast; česta prutanja po bazalnim plohama paralelno osima a_1 , a_2 , a_3
- Tvrdoća: $5 \frac{1}{2} - 6 \frac{1}{2}$
- Gustoća: 5,26
- Kalavost: nema
- Lučenje: po $\{0001\}$, $\{1011\}$
- Lom: poluškoljkast do neravan
- Boja: čelično-sive, crveno-smeđe do crne boje
- Crt: crven
- Sjaj: metalni (kristali), bez sjaja (masivni uzorci)
- Pojavljivanje: u svim geološkim sredinama, **oksidativni uvjeti**
- Dodatno: važna ruda željeza; crveni pigment



rozeta hematita, tzv.
željezna ruža



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

BIF, trakaste željezovite formacije (engl. *banded iron-formations*) = sedimentne stijene

- formirane u prekambriju (>541 mil. god.)
- starost: 3,8 – 1,8 mil. god.
- u anoksičnim uvjetima
- nema modernih analoga!
- svijetli slojevi (SiO_2) = kvarc (crveni jaspis, čert, ...)
- tamni slojevi (Fe) = magnetit i/ili hematit $\pm$ siderit FeCO_3 , ankerit $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$, Fe-oksihidroksidi

Itabiriti = metamofozirani BIF



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip A_2O_3 – Grupa korunda – hematita

KORUND Al_2O_3

Kristalni sustav:	heksagonski ($\bar{3} 2/m$)
Habitus:	tabularni ili pločasti kristali, krnje heksagonske dipiramide, bačvasti oblici; masivan, grub do fino zrnat; jaka horizontalna prutanja
Tvrdoća:	9
Gustoća:	4,02
Kalavost:	nema
Lučenje:	po $\{0001\}$, $\{10\bar{1}1\}$
Lom:	neravan do školjkast
Boja:	bezbojan (var. leukosafir), nijanse žute/smeđe (var. orijentalni topaz), ružičaste, crvene (var. rubin), plave (var. safir i indigosafir), ljubičast (var. orijentalni ametist)...
Crt:	bijel
Sjaj:	dijamantan do staklast
Pojavljivanje:	u metamorfnim stijenama (mramori, gnajsevi,...) i magmatskim stijenama siromašnim silicijem, a bogatima aluminijem
Dodatno:	abraziv („šmirgl” – Smirna, Turska)



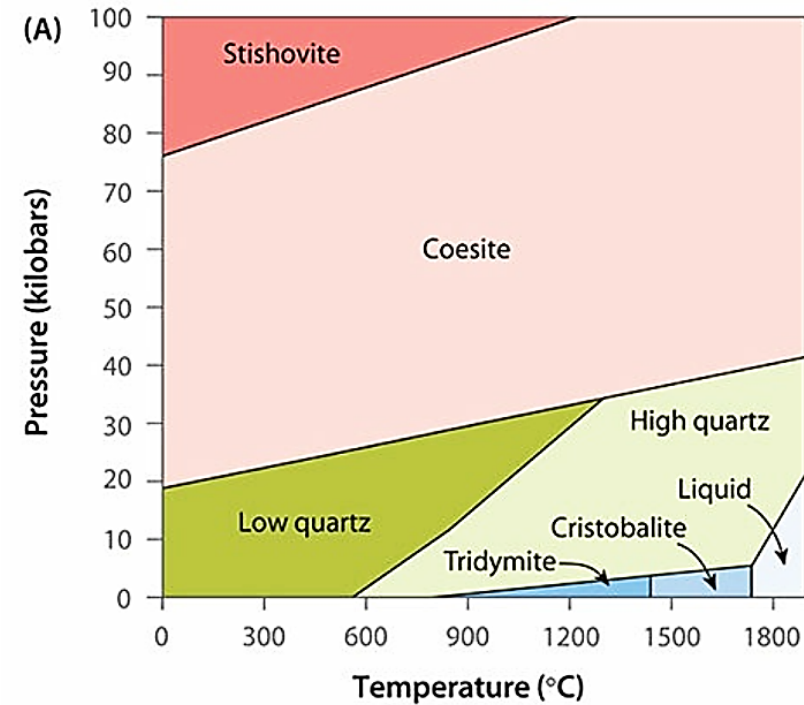
Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO_2 – Grupa kvarca

