



Mineralogija

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

Doc. dr. sc. Petra Schneider

akad. god. 2024./25.

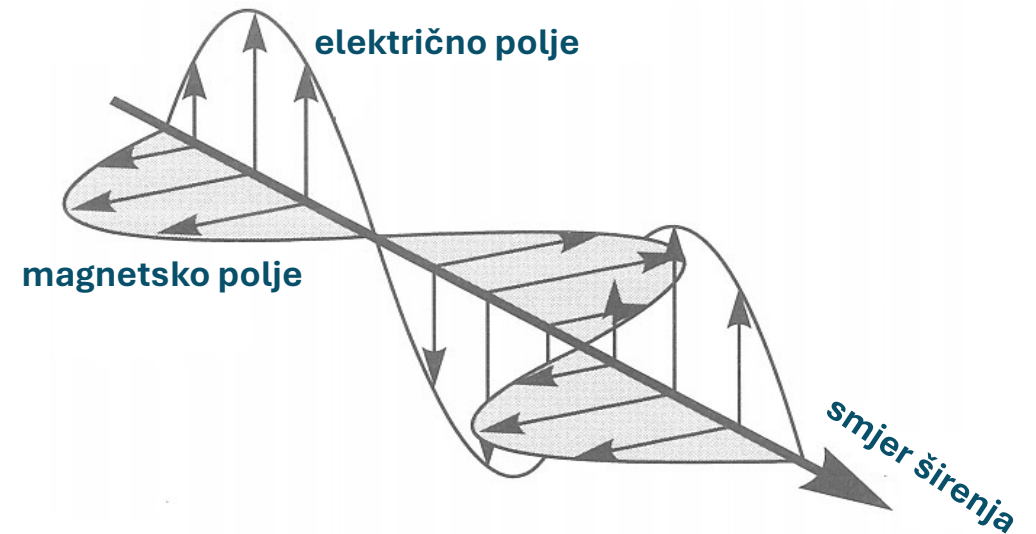
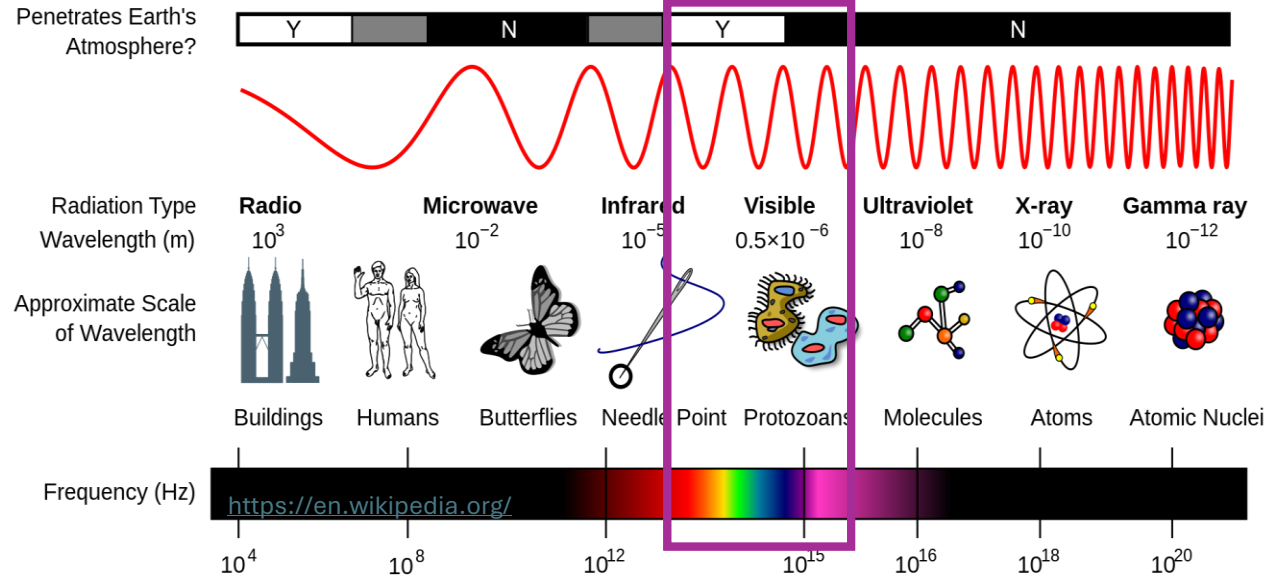
Sadržaj

Optička svojstva minerala

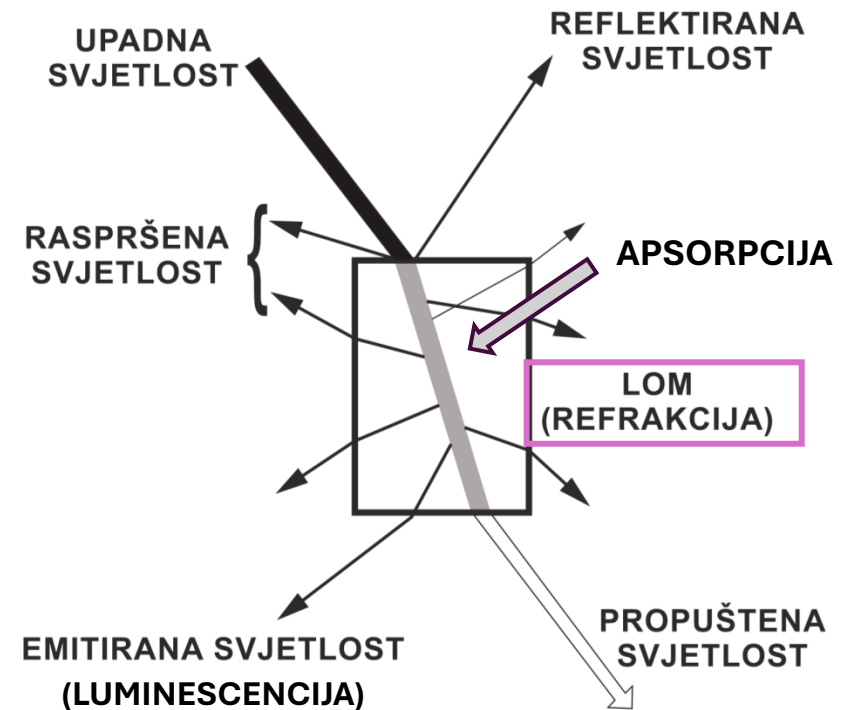
- Lom i refleksija svjetlosti
- Petrografski polarizacijski mikroskop
- Optički izotropni minerali
- Optički anizotropni minerali – jednoosni, dvoosni
- Indikatrisa
- Ortoskopski vs. konoskopski uvjeti
- Reljef, Becekova linija
- Vlastita boja, pleokroizam
- Potamnjenje
- Interferencijske boje
- Kompenzatorske pločice
- Konoskopske figure



Priroda svjetlosti



! Pri prelasku svjetlosti iz jednog sredstva u drugo brzina svjetlosti se mijenja.
→ zraka svjetlosti ne slijedi pravac upadne zrake svjetlosti već se lomi = **LOM SVJETLOSTI (REFRAKCIJA)**



Lom svjetlosti

Manja brzina = optički gušće sredstvo

Veća brzina = optički rjeđe sredstvo

Indeks loma (n) = c_1 / c_2

Apsolutni indeks loma = $c_0 / c_{\min}$

c_0 = brzina svjetlosti u vakuumu

→ $n_{\text{vakuum}} = 1$, $n_{\text{zrak}} \approx 1$

Relativni indeks loma = $c_{\text{tvar}} / c_{\text{mineral}}$

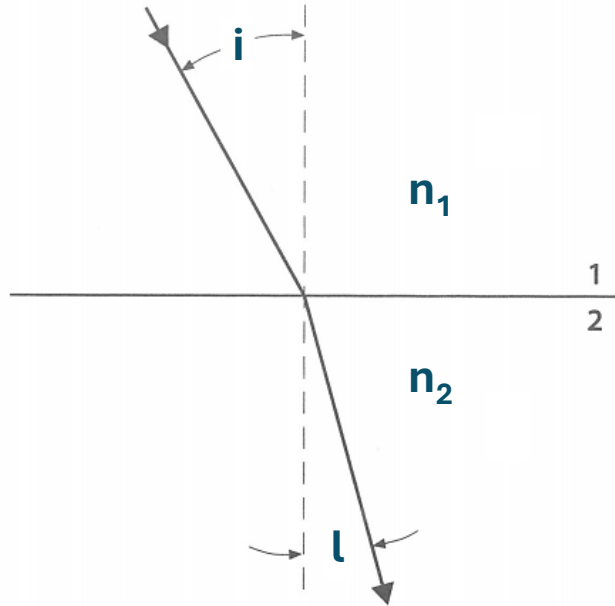
Snellov zakon loma

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i}{\sin l} = \frac{c_1}{c_2}$$

Specijalni slučaj:

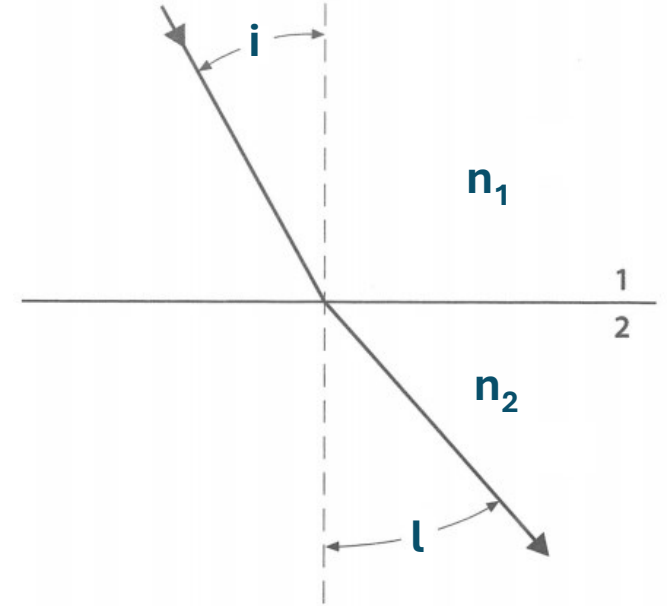
svjetlost pada na granicu pod pravim kutom

$\sin i = 0 \rightarrow \sin l = 0 \rightarrow$ svjetlost ne mijenja smjer, samo brzinu



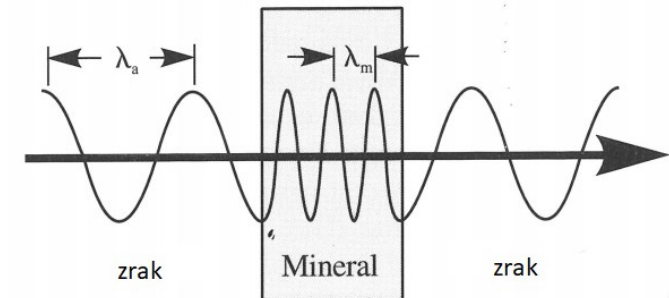
$$n_1 < n_2$$

iz optički rjeđeg u optički
gušće sredstvo ($c_1 > c_2$)
zraka se lomi k okomici na
ravninu upada



$$n_1 > n_2$$

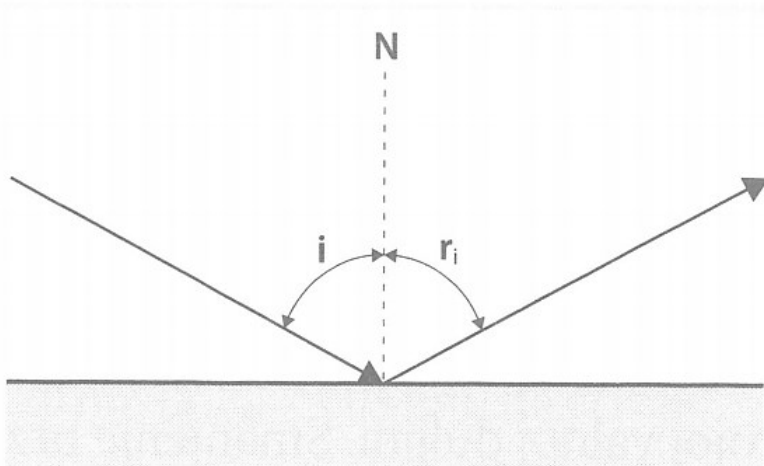
iz optički gušće u optički
rjeđe sredstvo ($c_1 < c_2$) zraka
se lomi od okomice na
ravninu upada



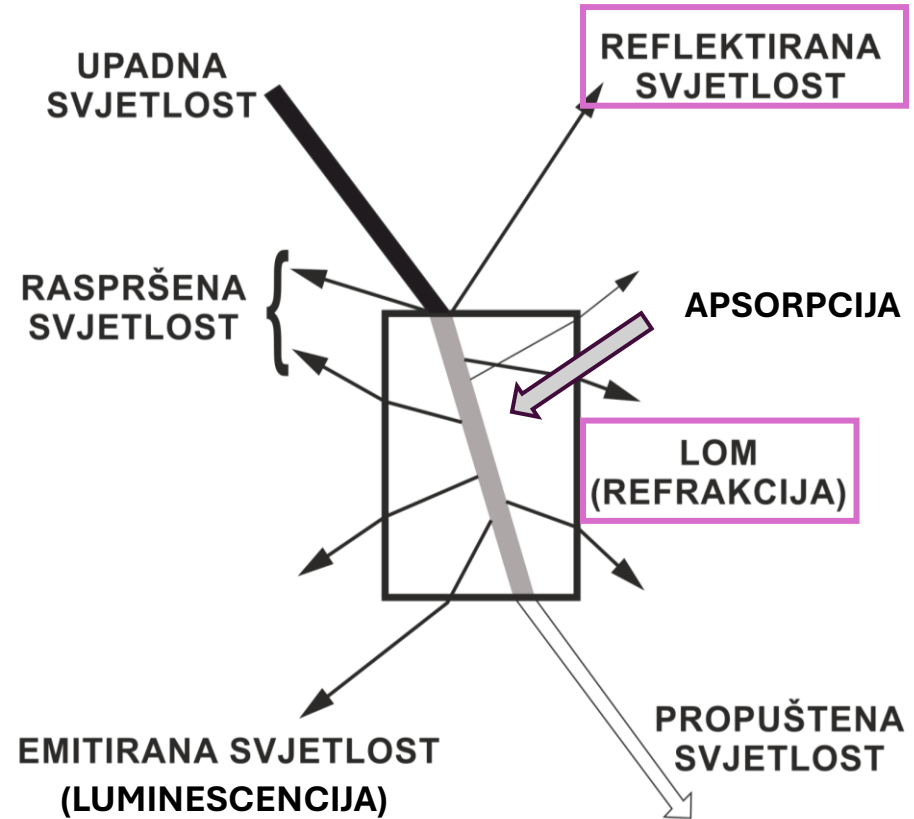
Refleksija svjetlosti

Manja brzina = optički gušće sredstvo

Veća brzina = optički rjeđe sredstvo



Zakon refleksije = kut refleksije
jednak je kutu upada ($i = r_i$)

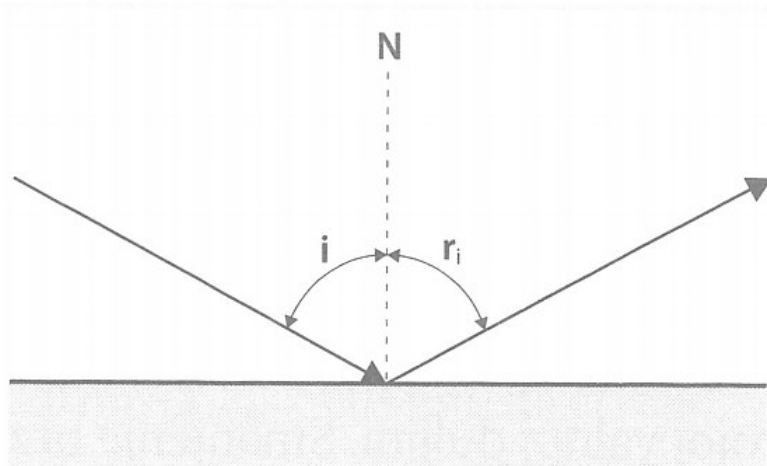


Preuzeto i prilagođeno iz Klein & Phillpots (2012), Nesse (2000).

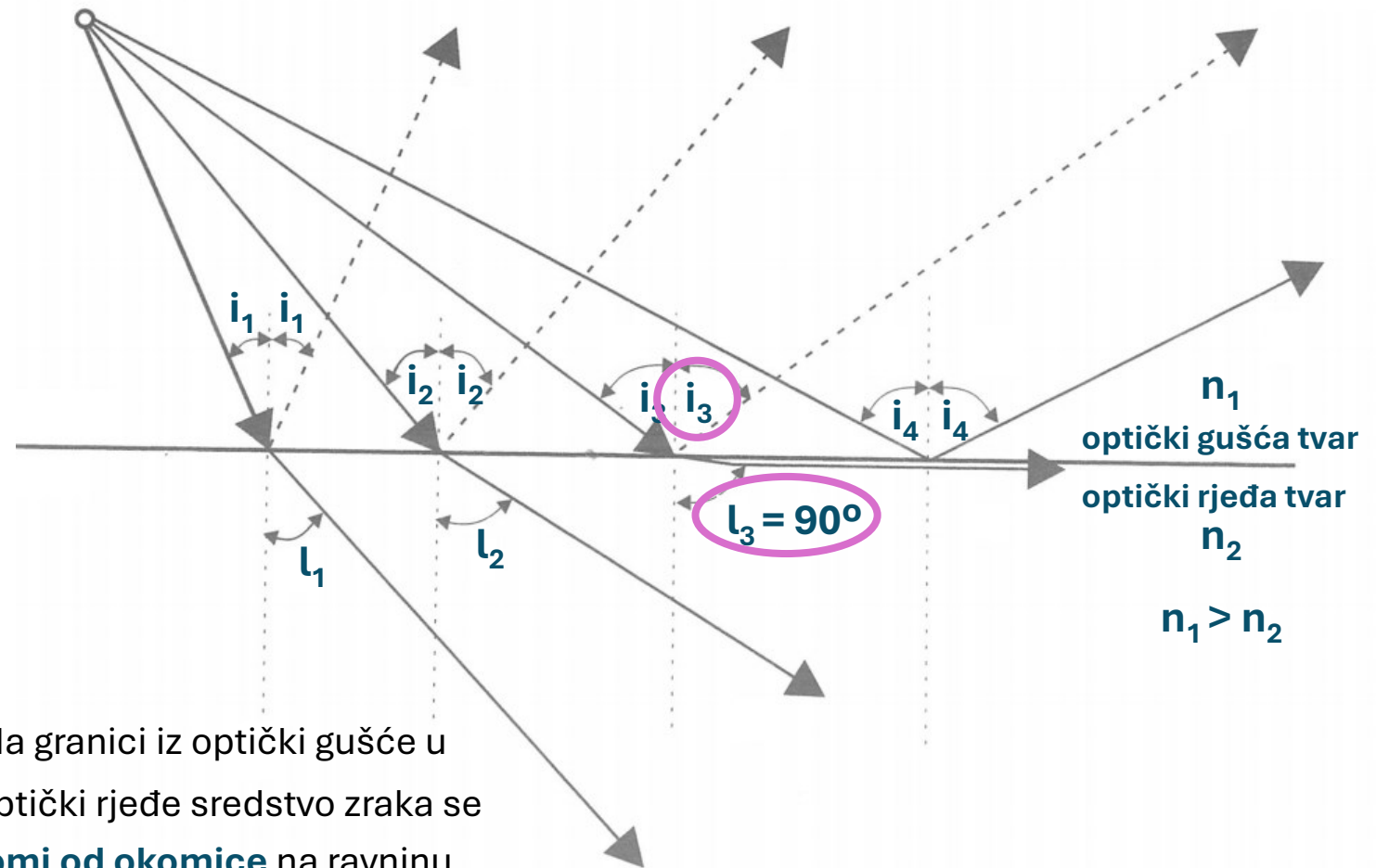
Totalna refleksija svjetlosti

Manja brzina = optički gušće sredstvo

Veća brzina = optički rjeđe sredstvo



Zakon refleksije = kut refleksije jednak je kutu upada ($i = r_i$)



i_3 = granični kut (GK) totalne refleksije

Za kut upada koji veći od GK, zraka ne ulazu u drugu tvar već se **totalno reflektira** (vraća u prvu tvar).

! Na granici iz optički gušće u optički rjeđe sredstvo zraka se **lomi od okomice** na ravninu upada.

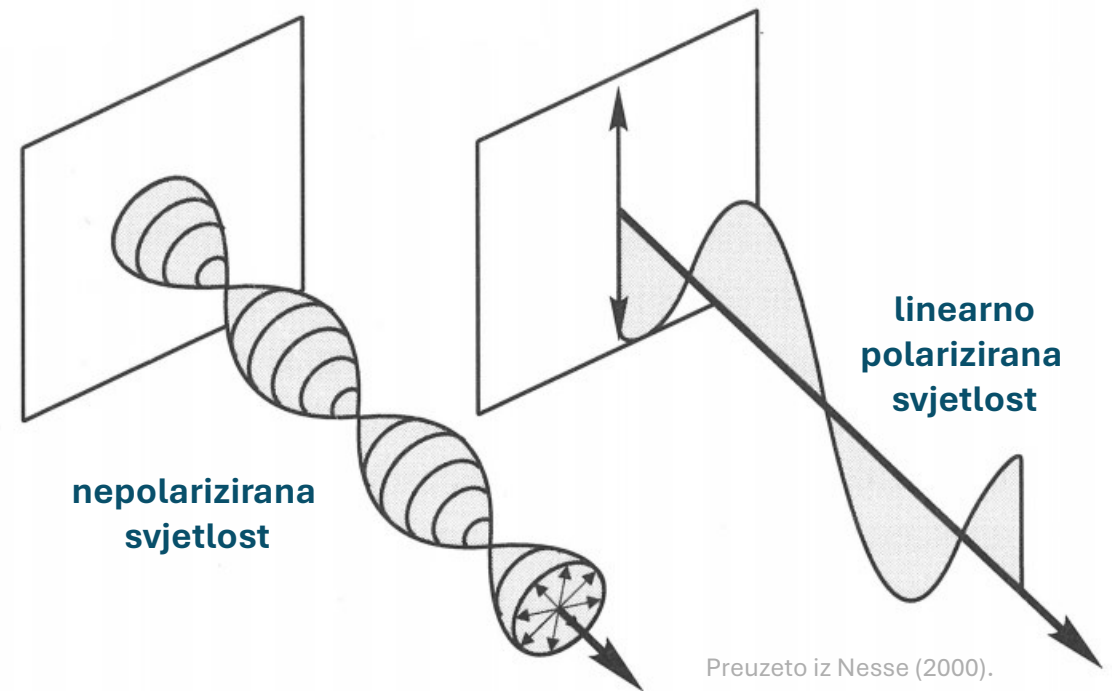
Optička svojstva minerala

= svojstva u prolaznoj svjetlosti koja se promatraju na petrografskom polarizacijskom mikroskopu (polarizacijski mikroskop za **prolaznu** svjetlost)

Opáki (neprozorni) minerali → reflektirana svjetlost na rudnom mikroskopu (polarizacijski mikroskop za **reflektiranu** svjetlost)

Obična svjetlost = nepolarizirana = pravocrtni transverzalni val, titra u svim smjerovima u prostoru

Linearno polarizirana svjetlost = transverzalno valno gibanje samo u jednoj ravnini (smjeru) u prostoru → **titrajna ravnina, titrajni pravac**



Petrografski polarizacijski mikroskop

Dijelovi mikroskopa:

- izvor svjetlosti
- filter
- **polarizator**
- iris zaslon (blenda)
- **kondenzor** (on/off) – leća za konvergenciju svjetlosti
- **zakretni stolić** sa skalom za očitavanje kuta zakretanja
- objektivi – leće za povećanje 2,5x; 10x; 20x; 50x; 100x
- otvor za **kompensatorske (akcesorne) pločice**
- **analizator** (on/off) = drugi polarizator
 - titrajni pravac okomito na smjer titrajnog pravca polarizatora
 - svjetlost koju propusti polarizator neće propustiti i analizator → tama
- **Amici-Bertrandova leća** (on/off) = za povećanje slike u konvergentnoj svjetlosti
- okular(i) – leće za povećanje, obično 10x



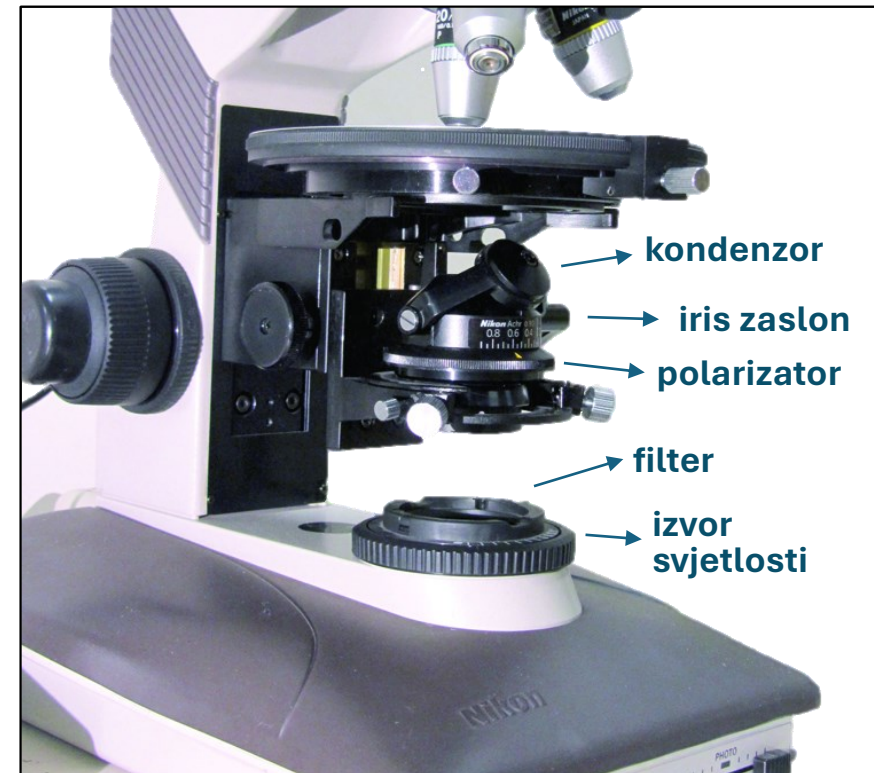
Petrografski polarizacijski mikroskop

Dijelovi mikroskopa:

