



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek  
Mineraloško-petrografski zavod



---

# FIZIČKA SVOJSTVA MINERALA

Mineralogija ZOK

Prof. dr. sc. Nenad Tomašić

# Sadržaj

- kristalni habitus, kristalni agregati
- gustoća/specifična težina
- kalavost
- lučenje
- lom
- tvrdoća
- sjaj
- boja
- crt

# Značaj fizičkih svojstava minerala

- odraz kemijskih i strukturnih obilježja minerala
- veliki dio fizičkih svojstava može se odrediti opažanjem na uzorcima ili jednostavnim testovima  
→ značajno za brzo raspoznavanje minerala

# Pojavni oblici minerala

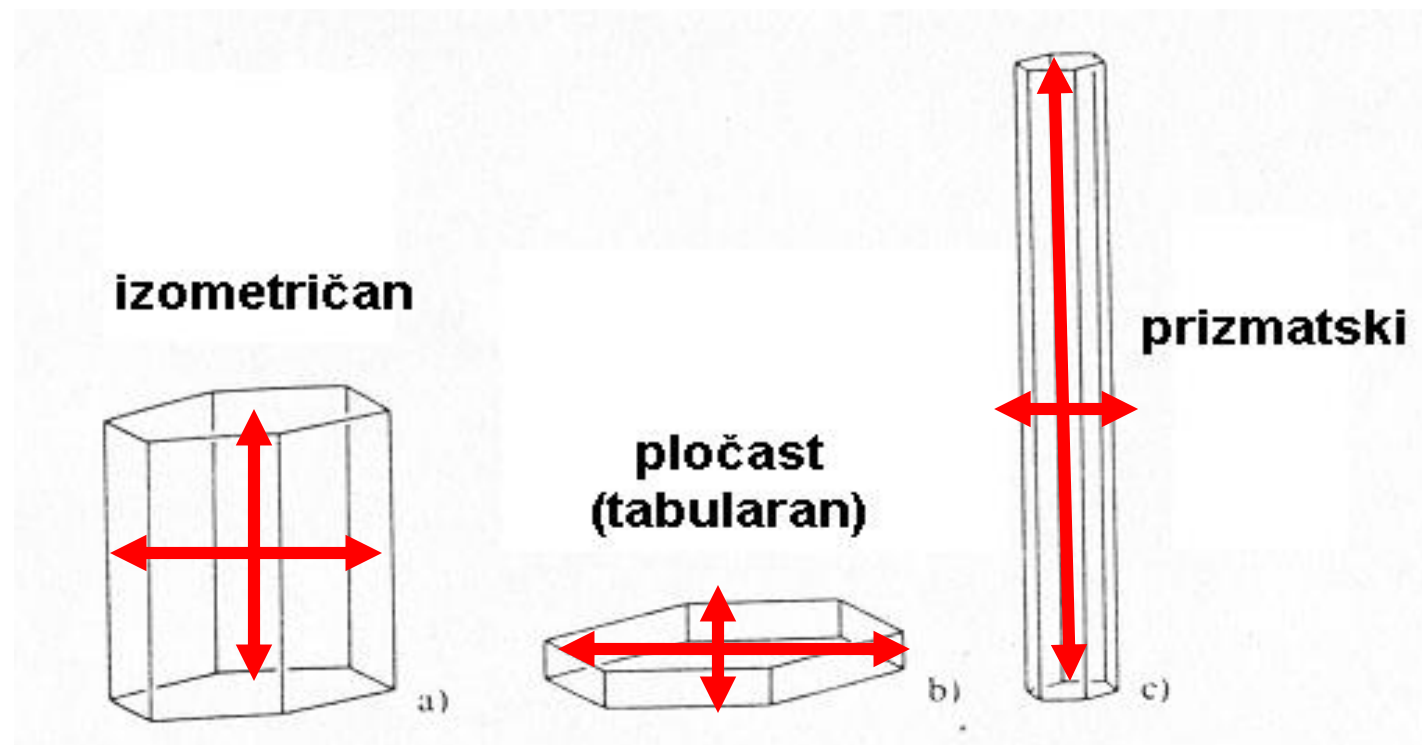
- izgled (habitus) pojedinog kristala ili način na koji je međusobno sraslo više pojedinačnih kristala → značajni kod određivanja minerala u uzorku
- posljedica njihove unutarnje građe ali i uvjeta nastanka minerala

Minerali se mogu pojavljivati kao:

- a) pojedinačni kristali
- b) mineralni agregati (polikristalni uzorci)

# Kristalni HABITUS

- opisuje relativnu veličini ploha na kristalu  
→ opći oblik kristala



# Mineralni agregati

- Mineralni agregati (nakupina više mineralnih jedinki) mogu biti:
  - a) monomineralni (sadrže samo jednu mineralnu vrstu)
  - b) polimineralni (sadrže više mineralnih vrsta)

# Pojavni oblici mineralnih agregata

- oblikom i međusobnim odnosom kristala koji ih sačinjavaju agregat može biti:

1. dendritičan (drvolik)
2. mrežast
3. druzast – površina agregata pokrivena sitnim kristalima (druza)
4. pločast, listićav, tinjčast

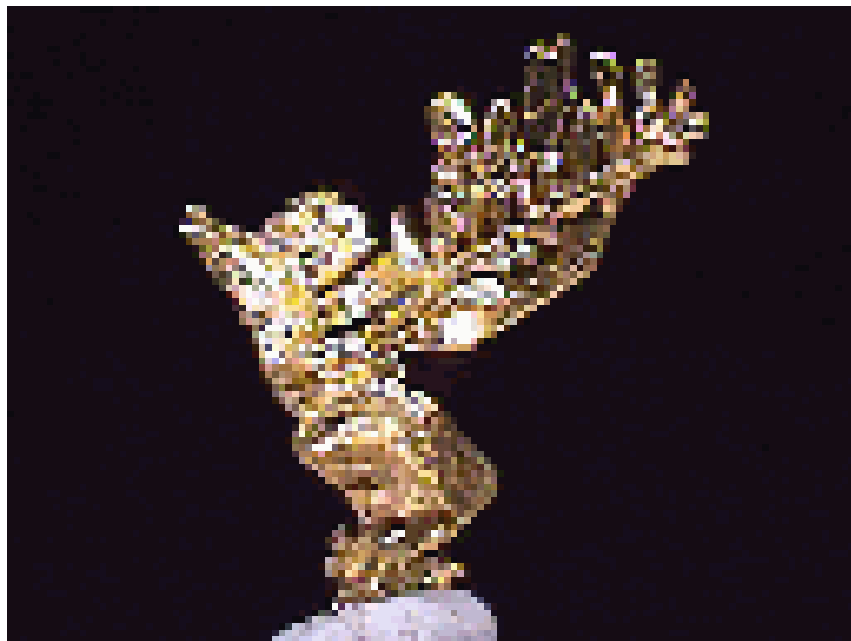
# Pojavni oblici mineralnih agregata

5. radijalan (zrakast)
6. globularan, grozdast (radijalni mineralni agregati tvore kuglaste grupe)
7. bubrežast (radijalni kristalići tvore okruglaste mase izgleda bubrega)
8. zrnat
9. stalaktitičan
10. koncentričan
11. pizolitičan (okrugle mase veličine graška)
12. oolitičan



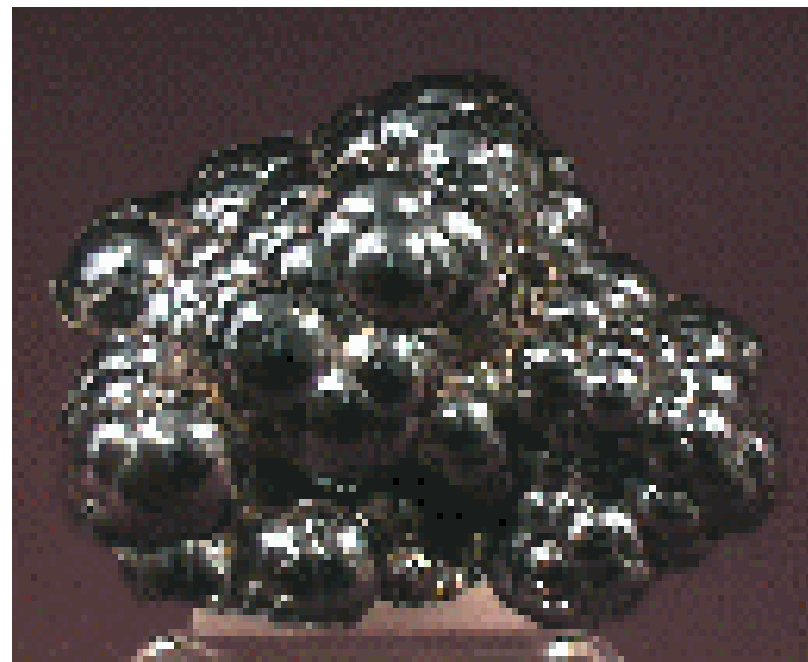
# Pojavni oblici mineralnih agregata

13. masivan (kompaktan agregat bez vidljivih kristalnih ploha)
14. geoda – šupljina u stijeni obložena mineralnom tvari, no nije u potpunosti ispunjena
15. konkrecija – masa nastala taloženjem materijala oko jezgre









# Ovisnost fizičkih svojstava o kristalografskom smjeru

**SKALARNA SVOJSTVA** – ne ovise o smjeru, npr. gustoća

**VEKTORSKA SVOJSTVA** – veličina promatranog svojstva ovisi o kristalografskom smjeru, npr. kalavost, tvrdoća, brzina širenja svjetlosti kroz mineral, toplinska i električna vodljivost itd.

