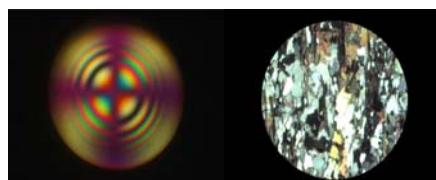


U N I V E R Z I T E T U T U Z L I
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
T U Z L A

Dr.sc.Senaid Salihović, profesor
OPTIČKE KARAKTERISTIKE MINERALA U
PROPUŠTENOJ SVJETLOSTI



Tuzla, 2007. godine

U N I V E R Z I T E T U T U Z L I
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
T U Z L A

Dr.sc.Senaid Salihović, profesor

**OPTIČKE KARAKTERISTIKE MINERALA U
PROPUŠTENOJ SVJETLOSTI**

Tuzla, 2007. godine

www.geologija.ba

Izdavač:
SENAID SALIHOVIĆ

Recenzenti:
Dr.sc. HAZIM HRVATOVIĆ, vanredni profesor
Dr.sc. AMIR BARAKOVIĆ, vanredni profesor

Odgovorni urednik:
Dr.sc. SENAID SALIHOVIĆ, vanredni profesor
e-mail: snsalihovs@yahoo.com

Lektor:
AZRA UŠANOVIĆ, nastavnik bosanskog jezika

Tehnička priprema i naslovna strana:
Dr.sc. SENAID SALIHOVIĆ, vanredni profesor

Štampa i uvez:
Ars Grafika Tuzla

Tiraž:
100 primjeraka

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine, Sarajevo

SALIHOVIĆ, Senaid
Optičke karakteristike minerala u propuštenoj svjetlosti
/ Senaid Salihović. - Lukavac : autor, 2007.-195 str. :ilustr.; 24 cm

Bibliografija: str. 195

ISBN 978-9958- 890-26-0

COBISS.BH – ID 16174342

Izdavanje ovog univerzetskog udžbenika odobrio je Senat Univerziteta
u Tuzli odlukom broj : 03-7953-9.4/07 od 21.11.2007. godine



Manualia universitas studiorum Tuzlaensis
(Udžbenici Univerziteta u Tuzli)

www.geologija.ba

S A D R Ž A J

PREDGOVOR -----	1
1.U V O D -----	3
1.1. Zakon refleksije -----	5
1.2. Zakon loma -----	6
1.3. Huygensov princip -----	7
1.4. Zakon loma i Huygensova konstrukcija -----	7
1.5. Apsolutni i relativni indeks loma -----	9
1.6. Totalna refleksija -----	10
1.7. Titrajno vrijeme, talasna dužina i frekvencija -----	11
1.8. Metode za određivanje indeksa loma -----	13
1.8.1. Metoda klina (prizme) ili minimalne devijacije (Frauenhoferova metoda) -----	13
1.8.2. Disperzija indeksa loma -----	15
1.8.3. Metoda totalne refleksije -----	15
1.9. Sjaj minerala -----	17
1.10. Dvolom -----	18
1.11. Optički izotropne i optički anizotropne materije -----	19
1.11.1. Optički izotropne materije -----	19
1.11.2. Optički anizotropne materije. Optički jednoosni kristali -----	19
1.11.3. Smjer širenja zraka i talasa. Alasna normala -----	22
1.11.4. Polarizacija svjetlosti u dvolomnim kristalima -----	23
1.11.5. Orientacija vibracionih smjerova u svjetlosti optički jednoosnih kristala. Optička indikatrica -----	24
1.11.6. Optički dvoosni kristali -----	26
1.11.7. Određivanje glavnih indeksa loma kod optički jednoosnih i dvoosnih kristala -----	29
1.12. Nikolova prizma -----	31
1.13. Polarizacija svjetlosti pri refleksiji -----	32
1.14. Polarizacioni mikroskop -----	32
1.14.1. Centriranje mikroskopa -----	34
1.14.2. Određivanje veličina u mikroskopu -----	34
1.14.3. Izbrusci teseralnih kristala u polarizacionom mikroskopu -----	35
1.14.4. Ortoskopsko određivanje položaja vibracionih smjerova u dvolomnim presjecima -----	36
1.14.5. Pleohroizam (Polihroizam) -----	37
1.14.6. Reljef i šagren -----	38
1.14.7. Pseudoapsorpcija -----	40
1.14.8. Beckeova linija -----	40
1.15. Imerzione metode -----	41
1.15.1. Metoda Becke-ove linije (metoda centralne rasvjete) -----	41
1.15.2. Disperzionalni efekat pri radu s bijelom svjetlosti -----	41
1.15.3. Metoda kose rasvjete (Schroeder van der Kolkova metoda) -----	42
1.15.4. Imerziona sredstva -----	42

1.15.5. Serija tekućina za određivanje indeksa loma -----	43
1.16. Određivanja koja se mogu izvršiti pomoću polarizacionog mikroskopa bez uključenog analizatora-----	43
1.17. Ortoskopska opažanja među ukrštenim nikolima-----	44
1.17.1. Skraćenje talasne dužine svjetlosti u sredstvu sa indeksom loma n -----	45
1.17.2. Interferencija -----	45
1.17.3. Razlika u hodu optički dvolomnih presjeka -----	46
1.17.4. Optički anizotropni presjeci s razlikom u hodu jedne ili više talasnih dužina među ukrštenim nikolima -----	47
1.17.5. Optički anizotropni presjeci s razlikom u hodu pola talasne dužine među ukrštenim nikolima -----	49
1.17.6. Interferentne boje u zavisnosti o razlici u hodu-----	50
1.17.7. Kvarcni (kremen) klin -----	51
1.17.8. Anomalne interferentne boje -----	53
1.17.9. Gipsani listić (gipsana pločica) -----	54
1.17.10. Liskunski (tinjčev) listić ili pločica od četvrtinu undulacije -----	54
1.17.11. Određivanje vibracionog smjera bržeg i sporijeg talasa -----	54
1.17.12. Određivanje razlike u hodu -----	56
1.17.13. Određivanje debljine preparata pomoću zrna poznate razlike u hodu -----	57
1.17.14. Optički karakter izduženja ili znak glavne zone -----	58
1.17.15. Paralelno, koso i simetrično potamnjenje-----	59
1.17.16. Optičke anomalije-----	61
1.18. Konoskopska opažanja -----	62
1.18.1. Optički jednoosni kristali -----	62
1.18.2. Optički dvoosni kristali -----	65
1.18.3. Disperzija ugla optičkih osi -----	67
1.18.4. Disperzija glavnih vibracionih smjerova-----	68
1.18.5. Određivanje ugla optičkih osi -----	68
1.19. Optička aktivnost -----	69
1.20. Justiranje polarizacionog mikroskopa -----	70
1.20.1. Namještanje nikola u ukršteni položaj -----	70
1.20.2. Namještanje vibracionih smjerova ukrštenih nikola u položaj paralelan s nitima u okularu -----	70
1.20.3. Određivanje vibracionog smjera polarizatora -----	71
 2. OPTIČKI IZOTROPNI MINERALI -----	72
2.1. Periklas MgO -----	72
2.2. Grupa spinela R ²⁺ O ⁺ R ₂ ³⁺ O ₃ -----	72
2.3. Spinel MgAl ₂ O ₄ -----	73
2.4. Fluorit CaF ₂ -----	76
2.5. Leucit KalSi ₂ O ₆ -----	77
2.6. Analcim NaAlSi ₂ O ₆ · H ₂ O -----	78
2.7. Sodalit Na ₄ Al ₃ Si ₃ O ₁₂ Cl-----	79
2.8. Grupa granata: Piraalspiti i ugranditi -----	81

4.4.7. Ribekit $\text{Na}_2\text{Fe}_3\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$	130
4.5. Liskuni (Tinjci)	132
4.5.1. Muskovit $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	132
4.5.2. Biotit $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$	134
4.6. Feldspati	136
4.6.1. Sanidin KAlSi_3O_8	137
4.6.2. Ortoklas KAlSi_3O_8	139
4.6.3. Mikroklín KAlSi_3O_8	140
4.6.4. Adular KAlSi_3O_8	141
4.6.5. Anortoklas (Na,K) AlSi_3O_8	142
4.6.6. Kalijsko-barijski feldspati (Hijalofani)	143
4.7. Plagioklasi	144
4.8. Grupa Coisita-Epidota	149
4.8.1. Coisit $\text{Ca}_2\text{AlAl}_2\text{SiO}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})$	149
4.8.2. Klinocoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$	150
4.8.3. Epidot $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_3((\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$	151
4.9. Grupa Silimanita	153
4.9.1. Andaluzit Al_2SiO_5	153
4.9.2. Silimanit Al_2SiO_5	154
4.9.3. Mulit $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	155
4.9.4. Disten Al_2SiO_5	155
4.10. Zeoliti	156
4.10.1. Polucit $\text{CsAlSi}_2\text{O}_6$	157
4.10.2. Šabazit (Habazit) $(\text{Ca},\text{Na}_2)\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	158
4.10.3. Natrolit $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	158
4.10.4. Harmotom $\text{Ba}_2\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	159
4.10.5. Hojlandit $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	160
4.10.6. Stilbit $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	160
4.10.7. Tomsonit $\text{NaCa}_2[\text{Al}(\text{Al},\text{Si})\text{Si}_2\text{O}_{10}]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	160
4.10.8. Skolecit $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	161
4.11. Hloriti	161
4.11.1. Hloriti (u užem smislu) $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6[(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}/(\text{OH})_8]$	162
4.12. Serpentin ($\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{OH})_4(\text{Si}_2\text{O}_5)$	164
4.12.1. Antigorit ($\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})$	165
4.12.2. Hrizotil ($\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	166
4.13. Minerali glina	166
4.13.1. Grupa kaolinita, Kaolinit $\text{Al}_2(\text{OH})_4(\text{Si}_2\text{O}_5)$	167
4.13.2. Grupa montmorionita, Montmorionit $\text{Al}_{3,33}\text{Mg}_{0,67}(\text{Si}_8\text{O}_{20})(\text{OH})_{4+0,67}\text{Na}$	169
4.13.3. Grupa ilita, Hidromuskovit ili ilit $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$	171
4.13.4. Grupa vlknastih glina	172
4.14. Minerali boksita	172
4.14.1. Dijaspor $\text{AlO}(\text{OH})$	172
4.14.2. Bemit $\text{AlO}(\text{OH})$	173
4.14.3. Hidrargilit $\text{Al}(\text{OH})_3$	174

2.9. Opal $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ -----	85
2.10. Vulkanško staklo SiO_2 -----	86
2.11. Halit NaCl -----	87
2.12. β -Kristobalit SiO_2 -----	88
 3. OPTIČKI ANIZOTROPNI JEDNOOSNI KRISTALI-----	89
3.1. Kvarc SiO_2 -----	89
3.2. Korund Al_2O_3 -----	91
3.3. Rutil TiO_2 -----	92
3.4. Brucit $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -----	93
3.5. Kalcit CaCO_3 -----	94
3.6. Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ -----	96
3.7. Alunit $\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ -----	97
3.8. Apatit $\text{Ca}_3(\text{F},\text{Cl})(\text{PO}_4)_3$ -----	98
3.9. Cirkon ZrSiO_4 -----	99
3.10. Vezuvijan (Idokraz) $\text{Ca}_{10}\text{Al}_4(\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{OH})_4\text{Si}_9\text{O}_{34}$ -----	101
3.11. Skapolit -----	102
3.12. Turmalin -----	104
3.13. Beril $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ -----	106
3.14. Nefelin $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ -----	107
3.15. Kankrinit $(\text{Na}_2,\text{Ca})_4[\text{CO}_3/(\text{H}_2\text{O})_{0-3}/\text{AlSiO}_4]_6$ -----	108
 4. OPTIČKI ANIZOTROPNI DVOOSNI KRISTALI-----	110
4.1. Olivin $(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_4$ -----	110
4.2. Pirokseni -----	112
4.3. Rombični pirokseni -----	113
4.3.1. Enstatit $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ -----	113
4.3.2. Hipersten $(\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ -----	114
4.3.3. Ferosilit $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ -----	115
4.3.4. Diopsid $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ -----	115
4.3.5. Hedenbergit $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ -----	117
4.3.6. Pižonit $x(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_3 + y\text{MgCaSi}_2\text{O}_8$ -----	118
4.3.7. Augit $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6[(\text{Al},\text{Fe})_2\text{O}_3]x$ -----	118
4.3.8. Egirin-augit -----	119
4.3.9. Egirin $\text{NaFeSi}_3\text{O}_6$ -----	120
4.3.10. Žaedit (Jaedit) $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ -----	121
4.3.11. Spodmen $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ -----	122
4.4. Amfiboli -----	123
4.4.1. Antofilit $(\text{Mg},\text{Fe})_7(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$ -----	124
4.4.2. Kumingnotit $(\text{Fe},\text{Mg})_7(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$ -----	124
4.4.3. Tremolit-Aktinolit $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$ -----	125
4.4.4. Hornblendna $\text{Ca}_2(\text{Na},\text{K})(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5(\text{OH})_2[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{11}]_2$ -----	127
4.4.5. Oksihornblendna -----	129
4.4.6. Glaukofan $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$ -----	129

5.POJEDINAČNI MINERALI RAZLIČITIH GRUPA -----	174
5.1. Tridimit SiO_2 -----	174
5.2. Sfen (Titanit) CaTiSiO_5 -----	175
5.3. Kordijerit $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ -----	176
5.4. Volastonit CaSiO_3 -----	178
5.5. Prenit $\text{Ca}_2\text{Al}_2[(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ -----	178
5.6. Talk $\text{Mg}_3[(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})]$ -----	179
5.7. Pirofilit $\text{Al}_2[(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ -----	180
5.8. Lavsonit $\text{CaAl}_2[(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot \text{H}_2\text{O}$ -----	181
5.9. Aragonit CaCO_3 -----	182
5.10. Anhidrit CaSO_4 -----	184
5.11. Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -----	185
5.12. Monacit CePO_4 -----	186
INDEKS POJMOVA -----	188
LITERATURA-----	195
KARTA INTERFERENTNIH BOJA ZA NAJČEŠĆE MINERALE -----	196

P R E D G O V O R

Usljed nedostatka pristupačne literature na bosanskom jeziku, koje bi studenti mogli koristiti u okviru predmeta "Optika petrogenih minerala" predstavljen je pregled najvažnijih i najčešćih minerala. Istovremeno je predstavljen i hemijski sastav, kristalni sistem, tvrdina, gustina, optičko ponašanje, način identifikacije, kao i genetski i paragenetski podaci.

Minerali su prikazani prema njihovim optičkim karakteristikama sa osnovnom podjelom na izotopne i anizotropne.

Potrebno je naglasiti da mikroskopija minerala predstavlja brzu metodu na identifikaciji minerala i stijena. Mikroskopija petrogenih, kao i mikroskopija rudnih minerala je danas postala neophodno pomoćno sredstvo za brzo ispitivanje parageneze minerala u ležištima, kao i za pripremu i oplemenjivanje rude.

Ova mineralogija providnih (petrogenih) minerala nema ambiciju dati sistematiku većine rudnih minerala, što nije slučaj ni kod većine sličnih izdanja u svijetu, jer se kompletne podatke mogu naći u raznim više ili manje dostupnim datotekama. Cilj je da studenti imaju kompletan udžbenik za pripremanje ispita, kao i osnove u poznavanju sistematike minerala, petrologije i Ležišta mineralnih sirovina, koji se predaju za studente geologije na RGGF-u.

Materija u udžbeniku je proširena toliko da i stručnjacima i nakon završetka studija može poslužiti u njihovom radu s polarizacionim mikroskopom.

Bit će zahvalan na sugestijama koje će pridonijeti da se drugo izdanje poboljša i nađe štušu upotrebu.

U Tuzli, septembra 2007. godine

Autor:
Dr.sc. Senaid Salihović, dipl.inž.geol., v.prof.

1. UVOD

Mada se mikroskop koristio za naučna istraživanja i prije devetnaestog vijeka, u geologiji se prvi puta pominje 1829. godine. Te godine časopis *Edinburgh New Philosophical Journal* publikovao je dva rada pod nazivom "The Nicol Prism" od Williama Nicol-a (1768-1851), profesora prirodne filozofije u Edinburgu. Prizma je napravljena od dva komada kalcita koje je W.Nicol zalijepio sa kanada balzamom tako da je dobio linearno polarizovanu svjetlost. Nicol je kalcit dobio od mornara koji su doputovali sa Islanda, radi čega se u literaturi vrlo često govorio i o islandskom kalcitu. Dvije godine kasnije publikovao je drugi rad u kojem je izložio postupak pripreme poliranih preparata minerala i fosila za mikroskopska ispitivanja. U ova dva rada William Nicol uveo je u geologiju osnovne principe mikroskopije moderne petrografije.

Poslije njegove smrti ovu metodu je usavršio Henry Clifton Sorby (1826-1906) mladi student iz Edinburga, ispitivajući različite vrste stijena. Najveći broj radova publikovao je izmeđi 1850 i 1860. Mikroskopska ispitivanja su počeli u Zirkel, Vogelsgang i Rosenbusch u Njemačkoj i Fourque i Michale-Levy u Francuskoj. Nakon toga mikroskop je dobio značajno mjesto u mineralogiji i petrologiji.

Optičke metode pružaju relativno lak i brz način proučavanja i identifikacije minerala. Velika prednost ovih metoda je i to što za optička proučavanja nisu neophodni naročito dobro razvijeni i čisti kristali ni veliki komadi minerala. Optičke metode su naročito pogodne za optička proučavanja mineralnih agregata i raznovrsnih promjena koje u toku vremena trpe njihovi sastojci (metamorfoze, metasomatoze, raspadanja itd).

Optički se mogu proučavati kako providni, tako i nepovidni minerali. Čak se i mikroskopi koji su danas u upotrebi kod mikroskopskih istraživanja konstrukcijski pripremljeni za istraživanja minerala u propuštenoj i odbijenoj svjetlosti, bez obzira što se radi o posebnoj tehnici.

Optičke osobine providnih minerala proističu od načina na koji se svjetlost širi u njima u zavisnosti od njihove unutrašnje gradje. Obzirom da se minerali međusobno strukturno razlikuju, oni se odlikuju i različitim karakterističnim osobinama po kojima se mogu identificirati.

Postoji više teorija koje objašnjavaju prirodu svjetlosti (Newton, Huygens, Frensel, Maxwell, Planck). Današnje shvatanje prirode svjetlosti je sinteza Makswelove i Plankove teorije (Louis de Broglie, 1924) po kojoj je svjetlost dualističke prirode, tj. korpuskularne i talasne. Svjetlost je periodična pojавa koja se u prostoru širi brzinom oko 300.000 km/s. Periodičnost odgovara promjenama vektorske veličine, vektora svjetlosti, upravno ili transverzalno na pravac širenja svjetlosti.

Zakoni kristalne optike nisu mnogo ovisni od razlika teorija svjetlosti. Oni se skoro potpuno mogu izvesti na osnovu klasične talasne teorije svjetlosti. Zato se ponekad govori o oscilatornom kretanju čestica, mada se u stvari ne radi o pomjeranju čestica, već o promjeni veličina vektora koji izražavaju napregnutost električnog i magnetnog (elektro-magnetnog) polja u svakoj tački svjetlosnog zraka.

Da bi se objasnila svjetlost, u svakom slučaju mora se pretpostaviti talasno i transverzalno kretanje, koje sem toga ima osobine jednog harmoničnog sinusnog kretanja (Sl.1). Elementi jednog takvog kretanja su slijedeći:

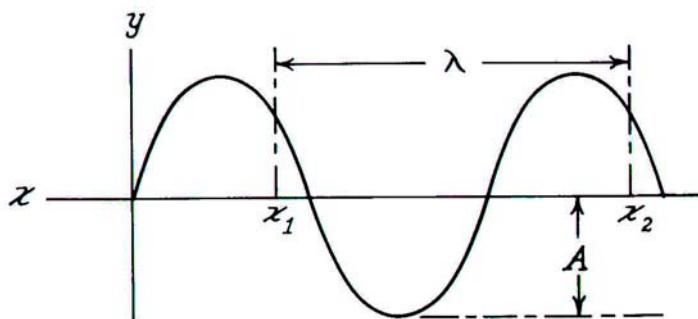
Amplituda (A) je najveće rastojanje na koje dospijeva tačka koja se koleba od svog ravnotežnog položaja.

Talasna dužina (λ) je rastojanje najbližih tačaka koje se nalaze u istoj fazi. Svaki talas se sastoji od jednog brijege i jedne dole.

Faza (x_1, x_2) je stanje kolebanja u dатој таčки zraka u datom momentu.

Period (titrano vrijeme, trajanje oscilacije T) je vrijeme potrebno da se izvrši jedna cijela oscilacija (kolebanje).

Frekvencija (v) je broj oscilacija u sekundi.



Sl.1 . Elementi talasnog kretanja (shema)

Postoje slijedeći odnosi medju ovim elementima:

$$c = \frac{\lambda}{T}; v = \frac{1}{T}; T = \frac{1}{v}; c = \lambda \cdot v; \lambda = cT; \lambda = \frac{c}{v}$$

Svetlost se u raznim sredinama širi različitom brzinom. U vakuumu je brzina svjetlosti najveća, nezavisna je od talasne dužine i uvijek je ista ($c = 299,772 \pm 8 \approx 300.000$ km/s), međutim u sredinama koje imaju masu brzina svjetlosti je manja nego u vakuumu, zavisno od talasne dužine (npr. u vazduhu je oko 0,3 % manja). Sredine u kojima se svjetlost širi brže zovu se optički rjeđe, a one u kojima se širi manjom brzinom, zovu se optički gušće.

Obična bijela svjetlost sastoji se od mješavine svjetlosnih zraka različitih talasnih dužina. Vidljivi dio svjetlosti je u području talasnih dužina 393 nm do 759 nm. Ispod 393 nm su nevidljivi ultraljubičasti zraci koji prelaze u pri znatno manjim talasnim dužinama u rentgenske zrake. Iznad 759 nm je područje infracrvenih zraka, a zatim elektromagnetskih talasa koji se koriste u radiovezi. Ako iz bilo kakvih uzroka dio talasnih dužina koji ulaze u sastav bijele svjetlosti bude pojačan ili oslabljen, svjetlost više neće biti bijela već obojena. Svjetlost bilo koje, tačno odredjene talasne dužine, zove se monohromatska svjetlost. Boja svjetlosti zavisi naime od talasne dužine. Jačina (ili intenzitet) svjetlosti određen je energijom svjetlosnog kolebanja i proporcionalna je kvadratu amplitute.

Izotropne materije (i vakuum) provode svjetlost istom brzinom u svim pravcima. U svim amorfnim i teseralnim mineralima svjetlost se širi u svim pravcima istom brzinom; oni su optički izotropni.

Anizotropne materije provode svjetlost nejednakom brzinom u različitim pravcima. U svim kristalima, (osim teseralnim i amorfnim), svjetlost se širi u različitim pravcima različitim brzinama; oni su optički anizotropni.

Providnost minerala zavisi od količine svjetlosti koju mineral propušta ili apsorbuje. Uopšte svjetlost koja dode do minerala biva dijelom propuštena, a dijelom apsorbovana. Apsorpcija svjetlosti zavisi kako od prirode samog minerala, tako i u izvjesnom odnosu i od dužine puta svjetlosti kroz dati mineral. Minerali koji i u debljim slojevima svoje mase apsorbuju vrlo malu količinu svjetlosti, a najveći dio propuštaju nazivaju se *providednimi*. Oni minerali koji propuštaju svjetlost u nešto manjoj mjeri od providednih nazivaju se *prozračnim*. Praktično se razlika izmedju ovih može prikazati na taj način što će se kroz deblju pločicu providednog minerala posmatrani predmet jasno vidjeti, dok će se kroz pločicu iste debljine prozračnog minerala predmet samo nazirati. Neprovidni minerali, već u jednom sasvim tankom sloju apsorbuju skoro svu svjetlost. Medju neprovidne spada većina metaličnih minerala. Pri posmatranju u propuštenoj svjetlosti često se za neprovidne minerale koristi termin "*opaki minerali*".(fr. opaque-neprovidan)

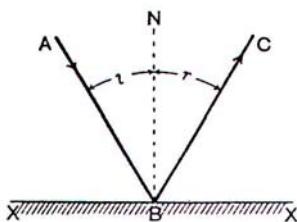
Boja minerala može biti idiohromatska, alohromatska i pseudohromatska

Boja minerala je svojstvo koje se na prvi pogled zapaža i lako pamti. Poslije kraće vježbe zapažaju se i male, ali karakteristične razlike u nijanasama različitih minerala iste boje. Zato boja ima veliki značaj, naročito pri makroskopskom određivanju minerala. Obično se boja minerala poredi sa bojom dobro poznatih predmeta ili materija: medeno žuta, zlatno žuta, smaragdano zelena, karmin crvena, bakarno crvena, nebesko plava, mlječno bijela, olovno siva itd.

1.1. Zakon refleksije

Iz životnog iskustva poznato nam je da će svjetlost padne li na glatku, ravnu granicu izmedju dva tijela, jednim svojim dijelom energije odbiti ili reflektirati. Zamislimo da svjetlost dolazi na ravnu poršinu stakla, vode itd. kako je to prikazano na slici 2. Ako svjetlost pada u tački **B** (na slici 2), i ako podignemo okomicu na tačku **B**, dobit ćemo upadni ugao *i*. Svjetlost će se reflektirati tako da će reflektirani ugao *r* biti jenak upadnom uglu *i*.

Zakon refleksije možemo definisati: "*Na ravnoj, glatkoj granici dvije različite materije, svjetlost se reflektuje tako, da je ugao refleksije jednak ugлу upada i da se odbijena zraka nalazi u ravnini upada na suprotnoj strani normale.*" Refleksija ili odbijanje svjetlosti vršit će se po istom zakonu i onda ako je granica meka druga materija (voda, kedrovo ulje, ravna ploha nekog kristala itd).

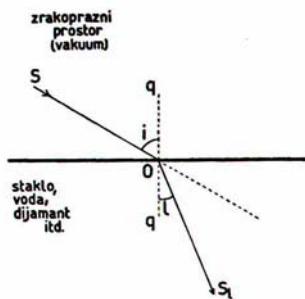


Sl.2. Odbijanje (refleksija) svjetlosti

1.2. Zakon loma

Svetlost se na ravnoj glatkoj površini dvije različite materije jednim dijelom odbija ili reflektira, po zakonu refleksije. Drugim dijelom svjetlost će preko granice zaći u drugu sredinu promjenivši pri tome smjer (Sl.3.). Kažemo još da se svjetlost pri prelazu slomila. Samu pojavu zovemo zovemo lom ili refrakcija svjetlosti. Hajgens je geometrijskim putem pokazao da se sinus upadnog ugla i i sinus prelomnog ugla r odnose kao brzine širenja svjetlosti c i c_1 , u dvije sredine različite gustine. Odnos brzina svjetlosti u prvoj i drugoj sredini je konstantan i naziva se indeksom prelamanja i obilježava se sa n . Upadna i slomljena zraka nalaze se u jednoj ravni:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{c_1} = n$$



Sl.3. Prelamanje (refrakcija) svjetlosti

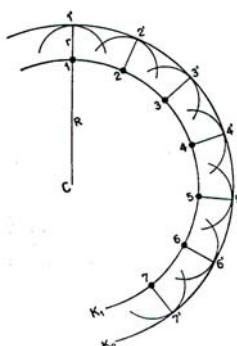
Ukoliko je gušća sredina brzina svjetlosti je manja. Radi toga kad svjetlost prelazi iz optički rjeđe u optički gušći sredinu odnos c/c_1 je veći od jedan, prelomni ugao je manji od upadnog ugla i zrak se lomi ka normali. Sredina izabrana za standard je vakuum (uzduh). Pošto vazduh ima indeks prelamanja veoma blizak jedinici ($n = 1,000.294$), obično se on uzima kao pogodniji standard.

Indeks prelamanja neke materije mijanja se za različite boje svjetlosti; povećava se sa opadanjem talasne dužine. Indeks prelamanja za žutu svjetlost natrijuma uzima se obično kao srednja vrijednost.

Indeks prelamanja je veoma važna konstanta za određbu mineralnih vrsta. Pri vrlo tačnom određivanju uvijek se mjeri u monohromatskoj svjetlosti. Većina providnih minerala ima indeks prelamanja između 1 i 2.

1.3. Huygensov princip

U homogenoj sredini svjetlost se širi po pravoj liniji. Linija duž koje se talasno kretanje odvija od početne tačke do bilo koje druge tačke zove se zrak. Ako je talasno kretanje svjetlosti proizvedeno u nekoj tački u vakuumu, ona će se iz te tačke širiti u svim pravcima istom brzinom. Zato će u svakom trenutku u istoj fazi biti podjednako udaljene od početne tačke. Mjesto svih ovih tačaka naziva se **talasnom površinom**. U ovom slučaju talasna površina je lopta (Sl.4). Ako se talasno kretanje širi od neke tačke brzinom koja se postupno mijenja sa pravcem, talasna površina će biti neka vrsta povijene površine. Po Huygensovom principu, svaka tačka do koje je dolazi talasno kretanje mora se smatrati kao novi izvor kolebanja koje se iz te tačke širi na sve strane (elementarni talasi). Rezultantni talas je istovjetan sa prostim talasom koji se prostire iz prvobitnog izvora.

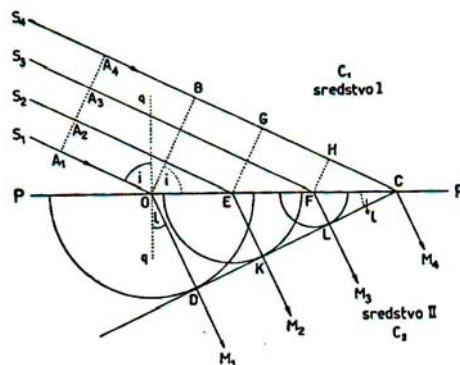


Sl. 4. Huygens-ov princip

1.4. Zakon loma i Huygensova konstrukcija

Talasno kretanje koje dođe do granice dvije sredine dijeli se u dva dijela: u dio koji se reflektira i širi dalje u sredstvu iz kojeg dolazi i dio koji prelazi preko granice u drugo sredstvo, šireći se u njemu pravolinjski, ali u drugaćijem smjeru nego u prvom sredstvu. Pri tome dolazi do loma koji se vrši po Snellovu zakonu. Ako zamislimo da na granicu dvije sredine PP (Sl.5) pada snop paralelnih zraka S_1, S_2, S_3, S_4 , pod nekim uglom i Šireći se postepeno u prostoru od svog izvora, u nekom određenom momentu one će doći do tačke A_1, A_2, A_3, A_4 . To je dio njihove talasne plohe, kojoj je međusobno izvor svjetlosti paralelan (sa pretpostavkom da je izvor svjetlosti beskonačno dalek, radi čega $A_1...A_4$ nije više dio kugle, nego predstavlja ravninu.) poslije određenog vremena oni će krećući se istom brzinom, stići do OB. Kažemo da se fronta talasnog kretanja pomakla od A_1A_4 do OB . U tom momentu je zraka S_1 došla na granicu PP u tački O . Pretpostavimo da je brzina c_1 dvaput veća od c_2 . Dok zraka S_4 u prvom sredstvu prevodi razmak BC , zraka S_1 će zašavši kod O u drugu sredinu, istovremeno preći samo polovinu. Ona će

dakle stići do neke tačke, koja će se nalaziti na kružnici opisanoj iz O kao središtu s poluprečnikom $OD = 1/2BC$. Za drugu i treću zraku može se reći isto. Zajednička anvelopa svih tih sekundarnih talasa je ravnina $DKLC$, koja predstavlja novu talasnu frontu u drugoj sredini. Okomito na nju kroz dirališta D, K, L i C idu iz tačaka O, E, F i C nove zrake M_1, M_2, M_3, M_4 istog smjera, koji se razlikuje od smjera dolaznih zraka. Slomljene zrake sa okomicom q manji ugao I od ugla upada i dolaznih zraka.



Sl. 5. Zakon loma prema talasnoj teoriji svjetlosti

Razmake BC i OD pređu zrake S_4 i M_1 u istom vremenskom razmaku (označen sa t). Tada dobijemo:

$$BC = c_1 \cdot t \quad i \quad OD = c_2 \cdot t$$

Iz slike 5 vidimo da su uglovi BOC i OCD jednaki uglu upada i , odnosno uglu loma I , jer se radi o okomičnim uglovima.. zato možemo napisati:

$$\begin{aligned} OC \cdot \sin i &= BC \\ OC \cdot \sin I &= OD \end{aligned}$$

Podijele li se ta dva izraza dobijemo:

$$\frac{\sin i}{\sin l} = \frac{BC}{OD}$$

Odnosno:

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

A to nije ništa drugo nego zakon loma prikazan formulom:

$$\frac{\sin i}{\sin l} = n$$

Omjer brzina c_1/c_2 je stalan i nepromjenjiv kad se radi o optički istim materijama. Može se naime reći da se pomoću Huygensove konstrukcije u čiju osnovu ulazi talasna teorija svjetlosti, izvesti zakon loma. Iz ove konstrukcije vidi se da do loma svjetlosti dolazi zbog različite brzine svjetlosti u iz kojeg ona dolazi i u sredstvu u koje ona ulazi. Indeks loma n koji je predstavljen omjerom sinusa ugla upada i ugla loma, jednak je ujedno i omjeru brzine svjetlosti u svjetlu iz kojeg dolazi i brzine svjetlosti u koje ona ulazi.

$$n = \frac{\sin i}{\sin l} = \frac{c_1}{c_2}$$

Dalje sa slike možemo vidjeti da se svjetlost pri prelasku iz jedne sredine u drugu lomi prema okomici, ako je brzina svjetlosti u drugoj sredini manja nego u prvoj.

Istom tom konstrukcijom može se naći da se svjetlost lomi od okomice, tj. da će ugao loma biti veći od ugla upada, ako je brzina svjetlosti u sredini iz kojeg ona dolazi manja od brzine svjetlosti u sredini u koju ona ulazi.

Između korpuskularne i talasne teorije svjetlosti rješenje se može postići samo direktnim mjerjenjem brzine svjetlosti u prozirnim sredstvima.

1.5. Apsolutni i relativni indeks loma

Pri prelazu svjetlosti preko granice dva sredstva, doći će do pojave loma, ako se brzina svjetlosti u sredstvu iz kojeg ona dolazi razlikuje od brzine svjetlosti u koje ona ulazi. U slučaju da svjetlost dolazi iz vakuma, apsolutni indeks loma ovisit će samo o brzini svjetlosti c_1 u koje ulazi, jer je brzina svjetlosti u vakuumu konstantna ($c=300.000$ km/s). Što je brzina svjetlosti c_1 manja, to će apsolutni indeks loma n neke materije biti veći. Između te dvije veličine postoji dakle obrnuta proporcionalnost.

$$n = \frac{c}{c_1} = \frac{\sin i}{\sin l}$$

Ako uzmemo da je brzina svjetlosti c_1 u koje ona iz vakuma ulazi iznosi 250.000; 200.000; 150.000; 100.000 km/s, apsolutni indeks loma imat će vrijednosti; 1,2; 1,5; 2; 3.

Uz obične uslove mjerjenja kakvi postoje u našim laboratorijima teško ćemo moći ostvariti to da svjetlost ulazi iz vakuma u neko sredstvo, jer nas svuda okružuje uzduh. Mi zapravo određujemo indeks loma nekog sredstva prema uzduhu. To nije sasvim isto, zato što je brzina svjetlosti u uzduhu nešto manja nego u vakuumu. Drugim riječima i uzduh (potpuno sloboden od CO_2) ima svoj apsolutni indeks loma, koji prema tačnim mjerjenjima uz temperaturu od 0°C i pritisak od 1000 milibara iznosi 1,000293. Taj se indeks loma vrlo malo razlikuje od 1, te se radi toga u praksi služimo indeksima loma određenih supstanci određenih u uzduhu.

Za sva sredstva s manjom brzinom svjetlosti kažemo da su optički gušća od optički rjeđih, u kojima je brzina svjetlosti veća. Po zakonu loma svjetlost će se idući iz optički rjeđeg sredstva u optički gušće, lomiti prema okomici; indeks loma je u tom slučaju veći od 1. U obrnutom slučaju pri prelazu svjetlosti iz optički gušćeg sredstva u optički rjeđe, svjetlost će se lomiti od okomice, indeks loma bit će manji od 1. U oba slučaja ponašanje svjetlosti pri prolazu kroz ravnu granicu dva prozirna sredstva bit će prema Huygensovoj konstrukciji određeno brzinama svjetlosti, tako da je omjer tih brzina stalan sve dok se

radi o dva ista sredstva, odnosno jednak omjeru sinusa upadnog ugla i sinusa ugla loma. Taj stalni i nepromjenjiv broj zovemo **relativni indeks loma** za ta dva sredstva.

U slučaju da svjetlost dolazi iz iz vakuma, odnosno iz zraka, govorimo o apsolutnom indeksu sredstva u koje svjetlost ulazi.

Vezu između apsolutnih indeksa loma dva sredstva n_1 i n_2 i njihovog relativnog indeksa loma možemo pokazati Huygensovom konstrukcijom (Sl.5.). Neka je brzina svjetlosti u prvom sredstvu c_1 , u drugom c_2 i u vakuumu c . Tada dobijemo:

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

Ako razlomak na desnoj strani proširimo, množeći ga se $\frac{c}{c}$, dobijamo:

$$\frac{\sin i}{\sin l} = \frac{c_1}{c} \cdot \frac{c}{c_2}$$

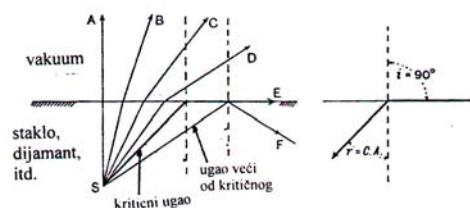
$\frac{c}{c_2}$ je apsolutni indeks loma n_2 sredstva, a $\frac{c_1}{c}$ je recipročna vrijednost apsolutnog indeksa loma prvog sredstva. Prema tome dobijamo:

$$\frac{\sin i}{\sin l} = \frac{n_2}{n_1} = n_{rel}$$

Dobijemo da je relativni indeks loma jednak omjeru apsolutnih indeksa loma drugog i prvog sredstva.

1.6. Totalna refleksija

Kada svjetlost prolazi iz optički gušće u optički rjeđu sredinu odnos c/c_1 ($\sin i/\sin r$) je manji od jedinice, prelomni ugao je veći od upadnog ugla, i zrak se lomi od normale. Sa povećanjem upadnog ugla prelomljeni zrak se sve više pomjera od normale, tako da svjetlost može da uđe rjeđu sredinu samo do izvjesne granične vrijednosti upadnog ugla. Upadni ugao pri kojem slomljeni zrak ide po dodirnoj površini ($r = 90^\circ$) zove se granični ugao totalne refleksije (Sl.6). Zraci koji iz optički gušće sredine dodu do granične površine optički rjeđe sredine pod većim uglom od graničnog ugla totalne refleksije neće ući u rjeđu sredinu, već će se totalno reflektovati i vratiti se u gušću sredinu po zakonima o odbijanja svjetlosti.



Sl. 6. Totalna refleksija

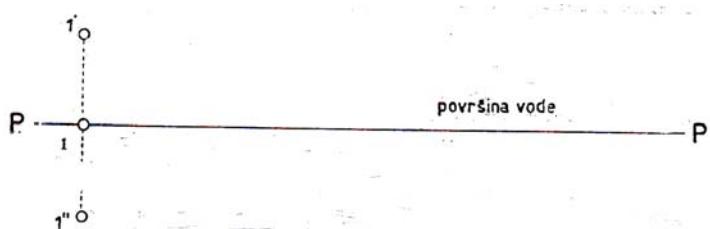
Tamne ivice i nejednako zamračene (šagrenirane) površine pojedinih mineralnih zrna u mikroskopskim preparatima, pri posmatranjima u mikroskopu, djelimično potiču od totalne refleksije. Za minerale na čijim zrnima se zapažaju ove pojave, kaže se da imaju *reljef*. Reljef minerala je važna karakteristika pri mikroskopskom određivanju minerala.

Totalna refleksija je uzrok i nekim drugim pojavama koje se zapažaju na mineralima, kao npr. blistanje polirane površine dragog kamenja, crni rubovi u mikroskopskim preparatima minerala na vazdušnim mjehurićima, pukotinama i tragovima cjepljivosti.

1.7. Titrajno vrijeme, talasna dužina i frekvencija

Osnova Huygensove konstrukcije leži u pretpostavki da se svjetlost širi u obliku talasnog kretanja, slično kao i talasi na mirnoj površini vode kad na nju pustimo kamen.

Titranje svake pojedine čestice na vodi koji se vrši okomito na površinu vode i njihovu međusobnu povezanost u talas možemo prikazati i na ovaj način. Neka je **PP** (Sl.7) površina vode u kojoj čestica **1** iz položaja ravnoteže bude izdignuta u položaj **1'**. Ona će se nastojati vratiti u prijašnji položaj ravnoteže, prema kojem je vuku sile iz bilo kojeg drugog položaja. Titrajući od položaja ravnoteže **1** do **1'**, pa odavde preko **1** do **1''**, itd u određenim vremenskim intervalima, podudarat će se smjer sile koja djeluje uvijek prema ravnotežnom položaju. Po pravilima mehanike u slučaju podudaranja smjerova kretanja i sile kretanja će biti ubrzane, a u protivnom slučaju usporeno. Kad se čestica kreće od **1** prema **1'**, kreće se sve sporije, jer je smjer njezina kretanja suprotan djelovanju sile usmjerene neprestano prema položaju ravnoteže **1**, i napokon će se čestica zaustaviti u tački **1'**. Od te tačke kretat će se nazad prema položaju **1**, ali sve brže, jer se sada smjerovi kretanja čestice i i sile koje na nju djeluju podudaraju. Kada čestica dođe do iz **1'** u **1**, ona će imati najveću brzinu i radi toga najveću kinetičku energiju. Ona se zato neće zaustaviti u tački **1**, nego će krenuti prema **1''**, ali sada sva sporije, jer se smjer kretanja prema **1''** i smjer sile ne podudaraju, i napokon će čestica stati u **1''**. Ovdje će opet krenuti prema **1** sve brže, jer se pri kretanju od **1''** do **1** smjer kretanja i sile podudaraju. Vrativši se u tačku **1** brzina će biti najveća, njena kinetička energija bit će takođe najveća, radi čega će čestica došavši iz **1''** do **1** jurnuti preko **1** i kretajući se sve sporije, stati na **1'**. To će se neprestano ponavljati uz pretpostavku da nema nikakvih smetnji; otpora vazduha, unutrašnjeg trenja itd.



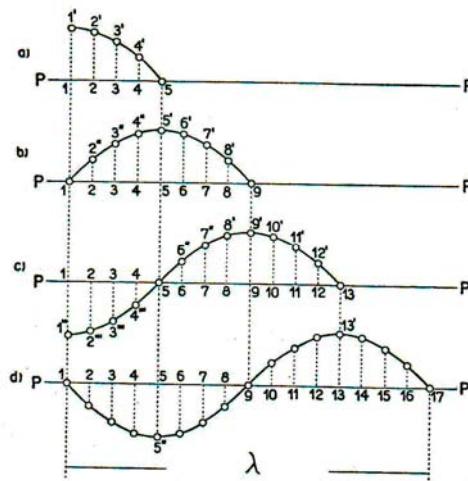
Sl. 7. Čestica 1 vibrira oko položaja ravnoteže okomito na površinu kojom se šire talasi

Najveća udaljenost čestice koja vibrira od položaja ravnoteže prema gore i dole, zove se amplituda vibracije. Svaki manji razmak zovemo elongacijom vibracije. Amplituda je prema tome maksimalna elongacija.

Kažemo da je čestica vibrirajući izvršila jedan titraj, ili jednu vibraciju kad je dvaput prešla put između 1' i 1''. Vrijeme u kojem se to izvršilo zovemo vrijeme titraja ili vibracije (Sl. 8). Označava se sa T . Od 1 do 1' potrebna je samo $1/4T$.

Nakon isteka vibracionog vremena T čestice 1, 2, 3... 16, 17, formirat će puni talas koji se sastoji od dole (čestice 1 do 9) i brijege (9 do 17). Za to vrijeme, dok je čestica 1 izvršila potpunu vibraciju, talasno kretanje je od svoga izvora (čestica 1), odmaknuto za jednu talasnu dužinu, koja se označava sa λ . Talasno kretanje će od svog izvora (čestica 1) pravolinijski, kao zraka proširiti za još jednu talasnu dužinu. Nakon što čestica 1 izvrši tri potpune vibracije, odnosno nakon $(3T)$, talasno kretanje će se proširiti za tri talasne dužine, za 3λ . Označimo li broj vibracija izvršenih u jednoj sekundi sa v , tada možemo reći da je u jednoj sekundi, energetski poticaj za vibriranje od početne čestice odmaknuo za $v\lambda$. Obzirom da znamo da je brzina svjetlosti u vakuumu $c=300.000 \text{ km/s.}$, možemo reći da je:

$$c = v \cdot \lambda$$



Sl. 8. U svakoj četvrtini vibracionog vremena T vibriranje se prenosi za četvrtinu talasne dužine

Broj v , koji pokazuje koliko se vibracija izvrši u jednoj sekundi naziva se frekvencija. Ako se u jednoj sekundi izvrši v vibracija, tada ćemo vrijeme T potrebno za jednu vibraciju, odnosno za jedan talas, dobiti tako da se jedan podijeli sa v :

$$T = \frac{1}{v}$$

$$v = \frac{1}{T}$$

$$\lambda = cT$$

Ovi izrazi pokazuju međusobnu ovisnost brzine, frekvencije, talasne dužine i vibracionog vremena svjetlosti.