- izvor svjetlosti
- filter
- **polarizator**
- iris zaslon (blenda)
- **kondenzor** (on/off) – leća za konvergenciju svjetlosti
- **zakretni stolić** sa skalom za očitavanje kuta zakretanja
- objektivi – leće za povećanje 2,5x; 10x; 20x; 50x; 100x
- otvor za **kompensatorske (akcesorne) pločice**
- **analizator** (on/off) = drugi polarizator
 - titrajni pravac okomito na smjer titrajnog pravca polarizatora
 - svjetlost koju propusti polarizator neće propustiti i analizator → tama
- **Amici-Bertrandova leća** (on/off) = za povećanje slike u konvergentnoj svjetlosti
- okular(i) – leće za povećanje, obično 10x



skala za očitavanje kuta zakretanja



Podjela materijala na temelju optičkih svojstava

OPTIČKI IZOTROPNI (JEDNOLOMNI)

- svjetlost se u svim smjerovima širi jednakom brzinom → vibrira u svim smjerovima okomitim na smjer širenja
- nema dvoloma
- samo jedan indeks loma

- plinovi
- tekućine
- amorfni materijali
- **kubični minerali**

OPTIČKI ANIZOTROPNI (DVOLOMNI)

- svjetlost se u različitim smjerovima širi različitom brzinom
- više indeksa loma (bitna 2 ili 3)
- zraka svjetlosti koja dolazi na mineral lomi se na 2 zrake (dvolom)

- **minerali svih ostalih (nekubičnih) sustava**

Podjela materijala na temelju optičkih svojstava

Optički anizotropni (dvolomni) minerali

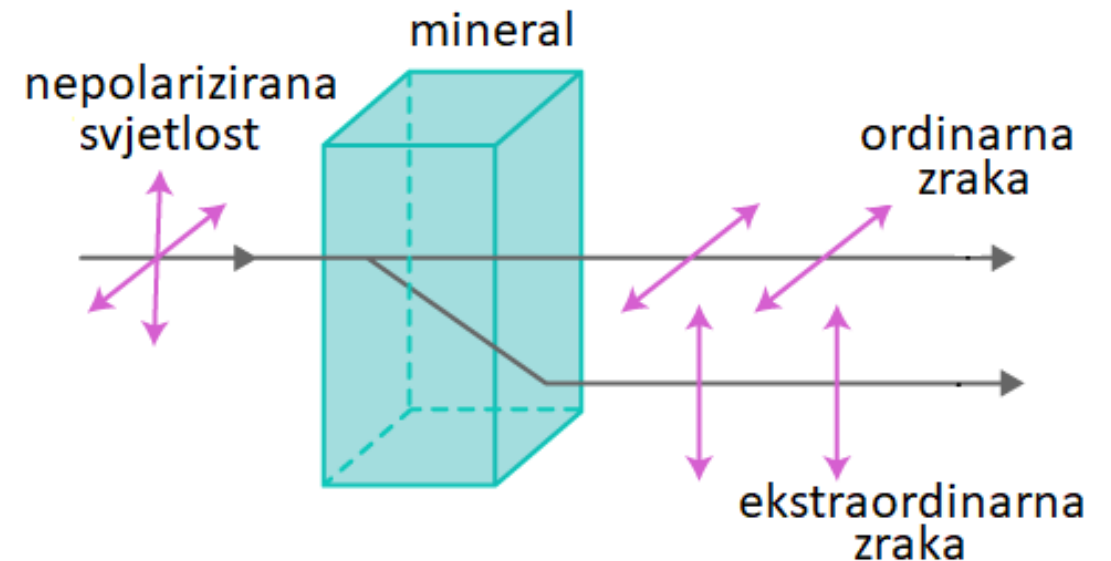
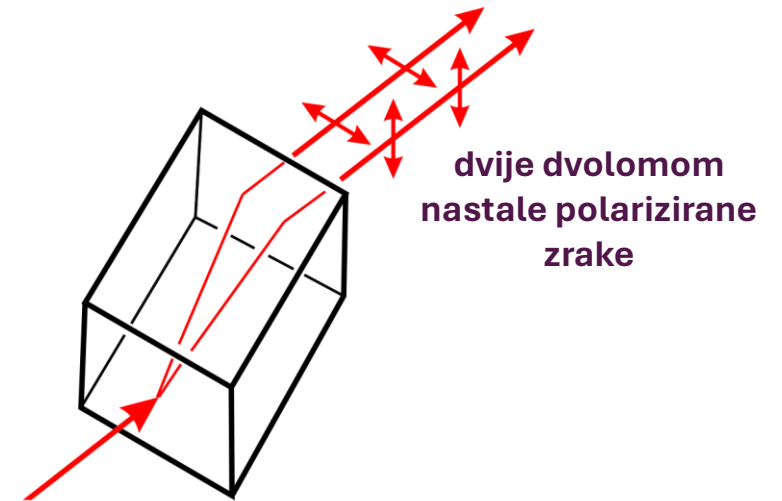
→ zraka svjetlosti koja dolazi na mineral lomi se na 2 zrake
= **DVOLOM** (pojava)

- ! Dvolomom nastale zrake su linearno polarizirane.
- ! Vibracijski smjerovi dvolomom nastalih zraka su međusobno okomiti.
- ! Brzine širenja dvolomom nastalih zraka su različite → različiti indeksi loma razlika = **DVOLOM** (veličina)

ORDINARNA zraka (O) = poštuje Snellov zakon loma

→ ako pod pravim kutom dolazi na granicu dvaju sredstava, nastavlja put bez loma

EKSTRAORDINARNA zraka (E) = odstupa od Snellovog zakona loma → lomi se



Podjela materijala na temelju optičkih svojstava

Optički anizotropni (dvolomni) minerali

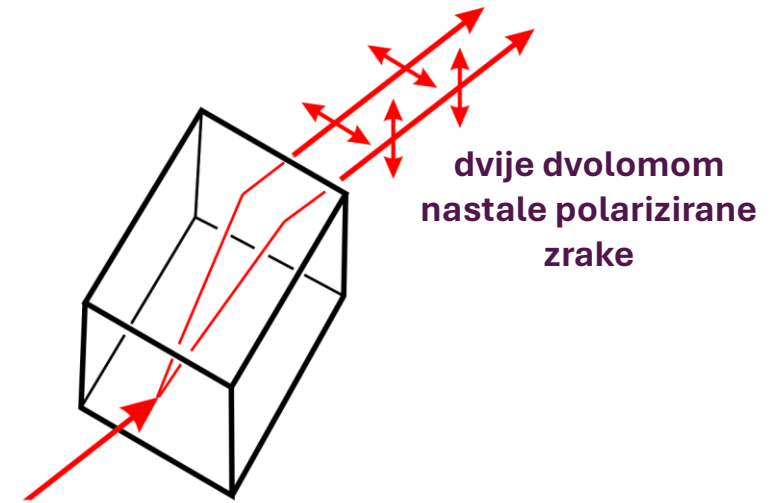
→ zraka svjetlosti koja dolazi na mineral lomi se na 2 zrake
= **DVOLOM** (pojava)

- ! Dvolomom nastale zrake su linearno polarizirane.
- ! Vibracijski smjerovi dvolomom nastalih zraka su međusobno okomiti.
- ! Brzine širenja dvolomom nastalih zraka su različite → različiti indeksi loma razlika = **DVOLOM** (veličina)

ORDINARNA zraka (O) = poštuje Snellov zakon loma

→ ako pod pravim kutom dolazi na granicu dvaju sredstava, nastavlja put bez loma

EKSTRAORDINARNA zraka (E) = odstupa od Snellovog zakona loma → lomi se



dvolom na kalotini kalcita (tzv. islandski dvolomac)



Podjela materijala na temelju optičkih svojstava

Optički anizotropni (dvolomni) minerali

JEDNOOSNI

- jedna optička os = smjer duž kojeg nema dvoloma
- dva glavna indeksa loma: n_O , n_E
- **tetragonski minerali**
- **heksagonski minerali**
- optička os duž osi c
- dvolomom nastaju jedna O i jedna E zraka

jednoosni pozitivni

$$v_O > v_E \text{ tj. } n_O < n_E$$

jednoosni negativni

$$v_O < v_E \text{ tj. } n_O > n_E$$

DVOOOSNI

- dvije optičke osi = smjer duž kojeg nema dvoloma
- tri glavna indeksa loma: $n_X < n_Y < n_Z$
($v_X > v_Y > v_Z$)
- **rompski minerali**
- **monoklinski minerali**
- **triklinski minerali**
- dvolomom nastaju dvije E zrake

dvoosni pozitivni

oštra raspolovnica kuta
između optičkih osi = Z

dvoosni negativni

oštra raspolovnica kuta
između optičkih osi = X

Prikaz optičkih svojstava minerala

Indikatrisa = geometrijsko tijelo za prikaz optičkih svojstava materijala

Konstrukcija indikatriše = na vibracijske smjerove nanese se indeksi loma svjetlosti koja tim smjerom vibrira

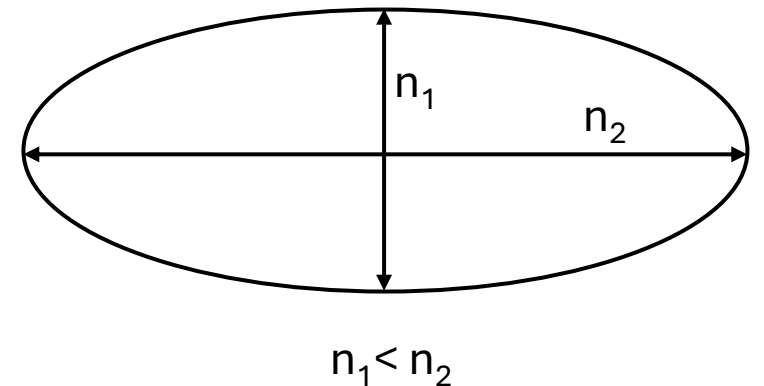
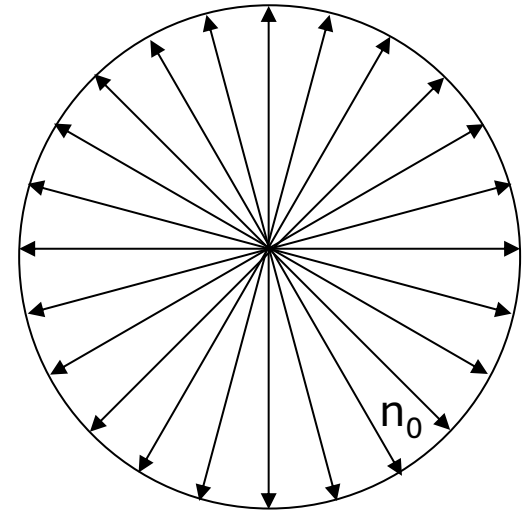
Što se promatra?

- **središnji presjeci indikatriše okomiti na smjer širenja svjetlosti**
- optičke karakteristike materijala kad se svjetlost kroz njega širi tim smjerom

Oblik presjeka:

- **kružni** – svi polumjeri su isti = nema dvoloma
 - svjetlost može vibrirati duž bilo kojeg polumjera tog presjeka
- **eliptičan** – dolazi do dvoloma
 - zrake nastale dvolomom vibriraju duž polumjera eliptičnog presjeka

! Veličina polumjera presjeka odgovara indeksu loma.



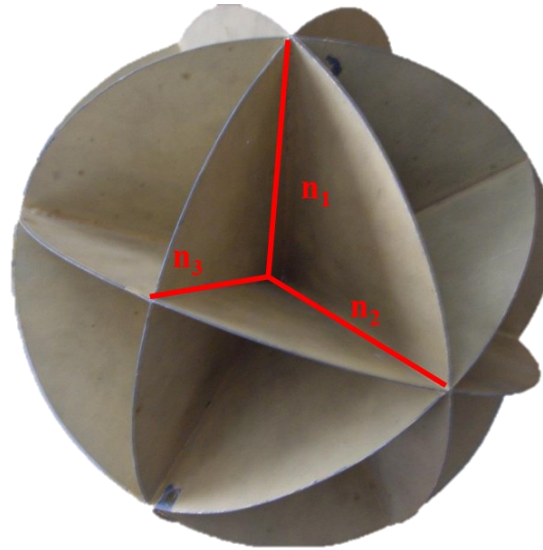
Prikaz optičkih svojstava minerala

IZOTROPNI

→ nema dvoloma

→ samo jedan indeks loma

Optička indikatrisa = kugla



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

Prikaz optičkih svojstava minerala

IZOTROPNI

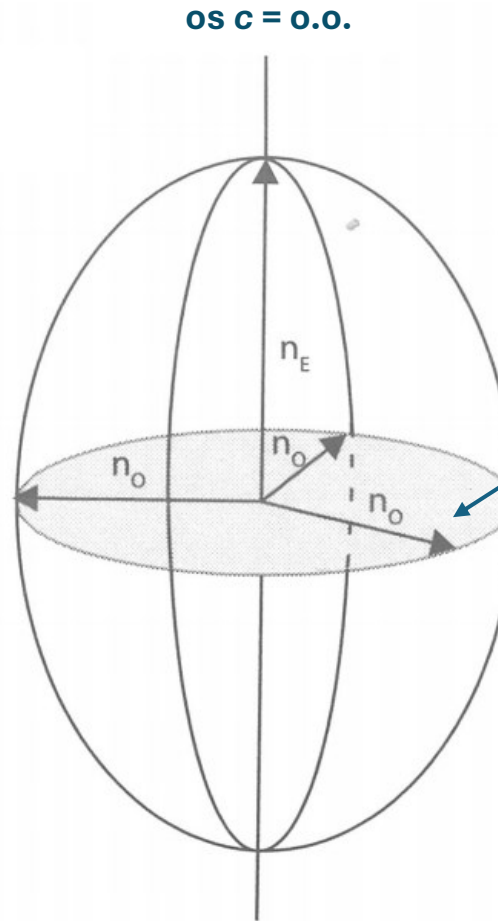
- nema dvoloma
- samo jedan indeks loma

Optička indikatrisa = kugla

JEDNOOSNI ANIZOTROPNI

- dva glavna indeksa loma: n_o , n_e
- optička os duž osi c

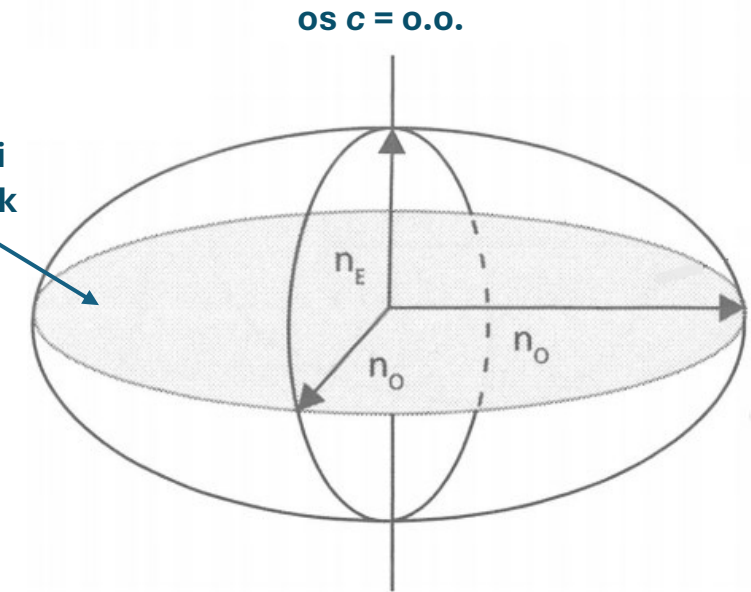
Optička indikatrisa = rotacijski elipsoid



jednoosni pozitivni

$$n_o < n_e$$

kružni
presjek



Preuzeto iz Vrkljan et al. (2018): Optička mineralogija.

jednoosni negativni

$$n_o > n_e$$

Prikaz optičkih svojstava minerala

IZOTROPNI

- nema dvoloma
- samo jedan indeks loma

Optička indikatrisa = kugla

JEDNOOSNI ANIZOTROPNI

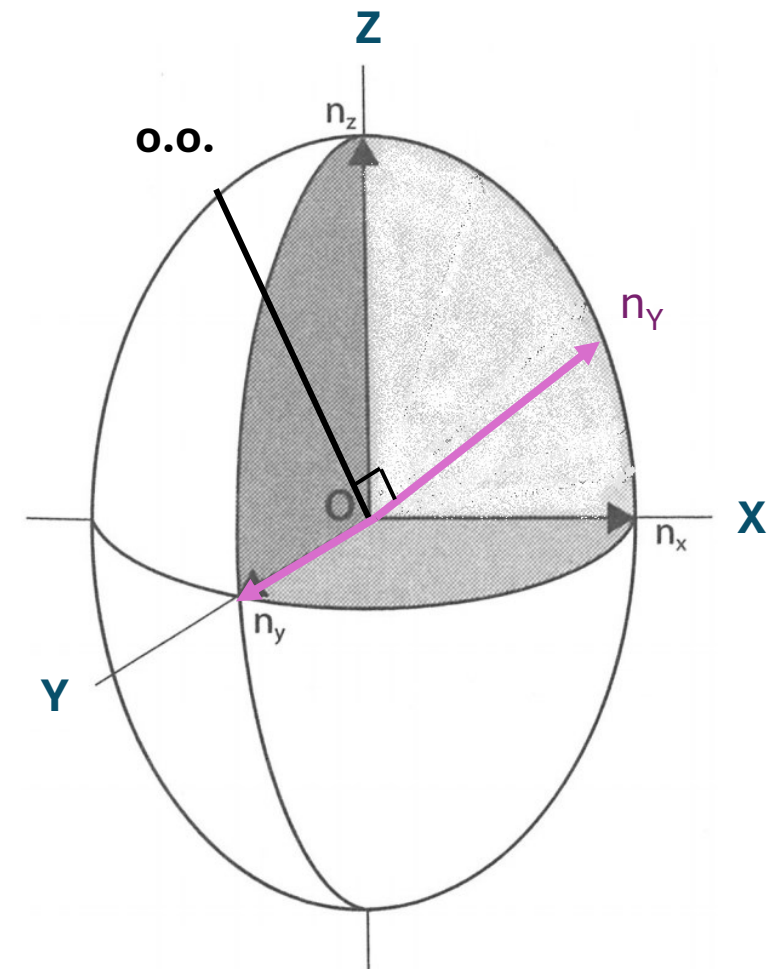
- dva glavna indeksa loma: n_o , n_e
- optička os duž osi c

Optička indikatrisa = rotacijski elipsoid

DVOOOSNI ANIZOTROPNI

- tri glavna vibracijska smjera: X, Y, Z
- tri glavna indeksa loma: $n_x < n_y < n_z$

Optička indikatrisa = troosni elipsoid



Preuzeto iz Vrkljan et al. (2018): Optička mineralogija.

- ordinarna zraka titra u kružnom presjeku rotacijskog elipsoida ($\perp$ na opt. os, tj. $\perp$ os c)
- ekstraordinarna zraka titra okomito na ordinarnu i u glavnom presjeku indikatriše

(gl. presjeci indikatriše = presjeci XZ, XY i ZY) 17

Prikaz optičkih svojstava minerala

IZOTROPNI

- nema dvoloma
- samo jedan indeks loma

Optička indikatrisa = kugla

JEDNOOSNI ANIZOTROPNI

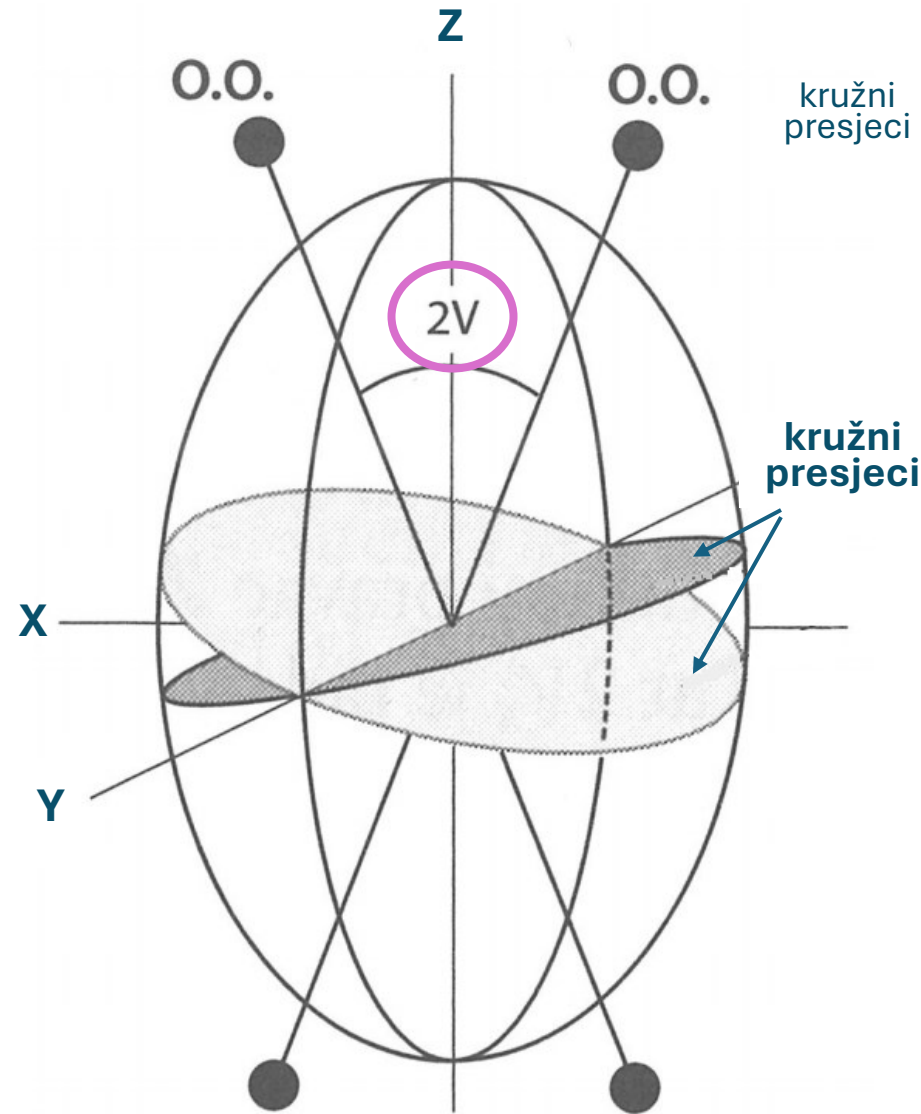
- dva glavna indeksa loma: n_o , n_e
- optička os duž osi c

Optička indikatrisa = rotacijski elipsoid

DVOOOSNI ANIZOTROPNI

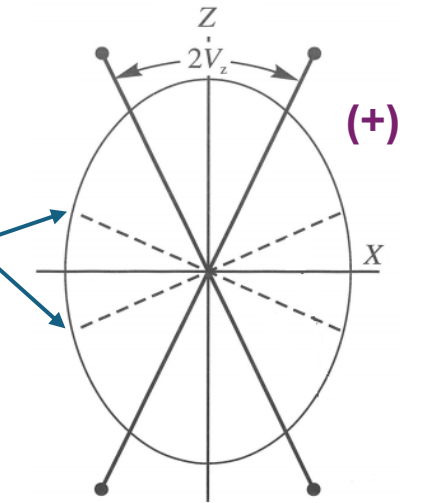
- tri glavna indeksa loma: $n_x < n_y < n_z$

Optička indikatrisa = TROOSNI elipsoid

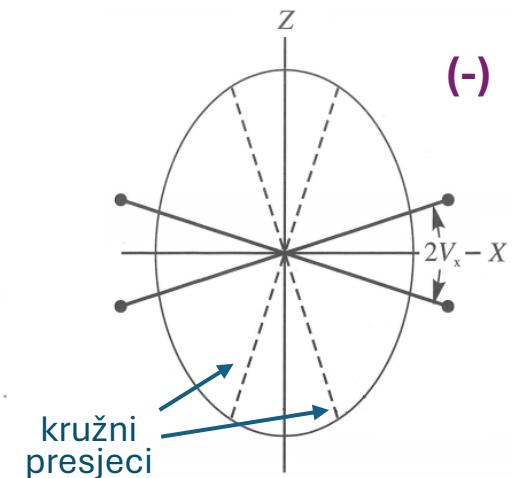


kružni
presjeci

kružni
presjeci



**2V = kut između o.o.
pozitivni (+) = Z je
oštra raspolovnica 2V
negativni (-) = X je
oštra raspolovnica
kuta 2V**



kružni
presjeci

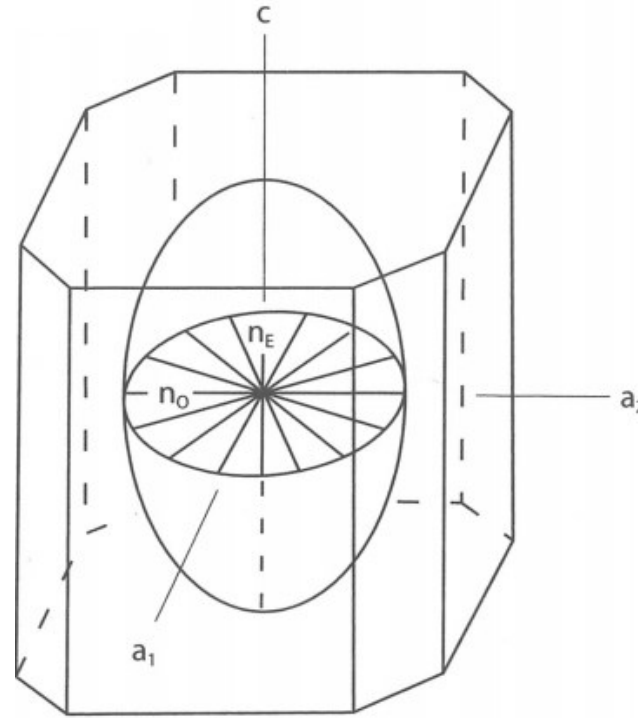
Preuzeto iz Vrkljan et al. (2018): Optička mineralogija i Nesse (2000).