# Gustoća

$$\rho = m/V \text{ [gcm}^{-3}\text{]}$$

- gustoća ovisi o:
  - a) vrsti atoma od koje je mineral građen
  - b) načinu na koji su atomi međusobno posloženi u strukturi

**SPECIFIČNA TEŽINA** = omjer mase tvari i mase vode  
(t=4°C) jednakog volumena

## Određivanje gustoće:

1. piknometar
2. teške tekućine
3. Bermanova vaga (torzijska vaga)
4. gustoća iz strukture

- kod određivanja gustoće uzorak mora biti:

homogen i čist

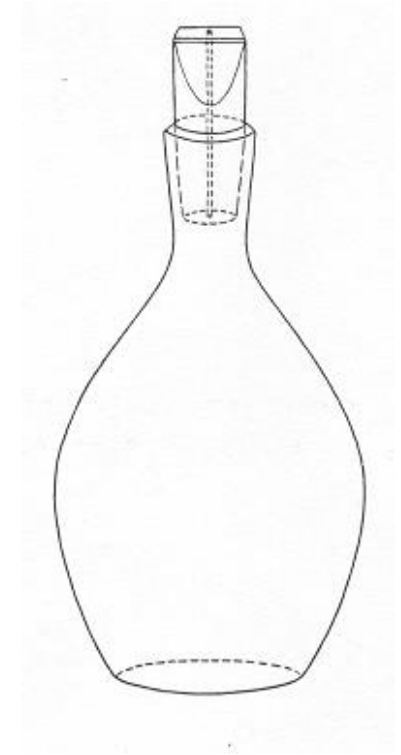
bez pukotina i šupljina

volumena oko  $1 \text{ cm}^3$

# PIKNOMETAR

Važemo:

- suhi piknometar (P)
- piknometar+uzorak (M)
- piknometar+uzorak+voda (S)
- piknometar+voda (W)



$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{(M - P)}{m_v / \rho_{v_t}} = \frac{(M - P)}{[W - (S - (M - P))] / \rho_{v_t}}$$

$$\rho = \frac{(M - P)}{(W - S + M - P)} \cdot \rho_{v_t}$$



## TEŠKE TEKUĆINE

- tekućine s relativno velikom gustoćom
- tri slučaja:

$$\rho_m > \rho_t \text{ mineral tone}$$

$$\rho_m < \rho_t \text{ mineral pluta}$$

$$\rho_m = \rho_t \text{ mineral lebdi}$$

bromomoform  $2,89 \text{ gcm}^{-3}$

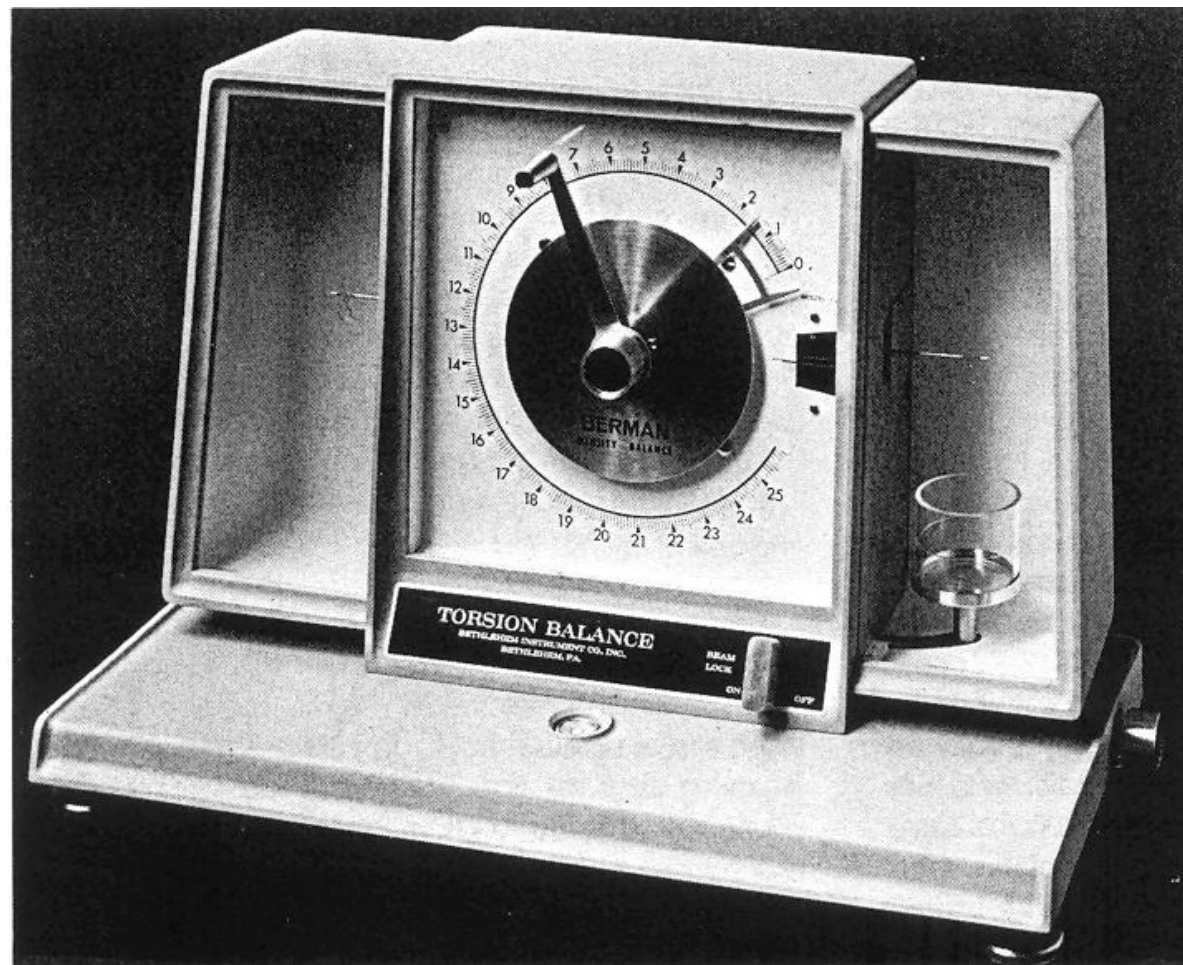
metilen-jodid  $3,33 \text{ gcm}^{-3}$

Clerici-eva otopina  $4,2 \text{ gcm}^{-3}$

- za dobivanje odgovarajuće gustoće, razrjeđuju se otapalima:  
etilni alkohol, benzen, aceton, voda

# BERMANOVA VAGA

- određuje se specifična težina tako da se mjeri masa uzorka u zraku te u vodi



## IZRAČUN GUSTOĆE IZ STRUKTURE (računska/teoretska gustoća)

$$\rho = \frac{M \cdot Z}{V \cdot N}$$

M – molarna masa spoja

Z – broj formulskih jedinki po jediničnoj ćeliji

V – volumen jedinične ćelije

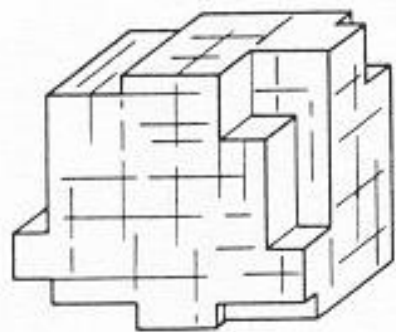
N – Avogadrov broj ( $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ )

# KALAVOST

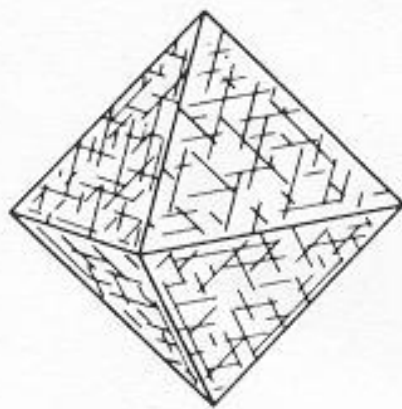
- pucanje minerala duž strogo definiranih kristalografskih smjerova uslijed djelovanja sile
- posljedica je slabijih veza ili postojanja defekata u strukturi duž određenih kristalografskih smjerova
- nemaju svi minerali kalavost
- kalavost se opisuje **KVALITETOM I KRISTALOGRAFSKIM SMJEROM** (paralelno s određenim mrežnim ravninama u strukturi)

Kalavost može biti (**kvaliteta**):

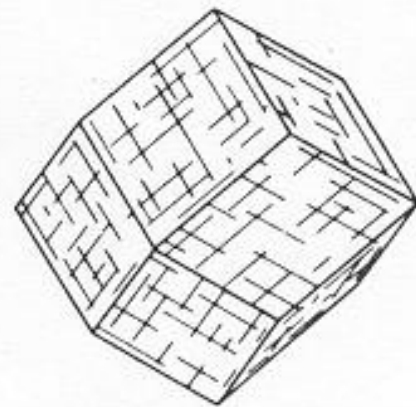
- a) savršena (izvrsna) npr. tinjci {001}, fluorit {111},  
kalcit {1011}
- a) dobra npr. pirokseni {110}
- b) zamjetna npr. aragonit {010}
- c) nesavršena (slaba) npr. cirkon {010}



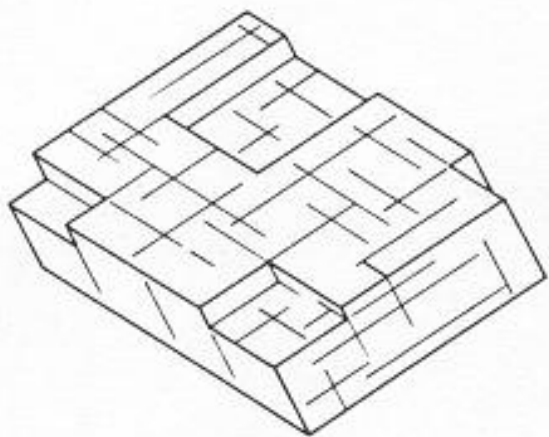
(a)



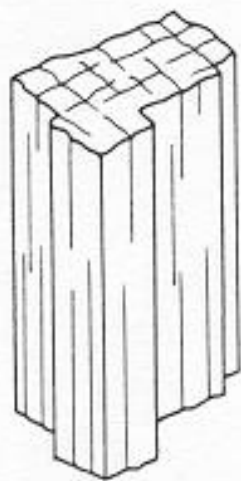
(b)



(c)



(d)

