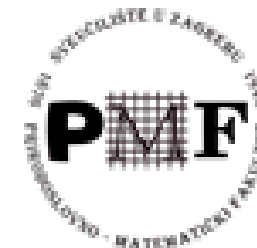




Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek
Mineraloško-petrografski zavod



MINERALNA OPTIKA

(41026)

Prediplomski studij geologije – 2. godina
2+4 (ECTS: 5)

Predavanja: četvrtkom 8-10 sati

Vježbe: utorkom (8-14)

četvrtkom (10-16)

Program

1. Karakter svjetlosti, refleksija i lom svjetlosti, indeks loma, podjela minerala prema optičkim svojstvima, optička indikatrisa, polarizacija svjetlosti i polarizacijski mikroskop, mikroskopski preparati
2. Promatranje minerala u ortoskopskim uvjetima bez uključenog analizatora

3. Promatranje minerala u ortoskopskim uvjetima s uključenim analizatorom
4. Promatranje minerala u konoskopskim uvjetima
5. Optički izotropni minerali: spineli, granati, leucit
6. Optički jednoosni anizotropni minerali: kvarc, kalcit, turmalin
7. Olivini i serpentini
8. Pirokseni

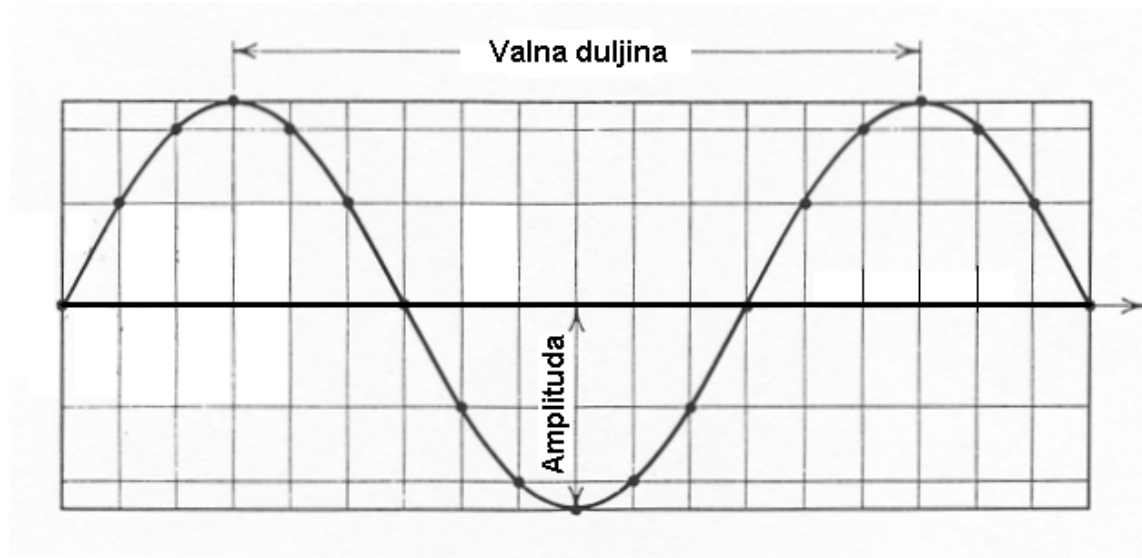
9. Amfiboli
10. Tinjci
11. Kalijski feldspati
12. Plagioklasi
13. Epidot, kloriti
14. Andaluzit, silimanit, kianit
15. Gips i anhidrit

Literatura

1. Barić, Lj. & Tajder, M (1967): Mikrofiziografija petrogenih minerala, Školska knjiga, Zagreb, p. 235
2. Međimorec, S. (1998): Kristalna optika, interna skripta, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
3. Pichler, H. & Schmitt-Riegraf, C. (1987): Gesteinsbildende Minerale im Duennschliff, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, p. 230 (engl. Rock-forming Minerals in Thin Section, Champman & Hall, 1997)
4. geol.pmf.hr/~ntomasic

Priroda svjetlosti

- valno-čestični (korpuskularni) karakter
- za optička svojstva minerala bitan je valni karakter svjetlosti
- svjetlost se širi pravolinijski, vibrirajući okomito na smjer širenja (transverzalni val)
- transverzalne vibracije kod svjetlosti događaju se u svim smjerovima okomito na smjer širenja



Svojstva vala:

valna duljina (λ) = udaljenost između dva dola ili brijega (350-750 nm)

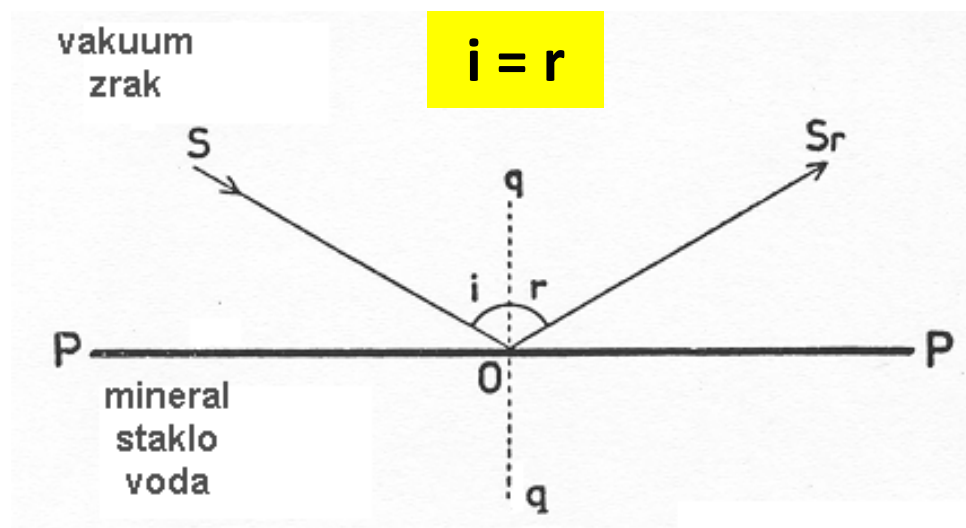
amplituda = maksimalna udaljenost (elongacija) od ravnotežnog položja

frekvencija (ν) = broj valova koji u sekundi prolazi kroz promatranu točku

brzina (c) = $\lambda \nu$ (300 000 km/s u vakuumu)