Prikaz optičkih svojstava minerala

Odnos glavnih titrajnih smjerova indikatriše prema kristalografskim osima:

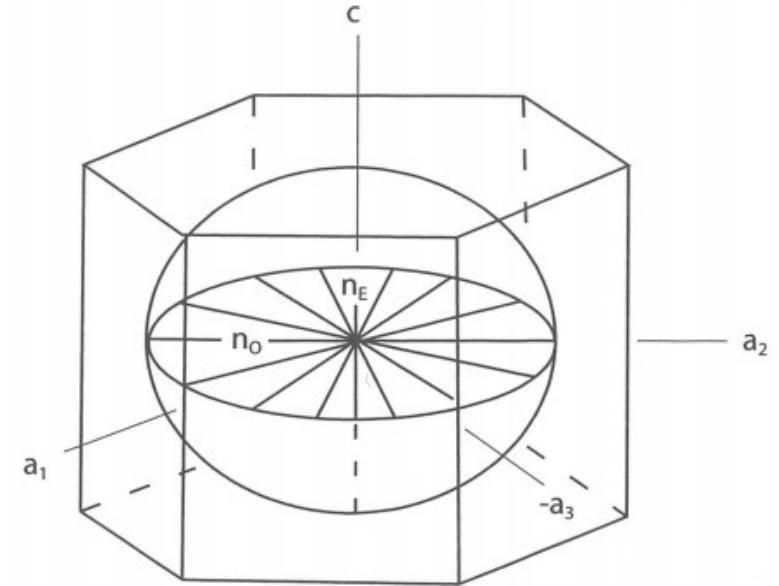
Jednoosni

- Tetragonski i heksagonski sustav
→ optička os = os c



tetragonski

primjer: opt. pozitivan
 $n_O < n_E$



heksagonski

primjer: opt. negativan
 $n_O > n_E$

Prikaz optičkih svojstava minerala

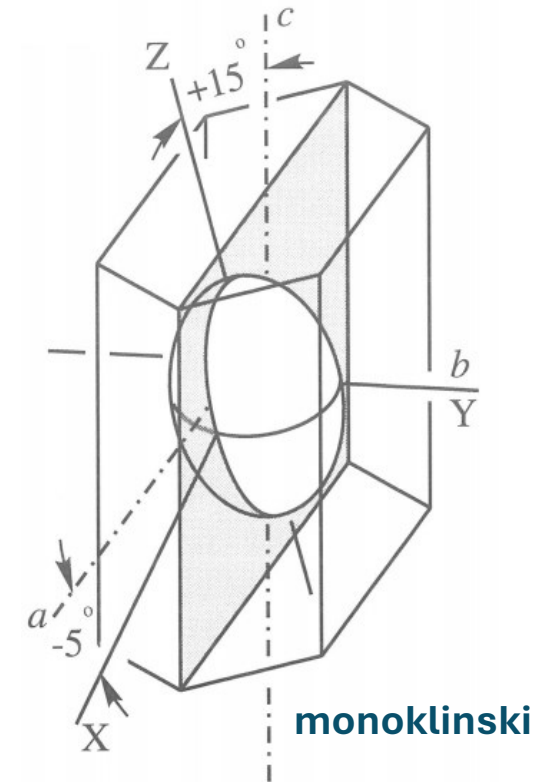
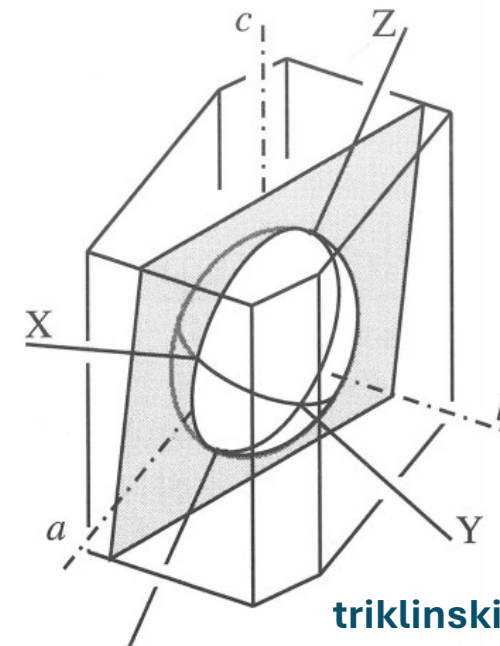
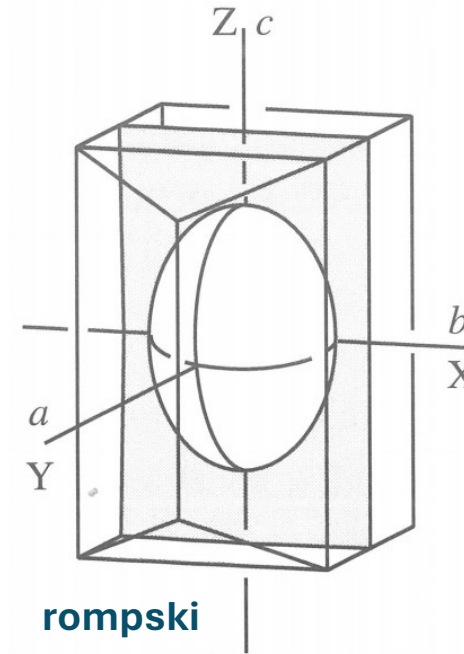
Odnos glavnih titrajnih smjerova indikatriše prema kristalografskim osima:

Jednoosni

- Tetragonski i heksagonski sustav
→ optička os = os c

Dvoosni – titrajni smjerovi X, Y, Z

- Rompski sustav – osi troosnog elipsoida podudaraju se s kristalografskim osima
- Monoklinski sustav – jedan titrajni smjer podudara se s osi b
- Triklinski sustav – nema podudaranja titrajnih smjerova s kristalografskim osima → zatvaraju kuteve → karakteristični za svaki pojedini mineral



Preuzeto iz Nesse (2000).

Nicolova prizma

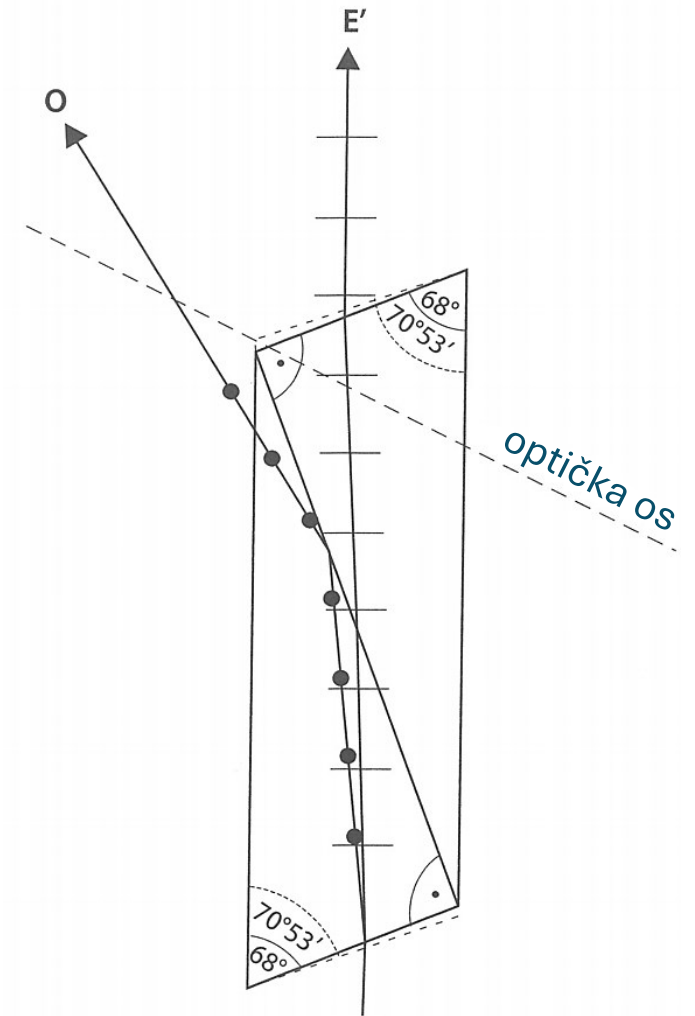


William Nicol (1786.–1851.)

Nicolova prizma (1828.)

- kalotina prozirnog kalcita („islandski dvolomac”) prerezana pod određenim kutom (68°) → dva komada ponovno spojena kanada balzamom ($n = 1,54$), a krajnje plohe su izbrušene tako da su pod pravim kutom u odnosu na spojnu plohu između dva komada kalcita
- svjetlo se pri ulasku u Nicolovu prizmu dijeli na dvije zrake (dvolom) = ordinarna (O, $n=1,658$) i ekstraordinarna (E, $n= 1,486$)
- na spoju s kanada balzamom, **O zraka se totalno lomi** te je eliminirana, dok **E zraka nastavlja pravolinijski** budući da joj je indeks loma za danu orijentaciju jednak indeksu kanadskog balzama → **linearno-polarizirana** zraka svjetlosti

! Ukriženi nikoli, N+, XN = uključen analizator
N- = bez uključenog analizatora



Preuzeto iz Vrkljan et al. (2018): Optička mineralogija.

Mikroskopski preparat

Izrada mikroskopskog preparata:

- Opáki minerali = nabrusci
- Prozirni minerali = izbrusci

- rezanje tanke pločice dijamantnom pilom
- impregnacija (opcionalno) – porozni ili drobljivi materijali
- brušenje i poliranje jedne strane pločice
- pričvršćivanje na predmetno stakalce
 - **kanada balzam**, kanadski balzam = prirodna smola (n=1,537)
 - **epoksi smola** = sintetska (n=1,540 – 1,555)
- stanjivanje pločice do debljine **20–30 μm**
- brušenje, poliranje
- pokrivanje pokrovnim stakalcem (opcionalno)



<https://kgmcuprum.com/en/about/research-plants/petrographic-and-mineralogical-workroom/>

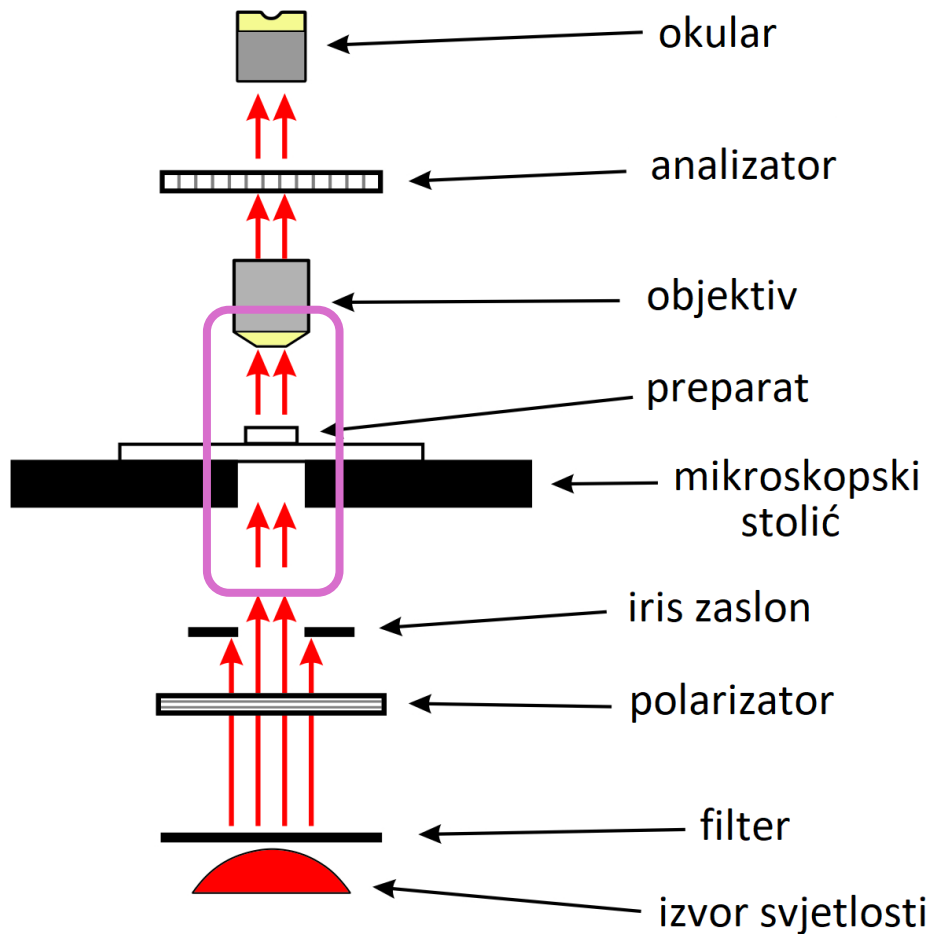


<https://www.anmin.uni-jena.de/en/158/thin-section-preparation>

Način rada na mikroskopu

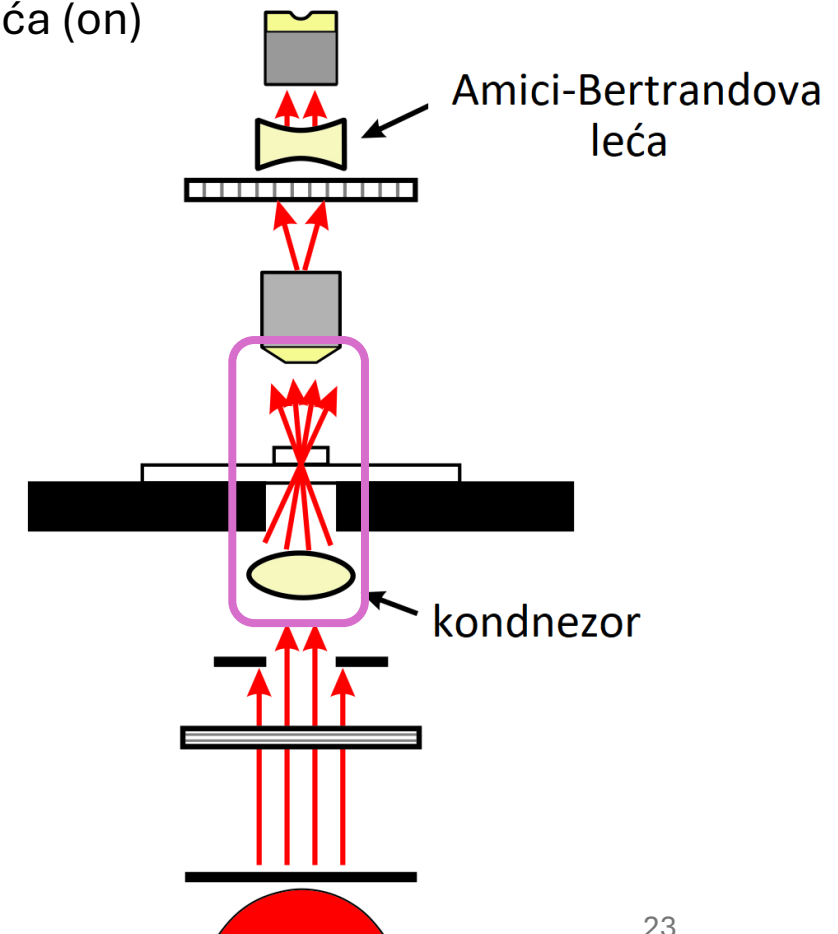
Ortoskopski uvjeti (ortoskopijska)

- rad u paralelnoj linearno polariziranoj svjetlosti → svjetlost na preparat pada pod pravim kutom



Konoskopski uvjeti (konoskopijska)

- rad u konvergentnoj linearno polariziranoj svjetlosti → kondenzor (on) → sve zrake svjetlosti fokusirane u središtu vidnog polja
- Amici-Bertrandova leća (on)
- veliko povećanje
- analizator (on)



Način rada na mikroskopu

Ortoskopski uvjeti (ortoskopiija)

a) bez analizatora

- oblik, veličina
- pukotine, kalavost
- indeksi loma (reljef), pseudoapsorpcija
- boja, pleokroizam

b) s analizatorom

- razlikovanje optički izotropnih i anizotropnih materijala
- interferencijske boje, dvolom, debljina preparata
- orijentacija indikatriše u mineralu, potamnjenja, optički karakter izduženja
- zoniranje, sraslaci

Konoskopski uvjeti (konoskopija)

- razlikovanje optički izotropnih materijala od optički anizotropnih izbrušenih okomito na optičku os
- razlikovanje optički jednoosnih i dvoosnih anizotropnih materijala
- razlikovanje optički pozitivnih i negativnih materijala
- procjenjivanje kuta optičkih osi

Optička svojstva minerala – ortoskopiija

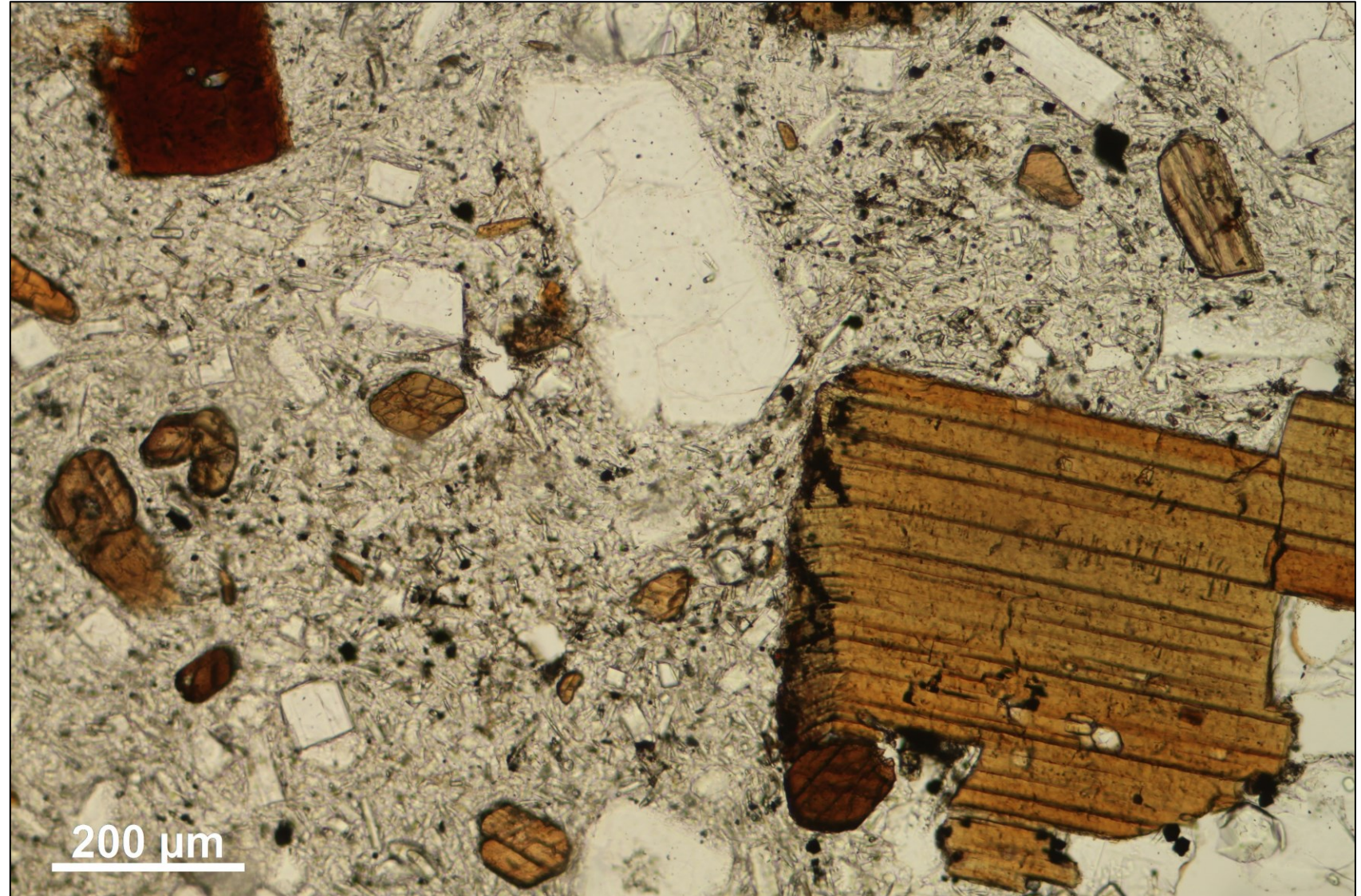
bez uključenog analizatora (N-)

Oblik = habitus presjeka (2D)

- idiomorfan (euhedralan)
- hipidiomorfan (subhedralan)
- alotriomorfan (anhedralan)

Veličina

Pukotine, kalavost



Optička svojstva minerala – ortoskopiја

bez uključenog analizatora (N-)

Relјef = izraženost presjeka, vidljivost njegovih kontura i pukotina

Optički relјef = razlika između indeksa loma minerala i lјepila (kanada balzama)

- pozitivan = $n_{\text{minerala}} > n_{\text{K.B.}}$
- negativan = $n_{\text{minerala}} < n_{\text{K.B.}}$
- $n_{\text{minerala}} \approx n_{\text{K.B.}} \rightarrow$ nema relјefa
- Jakost relјefa: razlika između n_{minerala} i $n_{\text{K.B.}}$
 - $\rightarrow$ veća razlika = viši relјef
 - $\rightarrow$ nizak, umјeren, visok, vrlo visok

RELJEF	RASPON INDEKSA LOMA
umјeren negativan	$n < 1,497$
nizak negativan	$n = 1,497 - 1,536$
bez relјefa	$n \approx 1,537$
nizak pozitivan	$n = 1,538 - 1,576$
umјeren pozitivan	$n = 1,577 - 1,656$
visok pozitivan	$n = 1,657 - 1,800$
vrlo visok pozitivan	$n > 1,800$

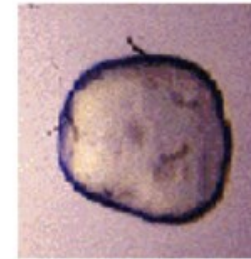
nizak



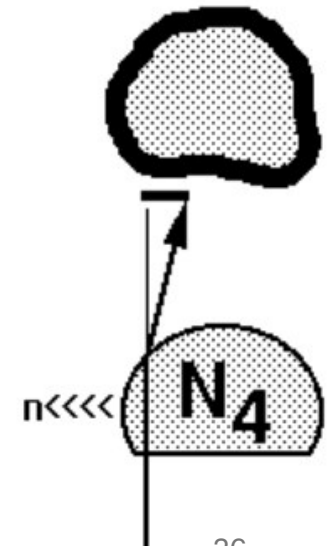
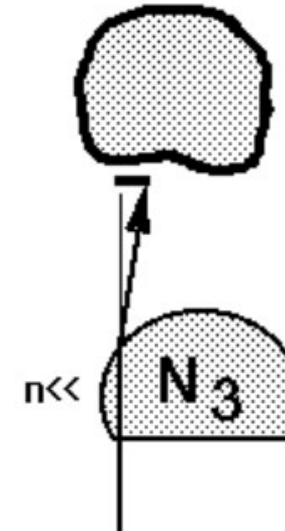
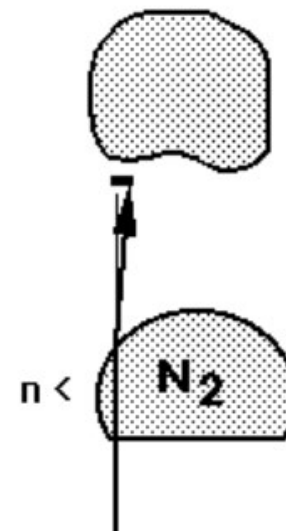
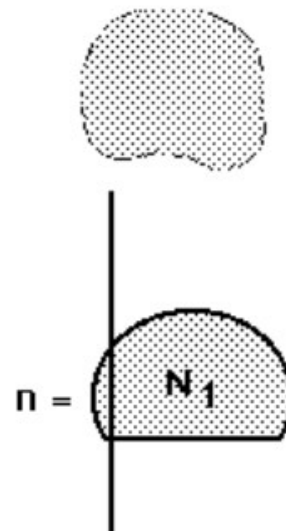
umјeren



visok



vrlo visok



Optička svojstva minerala – ortoskopiја

bez uključenog analizatora (N-)

Reljef = izraženost presjeka, vidljivost njegovih kontura i pukotina

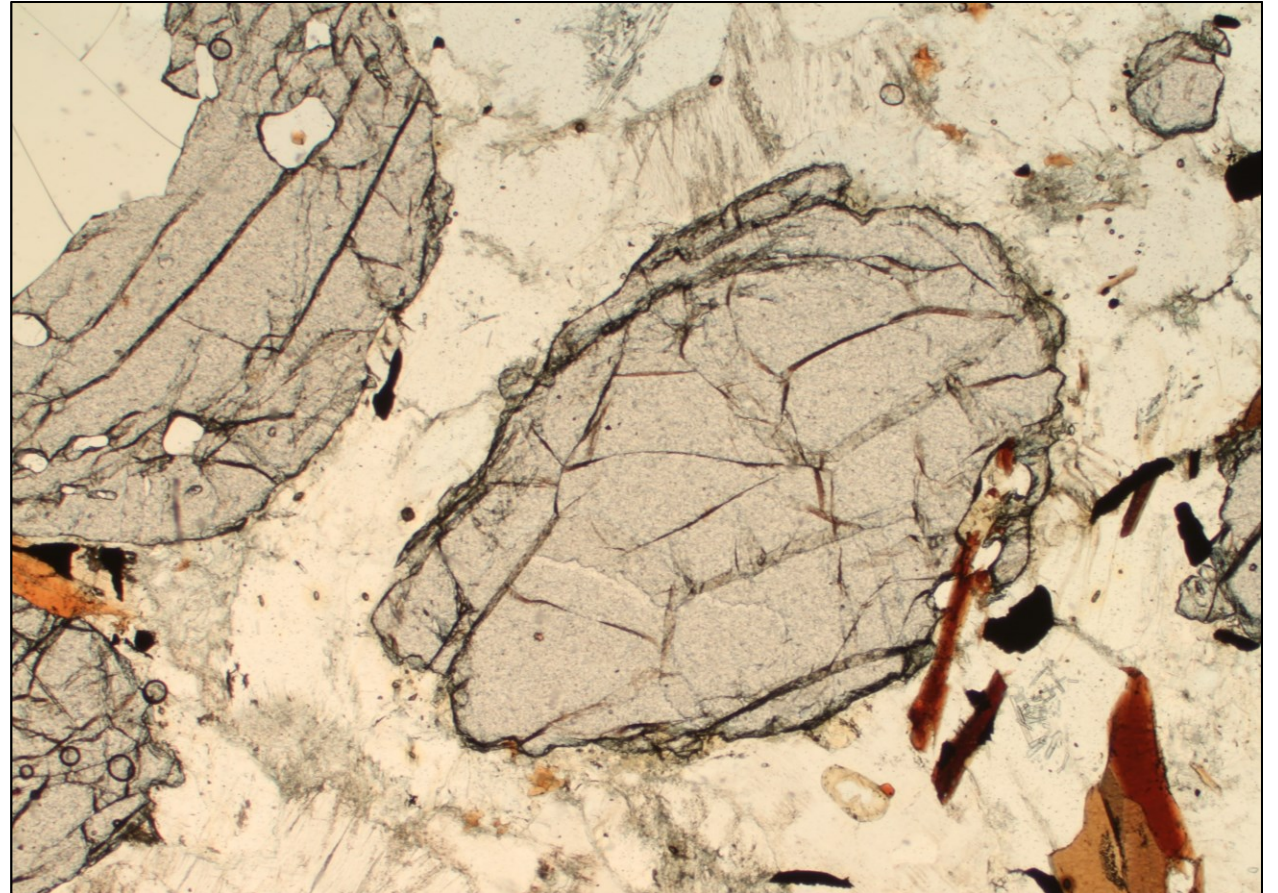
Optički reljef = razlika između indeksa loma minerala i ljepljiva (kanada balzama)