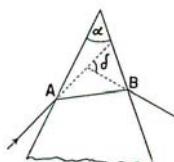
Talasna dužina svjetlosti je po raznim metodama određena veoma tačno.

1.8. Metode za određivanje indeksa loma

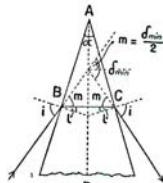
1.8.1. Metoda kline (prizme) ili minimalne devijacije (Frauenhoferova metoda)

Pod prizmom u optičkim ispitivanjima podrazumijevamo dvije ravne plohe koje se sijeku u jednoj ivici, i koji zovemo lomna ivica prizme, a označava se sa α (Sl. 9). Kada se dolazne zrake šire smjerom u ravnini okomitoj na lomni brid kline. Takva će se zraka došavši u tačku **A** do ravne plohe kline lomiti prema okomici i šireći se klinom smjerom AB doći u tačku **B** do granice prema uzduhu koji predstavlja drugu plohu kline. Obzirom da zraka izlazi iz optički gušćeg sredstva u uzduh, ona će se tu lomiti od okomice. Zbog dvostrukog loma izašla zraka ima drugačiji smjer od dolazne zrake. Ugao koji čine te dvije zrake (ugao δ) pokazuje koliko se smjer izašle zrake razlikuje od smjera dolazne zrake, odnosno koliko se izašla zraka svojim smjerom otklonila od prvobitnog smjera dolazne zrake. Može se pokazati da uz iste uslove, ako se radi o jednakom klinu iste supstance, ugao otklona najmanji kada svjetlost kroz klin prolazi okomito na raspolovnicu **AD** prelomnog ugla kline (sl.10). Ugao upada kod tačke **B** u tom slučaju isti kao i ugao loma i kod tačke **C** pri izlazu svjetlosti iz kline u uzduh (vakuum). Isto tako je ugao loma **I** kod tačke **B** isti kao i ugao tačke **C**. S obzirom na raspolovnicu **AD**, postoji u slučaju najmanjeg otklona simetrija između desne i lijeve strane. Zato kažemo još da je prolaz svjetlosti kroz klin u slučaju minimalne devijacije simetričan. Indeks loma **n** jednak je:

$$n = \frac{\sin i}{\sin l}$$



Sl.9. Minimalna devijacija kod kline



Sl.10 Minimum devijacije (shema)

Iz slike vidi se da je:

$$I = \frac{\alpha}{2}$$

jer su to okomični uglovi, te:

$$j = l + m,$$

gdje je

$$m = \frac{\delta_{\min}}{2}$$

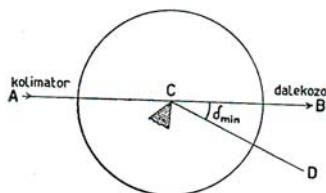
uglovi s usporednim istosmjernim kracima, odnosno

$$j = \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}$$

Na taj način dobijamo za indeks loma:

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

Prelomni ugao klina α se izmjeri pomoću jednokružnog goniometra isto kao što mjerimo uglove među kristalnim pljosnima. Ugao minimalne devijacije izmjerit ćemo takođe pomoću goniometra (Sl.11.)



Sl.11. Mjerenje ugla minimalne devijacije (shema goniometra)

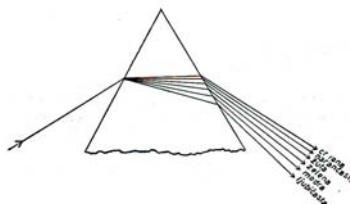
Prvo se namjesti kolimator i durbin kroz koji gledamo, tako da se osi jednog i drugog nalaze u međusobnom produženju. To će biti onda kada se slika signala iz kolimatora, koja u durbinu stvaraju zrake što iz kolimatora **A** prolaze mimo prelomni ugao klina, namješten u os mjernog kruga goniometra kod **C**, budu vidjele tačno u sredini vidnog polja durbina (smjer **AB** na Sl.11.) Nakon toga ćemo fiksirati mjerni krug goniometra s klinom i zakretati sam durbin prema smjeru **CD**, dotle dok se slika signala od slomljenih zraka ne ukaže u vidnom polju durbina.

Ako zaokrenemo klin pomoću mjernog kruga goniometra, vidjet ćemo kako se signal slomljenih zraka postepeno pomiče prema **B**, ali najednom stane i mada klin zaokrećemo dalje istim smjerom – počne se vraćati u vidnom polju durbina nazad, tj. udaljavati se od smjera **CD**. U onom momentu kada je signal u vidnom polju durbina stao, on označava smjer slomljenih zraka **CD** koji je najbliži smjeru direktnih zraka **AB**, odnosno slomljenih zraka koje sa direktnim čine najmanji ugao. One su od direktnih zraka najmanje otklonjene. Međusobnim razmjerno pokretanjem durbina i mjernog kruga goniometra s klinom namjestit ćemo ih tako da se signal počne vraćat upravo onda kada dođe tačno do sredine vidnog polja durbina. Razlika između dva čitanja odgovara uglu najmanjeg otklona.

Ovaj postupak za određivanje indeksa loma prvi je razradio J. Fraunhofer (1817), radi čega se čestu naziva i Fraunhoferovoj metodi.

1.8.2. Disperzija indeksa loma

Ako kroz prizmu propustimo bijelu svjetlost na izlazu iz prizme ona će biti rastavljena u spektar boja. Najmanje će pri tome biti otklonjene zrake crvene svjetlosti, da bi otklon bio sve veći idući preko narančastog, žutog, zelenog i plavog do ljubičastog dijela spektra (Sl.12) uz postepeni prelaz iz jedne boje u drugu. Ako upotrijebimo živinu svijetliku ili Geisslerovu cijev napunjenu vodonikom, vidjet ćemo da umjesto postepenog prelaza jedne boje u drugu, dobijamo potpuno odvojene spektralne linije. Kontinuirane spekture daju užarena čvrsta tijela, a linijske spekture gasovi i pare. Nakon spoznaje da svjetlost ima talasnu (valnu) prirodu, uvedene su različite metode pomoću kojih je vrlo tačno izmjerena talasna dužina svjetlosti. Najduži talasi u krajnjem dijelu crvenog spektra gdje talasna dužina iznosi 780 m μ (milimikrona). Idući prema ljubičastom dijelu spektra, talasna dužina je sve kraća, da bi u krajnjem ljubičastom dijelu bila 380 m μ . Svjetlost kraćih talasnih dužina od 380 m μ zove se ultraljubičasta, a svjetlost većih talasnih dužina od 780 m μ zove se infracrvena svjetlost. Odrediti talasnu dužinu za određenu boju u kontinuiranom vidljivom spektru nema smisla, obzirom da se talasna dužina postepeno smanjuje idući od narančastog do zelenog dijela. Drugim riječima bilo koji dio vidljivog dijela spektra s obzirom na svoju talasnu dužinu nije homogen.



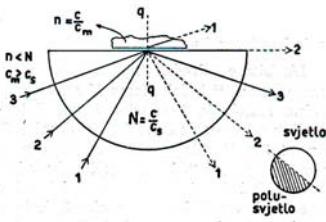
Sl.12. Disperzija bijele svjetlosti

Kod linijskog spektra je drugačije; tu svaka oštro izražena spektralna linija predstavlja svjetlost tačno određene talasne dužine, ona je s obzirom na talasnu dužinu homogena. Takvu svjetlost zovemo monohromatska svjetlost.

1.8.3. Metoda totalne refleksije

Pojava totalne refleksije može se iskoristiti za određivanje indeksa loma. Instrumenti konstruisani na tom principu nazivaju se totalreflektometri ili totalrefraktometri. Osnovni dio totalrefraktometra je staklena polukugla, sa indeksom loma N . On predstavlja omjer brzine svjetlosti u uzduhu c i brzine svjetlosti u staklenoj polukugli c_s .

Instrument je tako konstruisan da se staklena polukugla može okretati oko osi koja prolazi okomito na ravni kružni presjek polukugle koz njegovo središte ($q-q$).



Sl.13. Shematski prikaz totalreflektometra s polukuglom

Na ravnu plohu polukugle stavi se materija (mineral) kojoj želimo odrediti indeks prelamanja n , koji predstavlja omjer između brzine svjetlosti u uzduhu c i u dotičnoj materiji c_m . Materija koju ispitujemo mora biti prislonjena uz ravnu plohu polukugle tako da između njih ne postoji ni najtanji sloj uzduha.

Indeks loma n koji određujemo mora biti manji od indeksa loma N staklene polukugle. Svjetlost se sa strane usmjerava kroz staklo polukugle do granice s materijalom indeksa loma n . Obzirom da je brzina svjetlosti u polukugli c_s manja od brzine c_m u materiji manjeg indeksa loma n , odnosno da se radi o prelazu svjetlosti iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo, ispunjeni su uslovi za totalnu refleksiju. Ako uzmemo da je ugao upada zrake **2** toliki da se lomi pod uglom 90° , tj. da slomljena zraka **2** ide po samoj granici između staklene polukugle i materije na njoj. Zrake koje upadaju uz veći ugao od zrake **2** (zraka **3**) ne mogu se lomiti kao zrake **1** i **2**; one se totalno reflektuju nazad u polukuglu (zraka **3**), dok se zrake **1** i **2** dijelom lome kroz materiju, a dijelom reflektiraju nazad u polukuglu. Može se reći da je:

$$\frac{\sin i}{\sin l} = \frac{c_s}{c_m}$$

Ako desnu stranu pomnožimo omjerom c/c dobijemo:

$$\frac{\sin i}{\sin l} = \frac{c}{c_m} \cdot \frac{c_s}{c}$$

Prvi omjer na desnoj strani jednak je indeksu loma n , a drugi odgovara recipročnoj vrijednosti indeksa loma N , tako da se za određivanje indeksa loma pri radu s totalreflektometrom, kojem je bitni sastavni dio staklena polukugla iz gornjeg uzraza dobije:

$$n = N \cdot \sin i$$

jer je ugao loma $i=90^\circ$.

Da bismo odredili indeks loma n neke materije, potrebno je pomnožiti indeks loma N staklene polukugle sa sinusom graničnog ugla totalne refleksije i . Indeks loma N je poznata veličina koja je određena za staklenu polukuglu. Granični ugao totalne refleksije i mjeri se na taj način da u vidnom polju pokretnog durbina potražimo zraku **2**, koja dijeli polusvjetli dio vidnog polja osvijetljen djelimično reflektiranim zrakama **1** i **2** od svjetlijeg dijela vidnog polja u koji ulaze totalno reflektirane zrake **3**, koje upadaju pod većim uglom

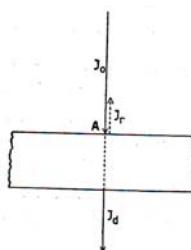
od graničnog ugla totalne refleksije i . Granica između ova dva dijela vidnog polja izražena je kao vrlo jasan pravac, koji se namjesti u sredinu vidnog polja. Na skali s pokretnim durbinom očita se ugao i .

Određivanje pomoću totalreflektometra ima ograničenje da se ne mogu izvršiti mjerjenje na materijama (kristalima) koje imaju veći indeks loma od indeksa loma staklene polukugle, jer tada nisu ispunjeni uslovi za totalnu refleksiju. Radi toga se za staklenu polukuglu upotrebljavaju olovna stakla sa indeksom loma 1,8-1,9.

1.9. Sjaj minerala

Kada na fino poliranu površinu neke prozirne materije pada svjetlost, jedan dio se reflektuje, a drugi zašavši u materiju lomi. Intenzitet dolazne svjetlosti razdijeli se na dva dijela: na intenzitet reflektovane svjetlosti i intenzitet slomljenih zraka. Ako uzmemo specijalni slučaj, kada je upadni ugao 0° , tj. kada svjetlost pada okomito na poliranu površinu (sl.14). Umjesto polirane površine zamislimo idealno ravnu kristalnu plohu. Intenzitet dolazne svjetlosti označen je sa I_o , a intenzitet svjetlosti uz normalne uslove reflektuje u suprotnom smjeru sa I_r . Dolazna i reflektirana zraka se pokrivaju. Prema tome omjer I_r/I_o pokazuje koji se dio dolazne svjetlosti reflektuje, te je bez obzira na intenzitet dolazne svjetlosti stalni i nepromjenjiv sve dok se radi o istoj materiji (kristalu). Taj omjer zovemo koeficijent refleksije i on je prema tome fizička konstanta dotične materije. Može se izraziti i u procentima:

$$R = \frac{I_r}{I_o} = 100 \cdot \frac{I_r}{I_o} \%$$



Sl.14. Odbijanje svjetlosti sa glatke površine

Fresnel je pokazao da uz normalne uslove kod prozirnih materija stepen refleksije u uzduhu ovisi o indeksu loma n :

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

Ako uzmemo obično staklo sa indeksom loma 1,5 po gornjoj formuli dobijemo

$$R = \frac{1}{25} \cdot 100 = 4\%$$

Od svjetlosne energije će se prema tome na površini stakla u tački **A** (Sl. 14) odbiti dvadesetpeti dio ili 4 %, a 96 % će ući u staklo. Kod dijamanta ili sfalerita, kojima je indeks loma skoro 2,5, po istoj formuli stepen refleksije iznosi 17 %. Radi toga dijamant i

sfalerit pokazuju mnogo življi odsjaj od stakla. Materije kojima je stepen refleksije još viši, npr. pirit (53 %), platina (70 %), pokazuju metalni sjaj.

Stepen refleksije mjeri se pomoću fotometara.

1.10. Dvolom

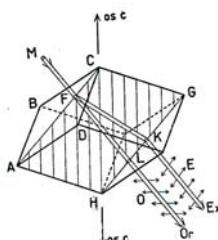
Ako romboedar kalcita stavimo plohom **ABCD** na papir pa s druge strane gledamo okomito kroz neku tačku koja se nalazi pod kalcitom na papiru. Tačka će se kroz kalcit vidjeti dvostruko.

Svaka zraka svjetlosti, šireći se okomito na romboedrovu plohu, rastavlja se u kalcitu u dvije zrake. Jedna od njih nepromijenjenim smjerom prolazi kroz kalcit dođe do suprotne plohe romboedra, na koju pada okomito uz ugao upada 0° , i nepromijenjenim smjerom izlazi iz kalcita u uzduh. To odgovara Snellovu zakonu loma, prema kome je uz ugao upada $i=0^{\circ}$ i ugao loma $I=0^{\circ}$. ta zraka ni po čemu ne odstupa od običnih pojava koje se vide pri prelazu iz jednog sredstva u drugo, zbog čega je zovemo **obična, redovna ili ordinarna zraka**. Označava se sa **O_r** .

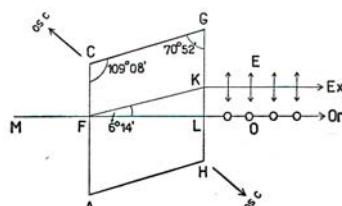
Druga zraka otklanja se od okomice koja se podudara sa smjerom **FL** ordinarne zrake i lomi u smjeru **FK** . Kod K ona izlazi iz kalcita u smjeru **E_x** , koji je paralelan sa smjerom **O_r** ordinarne zrake. Ona se ne ponaša prema Snellovom zakonu te se naziva **neobična, izvanredna ili ekstraordinarna zraka**. Ugao za koji se ona otkloni iznosi $6^{\circ}14'$.

Ova pojava naziva se dvolom. Pojavu dvoloma prvi je opisao Berthelsen na prozirnim kristalima kalcita s Islanda. Radi toga se naziva islandski dvolomac ili islandski kalcit.

Ako kristal kalcita okrećemo oko smjera ordinarne zrake (**LF** Sl.15 i 16) primjetićemo da se ekstraordinarna zraka **E_x** okreće oko smjera ordinarne zrake **O_r** (odnosno njoj odgovarajuće slike). Intenzitet ovih zraka iznosi oko polovine intenziteta dolazne svjetlosti.



Sl.15. Dvostruki lom svjetlosti u kalcitu



Sl.16.Presjek AHGC iz prethodne slike

1.11. Optički izotropne i optički anizotropne materije

1.11.1. Optički izotropne materije

Ako zamislimo da se da se od jedne tačke u nekoj materiji počne širiti svjetlost pravolinijski na sve strane kao transverzalno pravolinijsko kretanje, odnosno zrake svjetlosti su pravci. Ako je brzina kojom se zrake svjetlosti šire u svakom smjeru ista, tj. ako ona ne ovisi o smjeru, tada će se zrake od početne tačke nakon određenog vremena proširiti do plohe koja će biti kugla u čijem središtu treba da zamislimo početnu tačku. Može se reći da je to ploha koja pokazuje brzinu zraka, ili ploha zraka, Frenselova talasna ploha, i ona je za takve materije kugla.

Iz Huygensove konstrukcije proizilazi da indeks loma neka materije predstavlja omjer brzine svjetlosti u vakuumu (uzduhu) i u toj materiji. Ako je indeks loma uvijek isti bez obzira na to u kojem se smeru svjetlost širi kroz neku materiju, tada je i brzina svjetlosti za svaki smjer ista, ploha brzine zraka je kugla. Sve takve materije nazivamo optički izotropne (isos-isti, tropos-smjer).

Takve materije su plinovi, tekućine (uz vrlo rijetke izuzetke), amorfne materije i kristali teseralnog ili kubičnog sistema.

1.11.2. Optički anizotropne materije. Optički jednoosni kristali

Kristali svih ostalih sistema su optički dvolomni. Lome svjetlost dvostruko, kako je to prvi put utvrdio Berthelsen (1669) na islandskom kalcitu.

Kod kristala tetragonskog i heksagonskog sistema svjetlost se lomi dvostruko: na ordinarnu i ekstraordinarnu.

Za odrinatnu zraku (zraku koja se ponaša u skladu sa Snellovim zakonom loma), ispitivanje su pokazala da joj je indeks loma isti bez obzira na to kojim se smjerom ona širi kroz kristal. Odатле izlazi da joj je i brzina ista bez obzira na njen smjer u kristalu; ploha brzine zraka za nju je kugla.

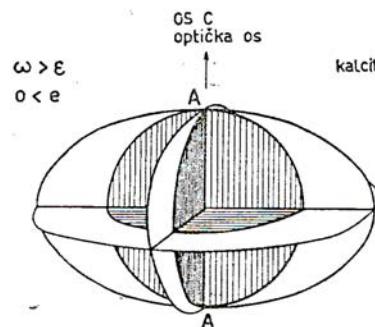
Druga ekstraordinarna zraka ne pokorava se Snellovom zakonu loma. Ona se lomi od okomice i onda kada svjetlost upada okomito: općenito ona se ne mora nalaziti u ravnnini upada, odnosno loma. Već je Huygens primjetio, a kasnije je to mjerenjima potvrđeno, da njen indeks loma nije uvijek isti, nego ovisi o smjeru kojim se svjetlost kroz kristal širi. Indeks loma je za svjetlost određene talasne dužine uz stalnu temperaturu isti za sve ekstraordinarne zrake zrake koje su jednako nagnute prema osi **c** kristala. Što je ekstraordinarna zraka svojim smjerom manje nagnuta prema osi **c** kristala, to se njen indeks loma po svojoj veličini približava indeksu loma ordinarne zrake. U slučaju da svjetlost kroz kristal ide smjerom osi **c**, tada razlika u indeksima loma nestaje; obje zrake u tom slučaju isti indeks loma i ne dolazi do dvostrukog loma. U tom slučaju tetragonski i heksagonski kristali se ponašaju kao i optički anizotropni kristali. U ovom slučaju os **c** zovemo još i optička os ili os optičke izotropije. Obzirom da na tetragonskim i heksagonskim kristalima postoji samo jedan takav smjer u kojem ne dolazi do dvoloma, te kristale zovemo optički jednoosni.

Što je ekstraordinarna zraka svojim smjerom više nagnuta prema osi **c**, odnosno prema optičkoj osi, to se njezin indeks loma sve više razlikuje od stalnog indeksa loma ordinarne zrake; kod nekih kristala u tom smislu postaje sve manji (npr. kalcit), a kod

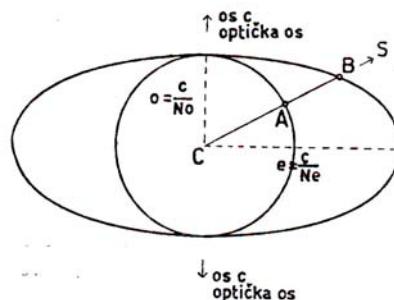
drugih u tom smislu postaje sve naji (npr. led). Ta razlika postaje najveće kad svjetlost kroz kristal ide okomito na os **c**, odnosno na optičku os.

Za brzine vrijedi obrnuto. U smjeru optičke osi brzina ekstraordinarne zrake je ista kao i brzina ordinarnе zrake. Uz sve veći nagib prema osi **c**, brzina ekstraordinarne zrake je u kalcitu sve postepeno sve veća, da bi postigla najveću vrijednost kad se svjetlost širi kroz kristal okomito na os **c** (optičku os). Kod leda će obrnuto uz veći nagib svjetlosnih zraka prema osi **c**, brzina ekstraordinarne zrake postajati postepeno sve manja, da bi zadobila najmanju vrijednost kod se svjetlost kroz kristal širi okomito na os **c**. S obzirom na ekstraordinarnu zraku tetragonski i heksagonski kristali su optički anizotropni.

Ploha brzine zraka za ekstraordinarnu zraku nije kugla nego elipsoid. Svaki radijus-vektor povučen iz središta elipsoida uz isti nagib prema **AA** jednako je dugačak. Što je nagib prema rotacionoj osi **AA** veći, to je on prema zakonima elipse veći, da bi najveću dužinu imao u smjeru okomitom na rotacionu os **AA**. U elipsoidu moramo zamisliti uloženu kuglu koja svojim jednakim polumjerima prikazuje jednaku brzinu ordinarnе zrake bez obzira na smjer svjetlosti. Kugla se dotiče elipsoida u rotacionoj osi **AA**. U tom smjeru je brzina ordinarnе i ekstraordinarnе zrake zrake, odnosno njihovi indeksi loma isti i jednak indeksu loma ordinarnе zrake, koja je označena sa **No**. Kod kalcita on za natrijsku svjetlost iznosi 1,65835 (pri temperaturi 15°C).



Sl. 17. Spljošteni rotacioni elipsoid kod optički negativnih minerala

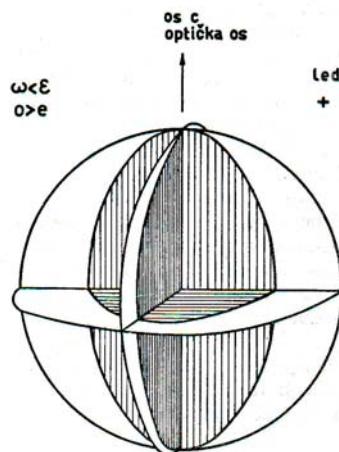


Sl. 18. Centralni presjek kugle i rotacionog elipsoida kroz optičku os **AA** sa slike 17.

Na osnovu svega može se reći da je potpuna ploha brzine zraka za kalcit dvoljuskasta ploha (sl.17). Ona nam pokazuje šta će se dogoditi sa svjetlošću koja se iz neke tačke unutar kristala kalcita širi nesmetano na sve strane. Nakon određenog vremena svjetlost će doći do dvostrukе površine, koja se sastoji od rotacionog elipsoida i od kugle. Obje se plohe dodiruju u rotacionoj osi, koja predstavlja optičku os. Ta os odgovara kristalografskoj osi **c** kalcita. Svjetlost koja ide od **C** prema **S** lomit će se dvostruko: jedna sporija zraka doći će do površine kugle u **A** (ordinarna zraka), a druga, brža istovremeno će stići do **B** na površinu rotacionog elipsoida (ekstraordinarna zraka). Njena brzina neće biti maksimalna **e** (odgovarajući indeks loma $N_E=1,49$ kalcita), ni minimalna **o** (indeks loma $N_o=1,66$ kalcita), nego će ona predstavljati neku međuvrijednost, koja se može izračunati iz **o** i **e** po zakonima elipse.

Sve optički jednoosne kristale kod kojih je brzina **o** (ordinarne zrake) manja od brzine **e** (ekstraordinarne zrake), odnosno kod kojih je $N_o > N_E$ kao kod kalcita zovemo optički jednoosni negativni kristali. Njihova ploha zraka je kugla uložena u rotacioni spljošteni ellipsoid. (Sl.17 i 18).

U drugom slučaju (kod leda) brzina ekstraordinarnih zraka se razlikuje od brzine ordinarnih zraka, ali ne da bude veća, kao kod kalcita, nego naprotiv, da bude manja, da bi postala najmanja kad svjetlost prolazi kroz kristal okomito na os **c** (Sl 19). I u tom slučaju ploha brzine zraka za ordinarnu je kugla, a za ekstraordinarnu rotacioni ellipsoid. Za razliku od kalcita taj ellipsoid je sada izdužen. U ovom slučaju je ellipsoid uložen u kuglu, dotičući je isto kao i kod kalcita u smjeru koji odgovara kristalografskoj osi **c**. Sve takve optički jednoosne kristale zovemo optički jednoosne pozitivne. Kod njih je indeks loma ordinarne zrake manji od indeksa loma ekstraordinarne zrake. I tu se za indeks loma uzima onaj indeks koji ona ima kad se širi kroz kristal u smjeru koji je okomit na optičku os. Ovdje je $N_E > N_o$.



Sl. 19. Spljošteni rotacioni ellipsoid kod optički pozitivnih kristala

Ako svjetlost ide kroz kristal okomito na optičku os, tj. ako je preparat načinjen paralelno s optičkom osi, jačina dvoloma će za dotičnu materiju biti najveća, pa u tom slučaju govorimo o maksimalnom dvolomu ($N_E - N_o$). Za svaki drugi smjer svjetlosti kroz kristal indeks loma ekstraordinarne zrake (N_E) će se manje razlikovati od ordinarnе (N_o). Razlika (dvolom), za istu materiju će biti utoliko manji što se svjetlost svojim smjerom u kristalu približava optičkoj osi.

Često za optički jednoosne negativne (pozitivne) kristale kažemo da im je optički znak ili karakter dvoloma negativan (pozitivan). U tabeli I. dati su podaci za neke optički jednoosne materije. U prvom stupcu dati su nazivi materija, u drugom i trećem navedeni su indeksi loma N_o i N_E . U četvrtom stupcu dat je karakter dvoloma i njegova maksimalna vrijednost. Pomoću izraza dobijene vrijednosti maksimalnog dvoloma i date su u petom stupcu.

$$\operatorname{tg} \mu = \pm \frac{N_o^2 - N_E^2}{2N_o \cdot N_E}$$

Tabela I: Podaci dvoloma za neke optički jednoosne materije

Naziv, formula	N_E	N_o	$N_E - N_o$	μ
Kalomel HgCl	2,6559	1,9733	-0,6826	16°46'
Čilska šalitra NaNO ₃	1,3361	1,5874	-0,2513	9°50'
Kalcit CaCO ₃	1,4864	1,6584	-0,1720	6°16'
Apatit Ca ₅ (PO ₄) ₃ Cl	1,6329	1,6355	-0,0026	0°06'
Led H ₂ O	1,31041	1,30911	+0,00130	0°04'
Cirkon ZrSiO ₄	1,9682	1,9239	+0,0443	1°18'
Rutil TiO ₂	2,9029	2,6158	+0,2871	5°58'

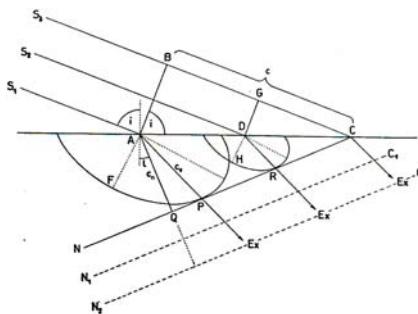
Vidimo da je vrijednost ugla μ kod kalcita 6°16', dok za led iznosi samo 4'. Slike ordinarne i ekstraordinarne zrake kod kalcita, ako gledamo neku tačku kroz 5 cm debelu planparalelnu ploču, napravljenu paralelno plohamu osnovnog romboedra, bit će udaljene 5,46 mm. Da bi one bile isto toliko razmaknute i kod leda, morao bi sloj leda biti deboj 47 metara.

1.11.3. Smjer širenja zraka i talasa. Talasna normala

Kada preko Huygensove konsrukcije (Sl.5) prenesemo odnose koji postoje za ekstraordinarnu zraku, vidimo da za brzinu zrake S_3 u uzduhu BC – ako uzmemo da je to put svjetlosti prevaljen u jedinici vremena – i brzinu slomljene ekstraordinarne zrake u kristalu c_e sa razmakom AP ne postoji Snellov zakon loma, odnosno Huygensov omjer brzina (Sl.20). smjer ekstraordinarne zrake AP u kristalu nije okomit na talasnu frontu CN . Kad iz tačke A povučemo normalu AQ na talasnu frontu CN i označimo li ugao te normale s okomicom na mjestu upada sa I , tada će se prema Snellovom zakonu i Hugensu moći napisati:

$$\frac{\sin i}{\sin l} = \frac{c}{c_n} = n$$

Ekstraordinarnoj zraci **AP** , koja se u kristalu širi brzinom **c_e** , odgovara samo jedna normala **AQ** . Između **AP** i **AQ** postoji tačan međusobni odnos koji se može izraziti određenom formulom. Ekstraordinarne zrake šireći se brzinom **c** smjerom **AP** , dođu u jednom času do talasne fronte **CN** . U daljem vremenskom razmaku ekstraordinarne zrake će doći do talasne fronte **C_1N_1** (na sl. 20 crtkano), paralelne sa **CN** itd. Kako odmiču zrake, tako odmiče i talasna fronta ekstraordinarnih zraka. **c_n** označava brzinu kojim se pokreće talasna fronta ekstraordinarnih zraka. Smjerom odmicanja frontne normale određen je smjer u kojem se u obliku talasa pokreće svjetlosni podražaj, koji je prvo došao do **CN** , zatim **C_1N_1** itd.



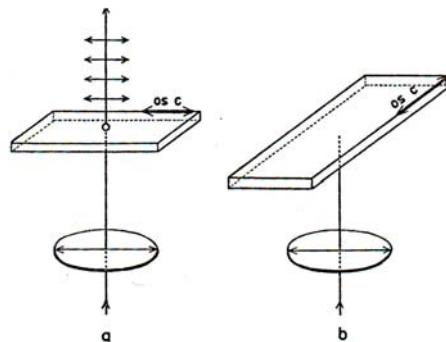
Sl. 20. Smjer širenja ekstraordinarnih zraka i brzina širenja talasa

Radi potpunijeg definiranja potrebno je kod optički anizotropnih kristala uz brzine (indekse) zraka navode i brzine (indeksi) talasnih normala. Ovisnost zraka i talasnih normala može se i matematički izraziti. Od dvije mogućnosti zgodnije je služiti se brzinama, odnosno indeksima talasnih normala, a ne zraka, jer za talasne normale vrijedi Snellov zakon i Huygensov omjer brzina. Osim toga ekstrordinarna zraka se ne nalazi uvijek u ravnini upada.

1.11.4. Polarizacija svjetlosti u dvolomnim kristalima

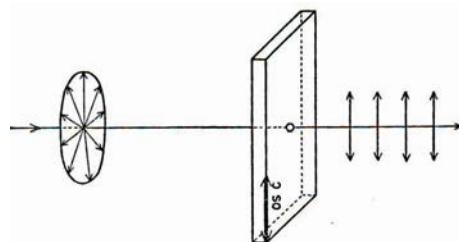
Ako uzmemo turmalin koji je optički jednoosan negativan kao i kalcit sa indeksima loma **$N_o = 1,6366$** i **$N_E = 1,6193$** i izbrusimo pločicu paralelnu s osi **c** , tada će pri prolazu svjetlosti uz normalne uslove kroz tu pločicu dvolom biti najjače izražen, jer svjetlost u tom slučaju prolazi kroz kristal u smjeru okomitom na os **c** . Turmalin u tom slučaju u sebi zadre ili apsorbuje ordinarni talas, tako da iz njih izade samo ekstraordinarni talas. Ako jednu takvu pločicu stavimo ispred oka i pogledamo ona dva talasa koja su nastala pri prolazu kroz kalcit. Ako zaokrećemo turmalinsku pločicu u njenoj ravnini, vidjet ćemo da se dva talasa koja su izašla iz kalcita ponašaju različito jedan od drugoga. Vidjet ćemo oba talasa, ali ćemo pri zaokretanju turmalinske pločice iznad kalcita vidjeti da jedan talas, odnosno njegova slika postepeno slabiti i u jednom položaju turmalinske potpuno nestane; mjesto dva talasa vidjet će se samo jedan, odnosno njemu odgovarajuća slika. Taj će talas tada biti intenzitetom najjači. Pri dalnjem zaokretanju pločice nestali talas će se opet pojaviti i postajati sve intenzivniji, a drugi postepeno slabiti (Sl.21a). Intenzitet prvoga bit će najjači, a drugi će potpuno nestati kada turmalinsku pločicu iz onoga položaja gdje smo primjetili da nam je nestala slika talasa zaokrenemo za 90° .

Nakon svakih 90° vidjet će se samo jedan talas: jedanput ordinarni, drugi put ekstraordinarni (Sl.21b).



Sl.21. Linearno polarisana svjetlost. Vibracije se vrše samo u jednom smjeru okomitom na zraku (a). Takva svjetlost ne može uvijek proći kroz turmalinsku pločicu (a)

Ova pojava se neće primjetiti ako kroz turmalinsku pločicu posmatramo sunčevu svjetlost, svjetlost sijalice ili svjeće (Sl.22).



Sl.22. Vibracije kod obične svjetlosti se vrše u svim smjerovima okomitim na zraku, te prolazi kroz turmalinsku pločicu

Proizilazi da se različite pojave pri prolazu svjetlosti kroz kristalnu materiju mogu objasniti samo ako se svjetlost shvati kao transverzalno talasno kretanje. Za ordinarni i ekstraordinarni zrak talas koji su izašli iz kalcita i isto tako za ekstraordinarni zrak izašao iz turmalinske pločice vibracije se vrše samo u jednom smjeru, okomitom na smjer zrake. U tim zrakama nema obične svjetlosti, one predstavljaju potpuno linearno polarisani svjetlost.

1.11.5. Orientacija vibracionih smjerova u svjetlosti optički jednoosnih kristala. Optička indikatrisa

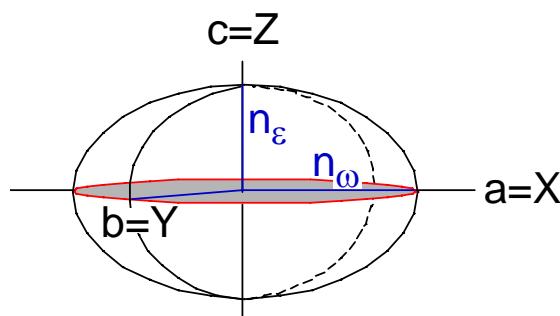
Od dva linearno polarisana talasa koja izadu iz nekog optički jednoosnog kristala, jedan (ordinarni) ima istu brzinu, odnosno isti indeks loma bez obzira na to kojim se smjerom svjetlost kroz kristal širi. Ta neovisnost o smjeru širenja izražena je za ordinarni

talas i na taj način da je za njega vibracioni smjer neovisno o smjeru kojim je svjetlost kroz kristal išla, okomit na os **c**, odnosno na optičku os kristala.

Vibracioni smjerovi se nalaze u ravnini okomitoj na optičku os, odnosno os **c** optički jednoosnog kristala. Ako vibracione smjerove nanesemo od neke tačke od koje se u nekom momentu na sve strane počne širiti svjetlost, pa na svaki vibracioni smjer nanesemo indeks loma ordinarnog talasa monohromatske svjetlosti (npr. za kalcit 1,65835), tada će se krajnje tačke nalaziti na kružnici poluprečnika 1,65835, okomitoj na os **c**.

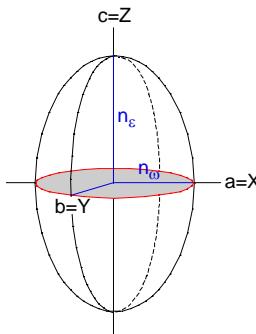
Vibracioni smjer ekstraordinarne zrake uvijek je okomit na vibracioni smjer odgovarajućeg ordinarnog zraka. U specijalnom slučaju kada se svjetlost širi okomito na optičku os, vibracije ekstraordinarnog talasa paralelne su s optičkom osi i indeks loma mu se tada najviše razlikuje od indeksa loma ordinarnog talasa; kod kalcita on iznosi $N_E=1,48640$. Kad nanesemo na taj vibracioni smjer duž optičke osi prema dole i gore od tačke u kristalu od koje se svjetlost počela širiti vrijednost 1,48640 (Sl.23). Pomoću međusobno okomitih dužina možemo konstruisati elipsu. Ako je okrenemo oko optičke osi, nastat će spljošteni rotacioni elipsoid, kojem će na kružni presjek većeg poluprečnika N_O iz središta ići u manji N_E .

Ovako konstruisan rotacioni elipsoid nazivamo optička indikatrica. Svaki središnji presjek je elipsa. Pomoću tog elipsoida može se odgovoriti šta će se desiti sa svjetlošću koja se širi kroz kristal u bilo kojem smjeru.



Sl.23. Indikatrica optički jednoosnih negativnih kristala je spljošteni rotacioni elipsoid

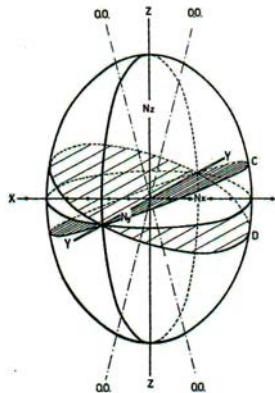
Za optički jednoosne pozitivne kristale indikatrica je izduženi rotacioni elipsoid koji se konstruiše isto kao indikatrica jednoosnih negativnih kristala (Sl.24). Na smjer paralelan osi **c** kristala, odnosno na smjer optičke osi, nanosi se dužina koja odgovara indeksu loma ekstraordinarnog talasa N_E . Okomito na to nanosi se N_O . Sa te dvije dužine konstruiše se rotacioni elipsoid.



Sl.24. Indikatrica optički jednoosnih pozitivnih kristala

1.11.6. Optički dvoosni kristali

Kod rompskih, monoklinskih i triklinskih kristala optička indikatrica je troosni elipsoid čiji su oblik i veličina određeni sa tri međusobno okomita polumjera različite dužine. Označavaju se sa **X**, **Y** i **Z**. Oni predstavljaju kao i kod optički jednoosnih kristala, vibracione smjerove onih talasa koji se šire okomito na njih. Ta tri odabrana vibraciona smjera odabrana su tako da da smjeru **X** odgovara najmanji indeks loma i njegova veličina se označava sa **N_x** (Sl.25). Vibracionom smjeru **Z** odgovara najveći indeks loma **N_z**. Okomito na ravninu vibracionih smjerova **Z** i **X** stoji vibracioni smjer **Y**. Ako svjetlost prolazi bilo kojim smjerom okomitim na **Y**, tj. u ravnini **XZ**, zbog čega će se moći ostvariti vibracije smjerom **Y**, imat će indeks loma **N_y**, koji će po svojoj vrijednosti biti manji od najvećeg indeksa loma **N_z** i veći od najmanjeg indeksa loma **N_x**, ali tako da predstavlja srednju vrijednost između **N_z** i **N_x**.



Sl. 25.Optička indikatrica optički dvoosnih kristala je troosni elipsoid s tri međusobno okomita glavna vibraciona smjera **Z**, **Y** i **X**.

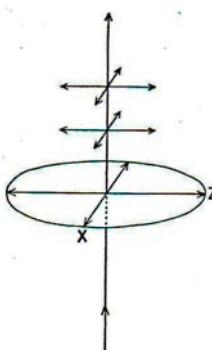
Optička indikatrica optički jednoosnih (tetragonskih i heksagonskih) kristala određena je sa dva glavna indeksa loma **N_o** i **N_e** i njima odgovarajuća dva glavna vibraciona smjera **O** i **E**. Optičko ponašanje kod rompskih, monoklinskih i triklinskih kristala određeni su sa tri glavna indeksa loma **N_z**, **N_y** i **N_x** i njima odgovarajuća tri glavna

međusobno okomita vibraciona smjera **Z**, **Y** i **X**. Ti vibracioni smjerovi su ravni simetrije troosnog elipsoida. Ta optička simetrija je u skladu sa simetrijskim elementima holoedrije onog sistema u kojem kristal spada.

Kod primjene indikatrise optički dvoosnih kristala, ona je ista kao i kod indikatrise optički jednoosnih kristala. Okomito na smjer svjetlosti koja prolazi kroz kristal (izbrusak), treba položiti centralni presjek indikatrise. Ako je taj presjek elipsa, doći će do dvoloma. Duža i kraća os tog presjeka svojim smjerom označuje vibracione smjerove, a svojom dužinom indekse loma dva nastala talasa koji izlaze iz preparata. Drugim riječima nema više ordinarnog talasa; oba talasa koja su nastala zbog dvoloma ponašaju se ekstraordinarno. Općenito pri prolazu svjetlosti kroz kristalnu pločicu, obje zrake će se otkloniti od upadne okomice, a ne samo jedna, kao što je to slučaj kod optički jednoosnih kristala.

Ako imamo kristalni presjek izbrušenu paralelno simetrijskom presjeku **ZX** indikatrise (Sl.25 i 26) uz uslove normalnog prolaza svjetlost dolazi na takvu pločicu okomito tj. u smjeru **Y**. Tada će doći do dvoloma, a jedan od dva nastala talasa vibrirat će smjerom **Z** i prolaziti kroz kristalni presjek najmanjom brzinom, koji odgovara najvećem indeksu loma **N_z**. Drugi će vibrirati smjerom **X** i njemu će odgovarati najmanji indeks loma **N_x**. Dvolom takvog kristalnog presjeka **N_z - N_x** je maksimalni dvolom dotične kristalne materije. Ako svjetlost dolazi smjerom **Z**, tj. okomito na presjek **ZY** indikatrise, vibracioni smjerovi oba zbog dvoloma nastala talasa bit će u prvom slučaju **Y** i **X** i njima odgovarajući indeksi loma imat će vrijednosti **N_y** i **N_x**; u drugom slučaju imat će vibracione smjerove **Z** i **Y** i njima odgovarajuće indekse loma **N_z** i **N_y**. Dvolom će u prvom slučaju biti **N_y-N_x**, a u drugom **N_z-N_y**. Nazivaju se parcijalni ili djelimični dvolom, jer zajedno uzeti daju maksimalni dvolom:

$$(N_z-N_y)+(N_y-N_x)=N_z-N_x$$



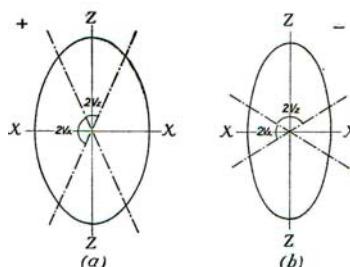
Sl.26. Od svjetlosti koja upada okomito na kristalni presjek ZX nastaju dva talasa s indeksima loma Ny i Nx

Veličina ugla optičkih osi, koje su nagnute prema osi **Z**, odnosno prema osi **X**, na jednu i drugu stranu, ovisi o vrijednosti glavnih indeksa loma **N_z**, **N_y** i **N_x**. Iz slike se može vidjeti da će se kružni presjeci sve više približavati simetrijskim presjeku **YX** indikatrise

što se više N_y svojom vrijednošću približava ka N_x . Optičke osi će se sve više približavati smjeru Z . Obratno kružni presjeci će se sve više približavati svojim položajem simetrijskom presjeku ZY indikatrice, što se više N_y svojim vrijednostima približava ka N_z . Optičke osi će u tom slučaju biti sve bliže smjeru X . Glavne vibracione smjerove Z i X , koji polove ugao optičkih osi; zovemo ih još i raspolovnice ugla optičkih osi. Onaj koji polovi oštri ugao optičkih osi, zove se oštra ili prava raspolovnica; drugi vibracioni smjer polovi tupi ugao optičkih osi, pa u tom slučaju govorimo o tupoj ili drugoj raspolovnici. Prema tome da li je oštra raspolovnica glavni vibracioni smjer Z ili X , dijele se s obzirom na svoj optički karakter na optički pozitivne i optički negativne. Ugao optičkih osi označava se sa $2V$.

Tabela II: Indeksi loma za optički dvoosne kristale

Mineral	N_x	N_y	N_z	$2V$
Aragonit CaCO_3	1,5300	1,6810	1,6854	-18°05'
Barit BaSO_4	1,6363	1,6373	1,6484	+37°02'
Disten Al_2SiO_5	1,7131	1,7219	1,7285	-82°15'
Feručit NaBF_4	1,301	1,3012	1,3068	+11°25'
Antimonit Sb_2S_3	3,194	4,046	4,303	-25°45'



Sl. 27. Optički pozitivni (a) i optički negativni (b) dvoosni kristali

Ovisnost ugla optičkih osi $2V$ o tri glavna indeksa loma N_z , N_y i N_x može se izračunati po formuli:

$$\operatorname{tg} V_z = \frac{N_z}{N_x} \sqrt{\frac{(N_y + N_z)(N_y - N_x)}{(N_z + N_y)(N_z - N_y)}}$$

V_z u formuli se odnosi na polovicu ugla optičkih osi oko glavnog vibracionog smjera Z , bez obzira da li je V_z manje od 45° (optički dvoosni pozitivni kristali) ili veće od 45° (optički dvoosni negativni kristali).