Refleksija i lom svjetlosti

REFLEKSIJA

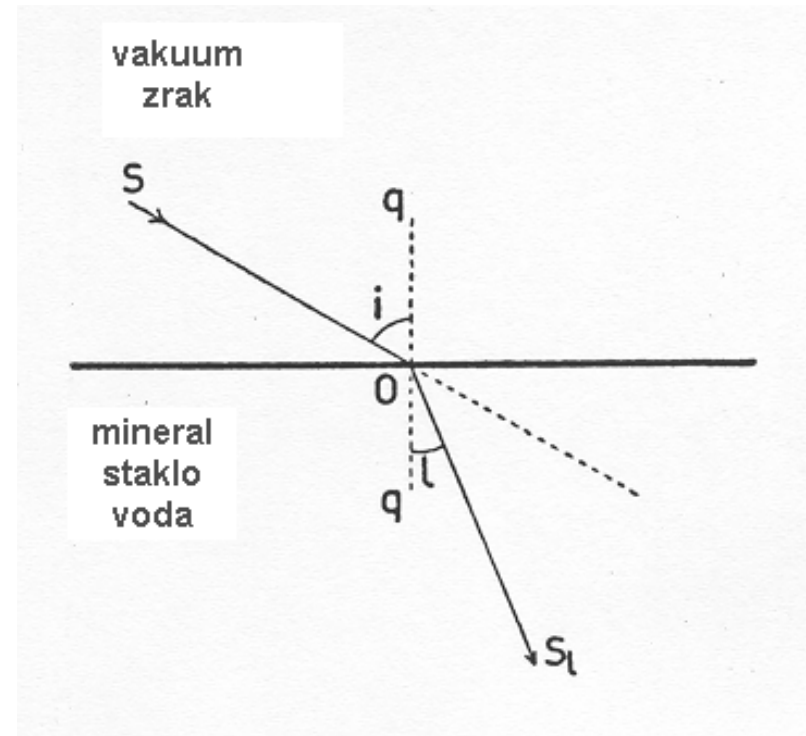


Zakon refleksije:

1. kut upadne zrake jednak kutu reflektirane zrake
2. upadna i reflektirana zraka nalaze se u istoj ravnini

LOM (REFRAKCIJA)

- pri prelasku iz jednog u drugo sredstvo mijenja se brzina svjetlosti, te zraka više ne slijedi pravac upadne svjetlosti, već se lomi



1. iz rjeđeg u gušće sredstvo ($c_1 > c_2$) zraka se lomi k okomici na ravninu upada
2. iz gušćeg u rjeđe sredstvo ($c_1 < c_2$) zraka se lomi od okomice na ravninu upada

Indeks loma

- brzina svjetlosti različita je u različitim materijalima, pa se i svjetlost u njima različito lomi (različiti kutovi)

manja brzina = *optički gušće sredstvo*

veća brzina = *optički rjeđe sredstvo*

- to svojstvo materijala naziva se **indeks loma (n)**

$$n = c_{\text{zrak}} / c_{\text{materijal}}$$

APSOLUTNI INDEKS LOMA

Snell-ov zakon: $n = \sin i / \sin r$

- apsolutni indeks loma = svjetlost prelazi iz vakuuma (ili zraka) u promatrano sredstvo
- relativni indeks loma = svjetlost prelazi iz jednog sredstva u drugo, a niti jedno nije vakuum ili zrak

$$\sin i / \sin r = n_2 / n_1 = n_{\text{rel}}$$

PODJELA MINERALA PREMA OPTIČKIM SVOJSTVIMA

Mogu biti:

1. optički **izotropni** = svjetlost se u njima u svim smjerovima širi jednakom brzinom, te imaju jedan indeks loma
(plinovi, tekućine, kubični materijali)
2. optički **anizotropni** = brzina ovisi o smjeru širenja, te takvi kristali imaju više indeksa loma (svi minerali osim kubičnih)

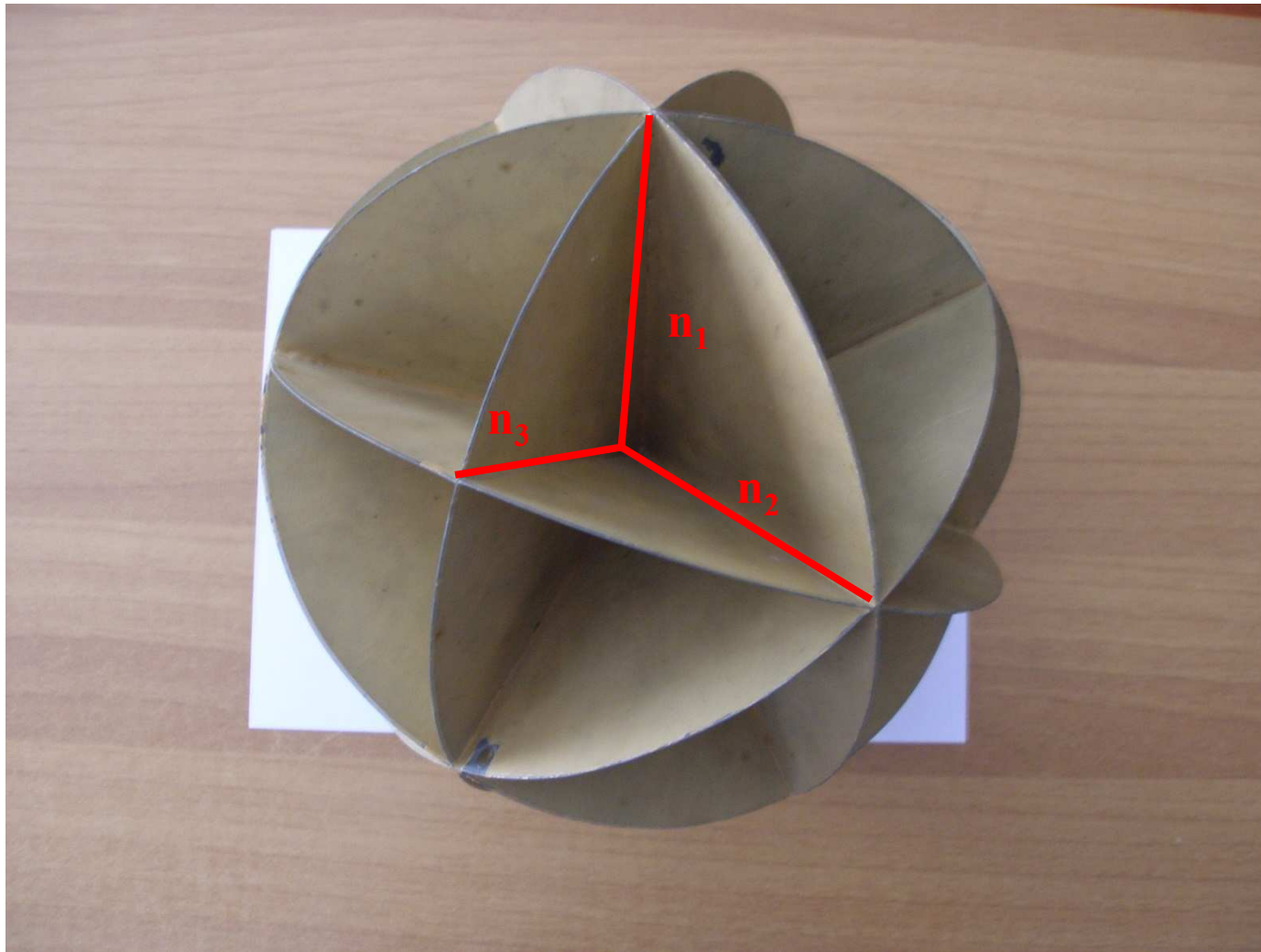
- pri ulasku svjetlosti u anizotropni mineral, svjetlost se lomi na dvije polarizirane zrake koje vibriraju u međusobno okomitim vibracijskim ravninama = ta pojava se naziva **DVOLOM**
- postoje dvije vrste anizotropnih minerala:
 1. **jednoosni** – imaju jedan smjer duž kojih nema dvoloma (jedna optička os)- to su tetragonski i heksagonski minerali
 2. **dvoosni** – imaju dva smjera duž kojih nema dvoloma (dvije optičke osi) – to su triklinski, monoklinski i rompski minerali