- pozitivan = $n_{\text{minerala}} > n_{\text{K.B.}}$
- negativan = $n_{\text{minerala}} < n_{\text{K.B.}}$
- $n_{\text{minerala}} \approx n_{\text{K.B.}} \rightarrow$ nema reljefa
- Jakost reljefa: razlika između n_{minerala} i $n_{\text{K.B.}}$
 - $\rightarrow$ veća razlika = viši reljef
 - $\rightarrow$ nizak, umjeren, visok, vrlo visok

Reljef površine = neravnomjernost pri brušenju preparata abrazivom

- minerali s (vrlo) visokim reljefom $\rightarrow$ **šagren**

šagren na granatu



Optička svojstva minerala – ortoskopijska

bez uključenog analizatora (N-)

Reljef = izraženost presjeka, vidljivost njegovih kontura i pukotina

Pseudoapsorpcija = promjena reljefa koja se opaža pri zakretanju mikroskopskog stolića za 90°

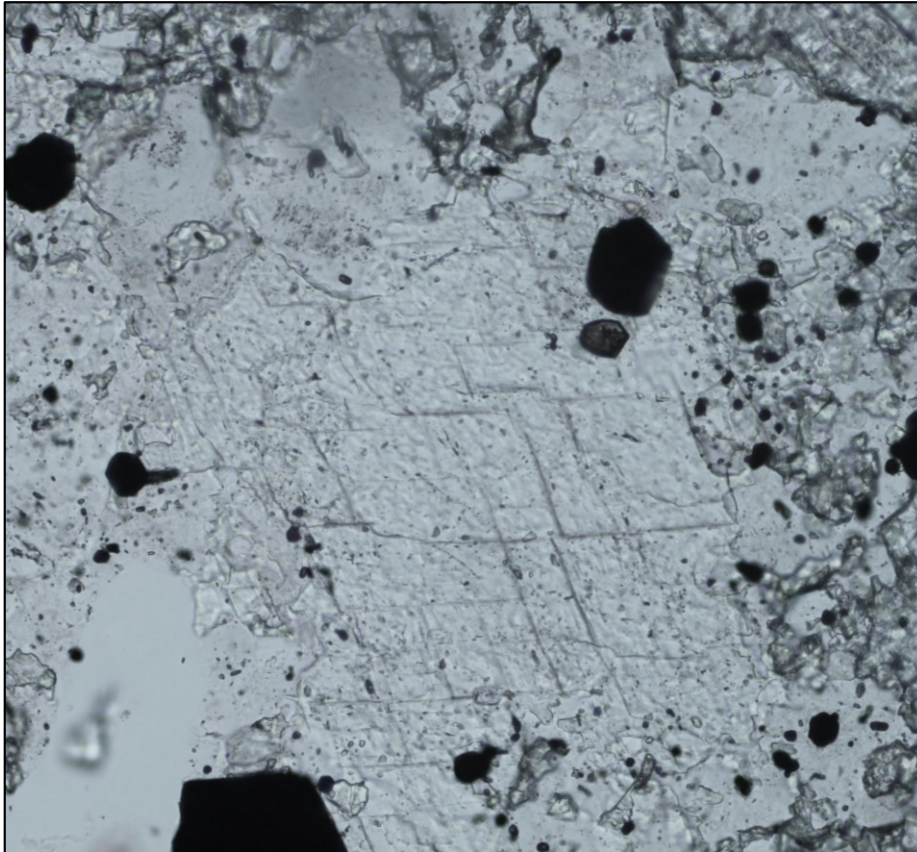
→ kod minerala s velikim dvolomom gdje jedna dvolomom nastala zraka ima $n \approx n_{K.B.} (1,537)$

Primjer:

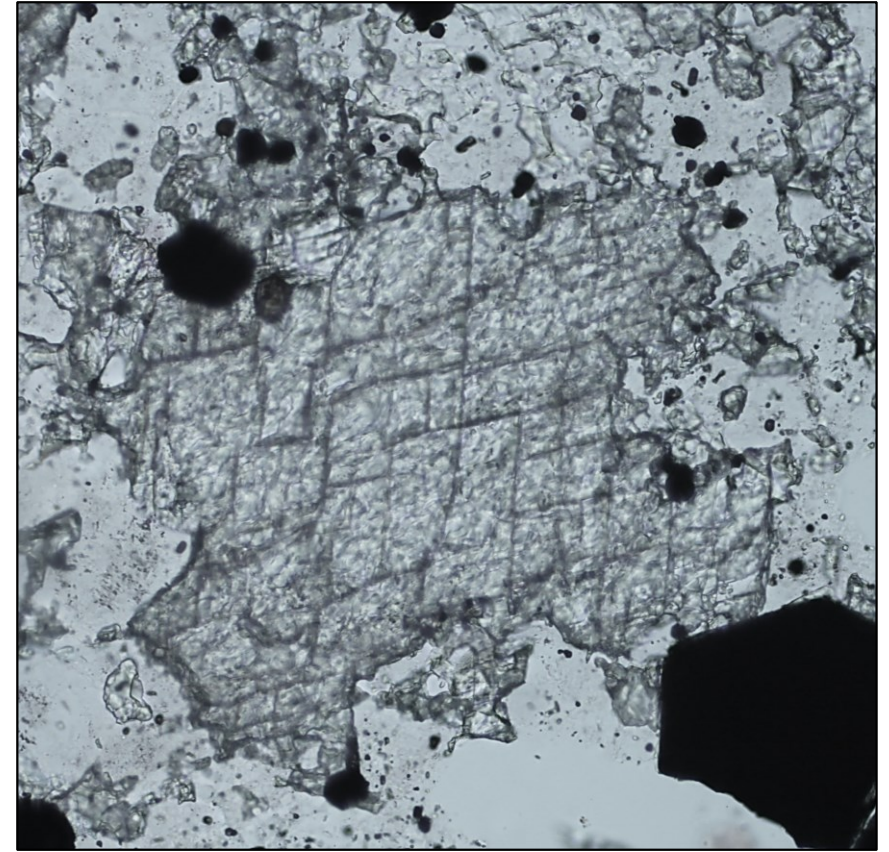
kalcit

$n_o = 1,658$

$n_e = 1,486$



90°
↻



Optička svojstva minerala – ortoskopijska

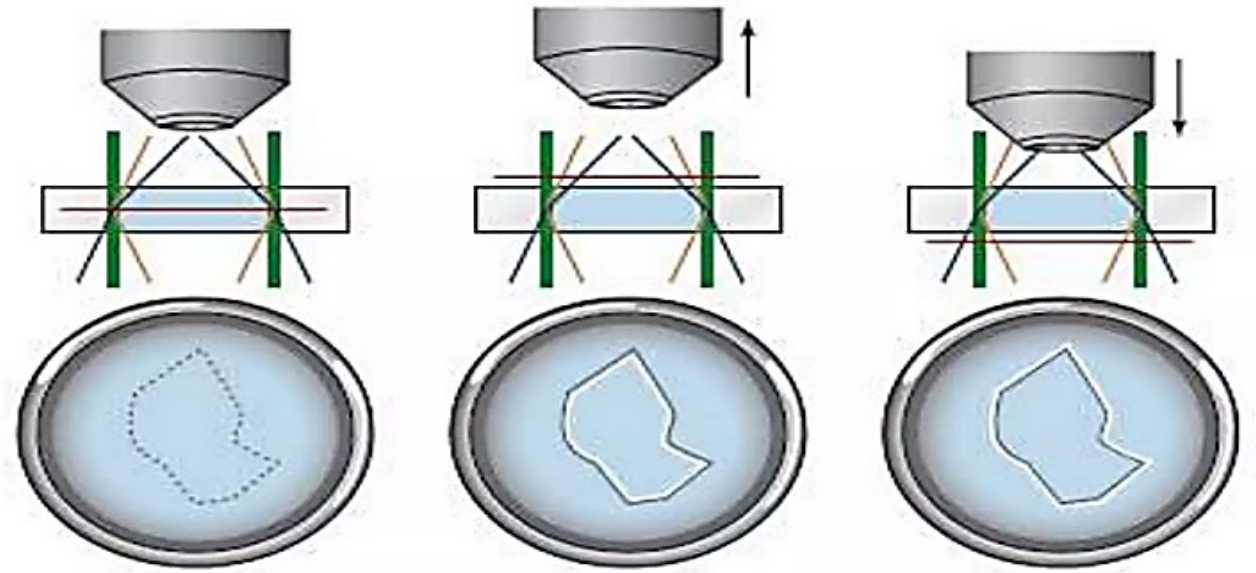
bez uključenog analizatora (N-)

Određivanje predznaka: metoda Beckeove linije

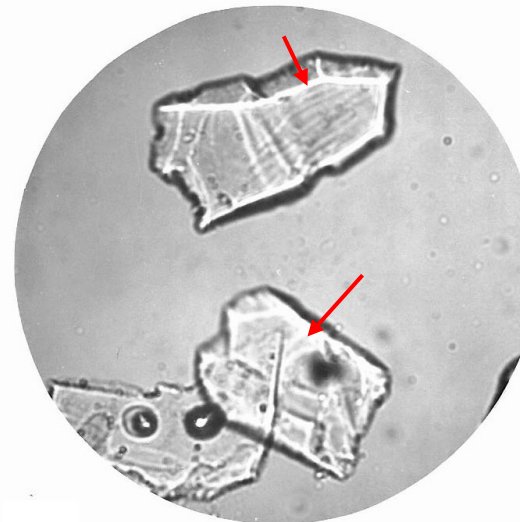
1. Objektiv srednjeg ili velikog povećanja
2. Smanjeni intenzitet svjetlosti
3. Fokuseranje oštre granice mineralnog zrna u kontaktu s k.b.

4. Udaljavanje objektiva od preparata → smanjenje oštrote slike → difuzna svjetla linija (**Beckeova linija**) duž granice putuje u tvar **većeg** indeksa loma ili

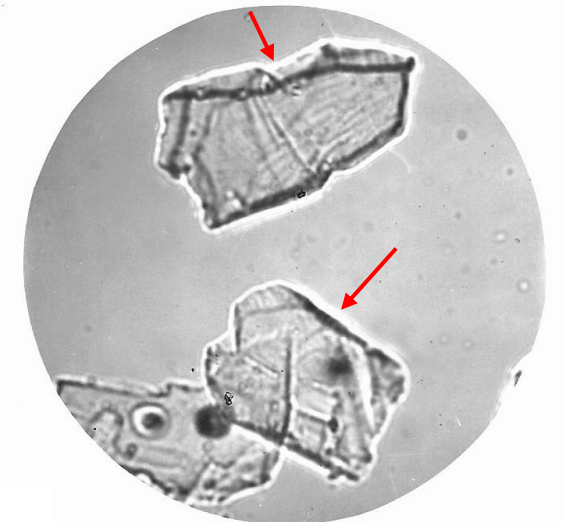
Približavanje objektiva preparatu → smanjenje oštrote slike → svjetla linija duž granice putuje u tvar **manjeg** indeksa loma



$$n_{\text{minerala}} > n_{\text{K.B.}}$$



udaljavanje
objektiva



približavanje
objektiva

Optička svojstva minerala – ortoskopijska

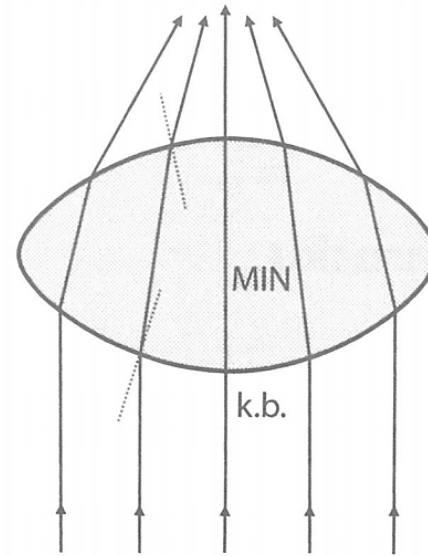
bez uključenog analizatora (N-)

Određivanje predznaka: metoda Beckeove linije

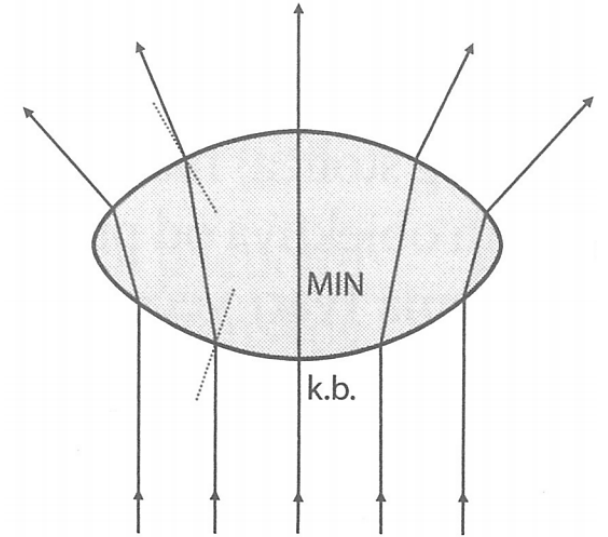
1. Objektiv srednjeg ili velikog povećanja
2. Smanjeni intenzitet svjetlosti
3. Fokussiranje oštre granice mineralnog zrna u kontaktu s k.b.
4. **Udaljavanje** objektiva od preparata → smanjenje oštrote slike → difuzna svjetla linija (**Beckeova linija**) duž granice putuje u tvar **većeg** indeksa loma

ili

Približavanje objektiva preparatu → smanjenje oštrote slike → svjetla linija duž granice putuje u tvar **manjeg** indeksa loma



$n_{\text{minerala}} > n_{\text{K.B.}}$
zrno $\approx$ konvergentna leća
snop se koncentrira iznad
minerala



$n_{\text{minerala}} < n_{\text{K.B.}}$
zrno $\approx$ divergentna leća
snop se koncentrira izvan
minerala

Optička svojstva minerala – ortoskopiја

bez uključenog analizatora (N-)

Vlastita boја minerala = posljedica apsorpcije bijele svjetlosti u mineralu

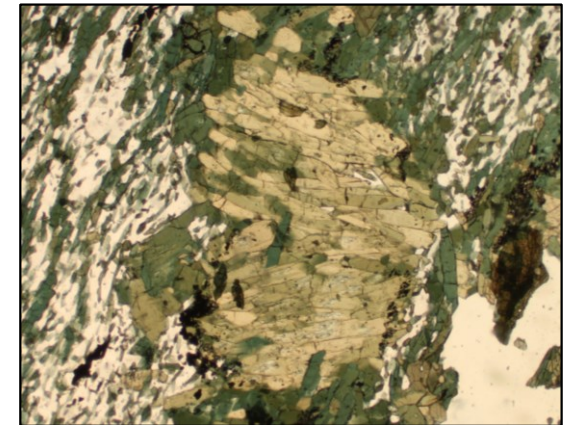
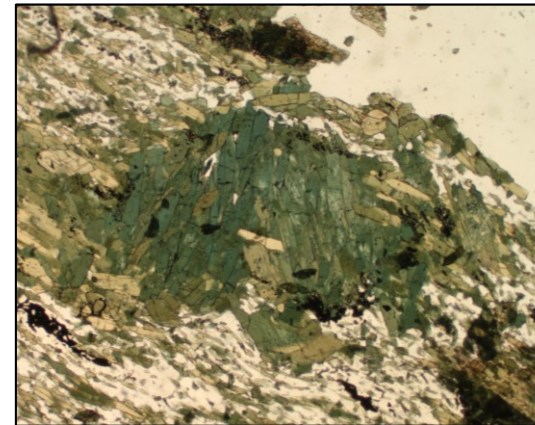
- izotropni minerali – 1 boја
- anizotropni minerali – apsorpcija ovisi o smjeru širenja svjetlosti

Primjeri: turmalin, biotit, amfiboli, klorit

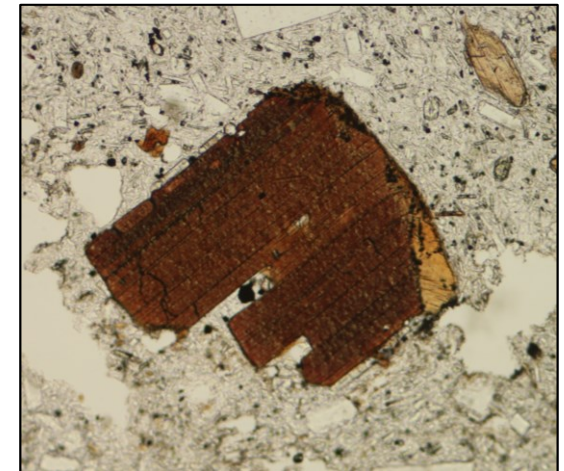
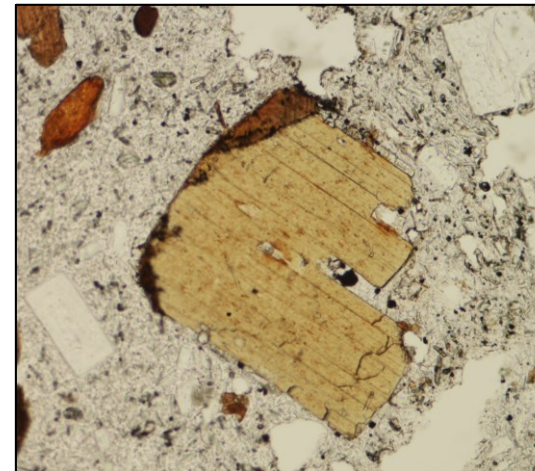
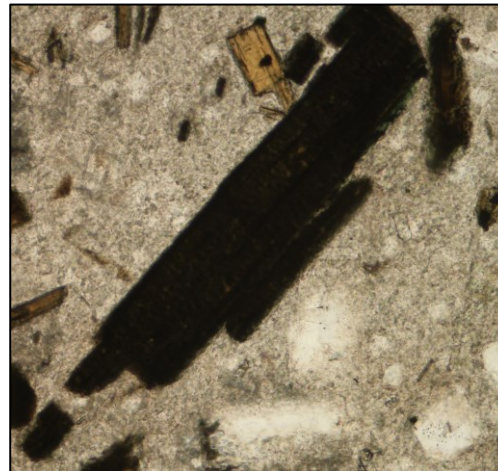
Pleokroizam (polikroizam) = različita vlastita boја minerala za svaki pravac dvolomom nastalih zraka mineral različito obojen u različitim smjerovima

Dikroizam – kod jednoosnih minerala (E i O zraka → 2 boје)

Trikroizam – kod dvoosnih minerala (X, Y, Z titrajni pravci → 3 boје)



biotit



amfiboli

Optička svojstva minerala – ortoskopiја

bez uključenog analizatora (N-)

Vlastita boja minerala = posljedica apsorpcije bijele svjetlosti u mineralu

- izotropni minerali – 1 boja
- anizotropni minerali – apsorpcija ovisi o smjeru širenja svjetlosti

Pleokroizam (polikroizam) = različita vlastita boja minerala za svaki pravac dvolomom nastalih zraka mineral različito obojen u različitim smjerovima

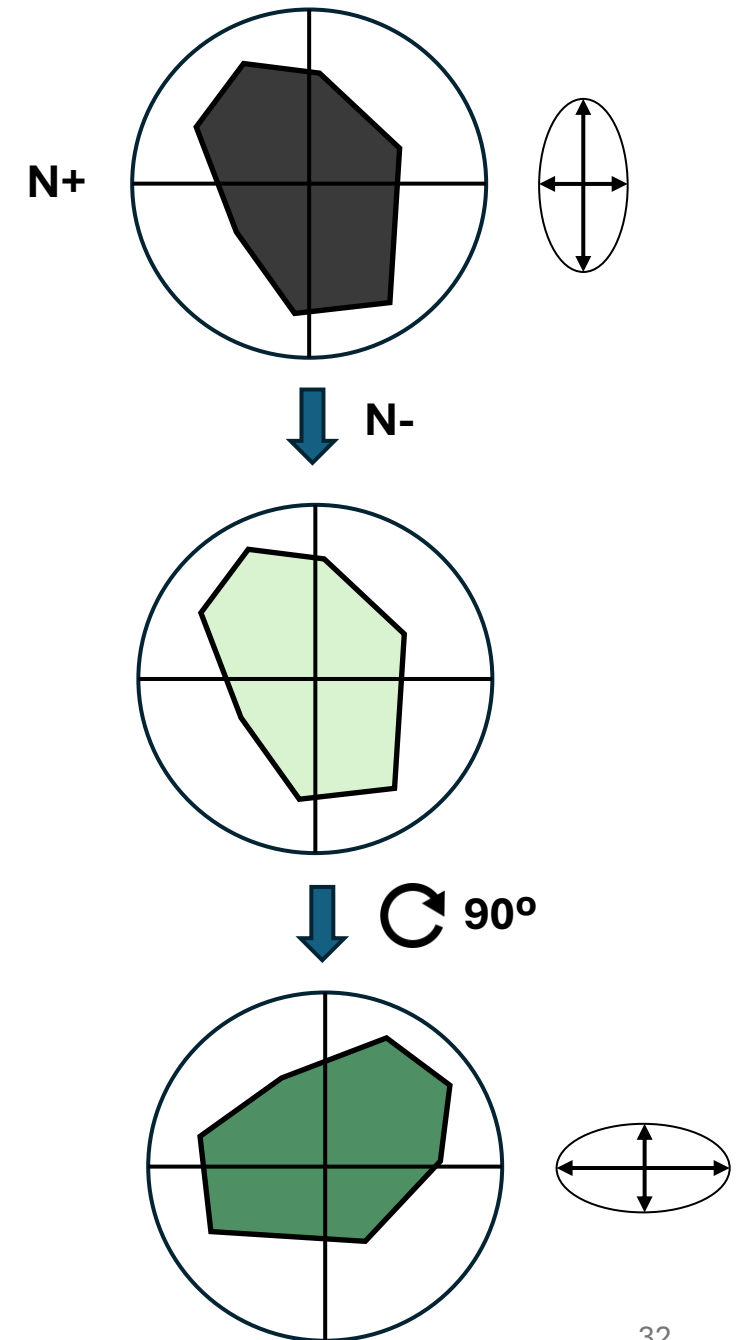
Dikroizam – kod jednoosnih minerala (E i O zraka → 2 boje)

Trikroizam – kod dvoosnih minerala (X, Y, Z titrajni pravci → 3 boje)

Određivanje:

1. namještanje titrajnog pravca (t.p.) u položaj paralelan t.p. polarizatora → položaj potamnjenja
2. isključivanje analizatora → vlastita boja za jedan t.p.
3. zakret za 90° → vlastita boja za drugi t.p.

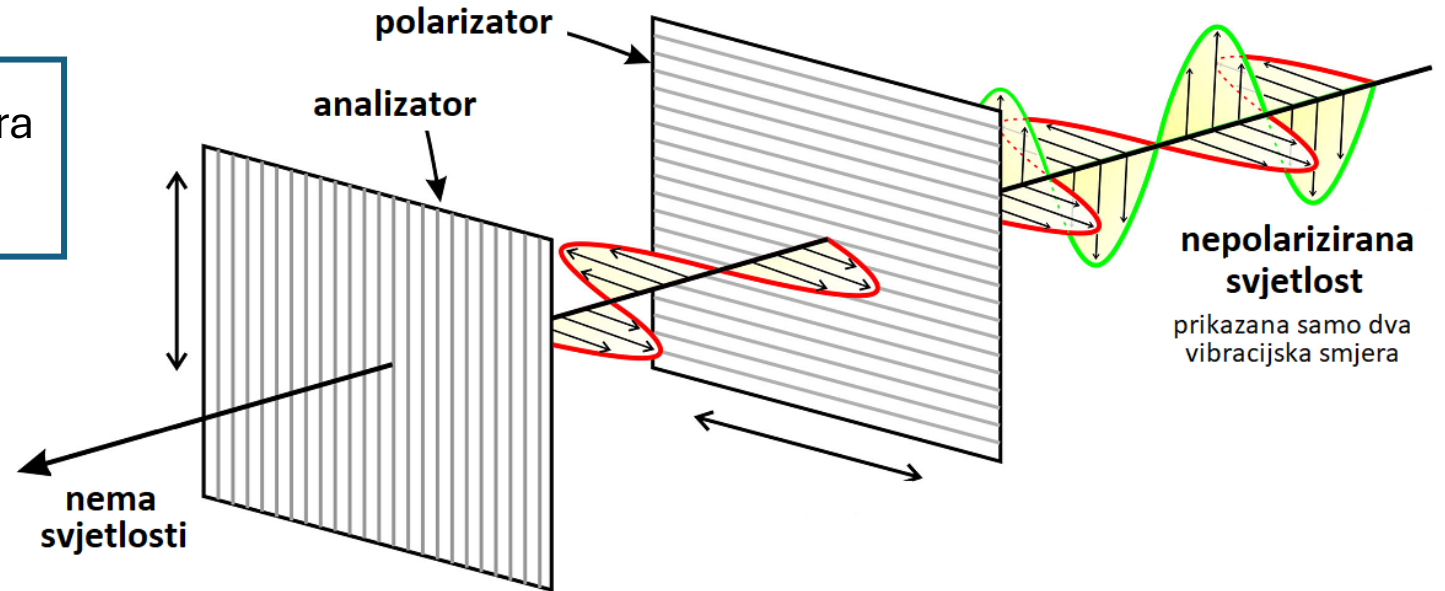
! U presjeku okomitom na optičku os nema pleokroizma.