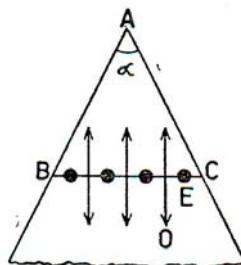
Ugao optičkih osi može se mjeriti na više načina. Ako odredimo indekse loma, tada nam gornja formula može poslužiti kao kontrola tačnosti određivanja.

U tabeli II dato je nekoliko primjera za optički dvoosne kristale (Na-svetlost).

1.11.7. Određivanje glavnih indeksa loma kod optički jednoosnih i dvoosnih kristala

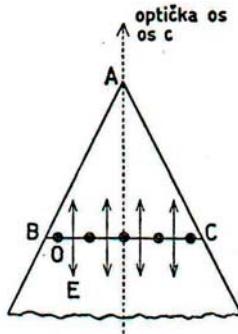
Ukoliko želimo odrediti glavni indeks loma optički anizotropnih kristala metodom minimalne devijacije, plohe klini moraju imati takvu orijentaciju da se pri prolazu svjetlosti kroz klin mogu ostvariti vibracije paralelne s vibracionim smjerovima **O** i **E** kod optički jednoosnih, odnosno **X**, **Y** i **Z** kod dvoosnih kristala.

Kod optički jednoosnih kristala indeks loma **N_o** ordinarnog talasa dobijemo uz bilo koju orijentaciju klina. Da bi se dobio indeks loma **N_E**, mora prelomni ugao klina imati jednu od dvije orijentacije, od kojih ćemo kao prvu spomenuti onu da je lomna ivica klina paralelna s optičkom osi kristala. To će biti kod svakog klini, kojem su plohe paralelne s osi **c** kristala, tj. ako one uz ispravnu kristalografsku orijentaciju idu upravno. To je prikazano na sl. 28. na kojoj obje plohe klina moramo zamisliti okomito na na ravninu. Njihov lomni brid je okomit i predstavlja optičku os **c**. U slučaju minimalne devijacije svjetlost prolazi kroz klin simetrično tj. u smjeru **BC**. U tom slučaju mogu biti ostvarene vibracije okomite na os **c**, odnosno optičku os; one su označene strelicama okomito na smjer svjetlosti **BC** mogu biti ostvarene i vibracije paralelne s oči **c** označene tačkama. Prve će dati u minimum devijacije indeksa loma **N_o** ordinarnog, a druge indeks loma **N_E** ekstraordinarnog talasa. Na taj način određujemo pomoću klina oba glavna indeksa loma.



Sl. 28. Indeksi loma **N_o** i **N_E** mogu se kod optički jednoosnih kristala odrediti na istom klinu čiji lomni brid predstavlja os **c** kristala

To će se moći uraditi i pomoću klina drugačije orijentacije, tako da mu je lomni brid okomit na os **c** (optičku os) kristala i da su uz to plohe klina jednako nagnute prema osi **c**. drugim riječima os **c** uz tu orijentaciju polovi lomni ugao klina (Sl.29). u slučaju minimalne devijacije svjetlost prolazi kroz klin okomito na os **c** u smjeru **BC**. Kako iz slike vidimo i takvom orijentacijom mogu biti ostvarene vibracije okomite na optičku os (označene tačkama) i vibracije paralelne s optičkom osi (označene strelicama). Prvima će odgovarati indeks loma **N_o**, a drugima **N_E**.



Sl. 29. Indeksi loma N_o i N_E mogu se odrediti na istom klinu čiji je lomni brid okomit na os c ako ona polovi lomni ugao klina

Kod optički dvoosnih kristala može se odrediti jedan od tri glavna indeksa loma na klinu kojem je lomni brid paralelan vibracionom smjeru dotičnog indeksa loma. Izuzetno se može na istom klinu odrediti i dva indeksa loma, ali samo u slučaju ako je lomni brid klina paralelan jednom, a simetrala lomnog ugla drugom vibracionom smjeru. Ovo podsjeća na optički jednoosne kristale na slici 29.

Određivanje se jednostavnije izvodi pomoću totalreflektometra (Sl.13). Tu se može dobiti jasan pregled pomoću posljednje zrake koja se još lomi i reflektuje (zraka 2 na sl 13). Granica koja odgovara ordinarnom zraku vidjet će se kod optički jednoosnih kristala nepromijenjeno uz isti položaj dalekozora bez obzira koliko zokrećemo polukuglu instrumenta oko smjera qq u jednom ili drugom smjeru. U tom slučaju će biti ostvarena mogućnost da svjetlost vibrirajući okomito na slomljenu zraku 2 vibrira i paralelno s osi c (optičkom osi) kristala. Granica u dalekozoru označava granični ugao totalne refleksije za indeks N_E .

Kod optički dvoosnih kristala određivanja pomoću totalreflektometra su jednostavna ako polirana ravna ploha preparata odgovara jednom od simetrijskih presjeka indikatrise. Ako je preparat pripremljen okomito na glavni vibracioni smjer X indikatrise. Y i Z se prema tome nalaze u ravnini preparata. Ako stavimo preparat na polukuglu totalreflektometra, tada će se kada okrećemo polukuglu oko smjera qq , glavni vibracioni smjer X neprestalno biti okomit na smjer zrake 2 (Sl.13). U dalekozoru će se neprestano vidjeti granica koja odgovara indeksu N_x . Druga dva indeksa dobit će se tako se zaokretanjem polukugle oko druga dva smjera, koja su u samoj ravnini preparata, jedan npr. Y , namjesti okomito na zraku 2. uz granicu za indeks loma N_x vidjet će se tada još i granica koja odgovara indeksu loma N_y . Ako zaokrenemo polukuglu s preparatom za 90° , ukazat će se uz granicu za indeks loma N_x još i ona za indeks loma N_z , dok će granica koja je prije zaokretanja odgovarala indeksu loma N_y sada nestati.

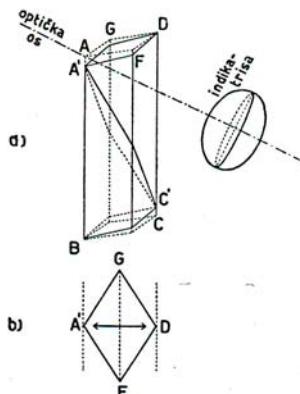
Na taj način pomoću jednog poliranog preparata mogu se odrediti sva tri glavna indeksa loma. Granica za indeks loma onog glavnog vibracionog smjera na koji je preparat okomito pripremljen vidi se neprestalno u dalekozoru na istom mjestu. Dvije druge granice pojavljuju se nakon zaokretanja polukugle za 90° onda kada se dva glavna vibraciona smjera u ravnini preparata namjeste zaokretanjem polukugle okomito na zraku 2.

1.12. Nikolova prizma

Dobijanje linearne polarisane svjetlosti kod turmalinskih pločica zasniva se na pojavi apsorpcije. Te pločice pored svojih prednosti imaju i svojih nedostataka. Svežnjevi linearne polarisane svjetlosti koji se mogu pomoći njih dobiti, razmjerno su uski, jer u prirodi nema velikih kristala turmalina. Drugi nedostatak je to što turmalin apsorbuje i za ekstraordinarnu zraku jedan dio iz spektra obične bijele svjetlosti, radi čega je linearne polarizovana svjetlost obojena.

Islandske kalcite (islandske dvolomac) koji je pripremio i upotrijebio W. Nicol (1828) je puno praktičniji. Od prozirnog kalcita se pripremi izduženi romboedar sa odnosom dužina : širina = 3 : 1. Duže plohe se izbruse i fino poliraju. Manje plohe na jednom i drugom kraju nagnute su prema vertikalno nacrtanim bridovima romboedra **AB** i **CD** pod ugлом od $70^{\circ}52'$ (Sl.30). Plohe se izbruse za tri stepena prema bridovima **AB** i **CD** (ugao 68° , označeno crtkano na slici). Islandski kalcit se onda presječe duž ravnine **A'C'** okomito na nabrušene plohe **A'D** i **BC'** i paralelno dužoj dijagonali **GF** tih ploha. Tako pripremljene plohe **A'C'** na oba komada fino se poliraju i ponovo zaliđe pomoći kanada balzama.

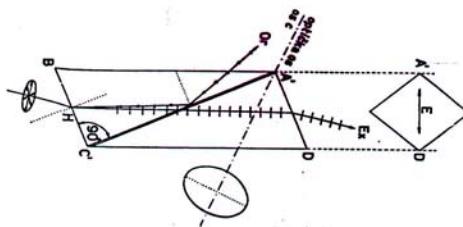
Na slici 30. vidimo dva naknadno slijepljena komada islandskog kalcita, gdje ordinarni zrak, čije se vibracije vrše okomito na ravninu rezanja, neće moći proći kroz tanki sloj kanada balzama. Indeks loma ordinarnog talasa u kalcitu je 1,6584. indeks loma kanada balzama je 1,537. Prelazeći iz u kanada balsam ordinarni talas bi išao iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo.



Sl.30. Nikolova prizma (shema), a)pogled sa strane, b)pogled odozgo

Obzirom da on na tu granicu pada pod većim uglom nego što je granični ugao totalne refleksije, za prelaz svjetlosti iz kalcita u balsam, on ne može nastaviti svoj put preko te granice, nego se na njoj totalno reflektuje u smjeru **O_r**. Nikolova prizma obložena je u svom metalnom ležištu slojem čadi, koja tu svjetlost apsorbuje.

Ekstraordinarni zrak ide kroz kalcit koso prema optičkoj osi kalcita. Uz uslove koji su ostvareni konstrukcijom njegov indeks loma je 1,516, on se razlikuje od indeksa loma kanada balzama. Ta će zraka prema tome nesmetano proći kroz kanada balsam i u smjeru **E_x** izaći iz nikolove prizme. Nakon prolaska kroz nikolovu prizmu svjetlost nije više obična, nego linearne polarisana.



Sl.31. Vertikalni profil nikolove prizme iz slike 30

Vidimo da se kod turmalinskih pločica linearne polarisana svjetlost dobija apsorpcijom ordinarnog zraka, dok se kod nikolove prizme isti efekat postiže totalnom refleksijom.

Danas se u praksi koriste vještački pripremljene prizme (Ahrensova, Glanova itd), ali je naziv nikol ili nikolova prizma zadržan.

1.13. Polarizacija svjetlosti pri refleksiji

Svjetlost koja se reflektujena ravnoj površini neke prozirne optički izotropne materije je linearne polarisana. Brewster (1815) našao da je reflektovana svjetlost potpuno linearne polarisana ako svjetlost upada na granicu pod takvim uglom i , da on zajedno s uglom loma I iznosi 90° , tj kad je:

$$\begin{aligned} i + I &= 90^{\circ} \\ I &= 90^{\circ} - i \end{aligned}$$

uvrsti li se ta vrijednost u izraz

$$\frac{\sin i}{\sin l} = n$$

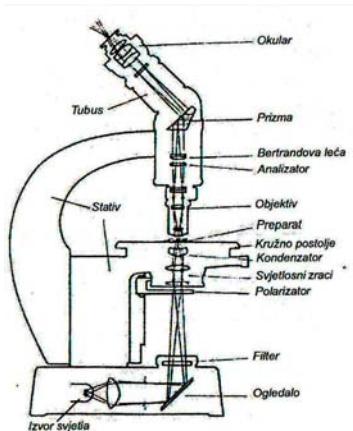
Dobijamo izraz

$$n = \tan i$$

To je Brewsterov zakon, po kojem će svjetlost zbog refleksije na ravnoj granici nekog optički izotropnog prozirnog sredstva biti potpuno linearne polarisana ako je tangens ugla i , pod kojim je svjetlost upala na tu granicu, jednak indeksu loma sredstva. Taj ugao upada zove se Brewsterov ugao ili ugao polarizacije. Vibracije reflektovane svjetlosti vrše se okomito na ravninu upada, odnosno refleksije.

1.14. Polarizacioni mikroskop

Polarizacioni mikroskop služi za ispitivanje minerala u propuštenoj svjetlosti. Sastoji se od mehaničkog i optičkog dijela kao i pretećeg pribora (Sl.32).



Sl.32. Polarizacioni mikroskop

Mehanički dio mikroskopa sačinjavaju postolje, stativ, tubus, mikroskopski sto, zavrtanj za grubo dotjerivanje i mikrometarski zavrtanj.

Optički dio mikroskopa čine objektivi, okulari, izvor svjetla i polarizatori (nikolove prizme).

Pribor sadrži pomoćne sprave koje se na pogodan i jednostavan način mogu priključiti na mikroskop, kada je to za odredjene metode potrebno. To su specijalni stočići, okulari i objektivi, mikrometri, kompenzatori, fotoaparati, itd.

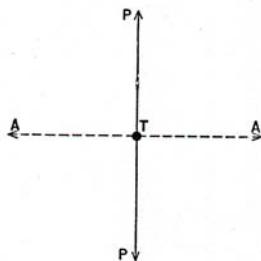
Polarizatori (nikolove prizme) omogućuju da se minerali ispituju i u polarizovanoj svjetlosti. Pomoću sistema sočiva koji sačinjavaju kondenzator, paralelan snop svjetlosti može se pretvoriti u konvergentan.

Konstrukcija polarizacionog mikroskopa može se opisati na slijedeći način: mikroskop se sastoji od dvije nikolove prizme (nikola), od kojih se jedna i to donja nalazi ispod radnog stola mikroskopa i naziva se polarizator, a gornja koja se nalazi izmedju objektiva i okulara i naziva se analizator. Polarizator služi da od običnog svjetla napravi linearно polarisano svjetlo, dok analizator "analizira" one pojave koje nastaju pri prolazu svjetla kroz mineralno zrno. Vibracione ravnine polarizatora i analizatora kada su ukršteni međusobno su okomite.(Sl.33).

Nikolova prizma se specijalno priprema od islandskog kalcita, presječe po dijagonalni, pa se ta dva dijela ponovo zalijepi kanada balzamom (Sl.30 i 31). Sječenje i ponovno lijepljenje islandskog kalcita ima za cilj da ordinarna zraka nastala dvolomom na granici kalcit-kanada balzam bude totalno reflektirana, a ekstraordinarna zraka nastavlja nesmetano svoj put kroz nikolovu prizmu. Ekstraordinarna zraka izašavši iz nikolove prizme potpuno je linearno polarisana.

U posljednje vrijeme islandski kalcit se zamjenjuje vještačkim materijalima, jer je do čistog kalcita teško doći, a vještačkim materijalima možemo kontrolisati odredjene karakteristike.

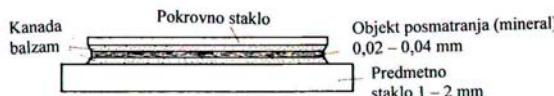
Vibracione ravnine polarizatora i analizatora su medjusobno okomite (normalne). U tom slučaju govorimo o ukrštenim nikolima. Najveći dio mikroskopskih istraživanja minerala se vrši medju ukrštenim nikolima.



Sl.33. Ukršteni nikoli. PP označava vibracioni smjer polarizatora, a AA analizatora.

Polarizacioni mikroskop se može upotrebljavati bez uklopljenog analizatora, kao ortoskop ili konoskop. Iz jednog načina posmatranja lako je preći na drugi.

Optička istraživanja minerala vršimo na mikroskopskim preparatima ili izbruscima, čija debljina iznosi 0,02 – 0,03 mm. Tako tanko izbrušenu i ispoliranu pločicu zalijepimo pomoću kanada balzama na predmetno staklo, a samu pločicu prekrijemo vrlo tankim pokrovnim stakлом (Sl.34). Danas se za lijepljenje preparata umjesto kanada balzama vrlo široko upotrebljavaju različite epoksivne smole koje su se pokazale prikladnije i trajnije.



Sl.34. Shematski prikaz mikroskopskog preparata

1.14.1. Centriranje mikroskopa

U okularima se obično vide dvije međusobno okomite crne niti-končanice, koje se sijeku u sredini vidnog polja okulara. Ako tubus (ili radni stolić), dižemo ili spuštamo, vidjet ćemo da u određenoj visini tubusa nad preparatom svaki detalj se vidi oštro. Kažemo da smo preparat fokusirali.

Ako se preparat pomoću radnog stola okreće u vlastitoj ravnini, primjetit ćemo da se on okreće ekscentrično s obzirom na presjek niti. Pomoću posebnih vijaka koji se nalaze na svakom objektivu, pomicat ćemo tačku oko koje se izbrusak okreće dotele dok ta tačka ne dođe na presjek končanica.

Nakon toga pristupa se pripremi svjetlosnog izvora, prirodнog ili vještačkог, tako da vidno polje bude što kvalitetnije i jednoličnije osvijetljeno.

Jako je važno da ukršteni nikoli budu tačno ukršteni i da se njihovi vibracioni smjerovi podudaraju sa nitima u okularu.

1.14.2. Određivanje veličine u mikroskopu

Da bi odredili veličinu pojedinih zrna u preparatu, moramo u tubus staviti tzv. mikrometarokulare ili okulare sa skalom. Njihova skala mora se prethodno baždariti pomoću predmeta poznate veličine. U tu svrhu može najbolje poslužiti mikrometar sa skalom tačne razdiobe, koja je obično takva da je dužina od 1 mm razdijeljena na 100 dijelova. Svaki dio predstavlja 0,01 mm. Takav mikrometar sa skalom (objektmikrometar)

stavlja se na mikroskopski sto i danas dolazi kao standardna pomoćna oprema uz mikroskop.

Podizanjem ili spuštanjem tubusa fokusira se skala objektmikrometra. Okretanjem mikroskopskog stola i pomicanjem objektmikrometra na njemu namjeste se paralelno jedna drugoj (Sl.35), tako da im se zarezi djelimično prekrivaju. U gornjem dijelu slike prikazana je skala u okularmikrometu (označena sa **a**), a u donjem redu je dio skale objektmikrometra.

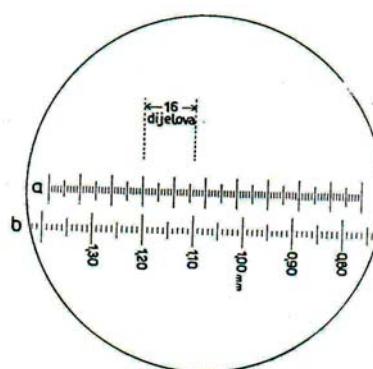
Na donjoj skali objektmikrometra (**b** na slici) označeni su brojkama dijelovi skale u razmacima od 0,1 mm. Ako su skale namještene kao na slici, onda se vidi da 16 dijelova na skali okularmikrometra predstavlja razmak od 1,2 do 1,1 = 0,1 mm. Jedan (1) dio na skali okular mikrometra predstavlja razmak od:

$$0,1 : 16 = 0,0063125 \text{ mm}$$

Bažđaranje se vrši nekoliko puta i iz svih određivanja uzima srednja vrijednost. Skala okularmikrometra je na taj način bažđarena. Ako želimo odrediti dužinu nekog kristala, odredit ćemo koliko je dijelova na skali okularmikrometra i broj dijelova pomnožiti sa označenom vrijednošću za jedan dio.

Određivanje će biti još tačnije ako umjesto običnog mikrometarokulara upotrijebimo mikrometarokular na vijak s pomičnom skalom.

Treba napomenuti da se bažđarenje mora vršiti za svaki optički sistem.



Sl. 35. Bažđarenje mikrookulara

1.14.3. Izbrusci teseralnih kristala u polarizacionom mikroskopu

Ako posmatramo presjek nekog izotropnog minerala u izbrusu bez uklopljenog analizatora, ukoliko je bezbojan, u prolaznoj bijeloj svjetlosti on će izgledati bijel. Međutim, ako mineral iz vidljivog dijela svjetlosti nešto apsorbuje, tada on neće više biti bijel, nego obojen. Čim se iz bijele svjetlosti nešto oduzme, nećemo imati više utisak bijelog. Sve preostale boje izmiješat će se u neku smjesu, za koju kažemo da predstavlja vlastitu boju dotičnog minerala u propuštenoj svjetlosti. Pirop je npr. u izbrusu ružičast, jer od bijele svjetlosti propušta crveni dio spektra, a apsorbuje žuti, zeleni, plavi i ljubičasti dio spektra.

Ako posmatrani mineral apsorbuje zrake iz čitavog spektra bijele svjetlosti, tada kroz njega neće proći ništa svjetlosti, a mineralno zrno će u prolaznoj (propuštenoj) svjetlosti izgledati crno. Od njeg će se moći posmatrati samo konture. Takve minerale zovemo opaki, neprovidni ili rudni. (fr; opaque-neprovidan, taman).

Posmatranjem teseralnih minerala ortoskopski sa uklopljenim analizatorom (sa ukrštenim nikolima), vidimo da je svaki središnji presjek krug. Radi podsjećanja optička indikatrisa za optički izotropne minerale je kugla. Bez obzira kako je presječen i izbrušen teseralni mineral u ravnini moramo zamisliti kružni presjek njegove indikatrise. Prolaskom kroz polarizator svjetlost prolazi kroz kružni presjek s istim vibracionim smjerom s kojim je iz polarizatora izašla i doći do analizatora, koji od te svjetlosti neće ništa propustiti (Sl.33). Zaokretanjem preparata na mikroskopskom stolu neće se pri tome ništa izmijeniti, jer će paralelno vibracionom smjeru polarizatora umjesto jednog polumjera kružnog presjeka doći drugi, isti polumjer.

Prema tome teseralni minerali posmatrani ortoskopski među ukrštenim nikolima u svakom svom presjeku su tamni i ostaju tamni pri zaokretanju preparata u vlastitoj ravnini.

Isto se dešava i kod konoskopskog posmatranja preparata. Svaka zraka koja sada ide koso kroz preparat opet će ići okomito na svoj kružni presjek indikatrise. Vibracioni smjer svjetlosti ostat će onakav kakav je izašao iz polarizatora.

Općenito optički izotropni minerali (teseralni minerali, staklo, tekućine) među ukrštenim nikolima su tamni u svakom svom presjeku, bez obzira da li se posmatraju ortoskopski ili konoskopski, pri zaokretanju mikroskopskog stola.

Presjeci optički anizotropnih minerala okomito na optičku os tj. tako da je ravnina presjeka u izbrusku kružni presjek indikatrise, takvi će presjeci među ukrštenim nikolima pri ortoskopskom posmatranju biti tamni i ostati tamni pri zaokretanju pomoću mikroskopskog stola. Pri konoskopskom posmatranju vidjet će se pri radu sa bijelom svjetlošću obojene figure. To nam daje mogućnost da i presjeke anizotropnih minerala okomitih na optičku os, koji su pri ortoskopskim posmatranjima među ukrštenim nikolima tamni, možemo razlikovati od od presjeka optički izotropnih minerala.

1.14.4. Ortoskopsko određivanje položaja vibracionih smjerova u dvolomnim presjecima

Odrediti kako su u nekom anizotropnom mineralu u preparatu smješteni međusobno okomiti vibracioni smjerovi pri ortoskopskim posmatranjima u mikroskopu je relativno lako. Od polarizatora kroz kristalni presjek u izbrusku i analizator do tubusa i našeg oka. Vibracione smjerove zamislimo u ravnini presjeka označimo sa **1** i drugi sa **2** (Sl.36). Uzmimo da je kristalni presjek među ukrštenim nikolima na mikroskopskom stolu namješten tako da su njegovi vibracioni smjerovi **1** i **2** paralelni vibracionim smjerovima polarizatora **PP** i analizatora **AA**. Dolazeći iz polarizatora s vibracionim smjerom **PP**, svjetlost nastavlja bez promjene vibracionog smjera put kroz kristalni presjek (Sl.36a), jer je vibracioni smjer **1** kristalnog presjeka paralelan vibracionom smjeru **PP** polarizatora. Svjetlost će tim vibracionim smjerom doći do analizatora, koji je namješten ukršteno prema polarizatoru; od svjetlosti koja je do njega došla on neće propustiti ništa. Bit će taman. (kao kod izotropnih materija).

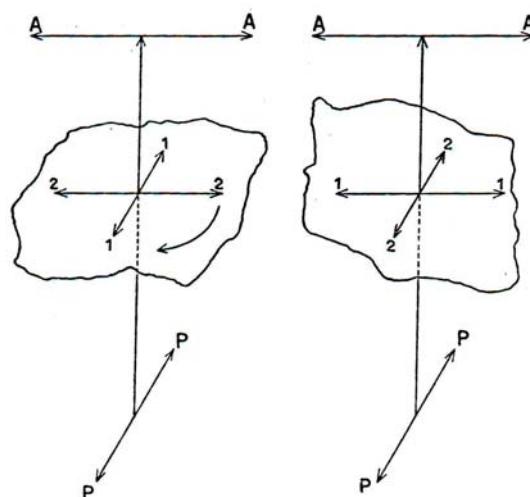
Okretanjem u ravni mikroskopskog stola, mijenja se boja, čiji će intenzitet dostići maksimum od 45° iz položaja tame. Daljnjim zaokretanjem intenzitet boje će slabiti, da bi nastupilo potpuno potamnjenje nakon zaokreta za 90° (Sl.36 b). Ovaj se položaj razlikuje od prvog položaja po tome što je sada vibracioni smjer 2 kristalnog presjeka paralelan vibracionom smjeru polarizatora **P**. I to će se ponavljati nakon zaokreta za svakih 90° .

1.14.5. Pleohroizam (polihroizam)

Obje talasne normale koje su radi dvoloma pri prolazu svjetlosti kroz kristalni presjek nastale u izbrusku razlikuju se po svojim međusobno okomitim vibracionim smjerovima i po svojim indeksima loma. Oni se mogu (ali ne moraju) razlikovati i po apsorpcionoj sposobnosti u vidljivom dijelu spektra. U tom će slučaju mineral za svaki od dva talasa u propuštenoj svjetlosti imati vlastitu boju.

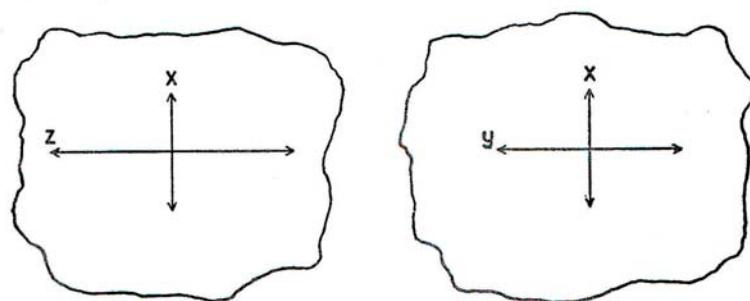
Iz slike 36. vidimo da se pomoću polarizacionog mikroskopa opažati svaki za seba od dva talasa. Među ukrštenim nikolima namjesti se zaokretanjem mikroskopskog stola kristalni presjek u položaj tame. Neka je to položaj prikazan na sl.36a. Isključimo li analizator, tada nam u oko dolazi svjetlost samo s vibracionim smjerom 1. kada zaokrenemo preparat za 90° (sl.36b) tada ćemo bez uklopljenog analizatora posmatrati samo svjetlost vibracionog smjera 2.

Za svaki vibracioni smjer kristal će pokazivati drugačiju vlastitu boju. Tu pojavu zovemo polihroizam ili pleohroizam (poly-mnogo, chroma-boja). Kod optički jednoosnih (teragonskih i heksagonskih) kristala ukazat će se, ako su oni pleohroični, dvije vlastite boje: jedna će odgovarati ordinarnom, a druga ekstraordinarnom talasu. U tom slučaju govorimo o **dihroizmu**. Dihroizam će biti bolje izražen u preparatima što je razlika među dva talasa nastala zbog dvoloma veća. Polihroizam se najbolje uočava u presjecima paralelnim s osi **c**, tj. kad svjetlost prolazi kroz presjekte okomito na os **c**.



Sl. 36. optički anizotropni presjek potamni kada se njegovi vibracioni smjerovi podudaraju s vibracionim smjerovima ukrštenih nikola

Kod optički dvoosnih minerala s tri glavna vibraciona smjera X, Y i Z može vlastita boja za svaki smjer biti drugačija. U tom specijalnom slučaju govorimo o **trihroizmu**.



Sl. 37. Za određivanje trihroizma optički dvoosnih kristala potrebna su bar dva presjeka

Na jednom preparatu može se izmjeriti pleohroizam. U tu svrhu potrebna su nam bar dva presjeka indikatrice, Jeden paralelan sa **XZ** i drugi sa **XY**. Na sl.37. moramo zamisliti da svjetlost iz polarizatora dolazi odozdo okomito na ravan. Na slici 37a. odredit ćemo vlastitu boju za glavne vibracione smjerove **X** i **Z**, a na sl.37b za **X** i **Y**; na oba preparata za sva tri glavna vibraciona smjera.

U presjecima koji nisu tačno okomiti na optičku os polihroizam će biti slab izražen. Optički izotropne materije kod kojih svaki presjek u izbrusku odgovara kružnom presjeku indikatrice nema polihroizma.

1.14.6. Reljef i šagren

Pri određivanju mineralnog sastava u nekoj stijeni radimo izbruske, debljine 0,02-0,04 mm, izbrušene pomoću karborunduma, šmirgla ili nekog drugog abrazivnog sredstva, koje se pomoću kanada balzama zalijepe između objektivnog i pokrovnog stakla.

Kanada balzam je prirodna smola četinarskog drveća. Odlikuje se time da uz ispravan postupak pripreme ima stalni indeks loma: $n=1,537$.

Ako su indeksi loma kanada balzama i minerala koji posmatramo isti u propuštenoj svjetlosti na granici između kanada balzama i mineralnog zrna neće doći ni do loma ni do refleksije svjetlosti. Zbog istog indeksa loma, odnosno zbog iste brzine, svjetlost to ne osjeća kao granicu. Zrno se uz takve uslove neće vidjeti u preparatu: neće se vidjeti njegove konture, prsline u njemu niti pukotine cjepljivosti. Kažemo da zrno nema reljefa.

Ukoliko postoji razlika u indeksima loma između mineralnog zrna i kanada balzama, tada će se konture zrna, prsline u njemu i pukotine cjepljivosti vidjeti jasnije što je razlika u indeksima loma veća.

Ukoliko je indeks loma mineralnog zrna manji od indeksa loma kanada balzama govorimo o negativnom, a ako je indeks loma mineralnog zrna veći od indeksa loma kanada balzama onda govorimo o pozitivnom reljefu. Kod velike razlike u indeksima loma zrno će biti okruženo tamnim obodom. Svaka prslina ili pukotina cjepljivosti u njemu će takođe biti markantna. Tada govorimo o visokom ili jakom reljefu.

Mjehuri uzduha (i vazduha) uklopljeni u kanada balzam bit će takođe okruženi oštro izraženom crtom.

Reljef se može pojačati ako se smanji iris-zaslon namješten neposredno ispod mikroskopskog stola. Pri tome će se primjetiti kako se po mineralnom zrnu javljujaju razasute sive do crne taškice. Zrno će izgledati kao hrapavo, podsjećat će na hrappavu ili šagreniranu površinu.

U mineralogiji i petrografiji preparate nikad ne poliramo prije nego ih zaliđepimo u kanada balzam. Njihova površina nije zato potpuno glatka, nego ima i obilje zareza, udubljenja i izboćina koje su nastale pri brušenju. Svetlost koja ide od polarizatora do preparata na svakoj se takvoj neravnini reflektuje i lomi. Svetlost zato nije više jednolično raspoređena iznad zrna kroz koje je prošla. Na nekim mjestima je ima više, na drugima manje i zato zrno izgleda kao da je posuto sitnim sivim i crnim tačkicama, da je šagrenirano. Za pojavu šagrena je potrebno da se kanada balzam i mineralno zrno razlikuju u indeksu loma i da je površina preparata samo izbrušena, a ne i polirana.

Obzirom na reljef i šagren minerali se mogu podijeliti u nekoliko skupina:

-indeks loma manji od 1,537. vidi se šagren. Reljef negativan. (opal, fluorit, leucit, albit, ortoklas, mikroklin)

-indeks loma 1,537-1,56. ne vidi se šagren ni reljef. (nefelin, kvarc)

-indeks loma 1,56-1,60. šagren i reljef slabo izraženi. (andezin, muskovit, biotit)

-indeks loma 1,61-1,65. šagren i reljef jasni. (andaluzit, apatit, turmalin)

-indeks loma 1,65-1,70. reljef i šagren oštro izraženi. (olivin, rompski pirokseni, diopsid)

-indeks loma 1,71-1,78. Veoma oštro izražen reljef i šagren. (epidot, augit, granati)

-indeks loma iznad 1,78. reljef i šagren su silni. (titanit, cirkon, rutil)

Određivanja su gruba i više kvalitativnog značaja. Ona su osjetljivija ako se radi uz veće uvećanje i sa spuštenim kondenzatorom, bez uklopljenog specijalnog kondenzatora.

1.14.7. Pseudoapsorpcija

U vezi sa reljefom i šagrenom je i pojava pseudoapsorpcije koja se može vidjeti na nekim romboedrijskim karbonatima, npr. kalcitu. Njegovi indeksi loma u Na-svjetlosti $N_o=1,6584$ i $N_E=1,4864$. u presjecima od dva talasa vidljiv je ordinarni talas s vibracionim smjerom okomitim na optičku os. Namjesti li se taj vibracioni smjer paralelno s vibracionim smjerom polarizatora, tada će kroz namješteno zrno prolaziti samo ordinarni talas zbog njegovog visokog indeksa loma reljef kalcita će u tom slučaju biti oštro izražen. Konture zrna, pukotine cjepljivosti i sraslačke lamele će se bez uklopljenog analizatora vidjeti veoma dobro, a površina zrna bit će oštro šagrenirana i zbog toga izgledati siva, kao da je posuta brojnim finim tačkicama. Zaokrenemo li preparat na radnom stolu mikroskopa za 90° , tada ćemo vidjeti samo ekstraordinarni zrak kojem je indeks loma u slučajnim neorjentisanim presjecima blizak indeksu loma kanada balzama. Reljef i šagren će sada biti mnogo slabiji ili ih uoče neće biti. Zrno kalcita izgleda za vibracioni smjer **E** bezbojno, odnosno bijelo, a za drugi, **O** sivo. Ova pojava nije u vezi sa apsorpcijom nego sa dvolomom kalcita. Nazvana je pseudoapsorpcija. Osim za kalcit, karakteristična je i za dolomit i magnezit.

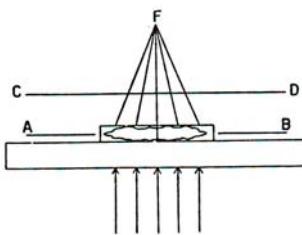
1.14.8. Beckeova linija

Ako zaliđepimo neko mineralno zrno s većim indeksom loma od indeksa loma kanada balzama. (Sl.38). Bez obzira kako je zrno nepravilno, uvijek se prema svom obodu isklinjuje i napokon nestane. Možemo ga shvatiti kao nesavršenu konveksnu leću koja će paralelnim zrakama, koje dolaze iz polarizatora, izmijeniti smjer u tom smislu da će zrake nakon loma kroz zrno ići prema jednoj tački, prema žarištu **F**. Na taj je način izmijenjena jednoličnost rasvjete koja je postojala prije ulaska svjetlosti u preparat. Nakon izlaska svjetlosti iz preparata u stošcu, kojem je vrh u **F**, bit će koncentracija svjetlosti veća nego izvan stošca. Ako smo mikroskop oštro poravnali sa konturom **AB**, pa ga podignemo do **CD**, konture zrna se više neće vidjeti oštro. Vidjet ćemo kako se granica koja odvaja svijetlijim, prema unutrašnjosti okrenuti dio vidnog polja u obliku svijetle uzane linije, koja odgovara konturama zrna pomiciće u zrnu. Pokretanje svijetle linije jasno se vidi ako se iris-zaslon ispod mikroskopskog stola smanji, kao i kad se služimo faznokontrasnim uređajem.

Ova pojava je uočena i ranije, ali je prvi opisao bečki mineralog i petrograf Becke (1893) i po njemu je nazvana Beckeova linija.

Obzirom da se danas više upotrebljavaju mikroskopi sa neprekretnim tubusom, kod kojih se fokusiranje preparata vrši dizanjem i spuštanjem mikroskopskog stola, općenito se može reći **"da pri povećanju razmaka između preparata i frontalne leće objektiva, Beckeova linija se pomiče u sredstvo jačeg indeksa loma"**.

Ovo pravilo ne vrijedi samo za kontakt nekog minerala i kanada balzama u izbruscima, nego i za kontakt dva minerala među sobom, za mineralni prah uronjen u neku tekućinu itd. na ovom principu se zasnivaju imerzione metode ili metode uronjavanja za određene indekse loma.



Sl.38. Beckeova linija se pri dizanju tubusa pomiče u sredstvo jačeg indeksa loma

1.15. Imersione metode

1.15.1. Metoda Becke-ove linije (metoda centralne rasvjete)

Kod ove metode uzimaju se tekućine različitog indeksa loma, koje se dobro miješaju, kao npr. ketrovo ulje ($n=1,516$), alfamonobromnaftalin ($n=1,657$), metilenjodid ($n=1,740$) itd. Kada na objektno staklo stavimo kapneke od ovih tekućina i uronimo u nju zrno nekog minerala, lako ćemo u mikroskopu prema pokretanju Beckeove linije odrediti je li indeks loma zrna veći ili manji od tekućine. Ako smo npr. ustanovili da je indeks loma nekog optički izotropnog mineralnog zrna veći od indeksa loma ketrovog ulja i manji od indeksa loma alfamonobromnaftalina. Kada se napravi smjesa ove dvije tekućine u različitim odnosima, onda uronimo mineralno zrno u tekućinu sve dотle dok ne nađemo smjesu dok se Beckeova linija uopšte više ne vidi. Pri tome se potpuni izgubi i reljef. Indeks loma tekućinske smjese odredit ćemo pomoću totalreflektometra. Nađena vrijednost predstavlja indeks loma za zrno.

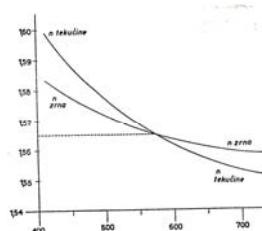
Na isti način se mogu odrediti i indeksi loma optički dvoosnih kristala. Vibracioni smjer za koji želimo vršiti određivanja mora pri tom biti namješten paralelno vibracionom smjeru polarizatora. Da bi na istom odlomku odredili oba glavna indeksa loma optički jednoosnog kristala, mora odlomak biti paralelan s optičkom osi kristala. Kod optički dvoosnih kristala izaći ćemo s najmanje dva presjeka: jedan od njih mora biti paralelan sa dva glavna vibraciona smjera npr. **Z** i **X**, a drugi s onim preostalim. U našem slučaju na prvom presjeku bi odredili **Nz** i **Nx**, a na drugom **.**

1.15.2. Disperzioni efekt pri radu s bijelom svjetlosti

Kada radimo s bijelim svjetлом, često se umjesto bijele svijetle Beckeove linije možemo vidjeti obojene linije, od kojih će pri dizanju tubusa (odnosno pri povećanju razmaka između frontalne leće i preparata) crvena Beckeova linija ulaziti u zrno, a plava Beckeova linija iz zrna. Indeks loma te tekućine odgovara u tom slučaju indeksu loma minerala s tačnošću većom od $\pm 0,002$ za **D**-liniju spektra.

Disperzija indeksa loma za tekućine gotovo je uvek snažnija nego kod minerala i drugo, indeks loma tekućine i minerala u ovom je slučaju za srednje područje spektra (550-600 μm) isti. Na slici 39. prikazan je jedan takav slučaj, u kojem su indeksi loma tekućine i zrna za svjetlost talasne dužine 570 μm isti ($n=1,565$). U kratkotalasnom području (zeleno, plavo i ljubičasto) indeks loma tekućine je veći, zbog čega se Beckeova

linija za plavu svjetlost pri dizanju tubusa mora pomicati u tekućinu. U crvenom dijelu spektra je obrnuto, tu će se Beckeova linija pomicati u zrno.



Sl. 39. Disperzija indeksa loma imerzione tekućine snažnija je od disperzije indeksa loma čvrste supstance

1.15.3. Metoda kose rasvjete (Schroeder van der Kolkova metoda)

Kada u tok svjetlosti koja ulazi u mikroskop stavi prst, lim ili kraton i zakloni pola vidnog polja, a druga polovica je osvijetljena uglavnom kosim zrakama. Kada posmatramo zrna minerala u kanada balzamu ili nekoj tekućini, vidjet ćemo da će se rubovi jednih osjeniti na istoj ili suprotnoj strani od strane na kojoj je umetnut zaslon (karton, lim ili prst), već prema tome je li im indeks loma niži ili viši od imerzionog sredstva (kanada balzam ili tekućina). Sličan efekat se može postići tako da se u diagonalni prorez na dnu tubusa, neposredno iznad objektiva uloži metalna izdužena pločica sa izduženim izrezom u svom središnjem dijelu (uz uloženi kondenzator), na taj način da se djelomično uvede u svoj procijep analizator čiji će metalni okvir zasloniti jedan dio svjetlosti.

U praksi se obično kombinuje metoda Beckeove linije s metodom kose rasvjete, radi veće tačnosti.

1.15.4. Imerziona sredstva

Kao imerziona sredstva potrebna za metodu Beckeove linije i metodu kose rasvjete služe razne tekućine (ulja) ili čvrste materije. Tekućine, prirodne ili vještačke moraju biti takve da se međusobno dobro miješaju, da se hemijski ne spajaju, da budu što stabilnije kako im se indeks loma kroz duže vrijeme ne bi mijenjao, da im napetost para bude što manja, kako se ne bi za vrijeme rada prebrzo isparavale i da budu po mogućnosti bezbojne.

Perfluorotributilamin ima indeks loma $1,292 \pm 0,001$ i znatno je niži od najnižih indeksa loma za minerale. Jedna od tekućina sa visokim indeksom loma je metilenjodid ($n=1,740$), koji je slabo crvenkast. Ako se u njemu otopi sumpor, povisit će se indeks loma do 1,79. otopina žutog fosfora i sumpora u metilenjodidu ima indeks loma $n=2,05406$ za D-liniju uz 20°C .

Za određivanje visokog indeksa loma upotrebljava se često i rastop sumpora i selena kojima indeks loma ide od 2,0 do 2,7 ili selena i selenskog arsena s indeksima 2,7 do 3,2.

Danas se u praksi upotrebljavaju različite vještački pripremljena materije kao imerziona sredstva.

1.15.5. Serije tekućina za određivanje indeksa loma

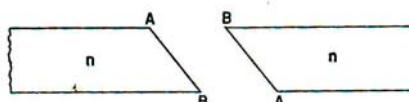
Do sada opisanim imerzionim metodama zajedničko je da se indeks loma tekućine u momentu kad Beckeova linija nestane odredi nekom refraktometrijskom metodom. Pomoću imerzionih metoda mogu se određivanja vršiti i samim mikroskopom uz uslov da imamo niz tekućina poznatog indeksa loma. Postoji jedan takav niz za indekse loma od 1,400 do 1,700, s postepenim porastom indeksa loma sve po 0,002. Određivanje indeksa loma nekog mineralnog zrna pomoću takve serije tekućina vrši se tako da se pomoću Beckeove linije nađu dvije susjedne tekućine od kojih je jedna jačeg, a druga slabijeg indeksa loma od indeksa loma mineralnog zrna.

1.16. Određivanja koja se mogu izvršiti pomoću polarizacionog mikroskopa bez uklopljenog analizatora

Posmatrajući mikroskopski izbrusak samo s polarizatorom možemo vidjeti sastav izbrusaka: sastoji li se od jednog ili više minerala, od jednog individuma ili agregata mnogih zrna, jednog ili više minerala. Takođe se mogu posmatrati konture pojedinih zrna. Ako su granice zrna ravne možemo izmjeriti i uglove među pojedinim terminalnim elementima zrna.

U preparatima se može lako konstatovati javlja li se u pojedinim zrnima cjepljivost i kakva je ona, dobra ili slaba. Paralelno usmjerenе pukotine u nekom zrnu siguran su znak za cjepljivost. Ako postoje dva sistema cjepljivosti, može se lako odrediti ugao među njima na taj način da se zaokretanjem mikroskopskog stola paralelno jednoj niti u okularu namjesti jedan, a zatim drugi sistem pukotina cjepljivosti i odredi razlika između čitanja.

Može se odrediti debljina izbruska metodom Šona (Chaulnes). Izbrušenu pločicu nekog minerala sa kosim ravnim ili neravnim ograničenjem sa strane položenu na objektnom staklu podižemo ili spuštamo pomoću posebno kalibriranog vijka fokusiramo prvo na gornju stranu **A**, a zatim na donju stranu kod **B** (Sl.40a). Razlka između čitanja za oba nemještanja pomnožena sa 0,002 mm daje nam debljinu preparata. Okrenemo nakon toga pločicu gornjom stranom prema dole (Sl.40b) te se ponovo izvrši fokusiranje na tačke **A** i **B**, dobit će se manja debljina. Uzrok takvoj pojavi je da smo u prvom slučaju izvršili očitavanje u uzduhu, dok je drugi put čitanje izvršeno kroz mineral indeksa loma **n**.