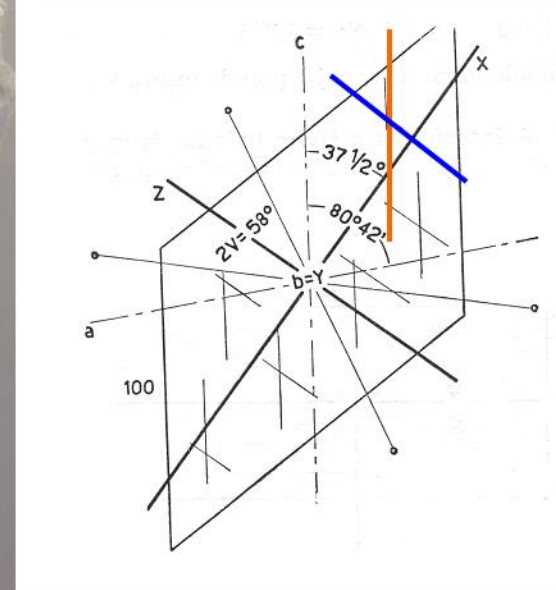
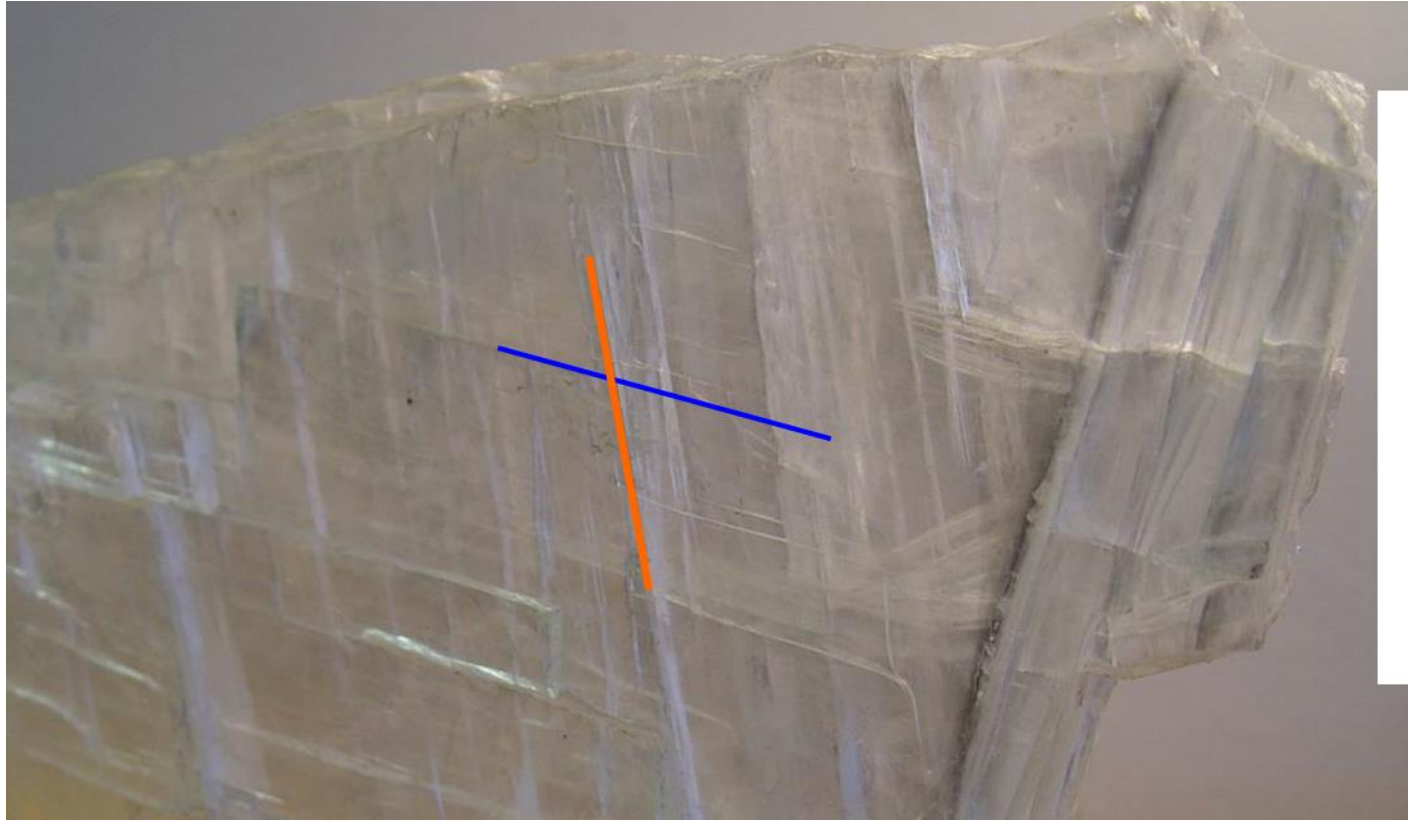


(e)



(f)

Primjer kalavosti – gips: kalavost po kalavost po  
 $\{010\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{\bar{1}11\}$



# LOM

- pucanje minerala duž slučajnih, nekristalografskih, smjerova

Može biti:

- a) školjkast npr. opal, vulkansko staklo
- b) oštar
- c) nepravilan



# LUČENJE

- pucanje minerala duž ravnina strukturnih slabosti = pucanje duž kristalografskih smjerova
- uzrok: tlak, sraslaci, eksolucije
- slično je kalavosti, no postoje razlike:
  1. ne javlja se na svim uzorcima pojedinog minerala za kojeg je karakteristično, već samo kod onih koji su npr. došli pod utjecaj tlaka

## 2. postoji ograničeni broj ploha lučenja

Primjeri:

magnetit {111}

pirokseni {001}

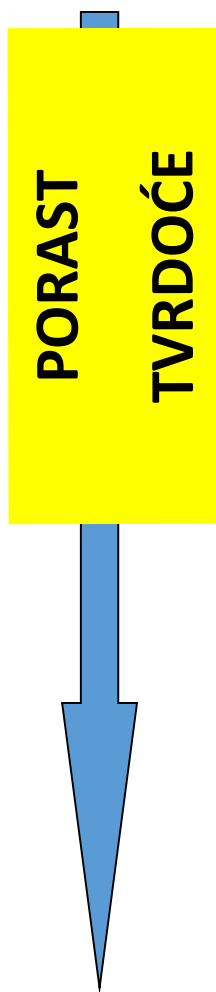
korund {1011}

# TVRDOĆA

- otpor koji glatka površina minerala pruža pri grebanju
- stupanj tvrdoće određuje se promatrajući s kojom lakoćom (ili težinom) pojedini mineral grebe neki drugi mineral, odnosno ga se samog može zagrebat
- F. Mohs (1824.) – odabrao je niz od 10 čestih minerala, pomoću kojih se usporedbom može odrediti **relativna** tvrdoća pojedinog minerala

# Mohsova skala tvrdoće

1. talk
2. gips
3. kalcit
4. fluorit
5. apatit
6. ortoklas
7. kvarc
8. topaz
9. korund
10. dijamant



RELATIVNA TVRDOĆA pojedinog minerala određuje se provjerom koji mineral iz Mohsove skale može, a koji ga ne može zagrebat.

- uzorak mora biti **SVJEŽ!**

nokat ~2

bakreni novčić ~3

džepni nožić ~5

staklo ~ 5 1/2

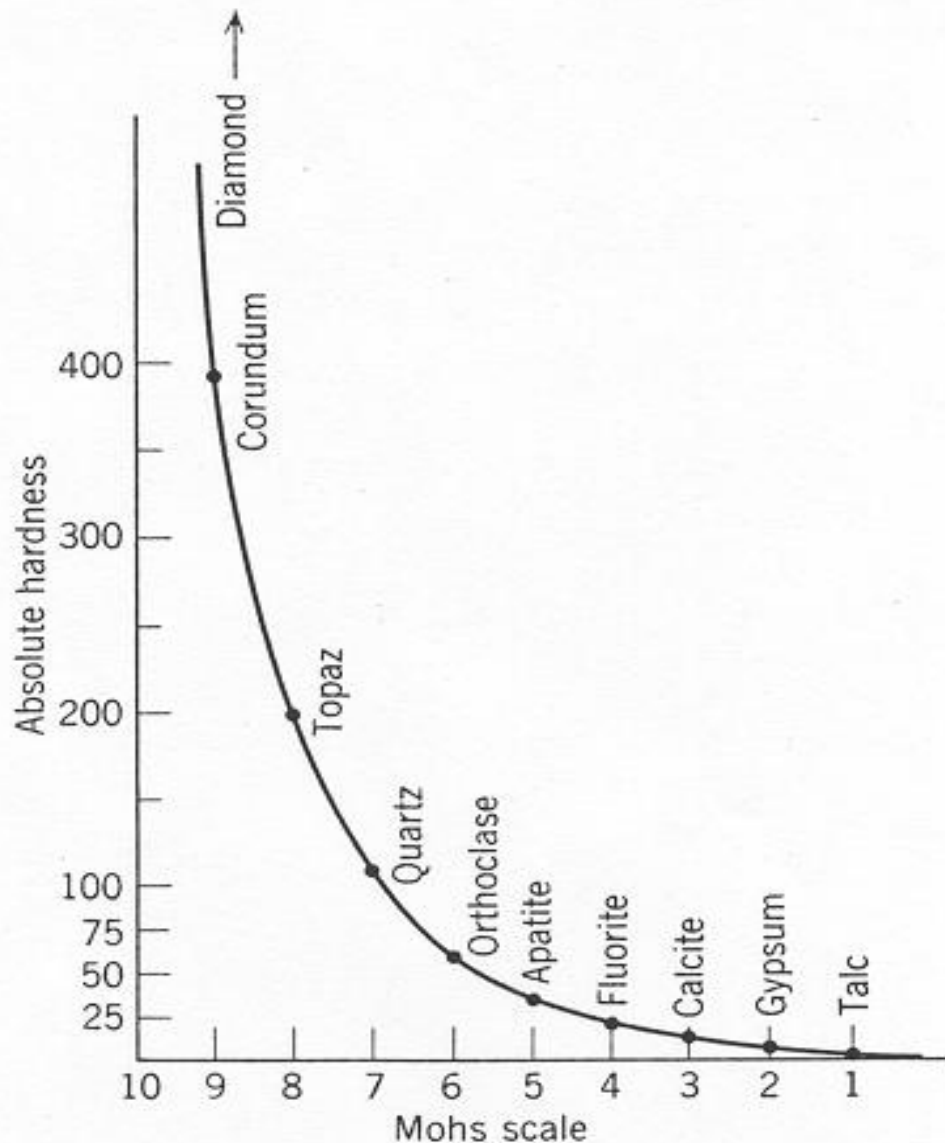
## Metode određivanja (apsolutne) tvrdoće:

1. Metoda paranja (grebanja)

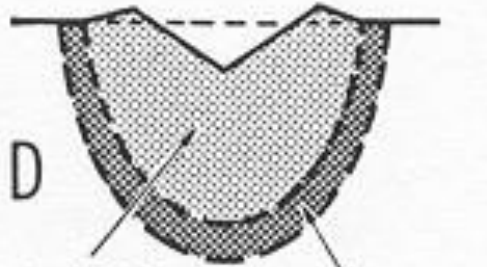
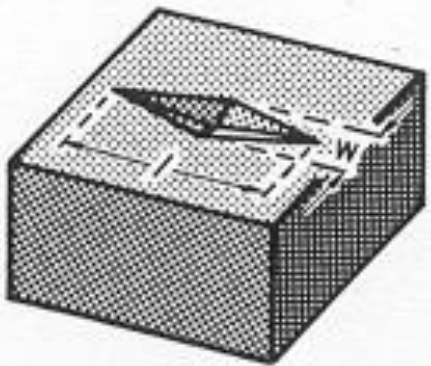
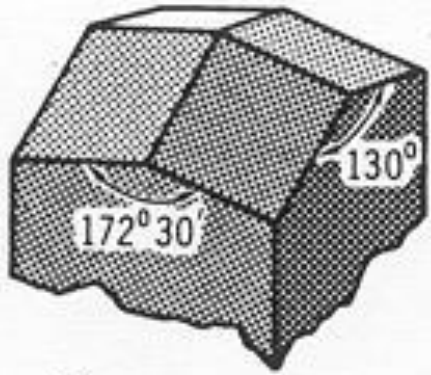
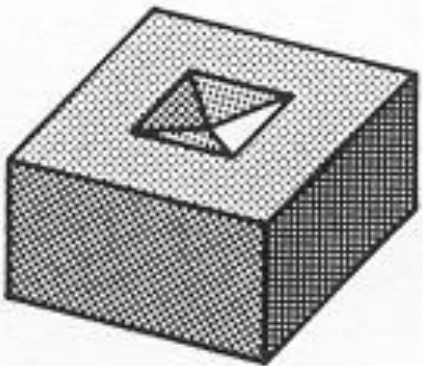
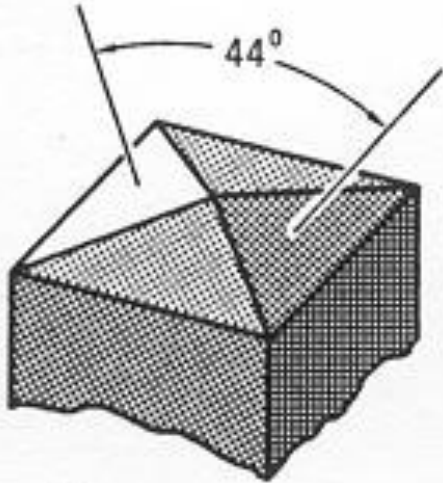
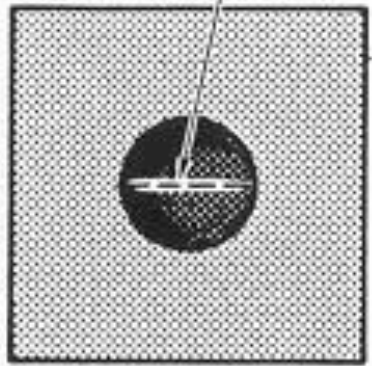
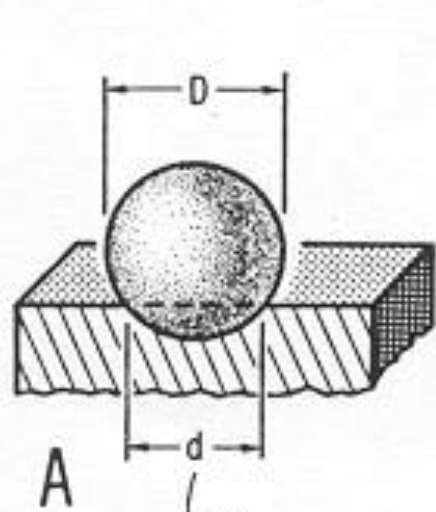
2. Metode utiskivanja

npr. po Vickers-u = utiskuje se dijamantna kvadratna prizma (mjeri se veličina utiska i primijenjeno opterećenje)

3. Metoda brušenja (Rusiwalova metoda)



# Metode utiskivanja



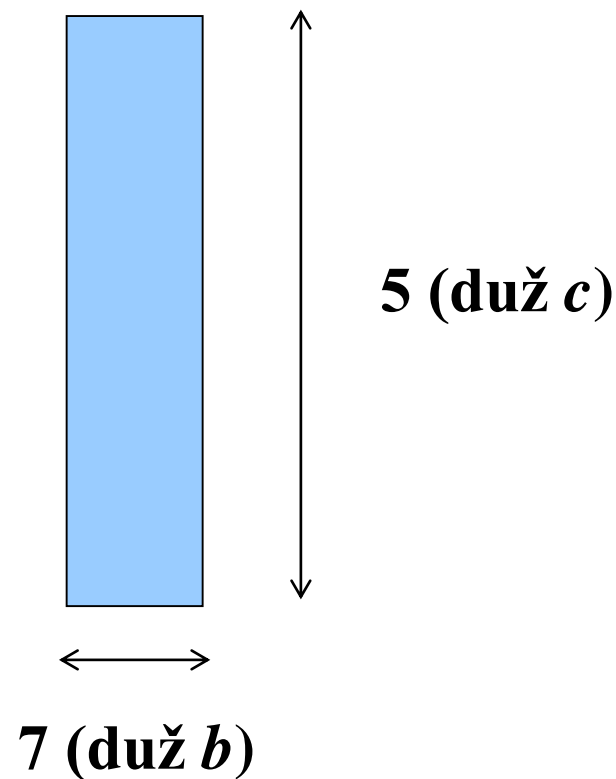
PLASTIC DEFORMATION

ELASTIC DEFORMATION



- tvrdoća je vektorsko svojstvo
- kristali mogu pokazivati različiti stupanj tvrdoće ovisno o smjeru
- npr. kianit  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$

Kianit - tvrdoća prema Mohsu



# SJAJ

- Izgled površine minerala u reflektiranom svjetlu

SJAJ može biti:

1. **metalni** (zlato, bakar, galenit, pirit) – opáki minerali, (neprozirni u prerezima debljine 0,02-0,03 mm) kod minerala s metalnom vezom zbog male energije potrebne se prevođenje elektrona u pobuđeno stanje svjetlost je izrazito apsorbirana, ali se veći dio oslobađa u vidu vidljivog svjetla → visoki sjaj
2. **nemetalni** – imaju ga općenito svjetlije obojeni i prozirni minerali



## **Nemetalni sjaj može biti:**

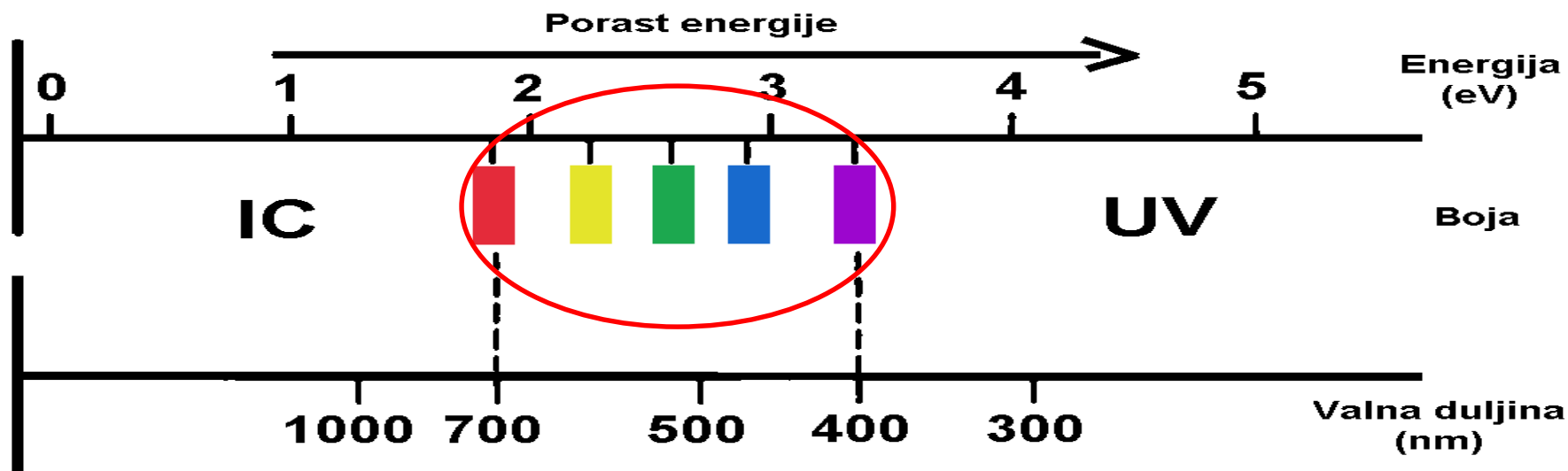
- a) staklast (kvarc, turmalin)
- b) voštan (sfalerit, sumpor)
- c) biserast, sedefast (talk, obično na plohamu kalavosti)
- d) mastan (masivan kvarc)
- e) svilenkast (serpentin (križotil), vlaknasti gips)
- f) zemljast
- g) dijamantan (dijamant, anglezit)