Optička svojstva minerala – ortoskopijska

uključeni analizator (N+)

! Vibracijske ravnine polarizatora i analizatora međusobno su okomite.

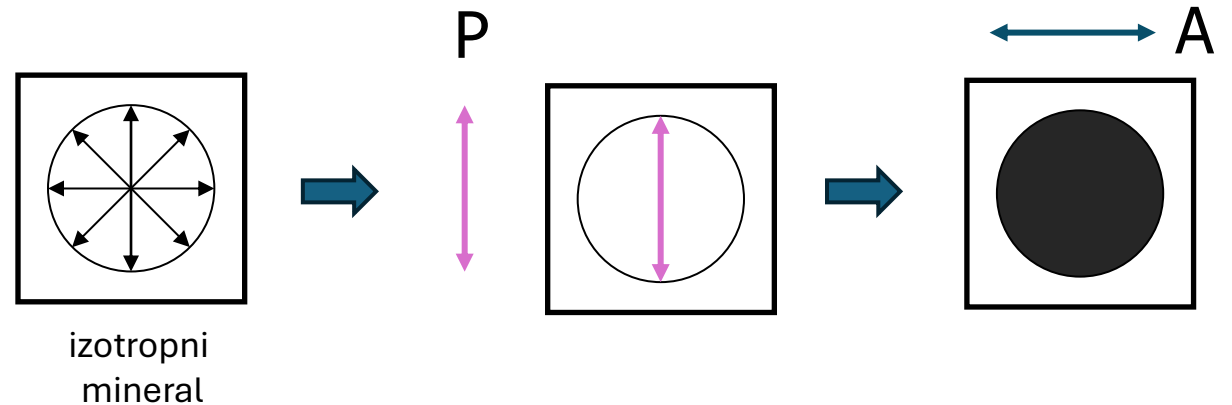


Izotropni minerali:

- svjetlost kroz mineral vibrira istim smjerom kao nakon prolaska kroz polarizator → **uvijek tamni s uključenim analizatorom**

Anizotropni minerali:

- presjek točno okomit na o.o. → svjetlost se širi duž o.o. → nema dvoloma → tamni s uključenim analizatorom

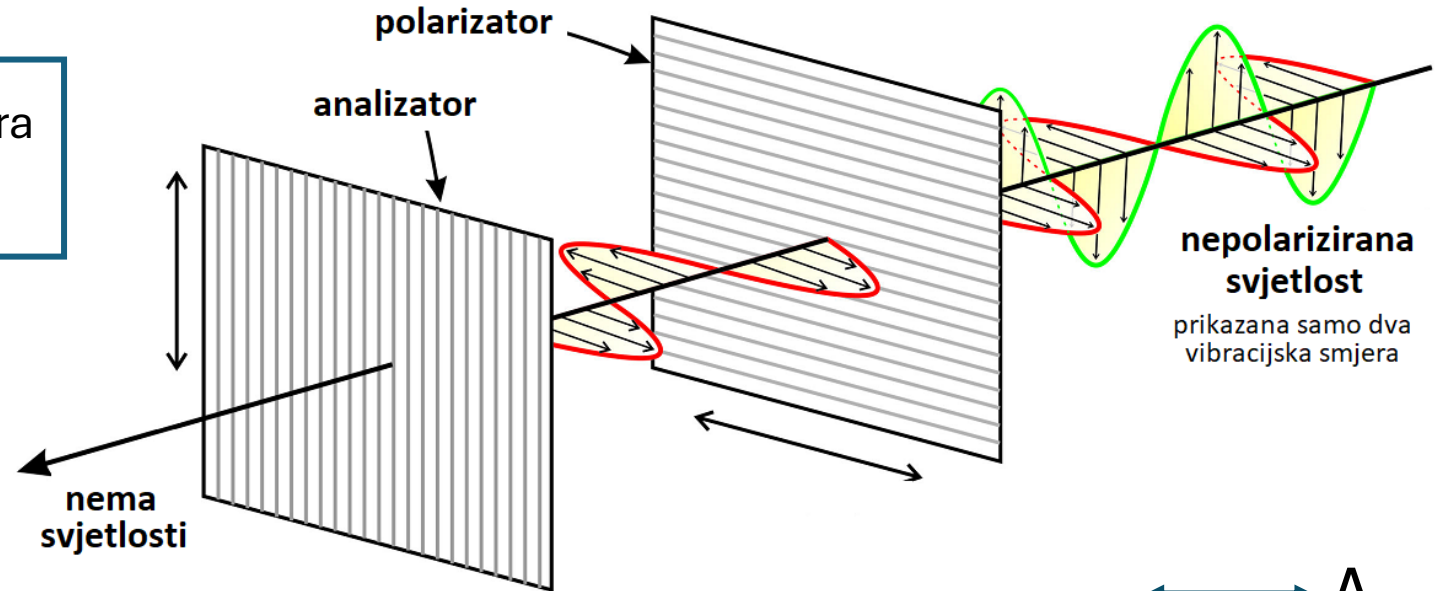


? Kako razlikovati
→ konoskopija

Optička svojstva minerala – ortoskopija

uključeni analizator (N+)

! Vibracijske ravnine polarizatora i analizatora međusobno su okomite.

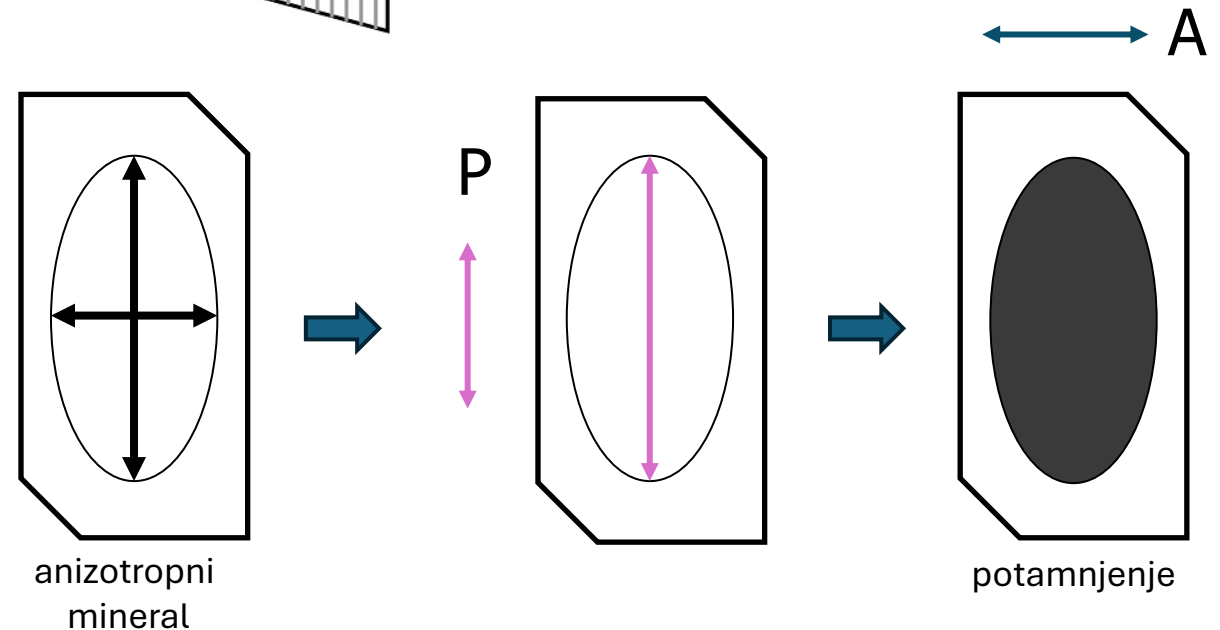


Izotropni minerali:

- svjetlost kroz mineral vibrira istim smjerom kao nakon prolaska kroz polarizator → **uvijek tamni s uključenim analizatorom**

Anizotropni minerali:

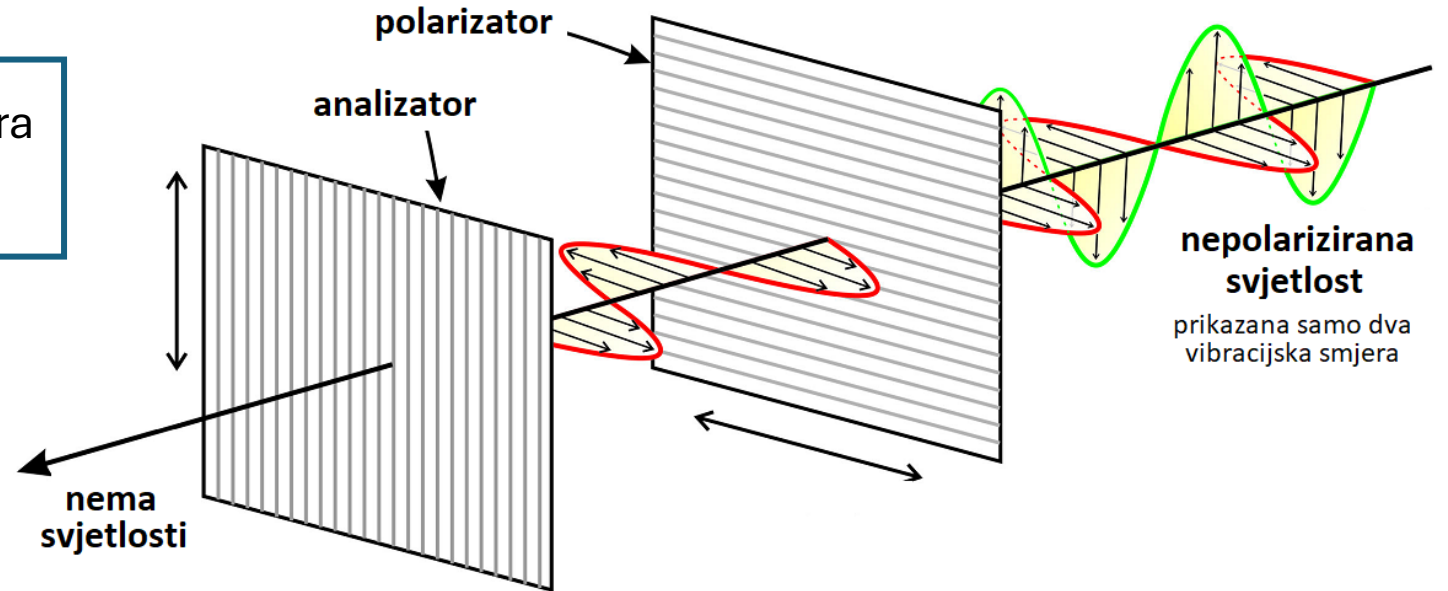
- presjek točno okomit na o.o. → svjetlost se širi duž o.o. → nema dvoloma → tamni s uključenim analizatorom
- ostali presjeci → dvolom → interferencijske boje + **potamnjenje 4 puta u 360°**



Optička svojstva minerala – ortoskopijska

uključeni analizator (N+)

! Vibracijske ravnine polarizatora i analizatora međusobno su okomite.

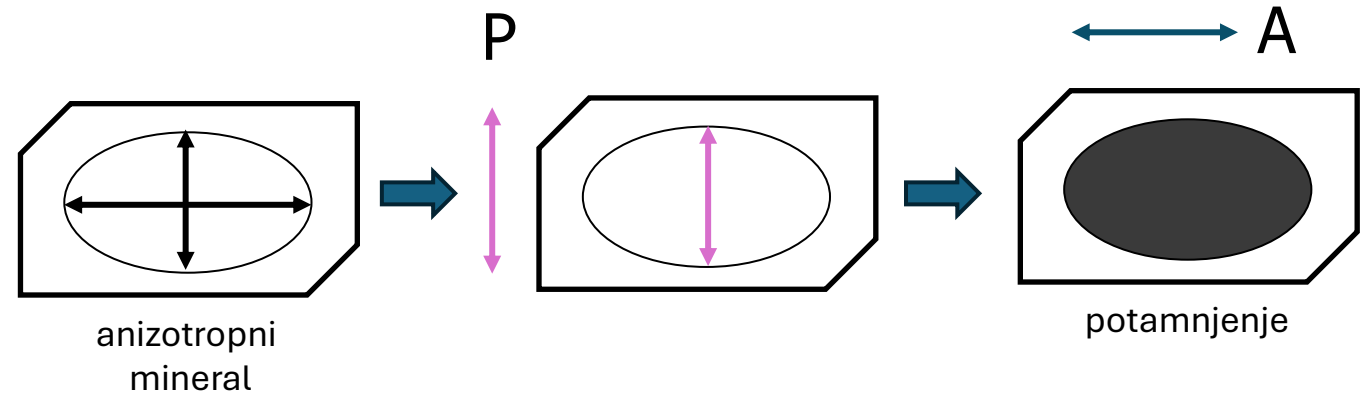


Izotropni minerali:

- svjetlost kroz mineral vibrira istim smjerom kao nakon prolaska kroz polarizator → **uvijek tamni s uključenim analizatorom**

Anizotropni minerali:

- presjek točno okomit na o.o. → svjetlost se širi duž o.o. → nema dvoloma → tamni s uključenim analizatorom
- ostali presjeci → dvolom → interferencijske boje + **potamnjenje 4 puta u 360°**



Optička svojstva minerala – ortoskopijska

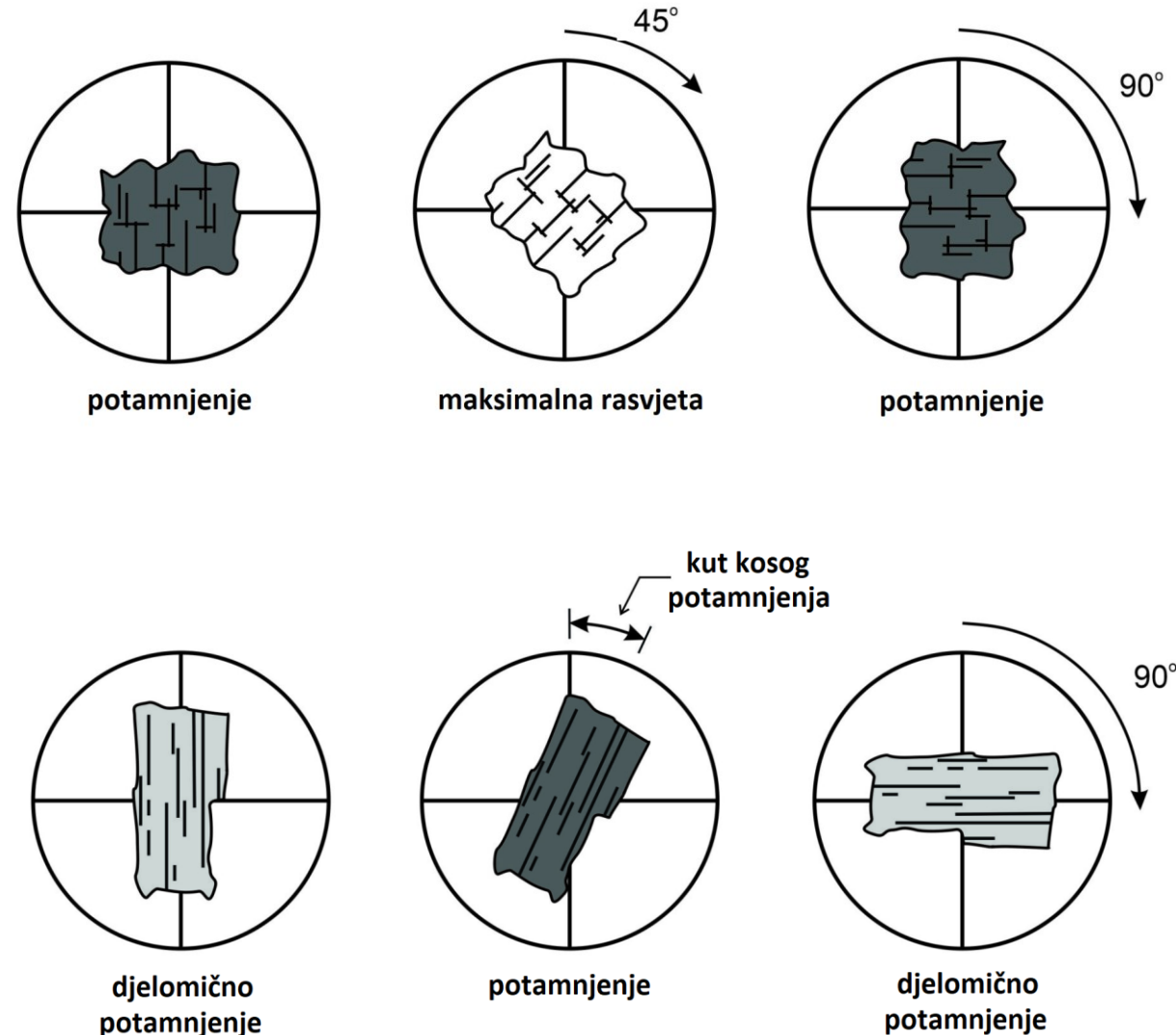
uključeni analizator (N+)

Potamnjenje

- **Paralelno** – vibracijski smjerovi dvolomom nastalih valova (orijentacija indikatriše u mineralu) paralelni s geometrijskim elementima
- **Koso** – geometrijski elementi zatvaraju neki kut s nitima križa; vibracijski smjerovi anizotropnog presjeka nisu paralelni s geom. elementima

! Kut kosog potamnjenja karakterističan je za pojedine minerale.

1. mineral se postavlja u položaj u kojem su geom. elementi paralelni s nitima nitnog križa → očitavanje kuta
2. analizator on
3. mineral se zakreće dok ne dođe u položaj tame → očitavanje kuta

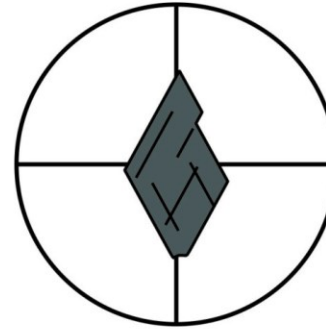


Optička svojstva minerala – ortoskopijska

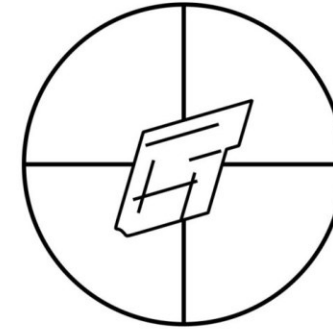
uključeni analizator (N+)

Potamnjenje

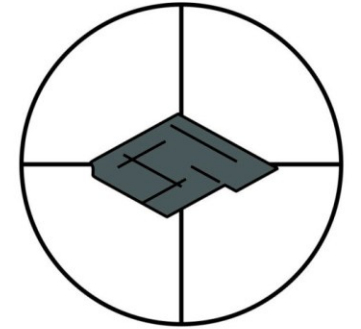
- **Simetrijsko** – specijalni slučaj kosog potamnjenja, vibracijski smjerovi postavljeni simetrično u odnosu na dva prisutna geom. elementa



potamnjenje

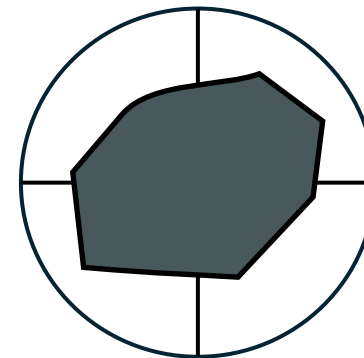


maksimalna rasvjeta



potamnjenje

- Ne može se odrediti – na mineralnom presjeku nisu vidljivi geometrijski elementi (kalavost, vanjske plohe zrna)



?

Optička svojstva minerala – ortoskopiја

uključeni analizator (N+)

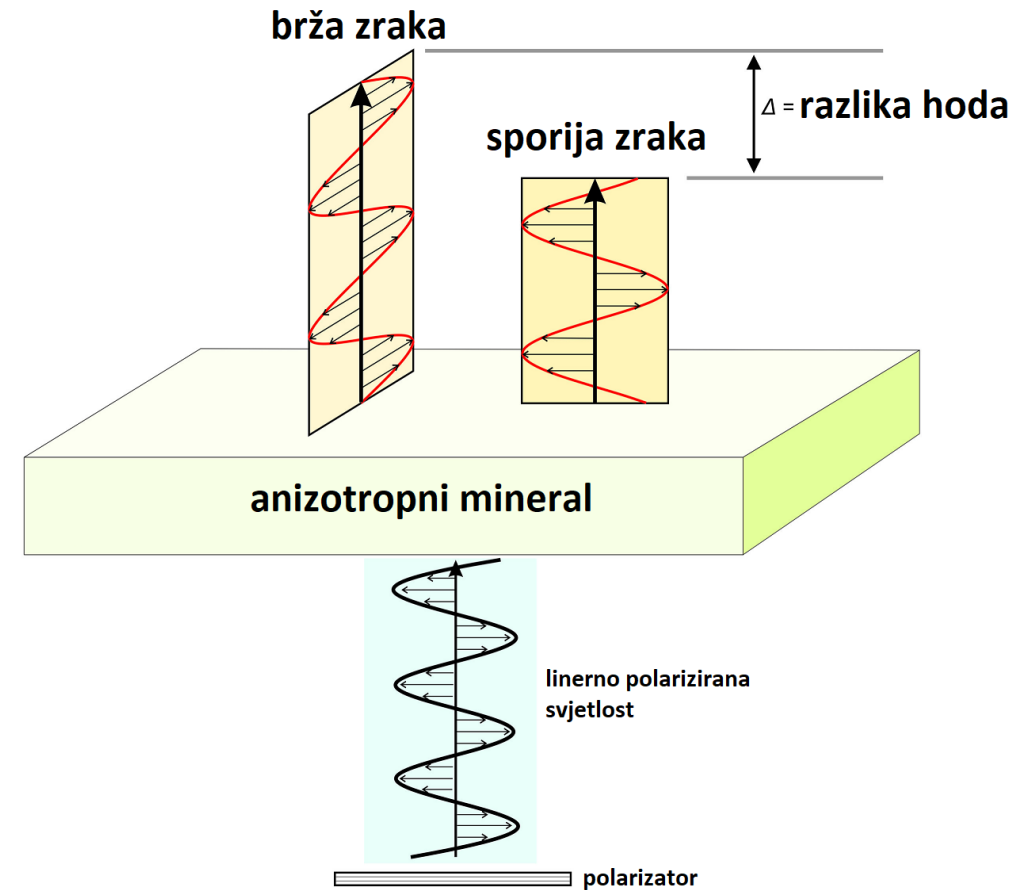
Interferencijske boje minerala = boje nastale interferencijom komponenata polariziranih zraka svjetlosti nastalih dvolomom u anizotropnom mineralu, a prilikom njihovog prolaska kroz analizator

Anizotropni minerali:

2. ostali presjeci → dvolom u mineralu → 2 nastale zrake
imaju različite brzine → **razlika u hodu (Δ)** = udaljenost za koju sporija zraka zaostaje za bržom

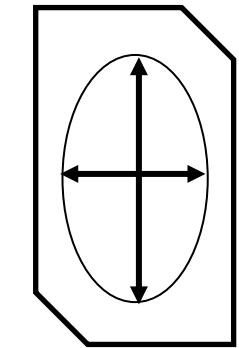
! U analizatoru se dva titrajna pravca zraka nastalih dvolomom svode na jedan → propušta komponentu paralelnu sa vibracijskim smjerom → mineral je osvjetljen →

interferencijska boja



Optička svojstva minerala – ortoskopijska

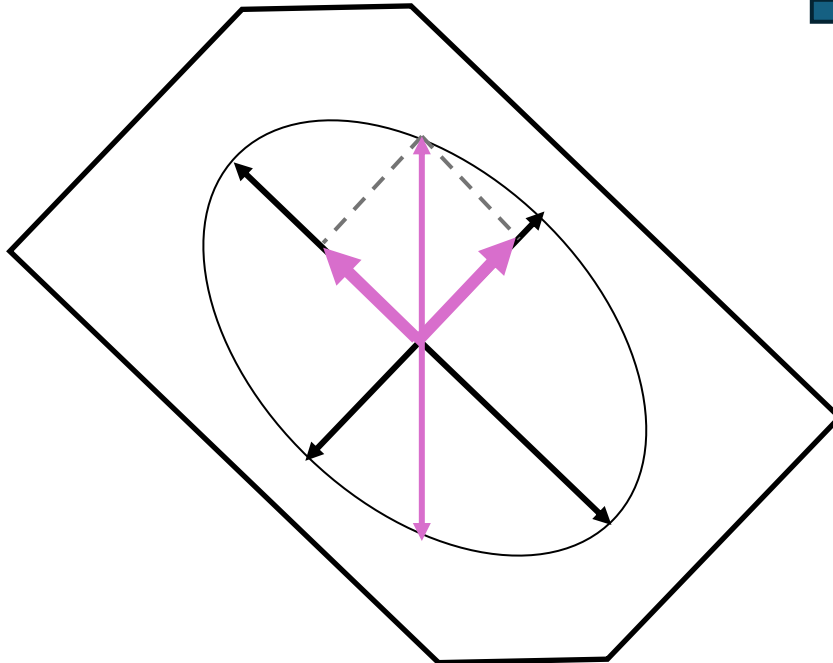
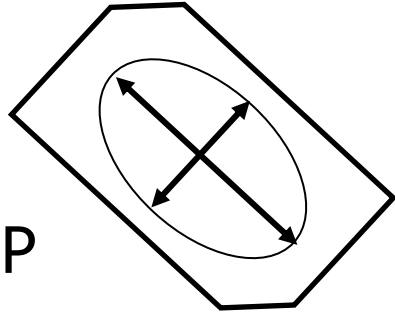
uključeni analizator (N+)