OPTIČKA INDIKATRISA

- geometrijsko tijelo iz čijeg se središta u svim smjerovima nanosi pripadajuća vrijednost indeksa loma
- koristimo je da bismo si lakše predočili odnos između indeksa loma i pripadajućih vibracijskih smjerova zraka svjetlosti
- to nam pomaže u razumijevanju optičkih svojstava minerala

IZOTROPNI MATERIJALI

- plinovi, tekućine, materijali koji kristaliziraju u kubičnom sustavu
- svjetlost se širi u svim smjerovima istom brzinom, pa je i indeks loma isti za sve smjerove → ti materijali imaju jedan indeks loma
- optička indikatrisa = kugla
- sve zrake vibriraju u kružnom presjeku



$$n_1 = n_2 = n_3 = \dots n_m$$

ANIZOTROPNI MINERALI

1. OPTIČKI JEDNOOSNI

- minerali koji kristaliziraju u **tetragonskom** i **heksagonskom** sustavu
- svjetlost se pri upadu u takve materijale dijeli na dvije zrake:
 1. ORDINARNU
 2. EKSTRAORDINARNU
- tu pojavu nazivamo **DVOLOM**
- dvoloma nema samo u slučaju kada svjetlost upada u mineral duž kristalografske osi c

- taj smjer duž osi c se naziva OPTIČKA OS
- kako postoji samo jedna optička os, takvi materijali se nazivaju jednoosnima
- ako svjetlost upada duž bilo kojeg drugog smjera, doći će do dvoloma
- optička indikatrisa jednoosnih minerala je ROTACIJSKI ELIPSOID, a os c (optička os) je njegova os rotacije

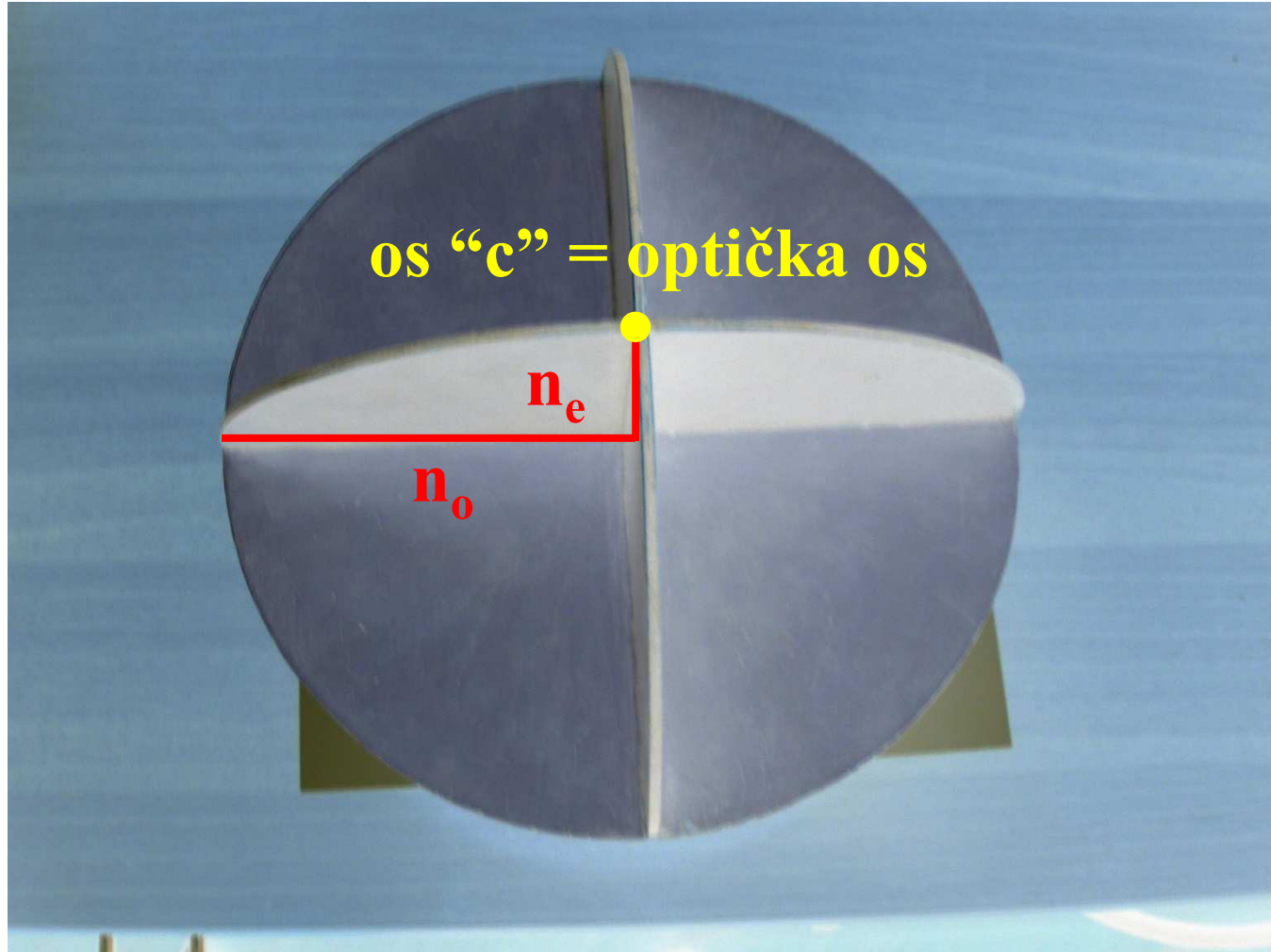
Kako vibriraju ordinarna i ekstraordinarna zraka?

1. ORDINARNA – vibrira u kružnom presjeku rotacijskog elipsoida (\perp o.o.), te se uvijek širi istom brzinom
2. EKSTRAORDINARNA – vibrira okomito na ordinarnu, te u glavnom presjeku indikatriše (sadrži opt. os), a brzina joj ovisi o smjeru upadne zrake