# BOJA

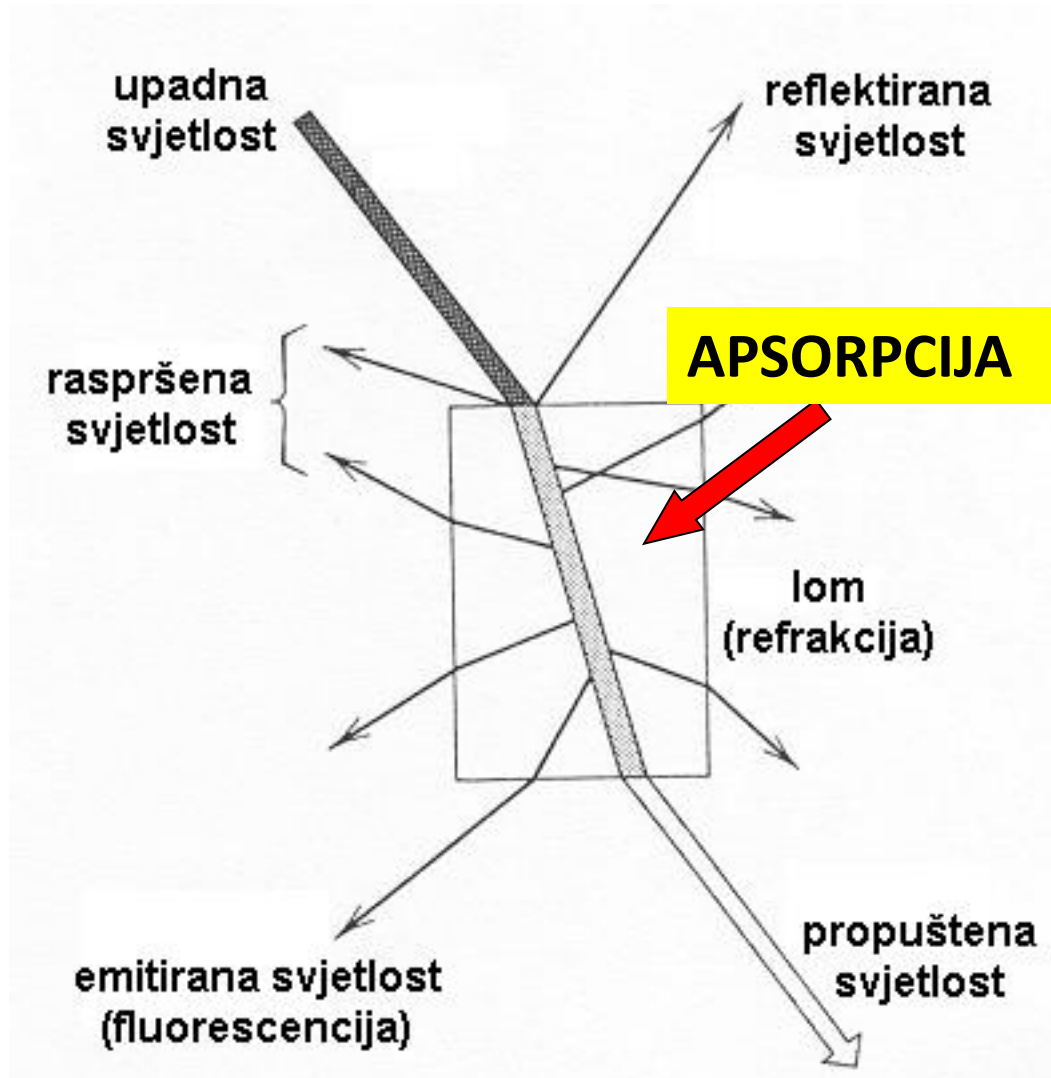
- odgovor oka na vidljivu svjetlost (350-750 nm)

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

Spektar vidljive svjetlosti



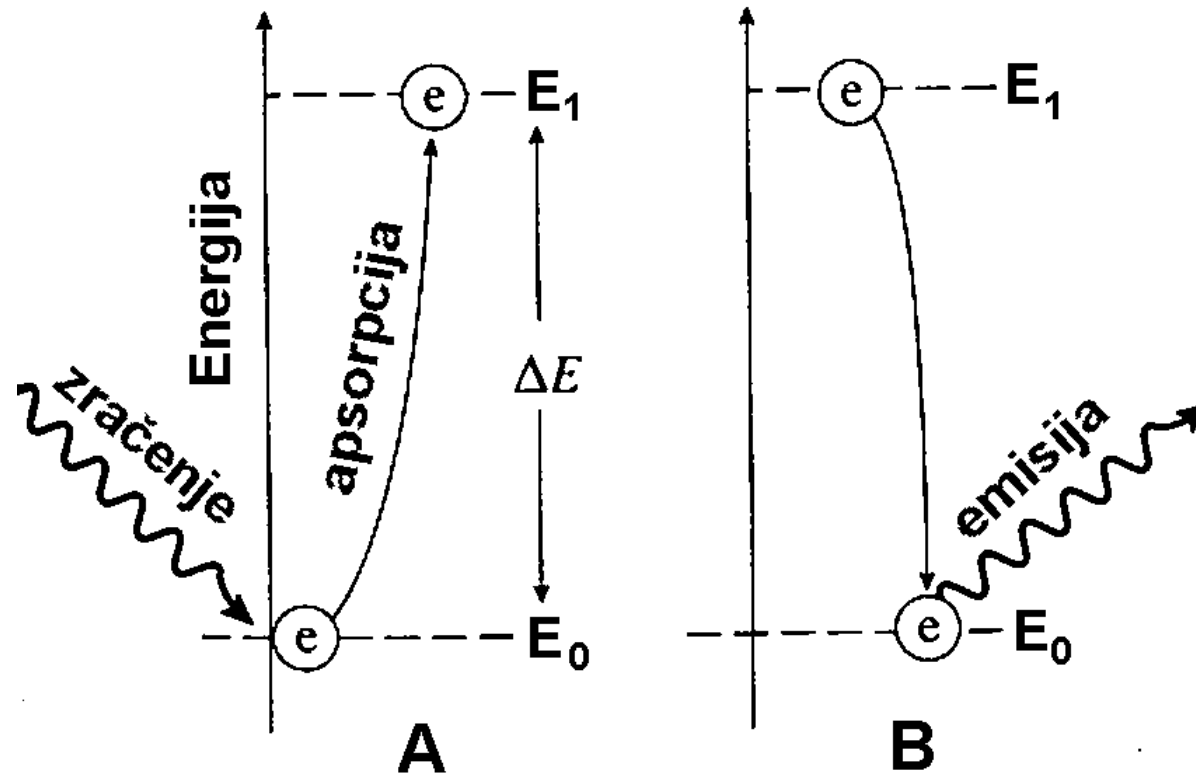
# Porijeklo boje u mineralima



- ako nema apsorpcije → mineral bezbojan
- ako su pojedine valne duljine apsorbirane → mineral obojen
- boja koju vidimo = kombinacija neapsorbiranih valnih duljina

# Zbog čega dolazi do apsorpcije?

- apsorpcija vidljive svjetlosti posljedica je prijelaza elektrona između različitih energetska stanja



# Mehanizmi nastanka boje

1. Prijelaz kristalnog polja
2. Prijenos naboja
3. Centri boje

# Prijelaz kristalnog polja

- uzrok boje leži u prisutnosti prijelaznih elemenata u strukturi (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu)
- ti elementi mogu dolaziti u mineralima kao glavni elementi ili se javljati u tragovima (KROMATOFORI)
  - boja vezana za prisutnost elementa u strukturi minerala koji je njegova glavna komponenta - IDIOKROMATSKA boja

- boja vezana za prisutnost elementa koji je u mineralu zastupljen u niskim koncentracijama (u tragovima, “nečistoće”) - ALOKROMATSKA boja
- prijelazni elementi imaju nepopunjene 3d orbitale, odnosno nesparene elektrone → ti elektroni su podložni prijelazima u viša energetska stanja

# Primjer: Fe

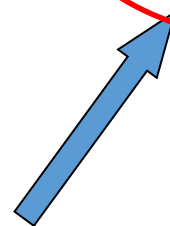
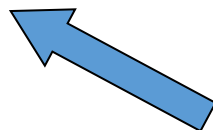
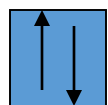
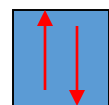
${}_{26}\text{Fe}$