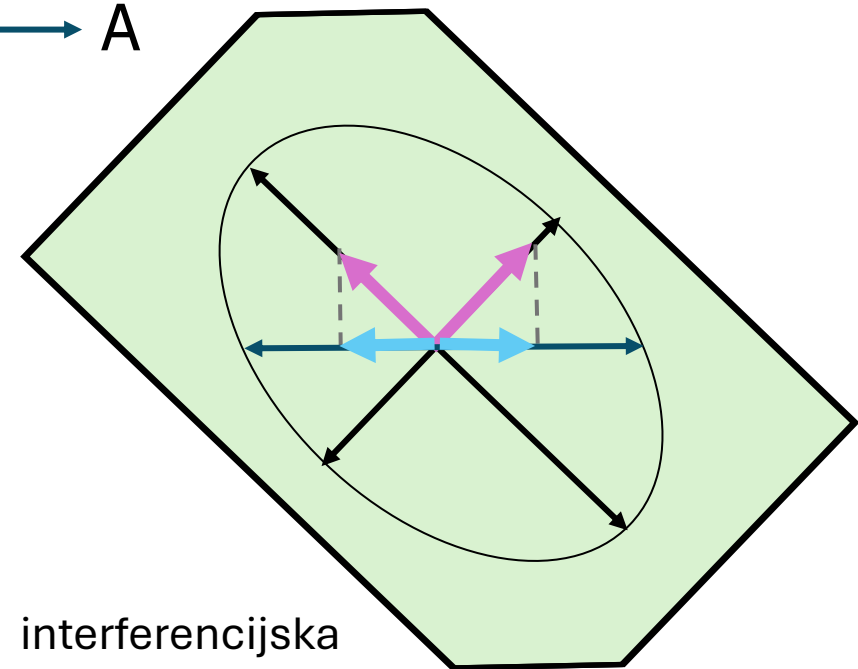
anizotropni mineral



P



A

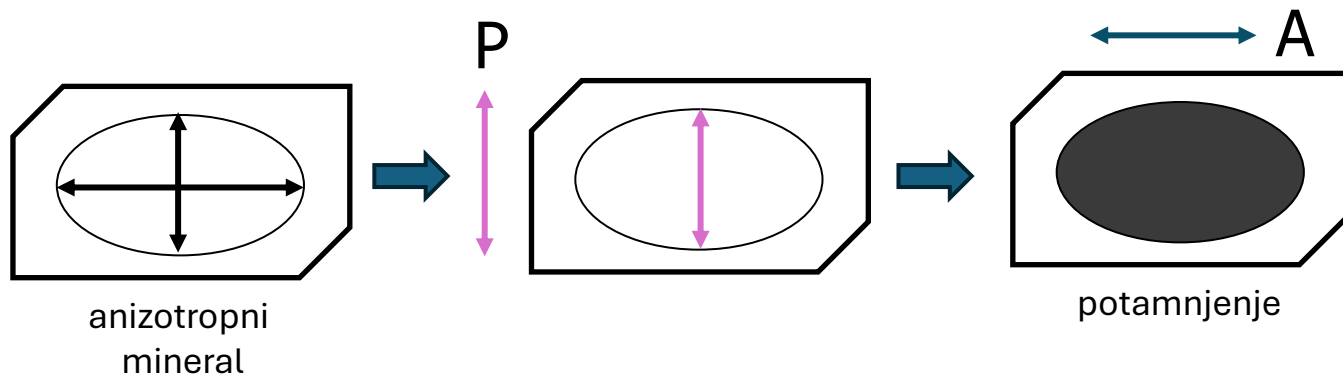
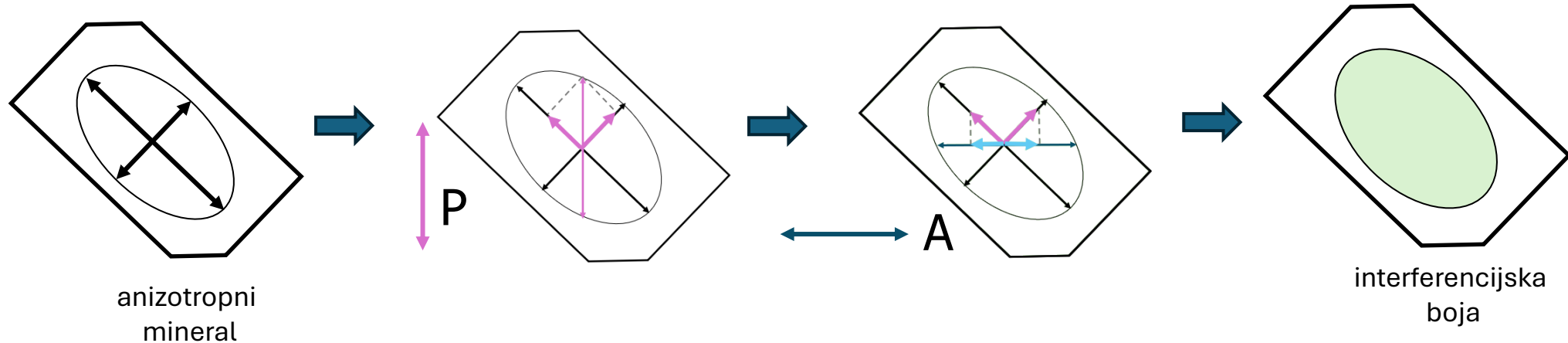
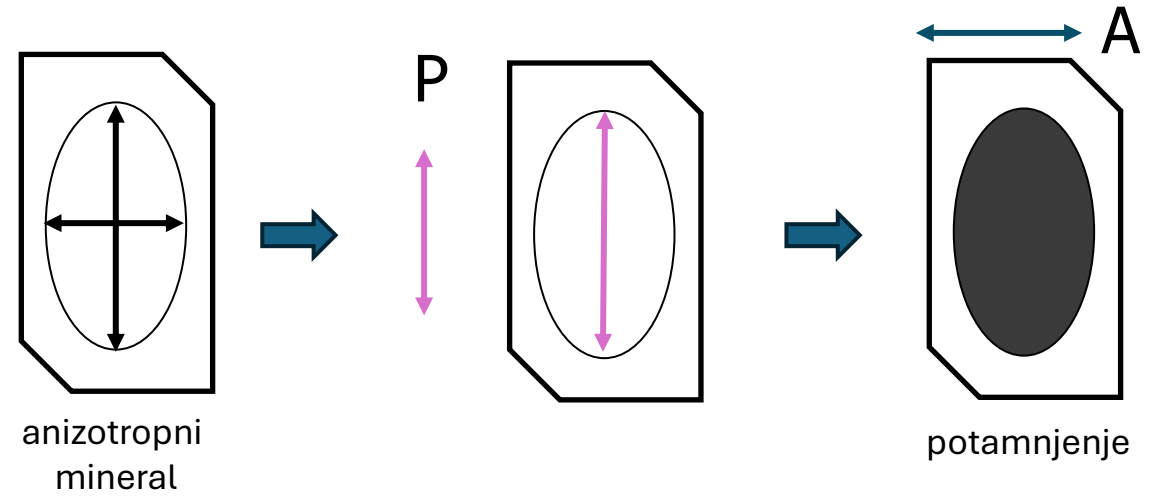


interferencijska
boja

! Najviše svjetla prolazi uz kut od 45°
→ **položaj maksimalne rasvjete**

Optička svojstva minerala – ortoskopijska

uključeni analizator (N+)



Optička svojstva minerala – ortoskopiја

uključeni analizator (N+)

Interferencijske boje minerala = boje nastale interferencijom komponenata polariziranih zraka svjetlosti nastalih dvolomom u anizotropnom mineralu, a prilikom njihovog prolaska kroz analizator

! Ovisi o razlici u hodu (Δ), tj. o:

- debljini preparata
- apsolutnom indeksu loma minerala (n)

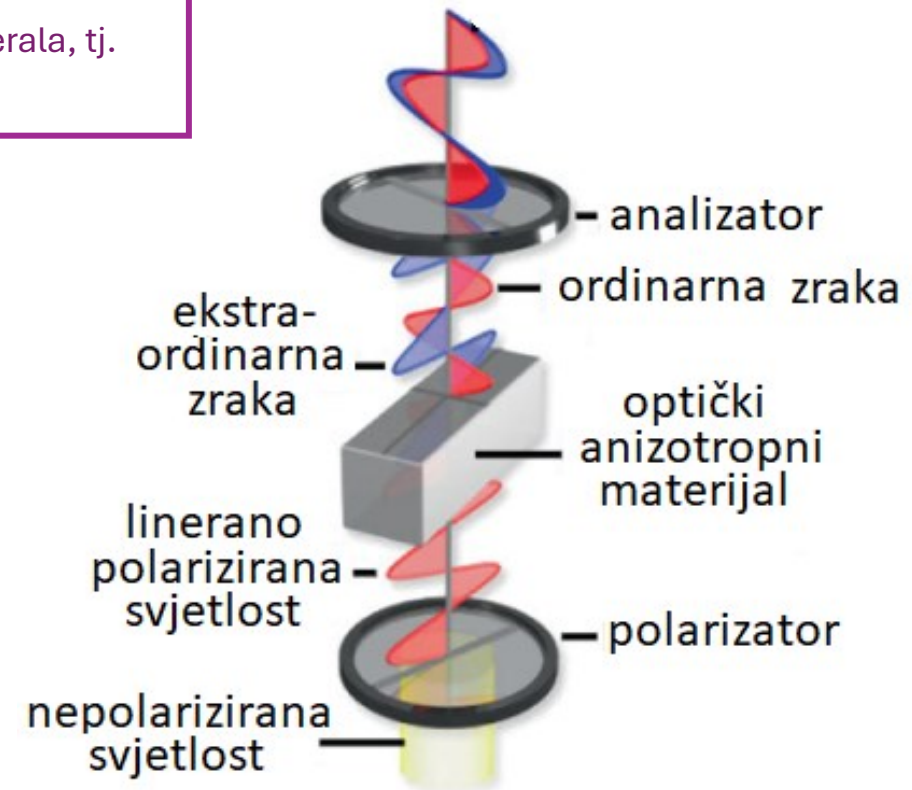
$$\Delta = d (n_2 - n_1)$$

n_1, n_2 = indeksi loma zraka nastalih dvolom
 d = duljina puta (debljina minerala, tj. preparata)

Redovi interferencijskih boja:

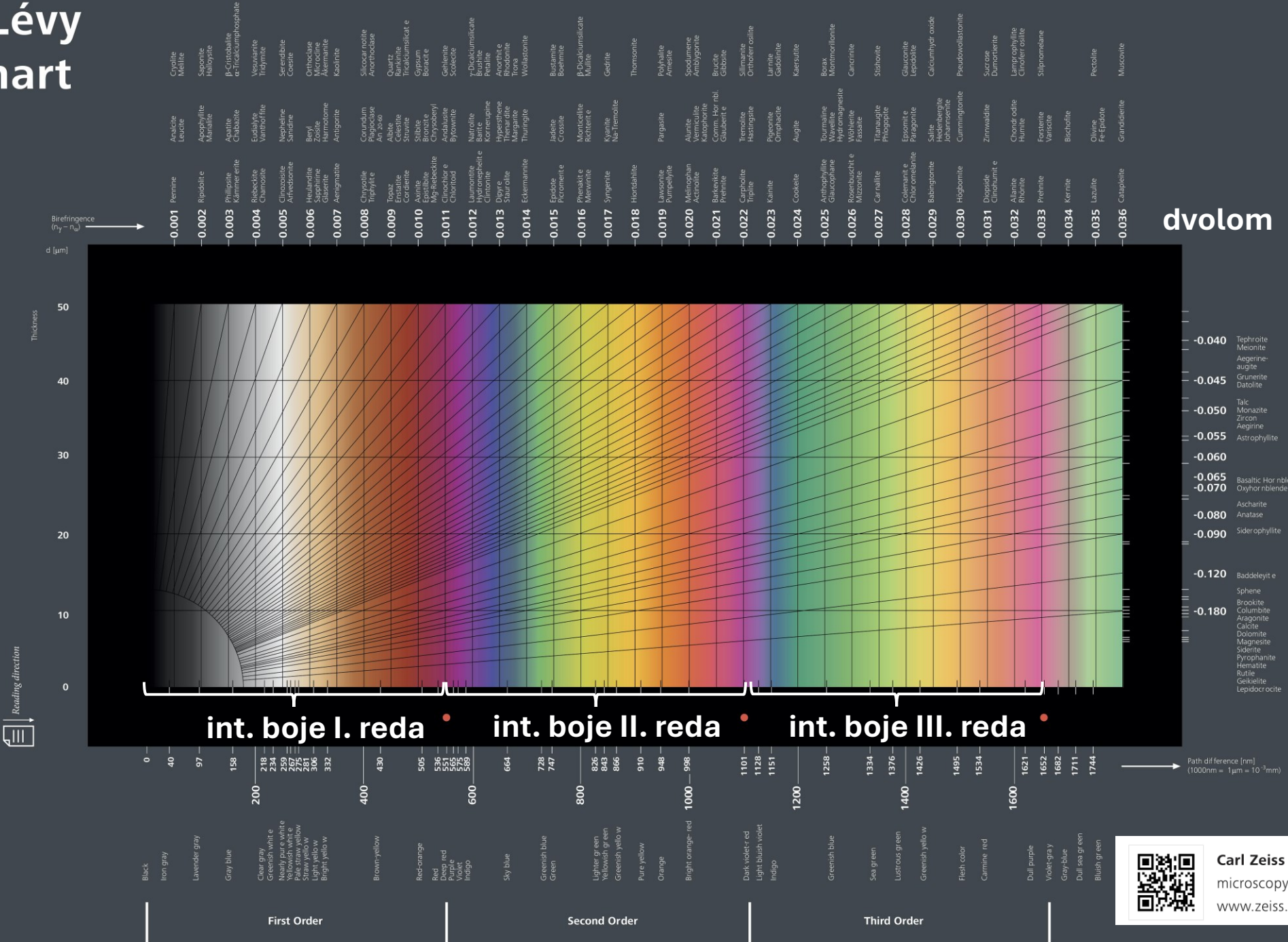
- 1λ = int. boje I. reda (0 – 550 nm)
 - 2λ = int. boje II. reda (550 – 1100 nm)
 - 3λ = int. boje III. reda (1100 – 1650 nm)
 - $n\lambda$ = int. boje n-tog reda
 - ...
 - bijela int. boja višeg reda (svijetlosiva boja)
- žive boje
- blijede boje

→ zadovoljen uvjet za pogašenje svjetlosti čitavog niza valnih duljina, ali istovremeno dolazi do pojačanja svjetlosti iz različitih dijelova vidljivog spektra



Michel-Lévy Color Chart

debljina preparata (µm)



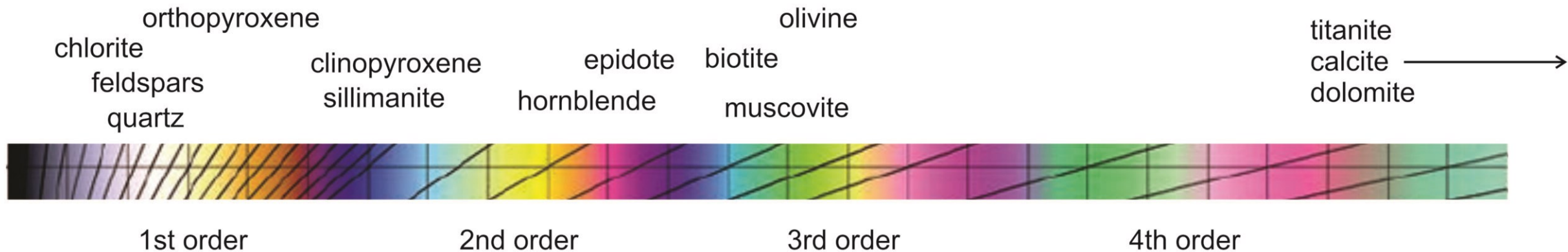
Carl Zeiss Microscopy GmbH
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com/microscopy

Optička svojstva minerala – ortoskopiја

uključeni analizator (N+)

Interferencijske boje minerala

DVOLOM	VELIČINA DVOLOMA, δ ($n_z - n_x$)	INTERFERENCIJSKA BOJA U IZBRUSKU DEBLJINE 0,03 mm
vrlo mali	< 0,0035	tamnosiva
mali	0,0035 – 0,0094	svijetlosiva do bijela I. reda
srednji	0,0095 – 0,0184	žuta do crvena I. reda
prilično velik	0,0185 – 0,0274	plava do zelena II. reda
velik	0,0275 – 0,0364	žuta do crvena II. reda
vrlo velik	0,0365 – 0,0545	plava do crvena III. reda
ekstremno velik	> 0,0545	siva do bijela viših redova

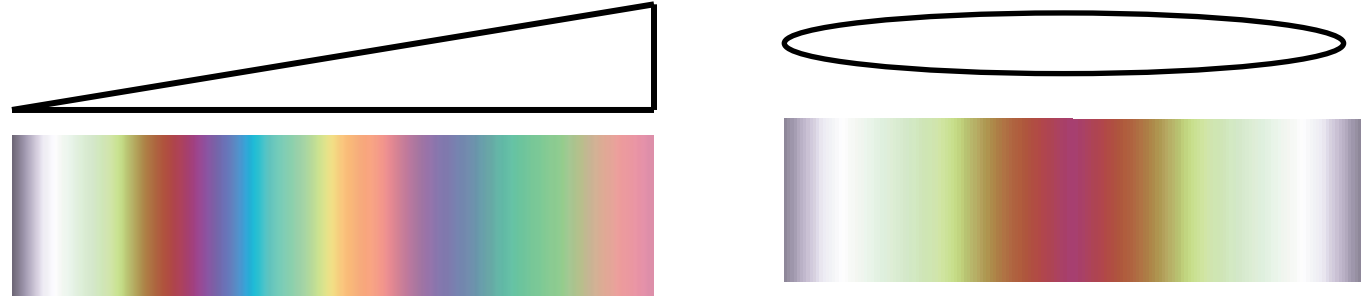


Optička svojstva minerala – ortoskopijska

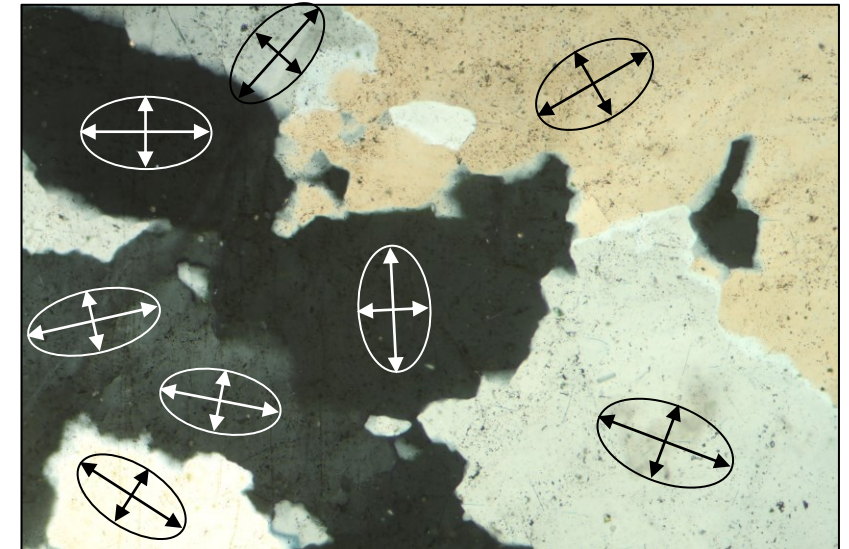
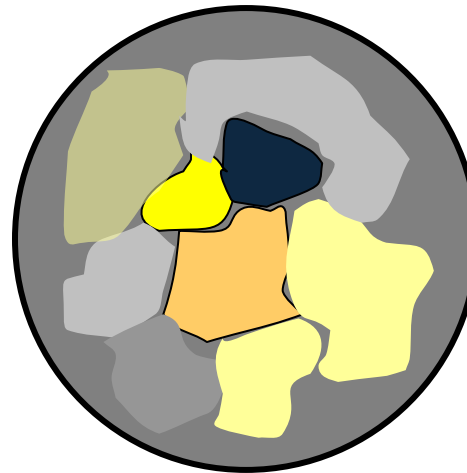
uključeni analizator (N+)

Interferencijske boje minerala

! Ukoliko debljina zrna u mikroskopskom preparatu nije svugdje ista, interferirat će u različitim bojama.



! Ukoliko u preparatu postoji više individua istog minerala iste debljine, ali u različitim orijentacijama, interferencijske boje ovisit će o orijentaciji presjeka.

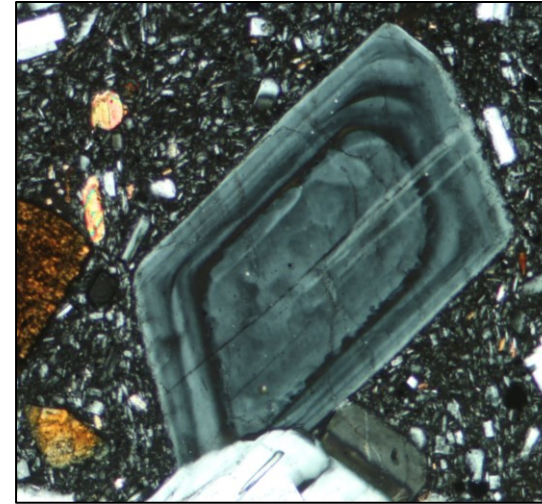


Optička svojstva minerala – ortoskopijska

uključeni analizator (N+)

Interferencijske boje minerala

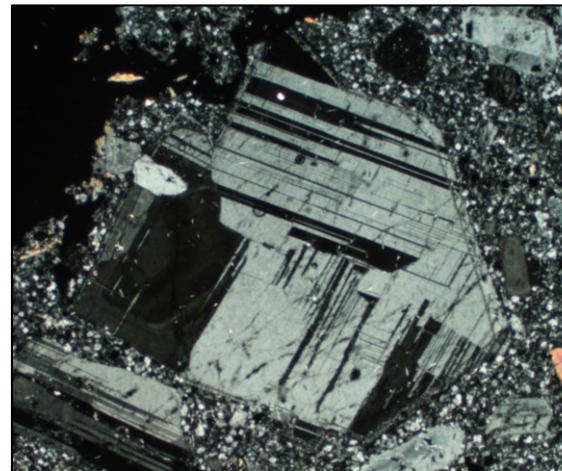
! Zone rasta – različite orijentacije indikatriše u svakoj zoni → svaka zona ima različitu int. boju u određenom položaju → svaka zona potamni u različitom položaju mikroskopskog stolića



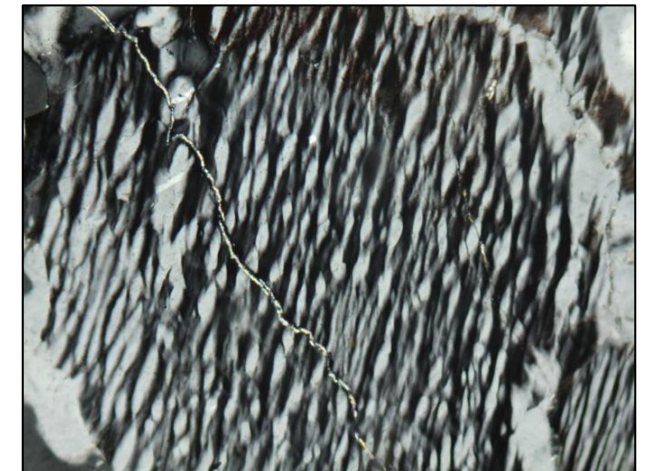
zone rasta kod plagioklasa



sraslaci dvojci kod sanidina



polisintetski sraslaci kod plagioklasa



eksolucijske (peritne) lamele kod K-feldspata

! Sraslaci, eksolucijske lamele – različite orijentacije indikatriše u svakom individuu → svaki pojedinac ima različitu int. boju u određenom položaju → potamne u različitom položaju mikroskopskog stolića

Optička svojstva minerala – ortoskopiја

uključeni analizator (N+)

Interferencijske boje minerala

! Anomalne interferencijske boje – boje kojih nema na Michel-Lévyjevom dijagramu, tj. one koje ne odgovaraju stvarnoj Δ mineralnog presjeka

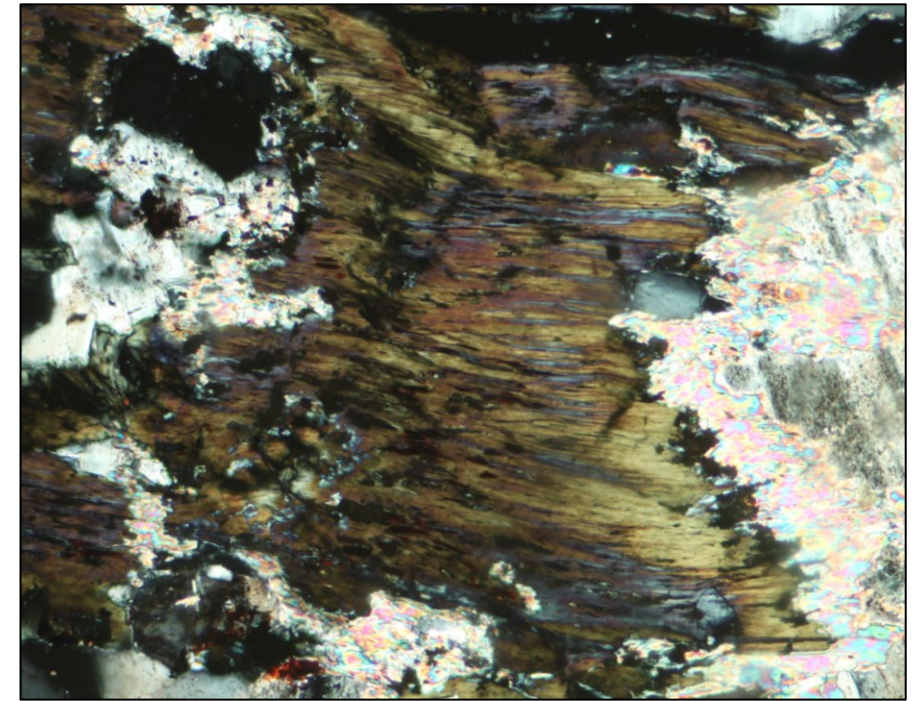
- kod minerala intenzivne vlastite boje → **interferencijske boje prikrivene vlastitom**
- kod minerala vrlo malog dvoloma