Sl. 40. Određivanje debljine fokusiranjem gornje i donje strane preparata ne daje uz uslove (a) i (b) iste rezultate

Svjetlost nikad ne ide savršeno okomito na preparat. Ako zamislimo zraku koja prolazi okomito na preparat (Sl.41), a druga malo koso. U slici je ona radi boljeg pregleda nacrtana više koso. Došavši do **C**, ona izlazi iz minerala s indeksom loma **n** u uzduh i

zato se lomi od okomice. Oko koje posmatra obje zrake u mikroskopu vidjet će tačku **A** u presjeku obje zrake koje do njega kroz tubus dolaze, tjh. U tački **D**. preparat debljine d izgledat će nam radi toga tanji. Iz slike možemo vidjeti da je:

$$BC = t \cdot \operatorname{tg} i$$

$$BD = d' \cdot \operatorname{tg} l$$

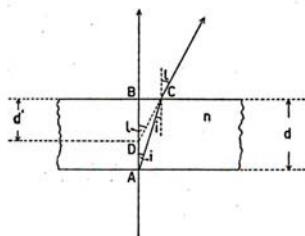
Odatle izlazi

$$\frac{d}{d'} = \frac{\operatorname{tg} l}{\operatorname{tg} i}$$

Obzirom da su uglovi l i i vrlo mali, razlika između tangensa i sinusa se ne razlikuju, pa možemo pisati kao:

$$\frac{d}{d'} = \frac{\sin l}{\sin i} = n$$

A odnos tih sinusa odgovara indeksu loma minerala. Odnos prave debljine i prividne manje debljine d' izmjerene kroz sredstvo indeksa loma n jednak je indeksu loma n sredstva.



Sl.41. Omjer prave i prividne debljine jednak je indeksu loma

Pomoću izmjerene prave i prividne debljine može se odrediti indeks loma i obratno; pomoću indeksa loma i prividne debljine preparata možemo dobiti pravu debljinu preparata. Metoda nije potpuno precizna. Preciznost se povećava upotrebom jačih objektiva.

Bez uključenog analizatora mogu se vidjeti i različiti uklopci u mineralnim zrnima. Oni mogu predstavljati druge minerale koji su uklopljeni pri rastu, ili su nastali pretvorbom ili trošenjem iz zrna. Tečne i gasovite inkluzije mogu takođe biti uklopljeni u zrnima. Uz tečnosti se često vide i mjehurići gasa. Zbog velike razlike u indeksima loma gasovi se ističu jakim crnim obodom.

1.17. Ortoskopska opažanja među ukrštenim nikolima

Kod određivanja pleohroizma već je ukazano na potrebu da se u optički anizotropnim mineralnim zrnima odrede vibracioni smjerovi ona dva talasa koji nastaju

zbog dvoloma pri prolazu svjetlosti kroz njih. Takođe i promjena boje pri zaokretanju preparata nisu vlastite, nije uzrok u djelimičnoj apsorpciji vidljivog dijela spektra. Uzroci su sasvim drugačiji i u vezi su sa slaganjem ili interferencijom svjetlosnih talasa.

1.17.1. Skraćenje talasne dužine svjetlosti u sredstvu sa indeksom loma n

Kada pogledamo izraz:

$$c = v \cdot \lambda$$

vidimo da umnožak talasne dužine svjetlosti i frekvencije (broj titraja u sekundi) predstavlja put koji svjetlost pređe u jednoj sekundi, odnosno brzinu svjetlosti u vakuumu $c=300.000 \text{ km/s}$. Kada svjetlost uđe u neko sredstvo sa indeksom loma n , tada joj je brzina manja, ona iznosi c/n . u tom slučaju mora umjesto c stajati samo n -ti dio od c , a da bi ona i dalje vrijedila, mora se i desna strana podijeliti sa n . Tada dobijamo:

$$\frac{c}{n} = \frac{v\lambda}{n}$$

S obzirom na desnu stranu ovog izraza postavlja se pitanje da li se pri prelazu svjetlosti iz vakuuma u neko sredstvo s indeksom loma n smanji frekvencija ili talasna dužina.

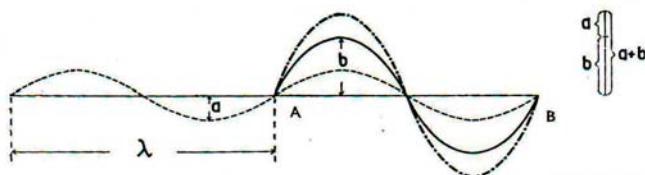
Praktično pri prelazu svjetlosti u sredstvo većeg indeksa loma ne smanjuju se koraci, nego se iz isti tempo skrate.

1.17.2. Interferencija

Ako se dva jednaka talasna kretanja šire u prostoru u istom smjeru i ako im je talasna dužina ista, ona se u svom djelovanju slažu ili interferiraju. Interferencija je posebno jednostavna ako se radi o linearno polarisanoj svjetlosti, iste vibracione ravnine, kao što je prikazano na slici 42.

Ako uzmemo dva talasna kretanja koja se na svom putu razlikuju za jednu talasnu dužinu (talas). Amplitude jednog i drugog talasa bila bi a i b .

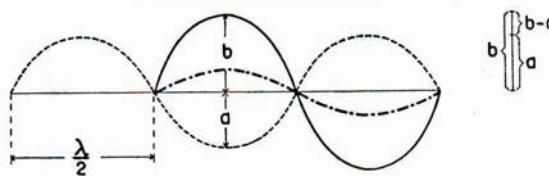
Od \mathbf{A} prema \mathbf{B} šire se dva talasa. Pod djelovanjem jednog amplituda vibracije bila bi a , a pod djelovanjem drugog bila bi b . Istovremenim djelovanjem jednog i drugog talasnog kretanja rezonantna amplituda bit će jednaka zbiru amplituda $a+b$. Isto će biti ako razlika u hodu iznosi $\pm 2\lambda \pm 3\lambda \pm n\lambda$. I tada će brijeđ jednoga talasnog kretanja pasti zajedno sa brijeđem drugog talasnog kretanja.



Sl.42. Svjetlost se interferencijom pojačava ako razlika u hodu iznosi cijelu talasnu dužinu (λ)

Kada razlika u hodu između dva talasna kretanja iznosi pola talasne dužine (Sl.43), tada će brijeđ jednog talasa doći s dolom drugog talasa. Vibracioni smjerovi biti će suprotno usmjereni, a rezultantna amplituda jednaka je razlici $a-b$. U tom slučaju intenzitet svjetlosti će oslabiti.

U specijalnom slučaju, ako uz razliku od $\lambda/2$ talasne dužine komponente a i b budu jednakе, rezultantna amplituda bit će jednaka nuli; svjetlosti uopšte neće biti. Kažemo da se ova talasna kretanja interferencijom u tom slučaju poništavaju.



Sl.43. Svjetlost se interferencijom slabiti ili poništava ako razlika u hodu između obje zrake koje interferiraju iznosi $\pm\lambda/2$

1.17.3. Razlika u hodu optički dvolomnih presjeka

Kao što je ranije objašnjeno fronte oba talasa koji nastaju zbog dvoloma pri prolazu svjetlosti kroz planparalelno napravljen izbrusak nekog minerala su paralelne. Oba talasa moraju radi toga imati isti smjer pri prolazu kroz kristalni presjek i to okomito prema gore. Obje talasne normale razlikuju se po svojim brzinama, odnosno po svojim indeksima loma. Na sl.44. nacrtane su odvojeno radi boljeg pregleda. Desno je sporija s većim indeksom loma n_2 , odnosno manjom brzinom c_2 , a lijevo brža s manjim indeksom loma n_1 i većom brzinom c_1 . Da dođe od donje do gornje strane preparata, brža će talasna normala trebati kraće vrijeme t_1 , nego sporija, koja za to treba duže vrijeme t_2 . put koji jedna i druga talasna normala prođe od donje do gornje strane izbruska je isti; on je jednak debljinji preparata d . Zato možemo napisati:

$$d = c_1 \cdot t_1 \quad i \quad d = c_2 \cdot t_2$$

Dok sporija talasna normala dođe od donje do gornje strane preparat u dužem vremenu t_2 , brža je isti put prešla u kraćem vremenu t_1 u vremenskom razmaku t_2-t_1 ona se nakon izlaska iz preparata širi u uzduhu brzinom c . Istekom vremena t_2 i sporija talasna normala dolazi u uzduh i širi se istom brzinom $c=300.000$ km/s, ali brža za prednost BC koju je stekla idući brže kroz preparat. Ona je jednaka:

$$\Delta = (t_2 - t_1) \cdot c$$

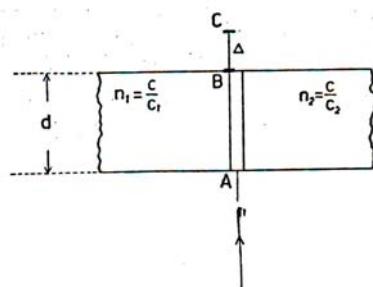
Ako t_2 i t_1 izrazimo preko d i c_2 i c_1 , za razliku u hodu dobijemo:

$$\Delta = \left(\frac{d}{c_2} - \frac{d}{c_1} \right) \cdot c$$

$$\Delta = \left(\frac{c}{c_2} - \frac{c}{c_1} \right) \cdot d$$

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

Iz ovog izraza vidimo da je razlika u hodu nekog dvolomnog presjeka jednaka umnošku jednakosti n_2-n_1 i debljine presjeka d .



Sl. 44. Razlika u hodu Δ dvolomnog kristalnog presjeka jednaka je umnošku debljine d i jednakosti dvoloma n_2-n_1

Primjer 1: zrno kalcita debljine u preparatu 0,03 mm presječeno paralelno s optičkom osi (maksimalni dvolom) $N_O = 1,65835$ $N_E = 1,48640$. Razlika u hodu bit će (u milimikronima):

$$\Delta = (1,65835 - 1,48640) \cdot 30.000 = 5158,5 \mu\text{m}$$

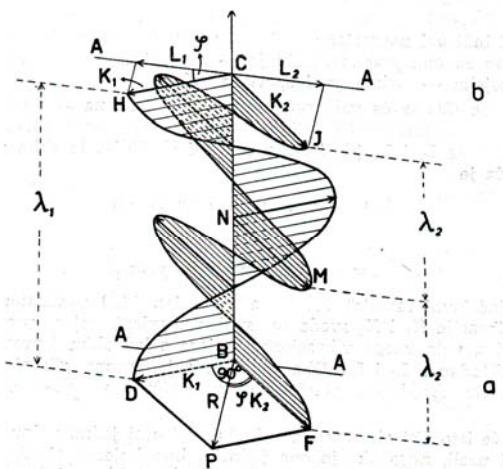
Primjer 2: zrno andalužita debljine u preparatu 0,03 mm, presječeno paralelno s ravninom optičkih osi sa glavnim vibracionim smjerovima Z i X $Nz=1,643$, $Nx=1,632$. Maksimalni dvolom $Nz-Nx=0,11$.

$$\Delta = 0,11 \cdot 30.000 = 330 \mu\text{m}$$

1.17.4. Optički anizotropni presjeci s razlikom u hodu jedne ili više talasnih dužina među ukrštenim nikolima

Kad imamo dva talasa sa indeksima n_2 , sporiji i n_1 brži talas, radi čega će talasna dužina sporijeg λ_2 biti za polovicu manja od bržeg λ_1 . Kad svjetlost ulazi odozdo kod **B** (Sl.45) u planparalelno izbrušen kristalni presjek, svjetlost se lomi dvostrukom; međusobno okomiti vibracioni smjerovi oba talasa neka budu **BD** i **BF**. Zakretanjem mikroskopskog stola kristalni presjek je namješten među ukrštenim nikolima tako da se njegovi vibracioni smjerovi ne podudaraju s vibracionim smjerovima oba nikola, nego čine s njima ugao φ . Taj ugao je na slici 45 i 46.a označen kao ugao između vibracionog smjera polarizatora **BP** i vibracionog smjera **BF** kristalnog presjeka. Amplituda **R** mora se rastaviti u dvije komponentne amplitude **BD**= K_1 i **BF**= K_2 , paralelne vibracionim smjerovima kristalnog presjeka. Iz slike vidimo da je:

$$K_1 = R \cdot \sin \varphi \text{ i } K_2 = R \cdot \cos \varphi$$



Sl. 45. Anizotropni kristalni presjek s razlikom u hodu od jedne talasne dužine među ukrštenim nikolima. Komponente L_1 i L_2 jednake su i suprotno usmjerenе

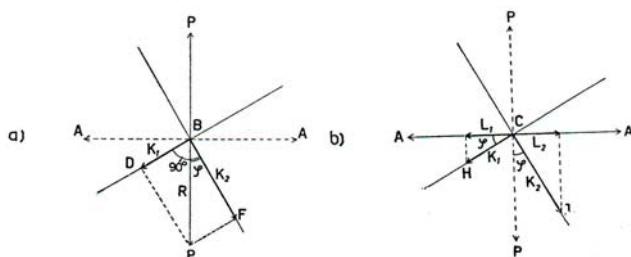
Od dva talasa koja su nastala u kristalnom presjeku neka je brži \mathbf{BD} , a onaj koji vibrira smjerom \mathbf{BF} je duplo sporiji. Kako je na slici 45. prikazano debljina preparata je jednaka jednoj talasnoj dužini bržeg talasa. Istovremeno dok prvi talas dođe od donje do gornje strane preparata, tj. od \mathbf{B} do \mathbf{C} , drugi će preći samo pola tog rastojanja, jer mu je zbog dva puta većeg indeksa loma talasna dužina $\lambda_2 = \lambda_1/2$, prema tome on će preći put od \mathbf{B} do \mathbf{N} . Dok sporiji talas pređe još jednu talasnu dužinu do \mathbf{C} , brži će talas u istom vremenskom razmaku izvršiti kretanje kroz uzduh. Nakon toga i sporiji talas ulazi u uzduh, pa se oba talasa šire istom brzinom kroz uzduh.

Kada dođe do \mathbf{C} , oba će talasa zaći u analizator (\mathbf{AA} na slici 45 i 46-b.) koji će od njihovih amplituda $\mathbf{CH} = \mathbf{BD}$ i $\mathbf{CJ} = \mathbf{BF}$ propustiti samo sebi paralelne komponente L_1 i L_2 . Iz slike vidimo da je:

$$L_1 = K_1 \cdot \cos\varphi = R \cdot \sin\varphi \cos\varphi \quad \text{i} \quad L_2 = K_2 \cdot \sin\varphi = R \cdot \sin\varphi \cos\varphi$$

Kad analizator obje komponente vibracije K_1 i K_2 svede na svoj vibracioni smjer, propustit će kroz sebe dva talasa istog vibracionog smjera sa suprotno usmjerenim amplitudama L_1 i L_2 . oba talasna svjetlosna kretanja će se radi toga interferencijom poništiti, svjetlosti neće biti.

Isto će se desiti ako razlika u hodu iznosi $0, \pm\lambda, \pm 2\lambda, \pm n\lambda$.



Sl. 46. Isto što i 45. pogled odozgo

1.17.5. Optički anizotropni presjeci s razlikom u hodu pola talasne dužine među ukrštenim nikolima

U drugom slučaju ako imamo kristalni presjek takvog dvoloma i debljine da mu je razlika u hodu pola talasne dužine. Neka je preparat toliko debeo kolika je talasna dužina Na-svetlosti za sporiju talasnu normalu većeg indeksa loma n_2 (Sl.47). Dok ta sporija normala u polovici vibracionog vremena dođe u kristalnom presjeku od **B** do **N**, brža talasna normala manjeg indeksa loma će u istoj polovici vibracionog vremena preći put od **B** za pola svoje talasne dužine tj. do **C**. Dok se sporija talasna normala u drugoj polovici vibracionog vremena kreće od **N** do **C**, brža se u toj drugoj polovini vibracionog vremena već širi u uzduh, odmaknuvši se za λ . Od početka treće polovine vibracionog vremena, šire se obje talasne normale u uzduhu istom brzinom i uz jednaku talasnu dužinu, ali brža stalno pred sporijom za pola talasne dužine.

Iz slike 47. vidimo da su komponente vibracije K_1 i K_2 usmjerenе na istu stranu. Amplituda R dolazne svjetlosti rastavlja se u dvije komponente amplitude.

$$K_1 = R \cdot \sin\varphi \quad \text{i} \quad K_2 = R \cdot \cos\varphi$$

Na izlazu iz kristalnog presjeka kod C analizator će propustiti samo sebi paralelne komponente

$$L_1 = K_1 \cdot \cos\varphi \quad \text{i} \quad L_2 = K_2 \cdot \sin\varphi$$

Odnosno

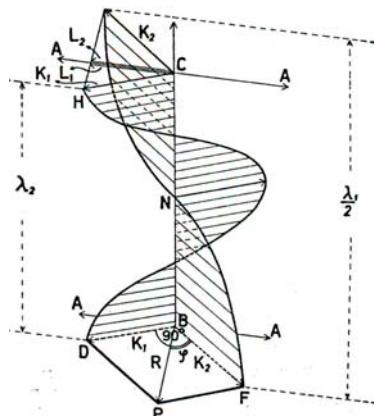
$$L_1 = R \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi \quad \text{i} \quad L_2 = R \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi$$

Vidimo da su komponente opet jednake po svojoj veličini. Obzirom da su sada jednako usmjerenе, amplituda svjetlosti koja izlazi ovaj put je jednak:

$$2L_1 (=2L_2) = 2R \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi \quad \text{odnosno} \quad L_1 (=L_2) = R \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi$$

Iz slike 47 i ove formule vidimo ako je razlika u hodu kristalnog presjeka pola talasne dužine, svjetlost će se među ukrštenim nikolima pojačati.

Preparat će u ovom slučaju zaokretanjem mikroskopskog stola unutar potpunog okreta četiri puta potamnjeti i šetiri puta biti osvijetljen intenzivno.



Sl.47. Anizotropni kristalni presjek s razlikom u hodu pola talasne dužine među ukrštenim nikolima. Komponente L_1 i L_2 jednake su i jednakom usmjereni

1.17.6. Interferentne boje u zavisnosti o razlici u hodu

Iz prethodnog izlaganja smo vidjeli da ako razlika u hodu za neki dvolomni presjek iznosi cijelu talasnu dužinu, interferencijom će pri ortoskopskom posmatranju među ukrštenim nikolima doći do poništenja svjetlosti. Ako razlika u hodu iznosi pola talasne dužine, interferencijom će se svjetlost uz iste uslove pojačati.

U izbruscima minerala ovo nije čest slučaj, pa imamo različita variranja u zavisnosti od mineralnog zrna, debljene i presjeka.

Pri radu sa polarizacionim mikroskopom radimo sa bijelom svjetlošću, u kojoj su zastupljene boje svih talasnih dužina od 380 do 780 milimikrona. Već je rečeno ako je razlka u hodu

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

za neki kristalni presjek jednaka jedno talasnoj dužini određenog spektralnog područja, ta će boja interferencijom iz bijele svjetlosti nestati. Ostatak će pomiješati u smjesu u kojoj dvolomni presjek interferira.

Pojedina mesta u spektru, odnosno njima odgovarajuće boje, označavaju se talasnom dužinom, a često i slovima za pojedine Fraunhoferove linije, koja svaka ima svoju određenu talasnu dužinu. U tabeli III je dat pregled najvažnijih linija.

Tabela III: talasne dužine za pojedine Fraunhoferove linije

Oznaka linije	Kvaliteta	Spektralno područje	Talasna dužina m μ
A	Široka, nejasna	Početak crvenog dijela	759,4
A	Više linija	Crveno	718,4
B	-	Crveno	686,7
C	-	Naranđasto	658,3
D	Dvostruka	Žuto	D ₁ 589,6 D ₂ 589,0
E	-	Zeleno	527,0
B	Tri linije	Zeleno	Oko 517,0
F	-	Plavo	486,1
G	-	Indigo	430,8
H	Dvije široke linije	Kraj ljubičastog dijela	H ₁ 396,8 H ₂ 393,3

Ako imamo kristalni presjek toliko tanak da njegova razlika u hodu predstavlja neznatni dio talasne dužine u crvenom dijelu spektra, talasi za sve boje će izaći iz kristalnog presjeka gotovo u istom vibracionom stanju skojim su došli iz polarizatora, radi čega će među ukrštenim nikolima biti poništeni. Takav će presjek pokazivati vrlo slabo osvjetljenje, koje će biti predstavljeno tamnosivom bojom. On će uz postepeni porast razlike u hodu izgledati sve svijetlijiji, dok razlika u hodu ne dostigne oko 100 m μ . Ta razlika koja za krajnji crveni dio spektra predstavlja oko jednu osminu talasne dužine, iznosi u krajnjem ljubičastom dijelu spektra već jednu četvrtinu talasne dužine. Pomenuta razlika u hodu se za ljubičasti dio spektra mnogo više približava polovici talasne dužine

nego za crveni dio, zbog čega će ljubičasta boja doći do izražaja u sivoj boji. Kada se razlika i dalje povećava, tada će uz postepeno jačanje propuštenje svjetlosti u njoj sve više biti zastupljena plava, zelena i žuta, a ponešto i crvena svjetlost. Crvena interferentna boja bit će najbolje izražena kada razlika u hodu bude 530 milimikrona. Ta razlika predstavlja cijelu talasnu dužinu za zeleno područje spektra u blizini linije E. Zelena će boja prema tome uz tu razliku interferencijom među ukrštenim nikolina biti poništена.

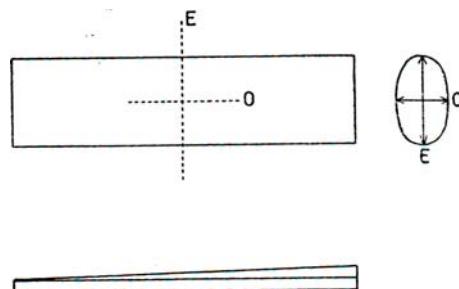
Crvena boja će se izmjeniti u ljubičastu, koja će se ukazati kada razlika u hodu bude 575 milimikrona. Uz daljni porast u hodu preći će u plavu boju sa maksimumom od 660 milimikrona, a uz razliku od 800 milimikrona ukazat će se zelena boja. Ta je razlika jednaka jednoj i po talasnoj dužini za zeleno područje spektra u blizini linije E, koja će zbog toga biti ojačano. Povećanjem razlike u hodu na 1060 milimikrona, koje predstavlja dvije talasne dužine za zelenu boju u blizini E linije spektra, zbog čega će zeleno područje u spektru biti poništeno.

Daljnim porastom razlike u hodu na 1130 milimikrona prelazi u svijetloplavu boju. Time počinje novi niz boja, koji preko zelene i žute završava s crvenom bojom.

Interferentnim bojama prvog reda odgovara razlika u hodu od 0 do 551 m μ . Preko toga do 1101 m μ idu razlike u hodu koje uzrokuju interferentne boje drugog reda. Razlikama u hodu od 1101 do 1652 m μ daju interferentne boje trećeg reda itd. interferentne boje petog reda jedva se mogu razlikovati. Boje viših redova ne razlikuju se praktično od bijele, odnosno svijetlosive boje.

1.17.7. Kvarcni (kremenii) klin

Ovisnost interferentnih bojaoja može se lijepo posmatrati pomoću kvarcnog (kremenog) klina. To je izdužena pločica kvarca izbrušena paralelno optičkoj osi, koja prema jednom kraju postaje uz blagi nagib postaje sve deblja (Sl.48).



Sl.48 . Kvarcni klin. Pogled odozgo i sa strane

Kvarcni klin je pripremljen tako da paralelno dužoj stranici ide glavni vibracioni smjer **O** ordinarnog, a paralelno kraćoj stranici glavni vibracioni smjer **E** ekstraordinarnog talasa. Prolazeći kroz klin, ona se lomi dvostruko, jer upada okomito na optičku os, koja se poklapa sa **E**. Iz klina izlaze dva talasa čija se svojstva vide iz eliptičnog presjeka optičke indikatrice klina koji je nacrtan desno. Od oba talasa koji izlaze istim smjerom iz

klina, jedan vibrira smjerom **O** i ima indeks loma $N_O=1,54425$, a drugi vibrira smjerom **E** i ima indeks loma $N_E=1,55336$.

Na dnu mikroskopskog tubusa, neposredno iznad objektiva, nalazi se prorez, koji je tako napravljen da se u njega može uložiti kvarcni klin tako da njegovi vibracioni smjerovi stoe dijagonalno prema vibracionim smjerovima ukrštenih nikola, odnosno nitima u okularu. Klin se nalazi u položaju maksimalne rasvjete. Kada se umetne tanji kraj među ukrštene nikole i postepenim pomicanjem klina prema debljem kraju, tada će zbog sve veće debljine dijelova klina koji se posmatraju, razlika u hodu postepeno rasti i s tom će se promjenom postepeno mijenjati interferentne boje. Uobičajeno je da se veća ili manja razlika prenosi direktno na interferentne boje. Radi toga se često govori o višim ili nižim interferentnim bojama, odnosno o sniženju (padu) ili povišenju (porastu) interferentnih boja.

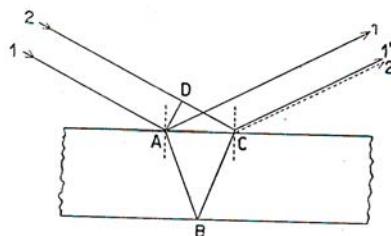
U tabeli IV, dat je pregled interferentnih boja među ukrštenim nikolima za prva tri reda u ovisnosti o razlici u hodu. Na kraju udžbenika data je karta interferentnih boja za najčešće minerale.

Tabela IV:Interferentne boje u ovisnosti o razlici u hodu za prva tri reda među ukrštenim nikolima

	Razlika u hodu (mμ)	Boja
Boje prvog reda	0	Crna
	40	Čeličnosiva
	97	Lavandulastosiva
	158	Sivoplavkasta
	218	Siva
	234	Bijela sa slabom zelenkastom nijansom
	259	Skoro potpuno bijela
	267	Žučkastobijela
	275	Bijeloslamnatožuta
	281	Slamnatožuta
	306	Svjetložuta
	332	Živahnožuta
	430	Smeđežuta
	505	Crvenonarandžasta
	536	Crvena
	551	Dubokocrvena
Boje drugog reda	565	Purpurna
	575	Ljubičasta
	589	Indigo
	664	Nebeskoplava
	728	Zelenkastoplava
	747	Zelena
	826	Svjetlozelena
	843	Žučkastozelena
	866	Zelenkastožuta
	910	Čisto žuta
	948	Narandžasta

	998	Živahnarandžastocrvena
	1101	Tamnoljubičastocrvena
Boje trećeg reda	1128	Svjetlomodroljubičasta
	1151	Indigoplava
	1258	Zelenkastoplava
	1334	Morska zelena
	1376	Sjajnozelena
	1426	Zelenkastožuta
	1495	Boja kao meso
	1534	Karmincrvena
	1621	Mutnopurpurna
	1652	Ljubičastosiva

Interferentne boje se mogu vidjeti i u običnom životu. Kada na površinu vode padne kap benzina i razvuče se u tanki sloj koji je različito obojen. Slično je i sa mjeherima od sapunice u čijem hodu postoji razlika. Kod benzina i mjeherića sapunice interferencija nije razlog dvolom, nego refleksija i lom svjetla, kako se može vidjeti iz slike 49. između zrake 1 i 2 postoji razlika u putu, o kojem ovisi šta će njihovom interferencijom iz bijele svjetlosti biti pojačano, a šta poništeno, isto onako kako je opisano kod dvolomnih kristalnih presjeka.



Sl.49. Razlika u hodu nastaje u prozirnom sloju zbog refleksije i loma na jednoj i drugoj strani sloja

1.17.8. Anomalne interferentne boje

Kod većine anizotropnih minerala disperzija indeksa loma i dvoloma je mala. Ima slučajeva kada se dvolom mijenja u ovisnosti o talasnoj dužini svjetlosti. Kod epidota je jačina dvoloma $Nz - Nx$ za crvenu boju znatno manja nego za plavu i ljubičastu. To se označava kao: $(Nz - Nx) r < v$. Posljedica toga može biti da su zbog snažnijeg dvoloma u kratkotalasnom dijelu spektra dobro ispunjeni uslovi za pojačavanje plave ili ljubičaste interferentne boje. Za crveno područje spektra uz slabi ili nikakav dvolom nastupit će pojačanje tek kada se za ljubičastu i plavu boju javljaju već interferentne boje drugog reda; čak i ako nema dvoloma, crveno područje neće uopšte doći do izražaja. U tom slučaju govorimo o normalnim interferentnim bojama. Kod epidota se među interferentnim bojama prvog reda primjećuje jasna svjetloplosna boja, koja odmah prelazi u žarku žutu boju bez bijele boje prvog reda.

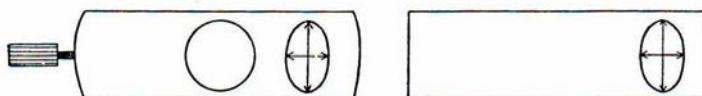
U suprotnom slučaju kada je jačina dvoloma veća za crveni nego za plavi dio spektra, odnosno kad je $(Nz - Nx) r > v$, bit će zbog interferencije pojačano crveno i žuto područje spektra, a za plavo i ljubičasto područje uz male debljine preparata jedva ili nikako doći do izražaja. Takve boje zovemo anomalne (subnormalne).

Anomalne interferentne boje opažaju se ako je dvolom za srednje područje spektra jednak nuli, dok je za kratkotalasno područje mineral optički pozitivan, a za dugotalasno područje optički negativan ili obratno. Većinom se tada vidi tamnoplava ili tamnosmeđa anomalna interferentna boja, kakva je karakteristična za neke hlorite i za vezuvijan.

Kod obojenih minerala, kao što su amfiboli, interferentne boje mogu biti prekrivene jakim vlastitim bojama.

1.17.9. Gipsani listić (gipsana pločica)

Jedno od pomoćnih sredstava pri mikroskopiranju s polarizacionim mikroskopom je gipsani listić ili gipsana pločica. Od njega se pripreme takve pločice da im je razlika u hodu 532 mμ. Takvi presjeci gipsa interferiraju u crvenoj boji prvog reda. Pločice se pomoću kanada balzama zaliže među staklene pločice ili ulože u metalni okvir, tako da je vibracioni smjer **Z** zrake manje brzine (većeg indeksa loma) namješten paralelno kraćoj, a vibracioni smjer **X** zrake veće brzine (manjeg indeksa loma) gipsanog listića paralelno dužoj stranici metalnog okvira (Sl.50). Metalni okvir sa gipsanim listićem ulazi na dnu mikroskopskog tubusa neposredno iznad objektiva koji ima smjer **NW-SE**. Tom je smjeru paralelan vibracioni smjer manjeg indeksa loma. Drugi vibracioni smjer ide NE-SW. Oba vibraciona smjera čine s nitima u okularu, odnosno s vibracionim smjerovima ukrštenih nikola ugao od 45°, tj. namješteni su dijagonalno. Gipsani listić nalazi se u položaju maksimalne rasvjete.



Sl. 50. Gipsani listić s ucrtanim presjekom indikatrice

1.17.10. Liskunski (tinjčev) listić ili pločica od četvrtinu undulacije

Na sličan način prave se od muskovita listići ili pločice. Listići moraju biti tanke da im razlika u hodu iznosi 130-140 mμ ili četvrtinu talasne dužine srednjeg dijela spektra. Među ukrštenim nikolima one interferiraju sivo. Orientacija vibracionih smjerova, odnosno presjeka indikatrice, u tim je pločicama obično ista kao i u gipsanom listiću.

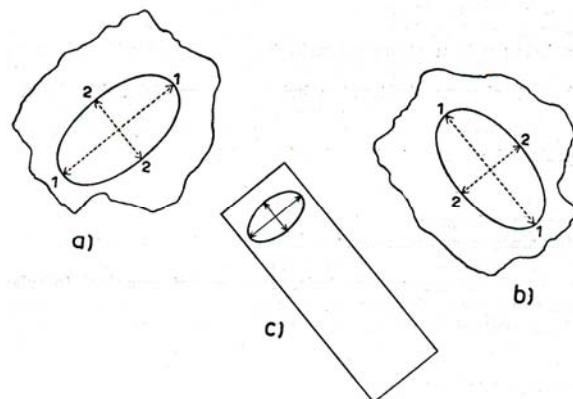
1.17.11. Određivanje vibracionog smjera bržeg i sporijeg talasa

Položaj vibracionih smjerova u nekom anizotropnom presjeku odredimo na taj način da se presjek zaokretanjem među ukrštenim nikolima namjesti na tamu. Vibracioni smjerovi tada su paralelni vibracionim smjerovima ukrštenih nikola, odnosno nitima u okularu. Kada zaokrenemo preparat za 45° u položaj maksimalne rasvjete, tada je

moguće da imamo jedan od dva položaja eliptičnog presjeka indikatrise dotičnog zrna kako je prikazano na slici 51.

U položaju **a** (Sl.51a), vibracioni smjer sporijeg talasa ima smjer **NE-SW**, u položaju **b** (Sl.51b) obratno **NW-SE**. Pomoću gipsanog listića lako je odrediti kako je namješten vibracioni smjer sporijeg ili bržeg talasa. U tu svrhu u tok svjetlosti uklopi se iznad kristalnog presjeka gipsani listić (sl.51c), tako da ga stavimo u prorez na dnu tubusa. Pri prolazu svjetlosti kroz kristalni presjek između sporijeg i bržeg talasa ostvarit će se razlika u hodu npr. 300 m μ . Oba talasa idući od zrna u preparatu prema tubusu doći će do gipsanog listića. Obzirom da su eliptični presjeci indikatrise kristalnog presjeka i gipsanog listića namješteni u ovom slučaju podudarno, njihova veća i manja os jednako su usmjerene. Vibracioni smjer **1** sporijeg talasa u kristalnom presjeku paralelan je s vibracionim smjerom sporijeg talasa u gipsanom listiću. Sporiji talas u kristalnom presjeku proći će i gipsani listić kao sporiji talas. Isto se može reći i za vibracione smjerove bržih talasa. Razlika u hodu od 300 m μ , koja je nastala pri prolazu svjetlosti kroz kristalni presjek, povećat će se radi toga pri prolazu kroz svjetlosti kroz gipsani listić za onoliko koliko iznosi razlika u hodu gipsanog listića, tj. 532 m μ . Razlika u hodu se dobije kao zbir:

$$300 \text{ m}\mu + 532 \text{ m}\mu = 832 \text{ m}\mu$$



Sl.51. Podudarni (a), i nepodudarni položaj (b), kristalnog presjeka i gipsanog listića (c)

Žuta interferentna boja kristalnog presjeka i crvena interferentna boja gipsanog listića izmijenit će se u zelenu boju, koja odgovara povećanoj razlici u hodu od 832 m μ . Porastu razlike u hodu odgovara porast interferentne boje. Po toj promjeni interferentne boje naviše pri upotrebi gipsanog listića prepoznaće se podudarni položaj, koji zbog toga što se razlike u hodu sabiraju naziva položaj adicije.

U drugom slučaju (Sl.51b), kada stavimo iznad dvolomnog presjeka minerala gipsani listić tako da se duž os eliptičnog presjeka u zrnu tj. vibracioni smjer sporijeg talasa u zrnu ne podudara sa kraćom osi eliptičnog presjeka indikatrise u gipsanom listiću, odnosno sa vibracionim smjerom bržeg talasa u gipsanom listiću. Sporiji talas u zrnu koji vibrira smjerom **1** zaostaje za bržim npr za 300 m μ , bit će u gipsanom listiću brži i

obrnuto, brži talas u kristalnom presjeku bit će u gipsanom listiću sporiji, zbog čega će se razlika u hodu smanjiti i biti jednaka razlici između veće i manje razlike, tj.

$$532 \text{ m}\mu - 300 \text{ m}\mu = 23 \text{ m}\mu$$

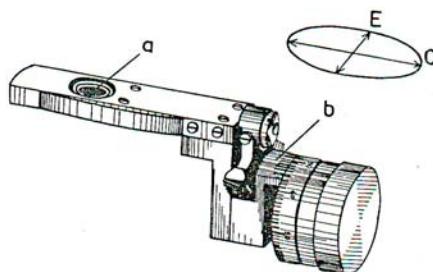
Crvena interferentna boja gipsanog listića, odnosno žuta interferentna boja mineralnog zrna, izmijenit će se u bijelu boju prvog reda, koja odgovara sveukupnoj razlici u hodu. Padu razlike u hodu odgovara i pad interferentne boje.

U slučaju nepodudarnog položaja zrna u preparatu i gipsanog listića, kada razlika u hodu iznosi $532 \text{ m}\mu$, koliko iznosi razlika u hodu za gipsani listić, tada će razlika u hodu biti jednaka nuli. Razlika u hodu će se poništiti ili kompenzirati, pa taj slučaj zovemo još i položaj kompenzacije. Interferentna boja zrna, odnosno gipsanog listića izmijenit će se u crno, kako to odgovara razlici u hodu od $0 \text{ m}\mu$.

Ako su razlike u hodu velike, tada ova ispitivanja nisu u potpunosti pouzdana. Tada se uglavnom koristi kvarcni (kremeni) klin, koji na svom debljem ima razliku u hodu preko $2000 \text{ m}\mu$.

1.17.12. Određivanje razlike u hodu

Na pojavi komenzacije zasnovane su metode za određivanje razlike u hodu optički dvolomnih kristalnih presjeka. Jedan od kompenzatora koji se koristi u tu svrhu je Berekov kompenzator (Sl.52). Njegov bitni dio je tanka pločica kalcita (**a**) izbrušena okomito na optičku os. Ona se može zaokretanjem dugmeta zaokretati oko smjera paralelnog se **O**. Taj se nagib može pomoću nonijusa (**b**) tačno odrediti. Kompenzator se radi određivanja lijevim krajem uloži u prorez na dnu tubusa.



Sl.52 . Berekov kompenzator

Kada se kalcitna pločica nalazi u svom početnom položaju, kad je njena optička os namještена paralelno s osi tubusa. Razlika u hodu otvorena pri prolazu svjetlosti kroz neki dvolomni presjek u preparatu neće se pri dalnjem prolazu svjetlosti kroz kalcitnu pločicu kompenzatora ništa promjeniti, jer svjetlost kroz kalcit prolazi u smjeru optičke osi, kad nema dvoloma.

Ako pločicu iz početnog položaja postepeno nagnjemo na jednu ili drugu stranu, čime mijenjamo i položaj optičke osi kalcita, udaljujući se sve više od osi mikroskopa. Uz sve veći nagib pločice svjetlost koja dolazi odozdo prolazi kroz kalcit sve više koso, prema njegovoj optičkoj osi. Time se indeks loma ekstraordinarnog talasa sve više smanjuje, zbog čega se razlika u hodu u kalcitnoj pločici kompenzatora sve više

povećava. Povećanju razlike u hodu pridonosi i to što je put svjetlosti kroz pločicu sve duži što je ona više nagnuta. Vidimo da se razlika u hodu za svaki Berekov kompenzator dobije ako se specifična konstanta svakog pojedinog kompenzatora **C** pomnoži sa trigonometrijskom funkcijom ugla *i*, za koji je pločica nagnuta:

$$\Delta = C \cdot f(i)$$

Vrijednost funkcije "*i*" odnosno njenog logaritma je izračunata i ona se za svaki ugao "*i*" daje u posebnim tablicama. Konstanta se za svaki kompenzator posebno odredi (baždari).

Određivanje razlike u hodu vrši se tako da se anizotropni kristalni presjek namjesti među ukrštenim nikolina najprije u položaj potamnjena. Iz tog položaja zaokrene se za 45° u položaj maksimalne rasvjete. Nakon toga se umetne Berekov kompenzator i nagnjanjem pločice pomoću dugmeta pokušamo postići položaj kompenzacije. Ako pri nagnjanju pločice primjetimo da se interferentne boje postepeno mijenjaju prema interferentnim bojama viših redova, onda su nam kristalni presjek i kompenzator namješteni podudarno. U tom slučaju ćemo preparat pomoću mikroskopskog stolića okrenuti za 90° , tj. namjestiti ga u položaj kompenzacije. Uz određeni nagib kompenzatorske pločice razlika u hodu će biti ista kao i razlika u hodu u kristalnom presjeku. U tom slučaju kristalni presjek će potaniti, preko njega će prelaziti tamni kompenzacijski potez, koji se mora namjestiti u sredinu vidnog polja. Da bi se izbjegle pogreške, pločica se nagne na jednu i drugu stranu do kompenzacije, pa se iz oba položaja odredi srednja vrijednost za ugao nagiba *i*. Sada se pomoću gornje formule može odrediti razlika u hodu Δ kristalnog presjeka. Ako je tačno određena i debljina *d*, tada se može odrediti dvolum kristala pomoću izraza:

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

Rezultati su tačniji ako su preparati deblji od 0,04 mm. Određivanja se mogu vršiti samo u presjecima sa maksimalnim dvolumom.

1.17.13. Određivanje debljine preparata pomoću zrna poznate razlike u hodu

U izbruscima mnogih preparata nalaze se zrna kvarca, pomoću kojih se može odrediti debljina preparata. U tu svrhu nam služe zrna koja su izbrušena paralelno s optičkom osi kvarca. Prepoznaju se po toma što interferiraju u najvišoj interferentnoj boji od svih zrna kvarca u preparatu. Kad ih namjestimo dijagonalno, odredit ćemo pomoću Berekovog kompenzatora razliku u hodu. Iz te razlike u hodu i maksimalnog dvoluma za kvarc, izračuna se debljina zrna kvarca. Istu debljinu imaju i zrna drugih minerala oko tog zrna kvarca.

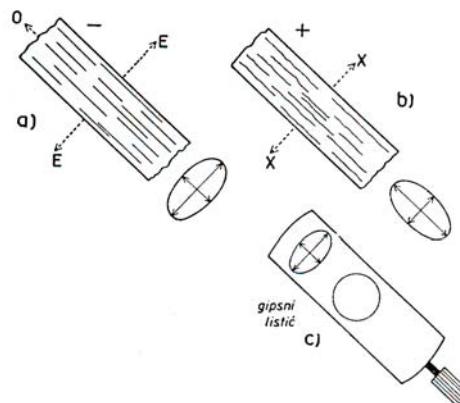
Metoda se zasniva na činjenici da su optička svojstva kvarca stalna, jer nema izomorfnih smješa. Kvarc je rezistentan mineral, pa tako nema ni promjena koje nastaju uslijed trošenja.

Za određivanje po ovoj metodi mora biti ispunjen i uslov da razlika u tvrdini između kvarca i onoga zrna na koje prenosimo debljinu kvarca ne smije biti velika. Meki minerali pored kvarca se izbruse tanje.

1.17.14. Optički karakter izduženja ili znak glavne zone

Minerali koji izgrađuju stijene često su izduženi jednim smjerom ili pločasti paralelno s određenom plohom. Na takvim izduženim kristalima ili izduženim poprečnim presjecima pločastih kristala, pomoću gipsanog listića, kvarcnog klina, Berekova ili nekog drugog kompenzatora i optički karakter izduženja ili optički znak glavne zone. Kažemo da je taj znak pozitivan, ako je paralelno ili gotovo paralelno s izduženjem smješten vibracioni smjer svjetlosti većeg indeksa loma. Optički karakter je negativan ako paralelno izduženju ide vibracioni smjer nižeg indeksa loma. To je učinjeno po analogiji s optički jednoosnim kristalima izduženim paralelno s osi **c**.

Optički karakter izduženja se određuje tako da se izduženi kristalni presjek namjesti prvo u položaj tame među ukrštenim nikolima. Nakon toga se u procijep na dnu tubusa stavi gipsani listić ili neki drugi kompenzator. Izduženi kristalni presjek zakrene se iz položaja tame za 45° pomoću mikroskopskog stola, tako da bi smjer izduženja bio paralelan s vibracionim smjerom **X'** zrake manjeg indeksa loma, odnosno s kraćom osi eliptičnog presjeka indikatrise dotičnog kompenzatora. Kod gipsanog listića **X'** se upravo podudara s glavnim vibracionim smjerom **X** gipsa. Ako se pri tom pojave pojačane interferentne boje, karakter izduženja je negativan, ako se interferentne boje smanje, karakter izduženja minerala je pozitivan. Da bi se to provjerilo, zaokrene se mineral za 90° ; efekti će tada biti obrnuti.



91

Sl.53. Optički karakter ili znak glavne zone; a)negativan, b)pozitivran

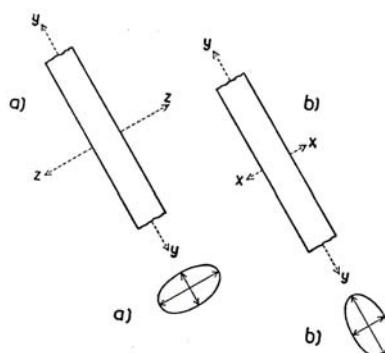
Od optički jednoosnih kristala kao primjer može se uzeti apatit, brucit i kvarc. Optički negativni apatit će uz gipsani listić uložen paralelno izduženju apatita morati pokazati povišenje boje. Optički pozitivan brucit u presjeku okomitom na bazu u poprečnom presjeku pokazaće dobro izražene pukotine bazalne cjepljivosti. Paralelno tim pukotinama položen je vibracioni smjer **O**, okomito na njih vibracioni smjer **E** brucita. Vidimo da je on u podudarnom položaju s eliptičnim presjekom indikatrise gipsanog listića (Sl.53c). Kad se uloži gipsani listić u iznad brucita, doći će do povišenja

interferentnih boja. Odatle slijedi da je optički karakter izduženja za brucit negativan, mada je brucit po svom optičkom karakteru pozitivan.

Kod optički dvoosnih minerala kao što su volastonit ili epidot, koji su izdužni smjerom osi **b**, s kojom se kod volastonita gotovo podudara, a kod epidota potpuno podudara glavni vibracioni smjer **Y** indikstrise. U preparatima pripremljenim paralelno izduženju uvijek leži glavni vibracioni smjer **Y** (Sl.54). Okomito na izduženje može ići **Z** (Sl.54 a) ili **X** (Sl.54b) ili neki međusmjer.

Ako iznad njih postavimo gipsani listić u položaju na slici 53c, imat ćemo u prvom slučaju povišenje interferentnih boja, a u drugom sniženje. Optički karakter izduženja za isti mineral je u prvom slučaju negativan (-), a u drugom pozitivan (+).