$1s^2$

$2s^2 2p^6$

$3s^2 3p^6 3d^6$

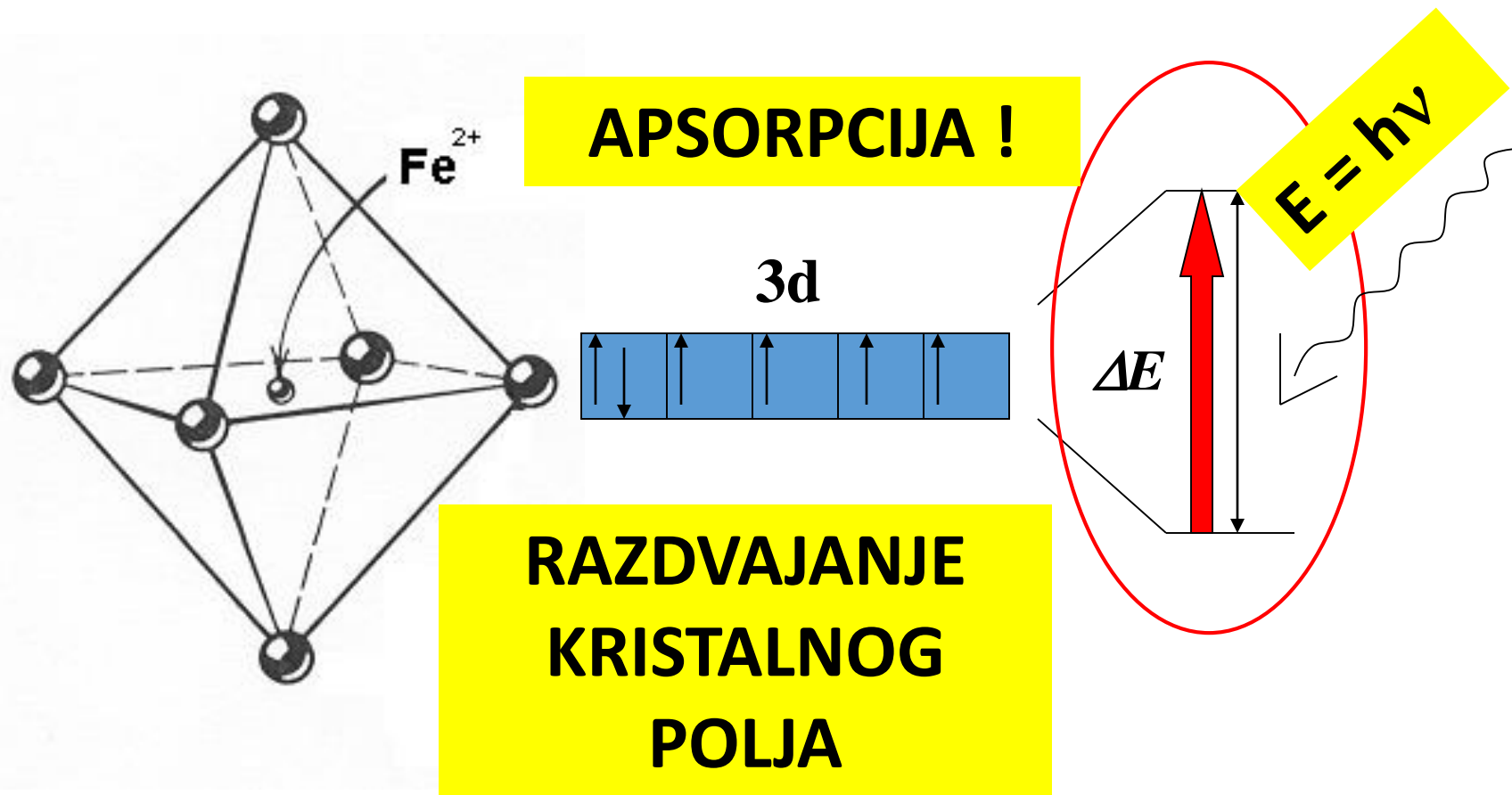
$4s^2$



**Fe<sup>2+</sup> ili Fe<sup>3+</sup>**



- $\text{Fe}^{2+}$  kao slobodni ion = d-orbitale jednakih energija
- u strukturi minerala = okružen anionima (koordinacijski poliedar)



Što utječe na razdvajanje kristalnog polja?

1. prisutnost određenog prijelaznog elementa
2. njegovo oksidacijsko stanje
3. koordinacija

## *Primjeri:*

1. Olivin  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

$\text{Fe}^{2+}$  (C.N.=6) (zelena)

2. Korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$

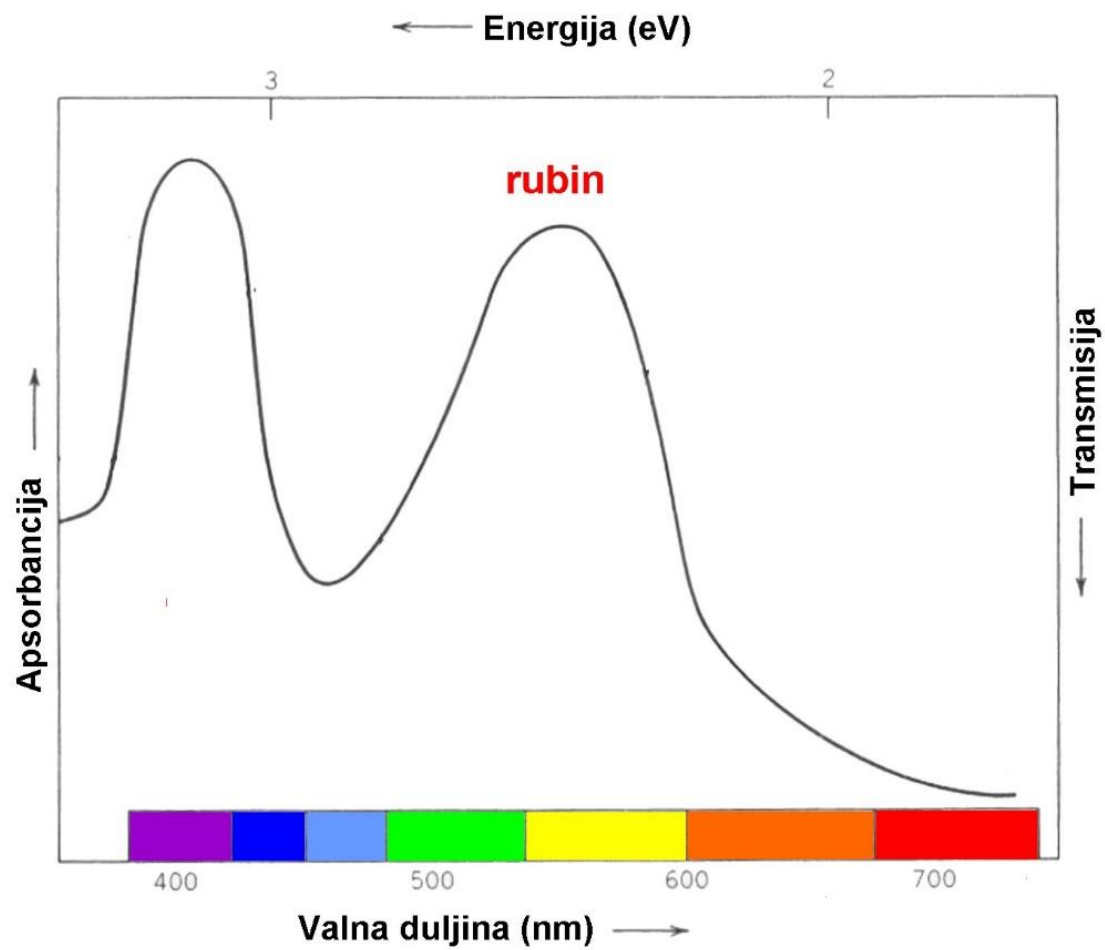
$\text{Cr}^{3+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$  (C.N. = 6) (crvena)

3. Beril  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$

$\text{Cr}^{3+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$  (C.N.=6) (zelena)

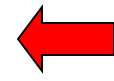
4. Turmalin  $\text{Na}(\text{Li,Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$

$\text{Mn}^{3+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$  (C.N.=6) (ljubičasta)



## KORUND (rubin)

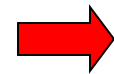




BERIL (smaragd)

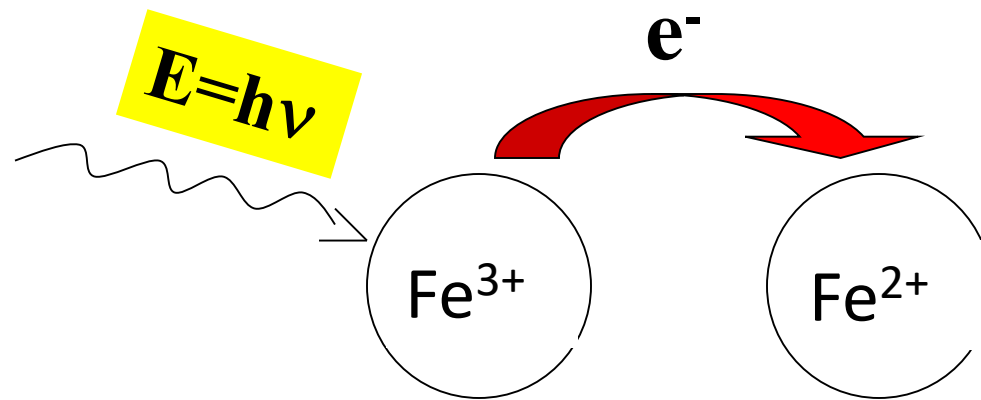


TURMALIN (rubelit)



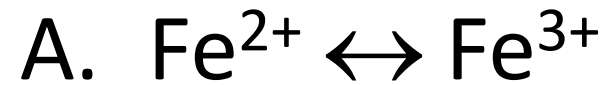
# Prijenos naboja

- valentni elektroni prelaze između iona promjenjivih naboja koji su smješteni na susjednim položajima u strukturi (dijeljenje orbitala)

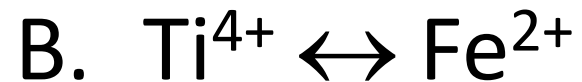


**energija prijelaza odgovara valnim duljinama vidljive svjetlosti**

## PRIMJERI:

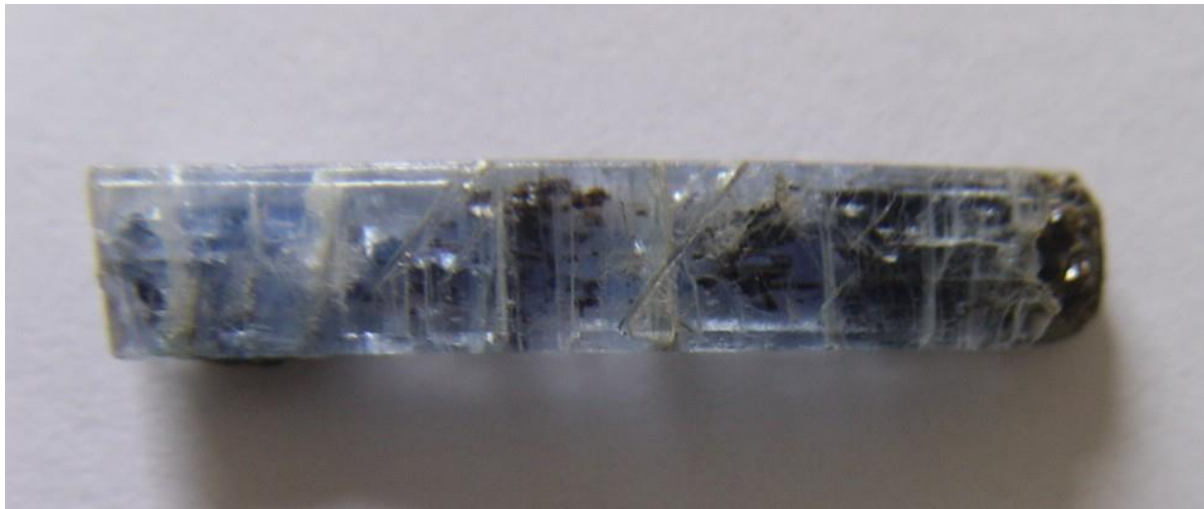


beril  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$  (akvamarin)



kianit  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$

korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (safir)