os "c" = optická os

n_e

n_o



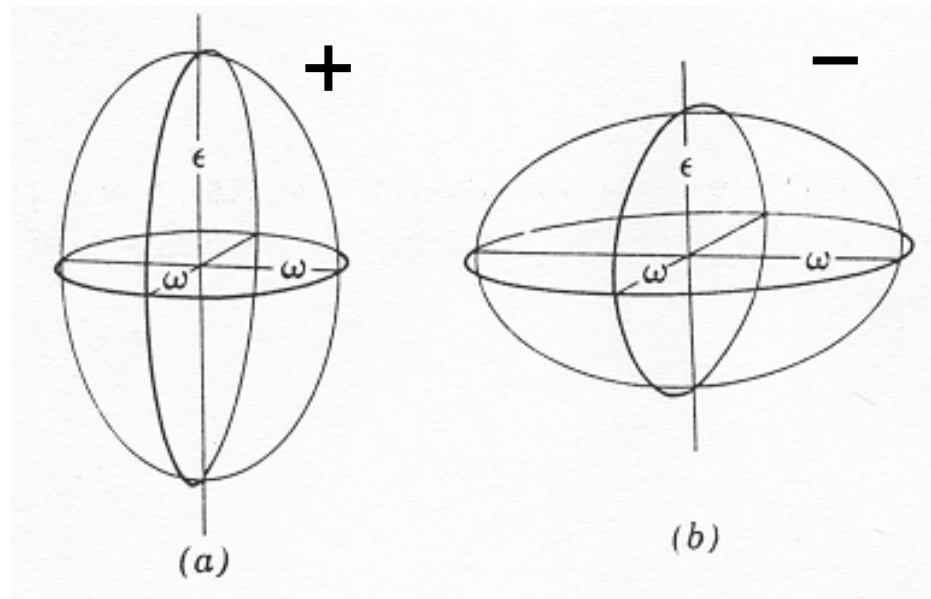
Optički jednoosni materijali se dijele na:

a) **Pozitivne:** $v_o > v_e$ tj. $n_o < n_e$

indikatriza: izduženi rotacijski elipsoid

b) **Negativne:** $v_o < v_e$ tj. $n_o > n_e$

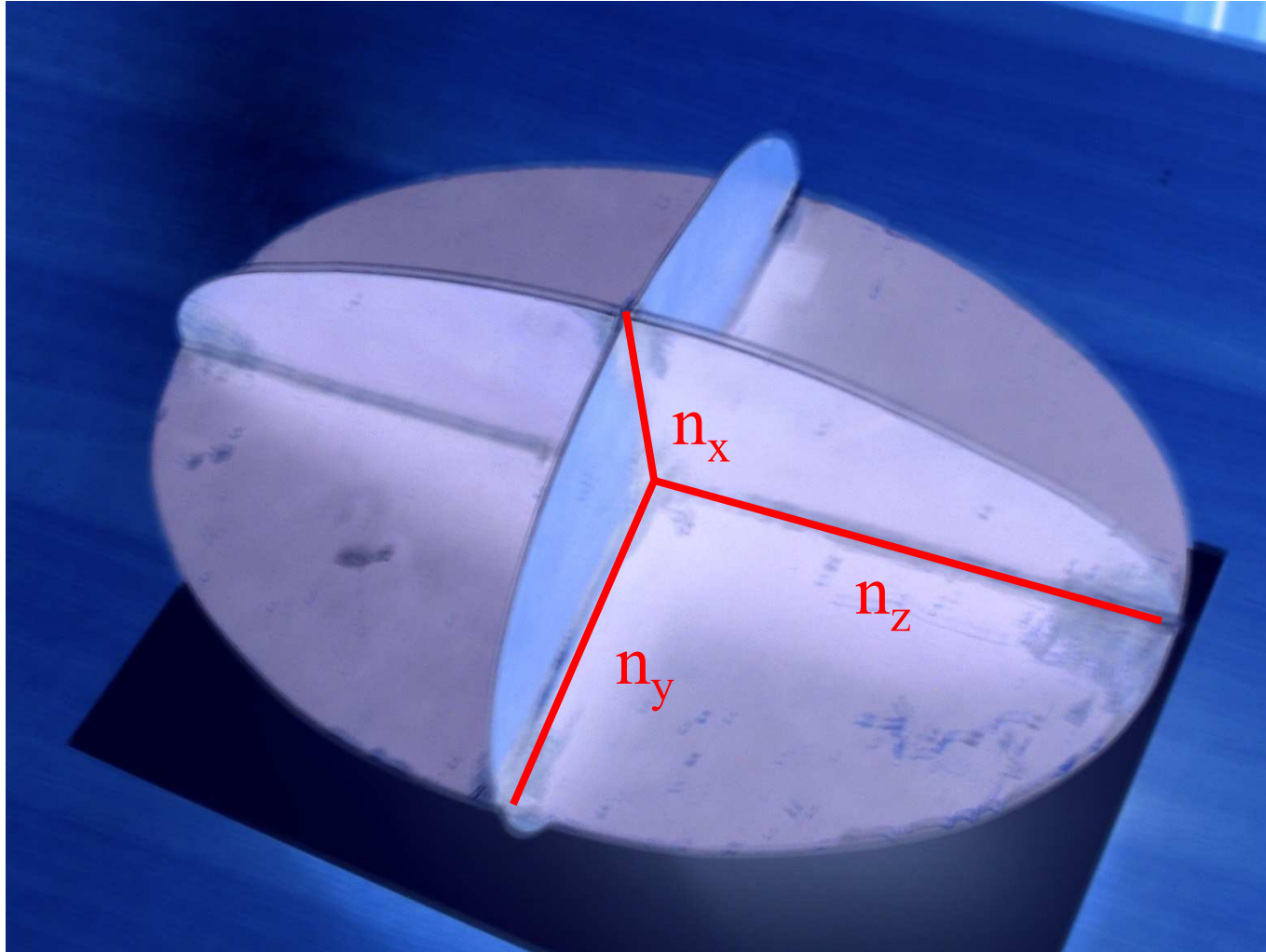
indikatriza: spljošteni rotacijski elipsoid



2. OPTIČKI DVOOSNI MINERALI

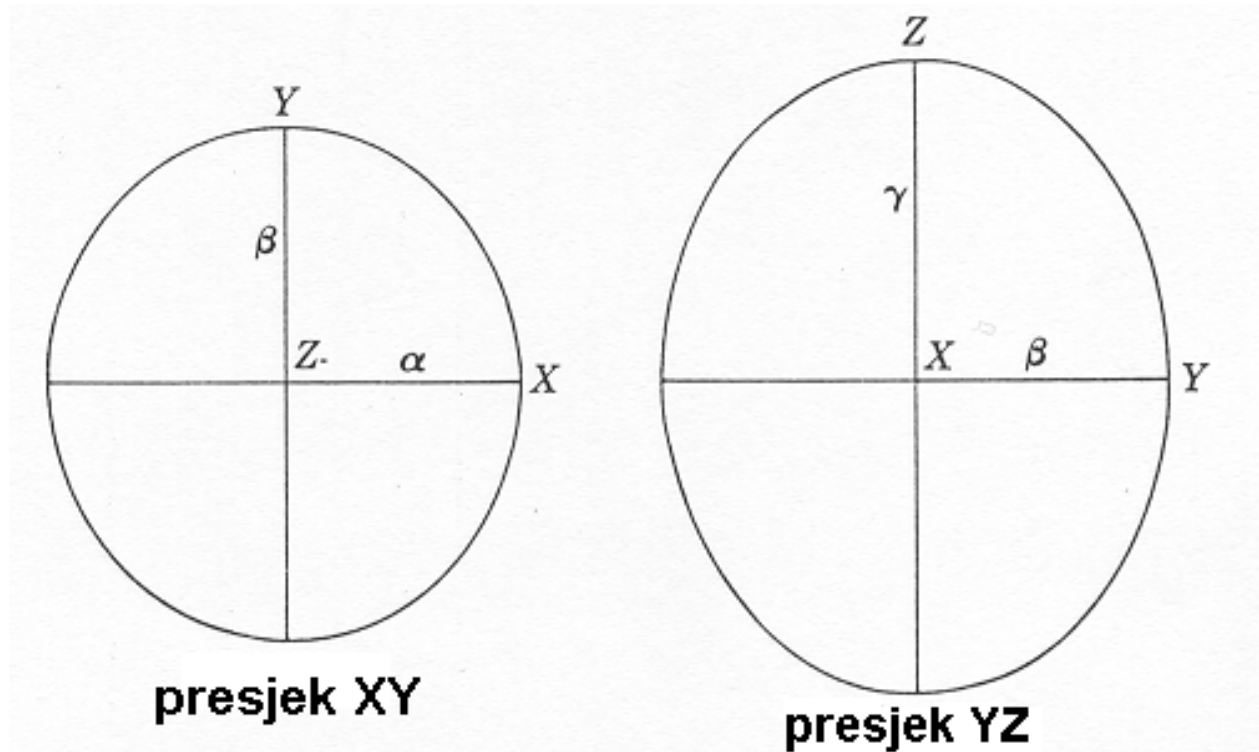
- minerali koji kristaliziraju u **triklinskom, monoklinskom i rompskom** sustavu
- pri ulasku u takve minerale, svjetlost se dijeli na dvije zrake, koje vibriraju u međusobno okomitim ravninama, a brzina im se mijenja ovisno o smjeru upadne zrake
- dvoloma nema samo duž smjera optičkih osi (2. optičke osi = dvoosni minerali)