Optički karakter izduženja može se podudarati s optičkim karakterom minerala; kod nekih minerala on može biti i pozitivan i negativan.



Sl.54. Optički dvoosni kristali kod kojih se sa smjerom izduženja podudara glavni vibracioni smjer **Y**, znak glavne zone može biti + (pozitivan) i - (negativan)

1.17.15. Paralelno, koso i simetrično potamnjene

U izbruscima se mogu vidjeti različiti geometrijski elementi, terminalne plohe i pukotine cjepljivosti, sraslački šavovi. Sraslačke šavove i lamele kod dvolomnih kristala vidimo tek uz uklopljen analizator. Ako od dva vibraciona smjera nekog anizotropnog presjeka jedan ide paralelno s puktinama cjepljivosti, tada će taj presjek među ukrštenim nikolina potamniti onda kada te pukotine zaokretanjem preparata namjestimo paralelno s vibracionim smjerovima ukrštenih nikola, odnosno paralelno s nitima u okularu. U tom slučaju govorimo o paralelnom potamnjenu.

Vibracioni smjerovi nekog kristalnog presjeka ne moraju biti paralelni s geometrijskim elementima u njemu, npr. s kristalnim bridovima, puktinama cjepljivosti, uloženim lamelama itd. kad namjestimo geometrijski element paralelno s jednom niti u okularu, presjek neće biti taman. On će potamniti tek kada ga zaokrenemo da s vibracionim jednog od ukrštenih nikola, odnosno s jednom niti u okularu bude paralelan jedan vibracioni smjer presjeka. Geometrijski element će biti kos prema niti u okularu; on će prema toj niti biti nagnut za onoliki ugao između geometrijskog elementa i vibracionog smjera u zrnu. U tom slučaju govorimo o kosom potamnjenu. Ugao koji čini geometrijski element i vibracioni smjer lako se odredi na taj način da se za paralelno namještanje i za

položaj potamnjena izvrše očitanja na skali mikroskopskog stola. Razlika između oba čitanja je traženi ugao, koji se zove ugao potamnjena.

Optički anizotropni kristali mogu potamniti u različitim presjecima koso, već prema toma kakvi su geometrijski elementi u njima vide. Kod tetragonskog i heksagonskog sistema glavni vibracioni smjer **E** se uvijek podudara s osi **c**. Njihovi presjeci paralelno s osi **c** moraju uvijek potamniti paralelno s tom osi, kao i svim bridovima okomitim na tu os.

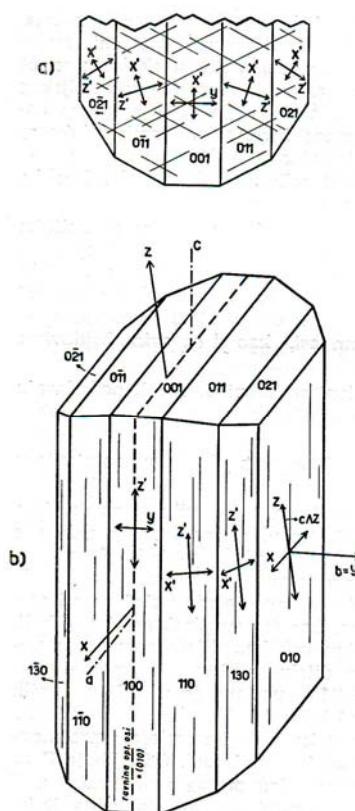
Kod rompskih kristala se glavni vibracioni smjerovi **Z**, **Y** i **X** podudaraju s osima **a**, **b** i **c** kristala. Na presjecima paralelnim s tim osima potamnjene prema njima je paralelno.

Kod triklinskih kristala nema takvih podudaranja. Tu će potamnjene u svakom presjeku biti koso.

Kod monoklinskih kristala se jedan od tri glavna vibraciona smjera podudara s osi **b**, a ostala dva vibraciona smjera nalaze u ravnini drugog pinakoida (010). U presjecima paralelnim s osi **b** bit će potamnjene paralelno toj osi, u svakom drugom presjeku koso. Amfiboli (Sl.55.) imaju sličnu orijentaciju, uz napomenu da za različite amfibole ugao nagiba glavnog vibracionog smjera **Z** prema osi **c** ima druge vrijednosti. Za određeni amfibol on ima stalnu veličinu, on je prema tome važan za određivanje amfibola. Kad nam je poznata veličina tog ugla, tada znamo i smještaj čitave indikatrice u amfibolu. Na svakoj plohi amfibola ucrtani su i smjerovi potamnjena. Označeni su sa **Z'** i **X'**; prvi predstavlja vibracioni smjer talasa većeg indeksa loma, a drugi vibracioni smjer talasa manjeg indeksa loma u dotičnoj plohi. Oni ne predstavljaju vibracione smjerove **Z**, **Y** i **X**, kojima odgovaraju glavni indeksi loma **N_z**, **N_y** i **N_x**. Ugao potamnjena u plohamu vertikalne zone postepeno raste s pukotinama cjepljivosti koji predstavljaju os **c**, preko ploha prizmi (110) i (130), prema plohi bočnog pinakoida (010) u kojoj postigne maksimalnu vrijednost **c : Z**, karakterističnu za pojedine amfibole i važnu za njihovo određivanje. Da bi se taj maksimalni ugao potamnjena odredio treba se u izbruscima prepoznati presjeci paralelni drugom pinakoidu (010) u kojima pukotine cjepljivosti označavaju os **c** i u kojima uz glavni vibracioni smjer **X** leži i glavni vibracioni smjer **Z** (Sl.55b).

Na plohi (001) (Sl.56a) jedan od vibracionih smjerova i to onaj koji je paralelan bridu između ploha (001) i (100), odnosno osi **b** kristala je glavni vibracioni smjer **Y**. Zato je u baznom pinakoidu potamnjene paralelno s osi **b**, odnosno i s bridom između ploha (001) i (011), koji predstavlja os **a** amfibola obično se vide pukotine cjepljivosti paralelne jednom i drugom paru prizmatičnih ploha. Vibracioni smjer **Y** ide tačno sredinom između oba sistema pukotina cjepljivosti. Smjerovi potamnjena u plohi (001) dijele napola ugao između dva sistema pukotina cjepljivosti. U tom slučaju govorimo o simetričnom potamnjenuju.

Pri radu s mikroskopom preparat se okreće u jednom smjeru do potamnjena i očita taj položaj. Iz tog položaja zrno se okreće u suprotnom smjeru do potamnjena i izvrši drugo čitanje. To se ponovi nekoliko puta i iz svih čitanja izračuna srednja vrijednost. Uvijek treba označiti da li je ugao potamnjena određen prema vibracionom smjeru manjeg ili većeg indeksa loma.



Sl. 55. Ugao potamnjenja kod običnih amfibola i piroksena u različitim presjecima je različit

1.17.16. Optičke anomalije

Neki kristali ponekad pokazuju optičke karakteristike koje nisu u skladu s njihovim kristalnim sistemom. Granati koji kristališu teseralno često su optički dvolomni. Heksagonski i tetragonski kristali takođe mogu biti optički dvoosni. Zrna kvarca vrlo često ne potamnuju jednako, nego se potamnjene preko njih preljeva poput talasa; u takvim slučajevima govorimo o talasastom ili undulatornom potamnjenu. Sva takva odstupanja spadaju u optičke anomalije. Njima je često uzrok jednostrani pritisak, različiti topotomi uticaji itd.

Ovdje se može uvrstiti i agregatna polarizacija. Ona se opaža na radijalno trakastim, finovlaknastim i igličastim kristalima kalcedona i hlorita. Ako je potamnjivanje svakog vlakna paralelno njegovom izduženju, takvi će agregati među ukrštenim nikolima uz ortoskopsko posmatranje pokazivati crni krst, koji se pri okretanju preparata neće mijenjati, jer će uvijek neka od radijalno poredanih vlakanaca biti svojim izduženjem

namještena paralelno vibracionim smjerovima ukrštenih nikola. Ako je potamnjnenje vlakanaca koso, krakovi krsta bit će kosi prema izduženju vlakanaca.

Kristali mješanci često su optički anomalni. Uzrok je vjerovatno unutrašnji naponi koji se manifestiraju kao optičke anomalije.

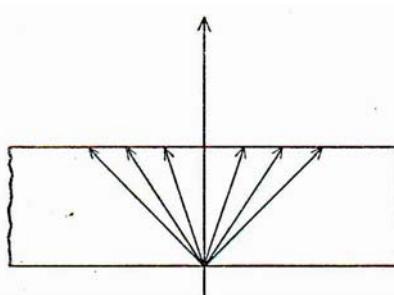
Oblik zrna može prouzrokovati izmjenu optičkih svojstava. Tanki prutići ili tanke pločice neke izotropne materije mogu uz pravilan poređak prouzrokovati dvolom, ako su im dimenzije male u poređenju s talasnom dužinom svjetlosti. To je tzv: dvolom oblika. Pomoću ove pojave je objašnjeno da je kod kalcedona niži dvolom (0,006) nego kod kvarca (0,009), iako po rendgenskim ispitivanjima kalcedon nije ništa drugo nego kvarc. Sitni prutići koji grade kalcedon izduženi su okomito na os **c**. Smjerom svog izduženja oni su optički negativni. Kako se u njegovim finoprutićastim paralelnim agregatima javlja još i pozitivni dvolom uslovljen oblikom, mora rezultirati niži dvolom nego kod kvarca.

1.18. Konoskopska opažanja

Presjeci optički jednoosnih i dvoosnih kristala okomiti na optičku os pri ortoskopskom posmatranju ne mogu se razlikovati. Među ukrštenim nikolima oni su tamni i ostaju tamni zaokretanjem mikroskopskog stola. Zato se vrši konoskopsko osmatranje preparata. Da bi se mogla vršiti konoskopska osmatranja, treba ispod mikroskopskog stolau tok svjetlosti uklopiti tzv. *Amici-Bertrandovu leću*. Zaslon pod mikroskopskim stolom mora biti potpuno otvoren. Da bi efekti bili što jasniji, Amici-Bertrandov leća mora imati svoj poseban zaslon, gdje sužavanjem pojave postaju mnogo kontrasnije. Pri radu često se radi sa jakim objektivima i sa imerezionim objektivom visoke numeričke apreture.

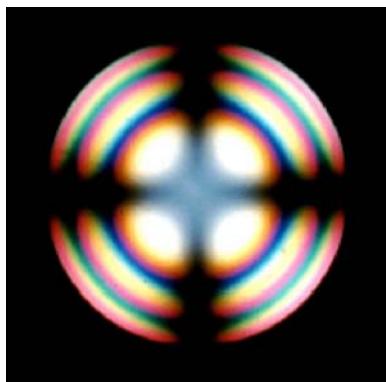
1.18.1. Optički jednoosni kristali

Ako imamo presjek optički jednoosnog kristala okomit na os **c**. Prolazi li kroz njega snop zraka koje konvergiraju prema jednoj tački (Sl.57), tada će samo centralna zraka snopa proći kroz kristalni presjek u smjeru optičke osi, tj. okomito na kristalni presjek indikatrice kristala. Sve ostale zrake prolaze kroz kristalni presjek uz različite nagibe prema optičkoj osi kristala, odnosno prema mikroskopskoj osi, koji su toliko veći što su zrake udaljenije od središta vidnog polja. Uz sve veći nagib bit će i dvolom postepeno sve veći, jer će se stalni indeks ordinarnog talasa sve više razlikovati od promjenjivog indeksa loma ekstraordinarnog talasa. Radi toga, kao i radi sve dužeg puta svjetlosti, uz veće nagibe kroz kristalni presjek, povećet će se i razlika u hodu, odnosno mijenjat će se interferentne boje. Uz isti nagib prema optičkoj osi bit će i razlika ista, radi čega će se oko optičke osi, odnosno oko središta vidnog polja u kojem ona izlazi vidjeti koncentrični krugovi. Upotrebom monohromatske svjetlosti izmjenjivat će se bojeni i crni krugovi (Sl.57 i 58).



Sl.56. Shematski prikaz prolaska svjetlosti kod konoskopskog posmatranja

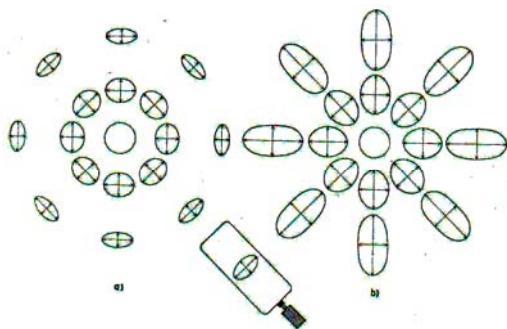
Kod optički jednoosnih negativnih kristala u preparatima pripremljenim okomito na optičku os, u sredini vidnog polja, okomito na ravninu slike, svjetlost koja se širi tim smjerom ide okomito na kružni presjek indikatrice. Njihova duža os svojim smjerom predstavlja vibracioni smjer ordinarnog talasa, koji vibrira uvijek okomito na optičku os; nepromjenljiva dužina duže osi prikazuje stalnu vrijednost indeksa lom N_o ordinarnog talasa. Druga, kraća os eliptičnog presjeka predstavlja vibracione smjerove ekstraordinarnih talasa, a svojom dužinom prikazuje veličinu indeksa loma za njih. Obzirom da taj indeks loma postaje sve manji što je veći nagib svjetlosti pri prolazu svjetlosti kroz kristalni presjek prema optičkoj osi, moraju dužine kraćeg poluprečnika eliptičnih presjeka biti sve manje, što su oni dalje od središta kružnog presjeka.



Sl.57. Koncentrični krugovi kod upotrebe monohromatske svjetlosti

Kod optički jednoosnih pozitivnih kristala bitna razlika je samo u tome da je promjenljiva os eliptičnog presjeka, koja predstavlja vibracioni smjer ekstraordinarne talasne normale, sada duža, jer ona svojom veličinom prikzuje indeks loma ekstraordinarnog talasa, koji je kod optički pozitivnih kristala veći od N_o .

Slika koja će se vidjeti među ukrštenim nikolima i u jednom i u drugom slučaju je ista, vidjet će se crni krst. Ta dva kraka lako je objasniti, jer su vibracioni smjerovi eliptičnih presjeka indikatrice paralelni s vibracionim smjerovima ukrštenih nikola.

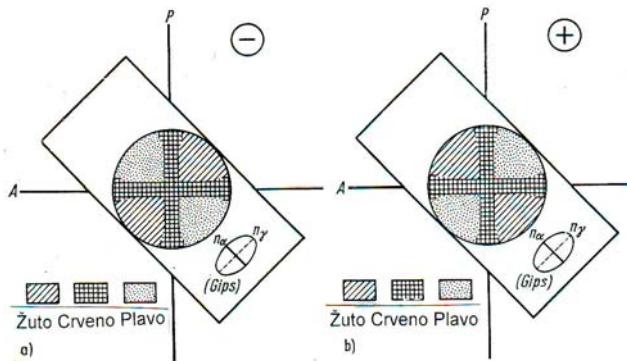


Sl.58. Raspored presjeka indikatise kod optički jednoosnih negativnih (a) i pozitivnih (b) kristala uz konoskopsko posmatranje u kristalnim presjecima okomitim na optičku os

Ako okrećemo preparat pomoću mikroskopskog stola, opisana interferentna figura neće se mijenjati. Unutar prvog obojenog kruga vidi se u svakom kvadrantu bijela interferentna boja s razlikom u hodu od 230 -260 m μ .

Interferentna figura će postati zbijenja ako se uzme deblji preparat ili zrno jačeg dvoloma. Razlika u hodu potrebna za interferentne boje prvog i bilo kojeg dalnjeg oreola bit će ostvarene uz manji nagib svjetlosti prema optičkoj osi.

U opisanim interferentnim figrama može se lako odrediti optički karakter zrna. Ako se postavi gipsani listić na dnu tubusa, tada će se u slučaju da se radi o optički jednoosnom negativnom kristalu svi presjeci u smjeru SZ-JI s obzirom na eliptični presjek gipsanog listića biti u podudarnom položaju. Siva do bijela interferentna boja unutar prvog obojenog oreola preći će u tamnoplavu ili zelenu boju. U smjeru SI-JZ pojavit će se žuta boja.



Sl.59. Određivanje optičkog karaktera optički jednoosnih kristala pomoću gipsanog listića u konoskopskoj interferentnoj figuri

Razlika između optički negativnih i optički pozitivnih minerala vidi se na slici 59 u kojoj je pokazana podjela interferentnih boja u pojedinim kvadrantima, nakon što se u tok svjetlosti uloži gipsani listić.

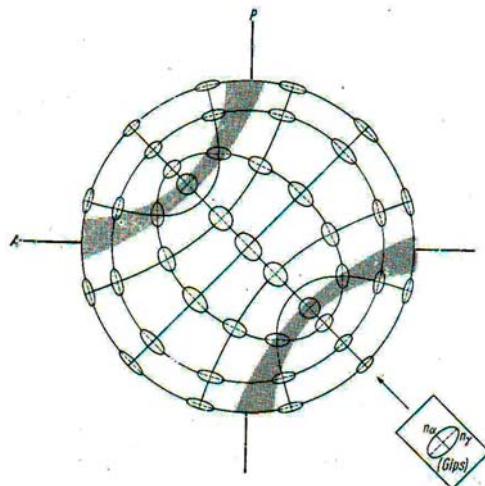
Ako presjek kristala nije tačno okomit na optičku os, centar crnog krsta će se pri zaokretanju preparata okretati koncentrično oko sredine vidnog polja (presjeka niti u okularu).

Pomoću liskunskog listića određivanje se vrši na isti način. Zbog drugačije razlike u hodu (130-140 m μ , siva, odnosno bijela boja unutar prvog oreola u kvadrantima koji su u položaju suptrakcije, izmijenit će u sivu mrlju.

1.18.2. Optički dvoosni kristali

Presjek okomit na oštru raspolovnicu, koja je kod optički dvoosnih pozitivnih kristala glavni vibracioni smjer **Z**, a kod negativnih **X**. U ravnini preparata nalaze se preostala dva vibraciona smjera (Sl.60 i 61). Optičke osi kao smjerovi u kojima nema dvoloma izlaze okomito na kružne presjeke indikatrise. Udaljavajući se od od optičkih osi, razlika u hodu postepeno raste. Kada razlika u hodu dostigne 530 m μ pojavljuje se crvena krivulja koja označava sva mjesta s tom razlikom u hodu. Uz dalje povećanje u hodu ona će prelaziti preko ljubičaste, plave, zelene, žute i narandžaste u crvenu krivulju drugog reda. Te krivulje istih razlika u hodu, tj. interferentnih boja zovemo i izohromatske krivulje. One kod optički dvoosnih kristala nisu kružnice, nego leminiskate. One su manje ili više zbijene već prema tome da li je preprarat tanji ili deblji, većeg ili manjeg dvoloma, slabiji ili jači objektiv. Pri okretanju preparata obojene leminiskate ostaju nepromijenjene.

Uz sistem obojenih obojenih leminiskata vidjet će se u među ukrštenim nikolina i tamna područja na mjestima na kojima su vibracioni smjerovi eliptičnih presjeka indikatrise kristala paralelni vibracionim smjerovima ukrštenih nikola. Njihova konstrukcija se dobije tako da se kroz smjer kojim se svjetlost širi u kristalu i kroz obje optičke osi polože ravnine. Ako su sredinom između tih ravnina dvije međusobno okomite ravnine, tada se vibracioni smjerovi nalaze u tim ravninama stoeći okomito prema smjeru svjetlosti. Na taj način su dobijeni smjerovi potamnjena na raznim mjestima posmatranog kristalnog presjeka, koji je na slici 60. namješten tako da ravnina optičkih osi ide dijagonalno u smjeru SZ-JI među vibracionim smjerovima ukrštenih nikola. Na mjestima na kojima izlaze optičke osi **A₁** i **A₂** vibracioni smjer može biti bilo kakav. Iz slike vidimo da su uz takvo namještanje kristalnog presjeka sva mjesta čiji se vibracioni smjerovi ukrštenih nikola nalaze na dva hiperbolična ogranka; u njihovim tjemenicima izlaze optičke osi. Ako se preparat okreće za 45° tako da ravnina optičkih osi bude paralelna vibracionom smjeru jadnog od ukrštenih nikola, tada će se pojaviti tamni krst. Jedan, uži krak prolazi kroz optičke osi i on označava položaj ravnine optičkih osi. Drugi, širi krak ide između optičkih osi okomito na prvi krak. Iz slike vidimo da se oštra raspolovnica nalazi na konveksnoj strani hiperboličnih tamnih krivulja. Te krivulje istih vibracionih smjerova zovemo izogire (gr. Isis-isti, gyros-kriv). Pomoću Biot-Frenselove konstrukcije vidimo, može se zaključiti da su izogire slabije savijene što je ugao optičkih osi veći. Ako iznosi 90°, izogire su ravne. Tada se može reći da je mineral u optičkom pogledu i pozitivan i negativan.

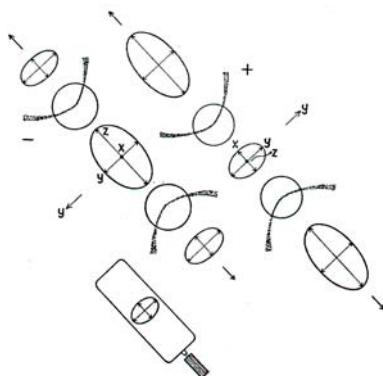


Sl.60. Vibracioni smjerovi u presjeku dvoosnog kristala okomitim na oštru rasplovnicu na različitim mjestima presjeka

Opisana interferentna figura prikladna je za određivanje optičkog karaktera dvoosnih kristala. Za slučaj da smo preparat namjestili tako da ravnina optičkih osi ide dijagonalno u smjeru SZ-JI (Sl.61 i 62). Na slici su nacrtani eliptični presjeci indikatrise samo u ravnini optičkih osi. Oko tjemena hiperboličnih izogira kao središta nacrtani su kružni presjeci poluprečnika N_y , jer su optičke osi usmjerene okomito na kružne presjeke indikatrise i svjetlost se smjerom njih širi brzinom koja odgovara međuvrijednosnom indeksu N_y . Kada se u tok svjetlosti uloži gipsani listić, tada će se na konkavnoj strani hiperboličnih izogira siva do bijela interferentna boja unutar prve lemniskate izmijeniti u plavu ili zelenu ako je mineral optički negativan, odnosno žutu, ako je mineral pozitivan. U prvom slučaju su presjeci indikatrise kristala na konkavnoj strani izogira prema gipsanom listiću u podudarnom, a u drugom u nepodudarnom položaju. Na konveksnim stranama izogira promjena će biti obrnuta.

Ako su preparati tanki i dvolom slab, može se dogoditi da će već prva izogira biti izvan vidnog polja. Za određivanje je dovoljno ako je kristalni presjek toliko kos da se vidi samo jedna optička os. Okretanjem preparata moguće je da se vidi samo jedna izbara, koja će se u vidnom polju vrtjeti suprotno od zakretanja mikroskopskog stola s preparatom. Kada se ona pri tom potpuno izravna, ravnina optičkih osi je paralelna vibracionom smjeru jednog od ukrštenih nikola.

Presjeci okomiti na tupu rasplovnicu ponašaju se slično, uz razliku da će se krst pri zaokretanju preparata brže razilaziti u izogire, čija će tjemena u tom slučaju biti izvan vidnog polja.



Sl.61. Određivanje optičkog karaktera u konoskopskoj interferentnoj figuri optički dvoosnih kristala u presjecima okomitim na oštru raspolovnicu.

Sva određivanja se mogu izvesti i pomoću liskunskog listića.

1.18.3. Disperzija ugla optičkih osi

Ugao optičkih osi neke materije zavisi o talasnoj dužini svjetlosti u kojij se vrši opažanja. Pomoću konoskopske interferentne figure lako je odrediti je li taj ugao veći za crvenu nego za plavu ili ljubičastu boju ili obratno.

Određivanje se vrši u bijeloj svjetlosti uz dijagonalan položaj ravnine optičkih osi među ukrštenim nikolima, uz takvo namještene hiperbolične izogire koje su na svom tjemenu s konkavne strane tanje ili deblje obrubljene crvenim ili plavim potezom.

U prvom slučaju u smjeru optičkih osi nema dvoloma; među ukrštenim nikolima na njihovim mjestu je tama. Ako se uz posmatranje u bijeloj svjetlosti s konkavne strane izogira ipak vidi uski crveno obojeni potez, to je zbog toga što je od bijele svjetlosti preostao crveni dio spektra. Poništen je kratkotalasni dio spektra. Odatle slijedi da ondje gdje se uz tamna tjemena hiperboličnih izogira vidi crveno obojeni potez izlazi optička os za plavu boju i obratno.



Sl.62. Disperzija ugla optičkih osi a) $r < v$; b) $r > v$ (— crveni obrub; -----plavi obrub)

U rompskom sistemu ravnina optičkih osi se podudara s jednom ravninom simetrije kristala, stojeći okomito prema druge dvije ravnine simetrije. Između tjemena

hiperboličkih izogira okomito na ravan simetrije koja se podudara s ravni optičkih osi, prolazi druga ravnina simetrije, koja simetrijski dijeli pojavu disperzije ugla optičkih osi (Sl.62).

Da bi se te pojave bolje vidjele, potrebno je da Amici-Bertrandova leća ima svoj iris-zaslon kao i da se može fokusirati.

1.18.4. Disperzija glavnih vibracionih smjerova

U rompskom sistemu glavni vibracioni smjerovi **Z**, **Y** i **X** podudaraju se sa kristalografskim osima **a**, **b** i **c**. Zato oni bez obzira na talasnu dužinu svjetlosti u kojoj se vrše opažanja imaju uvijek isti položaj.

U monoklinskom sistemu samo jedan od tri glavna vibraciona smjera, i to onaj koji se podudara s osi **b** kristala, ne može biti dispergovan. Ako je to glavni vibracioni smjer **Y**, tada se ravnina optičkih osi podudara s pinakoidom (010). Vibracioni smjerovi **Z** i **X**, koji se nalaze u tom pinakoidu u tom su slučaju dispergirani, tj. za svjetlost raznih talasnih dužina različito su nagnuti prema kristalnim elementima (npr. prema osima **a** i **c**). Zbog istovremene disperzije ugla optičkih osi dolazi do tzv. kose ili nagnute disperzije.

Ako se s osi **b** podudara jedna od dvije raspolovnice (**Z** ili **X**), tj. ako je ravnina optičkih osi okomita na (010), tada oko raspolovnice paralelne s osi **b** dolazi do ukrštene, a oko druge raspolovnice, koja se nalazi u ravnini (010), do horizontalne disperzije.

U triklinskom sistemu nema nikakvih simetrijskih elemenata koji bi upravljali raspodjelom optičkih elemenata za svjetlost različitih svjetlosnih talasnih dužina u kristalu. Disperzija je tu asimetrijska.

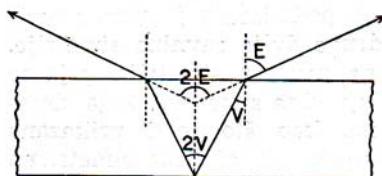
Pojave disperzije opažaju se pri mikroskopiranju sa debljim preparatima, dok se u normalno pripremljenim preparatima rijetko opažaju.

1.18.5. Određivanje ugla optičkih osi

Što je veći ugao optičkih osi, to će u dijagonalno namještanje ravnine optičkih osi razmak među tjemenima izogira, gdje izlaze optičke osi, biti veći. Presjek okomit na oštru raspolovnicu namješten dijagonalno (Sl.63). Šireći se smjerom optičkih osi čiji je ugao **2V**, svjetlost prolazi kroz kristal brzinom međuvrijednosnog indeksa loma **N_y**. Izlazeći u uzduh ona se lomi od okomice. Ugao koji se vidi u mikroskopu i koji će se mjeranjem odrediti zato je veći. On iznosi **2E**, zove se prividni ugao optičkih osi. Iz slike 64. vidimo da je:

$$\frac{\sin E}{\sin V} = N_y, \text{ odnosno} \quad \sin V = \frac{1}{N_y} \cdot \sin E$$

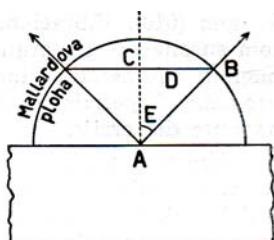
Iz izmjerenoj prividnog ugla **2E** dobije se pomoću tog izraza pravi ugao optičkih osi u kristalu **2V**, uz pretpostavku da je odrežen i međuvrijednosni indeks loma **N_y**.



Sl.63. Prividni (2E) i pravi (2V) ugao optičkih osi

Radi određivanja veličine ugla optičkih osi treba izmjeriti razmak među tjemenima obiju izogira, pomoću mikrometarokulara. Pri izračunavanjima treba imati na umu da se pri konoskopskim opažanjima ne posmatra u fokusnoj ravnini, nego u fokusnoj plohi koja ima oblik polukugle, tzv. Millardove polukugle. Izmjereni razmak među tjemenima izogira (Sl.64) označava se sa **2D**. Polovica tog razmaka **D** proporcionalna je sinusu ugla **E**, te se može napisati:

$$D = K \cdot \sin E$$



Sl.64. Određivanje ugla optičkih osi

Ovdje konstanta **K** ima značenje hipotenuze u trokutu **ABC**. Da bi se vrijednost te konstante, mora se prije toga izvesti mjerjenje na nekom mineralu poznatog prividnog ugla optičkih osi. Konstanta K mora se za svaki optički sistem posebno odrediti.

1.19. Optička aktivnost

Neki kristali, kao kvarc, odlikuju se time da svjetlost kada uđe u njih u smjeru optičke osi, mijenjaju svoj vibracioni smjer s kojim je došla iz polarizatora. Takve kristale zovemo optički aktivni kristali. U nekim kristalima kvarca vibracioni smjer se postepeno sve više okreće u smjeru nadesno a u drugom isto tako jako u smjeru nalijevo.

Pločica kvarca izbrušena okomito na optičku os neće uz uslove ortoskopskog opažanja među ukrštenim nikolima biti tamna, jer svjetlost koja iz nje izade ne vibrira više vibracionim smjerom, koji je iz polarizatora izašla; njen vibracioni smjer nije stoga okomit na vibracioni smjer analizatora. Da bi nastala tama, mora se analizator zakrenuti za isti ugao za koji se pri prolazu kroz kvarcnu pločicu izmijenio vibracioni smjer svjetlosti iz polarizatora. Na taj način se može lako odrediti ugao zaokreta. Ugao zaokreta ne zavisi samo od debljini pločice, nego i o talasnoj dužini svjetlosti u kojoj se vrši posmatranje. Ugao zaokreta iznosi na kvarcnoj pločici debljine 1 mm za B-liniju spektra (687 m μ)

$15,75^{\circ}$, za D-liniju ($589,3 \text{ nm}$) $21,71^{\circ}$, za E-liniju (527 nm) $27,54^{\circ}$, za G-liniju (431 nm) $42,60^{\circ}$ i za ljubičasti H-liniju (397 nm) $51,97^{\circ}$.

Pojava ne dolazi do izražaja u izbruscima normalne debljine (0,02-0,04 mm), jer je ugao zaokreta malen. U 0,02 mm debeloj pločici kvarca ugao zaokreta iznosi jednu pedesetinu gore navedenih vrijednosti.

1.20 Justiranje polarizacionog mikroskopa

Da bi se sa mikroskopom moglo pouzdano raditi potrebno je da mu nikoli budu ukršteni, da vibracioni smjerovi ukrštenih nikola budu paralelni s nitima u okularu i da se odredi vibracioni smjer polarizatora. Prije toga treba izvršiti centriranje mikroskopa.

1.20.1. Namještanje nikola u ukršteni položaj

Iz toka svjetlosti ukloni se po mogućnosti svi optički uređaji; objektiv, okular, kondenzator. Gledajući u jak izvor svjetlosti, zaokreću se polarizator ili analizator u svojim ležištima oko mikroskopske osi do položaja što potpunije tame. Da bi osjetljivost bila što veća taj se posao vrši u zamračenoj prostoriji.

Vrlo često polarizator je napravljen tako da se pomoću glave vijka, koja viri iz njegova metalnog okvira, može namjestiti u određen položaj na taj način da glava vijka upadne u poseban izrez u metalnom ležištu pod mikroskopskim stolom, u koje se umeće polarizator. Nakon toga se analizator namjesti prema njemu ukršteno na način kako je ranije opisano.

1.20.2. Namještanje vibracionih smjerova ukrštenih nikola u položaj paralelan s nitima u okularu

U tu svrhu odabere se anizotropni kristalni presjek živilih interferentnih boja s oštro izraženim kristalografskim smjerom, npr. brid, pukotina cjepljivosti ili sraslački šav, prema kome je potamnjene平行. U tu svrhu mogu dobro poslužiti igličasti kristali PbCl_2 ili HgCl_2 , koji se mogu lako pripremiti postepenim hlađenjem rastvora tih materija. Zbog slabije topivosti u hladnoj vodi talože se kristalići s idealnim bridovima. Takođe se mogu upotrijebiti i iglice natrolita ili anhidrita.

Preparat napravljen od ovih supstanci stavi se na mikroskopski stolić i zakretanjem među ukrštenim nikolima namjesti u položaj potamnjena. To treba izvršiti više puta i iz svih namještanja uzeti srednju vrijednost. Na tu se vrijednost namjesti mikroskopski stolić. Ako je brid ili pukotina cjepljivosti paralelna s niti u okularu, tada su vibracioni smjerovi ukrštenih nikola namješteni prema nitima u okularu paralelno.

Pri namještanju kristalića ili kalotina u položaj potamnjena radi se sa izvjesnom greškom. Osjetljivost se može povećati ako se radi sa slabijom rasvjetom. U tu svrhu se koriste tanki prejeci blizanaca gipsa po zakonu (100). U njima taj šav predstavlja os **c** i ističe se kao idealno ravna linija. S obzirom na nju potamne oba srasla individuma simetrično, ako se niti u okularu podudaraju s vibracionim smjerovima ukrštenih nikola. Kada zakrenemo preparat da ide dijagonalno prema vibracionim smjerovima ukrštenih nikola, tada će obje jedinke biti veoma slabo osvjetljeni, jer njihovi vibracioni smjerovi uz to namještanje odstupaju od vibracionih smjerova ukrštenih nikola oko 90° . Šav treba namjestiti paralelno jednoj niti u okularu. Iz tog položaja treba zakrenuti tačno za 45° .

Ako su obje srasle jedinke jako osvijetljene, tada su niti u okularu i vibracioni smjerovi ukrštenih nikola međusobno paralelni.

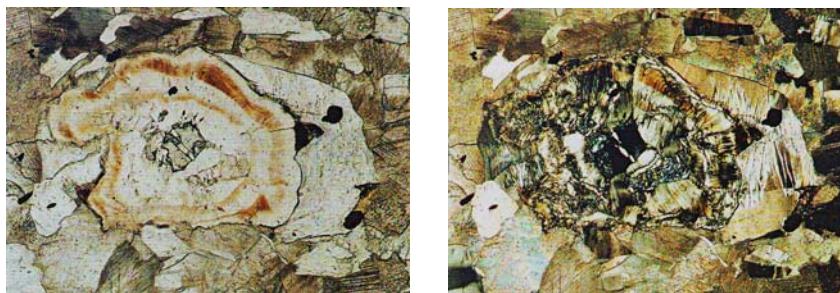
Neophodno je vršiti kontrolu nekoliko puta da bi se izbjegla greška u mjerenu.

1.20.3. Određivanje vibracionog smjera polarizatora

Vibracioni smjer polarizatora određuje se pomoću kristalnih presjeka biotita, okomitih na pravac cjepljivosti. Takve je presjeke lako prepoznati po snažnom pleohroizmu i po oštrini i uzanosti pukotina cjepljivosti. Pleohroizam kod biotita je izražen u tom smislu da su oni za glavne vibracione smjerove **Z** i **X**, koji su paralelni s pukotinama cjepljivosti, tamniji (tamnosmeđi, tamnozeleni ili crni), a za glavni vibracioni smjer **X**, koji je okomit na pukotine cjepljivosti (žućkast, zelenkast). Namjestimo kristalni presjek biotita zakretanjem mikroskopskog stoliča među ukrštenim nikolina u položaj potamnjivanja i nakon toga iskllopimo analizator. Ako presjek nije u položaju tamnijeg obojenja (jače apsorpcije), zakrenemo ga za 90° i tada će dospjeti u taj položaj. Svjetlost koja dolazi iz polarizatora prolazi u tom slučaju kroz biotit s vibracionim smjerom koji je paralelan sa Y ili X biotita, tj. s pukotinama cjepljivosti. Pukotine cjepljivosti u položaju tamnijeg obojenja biotita označavaju vibracioni smjer polarizatora.

2. OPTIČKI IZOTROPNI MINERALI

2.1. PERIKLAS MgO



Sl. 65. Periklas, paralelni i ukršteni nikoli

Hemijski sastav: Rijetko je hemijski čist i česte su izomorfne zamjene magnezija sa željezom, manganom i cinkom.

Kristalni sistem: Kubični

Dimenzije jedinične čelije: $a = 4,213 \cdot 10^{-10}$

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima karakteristični su trokutasti, kvadratični i okruglasti presjeci. Najčešće je bezbojan, rjeđe zelankast. Indeks loma se kreće od 1,736-1,780, radi čega ima izražen pozitivan reljef. Među ukrštenim nikolima u svim presjecima je potpuno taman. Ne pokazuje optičke anomalije.

T: 5,5

H: 3,56

Geneza i parageneza: Karakterističan je za kontaktno-metamorfne mermere u kojima je nastao dedolomitizacijom na viskoim temperaturama. Nije stabilan mineral. Pri nižim temperaturama prelazi u brucit i serpentin.

Identifikacija: Karakteristična oktaedrijska forma, vrlo dobra heksaedrijska cjepljivost i izrazit reljef. Ne pokazuje optičke anomalije.

2.2. GRUPA SPINELA $R^{2+}O + R^{3+}O_3$ (opšta formula)

($R^{2+} = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}, Be^{2+}$) ($R^{3+} = Fe^{3+}, Al^{3+}, Cr^{3+}, Mn^{3+}$)

Grupa spinela obuhvata dvadesetak krajnjih članova izomorfne serije minerala među kojima neki čine potpuni niz kristala mješanaca, dok su s drugim članovima izomorfne smjese ograničene.

Kristališu kubično, a najčešći habitus je oktaedrijski.

Podijeljeni su u tri grupe: aluminijski, gvožđeviti i hromni. Gvožđeviti i hromni spineli su tamnih boja, metalne sjajnosti i u mikroskopskim preparatima neprovidni ('opaci'). Aluminijski spineli su različito obojeni i providni minerali. Imaju malu specifičnu masu i veliku tvrdinu. U mikroskopskim preparatima su prozirni i uvijek izotropni.

1. Aluminjski spineli:

spinel, $MgAl_2O_4$
pleonast, $(Mg,Fe)(Al,Fe)_2O_4$
pikotit, $(Fe,Mg)(Al,Cr,Fe)_2O_4$
hercinit, $FeAl_2O_4$
ganit, $ZnAl_2O_4$
galaksit, $MnAl_2O_4$

2. Gvožđeviti spineli:

magnetit, $FeFe_2O_4$
jakopsit, $MnFe_2O_4$
magnezioferit, $MgFe_2O_4$
franklinit, $ZrFe_2O_4$
trevozit, $NiFe_2O_4$.

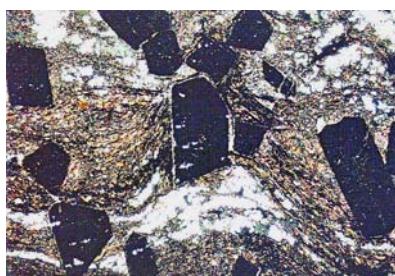
3. Hromni spineli

hromit, $FeCr_2O_4$
magneziohromit, $MgCr_2O_4$

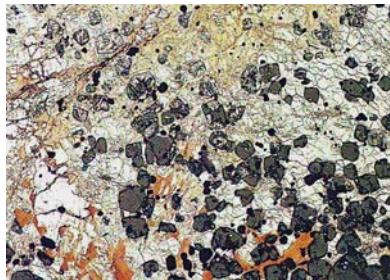
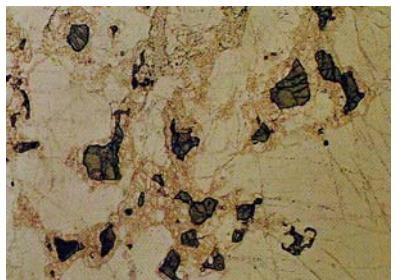
2.3. SPINEL, $MgAl_2O_4$



Sl.66. Spinel



Sl.67. Ganit



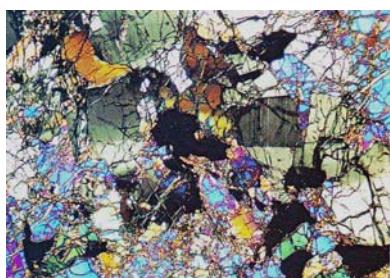
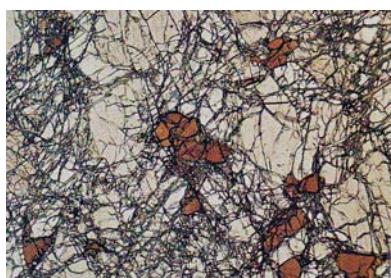
Sl.68. Hercinit



Sl.69. Galaksit



Sl.70. Pleonast



Sl.71. Pikotit

Hemijski sastav: Sadrži 28,2 % MgO i 71,8 % Al₂O₃. Može da sadrži primjese Fe₂O₃, FeO, koji uslovjavaju mrku do crnu boju, nekad ZnO i Cr₂O₃. Na visokim temperaturama čini čvrste otopine sa rutilom i titanitom, koji se mogu izlučiti padom temperature.

Kristalni sistem: Kubični

Način pojavljivanja: Javlja se u kristalima, uglavnom oktaedarskog habitusa, i sitnozrnastim agregatima (hercinit). Polisintetski sraslaci po (111)-Spinelski sraslački zakon.

Makroskopske osobine: Boja varira od crvene, zelene, plave, smeđe do crne. Ogreb je bijel. Sjajnost staklasta.

Mikroskopske karakteristike: U mikroskopskim preparatima dolaze idiomorfni u oktaedrijskim kristalima, često na uglovima zaobljeni, ili u potpuno nepravilnim izometričnim zrnima. Značajni su blizanci po polhi oktaedra (111), po spinelskom zakonu. Nepotpune oktaedrijske cjepljivosti. U mikroskopskim preparatima pokazuju trokutaste, kvadratične i nepravilne izometrične presjeke visokog reljefa. Cjepljivost se rijetko uočava. Indeksi loma variraju u zavisnosti od hemijskog sastava, n=1,72-2,05 . među ukrštenim nikolima su uvijek tamni.

Spinel je u mikroskopskim preparatima bezbojan do crvenkast. Karakterističan je mineral kontaktno-metamorfnih mermara.

Hercinit je zelen poput trave. Nastaje kao produkt izdvajanja titanskog magnetita. Vezan je za titanomagnetitska ležišta. Može se naći i u granulitima.

Pleonast je zeleno providan. S magnetitom je prvi kristalizacijski produkt bazičnih eruptivnih stijena, a sa granatom, korundom, kordijeritom i andaluzitom javlja se u kontaktno-metamorfnim stijenama pelitskog porijekla. Hercinit i pleonast se mogu razlikovati jedino hemijskim analizama.

Pikotit je u propuštenom svjetlu žutosmeđ do tamnosmeđ. Vezan je za olivinske eruptivne stijene, peridotite, dunite i serpentinite.

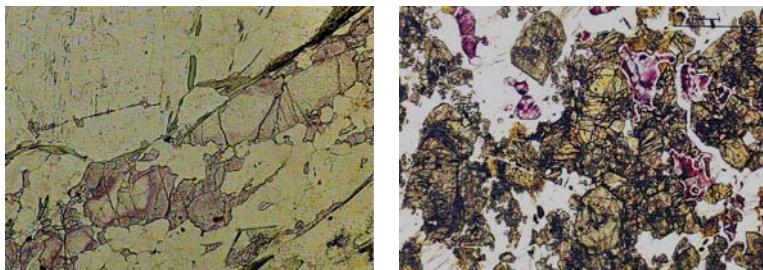
T: 7,5-8;

H: 3,58. Nema cjepljivosti. Lom školjkast.

Geneza i parageneze: Spinel je obično visokotemperaturni mineral bazičnih i metamorfnih stijena bogatih sa Al. Javlja se na kontaktu sa metamorfisanim krečnjacima, rijetko u rudnim žicama, pegmatitima, šljuncima i pijescima. Dolaze uz magnetit, granate, olivine, piroksene, vezuvijan, kordijerit, cirkon, andaluzit, turmalin, rutil i dr. minerale. Obično su vezani za stijene u kojima kvarc nije prisutan.

Upotreba: Spinel, naročito lijepo obojeni providni predstavnici, koriste se kao dragi kamen. Mogu se koristiti za proizvodnju abrazivnih materijala.

2.4. FLUORIT, CaF_2



Sl. 72. Fluorit, paralelni i ukrštni nikoli

Hemijski sastav: Sadrži 48,8 % F i 51,2 % Ca. Pored ova dva elementa sadrži Cl, Fe_2O_3 , U, Mg, Al, Na, H_2O , MgO i bituminozne tvari.