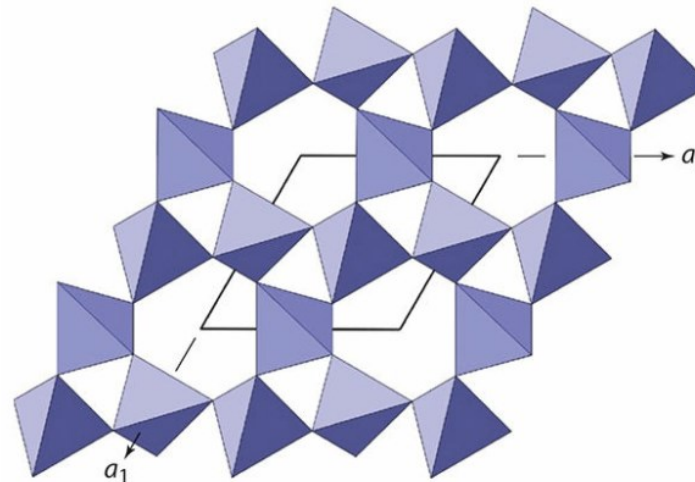
KVARC (KREMEN) SiO_2

SiO_2 polimorfi

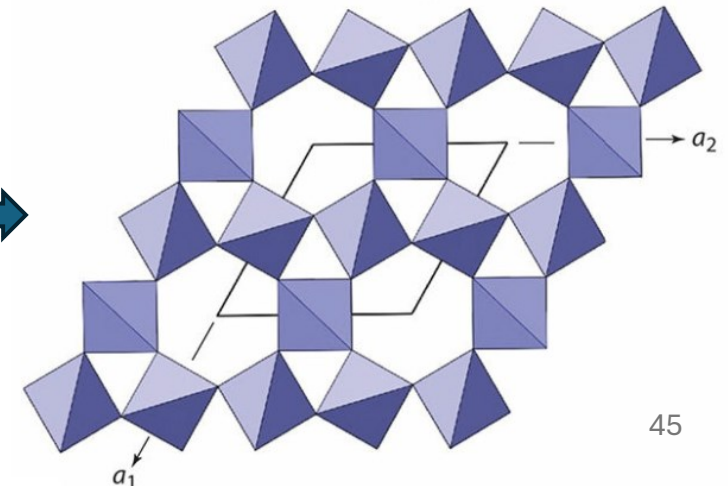
- α -kvarc ($P 3_12$)
niskotemperaturni (*low quartz*)
 - β -kvarc ($P 6_222$)
visokotemperaturni (*high quartz*)
 - tridimit ($P 6_3/mmc$ do $C 1$)
 - cristobalit ($P 4_12_12^*$)
*pseudokubični
 - coesit ($C 2/c$)
 - stishovit ($P 4_2/mnm$)
- visoke T
- visoki p



α -kvarc ($P 3_12$)
niskotemperaturni (*low quartz*)



β -kvarc ($P 6_222$)
visokotemperaturni (*high quartz*)



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO_2 – Grupa kvarca

KVARC (KREMEN) SiO_2

Kristalni sustav: heksagonski (32)

Habitus: prizmatski kristali (poprečno prutani), često s romboedrom, različiti sraslaci, također zrnat, masivan, kriptokristaliničan

Tvrdoća: 7

Gustoća: 2,65

Kalavost: nema

Lom: školjkast

Boja: bezbojan (var. **gorski kristal**), ljubičast (var. **ametist**), ružičast (var. **ružičnjak**), žut do smeđ (var. **čađavac**), žut (var. **citrin**), sektorski obojen ljubičasto-žut (var. **ametrin**), bijel (var. **mliječnjak**, bjelutak), crni (var. **morion**)

Crt: bijel

Sjaj: staklast



ametist



ametrin



citrin



morion



gorski kristal



čađavac



mliječnjak



ružičnjak

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO_2 – Grupa kvarca

KVARC (KREMEN) SiO_2

Pojavljivanje: čest i obilan mineral u stijenama kore
 (kisele magmatske stijene, metamorfne
 stijene, sedimentne stijene)

Dodatno: izrazito piroelektričan i piezoelektričan;
 sirovina za proizvodnju stakla i keramike;
 primarni izvor silicija;
 jedan od najčišćih prirodnih supstanci;
 vrlo rezistentan mineral (kemijski i fizički)!