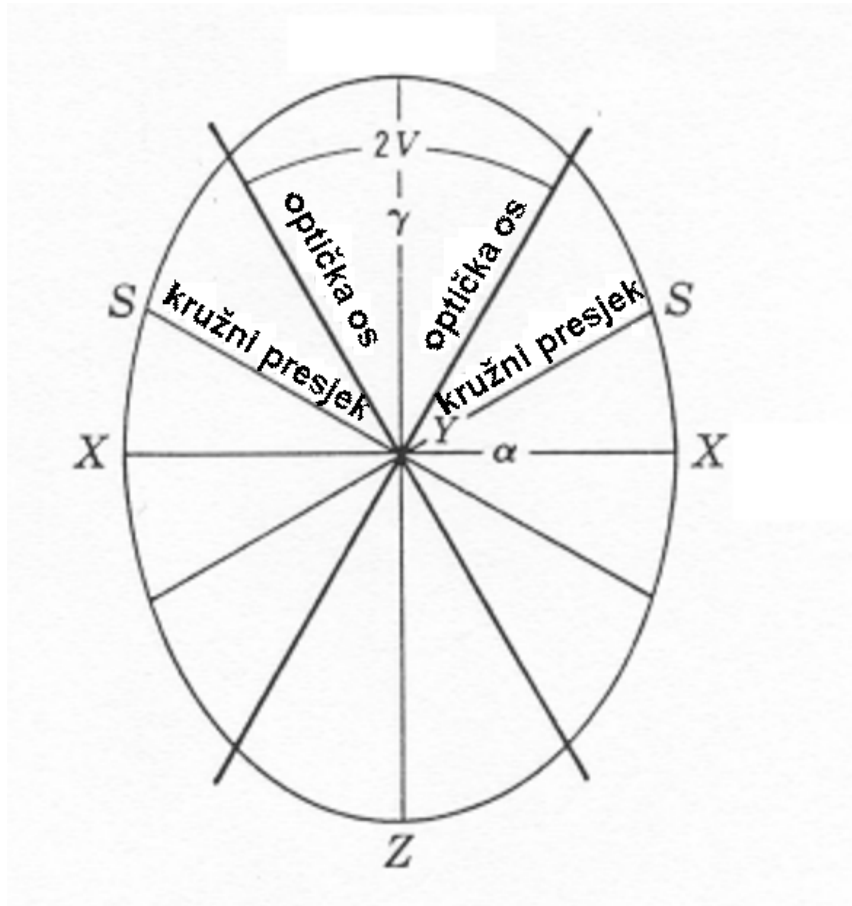
- postoje tri glavna vibracijska pravca („smjera”)(X, Y, Z), koji definiraju optičku indikatrixu dvoosnih materijala = TROOSNI ELIPSOID
- vibracijski smjerovi se razlikuju po veličini indeksa loma:
 n_z = najveći indeks loma
 n_x = najmanji indeks loma
 n_y = indeks loma ima vrijednost između
 n_x i n_z



$$\mathbf{n}_z > \mathbf{n}_y > \mathbf{n}_x$$

- vibracijski smjerovi X, Y i Z definiraju tri glavna presjeka optičke indikatriše: XY, YZ i XZ





- u presjeku XZ nalaze se optičke osi
- optičke osi su okomite na kružne presjeke, čiji radijus iznosi n_y
- okomito na presjek XZ nalazi se smjer Y, koji se naziva i **OPTIČKA NORMALA**

- kut između optičkih osi označava se kao $2V$, te je karakteristika svakog dvoosnog materijala

Dvoosni materijali se dijele na:

1. POZITIVNE = smjer Z je oštra raspolovnica kuta $2V$
2. NEGATIVNE = smjer X je oštra raspolovnica kuta $2V$

Kakav je odnos glavnih vibracijskih smjerova X, Y i Z prema kristalografskim osima?

1. ROMPSKI SUSTAV – svaki vibracijski smjer se podudara s nekom od kristalografskih osi
2. MONOKLINSKI SUSTAV – jedan vibracijski smjer se podudara s osi b
3. TRIKLINSKI SUSTAV – nema podudaranja vibracijskih smjerova s kristalografskim osima