Kristalni sistem: Kubični

Način pojavljivanja: Kristali imaju oblik heksaedra ili oktaedra. Oblik heksaedra imaju fluoriti nastali na nižim temperaturama, a oblik oktaedra fluoriti nastali na višim temperaturama. Ovakvi minerali zovu se "geološki termometri" i često ukazuju na temperaturu stvaranja ležišta. Česti su prodorni sraslaci po pljosni (111). Masivan, zrnast, zemljast, igličast, štapićast i bubrežast.

Makroskopske osobine: Bezbojan i staklaste sjajnosti ako je čist. Međutim u prirodi se najčešće sreće kao zelen, plavičast, žut, u zavisnosti od primjesa i radioaktivnih procesa. Plava boja fluorita potiče od sadržaja stroncijuma, a zelena od samarijuma. Cjepljivost savršena po pljosni (111).

Mikroskopske karakteristike: U stijenama redovno zauzima šupljine ili prostor među drugim mineralnim sastojcima. Specifična oktaedrijska cjepljivost pod uglovim od 70° i 110° rezultira trokutaste figure. U preparatu je bezbojan, ali često pokazuje karakteristične ljubičaste zone ili nejadnoliko raspoređene ljubičaste mrlje. U fluoritu nekih ležišta javljaju se pleohroitski ovoji. Indeks loma $n=1,434$, manji je od kanada balzama, zbog čega pokazuje negativan reljef. Među ukrštenim nikolima uvijek je taman. Metamorfoze nisu poznate.

T: 4;

H: $3,18 \text{ g/cm}^3$, odnosno $3,3\text{-}3,6 \text{ g/cm}^3$, sa sadržajem itrijuma i cerijuma.

Identifikacija: Fluorit se razlikuje od ostalih izotropnih minerala po odličnoj oktaedrijskoj cjepljivosti, a nekad i po karakterističnoj ljubičastojo boji, koja je nejednoliko raspoređena po mineralu.

Geneza i parageneze: Nastaje u kiselim alkalnim eruptivnim stijenama i to u pneumatolitskoj fazi na visokoj temperaturi u asocijaciji s berilom, topazom, kasiteritom i dr. Najveća ležišta su hidrotermalnog porijekla. Može biti visoko i niskotemperaturni. U epitermalnim i mezotermalnim rudištima nalazi se u asocijaciji s kvarcom, kalcitom i sulfidima Pb i Zn. U krečnjacima nastaje putem metasomatoze. Javlja se i u nekim sedimentnim stijenama, kao cement nekih pješčara. Kao sekundarni mineral nalazi se u oksidacionoj zoni nekih ležišta.

2.5. LEUCIT, $KAlSi_2O_6$



Sl. 73. Leucit paralelni i ukršteni nikoli

Hemijski sastav: Sadrži 21,5 % K_2O ; 23,5 % Al_2O_3 i 55 % SiO_2 . Kao primjese sadrži Na_2O , CaO i H_2O .

Kristalni sistem: Teseralan, holoedrijski; na sobnoj temperaturi ima tetragonsku simetriju

Način pojavljivanja: Leucit je čest u kristalima i u sitnim nepravilnim izometričnim zrnima. Kristalne forme: kristali visokotemperaturnog leucita imaju formu (112), rjeđe (110) i (100). Niskotemperaturni leucit je pseudoteseralan, pri čemu je sačuvan oblik visokotemperaturne modifikacije. Takva zrna sastoje se od mimetskih sraslih sitno-tetragonalnih lamela.

Makroskopske osobine: Boje je bijel do sive. Sjajnost je staklasta. Cjepljivost nije izražena. Boja ogreba bijela.

T: 5,5-6;

H: 2,45-2,50.

Mikroskopske karakteristike: U mikroskopskim preparatima leucit se javlja u bezbojnim osmostranim ili okruglim presjecima. Značajni su pravilno raspoređeni uklopci stakla, praškastog magnetita ili zelenkastog piroksena. Razmještaj uklopaka najčešće je zonaran, paralelan s kristalnim plohama, rjeđe radijalan. Indeks loma, $n=1,51$, manji je od indeksa loma kanada balzama, zbog čega leucit pokazuje negativan reljef.

Leucit je dimorfna materija, što se očituje i u njegovim optičkim karakteristikama. Dok su mali kristali izotropni i u svim presjecima tamni, veliki kristali su anizotropni, pokazuju slab dvolom, oko 0,001. među ukrštenim nikolima ističu se polisintetičke sraslačke lamele položene u različitim pravcima, koje interferiraju u sivoj boji prvog reda. Te anizotropne lamele su tako poredane da čine individuum najviše (kubične) simetrije. Enantiotropni karakter leucita se očituje u njegovom svojstvu da zagrijavanjem iznad $600^{\circ}C$ prelazi u izotropni kristal, kubičnog sistema, dok hlađenjem ispod te temperature ponovo prelazi u anizotropne sraslačke lamele.

Metamorfoze: Leucit se metamorfozira u agregat ortoklasa i sericita, ili ortoklasa i albita, a da pri tom forma bivšeg leucita ostane sačuvana. Takve pseudomorfoze (pseudoleucit) vrlo su česte u paleozojskim stijenama. U tercijarnim i recentnim lavama leucit natrijskom metamorfozom prelazi u analcim.

Geneza i parageneze: Tipično magmatski mineral, vezan za bazične alkalne stijene mlađeg vulkanizma, dok se u starijim stijenama transformiše u pseudoleucit, to jest, pseudomorfozu nefelina, albita, ortoklasa i sericita. Nalazi se u asocijaciji sa nefelinom, alkalnim Fe-Mg sastojcima. Veoma je nepostojan i prelazi u analcim.

2.6. ANALCIM, $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Hemijski sastav: Sadrži 14,07 % Na_2O ; 23,29 % Al_2O_3 ; 54,47 % SiO_2 i 8,17 % H_2O . Sadrži kao primjese K_2O (do 5,5 %); CaO i MgO .

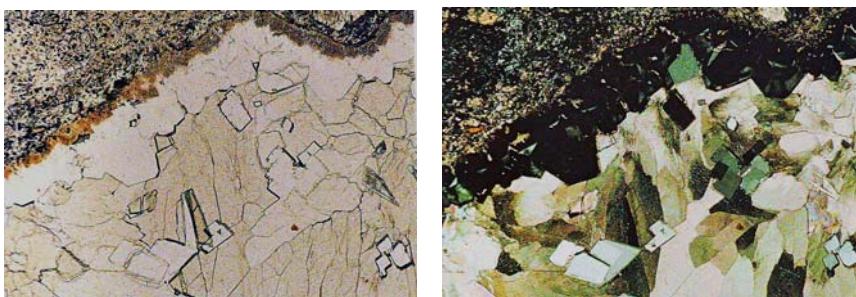
Kristalni sistem: Kubični, holoedrija.

Način pojavljivanja: Javlja se u kristalnim oblicima i zrnastim, jedrim i zemljastim masama. Kristalne forme: (112), ili u kombinaciji (100) i (211).

Makroskopske osobine: Bezbojan, bijel, rjeđe obojen u različitim tonovima svjetle boje. Boja ogreba bijela. Staklaste sjajnosti. Cjepljivost nije izražena.

T: 5;

H: 2,3.



Sl.74. Analcim, paralelni i ukršteni nikoli

Mikroskopske karakteristike: U izbrusku se javlja u bezbojnim osmostranim i okruglim presjecima. Indeks loma je znatno manji od indeksa loma kanada balzama ineznatno koleba, $n = 1,48$. radi toga se odlikuje glatkom površinom i negativnim reljefom.

Među ukrštenim nikolima je najčešće potpuno taman. Ponekad je optički anomalan i vrlo slabog dvoloma, pa interferira u jedva primjetnoj sivoj boji. Tom prilikom se može primjetiti zamršena lamelarna građa.

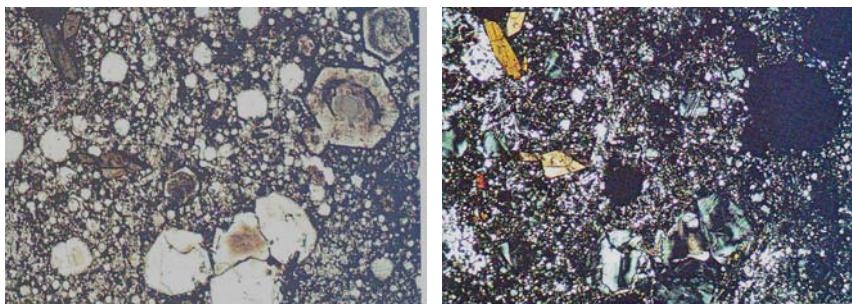
Mikroskopski i makroskopski se može zamijeniti sa leucitom. Za razliku od leucita, analcim nikad nema pravilno raspoređene uklopke i od njega je nižeg indeksa loma. Pouzdano razlikovanje se može izvršiti samo mikrohemijiskom reakcijom, kojom se dokazuje natrijum.

Geneza i parageneze: Može biti endogenog i egzogenog karaktera. Kao egzogeni mineral nastaje transformacijom uglavnog leucita, feldspata i drugih minerala. Kao endogeni, nastaje u zadnjoj fazi konsolidacije vulkanskih bazičnih stijena, zajedno sa ostalim zeolitima i kalcjem u šupljinama i mandulama. Vrlo je rijedak primaran sastojak eruptivnih stijena.

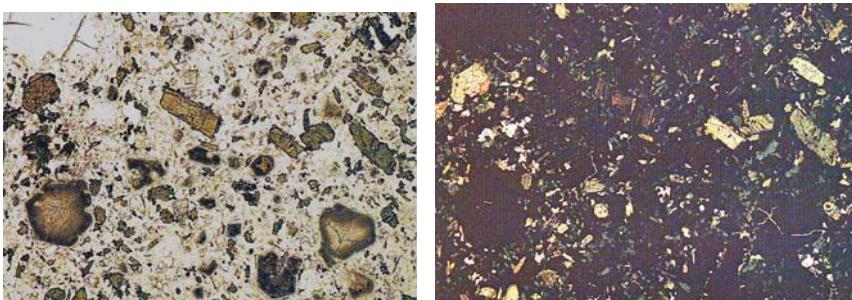
2.7. SODALIT, $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$

Hemijski sastav: Sadrži 25,5 % Na_2O ; 31,7 % Al_2O_3 ; 7,3 % Cl i 37,1 % SiO_2 . U malim količinama zastupljen je i K_2O . Prema hemijskom sastavu u grupi sodalita mogu se razlikovati dvije podgrupe: sodalita i helvina:

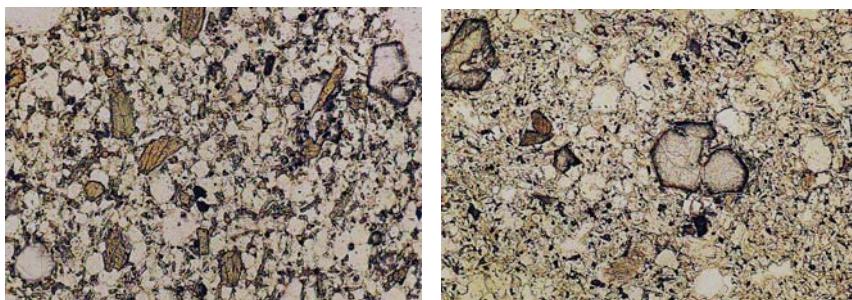
a)sodalit	$\text{Na}_8/\text{Cl}_2(\text{AlSiO}_4)_6/$
nozean	$\text{Na}_8/\text{SO}_4\text{I}(\text{AlSiO}_4)_6/$
hajin	$\text{Na,Ca}_{8-4}/(\text{SO}_4)_{2-1}\text{I}(\text{AlSiO}_4)_6/$
lazurit	$\text{Na}_8/\text{SI}(\text{AlSiO}_4)_6/$
b)helvin	$3(\text{Mn,Fe,Zn})\text{BSiO}_4 \cdot \text{MnS}$
danait	$3(\text{Fe,Zn,Mn})\text{BSiO}_4 \cdot \text{ZnS}$



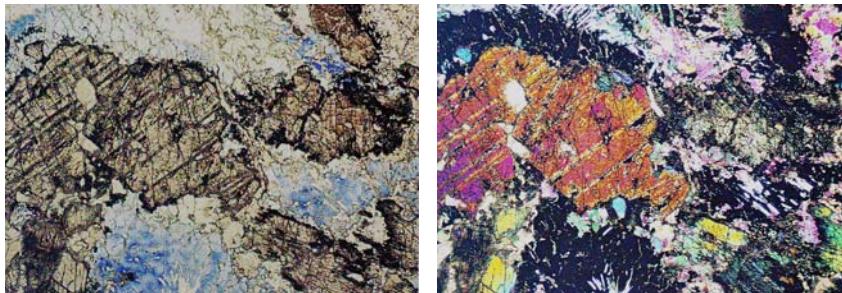
Sl. 75. Sodalit



Sl. 76. Nozean



Sl. 77. Hajin



Sl.78. Lazurit

Kristalni sistem: Kubični, holoedrija

Način pojavljivanja: Javlja se veoma rijetko u kristalima, većinom u vidu zrnastih masa. Kristalne forme (110).

Makroskopske osobine: Boje je zelenkaste, staklaste sjajnosti. Cjepljivost slabo izražena po pljosni (110).

T: 6;

H: 2,3.

Mikroskopske osobine: Presjeci idiomorfnih kristala sodalitne grupe su šestostrani (rompski dodekaedar) rombični ili kvadratični. Zbog magmatske resorpcije većinom su zaobljenih uglova i korodiranih kristalnih ploha. Karakteristični su pravilno poređani uklopci stakla, magnetita i ilmenita, obično paralelno položeni s kristalnim plohamama.

Indeksi loma su niži od indeksa loma kanada balzama i pokazuju negativan reljef. Najmanji indeks loma ima sodalit $n=1,487$, nešto veći nozean $n=1,480-1,495$, a hajin $n=1,496-1,510$.

Sodalit je u mikroskopskom preparatu bezbojan, rjeđe žućkast, plavkast, zelenkast ili ružičast. Kao i svi izotropni minerali ne pokazuje pleohroizam. Rijetko je optički anomalan, samo mjestimično oko uklopaka.

Hajin i nozean su u preparatu obično manje-više tamnoplavi, boja je nejednako raspoređena po mineralnom zrnu. Mogu biti još i smeđasti, crvenkasti, zelenkasti, a od brojnih uklopaka i crni.

Lazurit se lako prepoznaje makroskopski, jer je intenzivno tamnoplav, a tu boju pokazuje i u mikroskopu.

Za razlikovanje pojedinih članova sodalitske grupe danas se koriste mikrohemijiske reakcije.

Sodalit pokazuje pozitivnu reakciju na hlor. Sa razrijeđenom azotnom kiselinom dobije se želatinozni produkt, kome se dodaje olovni nitrat. Nakon toga nastaju kristali olovnig hlorida koji se ističu jakim dvolomom, pokazujući žive interferentne boje.

Hajin sa hlorovodoničnom kiselinom takođe prelazi u želatinoznu masu u kojoj se ističu iglice gipsa i kockice kalijum hlorida.

Nozean sa hlorovodoničnom kiselinom izdvaja samo kockice natrijum hlorida, a ako se uz hlorovodoničnu kiselinu doda i još kalcijum hlorid, nastaju i kristalići gipsa.

Lazurit se djelovanjem azotne kiseline pretvara u želatinoznu masu uz izdvajanje sumporvodonika, od kojeg čista srebrna pločica dobije smeđu prevlaku.

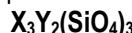
Metamorfoze: Minerali sodalitne grupe lako se metamorfišu u vlaknaste zeolite, naročito u natrolit, ili u agregat sericita, gipsita i dijaspora.

Identifikacija: Od ostalih izotropnih minerala razlikuju se po karakterističnim uklopcima, niskim indeksima loma, potpunoj izotropiji i tamnoplavoj boji koja je po mineralu nejednako raspoređena. Jedino sodalit može u mikroskopskom preparatu biti bezbojan. Lazurit je makroskopski i mikroskopski žive tamnoplave boje.

Geneza i parageneze: To je isključivo magmatski mineral čije je prisustvo vezano, kako većinom za efuzivne stijene, tako i za alkalne stijene, gdje je u asocijaciji sa nefelinom, kankrinitom, evdijalitom i drugim mineralima. Poznat je rjeđe i u intruzivnim stijenama (sijenitima).

2.8. GRUPA GRANATA: PIRASPITI i UGRANDITI

Granati su minerali dosta promjenjivog hemijskog sastava. Svi oni, međutim, pripadaju istom tipu jedinjenja i mogu se predstaviti slijedećom opštom formulom:



U kojoj smo sa X označili dvovalentne, a sa Y trovalentne metale.

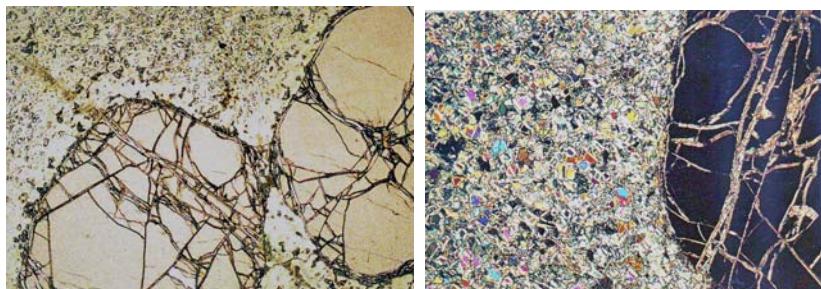
Kao dvovalentni metali (X) pojavljuju se: Mg, Fe, Mn i Ca. Pri tom se Mg i Fe, a isto tako i Fe i Mn neograničeno izomorfno miješaju, dok Mg i Mn samo ograničeno. Sem toga, Mg, Fe i Mn mogu samo do jedne petine da budu zamijenjeni sa Ca, kao što i Ca, kada je vodeći elemenat, može samo do jedne petine da bude zamijenjen sa Mg, Fe ili Mn.

Kao trovalentni metali (Y) pojavljuju se: Fe, Al, Cr, rjeđe Mn i Ti. Dio Si može da bude zamijenjen sa Ti, P (rijetko), a SiO_4 -tetraedar sa dva H_2O -molekula.

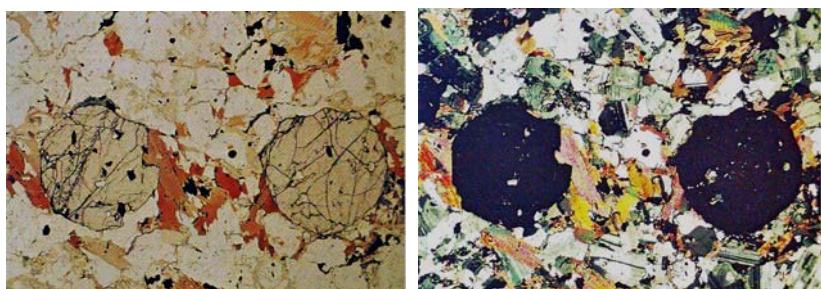
S obzirom na prethodno iznijete pojedinosti, među granatima razlikujemo osnovne tipove, koje možemo svrstati u dvije odvojene serije:

Serija	Naziv	Formula	Boja	n
Piralspiti	Pirospit	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	Crven	1,70
	Almandin	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	Crn	1,83
	Spersantin	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$	Ružičast	1,80
Ugranditi	Uvarovit	$Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$	Zelen	1,86
	Grosular	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	Bijel	1,74
	Andradit	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$	smeđ	1,90

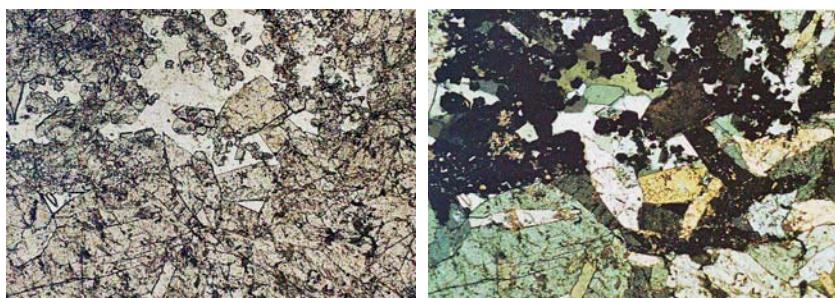
Svi piraspiti mogu da sadrže do 45 % feri-granatske komponente, tj. piropske, almandinske ili spesartinske komponente, u kojoj je Al zamijenjen feri-gvožđem.



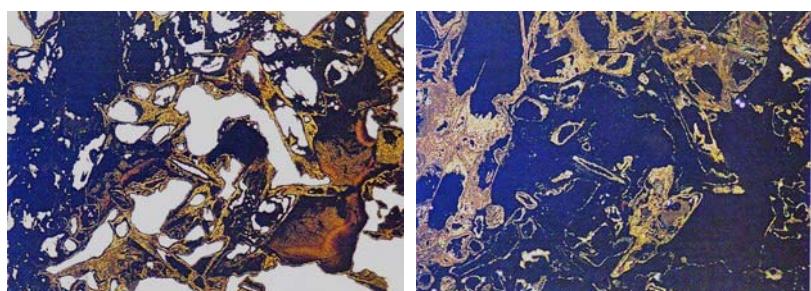
Sl. 79. *Pirop*



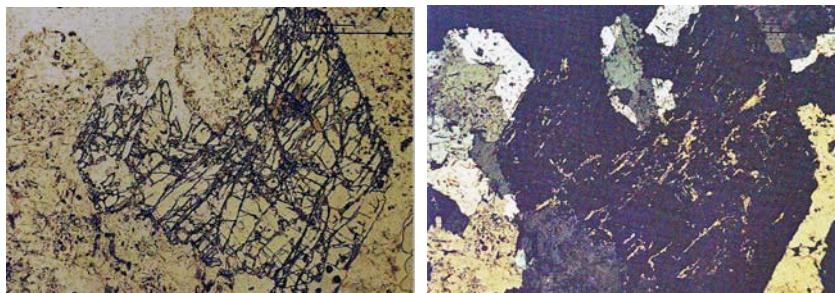
Sl. 80. *Almandin*



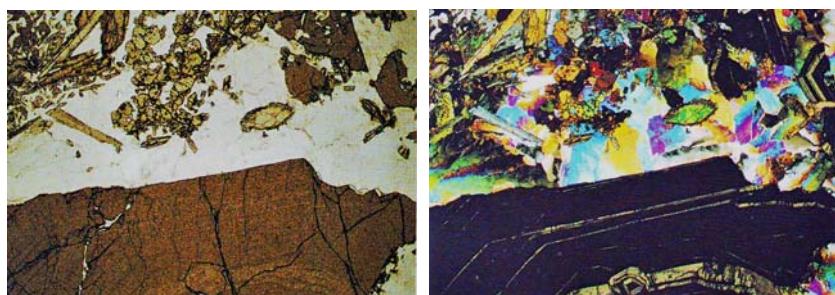
Sl. 81. *Spessartin*



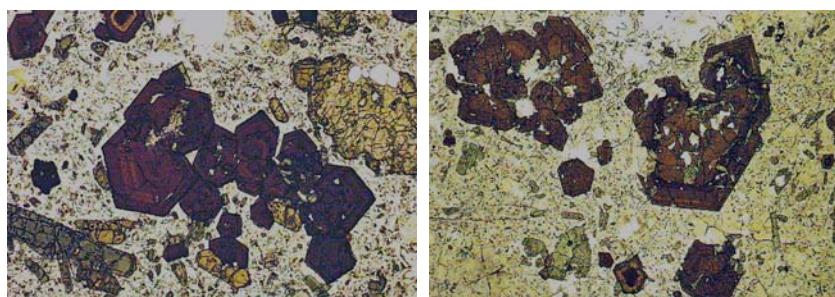
Sl. 82. *Uvarovit*



Sl. 83. Grosular



Sl.84. Andradit



Sl.85. Melanit

Andradit sa 5-15 % TiO_2 (Ti dijelom zamjenjuje Si, a dijelom Al) nazivamo melanitom, a grosular sa djelimično zamijenjenim SiO_4 -grupama vodom nazivamo hibšitom ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) ili hidrogrosularom.

Heminski sastav: Zbog izomorfne zamjene pojedinih elemenata u grupi granata, njihov je sastav često veoma složen. S tim u vezi, u prirodi je teško naći pojedine čiste vrste. Pored osnovnih elemenata prikazanih u formuli, u njihov sastav mogu ući i Y, rijetke zemlje, Sc, Zr, Na, Co, V i drugi. Pored povišenog sadržaja TiO_2 , mogu da sadrže i visok sadržaj ZrO_2 . Poznati su granati sa sadržajem V_2O_3 (do 3%); (Ta, Nb) $_2O_5$ do 0,25%; do 2 % SnO_2 ; do 1,3 % B_2O_3 ; sa Na_2O do 2,5 %; K_2O , suvišak SiO_2 i drugi elementi.

Kristalni sistem: Kubični, heksoktaedrijska klasa.

Način pojavljivanja: Opšta je karakteristika granata da se javljaju u idiomorfnim kristalnim oblicima, najčešće rombdodekaedra, rjeđe ikositetraedra, a najrjeđe u oblicima kocke i oktaedra. Rijede se javljaju u zrnastim ili masivnim agregatima karakterističnim za andradit i grosular. Kristalne forme su: (110) i (211) ili u kombinacijama ovih pljosni.

Makroskopske osobine: Boja je varijabilna u zavisnosti od sastava. Almandin je crven, crvenkastomrk; grosular bijel, žut, zelen ili mrk; andradit je žut, zelen ili mrk; a uvarovit karakteristično zelene boje. Boja ogreba je najčešće bijela, a sjajnost staklasta. Cjepljivost nije izražena.

Mikroskopske osobine: Idiomorfni granati pokazuju šestostrane i osmostrane presjeke. Najčešći su okruglasti presjeci alotriomorfnih granata. Cjepljivost nije razvijena. Karakteristične su nepravilne pukotine. U tankim presjecima granati su bezbojni, slabo ružičasti, zelenkasti ili smeđasti. Neki pokazuju zonarnu građu, različito obojenih ljudspica, čija je posljedica promjena hemijskog sastava pojedinih zona. Zbog visokog indeksa loma granati su izrazitog reljefa, kristalne plohe, rub i nepravilne pukotine jako se ističu, a istovremeno pokazuju šagreniranu površinu.

Među ukrštenim nikolina su tamni, ali su kod nekih granata prilično česte optičke anomalije izražene slabom, zonarno raspoređenom anizotropijom i interferencijom u sivoj boji prvog reda.

Metamorfoze: Granati su rezistentni minerali, pa i u relativno izmijenjenim i trošnim stijenama ostaju nepromijenjeni i sačuvani. Pri određenim uslovima retrogradnom metamorfozom prelaze u hlorit.

Karakterističan je kelefitski ovoj, kada je granat ovijen tanjim ili debljim vijencem produkata metamorfoze, među kojima se javljaju listićavi ili vlknasti agregati biotita, amfibola, piroksena ili feldspata.

Identifikacija: Granati se u stijenama makroskopski lako zapažaju kao sitna kuglasta zrna, obično crvenkaste boje. U mikroskopskim preparatima karakteristični su okrugli izotropni presjeci visokog reljefa i šagenirane površine. Ne pokazuju pukotine cjepljivosti. Naročito su česti u metamorfnim stijenama, u intruzivnim stijenama su su rjeđi, a u efuzivnim stijenama potpuno rijetki. Pojedini granati mikroskopski se mogu nekad razlikovati tačnim određivanjem indeksa loma.

T: 7-7,5.

H: Varira od 3,6-4,3.

Geneza i parageneze: U genetskom pogledu, piralspiti su uglavnom magmatskog porijekla, mada su granati, uopšte, metamorfni minerali. Almandin se javlja u kristalastim škriljcima, gnajsevima, zatim u granitima, riolitima i pegmatitima. Pirop se javlja u ultrabazičnim stijenama i serpentinitima, kao i u metamorfnim stijenama bogatim Mg. Spesartin se javlja u granit-pegmatitima, kao i u metamorfnim stijenama bogatim Mn. Grosular je tipično kontaktnometamorfni mineral, koji se stvara u procesu regionalnog metamorfizma. Andradit se stvara metasomatskom alteracijom krečnjaka, dejstvom rastvora koji sadrže gvožđe. Uvarovit je rijedak, javlja se u asocijaciji sa hromitom i serpentinima. I piralspiti i ugranditi spadaju u veoma otporne minerale, pa se javljaju kao sastojci pjeska i pješčara. Pirop je u nanosima dosta nepostojan i pretvara se u hidrohlorite.

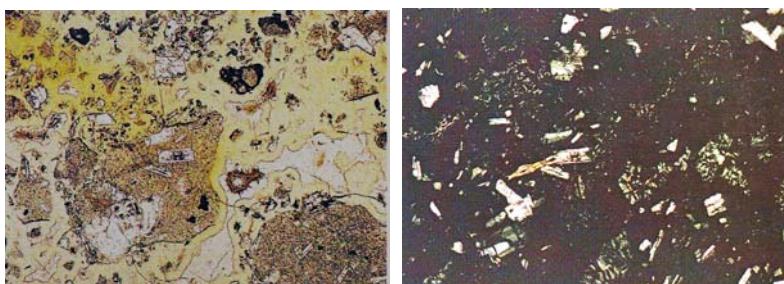
2.9. OPAL, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Porijeklo imena i sinonimi: Smatra se da naziv "opal" potiče od sanskritske riječi upala-dragocjeni kamen.

Hemski sastav: Sastav mu nije tačno određen, ali u hemijskom pogledu pripada adsorpcijskom spoju SiO_2 sa vodom od 0 % do 28 %. Osim toga sadrži MgO , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O .

Kristalni sistem: Amoran.

Način pojavljivanja: Pojavljuje se u bubrežastim, grozdastim i jedrim masama, zatim u vidu tankih skrama po stijenama i kao slojevi.



Sl. 86. Opal

Makroskopske osobine: Providan, proziran, do neprovidan. Bezbojan, bijel ili različito obojen: zelen, crven, žut, crn i mrk. Različite boje dolaze od različitih primjesa koje sadrži. Prema boji se razlikuje više varijeteta:

- obični opali, predstavljaju opale različito obojene;
- plemeniti opal, obojen obično bijelo, plavičasto-sivo ili zelenkasto.

Mikroskopske osobine: Javlja se u koloidnim formama, krt, Izotropan, nekada slabo anizotropan uslijed unutrašnjih naprezanja. Indeks prelamanja 1,44-1,46 (ponekad 1,40), manji od kanada balsama, radi čega pokazuje negativan reljef. Najčešće je bezbojan, žućkast ili crvenkast od hidroksida Fe. Sličan mu je analcim, sodalit, ali imaju veći indeks prelamanja svjetlosti.

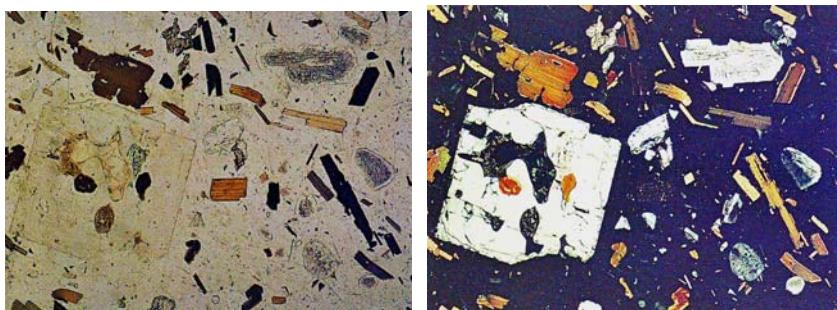
T: 5,5;

H: od 1,9 do 2,5 (zavisno od sadržaja vode i primjesa). Lom ljušturast. Sjajnost staklasta do smolasta.

Geneza i parageneze: Stvara se naglim izlučivanjem iz otopine, na niskim temperaturama. Najčešće nastaje u vezi sa razlaganjem bazičnih stijena, ultrabajita, serpentina i drugih. Prema načinu pojavljivanja razlikuje se nekoliko varijeteta opala, kao što su:

- gejzerit, opal nastao izlučivanjem iz topnih voda oko gejzira;
- drvenasti opal predstavlja varijitet koji nastaje skamenjivanjem drveta.

2.10.VULKANSKO STAKLO Si₂O



Sl.87. Vulkansko staklo

Heminski sastav: Silicijum-dioksid.

Kristalni sistem: Amorfno

Način pojavljivanja: Pojavljuje se u vidu kuglica, malih cjevastih tijela i u drugim oblicima.

Makroskopske osobine: Obično je tamnosmeđe ili tamnozelene do crne boje. Sjajnosti staklaste.

Mikroskopske osobine: U zavisnosti od mjestra i karaktera magme razlikuje se:

Vrsta	Gustina	Indeks prelamanja	Boja u preparatu
Liparitsko	2,37 (2,33-2,41)	1,492(1,48-1,51)	Bezbojan
Pehštajn	2,34 (2,32-2,37)	1,5 (1,492-1,506)	Blijedo-žuta
Dacitsko	2,50 (2,45-2,55)	1,51 (1,504-1,529)	Blijedo-mrka
Trahitsko	2,45 (2,43-2,47)	1,512 (1,488-1,527)	
Andezitsko	2,47 (2,40-2,57)	1,512 (1,489-1529)	
Leucit-tefritsko	2,55 (2,53-2,58)	1,55 (1,525-1,580)	
Bazaltsko	2,77 (2,70-2,85)	1,575 (1,506-1,612)	

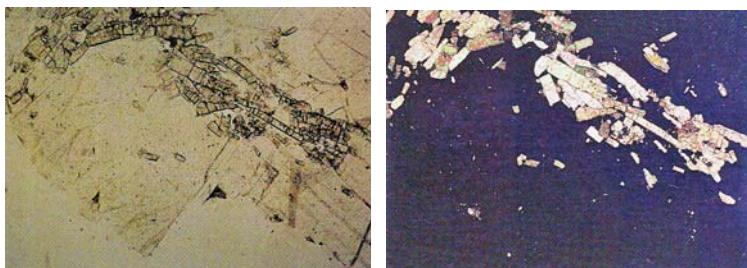
Generalno kiselija stakla su svjetlija, dok su bazičnija braon-mrka. U preparatu su izotropna, a nekada pokazuju dvojno prelamanje uslijed unutrašnjeg naprezanja.

T: 6,5 - 7;

H: 2,33-2,85.

Geneza i parageneze: Vrlo je rijedak u prirodi. Nastaje stapanjem i ponovnim očvršćavanjem kvarcnih masa pri veoma brzom hlađenju, npr. na mjestima gdje je munja udarila u kvarjni pjesak. Vulkansko staklo nije stabilno i vremenom podliježe procesu prekristalizacije, a ovu pojavu nazivamo devitrifikacijom vulkanskog stakla. Neka vulkanska stakla pokazuju fluidalnu strukturu, druga sadrže kristalite, mikrolite, a i manje i veće fenokristale. Stakla su sastavni dio osnove u naglo hlađenim efuzivima, najviše kiselog karaktera: riolita i trahita. Skoro nikad se ne javlja u dubinskim i metamorfnim stijenama

2.11.HALIT NaCl



Sl. 88. Halit

Hemijski sastav: Sadrži 39,4 % Na i 60,6 % Cl. U vidu izomorfnih primjesa može da sadrži Br (do 0,098 %), zatim He, NH₃, Mn, Cu, Ga, As, J, Ba, Tl, Pb. Primjese K, Ca, SO₃, dolaze od primjesa silvina i gipsa. Pored ovih može sadržati primjese organskih tvari.

Kristalni sistem: Kubični

Način pojavljivanja: Kristali su heksaedarski, rijetko oktaedarski ili s drugim formama (grube su). Kristali mogu biti skeletni ili stepeničasti. Kod umjetnih kristala opaženo je srastanje po (111). Masivan, rijetko sigast ili vlaknast. Može biti i praškast.

Makroskopske osobine: Različite boje. Bijela je zbog uklopaka zraka, matične tekućine, ili pukotina; žuta ili crvena zbog malih količina zamjena sa željezom ili uklopaka gline ili hematita; plava zbog defekata u kristalnoj strukturi izazvanih uglavnom radioaktivnim raspadom. Ogreb bijel. Cjepljivost po (100) savršena. Lom školjkast. UKus slan.

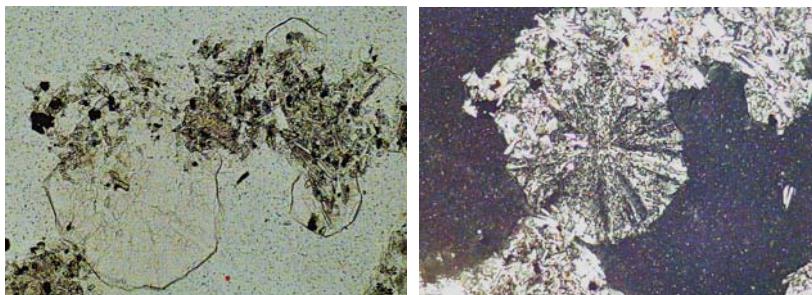
Tvrđina: 2;

Gustina: 2,16.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je prozračan kao voda i plavo-ljubičast; poprima žutu boju pod dejstvom α-zračenja. Cjepljivost savršena po pljosni (100), plastičan. Izotropan je. Indeks prelamanja n=1,544. Rastvoran u vodi, nerastvoran u alkoholu. Sličan mu je silvin, ali ima niži indeks prelamanja od kanada balsama.

Geneza i parageneze: Halit je tipičan hemijski sediment, nastao taloženjem iz slanih rastvora, jezera, mora, okeana, bilo isparavanjem, bilo sniženjem temperature. Naslage soli mogu dostići velike razmjere, do 1000 m debljine. U takvim ležištima halit je praćen i drugim mineralima, kao što su hloridi K, Mg, sulfati Na, K, Ca, Mg, samorodni S, kao čvrsti i tečni ugljovodonici. Kao pojava može se naći u asocijaciji sa drugim hloridima u stijenama, padinama vulkanskih kratera.

2.12. β -KRISTOBALIT SiO_2



Sl.89. Kristobalit

Hemijski sastav: Polimorfna modifikacija kvarca. Javljuju se u dvije polimorfne modifikacije: α -kristobalit, niskotemperaturna tetragonska (pseudokubična) modifikacija i β -kristobalit, kubični. Pri hlađenju na temperaturi između 180° i $270^{\circ}C$, visokotemperaturni kubični kristobalit pretvara se u niskotemperaturni tetragonski kristobalit.

Kristalni sistem: Tetragonski (α -kristobalit); kubični (β -kristobalit)

Struktura: Visokotemperaturni β -kristobalit ima u svojoj strukturi elementarnu čeliju teseralne simetrije koja je veoma slična strukturi dijamanta. Niskotemperaturni kristobalit ima tetagonalnu ili pseudokubičnu strukturu.

Način pojavljivanja: Javlja se u kristalima oblika (111). Blizanci su mu po pljosni (111).

Makroskopske osobine: Boje je bijele. Sjajnost staklasta. Tvrđina 7; gustina 2,27.

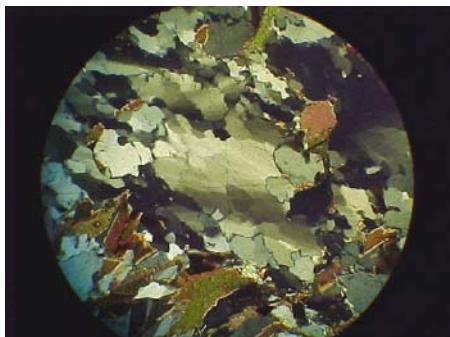
Mikroskopske osobine: Najčešće se javlja u formi oktaedra. Javljuju se tabličaste blizne forme, skeletni kristali. Ako je izotropan (metastabilan) indeks prelamanja svjetlosti mu je $n=1,486$, manji od kanada balsama, pa pokazuje negativan reljef. U preparatu je najčešće bezbojan (mutan). Rastvara se u Na_2CO_3 i obrazuje skeletne forme. Sličan mu je tridimit, ali nema skeletnih formi i stvara se na nižim temperaturama.

Anizotropni kristobalit (α -kristobalit) ima indekse loma: $N_O=1,487$, $N_E=1,484$, $N_O-N_E=0,003$. Optički je negativan. Zbog malog dvoloma inetrferira u sivoj boji prvog reda. Sličan je tridimitu. Karakteristične su mu svijene pukotine i nešto veći indeksi loma. Tridimit često pokazuje paralelno potamnjivanje i blizance u obliku klina.

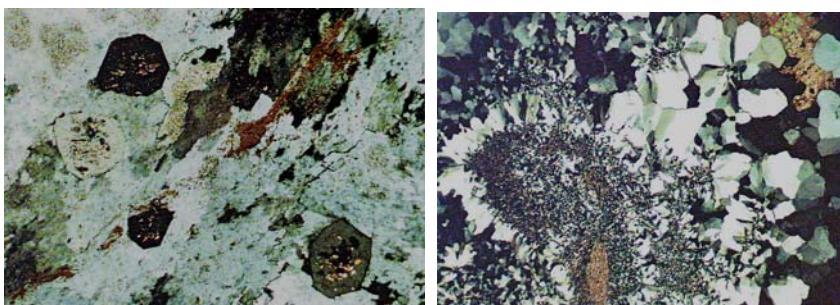
Geneza i parageneze: Nalazi se zajedno sa tridimitom u efuzivnim stijenama: andezitima, bazalitima, riolitima i trahitima.

3. OPTIČKI ANIZOTROPNI JEDNOOSNI MINERALI

3.1. KVARC SiO₂



Sl.90. Kvarc s undulatornim pomračenjem



Sl.91. Kvarc, paralelni i ukršteni nikoli

Hemijski sastav: Sadrži 46,99 % Si i 53,01 % O.

Kristalni sistem: Heksagonski

Način pojavljivanja: Vrlo čest u idiomorfnim formama koje su jako bogate kristalnim formama. Kristali su ili izduženo prizmatični ili, rjeđe, bipiramidalnog oblika (romboedri). Zrnasti i gusi agregati su takođe rašireni (kvarcne stijene). Kristalne forme su: (1010), (0111), (1121), (5161). Nedostatak centra simetrije uslovjava enantiomorfne forme, što se zaključuje prisustvom pljosni trapezoedra. Zavisno od ovih pljosni mogu se razlikovati tzv. desni i lijevi kvarc. Poznati su mu blizanci po pljosni (1120), poznati pod imenom brazilijanski blizanac, kao i po pljosni (1122), poznati pod imenom blizanci po japanskom zakonu bližnjenja.

Makroskopske osobine: Boje veoma različite. U pogledu ove osobine mogu se razlikovati čisti kvarc i onaj sa uklopljenim drugim supstancama. Kod prvog se razlikuju providni, djelimično providni i neprovidni kvarc.

Sjajnost je staklasta a na neravnim površinama masna. Cjepljivost nije izražena.

Mikroskopske osobine: u mikroskopskim preparatima javlja se u prozirnim, bezbojnim alotiomorfnim zrnima bez izražene cjepljivosti. U magmatskim stijenama zbog resorpcije su zaobljeni i udubljeni. Udubine su ispunjene sitnozrnastim agregatom osnove. U intruzivnim stijenama alotiomorfna zrna kvarca ispunjavaju prostore između ostalih minerala, što je znak da kvarc kristalisa posljednji. U sedimentima kvarc je najčešće zaobljen zbog abrazije tokom transporta. U metamorfnim stijenama kvarc se javlja sa različitim strukturama; granoblastična, koja se naziva i pflazer-struktura, obično je posljedica prekrstalizacije. U nakim metamorfnim stijenama zrna kvarca su nazubljena ili pokazuju tzv. "šivanu strukturu". Djelovanjem usmjerenih pritisaka kvarc poprima talasasto (undulatorno) potamnjene, a pri većem pritisku nastaje početak kataklaze u formi "mortar-strukture".

Veliko često sadrži tečne i gasovite inkluzije, koje se vide tek uz veće povećanje. Voda i mjehurići gasa djelimično ispunjavaju sitne šupljine i čine forme 'negativnih kristala'. Indeksi loma su mali i jedva prelaze indekse loma kanada balzama, zbog čega kvarc pokazuje nizak reljef: $N_E=1,553$, $N_O=1544$ $N_E-N_O=0,009$. Optički je pozitivan. Među ukrštenim nikolima interferira u sivoj boji prvog reda. Maksimalna intererentna boja kad je kvarc brušen paralelno kristalografskoj osi je žučkasta. Okretanjem mikroskopskog stola potamni četiri puta, ali se samo u izuzetnim slučajevima može konstatirati paralelno potamnjene kada su razvijene plohe prizme, odnosno simetrično potamnjene kada su razvijene plohe dipiramide.

U presjecima okomitim na optičku os među ukrštenim nikolima je taman, a u konvergentnom svjetlu pokazuje tamni krst. Zbog djelovanja pritiska može biti slabo optički anomalan kada se osni krst zaokretanjem mikroskopskog stolića neznatno razdvaja.

U stijenama se ne javlja u bliznim individuama. Karakteristična su pravilna prorastanja kvarca s ortoklasom, to je granofirska ili mikropegmatitska struktura. Crvoliko prorastanje kvarca u oligoklasu je mirmekitska struktura. To su najčešće strukture u eruptivnim stijenama, a poznate su i u gnajsu.

Kvarc je najrezistentniji mineral i nema metamorfnih promjena.

Od ostalih minerala u preparatu se razlikuje po tome što je bezbojan, ne pokazuje cjepljivost, sraslačke lamele ni produkte metamorfoze. Uvijek je bistar. Karakterističan je nizak reljef i sive interferentne boje.