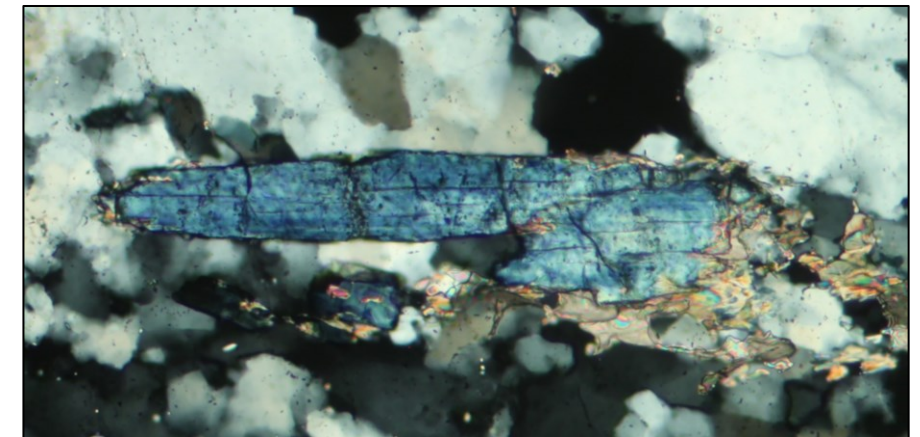
vlastita boja biotita



interferencijske boje biotita prikrivene vlastitom bojom



anomalne smeđe i ljubičaste interferencijske boje kod klorita



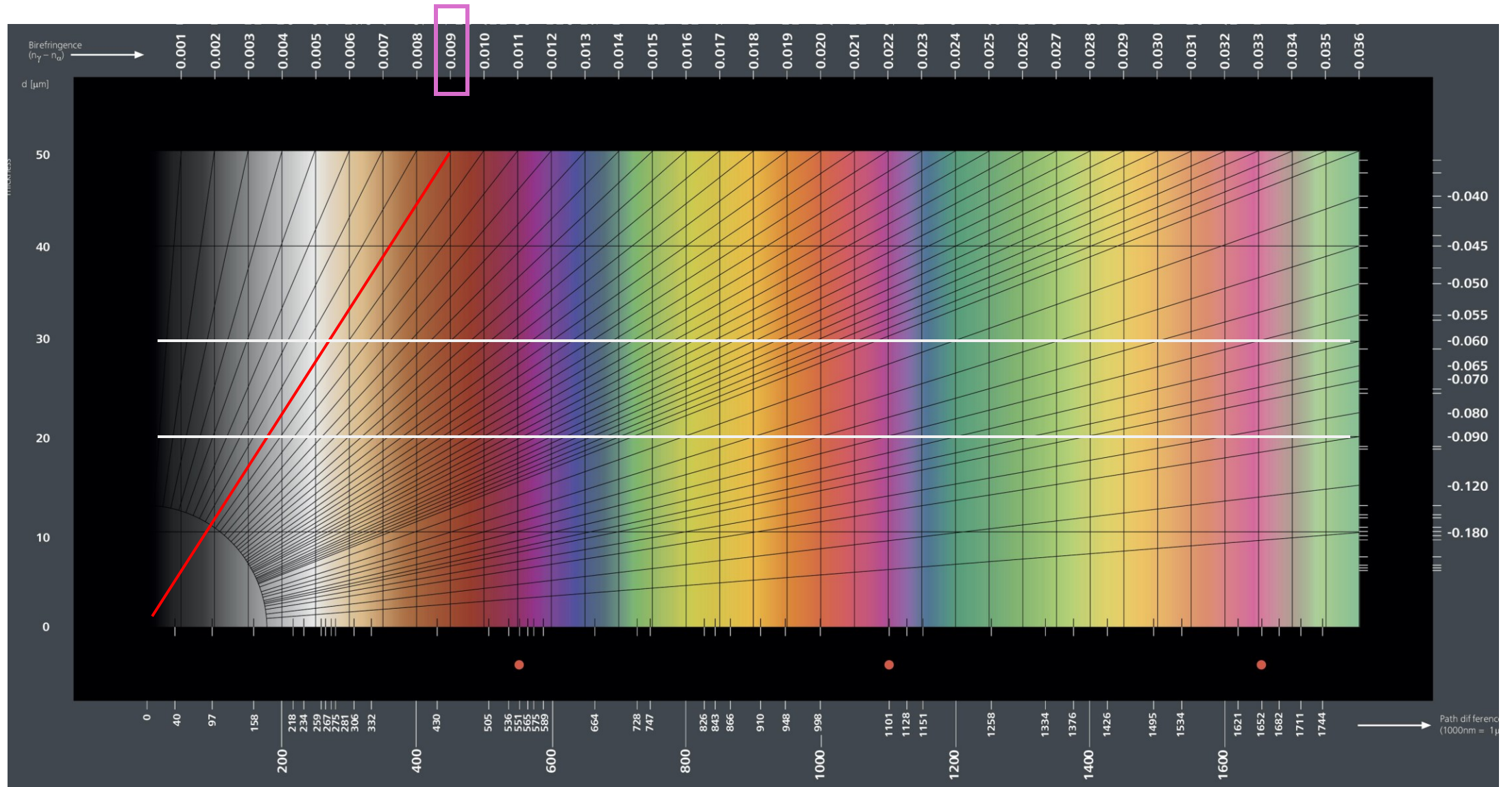
anomalne plave interferencijske boje kod zoisita

Optička svojstva minerala – ortoskopiija

uključeni analizator (N+)

Određivanje debljine mikroskopskog preparata

Pr. kvarc: max dvolom = 0,009



Optička svojstva minerala – ortoskopijska

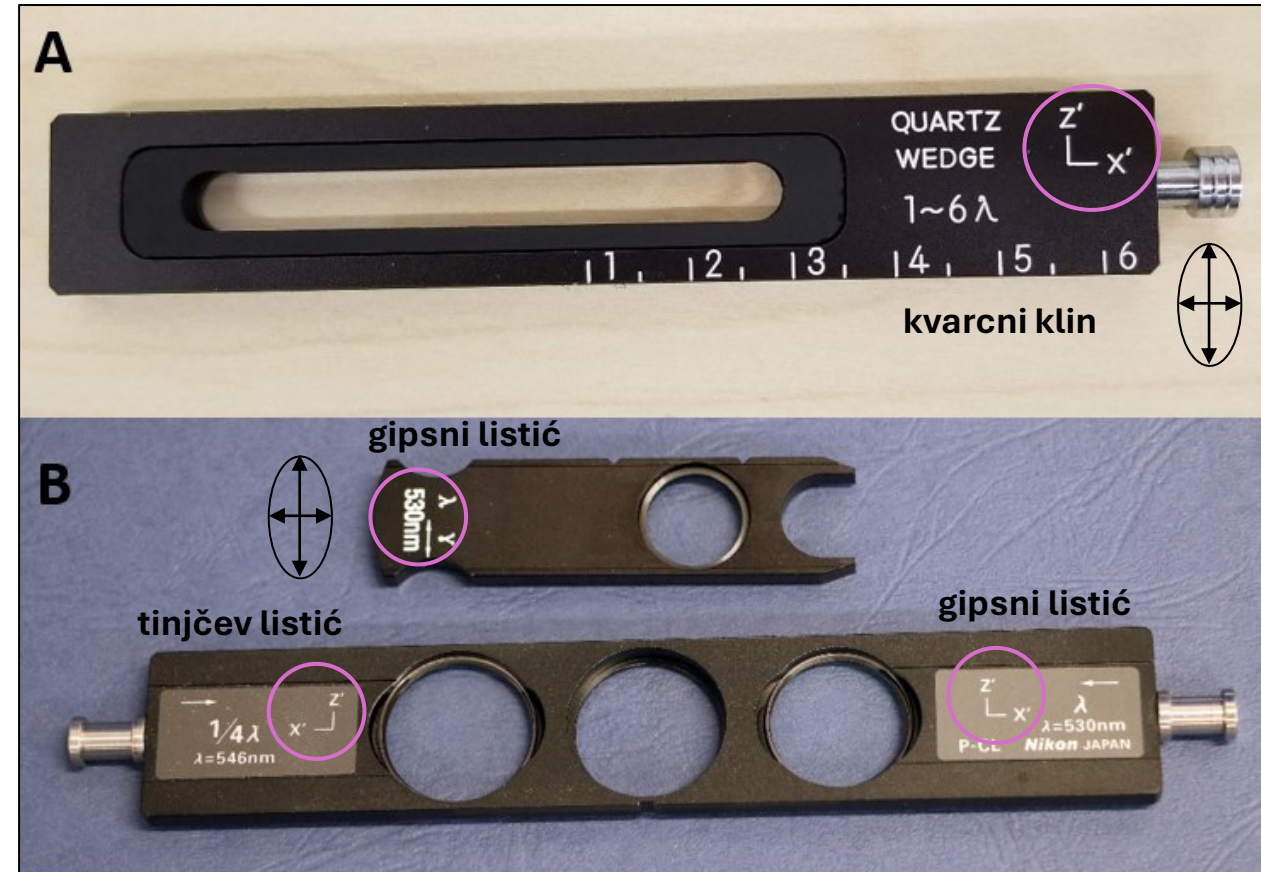
uključeni analizator (N+)

Kompenzatorske (akcesorne) pločice

- specijalni preparati točno određene razlike u hodu tj. određene interferencijske boje
- vibracijski smjerovi dvolomom nastalih valova paralelni su tj. okomiti na izduženje pločice
- otvor za umetanje: pod kutom od 45° u odnosu na nitni križ (vibracijske smjerove P i A)
- određivanje orijentacije indikatriše u mineralu:
 - dodavanje poznate Δ (adicija) $\leftrightarrow$ podudarni položaj
 - oduzimanje poznate Δ (suptrakcija) $\leftrightarrow$ nepodudarni položaj

Vrste kompenzatora:

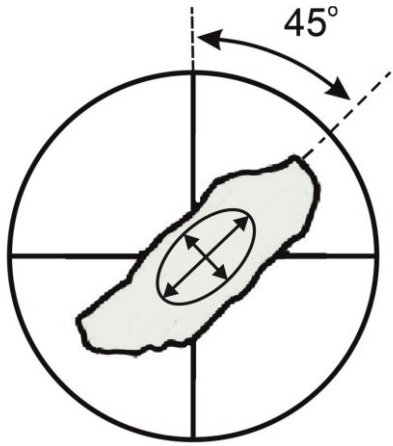
1. gipsni listić (λ) = 532 nm, osjetljiva crvena boja
2. tinjčev listić ($\lambda/4$) = 133 nm, žuta boja
3. kvarcni klin ($\lambda/2 - 6\lambda$)



Optička svojstva minerala – ortoskopija

uključeni analizator (N+)

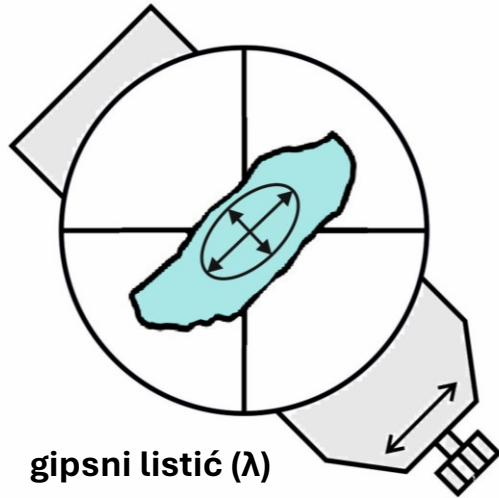
Kompenzatorske (akcesorne) pločice – određivanje orijentacije indikatrise u mineralu



Optička svojstva minerala – ortoskopiја

uključeni analizator (N+)

Kompenzatorske (akcesorne) pločice – određivanje orijentacije indikatrise u mineralu



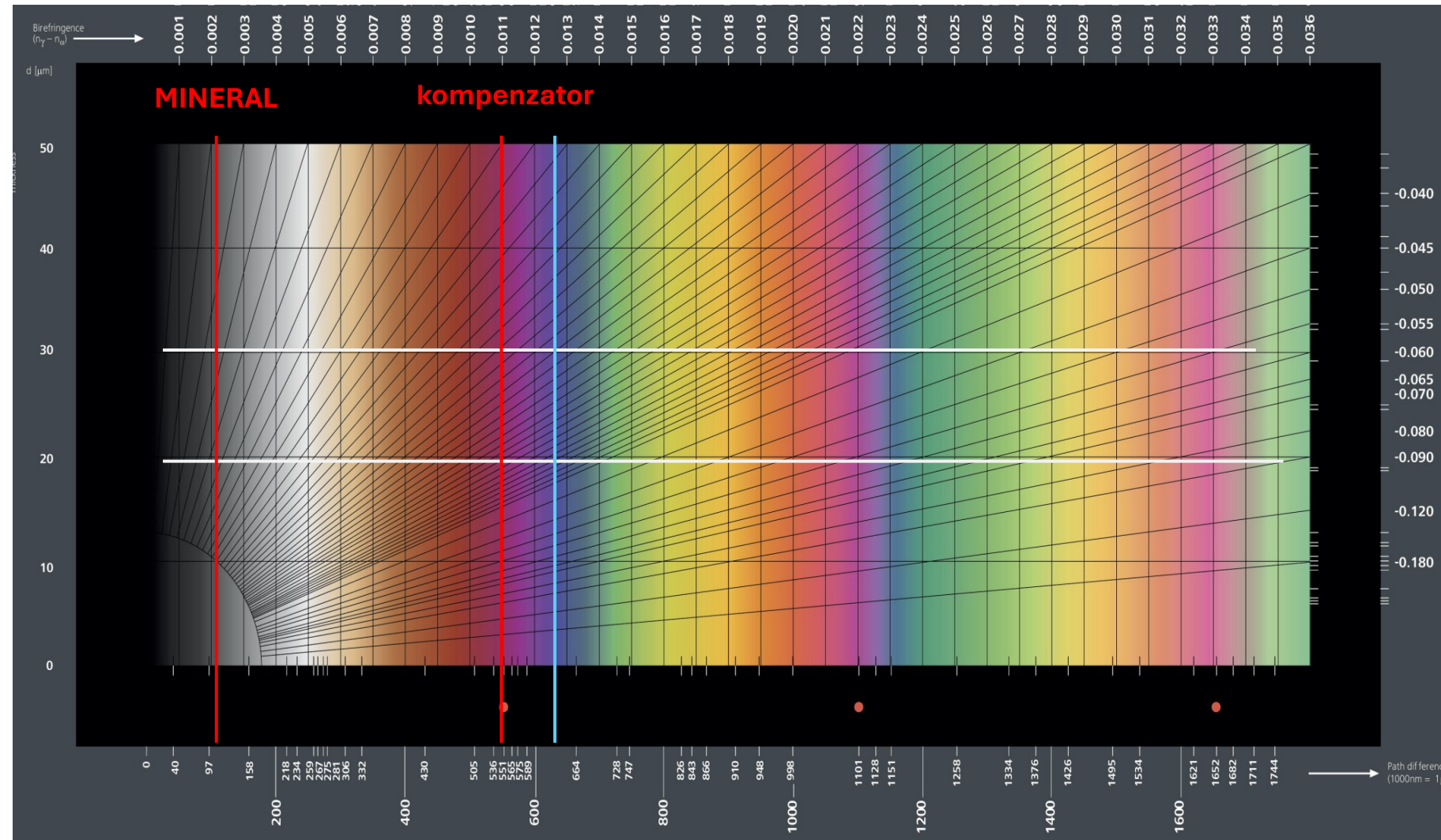
Podudarni položaj

ADICIJA

$$\Delta_{\text{komp.}} + \Delta_{\text{min.}}$$

$$532 \text{ nm} + 100 \text{ nm}$$

$$= 632 \text{ nm (plava boja)}$$



Optička svojstva minerala – ortoskopiја

uključeni analizator (N+)

Kompenzatorske (akcesorne) pločice – određivanje orijentacije indikatrise u mineralu



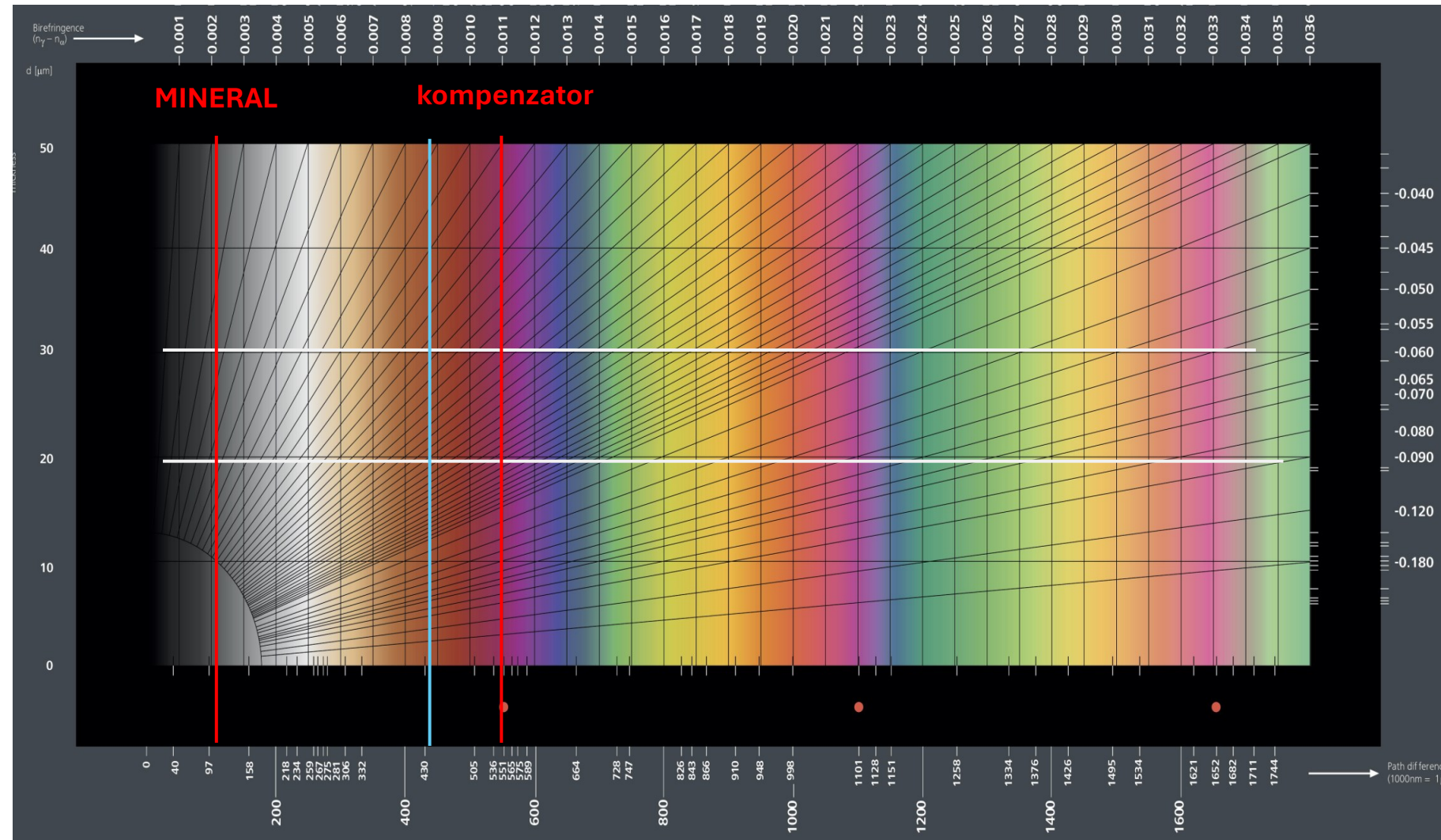
Nepodudarni položaj

SUPTRAKCIJA

$$|\Delta_{\text{komp.}} - \Delta_{\text{min.}}|$$

$$532 \text{ nm} - 100 \text{ nm}$$

$$= 432 \text{ nm (narančasta boja)}$$

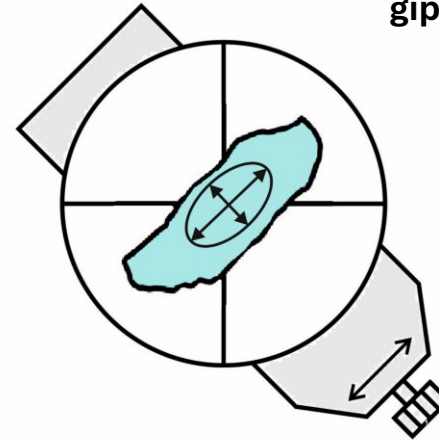
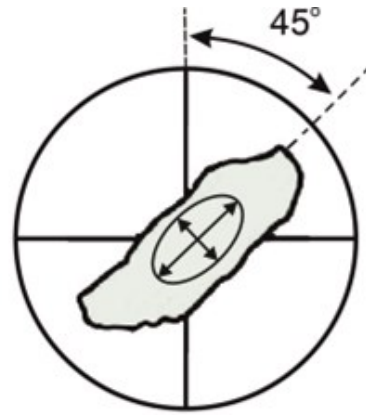


Optička svojstva minerala – ortoskopiја

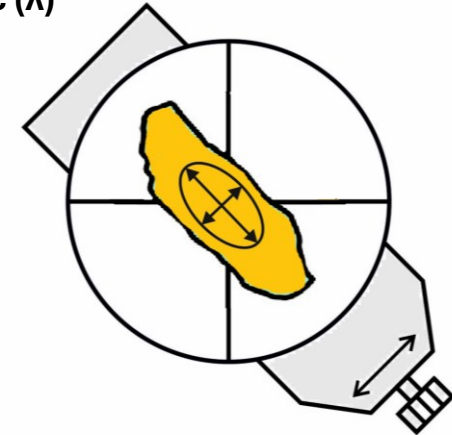
uključeni analizator (N+)

Kompenzatorske (akcesorne) pločice – određivanje **karaktera zone izduženja** minerala

Pozitivan = val većeg n
vibrira paralelno s
izduženjem minerala



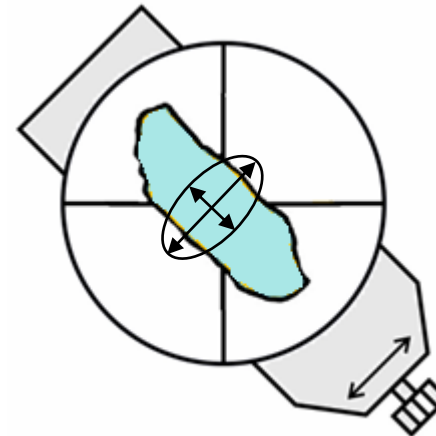
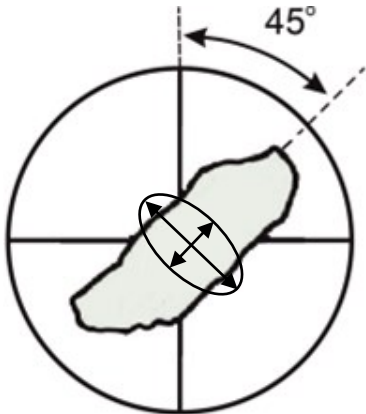
ili



podudarni položaj
ADICIJA

nepodudarni položaj
SUPTRAKCIJA

Negativan = val većeg n
vibrira okomito na
izduženje minerala



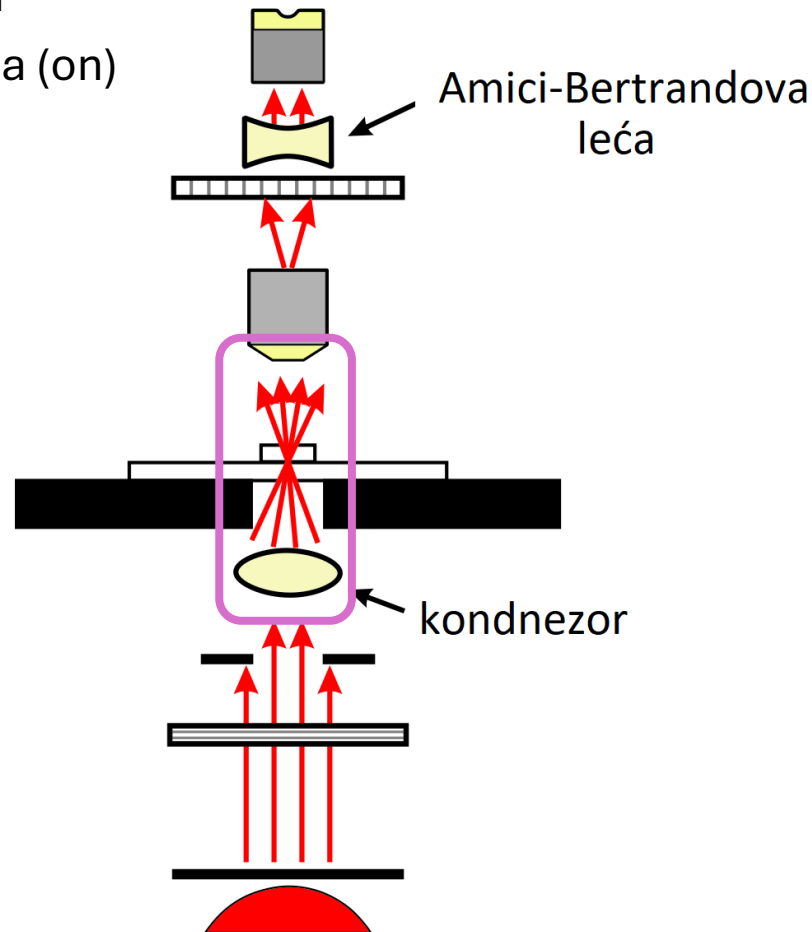
ili



Optička svojstva minerala – konoskopija

Konoskopski uvjeti (konoskopija)

- rad u konvergentnoj linearno polariziranoj svjetlosti
→ kondenzor (on) → sve zrake svjetlosti fokusirane u središtu vidnog polja
- Amici-Bertrandova leća (on)
- veliko povećanje
- analizator (on)



?