Polarizacija svjetlosti

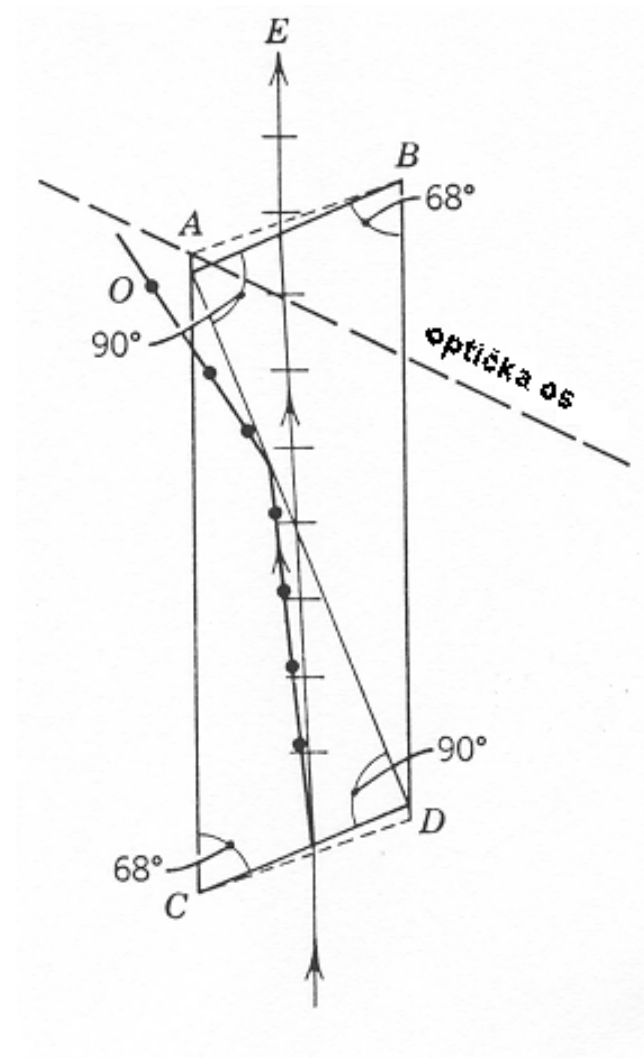
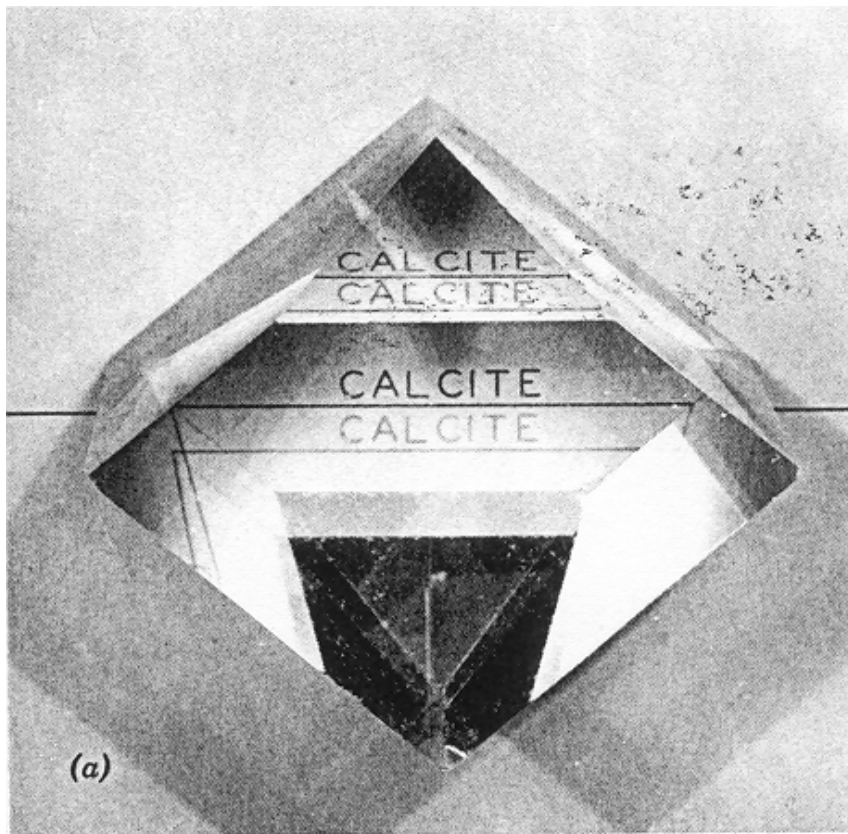
- valovi svjetlosti se šire s transverzalnim vibracijama u svim smjerovima
- ako se vibracije svjetlosti ograniče tako da vibriraju samo u jednoj ravnini, govorimo o linearno polariziranom svjetlu

Kako polarizirati svjetlost?

1. Dvostruki lom = dvolom

Nicol-ova prizma (William Nicol)

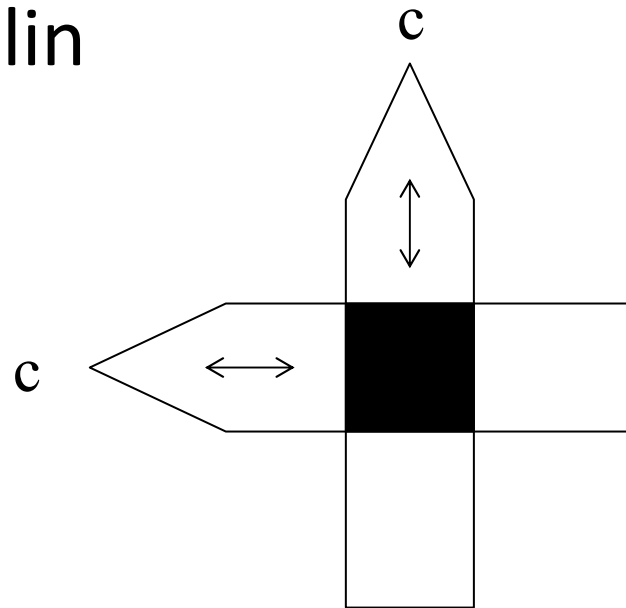
- proziran kristal kalcita (romboedrijski habitus) prerezan je pod određenim kutem, te su dva komada ponovno spojena kanadskim balzamom (smola, $n = 1,54$), a krajnje plohe su izbrušene tako da su pod pravim kutem u odnosu na spojnu plohu između dva komada kalcita
- svjetlo pri ulasku u Nicolovu prizmu se dijeli na dvije zrake = ordinarnu (O) i ekstraordinarnu (E)
- na spoju s kanadskim balzamom, ordinarna zraka se totalno lomi te je eliminirana, dok ekstraordinarna nastavlja pravolinijski budući da joj je indeks loma za danu orijentaciju jednak indeksu kanadskog balzama
- ekstraordinarna je linearno-polarizirana



2. Apsorpcija

- u anizotropnim mineralima apsorpcija može biti različita za zrake nastale dvolomom, gdje pojedina zraka može biti gotovo potpuno apsorbirana