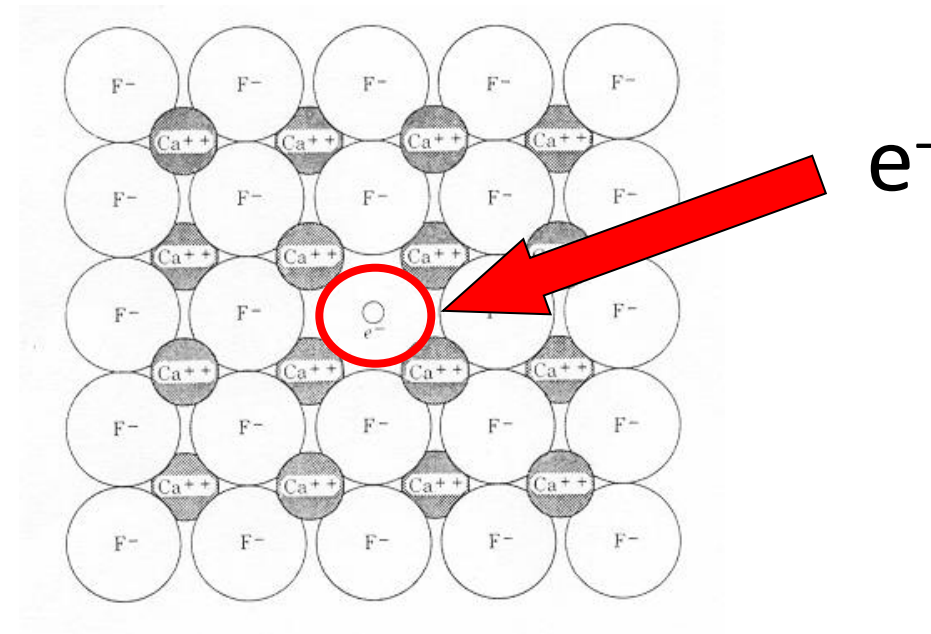




# Centri boje

- strukturni defekti = izostanak iona na strukturnom položaju ili pojava “nečistoća” u intersticijama
- na tim defektnim položajima može se naći “zarobljen” nespareni elektron

fluorit  $\text{CaF}_2$

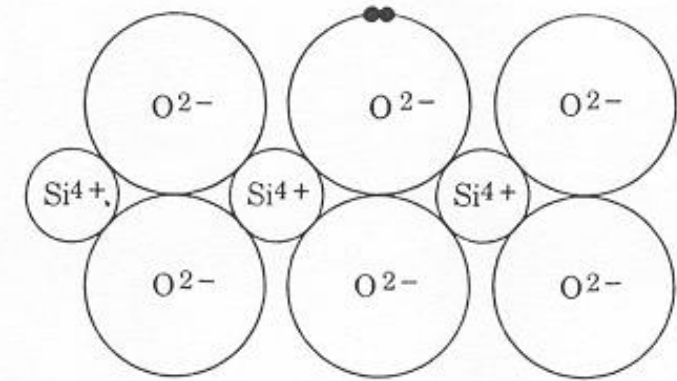




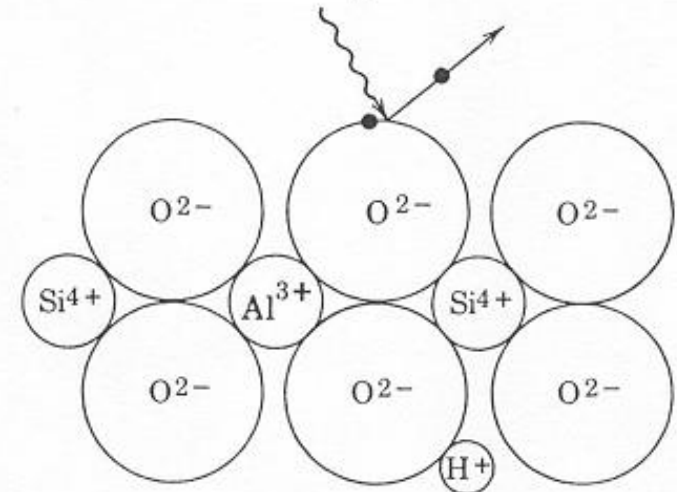
# kvarc $\text{SiO}_2$

- jedan elektron izbačen uslijed zračenja
- preostali elektron ima niz pobuđenih stanja

→ ČAĐAVAC



zračenje





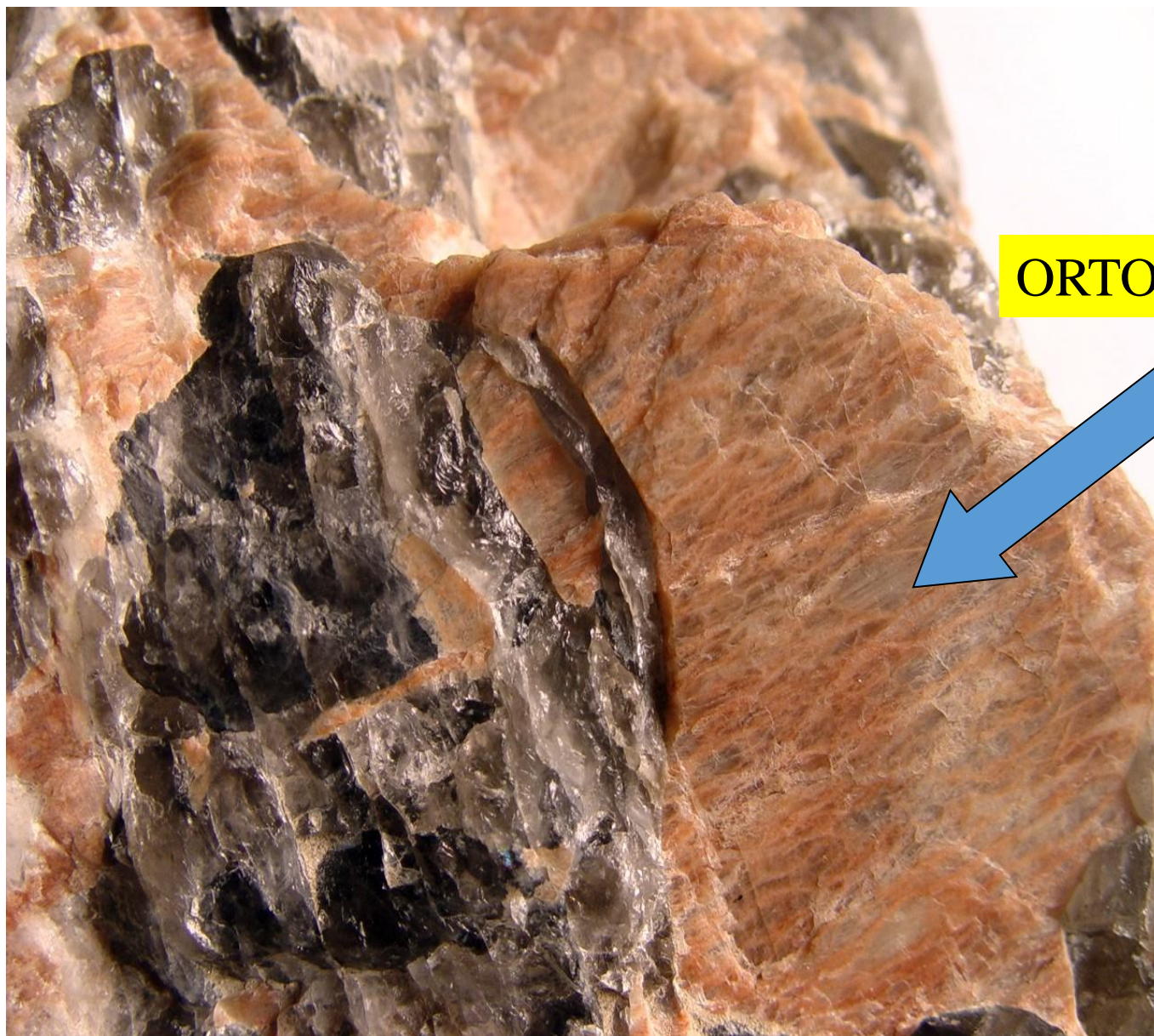
# Obojenje uslijed mehaničkih primjesa

- mehaničke primjese (“nečistoće”) u inače bezbojnim mineralima

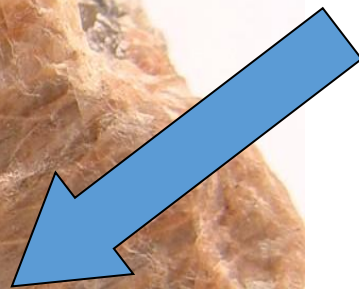
npr. hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  daje crvenu boju nekim feldspatima i kalcitu