T: 7

H: 2,65

Geneza i parageneze: Jedan je od najzastupljenijih minerala u prirodi. Postaje na veoma različite načine: pegmatitski, pneumatolitski, hidrotermalno, hidatogeno i magmatskim putem. Otuda je zastupljen u skoro svim tipovima kiselih magmatskih stijena. U metamorfnim stijenama je karakterističan ili kao rekristalizacioni kvarc, nastao metamorfozom ranije stvorenog kvarca, ili je nastao pri metamorfnim reakcijama. U sedimentnim stijenama može biti dvojakog porijekla: alotigeni ili autogeni, nastao u fazi dijogeneze.

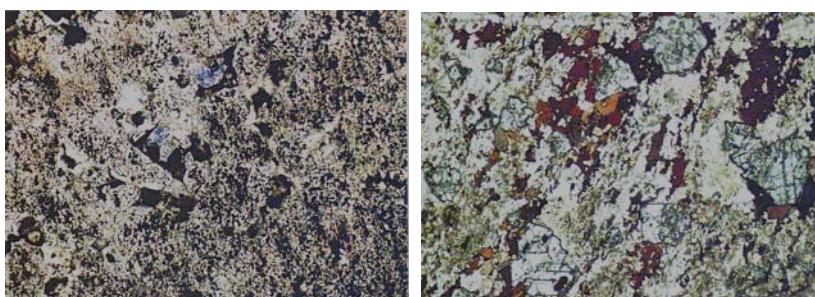
Kalcedon je vlaknasti agregat kvarca s promjenljivom količinom opala i drugih mineralnih primjesa. Čest je u radijalnotrakastim i sferulitskim agregatima. Boje je bijele, sive, a od različitih primjesa smeđe, crvene, zelene, crne.

U mikroskopskim preparatima je bezbojan do slabo smeđ. Indeksi loma i dvolom su vrlo niski, te je negetivnog reljefa. Inetrferira u sivoj boji prvog reda. Potamni obično paralelno izduženju vlakana. Sferulitski agregati pokazuju među ukrštenim nikolina crni krst, koji okretanjem mikroskopskog stolića miruje.

Optički karakter zone izduženja u nekim vlakana je pozitivan, a u nekim negativan. Uzrok toj pojavi je što su izduženja nekih vlakana paralelna s kristalografskom osi **c**, a druga su na tu os okomita.

Kalcedon je uvijek sekunadar. U eruptivnim stijenama ispunjava mandule i veće šupljine. Paragenetski je vezan za kvarc, opal i zeolite.

3.2. KORUND Al_2O_3



Sl. 92. Korund

Hemijski sastav: Sadrži 52,2 % Al i 47,8 % O. Kao primjese sadrži Cr, Fe i Ti. Ova dva posljednja elementa dolaze u vidu uklopljenih minerala hematita i rutila.

Kristalni sistem: Heksagonalni, romboedarska hemiedrija

Način pojavljivanja: Kristali su mu obično tabličasti po (0001) ili prizmatični po (11 $\bar{2}$ 0). Javlja se u krupnim (do 10 cm), slobodnim ili uraslim kristalima, kao i u jedrim, zrnastim agregatima.

Makroskopske osobine: Boja čistog korunda je bijela, a od primjesa Cr^{3+} postaje crvena, do crvenomrka od Fe_2O_3 i ljubičasta zbog vanadijuma. Zbog Fe^{2+} boja je žuta, a pri različitim odnosima Fe^{2+} i Fe^{3+} boja je plava i golubije plava. Sjajnosti je staklaste do dijamantske i masne na pljosni (0001). Ogreb bijel; prelom neravan do školjkast; tvrdine 9; gustine 4 g/cm³. Po boji razlikujemo: safir-plav; rubin-crven; orijentalni topaz- žut; orijentalni smaragd-zelen; orijentalni ametist-ljubičast.

Mikroskopske karakteristike: u mikroskopskim preparatima korund se javlja u izduženim kristalima, obično je idiomorfan s neravnim kristalnim plohamama. Često je izraženo romboedrijsko lučenje.

Bezbojan je, a ponekad nejednoliko obojen, uglavnom u tamnopalvoj boji. Tamnije obojeni kristali pokazuju pleohroizam s jačom apsorpcijom ordinarnе od ekstraordinarne zrake, **O>E**. Kad je korund dužinom prizme postavljen postavljen okomito na vibracioni smjer polarizatora pokazuje jaču apsorpciju. Pleohrouzam: O=indigoplav, tamnoljubičast, E=svijetloplav, zelenkast, žučkast.

Indeksi loma su vrlo visoki i zato je izrazito pozitivnog reljefa.

$$N_O=1,768, N_E=1,760 \quad N_O-N_E=0,008$$

Optički je negativan. Optički karakter zone prizmatskog izduženja je negativan. Ako se korund javlja pločast smjerom baznog pinakioda (vrlo rijetko), onda je optički karakter izduženja pozitivan.

Među ukrštenim nikolima zbog malog dvoloma interferira u sivoj boji prvog reda. Često se dešava da zbog svoje velike tvrdine korund deblji od ostalih minerala, zbog čega interferira u žutoj ili narandžastoj boji prvog reda.

Potamni paralelno s prizmatskim izduženjem, a simetrično po dijagonalni romboedrijskog lučanja. Presjeci okomiti na kristalografsku os c među ukrštenim nikolima su tamni.

U konvergentnom svjetlu presjek okomit na optičku os pokazuje crni krst s jednim ovojem. Neki korundi su slabo dvoosni (2V do 30°).

Rezistentan je mineral, ali ipak može metamorfozom preći u muskovit.

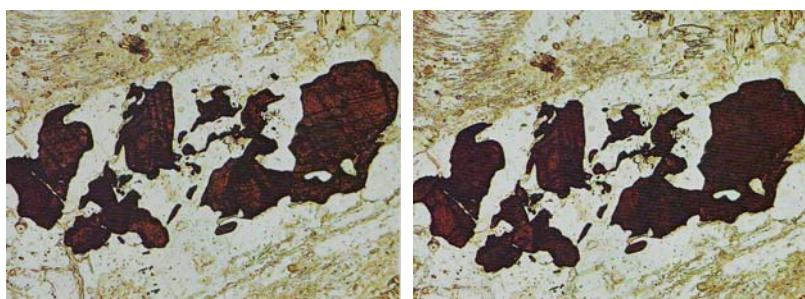
Istiće se formom, romboedrijskim lučenjem, izrazitim reljefom i niskim interferentnim bojama. Plava boja i pleohroizam kada se javlja također su karakteristični.

Geneza i parageneze: Pojavljuje se u kalcitnim i dolomitnim mermerima, gnajsevima, granitima, nefelinskim sijenitima, liskunskim i hloritskim škriljicima, i drugim stijenama siromašnim silicijem. Kao rezistat nađe se u nanosima. Javlja se uz anortit, oligoklas, hematit, magnetit, spinel, kordijerit, granete, hlorite, tirmalin, kianit, cirkon i druge minerale koji se cijenjeni kao draga kamenje.

3.3. RUTIL TiO_2

Hemijski sastav: Sadrži 60,06 % Ti i 39,94 % O. Prirodni rutil uvijek sadrži primjese Fe, Sn, Nb i Ta. Vrste rutila bogate sa Fe nazivaju se nigrin.

Kristalni sistem: Tetragonalan, holoedrijski.



Sl.93. Rutil paralelni i ukršteni nikoli

Način pojavljivanja: Kristali su mu stubičasti ili prizmatični. Pojavljuje se i u jedrim masama i kao iglice u kvarcu. Blizni se po pljosni (011), a ugao između osi srasstanja individua iznosi oko 114°. postoje i tzv. srcoliki blizanci smjerom (301), kod kojih se glavne kristalografske osi oba individua sijeku pod uglom od 540.

Makroskopske osobine: Boje je crvene, crvenosmeđe do crne, a boja ogreba bezbojna, mrkožuta. Netopiv je u kiselinama, pa se može lako izolovati iz stijene.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima rutil se javlja u izduženim prizmatskim presjecima, ponekad u koljenastim ili srcolikim blizancima, iglicama, a i u nepravilnim zaobljenim zrnima.

Prilikom metamorfoze biotita u hlorit izdvaja se titan u rešetkasti sraslački agregat tankih igličastih rutila, koji se međusobno sijeku pod uglom od 60° . Takav agregat rutila naziva se sagenit.

Prozmatska cjepljivost obično je dobro vidljiva. Tanki presjeci su crvenkastosmeđe ili žute boje. Neki rutili pokazuju jači, neki jedva primjetan pleohroizam. Apsorpcija $E>O$; pleohroizam: $O=$ žut do smeđast, $E=smeđ$ ili zelenožut.

Od minerala koji grade stijene rutil ima najveće indeksa loma i dvolom.

$$N_E = 2,903 \quad N_O = 2,616 \quad N_E - N_O = 0,287$$

Optički je pozitivan.

Zbog vrlo visokog indeksa loma pokazuje istaknut reljef sa šegreniranom površinom. Kristalne konture markirane su debelim crnim rubom, a ti rubovi se kod malih kristala gotovo spajaju.

S obzirom na veliki dvolom interferira u bijeloj boji višeg reda, uglavnom se ne vidi, jer je prekrivena vlastitom bojom. Potamni paralelni.

U presjeku okomitom na optičku os, među ukrštenim nikolima je taman, a u konvergentnom svjetlu pokazuje nejasan crni krst.

Kristalići rutila uklopljeni u biotitu, hornblendu i kordijeritu pokazuju pleohroitski ovoj.

Rutil je vrlo rezistentan mineral. Ponekad prelazi u ilmenit. Poznata je i alteracija rutila u titanit. Taj proces je reverzibilan.

T: 6 do 6,5.

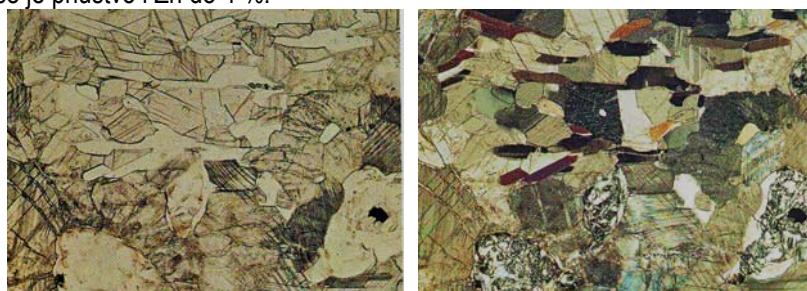
H: 4,25.

Geneza i parageneza: Rutil je najčešći u metamorfnim stijenama, amfibolitu, gnajsu, eklogitu, liskunskom škriljcu. Kao akcesorni mineral javlja se u kiselim intruzivima. Zbog velike rezistentnosti nalazimo ga i u klastičnim sedimentima. Količina rutila u svim stijenama redovno je mala.

Identifikacija: Za rutil su karakteristični akcesorni mali često idiomorfni kristali, crvenkastosmeđe do žute boje i debeli crni rub oko kristala.

3.4. BRUCIT $Mg(OH)_2$

Hemijski sastav: sadrži 69 % Mg i 31 % H_2O . Ukoliko sadrži Fe kao izomorfnu smjesu naziva se ferobrucit, a ukoliko su primjese od Mn, onda se naziva manganobrucit. Moguće je priustvo i Zn do 4 %.



Sl. 94. Brucit

Kristalni sistem: Heksagonski, romboedrijska hemiedrija.

Način pojavljivanja: Javlja se u kristalnim formama koje podsjećaju na gips. Paralelni vlaknasti agregati u kojima se ponекad pojavljuje brucit, nazivaju se nemalit.

Makroskopske osobine: Boje je bijele, nekad zelankaste, a ogreba bijelog. Sjajnost na prelomu je staklasta, a na pravcima cjepljivosti sedefasta. Cjepljivost sedefasta po pljosni (0001).

Mikroskopske osobine: U propuštenoj svjetlosti javljaju se lističavi i vlaknasti bezbojni agregati. Cjepljivost nije uvijek jasna. Indeksi loma nešto su veći od indeksa loma kanada balzama, zbog čega brucit pokazuje slab reljef. Dvolom je relativno visok, a interferentna boja je anomalna, crvenkastosmeđa.

$$N_E=1,585 \quad N_O=1,566 \quad N_E-N_O=0,019$$

Optički je pozitivan, međutim kako je cjepljivost razvijena okomito na glavnu kristalografsku os, to je optički karakter zone izduženja negativan. Potamni paralelno.

Metamorfozom prelazi u hidromagnezit, $Mg_4(OH)_2(CO_3)_3 \cdot 3H_2O$, rjeđe u serpentin.

T: 2,5

H: 2,39

Geneza i parogeneze: Javlja se u kontaktnometamorfnim mermerima, u kojima je postao retrogradnom metamorfozom periklasa. Čest je u pukotinama i šupljinama serpentinita.

Identifikacija: Karakteristični su lističavi agregati s dobrom pinakoidskom cjepljivošću, zelenkaste boje. U mikroskopskim preparatima je bezbojan, indeksi loma nešto veći od indeksa loma kanada balzama. Karakteristična je anomalna crvenkastosmeđa inetrferentna boja.

3.5. KALCIT $CaCO_3$

Hemski sastav: Sadrži 56 % CaO i 44 % CO₂. U manjim količinama može sadržavati Mg, Fe, Mn (do 8%-kalcitorodohroxit), zatim Zn, Sr, Ba, Pb, Y i druge elemente.



Sl. 95. Kalcit sa karakterističnom romboedrijskom cjepljivošću



Sl. 96. Oolitski kalcit



Sl. 97. Kalcit sa numulitima



Sl. 98. Kalcit, paralelni i ukršteni nikoli



Kristalni sistem: Heksagoni, romboedarski

Način pojavljivanja: U prirodi se sreće veliki broj kristalnih formi (oko 300). Kristali su najčešće oblika prizme, romboedra ili skalenoedra. U nekim slučajevima obrazuju se skeletni kristali, javlja se i u obliku stalaktita, zatim kao sitnozrni i kompaktni kalcit. Ustanovljen je i veliki broj pseudomorfoza po aragonitu, gipsu, fluoritu, ceruzitu, anhidritu idr. Česti su i polisimetetički blizanci po (0112).

Makroskopske osobine: Boje različite. Krupni kristali "islandskog kalcita" su bezbojni, providni, sa dvojnim prelamanjem svjetlosti. Sitnozrne mase su obično bijele. Od različitih primjesa kalcit je žućkast, ružičast, svijetlozelen itd. Sjajnosti staklaste do masne na neravnim prelomnim površinama. Boja ogreba bijela do siva. Cjepljivosti po pljosni (1011) savršena. Prelom neravan.

Mikroskopske karakteristike: U mikroskopskim preparatima kalcit je obično bezbojan. Jasno su uvijek izražene pukotine cjepljivstvi obično u dva sistema kada formiraju figuru romba. U određenim presjecima njima se pridružuje i treći sistem romboedrijske cjepljivosti. U finozrnastom agregatu kalcita ne vide se pukotine cjepljivosti.

U mnogim sedimentima čini strukture različitih organizama (alveoline, numuliti). Pojavljuje se u oolitima i sferulitima.

$$N_o = 1,658 \quad N_E = 1,486 \quad N_o - N_E = 1,172$$

Optički je negativan. S obzirom na veliku razliku u indeksima loma ordinarnе i ekstraordinarnе zrake u mikroskopskom preparatu bez analizatora nastaje pojava

pseudoapsorpcije. Kada se vibraciona ravnina ordinarne zrake u kalcitu podudara s vibracionom ravninom polarizatora pokazuje visok pozitivan reljef, s jako izraženim pukotinama cjepljivosti i šagreniranom površinom. Zaokretanjem mikroskopskog stolića za 90°, vibracioni smjer ekstraordinarne zrake dolazi u paralelan položaj s polarizatorom. Kalcit će tada pokazivati negativan reljef, pukotine cjepljivosti se u većini slučajeva neće vidjeti.

Pozitivan reljef kalcita nastaje kada dužu dijagonalu romba što ga čine pukotine cjepljivosti postavimo u paralelan položaj s vibracionom ravninom polarizatora. Negativan reljef nastaje kada u tom položaju bude kraća dijagonala.

Pseudoapsorpcija je u različitim presjecima različitog intenziteta. Najjača je u presjeku koji je paralelan s kristalografskom osi **c**. U drugim je presjecima manja, a u presjeku okomitom na na tu os kalcit je jednakog reljefa u svim položajima prilikom zakretanja mikroskopskog stolića.

Među ukrštenim nikolima kalcit zbog vrlo visokog dvoloma interferira u bijeloj boji višeg reda. Zbog romboedrijske cjepljivosti kalcit pokazuje "simetrično potamnjenje" u položaju kada jedna od niti krsta u okularu polovi suprotne uglove romboedrijske cjepljivosti. Simetrale suprotnih uglova te cjepljivosti su vibracioni smjerovi ordinarne i ekstraordinarne zrake.

Među ukrštenim nikolima zapažaju se često polisintetičke blizne lamele po polhi (0112). One obično teku paralelno s dužom dijagonalom romba. Te lamele su posljedica pritiska, a mogu nastati i u vrijeme brušenja. Često su toliko tanke da interferiraju u bojama prvog reda. U presjeku okomitim na optičku os kalcit je taman. U konvergentnom svjetlu pokazuje oštar tamni krst s brojnim uskim ovojnicama.

Kalcit je relativno lako topiv u vodi koja sadrži ugljen dioksid, ali nikad ne pokazuje metamorfoze u drugi mineral.

T: 3;

H: 2,71.

Geneza i parageneze: Dolazi u svim geološkim sredinama. Tako je stvaranje kalcita vezano za magmatske uslove, odnosno diferencijaciju bazične magme, kad se stvaraju karbonatna tijela. Hidrotermalni kalcit karakterističan je za polimetalične sulfidne rudnike, sa niskom i srednjetermernim mineralima gdje se javljaju krupni kristali kalcita. U velikim količinama kalcit se stvara biogenim i hemijskim putem, kada nastaju veliki masivni krečnjaci. U pećinama se stvaraju razni pećinski ukrasi od kalcita, a oko vodopada se stvaraju šupljikave mase-bigari.

Identifikacija: U mikroskopskom preparatu je bezbojan, sa karakterističnom romboedrijskom cjepljivošću, jakom pseudoapsorpcijom i bijelom interferentnom bojom višeg reda, polisintetičkim bliznim lamelama i negativnim optičkim karakterom.

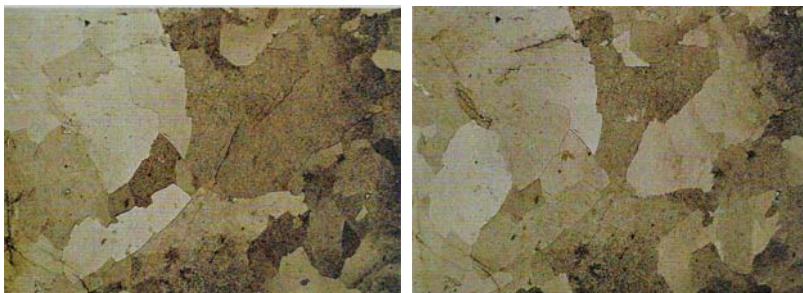
Po optičkim karakteristikama sličan je drugim karbonatima. Najjednostavnije je razlikovanje pojedinih karbonatnih minerala u mikrokopu metodom bojenja.

3.6. DOLOMIT $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Hemijski sastav: Sadrži 30,4 % CaO, 21,7 % MgO i 47,9 % CO₂. Poznate su zamjene Mg za Fe, Mn i rijetko za Zn, Pb i Co, a pronađeni su i varijeteti sa povišenim sadržajem B.

Kristalni sistem: Heksagonski, romboedrijska tetratoedrija

Način pojavljivanja: Kristali u obliku osnovnih romboedara. Kristali su često sedlasto iskrivljeni. Lamelarni blizanci po (0221), dijelom nastali uslijed pritiska, dosta se često zapažaju. Karakteristično je da se dolomit inače često pojavljuje u idiomorfnim zrnima. Pretežno se, međutim, koncentriše u zrnastim agregatima sa zrnima različite krupnoće.



Sl.99. Dolomit

Makroskopske osobine: Cjeoljivosti savršene po osnovnom romboedru ($10\bar{1}1$), pri čemu tragovi cjepljivosti međusobno zaklapaju ugao od $73^{\circ}35'$. Preloma školjkastog. Sjajnosti staklaste. Providan do mutan. Boje bijele, žute, mrke. Može biti bezbojan. Obasjan ultraljubučastom svjetlošću luminescira.

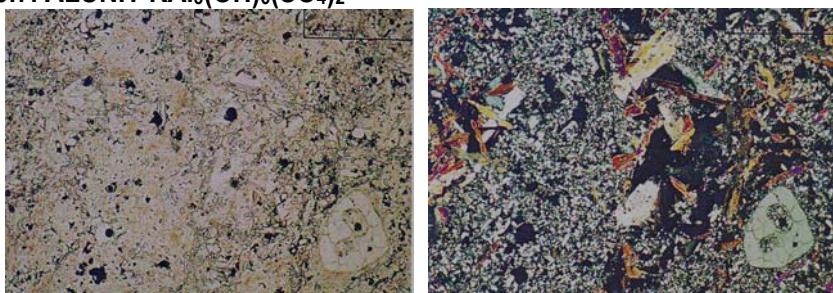
Mikroskopske osobine: Kristalografski i optički vrlo je sličan kalcitu. Za razliku od kalcita, dolomit nije topiv u hladnoj i razrijeđenoj hlorovodoničnoj kiselini. Često se pojavljuje u romboedrima. Polisintetičke blizne lamele ($02\bar{2}1$) paralelne su kraćoj dijagonali romba.

T: 3,5-4;

H: 2,85-2,95.

Geneza i parageneze: Stvara se pod dejstvom toplih rastvora koji su bogati solima Mg na krečnjake. Ovako metasomatski stvaran je i najviše rasprostranjen. Kao hidrotermalni produkt susreće se mnogo rijede od kalcita i onda je obično u asocijaciji sa magnezitom, kalcitom, kvarcom i nekim sulfidnim mineralima. Nastaje i trošenjem silikatnih minerala koji sadrže Mg i Ca, ako i sedimentnim putem.

3.7. ALUNIT $KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$



Sl. 100. Alunit

Hemijski sastav: Sadrži 11,4 % K₂O, 37,0 % Al₂O₃, 38,6 % H₂O. Dio kalija može biti zamijenjen sa Na, kada se zove natroalunit.

Kristalni sistem: Romboedarski, ditrigonalno-piramidalna klasa.

Makroskopske osobine: Javlja se u obično u romboedrima vrlo sličnim heksaedru. Može se naći u zrnastim agregatima i u zemljastim masama. Cjepljivost savršena po (0001). Sjajnosti staklaste, na bazi sedefaste. Bezbojan, bijel, blijedoružičast, žućkast.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Indeksi loma su nešto viši od indeksa loma kanada balzama.

$$N_O=1,572 \quad N_E=1,592 \quad N_E-N_O=0,020$$

Reljef je nizak, dvolom je umjeren. Interferira u završnim bojama prvog reda do plave boje drugog reda. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja i paralelno s pukotinama cjepljivosti je negativan. Potamni paralelno.

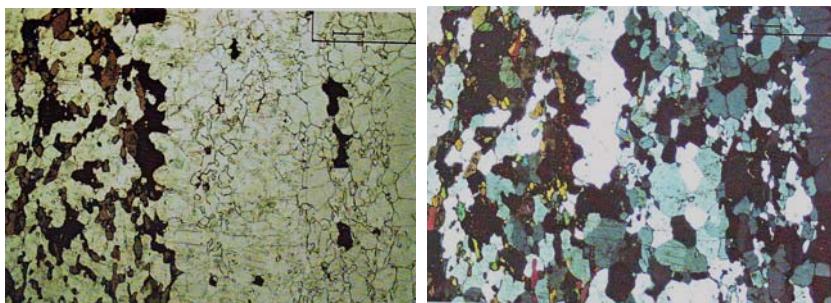
T: 3,5-4

H: 2,7

Geneza i parageneze: Nastaje djelovanjem sulfatnih rastvora na stijene bogate alkalnim feldspatima. Sulfatni rastvori mogu biti kako niskotemperaturno hidrotermalni, tako i ponirući, obogaćeni sumpornom kiselinom uslijed oksidacije pirita.

3.8. APATIT Ca₃(F,Cl)(PO₄)₃

Hemijski sastav: Veoma je nepostojan. Pored elemenata u formuli, ustanovljeni su: Na, Sr, Fe, Y, U, SiO₂, SO₃ koji dijelom zamjenjuju Ca u apatitu. Razlikuju se: fluorapatit, Ca₅(PO₄)₃IF; hloroapatit, Ca₅(PO₄)₃ICl; podolit, 3Ca(CO₄)₂·CaCO₃. Poznate su još vrste sa Mn (manganapatit), sa Sr (stroncijapatit), vrste kod kojih je Cl zamijenjen sa sumpornom kiselinom (sulfatni apatit).



Sl. 101. Apatit

Kristalni sistem: Heksagonalski, hemiedrijski

Način pojavljivanja: Obično se sreće u vidu izduženih, prizmatičnih kristala, nekad kratkoprizmatičnih ili tabličastih. Može biti masivan, zrnast, kompaktan, sigast ili kao vlaknaste korice. Ima ga u oolitima. U glinama i šejlovima gradi konkrecije i nodule. Rijetko, ali se po (1121) nađu dodirni sraslaci.

Makroskopske osobine: Boja varira od bijele, zatim žućkaste, žutozelene, zelenožute do sive, golubije, sivozelene, ljubičaste, pepeljaste (od Fe²⁺). Zbog hematita

je tamnocrvena, a zbog organskih materija boja je crna. Zbog glinovitih materija i hidroksida gvožđa, boja je sivomrka. Ogreb bijel. Sjajnost kod kristala staklasta do masna, a kod kompaktnih, sitnozrnih i kriptokristalastih masa bez sjaja. Krt. Cjepljivost slabo izražena po (0001). Prelom neravan do školjkast.

Mikroskopske karakteristike: U mikroskopskim preparatima paralelnim s kristalografskom osi c apatit se javlja u manje-više izduženim kristalima s dobro razvijenim prizmatskim plohamama. Kod većih kristala česte su poprečne nepravilne pukotine nepravilne cjepljivosti. U preparatima je najčešće bezbojan, ali je nekad nejednoliko smeđe ili plavo obojen. Tada pokazuje polihroizam, apsorpcija je jača paralelno glavnoj zoni E>O.

Indeksi loma relativno su visoki i variraju prema hemzmu i vrsti apatita:

Fluorni apatit: $N_O=1,634$ $N_E=1,629$ $N_O-N_E=0,005$

Hlorni apatit: $N_O=1,667$ $N_E=1,664$ $N_O-N_E=0,003$

Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je negativan. Zbog relativno visokog indeksa loma kristalne plohe pokazuju u preparatu jasne konture i pozitivan reljef.

Dvolom je relativno malen i apatit pokazuje vrlo česte šestostrane konture heksagonske prizme. U tom presjeku među ukrštenim nikolina je taman, jer okomito na taj presjek izlazi optička os.

U konvergentnom svjetlu vidi se nejasan crni krst bez ovojnica.

Rezistentan je mineral i ostaje u stjeni svjež uprkos metamorfozi ostalih minerala.

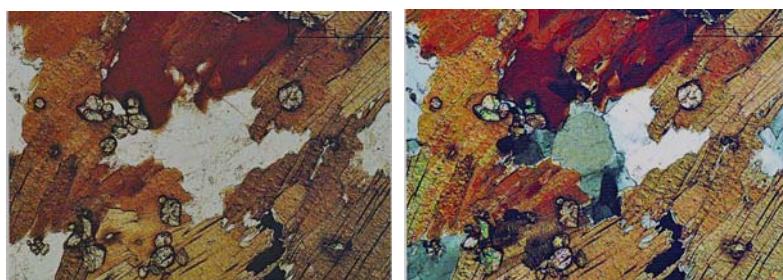
T: 5;

H: U zavisnosti od sastava 3,2-3,4 g/cm³.

Geneza i parageneze: Javlja se u regionalno metamorfnim stijenama. U mnogim stijenama dolazi kao akcesorni mineral. Apatita ima u pegmatitskim žilama, kao primarnog fosfata i tu u njegovu kristalnu rešetku ulazi čitav niz rijetkih elemenata. Najviše ga ima u sedimentima-fosforitima. Dolaze uz: titanit, cirkon, spinel, vezuvijan, talk, liskune i hlorite.

Identifikacija: Za apatit je karakterističan izduženi heksagonski prizmatski habitus, poprečno lučenje, umjereni pozitivni reljef i sive interferentne boje. Slični su mu jedino vrlo rijetki minerali eudijalit, melilit i gelenit.

3.9. CIRKON ZrSiO₄



Sl.102. Cirkon

Hemijski sastav: Sadrži 61,7 % ZrO i 32,9 % SiO₂. Od primjesa sadrži Hf, rijetke zemlje, Y, Th, Ca, Al, Fe, P i H₂O. Zavisno od karaktera primjesa izdvajaju se:

- *cirkon* sa primjesama Hf, Fe, Ca, U i obično ne sadrži vodu;
- *alvit* sa primjesama Hf (do 16 %), Al₂O₃, oksida rijetkih zemalja, CaO i H₂O;
- *malakon* koji predstavlja posebnu vrstu cirkona sa povećanom količinom Hf, Fe, H₂O, pored Ca, Y, Ce, U i Th. Ukoliko se javlja u prizmatičnim formama naziva se citrolit.

Kristalni sistem: Tetragonski, holoedrija

Način pojavljivanja: Javlja se u karakterističnim prizmatično-bipiramidalnim formama. Utvrđena je i veza između morfološkog oblika i načina postanka. Izduženoprizmatični i prizmatični cirkon utvrđen je u nekim granitim i pegmatitima; bipiramidalni u alkalnim stijenama i pegmatitima i albititima. Među morfološkim tipovima razlikuju se izometrični, kopljasti, prizmatični, bipiramidalni i drugi tipovi. Razlika među ovim tipovima je u tome da su razvijene različite vrste pljosni, kao i da su vezani za različite načine i sredine stvaranja. Kristalne forme su: (110), (100), (112), (101), (221) i (331). Pojava blizanaca je relativno rijetka, pa kad se blizni, stvara tzv. koljenaste blizance, koji se blizne po pljosni (111).

Makroskopske osobine: Boje je veoma različite. Ružičaste, ljubičasto-ružičaste, žute, narandžaste, mliječnobijele. Različite boje su uslovljene prisustvom radioaktivnih elemenata, prisustvom drugih minerala u njima, kao i zbog hidroksida gvožda koji može biti uklopljen u pukotinama kristala. Boja ogreba bijela; sjajnosti staklaste, nekad masne. Cjepljivost srednje izražena po pljosni (110).

Mikroskopske osobine: U preparatu pokazuje sitne idiomorfne kratkoprizmatske presjeke. Bezbojan, rjeđe bijledosiv ili bijledozen. Polihroizam je vidljiv samo u deblijim preparatima.

Indeksi loma i dvolum su visoki i variraju prema promjeni hemizma.

$$N_E=1,96-2,02 \quad N_O=1,92-1,96 \quad N_E-N_O=0,04-0,06$$

Optički je pozitivan. Optički karakter izduženja je pozitivan. Zbog visokog indeksa loma cirkon pokazuje istaknuti reljef, šagriniranu površinu i crni rub oko kristala.

Među ukrštenim nikolima interferira uživim plavim, zelenim i crvenim bojama. Potamni paralelno.

U presjeku okomitim na optičku osje taman, a u konvergentnom svjetlu pokazuje jasan crni krst okružen ovojnicama. Uklopljen u biotit gotovo redovno pokazuje pleohroitski ovoj.

Djelovanjem radioaktivnih čestica podvrgnut je procesima *izotropizacije*, kojim anizotropni cirkon prelazi u amorfno stanje *metamikt*. Kao produkt nastaje amorfna silicijeva kiselina i amorfni ZrO₂, tzv. *malakon*. U ovom procesu se snižava indeks loma i dvolum cirkona.

T: 7,5.

H: 4,6 do 4,7 u metamiktnom stanju.

Geneza i parageneze: Jedan je od veoma rasprostranjenih minerala. Kao akcesoran mineral nalazi se u skoro svim tipovima alkalnih i kalkoalkalnih dubinskih i vulkanskih tipova magmatskih stijena, a kako je rasprostranjen u pegmatitima različitog sastava. Pri površinskom raspadanju veoma je stabilan pa se zato nalazi u mnogim

pijeskovima, glinovitim i karbonatnim sedimentima. Kod mnogih petrogenih minerala, a najčešće kod liskuna, nalazi se uklopljen i svojim radioaktivnim zračenjem utiče na razaranje kristalne rešetke tih minerala.

Identifikacija: Cirkon se javlja u malim količinama. Karakteristični su sitni idiomorfni tetragonski kristali prizmatskog habitusa. Najčešće je bezbojan, izrazitog reljefa i živih interferentnih boja. Često je ovijen pleohroitskim ovojem.

3.10. VEZUVIJAN (IDOKRAZ) $\text{Ca}_{10}\text{Al}_4(\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{OH})_4\text{Si}_9\text{O}_{34}$

Hemski sastav: Nepostojan i dosta složen. Sadrži oko 33-37 % CaO; 13-16 % Al_2O_3 ; 35-39 % SiO_2 i 2-3 % H_2O . I pored ovako složenog sastava sadrži primjese: Na, K, Mn, Cr, Ti, Li, Zn, nekad Be i B. Vezuvijani sa sadržajem B_2O_3 do 3 % nazivaju se *viluit*. Sadržaj BeO u nekim vezuvijanima može biti do 9,2 % (berilski vezuvijan), a sadržaj OH može biti zamijenjen do 2 % sa F. Najpostojanija i skoro uvijek prisutna komponenta je B_2O_3 .

Kristalni sistem: Tetragonski, holoedrija



Sl. 103. Vezuvijan

Način pojavljivanja: Javlja se u kristalima kratkoprizmatskog i bipiramidalnog habitusa. Najčešće preovlađuju plohe prizme (110) i bipiramide (111), a nekad i u kombinaciji sa plohom (100). Plohe kristala su često neravne i isprutane. Katkad se javlja u zrnastim i jedrim agregatima.

Makroskopske osobine: Boje je zelenožute, maslinaste, žutozelene, mednožute, žutosmeđe, uopšte uzeto zelene. Sjajnost staklasta do masna. Bez izražene cjepljivosti. Lom neravan do ljušturstast.

Mikroskopske osobine: Mikroskopskim preparatima javlja se u bezbojnim do žućkastim ili zelenkastim zrnima. Boja je često podijeljena u zone ili nejednakno raspoređene mrlje. Intenzivnije bojene vrste pokazuju slab pleohroizam, naročito u debljim preparatima.

Indeksi loma su relativno visoki, a dvolom je malen.

$$N_E = 1,701 - 1,732 \quad N_O = 1705 - 1,736 \quad N_O - N_E = 0,001 - 0,006$$

Optički je najčešće negativan, rjeđe pozitivan. Kada dolazi u štapićastim agregatima optički karakter zone izduženja je negativan.

Izrazitog je reljefa. Vezuvijan zbog malog dvoloma interferira u sivoj boji prvog reda, a česte su i anomalne interferentne boje lavandoplava, tamnoplava i zelenkastosmeđa. Potamni paralelno.

U konvergentnom svjetlu presjek okomit na optičku os pokazuje nejasan crni krst, a ponekad i anomalni crni ugao optičkih osi.

Vrlo stabilan mineral. Ponekad se samo vidi alteracija u prenit.

T: 6,5;

H: 3,34-3,44.

Geneza i parageneze: Tipičan je kontaktno metamorfni mineral, pa se najčešće nalazi u skarnovima, nastalim na kontaktu sa dolomitima i krečnjacima. U asocijaciji je sa kalcitom, granatima, hloritom, epidotom i diopsidom. Poznate su pojave vezuvijana u alkalnim stijenama u asocijaciji sa andraditom, volastonitom, kalcitom i drugim mineralima, koji nastaju kao vezuvijan transformacijom monoklinskih piroksena, melilita, nefelina. Za te stijene je karakteristična pojava vezuvijana sa do 4,7 % TiO_2 (titanski vezuvijan). Metamorfozom prelazi u liskun, hlorit, diopsid, skapolit i granat.

Identifikacija: Ako vezuvijan pokazuje normalnu interferentnu boju, sličan je apatitu. Ako pokazuje anomalne interferentne boje, sličan je zoizitu, radi čega se u mikroskopskim preparatima od tih minerala teško razlikuje.

3.11.SKAPOLIT

Hemijski sastav: Skapoliti su slično plagioklasima natrijsko-kalcijski alumosilikati i predstavljaju izomorfnu smjesu krajnjih članova natrijskog marijalita i kalciskog mejonita:

$\text{Na}_8(\text{AlSi}_3\text{O}_8)_6\text{Cl}_2$ – marijalit

$\text{Ca}_8(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_6(\text{CO}_3,\text{SO}_4)_2$ – mejonit.

Uz Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} - anione dolazi i F^- i $(\text{OH})^-$.

Učešće pojedinih osnovnih komponenti omogućava izdvajanje nekoliko predstavnika i to:

Marialit, sadrži 0 – 20 % Me

Dipir, sadrži 20 – 50 % Me

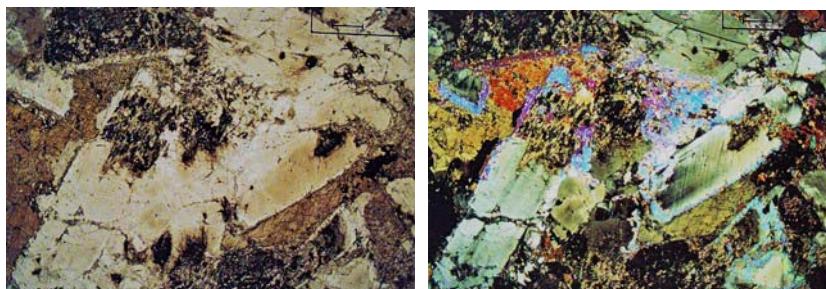
Mizonit, sadrži 50 – 80 % Me

Mejonit, sadrži 80 – 100 % Me.

U prirodi nije nađen ni sasvim čist marialit, ni sasvim čist mejonit, jer su uvijek pomiješane druge komponente.



Sl.104. Marijalit



Sl. 105. Melonit

Kristalni sistem: tetragonski, piramidska hemiedrija.

Makroskopske osobine: Kristali su uvjek manje-više izduženi u pravcu vertikalne osi. Veoma često obrazuju masivne zrnaste aggregate.

Cjepljivost je jasna do savršena po (100). Sjajnosti staklaste. Bezbojni ili bijeli. Zbog izdvajanja pojedinih komponentičesto su mutni i tada su sivi, zelenkasti ili crveni. Kiselije vrste skapolita otporne su prema hlorovodoničnoj kiselini, a bazične vrste nisu.

Mikroskopske osobine: Skapoliti se obično javljaju u bezbojnim stupičastim agregatima s četverokutnim presjecima. U uzdužnim presjecima cjepljivost teče po dužini, a u poprečnim izražena su dva sistema cjepljivosti koji se međusobno sijeku pod pravim uglom.

Indeksi loma i dvolom ovise o hemijskom sastavu. S povećanjem kalcijiske komponente rastu i indeksi loma i dvolom.

$$N_O = 1,550 - 1,607 \quad N_E = 1,540 - 1,571 \quad N_O - N_E = 0,002 - 0,039$$

Optički su negativni. Optički karakter zone izduženja i cjepljivosti je negativan. Reljef je u pravilu slabo izražen. Dvolom je varijabilan, te skapoliti interferiraju od sive boje prvog reda, do živilih boja drugog reda. Ta osobina znatno otežava njihovo određivanje. Potamne paralelno.

Presjeci po bazi su tamni. U konvergentnom svjetlu pokazuje crni krst, a kod skapolita jačeg dvoloma i pokoja ovojnica.

Metamorfišu se u epidot, albit i muskovit.

T: 5 – 6

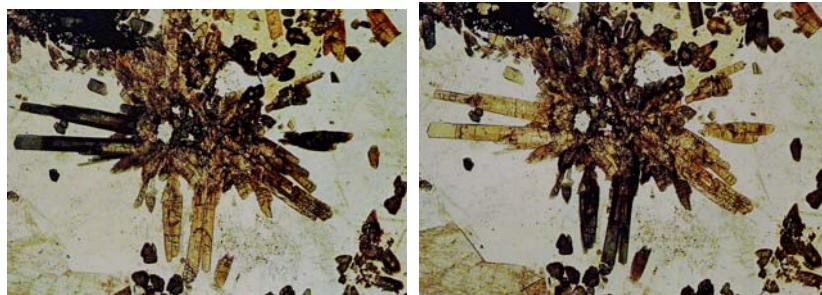
H: 2,58 – 2,77.

Geneza i parageneza: Skapoliti su vrlo rijetko primarni minerali. Nastaju visokotemperaturnom alteracijom plagioklasa u gabrovima i gnajsu. Vrlo su karakteristični pneumatolitski i kontaktno-pneumatolitski minerali, pa se javljaju u škriljcima i kontaktno-metamorfnim mermerima.

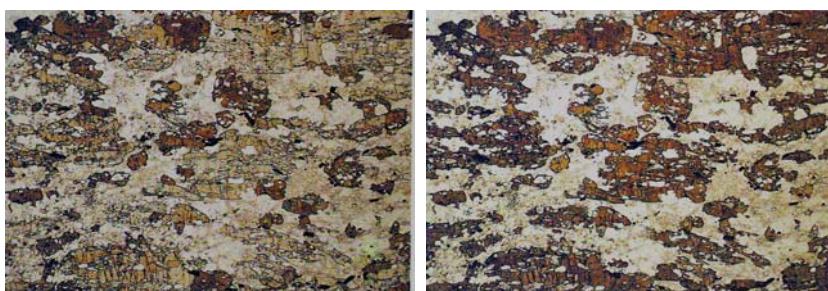
Identifikacija: Skapoliti su slični plagioklasima. Od njih se razlikuju četvrtastim presjecima, paralelnim potamnjenjem, česti živiljim interferentnim bojama i jednoosni su.

Skapoliti s manjim dvolomom liče na kvarc, koji je optički pozitivan i na kordijerit, koji je optički dvoosan.

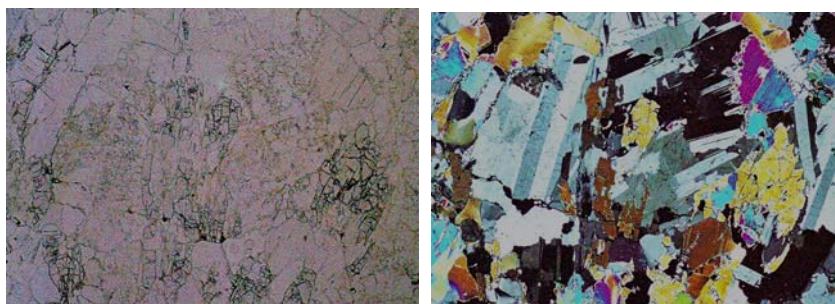
3.12. TURMALIN



Sl. 106. Šerlit



Sl. 107. Dravit



Sl. 108. Elbait

Hemski sastav: Spada u grupu minerala sa veoma složenim i projenljivim sastavom. Sadrži: 30-44 % SiO_2 ; 8-12 % B; 18-44 % Al_2O_3 ; do 25 % MgO ; do 6 % Na_2O i 1-4 % H_2O . Osim toga sadrži obično: $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ (do 38 %), CaO do 4 %, K_2O do 2,5%; Li_2O do 1,3%; do 3,5 % MnO ; do 10,7 % Cr_2O_3 ; do 1,2 % F i Cl. Pored turmalina kao glavnog predstavnika grupe, poznat je veći broj minerala turmalina, koji imaju zajedničku boroalumosilikatnu osnovu $(\text{B}_3\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{22})(\text{O},\text{OH})_5$, koji samo zbog različitog učešća drugih

elemenata imaju i drugačije nazine. Tako, po hemijskom sastavu, sve minerale turmalina dijelimo na dva izomorfna niza:

1. magnezijsko-željezni:
 - dravit: Mg-turmalin;
 - šerlit: Fe-turmalin;
2. litijsko-željezni-manganski:
 - elbait: Li-turmalin;
 - tsilazit: Mn-turmalin.

Pored ovih predstavnika nalze se još neki varijeteti turmalina, kao što su: *rubelit*-ružičasti litijski turmalin; *indigolit*-željezno-magnezijski-alkalni turmalin; *hromturmalin*-zeleni varijetet bogat hromom; *ahroit*-bezbojni alkalni turmalin; *verdelit*-zeleni litijsko-željezni turmalin.

Kristalni sistem: Heksagoni, trigonska hemiedrija.

Način pojavljivanja: Kristali imaju stubičasti, prizmatični ili igličasti oblik. Igličasti i zrakasti agregati su česti oblici pojavljivanja turmalina. Najrazvijenije plohe su (0110) i (1120). Radikalno zrakasti agregati nazivaju se "turmalinsko sunce". Zavisnost morfološkog oblika i hemijskog sastava ogleda se u tome, što su Fe turmalini izduženi duž vertikalne osi, dok su Mg karakteristični po razvitku tupih bipiramida i slabo razvijenih prizmi. Opća osobina turmalina je da kristalizira u velikom broju formi (oko 150), dok su sraslaci veoma rijetki. Poznato je jedno prodorno srastanje turmalina po plohi (1011).

Makroskopske osobine: Boja je veoma variabilna i isključivo zavisi od hemijskog sastava. Šerlit je tamnomrk, nekad crn; dravit je svjetlomrk, mrkosiv, mrkožut, zelenkastomrk; turmalini sa Ca imaju mrkožutu boju. Često se na različitim dijelovima jednog istog kristala javljaju različite boje, tzv. "polihromni turmalin". Najveću raznovrsnost u boji imaju Li-turmalini. Sjajnost je staklasta. Cjepljivost nije izražena. Lom neravan.