- razlikovanje optički izotropnih materijala od optički anizotropnih izbrušenih okomito na optičku os
- razlikovanje optički jednoosnih i dvoosnih anizotropnih materijala
- razlikovanje optički pozitivnih i negativnih materijala
- procjenjivanje kuta optičkih osi

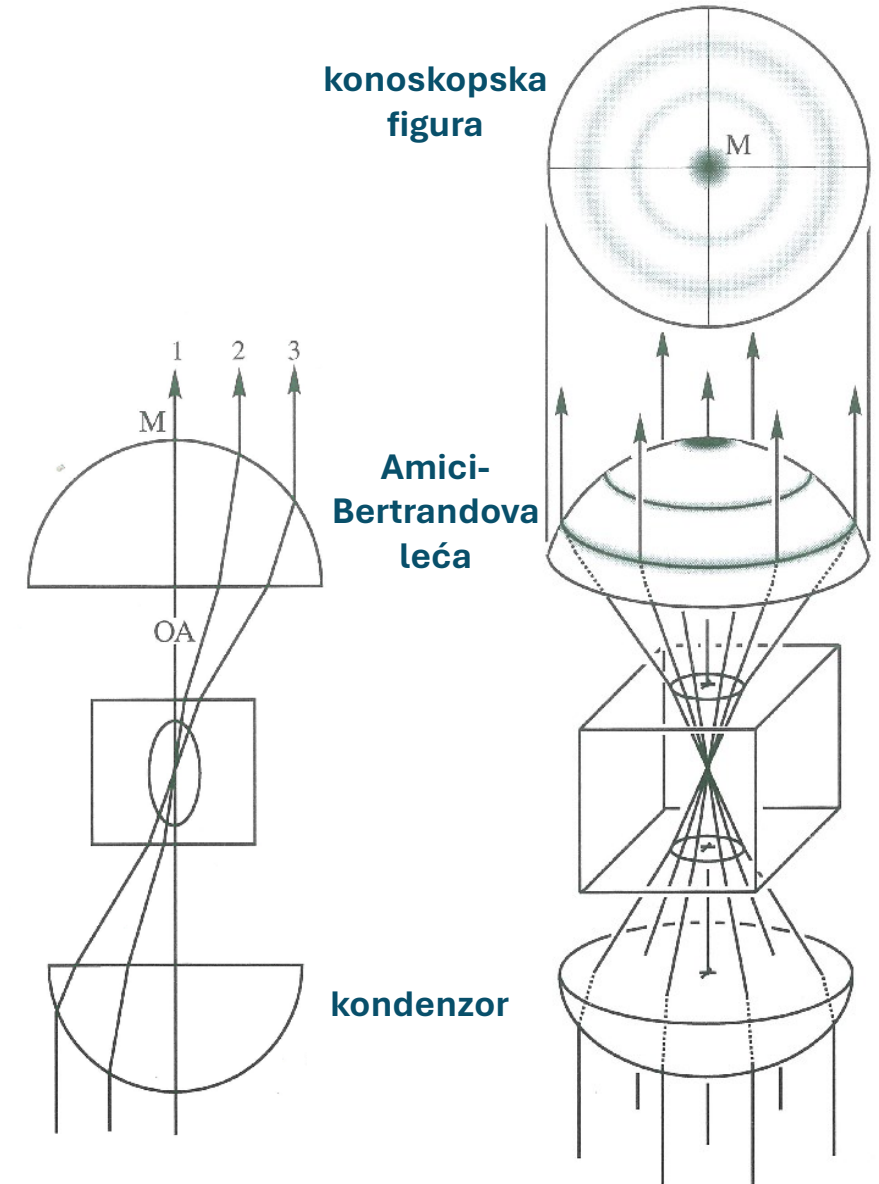
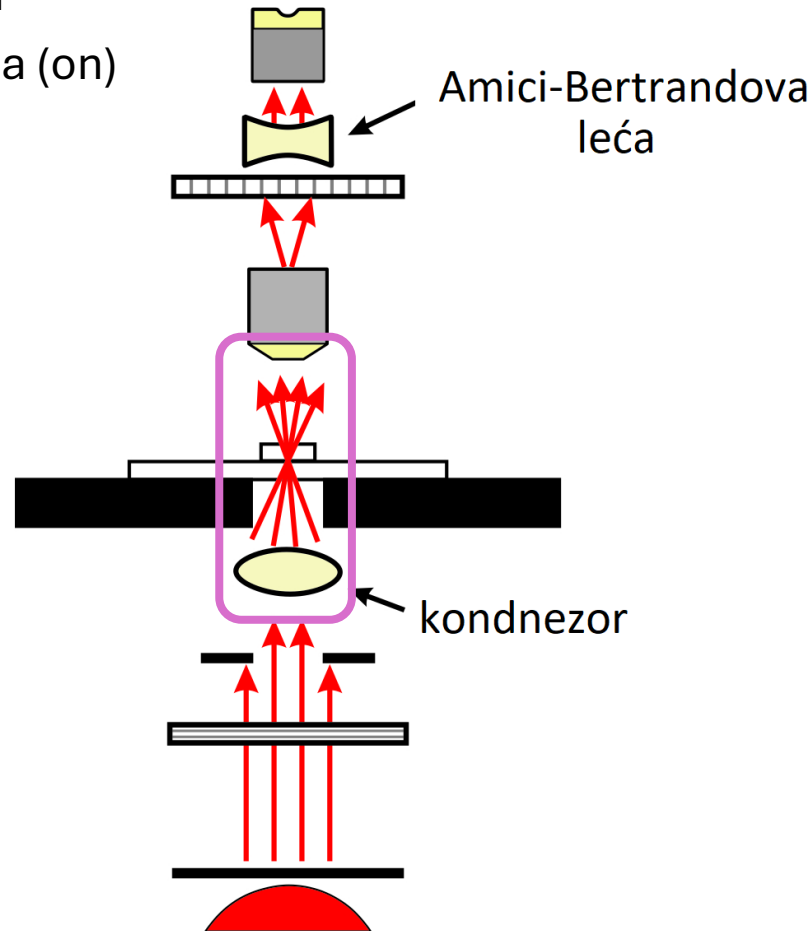
Što promatramo?

→ **konoskopske figure**
(ne vidi se mineralno zrno!)

Optička svojstva minerala – konoskopija

Konoskopski uvjeti (konoskopija)

- rad u konvergentnoj linearno polariziranoj svjetlosti
→ kondenzor (on) → sve zrake svjetlosti fokusirane u središtu vidnog polja
- Amici-Bertrandova leća (on)
- veliko povećanje
- analizator (on)



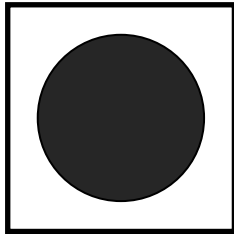
Preuzeto iz Nesse (2000).

Optička svojstva minerala – konoskopija

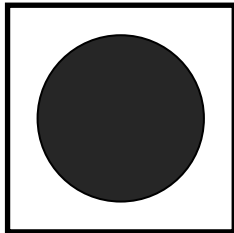
1) Razlikovanje optički izotropnih materijala od optički anizotropnih izbrušenih okomito na optičku os

IZOTROPAN

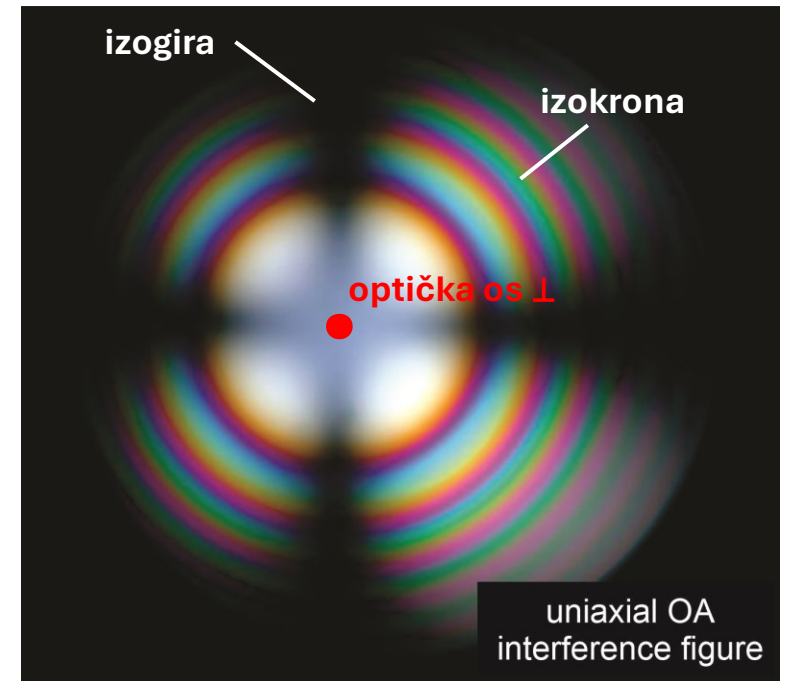
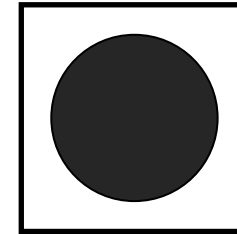
ortoskopija N+



konoskopija



ANIZOTROPAN JEDNOOSAN
izbrušen $\perp$ na o.o.



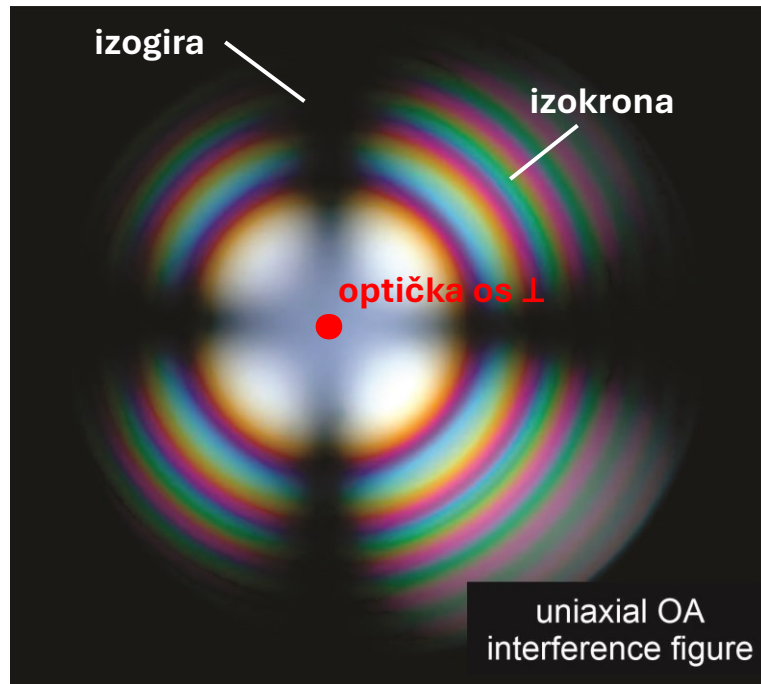
! Slika se ne mijenja pri zakretu mikroskopskog stolića.

Deblji preparat → više int. boja
Veći dvolom → više int. boja

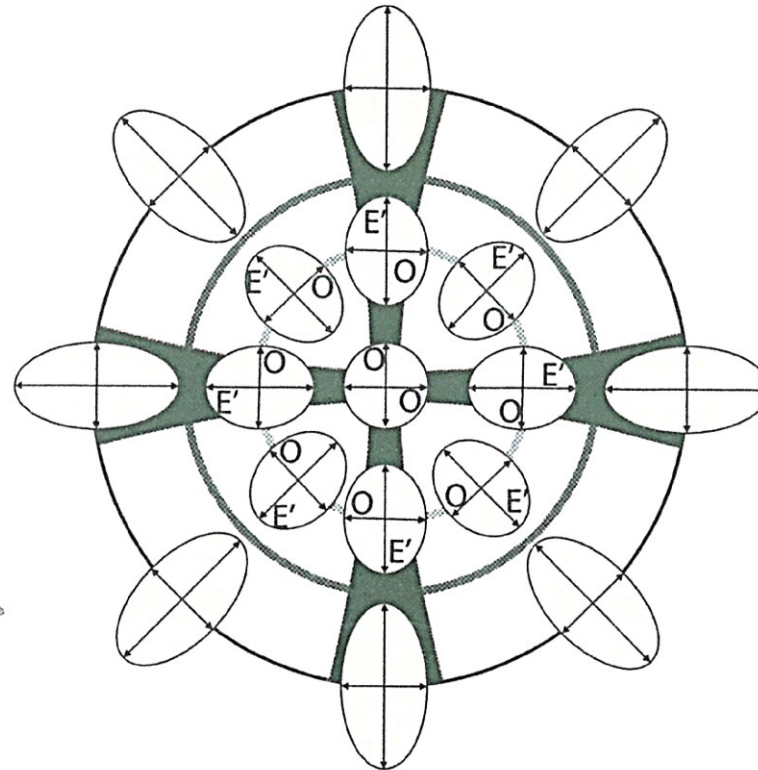
Optička svojstva minerala – konoskopija

1) Razlikovanje optički izotropnih materijala od optički anizotropnih izbrušenih okomito na optičku os

ANIZOTROPAN JEDNOOSAN
izbrušen $\perp$ na o.o.

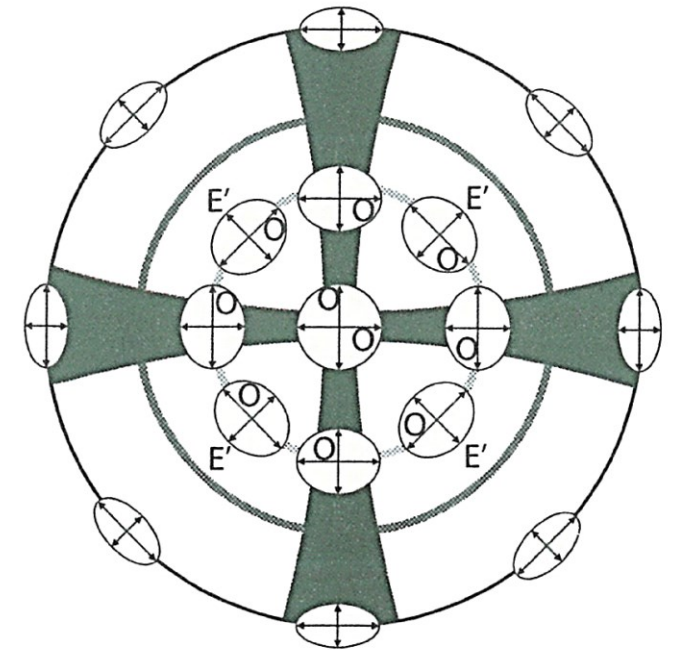


Izvor slike: <https://opengeology.org/Mineralogy/5-optical-mineralogy/>



jednoosni pozitivni

$$n_O < n_E$$



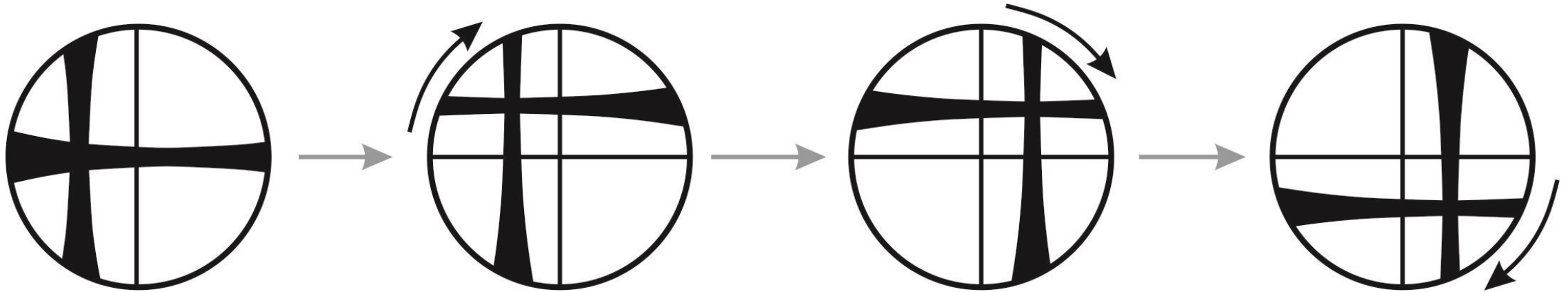
jednoosni negativni

$$n_O > n_E$$

Optička svojstva minerala – konoskopija

ANIZOTROPAN JEDNOOSAN koji nije izbrušen $\perp$ na o.o. (tj. bilo koji drugi presjek)

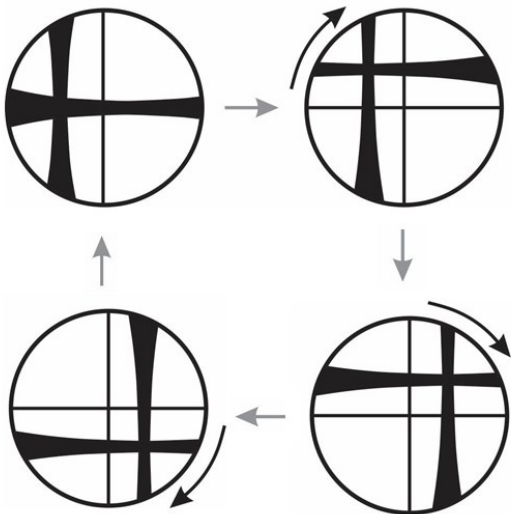
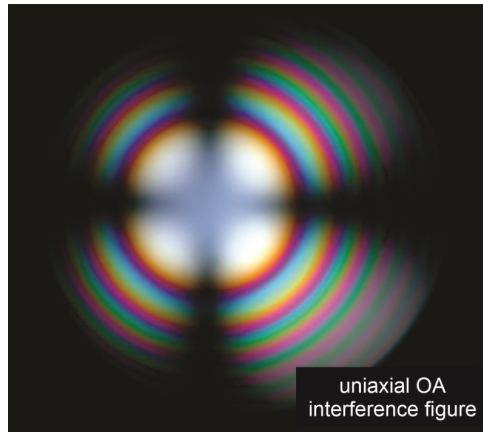
- rotacijom mikroskopskog stolića križ opisuje kružnicu



Optička svojstva minerala – konoskopija

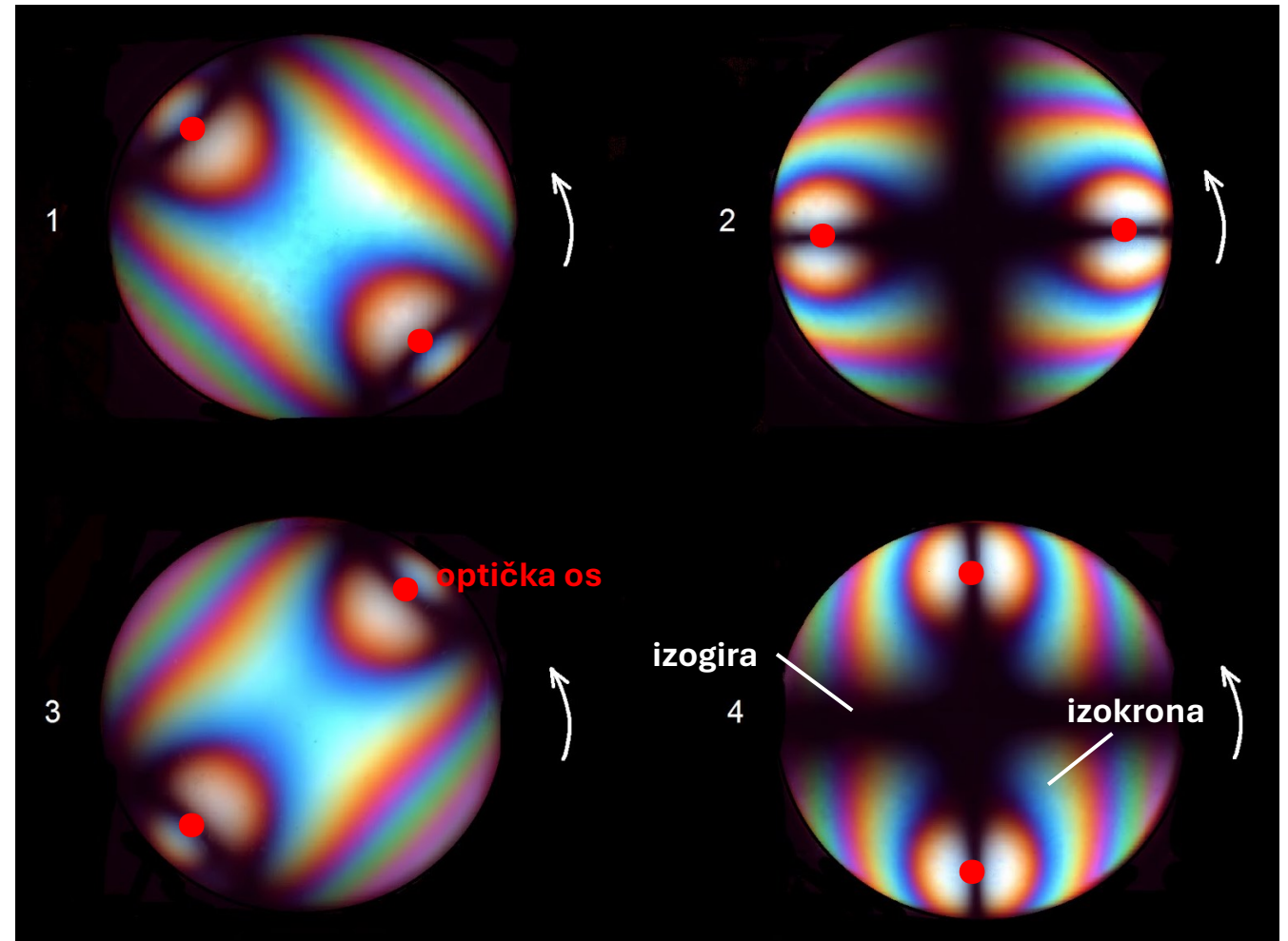
2) razlikovanje optički jednoosnih i dvoosnih anizotropnih materijala

ANIZOTROPAN JEDNOOSAN

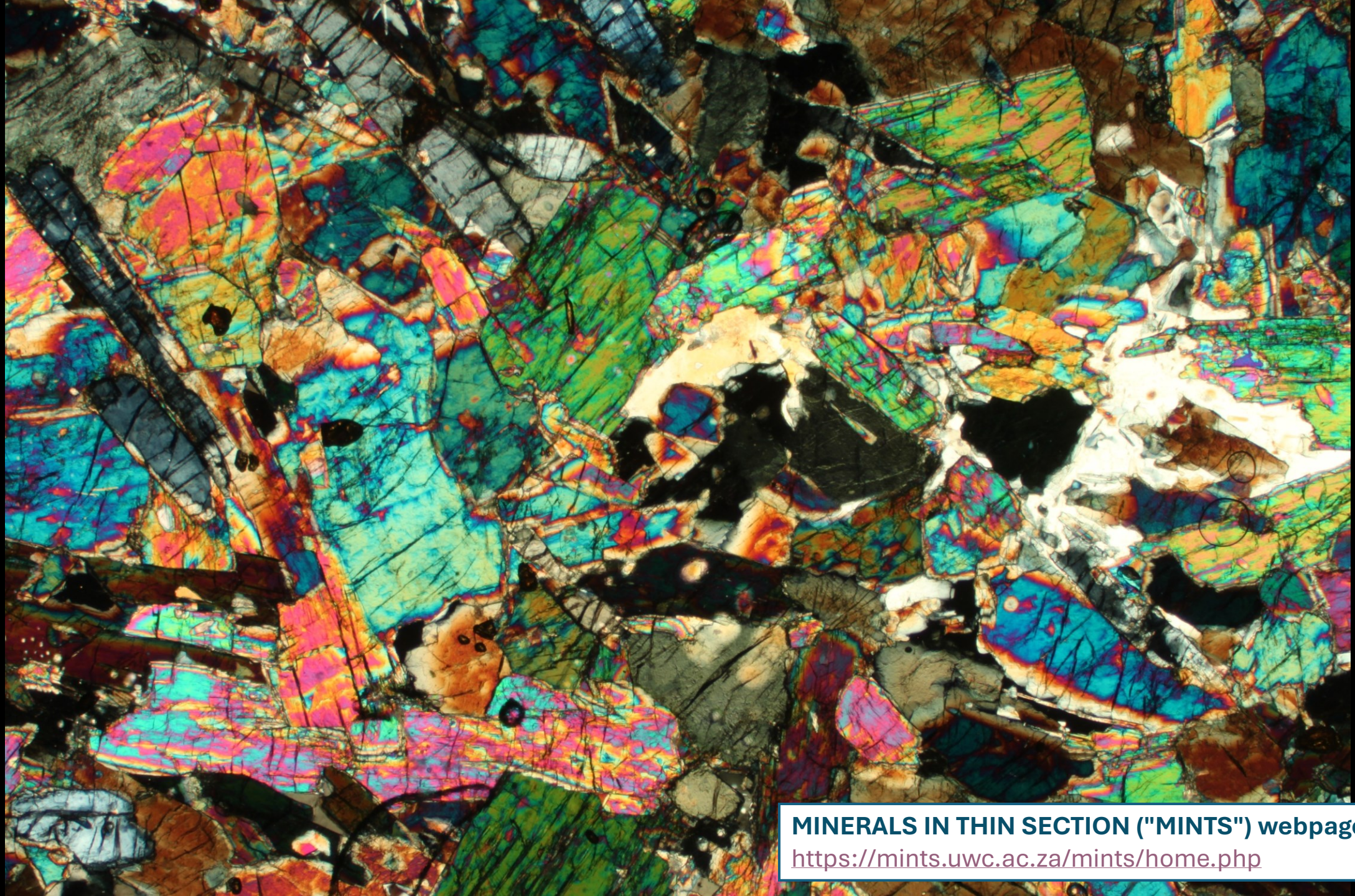


<https://www.youtube.com/watch?v=S6D11ES676U&t=29s>

ANIZOTROPAN DVOOSAN presjek $\perp$ na oštru raspolovnicu kuta o.o.



<https://moticeurope.blogspot.com/2018/07/muscovite-under-polarization-microscope.html>



MINERALS IN THIN SECTION ("MINTS") webpage
<https://mints.uwc.ac.za/mints/home.php>