npr. turmalin

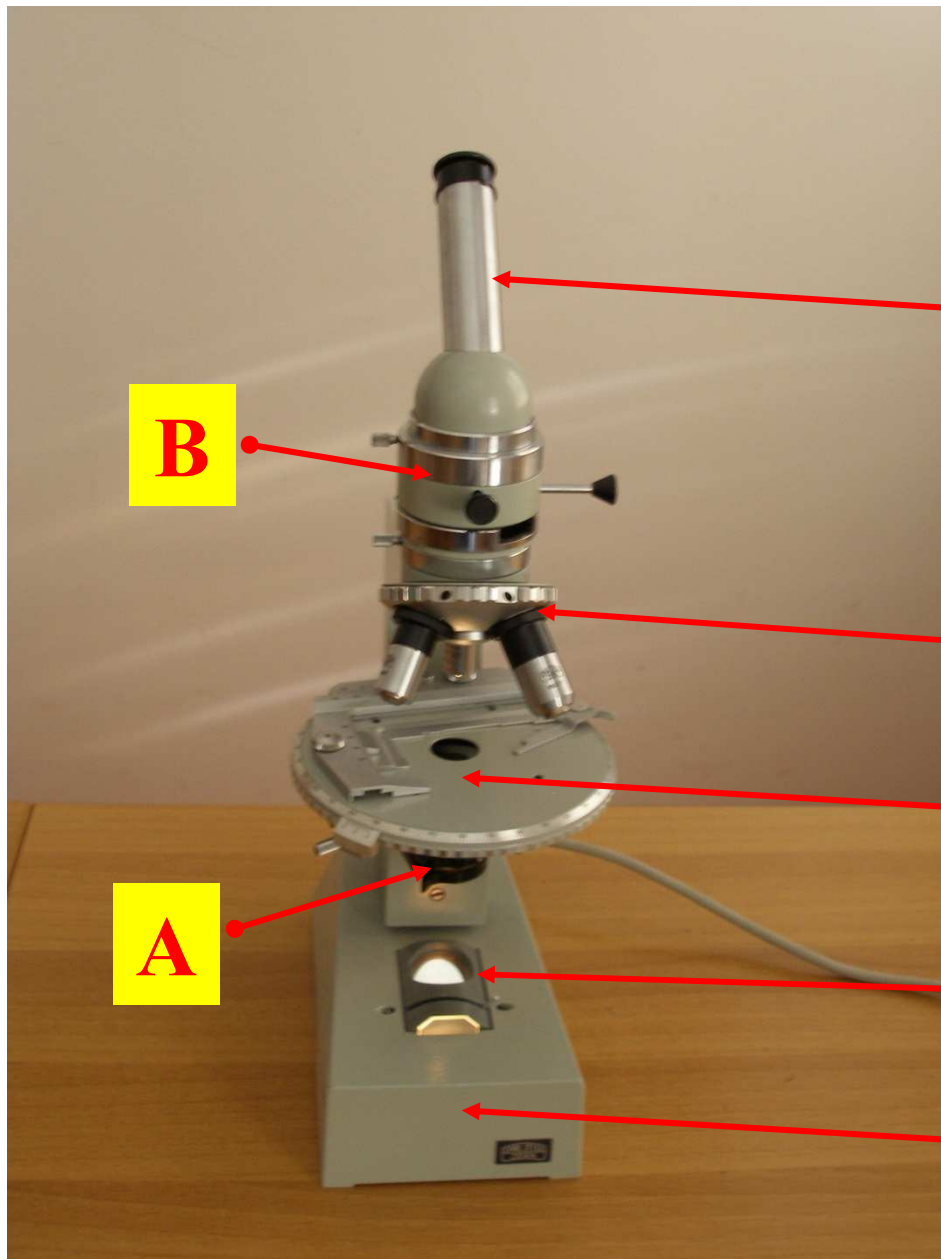


3. Polarizacija refleksijom

- svjetlo reflektirano s glatke, nemetalne plohe je djelomično polarizirano (vibracije paralelne s reflektirajućom površinom)
- stupanj polarizacije ovisi o kutu upada
- najveća polarizacija je kada je kut između reflektirane i refraktirane zrake 90° (Brewster-ov zakon)

POLARIZACIJSKI MIKROSKOP

- služi za određivanje optičkih svojstava kristala
- koristi se linearno polarizirana svjetlost



TUBUS S OKULAROM

B

**KRUŽNI NOSAČ S
OBJEKTIVIMA**

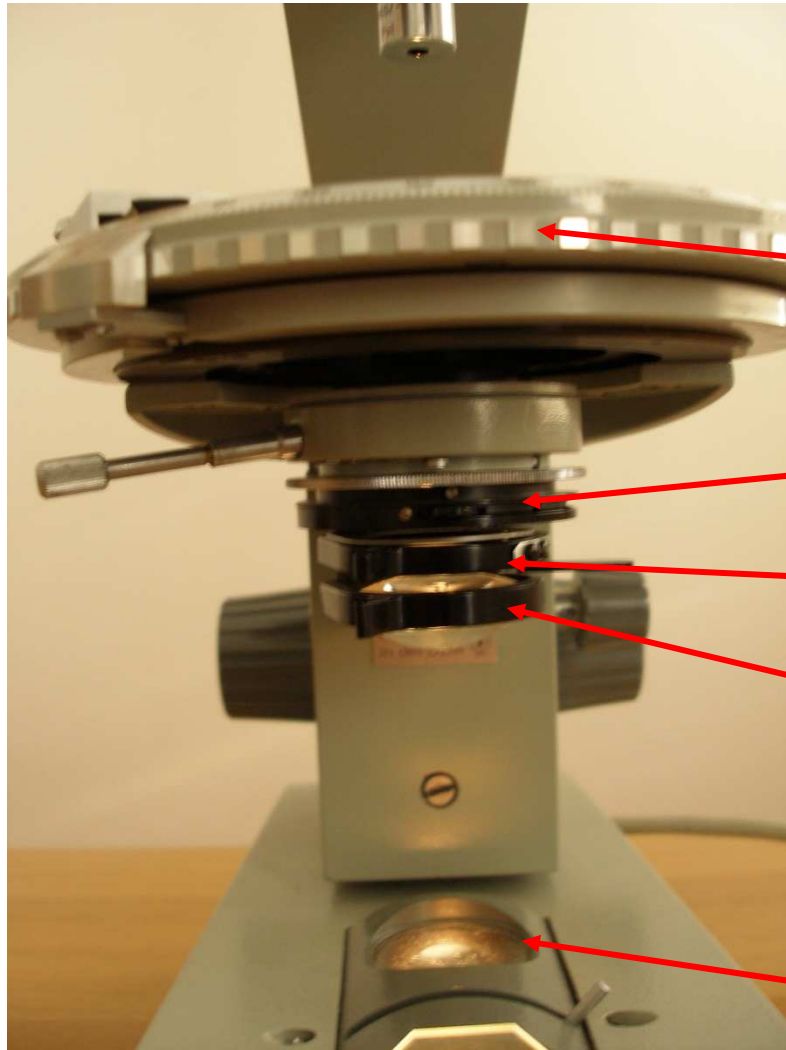
**OKRETNI STOLIĆ (mjerna
skala + hvataljke, vodilice)**