 var. venerina kosa – s uklopcima rutila
 var. tigrovo oko i sokolovo oko – s uklopcima
 krokidolita (amfibol)



ametist



ametrin



citrin



morion



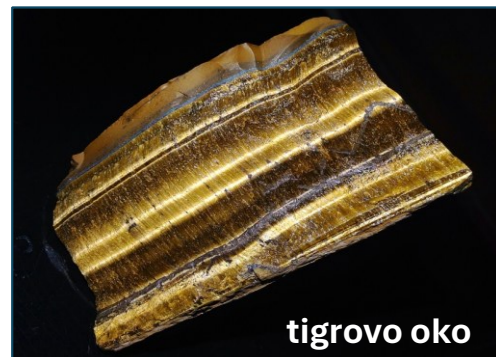
gorski kristal



čađavac



venerina kosa



tigrovo oko



sokolovo oko



mliječnjak

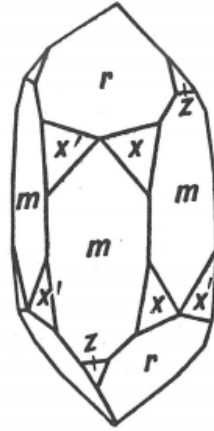


ružičnjak

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

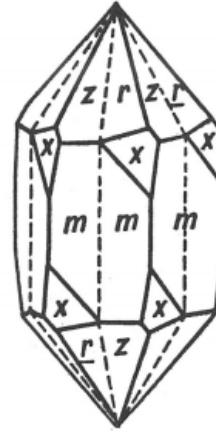
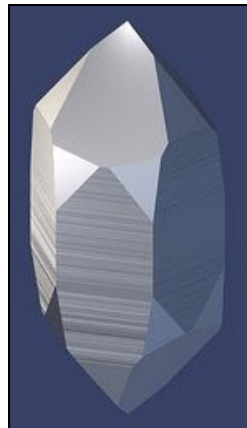
Tip AO_2 – Grupa kvarca

KVARC (KREMEN) SiO_2 – sraslaci



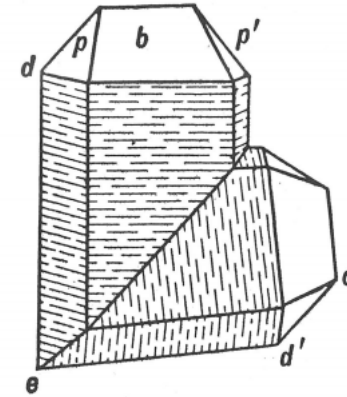
$\{11\bar{2}0\}$

brazilski
L+R



$[0001]$

dauphinejski
rotacija za 60° oko osi c



$\{11\bar{2}2\}$

japanski



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

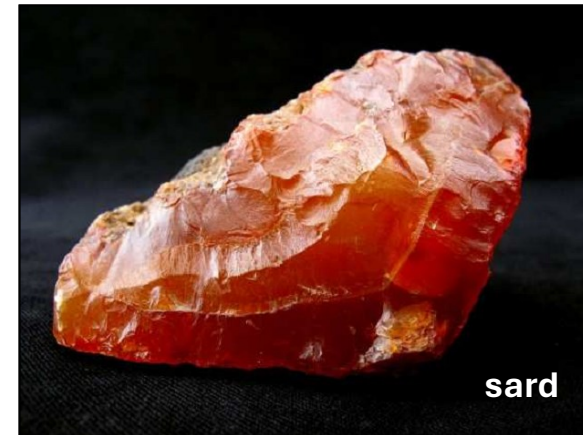
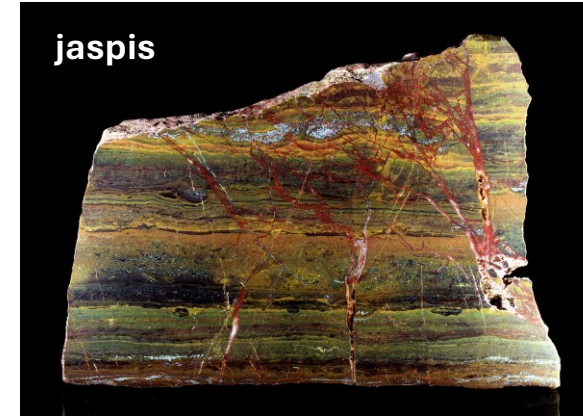
Tip AO_2 – Grupa kvarca

KVARC (KREMEN) SiO_2

Aventurin = polikristalasti kremen (zeleni); kvarc s uklopcima fuksita - kromni tinjac, $\text{K}(\text{Al}, \text{Cr})_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Kalcedon = mikro- do kriptokristalasti varijeteti

- **Karneol** – poput mesa, smeđecrven do žut
- **Sard** – smeđecrven, jednoliko obojen, tvrdi i tamniji od karneola
- **Jaspis** – >20 % primješanog stranog materijala, uglavnom Fe-oksida i hidroksida (tamnocrven, crven, smeđežut, zelen, mutnoplav, smečkastocrn, crn)
- **Prazem, pras, krizopras** – boje zelene jabuke, relativno proziran
- **Plazma** – različite nijanse zelene boje, manje prozirna od prazema