klorit boji kvarc zeleno





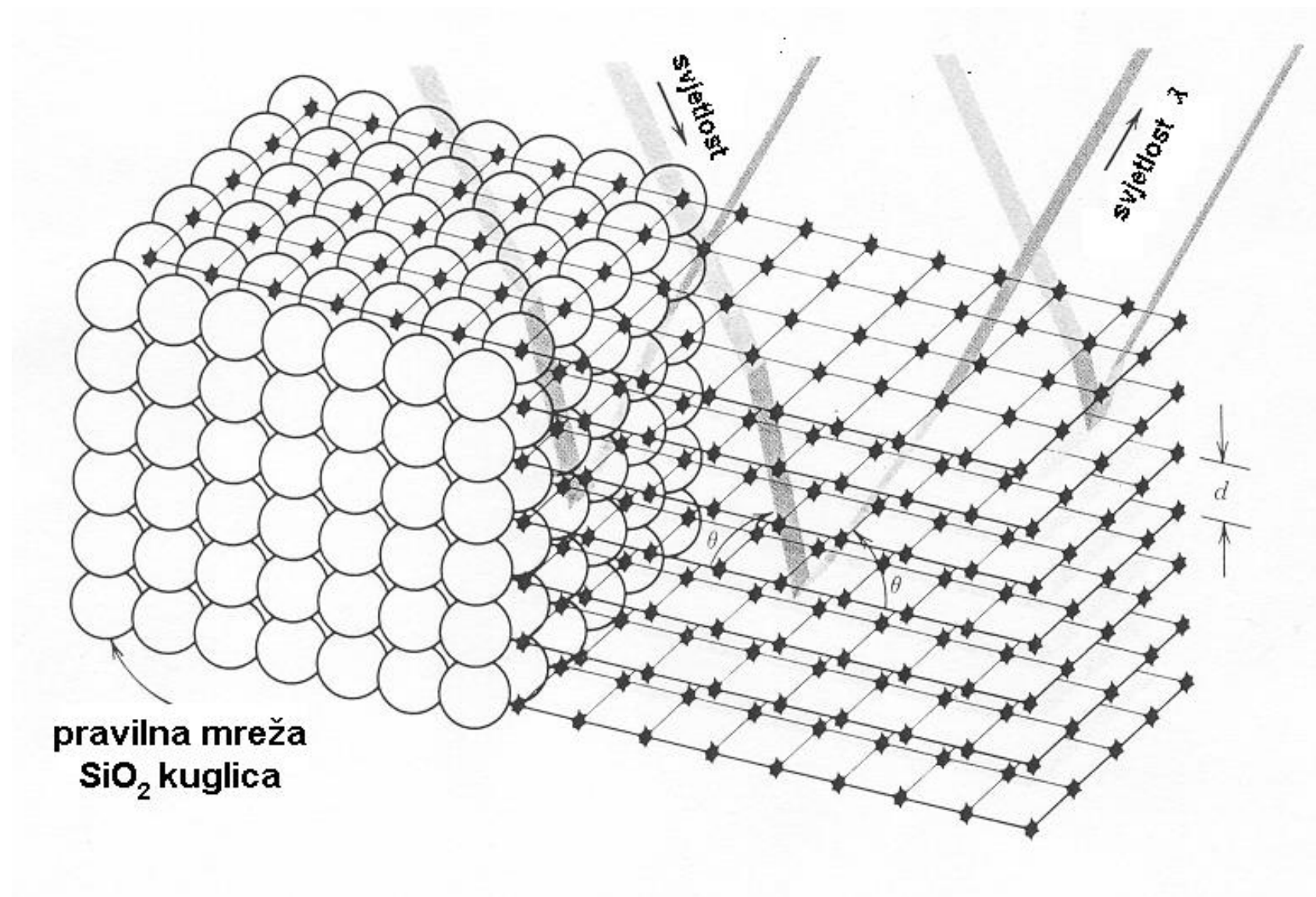
ORTOKLAS



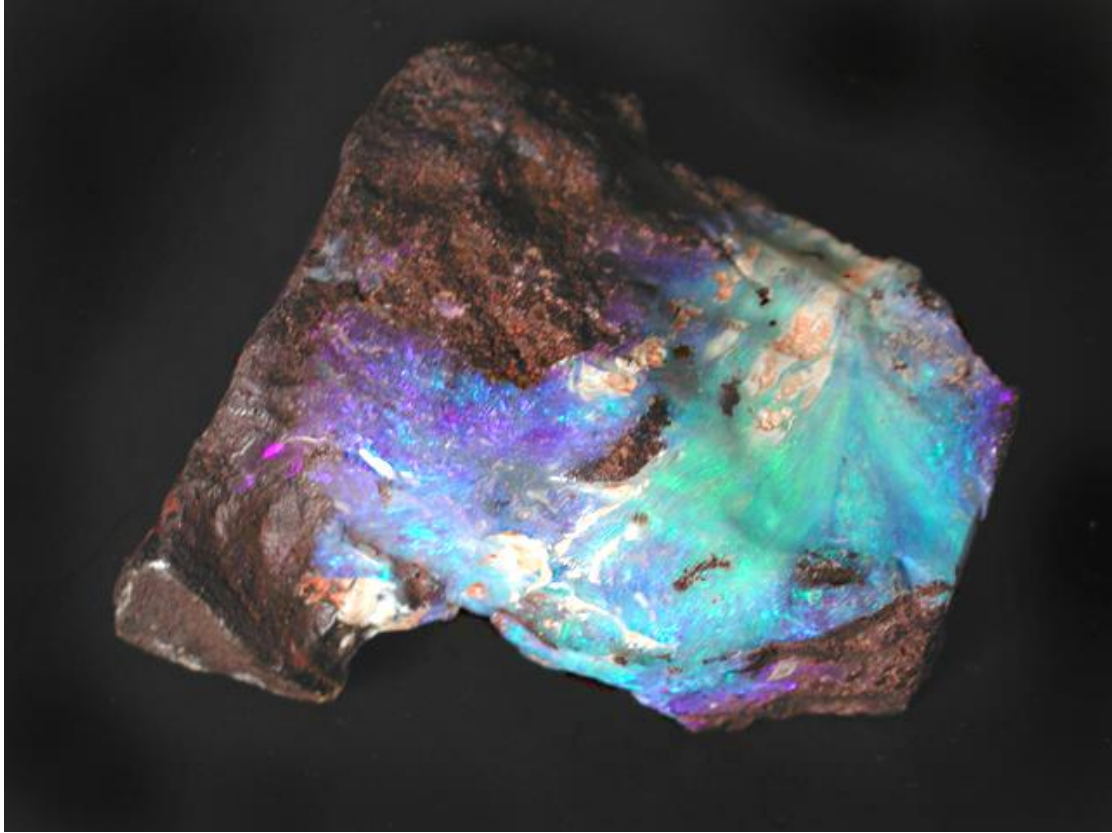
# Igre boja

- zasnivaju se na pojavi raspršenja, difrakcije i interferencije svjetlosti
- **raspršenje** – događa se na paralelno poredanim inkluzijama, paralelnim vlaknima i sl.
- **difrakcija** – na periodički razmaknutim lomovima, sraslacima, ploham kalavosti, kuglicama, eksolucijskim lamelama (pojava različitih unutarnjih iridescencija)
- **interferencija** – na tankim filmovima fluida ili krutina (halkopirit, pirit, bornit)

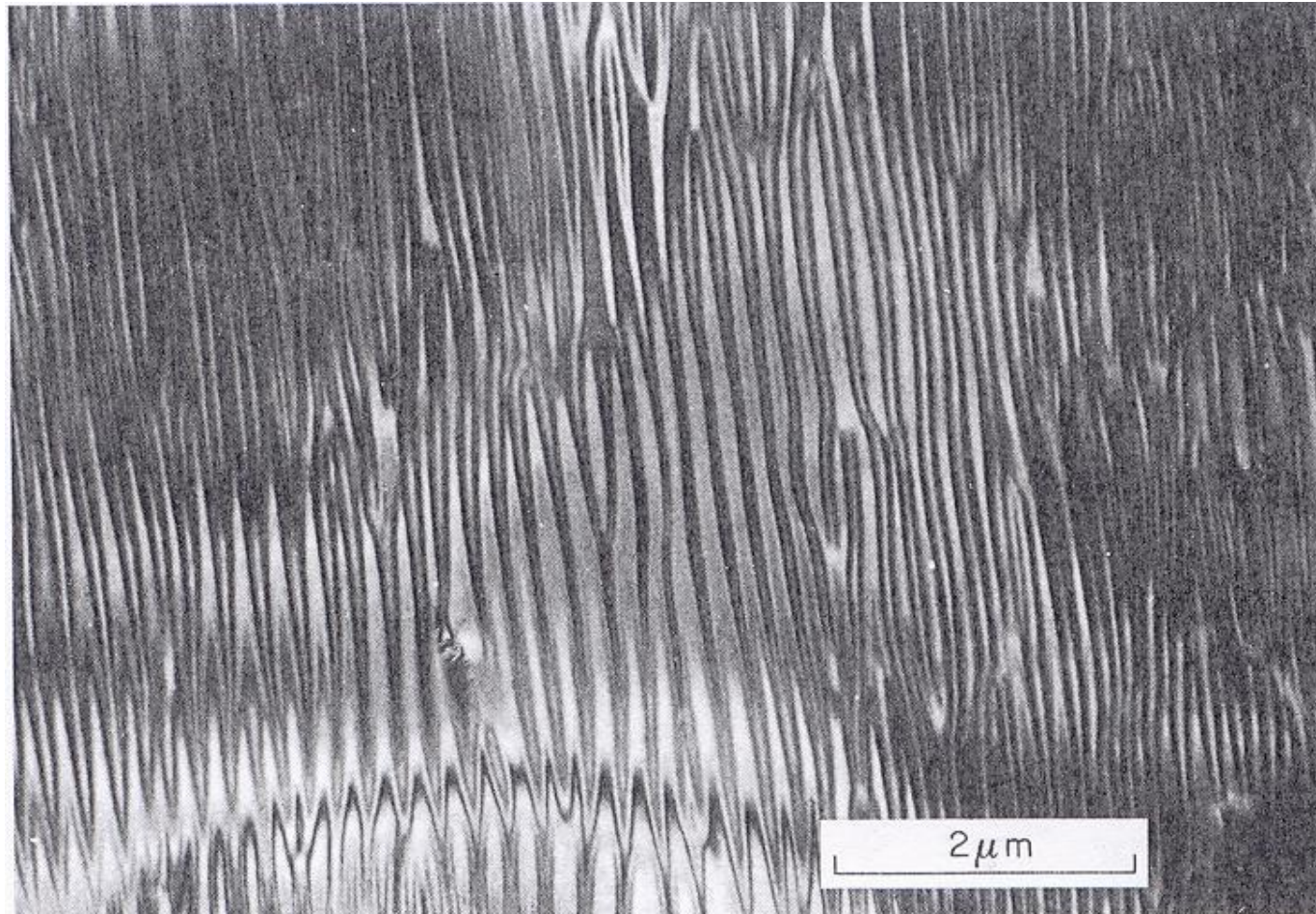
# Opal $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$







**Labradorescencija** – raspršenje na eksolucijskim lamelama kod labradora ( $An_{50-70}$ ) pri čemu se javljaju boje od plave do zelene (žute)







# INTERFERENCIJA NA TANKIM FILMOVIMA

**BORNIT**



# CRT

- boja praha minerala
- ne mora odgovarati boji minerala
- crt je obično svjetliji od boje minerala
- određuje se grebanjem minerala pomoću porculanske pločice (tvrdoća = 7)