A

IZVOR SVJETLA

POSTOLJE

A



OKRETNI STOLIĆ

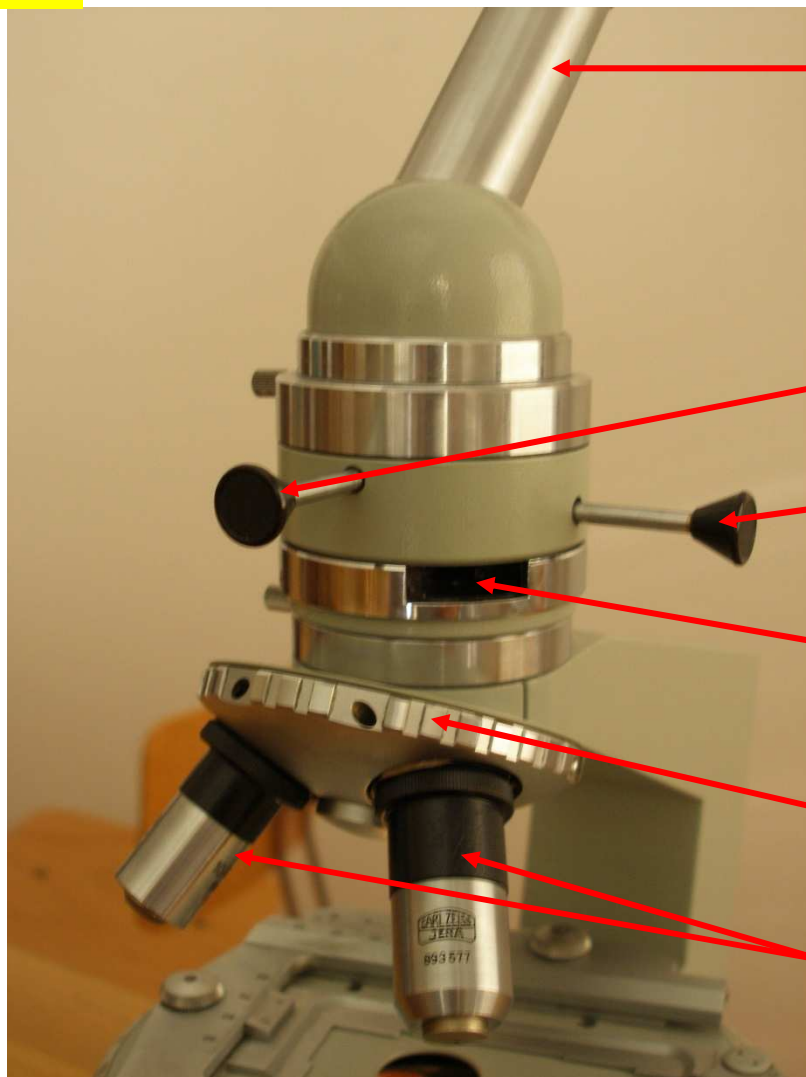
IRIS ("blenda")

POLARIZATOR

KONDENZORSKA LEĆA

IZVOR SVJETLOSTI

B



TUBUS S OKULAROM

AMICI-BERTRANDOVA LEČA

ANALIZATOR

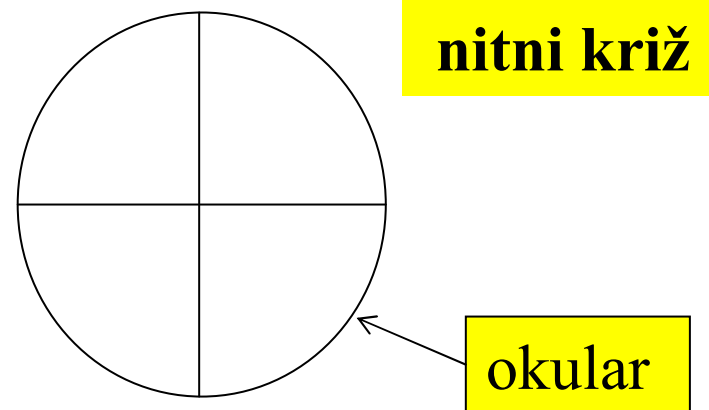
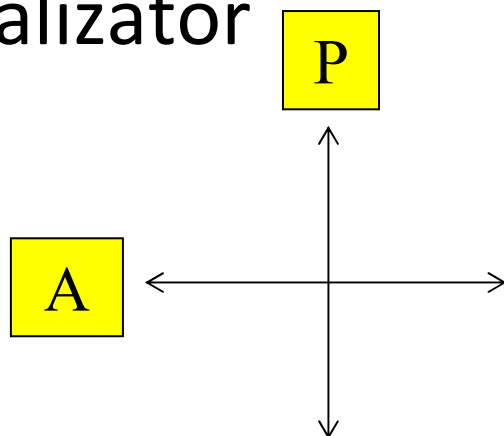
**UTOR ZA KOMPENZACIJSKE
PLOČICE**

**KRUŽNI NOSAČ OBJEKTIVA
(“revolver)**

OBJEKTIVI

POLARIZATORI

- polarizator polarizira svjetlost koja dolazi od izvora svjetlosti do mikroskopskog preparata
- analizator je identičan polarizatoru, samo je zakrenut za 90° . To znači da svjetlo koje propusti polarizator, neće propusti analizator



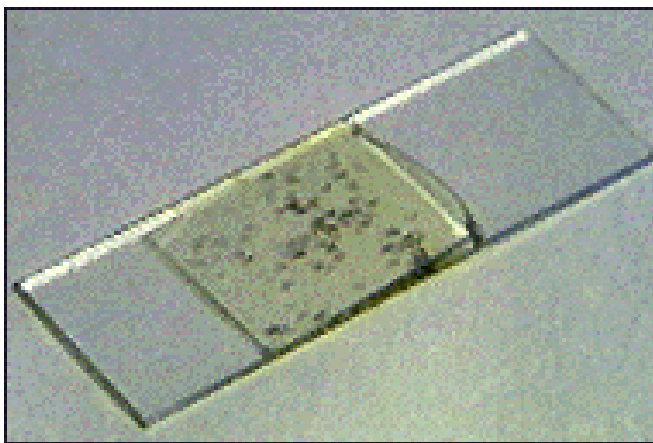
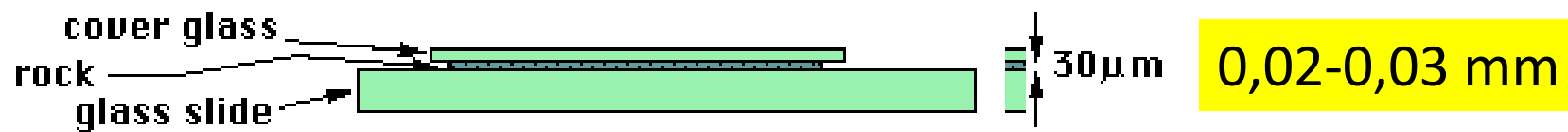
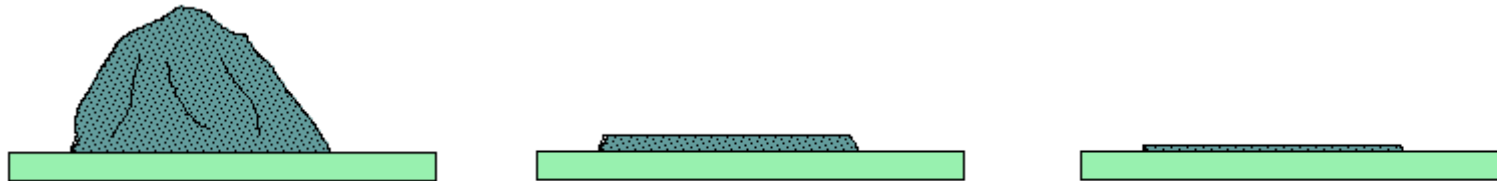
- polarizator je fiksna, no analizator se može uključiti i isključiti

POVEĆANJE mikroskopa:

povećanje objektiva × povećanje okulara

- obično postoje 3 objektiva: za malo (4×), srednje (10×) i veliko povećanje (50×)
- okulari mogu biti povećanja 5×, 7× i 10×

Mikroskopski preparat



KANADSKI BALZAM

$n = 1,54$