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO_2 – Grupa kvarca

KVARC (KREMEN) SiO_2

Kalcedon = mikro- do kriptokristalasti varijeteti

- **Heliotrop (*bloodstone*)** – tamnozeleni kalcedon + narančastocrveni jaspis
- **Oniks** – kalcedon s jasno vidljivom zonalnošću (smeđi i bijeli, crni i bijeli)
- **Sardoniks** – izmjena sarda i oniksa
- **Ahat** – zonalno svinut kalcedon s različito obojenim zonama



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO_2 – Grupa rutila

RUTIL TiO_2

Kristalni sustav:	tetragonski (4/m 2/m 2/m)
Habitus:	najčešće prizmatski, igličasti do vlaknasti kristali; česti sraslaci (koljeničasti, ciklični, srcoliki), mreža igličastih kristala (var. sagenit)
Tvrdoća:	6 – 6 ½
Gustoća:	4,2
Kalavost:	jasna po {110}
Lom:	školjkast do neravan
Boja:	crvenosmeđa, žuta, narančasta, siva, plavičasta, crna
Crt:	svijetlosmeđ do žut
Sjaj:	dijamantan do polumetalan
Pojavljivanje:	akcesorni mineral; u metamorfnim i magmatskim stijenama
Dodatno:	najčešći titanijev mineral; ruda titanija



ciklički sraslaci rutila



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO_2 – Grupa uraninita

URANINIT $UO_2 - U_3O_8 (U^{4+}O_2 \cdot 2U^{6+}O_3)$

Kristalni sustav: kubični ($4/m \bar{3} 2/m$)

Habitus: heksaedarski, oktaedarski ili kuboktaedarski kristali; gusti, masivn, praškasti, bubrežasti agregati, dendriti, korice

Tvrdoća: 5 – 6

Gustoća: 6,5 – 10,0

Kalavost: po {111} (vidljiva samo mikroskopskim u preparatima)

Lom: školjkast do neravan

Boja: maslinastozeleni (svježi), smeđecrna, sivocrna, crna

Crt: maslinastozelen do crn

Sjaj: polumetalan do mastan

Pojavljivanje: u hidrotermalnim žilama, akcesoran mineral u granitima, u sedimentima

Dodatno: glavni izvor urana kao goriva za nuklearne reaktore; često metamiktan



* pehblenda, uranov smolinac

Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Hidroksidi i oksihidroksidi

Tip $A(OH)_2$

- brucit $Mg(OH)_2$
- portlandit („gašeno vapno”) $Ca(OH)_2$

Tip $AO(OH)$

- lepidokrokit, **goethit** $FeO(OH)$
- **böhmit**, **dijaspor** $AlO(OH)$
- manganit $MnO(OH)$

Tip $A(OH)_3$

- **gibbsit** $Al(OH)_3$

Limonit = agregat Fe-oksida i hidroksida

- „hrđa”

limonit,
alteracija po
piritu



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Tip AO(OH) – Grupa rutila

GOETHIT $\text{FeO}(\text{OH})$

Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)

Habitus: rijetki kristali (prizmatski, igličasti), uglavnom u oolitskim, masivnim, radijalnozrakastim, bubrežastim, baršunastim ili zemljastim agregatima

Tvrdoća: 5 – 5 ½

Gustoća: 3,3 – 4,3

Kalavost: savršena po {010}

Lom: neravan

Boja: smeđe-crna (kristali i masivni agregati); može se nahukati (irizacija)

Crt: (narančasto)žut

Sjaj: dijamantan do metalan

Pojavljivanje: najvažniji sastojak limonita; nastaje trošenjem minerala koji sadrže željezo u **oksidativnim** uvjetima

Dodatno: glavna ruda željeza



Razred 3. Oksidi i (oksi)hidroksidi

Boksit (stijena) = smjesa aluminijevih minerala:

- diaspor, böhmit $\text{AlO}(\text{OH})$
 - gibbsit $\text{Al}(\text{OH})_3$
- ± Fe-oksidi, Fe-hidroksidi, minerali glina (kaolinit),
Ti-minerali, silika

Habitus: masivni, pizolitski agregati
Tvrdoća: 1 – 3
Gustoća: 2 – 2,5
Boja: bijela, siva, žuta, crvena
Sjaj: mastan do zemljast
Pojavljivanje: u uvjetima tropske i suptropske klime trošenjem i izluživanjem SiO_2 iz aluminijem bogatih stijena ili trošenjem vapnenaca bogatih glinovitom komponentom
Dodatno: glavna ruda aluminija