Mikroskopske osobine: Turmalin u mikroskopskim preparatima pokazuje prizmatske presjeke izdužene smjerom kristalografske osi **c**. Zbog različito razvijenih terminalnih ploha često je vidljiva njihova hemimorfija. U presjecima okomitim na kristalografsku os **c** pokazuje karakteristične trigonalne i ditrigonalne konture. Nema izraženu cjepljivost, ali su česte poprečne pukotine. Najčešće je različito obojen.

Vrlo je karakteristična intenzivna apsorpcija ordinarnе zrake, kada je vibracioni smjer okomit na kristalografsku os **c**. turmalin položen prizmatskim produženjem pralelno s vibracionom ravninom polarizatora pokazuje svijetle boje, a u položaju okomitom na to zbog jake apsorpcije je gotovo taman.

Intenzitet pleohroizma ovisi o hemijskom sastavu turmalina. Obojeni turmalini pokazuju jači pleohroizam od slabo obojenih varijeteta. Pleohroitske boje su plava i žuta, ali se javlja i smeđa, zelena i crvena.

Indeksi loma umjereni su visoki, zbog čega je turmalin pozitivnog reljefa. Dvolom je veliki, ali su interferentne boje prekrivene vlastitom bojom turmalina. Indeksi loma i dvolom variraju u zavisnosti o hemizmu.

$$N_E = 1,62 - 1,65 \quad N_O = 1,65 - 1,69 \quad N_O - N_E = 0,018 - 0,045$$

Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je negativan. Potamni paralelno.

U presjeku okomitom na optičku os turmalin je taman, a kod bezbojnih varijanti u konvergentnom svjetlu vidljiv je oštar crni krst s jednim ili dva ovoja.

Vrlo je stabilan mineral. Rijetke su metamorfoze u muskovit, biotit ili hlorit.

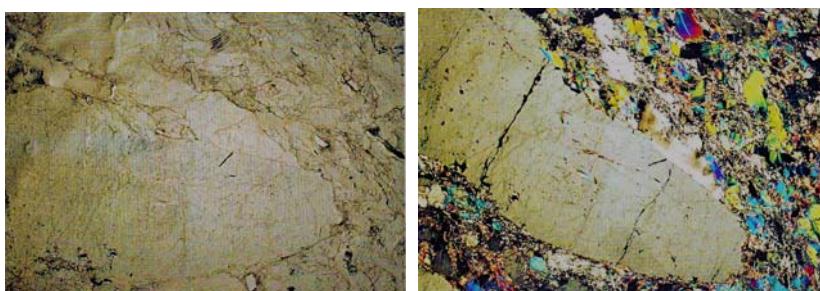
T: 7-7,5.

H: 2,90-3,25.

Geneza i parageneze: Tipičan pneumatolitski mineral. Vezan je za kisele magmatske stijene, prvenstveno za pegmatite, zatim za granite, granodiorite, gdje se stvara u posljednjem stadiju očvršćavanja intruzija. Ovakav postanak specifičan je za Mg-Fe vrste turmalina. Postanak mu je vezan i za pneumatolitsko transformisane stijene, za grajzene-elbait, kao i za metamorfne stijene-filiti i kristalaste škriljce, gnajseve i druge stijene stvarane u procesu regionalnog metamorfizma. Vrlo je stabilan mineral i rijetke su mu metamorfoze u muskovit, biotit i hlorit.

Identifikacija: Turmalin je vrlo karakterističan mineral, pa ga je teško makroskopski i mikroskopski zamijeniti s drugim mineralima. Značajan je njegov trigonski prizmatski habitus, vertikalna prutnja na plohama prizmi, hemimorfija kristala i raznolikost boje. Naročito je karakterističan pleohroizam, obično u plavoj i žutoj boji i jaka apsorpcija ordinarnе zrake. Ne pokazuje cjepljivost.

3.13. BERIL $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$



Sl. 109. Beril

Hemijski sastav: Sadrži 14,1 % Be; 19,0 % Al_2O_3 ; 66,9 % SiO_2 . Osim ovih u međuslojeve kristalne rešetke ulazi veći broj elemenata od kojih su najčešći: Na_2O , K_2O , LiO_2 (alkalni metali mogu prisustvovati do 3 %), Rb_2O , Cs_2O (često do 3 % pa se takav varijitet naziva vorobjevit), Cr_2O_3 (hromni beril ili smaragd), Fe_2O_3 , F i H_2O (do 3 %). Trovalentno Fe i Cr djelimirno se zamjenjuju sa Al i Ca zamjenjuje se sa Be.

Kristalni sistem: Heksagonalan

Način pojavljivanja: Javlja se u stubičastim i prizmatskim oblicima. Obično su kratkostubičasti, rjeđe izduženi. Predstavljaju kombinaciju (10 $\bar{1}$ 0) i (0001), kojoj se nekad priključuju i plohe (1121). Moguć je razvitak oko 40 prostih formi berila. Berili sa sadržajem Cs i Rb imaju obično spljoštene kristalne forme. Plohe prizme često su vertikalno isprutane. Srastanja nisu zapažena. Pojavljuje se u zrnastim i prutičastim agregatima.

Makroskopske osobine: Bezbojan do obojen raznim tonovima žute, plave ili crvene boje. Po boji se razlikuju: zeleni beril-smaragd, prozračan sa golubije plavom bojom-akavamarin, žut, prozračan sa primjesama Fe_2O_3 -heliodor, bijedoružičasti ili bezbojan-vorobjevit, plavičast ili zelenkast-običan beril. Ogreb bijel. Sjajnost staklasta. Cjepljivost nesavršena po pljosnima (10 10) i (0001). Prelom neravan.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je obično bezbojan, neki varijeteti su nježno obojeni ipokazuju slab pleohroizam.

Indeksi loma nešto su viši od indeksa loma kanada balzama, zbog čega pokazuje slabo izračen reljef. Interferira u sivoj boji prvog reda. Malog je dvoloma.

$$N_O = 1,567 - 1,594 \quad N_E = 1,563 - 1,586 \quad N_O - N_E = 0,004 - 0,008$$

Optički je negativan. Optički karakter izduženja je negativan. Potamni paralelno.

Prilično je rezistentan mineral. Može preći u kaolin.

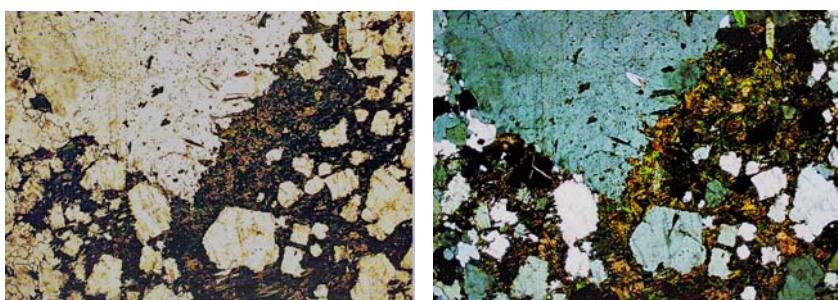
T: 8.

H: 2,65-2,85.

Geneza i parageneze: Glavno pojavljivanje berila je u granit-pegmatitima zajedno sa spodumenom, kolumbitom, turmalinom, hrizoberilom, fenakitom, fluoritom i drugim mineralima. Pojavljuje se, rjeđe, u grajzenima, kvarcno-volframskim i kvarcno-kasiteritskim žicama u asocijaciji sa topazom, fluoritom, muskovitom, cinvalditom. Poznate su pojave berila u liskunskim škriljcima kao i u žicama u krečnjaku, asociiran sa albitom. Djelimično se javlja i kao hidrotermalni produkt. Nepostojan je mineral. Djevelovanjem atmosferilija pretvara se u muskovit, kaolinić i dr.

Identifikacija: U mikroskopskom perparatu sličan je kvarcu, ali je beril optički negativan, a kvarc optički pozitivan.

3.14. NEFELIN $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$



Sl. 110. Nefelin

Hemski sastav: Sadrži 16 % Na_2O ; 33 % Al_2O_3 ; 44 % SiO_2 ; 5 % K_2O . Preostalih 2 % čine CaO , MgO , Ga_2O_3 , BeO , a nekad Fe_2O_3 , Cl , F i H_2O . Po hemijskom sastavu je sličan albitu, ali je nezasaćen silicijskom kiselinom, pa pripada grupi feldspatoida.

Kristalni sistem: Heksagonalan, hemiedrijski

Način pojavljivanja: Javlja se u prizmatičnim i pločastim agregatima koji su veoma rijetki. Najčešći je u zrnastim i masivnim agregatima. Kristalne forme su: (0001), (10 $\bar{1}$ 0), a nekad i (10 $\bar{1}$ 1) i (1120).

Makroskopske osobine: Bezbojan, bijel, žut, zelen, smeđ ili plav. Boja ogreba bijela. Sjajnosti staklaste. Cjepljivost nije izražena. Zamućeni varijitet nefelina naziva se eleolitom.

Mikroskopske osobine: Mikroskopski presjeci idiomorfnog nefelina paralelni s kristalografskom osi **c** slabo su izduženi do gotovo kvadratični. U presjecima okomitim na tu os su heksagoni. Cjepljivost je obično vidljiva.

U mikroskopskom preparatu je bezbojan. Često sadrži sitne uklopke i produkte metamorfoze.

Indeksi loma niski, jednaki ili niži od indeksa loma kanada balzama. Zbog toga pokazuje negativan reljef.

$$N_O = 1,542 \quad N_E = 1,538 \quad N_O - N_E = 0,004$$

Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je negativan. Među ukrštenim nikolina zbog vrlo malog dvoloma interferira u sivo boji prvog reda. Potamni paralelno.

Presjeci okomiti na kristalografsku os **c** pokazuju oblik heksagona i među ukrštenim nikolina su tamni. U konvergentnom svjetlu vidi se nejasan tamni krst bez ovojnica.

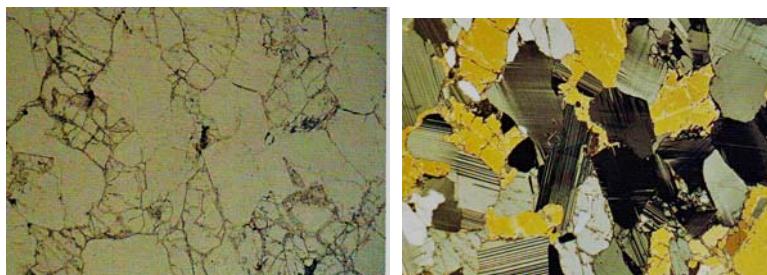
Nefelin lako metamorfozira u vlaknasti agregat zeolita. Može preći u hidronefelin, kankrinit, svijetli liskun. Atmosferskim trošenjem prelazi u kaolinit.

T: 6.

H: 2,55-2,65

Geneza i parageneze: Pirogenog je postanka. Nalazi se samo u magmatskim stijenama siromašnim silicijumom a bogatim alkalijama, naročito natrijumom. Tipskih nefelina ima u nefelinbazalitima, nefelinitima, fonolitima i drugim sličnim stijenama, a eleolita u eleolitsijenitima.

3.15. KANKRINIT ($\text{Na}_2\text{Ca}_4[\text{CO}_3/(\text{H}_2\text{O})_{0-3}/\text{AlSiO}_4]_6$)



Sl.118. Kankrinit

Hemski sastav: Sastav složen i promjenjiv.

Kristalni sistem: Heksagonalni, diheksagonalna dipiramidska klasa

Makroskopske osobine: prizmatskog habitusa, a u stijenama se javlja u nepravilnim zrnima. Vrlo dobre prizmatske cjepljivosti (10¹⁰). Bezbojan žućkast do ružičast.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima se javlja u bezbojnim alotriomorfnim zrnima, obično izdužen smjerom kristalografske osi c. Cjepljivost je uvijek jasno vidljiva. Indeksi loma niži od indeksa loma kanada balzama, radi čega pokazuje negativan reljef.

$$N_O = 1,522 \quad N_E = 1,499. \quad N_O - N_E = 0,009 - 0,028$$

Dvolom je varijabilan i zavisi od hemijskog sastava, varira od malog, do velikog, radi čega su interferentne boje različite od sive boje prvog reda, do živih boja drugog reda.

Optički je negativan. Optički karakter zone paralelne cjepljivosti, odnosno slabog izduženja, negativan. Potamni paralelni.

U konvergentnom svjetlu pokazuje crni krst i jednu ovojnicu.

Metamorfozom prelazi u nefelin i zeolite.

T:5-6

H:2,4

Geneza i parageneza: Kankrinit je čest primaran mineral u natrijskoj seriji eruptivnih stijena; nefelinsijenita. Vjerovatno nastaje alteracijom plagioklasa i nefelina.

Identifikacija: Karakteristična je dobra prizmatska cjepljivost, negativan reljef i najčešće žive interferentne boje.

4. OPTIČKI ANIZOTROPNI DVOOSNI MINERALI

4.1. OLIVIN $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$

Hemjski sastav: Zavisno od postotka zamjenjivanja Mg i Fe u tipičnim olivinima, kao i zavisno od zamjenjivanja Fe i Mg sa drugim elementima, koje može biti potpuno, a nekad i djelimično, razlikuje se veći broj mineralnih vrsta koje pripadaju grupi olivina i to:

-*forsterit*- Mg_2SiO_4 od koga je 10 % Mg zamijenjeno sa Fe_2SiO_4

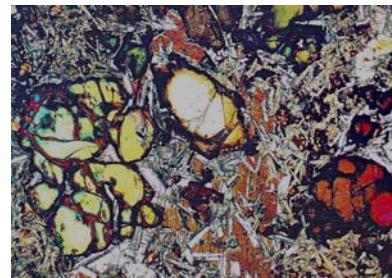
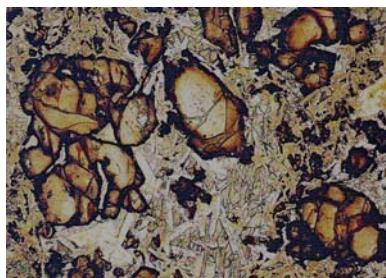
-*hrizolit*- $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ sa oko 10-30 % Fe_2SiO_4

-*hijalosiderit*- $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ sa oko 30-50 % Fe_2SiO_4

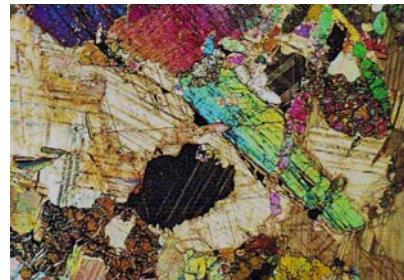
-*hortonolit*- $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ sa oko 50-70 % Fe_2SiO_4

-*ferohortonolit*- $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ sa oko 70-90 % Fe_2SiO_4

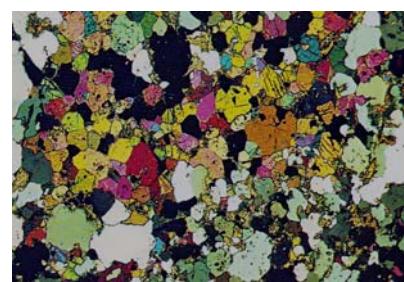
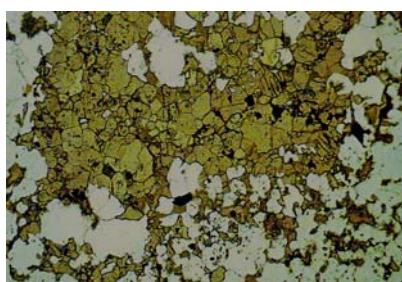
-*fajalit*- Fe_2SiO_4 sa oko 10 % Mg_2SiO_4



Sl.111. Olivin



Sl.112. Forsterit



Sl.113. Fajalit

Zavisno od zamjenjivanja Mg i Fe u olivinu sa drugim elementima stvaraju se izomorfne smjese olivina i to:

-*tefroit*- Mn_2SiO_4 sa malim sadržajem Mg i Fe

-*knebelit*- $(Fe,Mn)_2SiO_4$

-*reperit*- $(Fe,Mg,Mn)_2SiO_4$

-*montičelit*- $CaMgSiO_4$

Kristalni sistem: Rompski, rompska bipiramidska

Makroskopske osobine: Olivin se javlja u kratkostubičastim kristalima, a češće u zrnastim agregatima. Kristalne forme su: (100); (110) i (111). Pljosni (100), (120) i (111) karakteristične su za olivine kontaktno-metasomatskih i žičnih pneumatolitsko-hidrotermalnih ležišta. Boja mu zavisi od sadržaja Fe. Obično su maslinastozelene boje, dok su vrste sa Mn uglavnom crne. Neke vrste su žućkaste. Boja ogreba je bijela ili siva. Sjajnost staklasta. Cjepljivost je nesavršena po pljosni (010).

Mikroskopske karakteristike: Javljuju se kao fenokristali u nekim bazaltilima. Najčešće su alotriomorfnii. Cjepljivost smjerom (010) rijetko je jasno izražena. U mikroskopskim preparatima bezbojni, rjeđe zelenkasti. Indeksi loma visoki i rastu s povećanjem gvožđevite komponente.

$$N_x=1,651-1,681 \quad N_y=1,670-1,706 \quad N_z=1,689-1,718$$

Reljef je izrazit, a površina šagrenirana. Dvolom je $N_z-N_x=0,037-0,041$, i olivin interferira u živim bojama drugog reda.

Ravnina optičkih osi paralelna je s trećim pinakoidom (001). **X=b, Y=c, Z=a.** ugao optičkih osi vrlo je velik, oko 90^0 , optički karakter je i pozitivan i negativan. Kod olivina koji sadrže 10 mol. % Fe_2SiO_4 , ugao optičkih osi $2V=90^0$. Olivini s manje željeza optički su pozitivni, a s više željeza optički negativni. Potamni paralelno s pukotinama cjepljivosti.

Za olivin je karakteristična njegova metamorfoza u serpentin s istovremenim izlučivanjem magnetita ili hematita.

Serpentinizacija obično počinje s ruba i u pukotinama kristala. Pukotine se ispunе finim vlknastim agregatom hrizotila. Vlakna su poredana okomito na pukotine. Serpentinizacija olivina prouzrokuje povećanje zapremine i daljnje pucanje olivina. Tako nastaje mrežasta struktura serpentina unutar kojeg su zaostali dijelovi nedirnutog olivina. Mrežasta struktura serpentina u polarizacionom mikroskopu bez analizatora se prilično dobro raspoznaće, jer je niskog reljefa, a zaostala zrna olivina su visokog reljefa. Ta je struktura naročito dobro vidljiva među ukrštenim nikolima zbog velike razlike u dvolomu oba minerala. Mreža serpentina interferira u živim bojama drugog reda.

U drugom slučaju serpentinizacijom olivina nastaju paralelno orijentisane lamele listićavog serpentina antigorita položene po (011), koje se sijeku pod uglom približno 60^0 . To je poznata rešetkasta struktura antigorita u olivinu. U oba slučaja olivin metamorfozom potpuno prelazi u serpentin.

U bazalnim stijenama hidroermalnim putem nastaje pseudomorfoza idingsita po olivinu. To je serpentin i jedan liskunski smeđecrveni mineral s pseudohroizmom. Metamorfozom može preći u biotit i talk. Prelaz olivina u rompski ili monoklinski piroksen je vrlo čest. Kelefitska struktura je vijenac mineralnog agregata piroksena ili aktinolita, koji obrubljuje olivin.

Atmosferskim trošenjem olivin prelazi u smjesu karbonata, hematita, limonita i opala.

Forsterit Mg_2SiO_4 , sadrži nešto izomorfno pomiješnog željeza. Vrlo je sličan olivinu. Ugao optičkih osi +2V je blizu 85° .

Fajalit Fe_2SiO_4 , sadrži nešto magnezija. U mikroskopskom preparatu može pokazivati slabi pleohroizam. Ugao optički osi -2V je oko 50° .

T: 6,5.

H: 3,22-4,39.

Geneza i parageneze: Većina minerala grupe olivina genetski su vezani za bazične i ultrabazične stijene. Rasprostranjeni su u bazaltima, noritima, peridotitima, dunitima i skoro uvijek u asocijaciji sa rombičnim i monokliničnim piroksenima, magnetitom i drugim mineralima. Forsterit se pojavljuje u žičnim pneumatolitsko-hidrotermalnim produktima, koji su genetski vezani sa piroksenitima i ijolitima. Hrizolit i hijalosiderit mogu biti sastojci metamorfnih stijena, a čist fajalit u gvožđevitim sedimentima i u pukotinama vulkanskog stakla (opsidijana). Tefroit i montičelit skoro su isključivo kontaktno-metamorfni minerali. Pod uticajem hidroermalnih rastvora olivin se pretvara u serpentin, a na površini u hidrokside Fe i Mg. Ti minerali se javljaju i u vidu pseudomorfoza po olivinu.

Identifikacija: Olivin u mikroskopskim preparatima pokazuje visko reljef i žive interferentne boje. Vrlo je karakteristična njegova serpentinizacija i mrežasta ili rešetkasta struktura. Paralelno potamnjivanje olivina razlikuje ga od njemu sličnog diopsida.

4.2. PIROKSENI

Obuhvata veći broj minerala koji ulaze u sastav mnogih stijena. Kristališu rombično i monoklinično. Prvi su jednostavnijeg hemijskog sastava i predstavljeni su serijom $MgSiO_3$ - $FeSiO_3$, dok monoklinični pirokseni imaju velike promjene u hemijskom sastavu. Ovi posljednji predstavljaju izomorfnu smješu u čiji sastav, kao članovi ulaze: $CaMgSi_2O_6$ - $CaFeSi_2O_6$ - $MgSiO_3$ - $FeSiO_3$.

Monoklinični pirokseni su više rasprostranjeni i imaju veći značaj. Među njima se mogu izdvojiti: a) pirokseni koji ne sadrže Al (diopsid-hedenbergit); b) pirokseni koji sadrže Al (augit-dijalag); c) pirokseni koji sadrže alkalije (spodumen, jadeit i egirin).

I u ovoj grupi minerala je jako izražena ionska supstitucija, naročito između Mg i Fe^{2+} . Uopšteni tip formule piroksena je slijedeći:



Pri čemu je X=Ca; Y=Mg, Fe^{2+} , Mn, Al, Fe^{3+} ; Z=Si i Al. Hemijski sastav najčešćih minerala grupe piroksena je slijedeći:

Rombični pirokseni (ortopirokseni):

- enstatit $MgSiO_3$
- hipersten $FeSiO_3$

Monoklinični pirokseni (klinopirokseni):

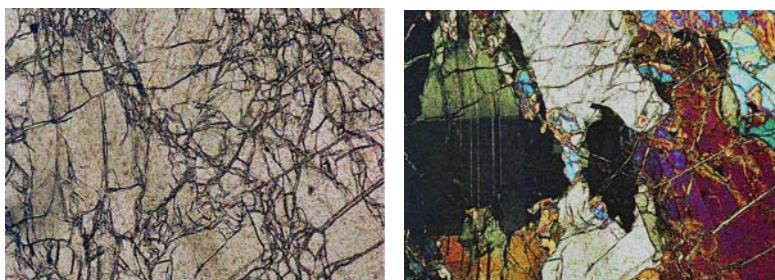
- diopsid $CaMgSi_2O_6$
- hedenbergit $CaFeSi_2O_6$
- augit-feroaugit $(Ca,Na,Mg,Fe,Al,Ti)_2(Si,Al)_2O_6$
- pižonit $(Mg,Fe,Ca)(Mg,Fe) Si_2O_6$
- egirin i akmit $(NaFe^{3+}) Si_2O_6$
- žaedit $NaAl Si_2O_6$

4.3. ROMBIČNI PIROKSENI

Ortopirokseni po hemijskom sastavu su izomorfne smješe enstatitske ($MgSiO_3$) i ortoferosilitske komponente ($FeSiO_3$), u kojima pojedine članove, prema odnosima tih komponenata, izdvajamo i označavamo kao posebne mineralne vrste. Tako imamo:

- | | |
|-----------------|-----------------------------------|
| - enstatit | sa 0 – 10 % $FeSiO_3$ -komponente |
| - bronzit | sa 10 – 30 % “ “ |
| - hipersten | sa 30 – 50 % “ “ |
| - ferohipersten | sa 50 – 70 % “ “ |
| - eulit | sa 70 – 90 % “ “ |
| - ferosilit | sa 90 – 100 % “ “ |

4.3.1. ENSTATIT $Mg_2[Si_2O_6]$



Sl.114. Enstatit

Hemijski sastav: Sadrži 39,97 % MgO i 60,0 % SiO_2 . Često sadrži Ni (do 0,2 %) i primjese CaO , MnO , Al_2O_3 i Fe_2O_3 . Prirodni enstatiti koji ne sadrže Fe veoma su rijetki; oni sa sadržajem 5-14 % nazivaju se bronziti, a kod sadržaja većeg od 14 % Fe hiperstenom. Ferosilit se približava čistoj komponenti $FeSiO_3$ (sintetski mineral).

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Bezbojan, sivobijele boje sa zelenkastom nijansom, rjeđe mrkozelen. Boja ogreba bijela do siva. Staklaste sjajnosti. Cjepljivost izražena po plohi (110). Ugao između ploha cjepljivosti iznosi 85° .

Mikroskopske karakteristike: U mikroskopskom preparstu su bezbojni, bronzit s više željeza može biti smeđast do zelenkast. Hipersten pokazuje slab pleohroizam u zelenkastoj i ružičastoj boji. Najčešće pleohroitske boje su: X-crvenkasta, Y-žutpsmeđa, Z-zelenkasta.

Indeksi loma rastu s količinom željeza od 1,65 – 1,78, takođe i dvolom od 0,010 – 0,015. Ugao optičkih osi takođe varira u ovisnosti o sadržaju ferolsilitske komponente, s tim da ugao optičkih osi raste s porastom željeza, $+2V=57^{\circ}-90^{\circ}$. Rombični pirokseni s više od 55 % ferosilita optički su negativni i ugao optičkih osi s porastom željeza pada od 90° do 57° .

Zbog relativno viskoog indeksa loma rombični pirokseni pokazuju istaknut pozitivan reljef. Malog su dvoloma, pa interferiraju uglavnom u sivoj boji prvog reda. Tek s velikim procentom željeza javlja se žuta interferentna boja prvog reda.

Ravnina optičkih osi paralelna je s drugim pinakoidom (010). $Z=c$. potamni paralelno.

Paralelno srastanje s monoklinskim piroksenima dosta je često. Javljuju se i u lamelama. U takvom srastanju kristalografske osi c obje vrste piroksena su paralelne.

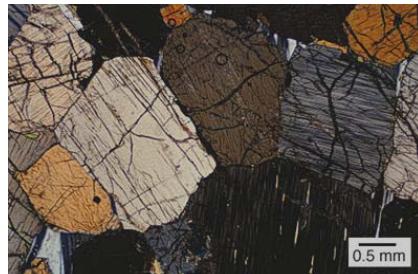
Rombični pirokseni metamorfoziraju u antigorit. Pseudomorfoza antigorita po enstatitu zove se **bastit**. Poznata je metamorfoza u amfibol i talk. Potpunom metamorfozom prelaze u agregat karbonata, željeznih oksida i opala.

T: 5,5.

H: Zavisno od sadržaja željeza i kreće se od 3,0 do 3,3;

Geneza i parageneze: Spada u grupu pirogenih minerala, vezanih za mnoge magmatske stijene bogate Mg. Karakterističan je sastojak ultrabazičnih stijena. U odnosu na olivin i monoklinske piroksene znatno se lakše transformiše u bastit, koji predstavlja pseudomorfozu serpentina po enstatitu. Sastojak je nekih kristalastih škriljaca i meteorita.

Identifikacija: Rombični pirokseni karakteristični su po svom habitusu, piroksenskom cjepljivošću, pozitivnom reljefu, malim dvolomom i paralelnim potamnjrenjem. Enstatit i bronxit ne pokazuju pleohroizam, a hipersten je slabo pleohroitičan.



Sl.115. Bronzit

4.3.2. HIPERSTEN $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Hemski sastav: Sadrži 48,2 % SiO_2 , 11,2 % MgO i 4,0-17,7 % FeO .

Kristalni sistem: Rompski



Sl. Hipresten

Makroskopske osobine: Kristalizira u stubičastim prizmatskim kristalima koji su ili djelimično izduženi po vertikalnoj osi c ili pločasti paralelno plohi (100) ili (010). Najčešće se javlja u jedrim i zrnastim agregatima. Boje je smolastocrne do crnozelene. Boja ogreba bijela do siva. Cjepljivost savršena po plohi (110). Staklaste sjajnosti.

T: 6,2.

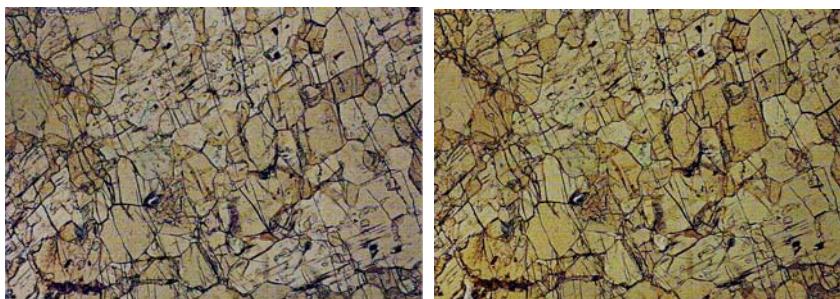
H: 3,3 do 3,5.

Geneza i parageneze: Kao pirogeni mineral nađen u mnogim tipovima magmatskih stijena, ali je naročito karakterističan za norite, gabrove, neke andezite i za rjeđe tipove hiperstenskih granita, tzv. čarnokite, kao i za meteorite.

4.3.3. FEROSILIT $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$

Ferosilit je sintetski mineral, po svom hemijskom sastavu se približava čistoj komponenti FeSiO_3 . Kristalni oblici slični su kao i kod svih ostalih predstavnika enstatit-hiperstenske grupe. Sjajnosti staklaste. Specifična masa 4,0. Indeksi loma :

$$N_x=1,788, N_y=1,770, N_z=1,766; N_x - N_z = 0,22$$



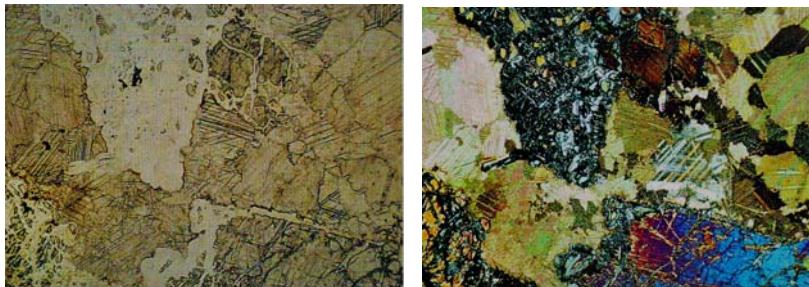
Sl.116. Ferosilit

4.3.4. DIOPSID $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$

Hemijski sastav: Jedan od krajnjih članova izomorfne serije diopsid-hedenbergit, odnosno $(\text{Ca},\text{Mg})(\text{SiO}_3)_2$ i $(\text{Ca},\text{Fe})(\text{SiO}_3)_2$. Razlikuje se nekoliko vrsta i članova ove serije, i to:

- šeferit – diopsid sa do 8 % MnO ,
- salit – izomorfna smjesa diopsida (80-50 %) i hedenbergita (20-50 %),
- omfacit – zelen kao trava diopsid sa Na_2O ,
- pižonit – magnezijski diopsid (izomorfna smjesa diopsida i klinoenstatita),
- hromdiopsid – diopsid koji sadrži do 7 % Cr_2O_3 ,
- lavrovit – diopsid sa sadržajem vanadijuma (2,5 % V_2O_3),
- ferosalit – izomorfna smjesa diopsida (50-20 %) i (50-80 %) hedenbergita.

Čist diopsid po hemijskom sastavu bio bi $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)$ sa 25,9 % CaO ; 18,5 % MgO i 55,6 % SiO_2 , dok u vidu primjesa može sadržavati FeO , MnO , nekad Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , V_2O_5 , Na_2O i TiO_2 .



Sl. 117. Diopsid

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Rijetko se javlja u kristalnim oblicima. Obično su kratkostubičasti sa dominirajućim plohamama (101) i (010). Česti su sraslaci po plohi (100) i (102). Najčešće se pojavljuje u zrnastim agregatima. Boje je obično svjetle do žute, rijetko bezbojan. Boja ogreba je bijela do siva. Staklaste sjajnosti. Cjepljivost srednje izražena po plohi (110), a često se zapaža izdvajanje po plohi (010).

Mikroskopske osobine: Diopsid u mikroskopskim preparatima pokazuje uzdužne pravougaone ili poprečne kvadratične presjeke. Prizmatska cjepljivost uvijek je jasna. Ponekad se javljaju blizanci dvojci ili blizne lamele.

Bezbojni, blijedozelenasti do otvorenozeleni. Indeksi loma visoki i rastu s porastom željeza, a relativno visok dvolum N_z – N_x istovremeno se smanjuje od 0,031 naniže.

$$N_x=1,650-1,698 \quad N_y=1,657-1,706 \quad N_z=1,61-1,727$$

Interferiraju u živim bojama drugog reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s drugom pinakoidom (010). Ugao optičkih osi $+2V=60^\circ$, a s promjenom hemijskog sastava neznatno se mijenja. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjivanja, u tupom uglu β , ploha (010), velik je, Z : c = $37^\circ - 44^\circ$. u poprečnom presjeku potamni simetrično.

Diopsid najčešće prelazi u amfibol, koji se po hemijskom sastavu nalazi između aktinolita i zelene hornblende. Metamorfoza počinje s ruba i širi se prema unutrašnjosti zrna. Ponekad nastaje homogeno zrno, a ponekad igličasti do vlaknasti agregat novonastalog amfibola. Metamorfoza je poznata pod nazivom *uralitizacija*, a nastali amfibol često se naziva *uralit*.

Diopsid se nadalje može metamorfozirati u hlorit, serpentin, rjeđe u talk, a pored njih nastaju još i kalcit i epidot.

T: 5-6.

H: 3,27-3,38.

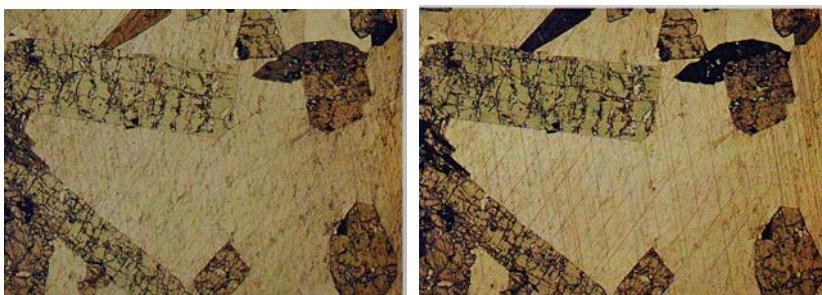
Geneza i parageneze: Vezan je za magmatske stijene i najčešći je sastojak bazičnih i ultrabazičnih stijena. U krupnozrnim gabrovima javlja se varijetet monoklinskih piroksena dijalag, na kome se sasvim jasno zapažaju izdvajanja po plohi (100). Naročito je karakterističan sastojak kontaktno-metamorfnih stijena-mermerra. Pojavljuje se zajedno sa granatima, volastonitom, idokrazom i drugim, naročito kalcijskim, silikatima. Može se transformisati u hlorit, serpentin, rjeđe u talk. Prelazi najčešće u tremolit i aktinolit.

Identifikacija: Grupa diopsid-salita karakteristiše se piroksenskom cjepljivošću, visokim reljefom, pomanjkanjem pleohroizma i živim interferentnim bojama. Sličan im je pižonit, koji ima manji ugao optičkih osi, a augit je u mikroskopskom preparatu obično obojen i pokazuje veći ugao potamnjenja nego diopsid. Obzirom da su pižonit i augit s diopsidom vezani prelaznim oblicima, često ih je vrlo teško međusobno razlikovati.

4.3.5. HEDENBERGIT $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$

Hemijski sastav: Sadrži 22,0 % CaO; 29,4 % FeO i 48,4 % SiO₂. Varijetet bogat Mg naziva se salit. U manim količinama može sadržati alkalije i Al.

Kristalni sistem: Monoklinski



Sl.118. Hedenbergit

Makroskopske osobine: Javlja se u pločastim kristalima sa razvijenim plohama (100), (010), rjeđe (11̄1). Češći je u zrnastim i radijalno zrakastim agregatima. Boje je tamno do crnozelene. Boja ogreba je svijetlosiva sa zelenkastom nijansom. Sjajnost staklasta. Cjeplivost savršena po prizmi (110) u dva pravca sa uglom od 87° i 93°, ako i kod drugih piroksena.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima obojen je zeleno i pokazuje slabiji pleohroizam u zelenim i žućkasto zelenim nijansama.

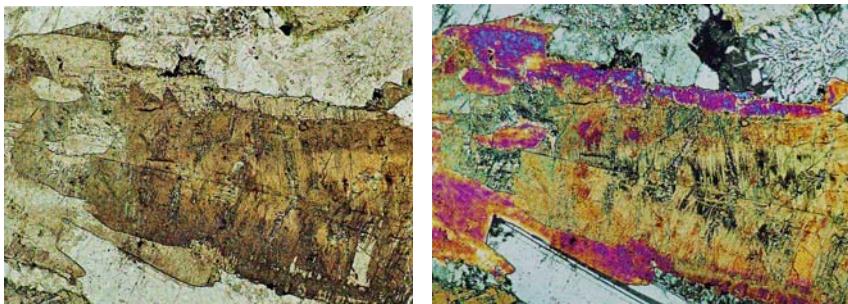
Odlikuje se visokim indeksima loma između 1,732 i 1,757, većim od diopsida, a manjim dvolomom $N_z - N_x = 0,018$, pa u mikroskopskom preparatu pokazuje visok reljef, nešto niži od interferencijske boje; obična je ljubičasta interferentna boja prvog reda. Optički je pozitivan, $+2V=60^\circ$. $Z:c=48^\circ$.

T: 5,5-6.

H: 3,5-3,6.

Geneza i parageneze: Pojave hedenbergita su vezane za kontaktno-metamorfne oblasti, gdje je u asocijaciji sa mineralima Fe i Cu. Čest je sastojak skarnova.

4.3.6. PIŽONIT $x(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_3 + y\text{MgCaSi}_2\text{O}_8$



Sl. 119. Pižonit

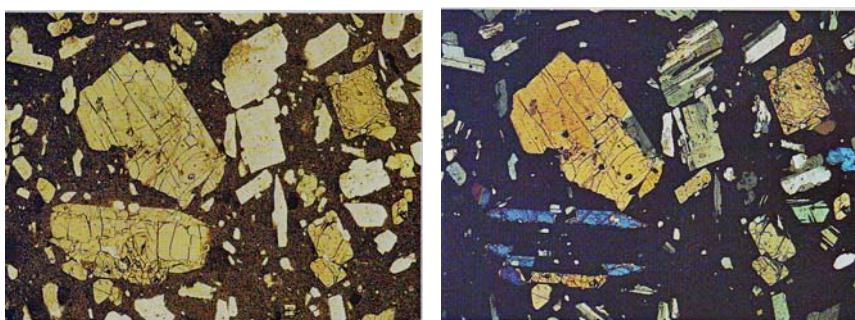
Pripada grupi monoklinskih piroksena, predstavlja izomorfnu seriju između klinoenstatita i diopsida. Ugao potamnjenja koleba u širokim granicama $Z:c=22^{\circ}-45^{\circ}$, i raste s porastom klinoenstatske komponente. Od svih ostalih piroksena razlikuje se po malom uglu optičkih osi, koji znatno koleba, $+2V =$ do 40° . Sastavni je mineral dijabaza, dolerita i bazalta.

4.3.7. AUGIT $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6[(\text{Al},\text{Fe})_2\text{O}_3]x$

Hemijski sastav: Njegov hemijski sastav je složeniji u odnosu na druge piroksene. Skoro uvek sadrži višak MgO , FeO , zatim 4-9 % Al_2O_3 , Fe_2O_3 , kao i Na_2O . Dio MgO može biti zamijenjen sa FeO i MnO . Takvi kristali, gdje je MgO zamijenjen sa FeO obično su zonarni. Vrste augita bogatih sa Na_2O i Fe_2O_3 nazivaju se egirin-augitim, dok vrsta obogaćena sa TiO_2 nazivaju se titanaoaugitom.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Javlja se u kratkostubičastim i pločastim formama, a najčešće u zrnastim agregatima. Najčešće kristalne forme su: (100), (010), (110). Blizanci su mu česti, nekad prosti od dvije jedinke, a nekad polisintetički po pljosni (001), ili prorasli, po pljosnima (101) i (122). Boje je crne, zelenkastomrko-crne, rjeđe tamnozelene. Sjajnost staklasta. Cjepljivost srednje izražena po (110).



120. Augit

Mikroskopske osobine: Augit, zavisno od hemijskog sastava u mikroskopskom preparatu je bezbojan, zelenkast ili smeđast. Neki obojeni varijeteti pokazuju vrlo slab pleohroizam, koji je najbolje vidljiv u presjeku paralelnim s prvim pinakoidom. Fina zonarna građa javlja se ponekad u utrscima augita.

Visoki indeksi loma pokazuju izrazit reljef.

$N_x=1,688-1,712$ $N_y=1,701-1,717$ $N_z=1,713-1,737$

Dvolom je umjeren, $N_z-N_x=0,021-0,025$, zbog čega interferira u početnim bojama drugog reda. Ravnina optičkih osi je (010) ugao optičkih osi $2V=60^{\circ}$ i vrlo malo koleba. Optički je pozitivan.

Augit, kao i diopsid prelazi u kasnomagmatskoj fazi uralitizacijom u uralit. Ponekad nastaje homogeno zrno, a ponekad igličasti agregat amfibola koji prodire s površine u unutrašnjost augita. U postmagmatskoj fazi djelovanjem hidrotermalnih procesa nastaje hlorit, obično zajedno sa kalcitom ili epidotom.

T: 5,6.

H: 3,2-3,6.

Geneza i parageneze: Najrasprostranjeniji u bazičnim efuzivnim stijenama, bazaltima, andezitima, a rijedi u intruzivnim stijenama, gabrovima, sijenitim. Titanoaugit karakterističan je sastojak alkalnih stijena. Pod djelovanjem postmagmatskih otopina, pretvara se u hloriti hornblendu-uralit. Epidot, hlorit i kalcit su sekundarni minerali koji nastaju transformacijom augita.

Identifikacija: Sličan je diopsidu, odnosno salitu, pa ih je teško razlikovati. Augit obično u mikroskopskom preparatu pokazuje jače boje i nešto veći ugao maksimalnog potamnjenja od diopsida.

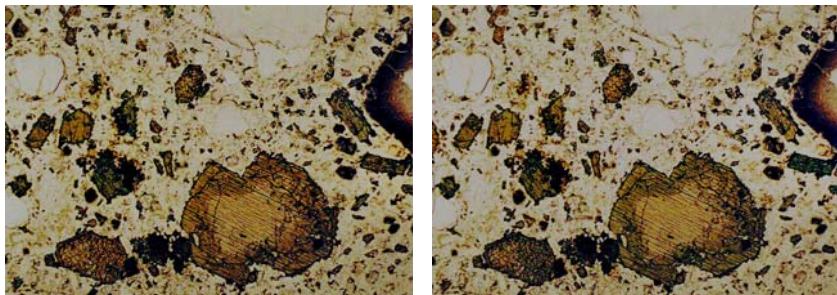
Bazaltski augit je u mikroskopskim preparatima tamnije obojen od običnog augita. Javlja se naročito u smeđim, zelenosmeđim i crvenkastosmeđim bojama. To su ujedno boje njegovog pleohroizma.

Titanski augit sadrži veće količine titana. Pokazuje u mikroskopskom preparatu jak pleohroizam u crvenim i ljubičastim bojama. Javlja se u bazičnim eruptivnim stijenama alkalne serije.

Omfacit je otvorenozeleni augit, u mikroskopskim preparatima je bezbojan do svjetlozelen. Karakterističan je mineral eklogita.

4.3.8. EGIRIN-AUGIT

Egirin-augit po hemijskom sastavu stoji između egirina i augita. Habitus je kao augit, kratkostupičast s razvijenim plohama prizme, prvog i drugog pinakoida. Boje je tamnozelene do zelenkastocrne.



Sl.121. Egirin-augit

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu je zelene boje; pleohroizam X=kao trava zelen, Y=zelen ili žut, Z=žut ili smeđast.

$$N_x=1680-1,745 \quad N_y=1,687-1,770 \quad N_z=1,709-1,782$$

Indeksi loma relativno su visoki i s promjenom hemijskog sastava prilično kolebaju. Reljef je izrazito pozitivan. Dvolom takođe koleba, $N_z - N_x = 0,029-0,037$, i interferira u živim bojama drugog reda.

Ravnina optičkih osi je (010). Ugao optičkih osi je velik, pozitivan i negativan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjena $X : c = 15^\circ - 38^\circ$, $Z : c = 55^\circ - 85^\circ$. Optički karakter zone izduženja je negativan.

Zapažene su rijetke metamorfoze u biotit i zeolite.

Geneza i parageneza: Egirin-augit je sastojak alkalnih eruptivnih stijena, sijenita, trahita i fonolita. Često je asociiran s feldspatoidima.

Identifikacija: Sličan je egirinu, od kojeg se razlikuje po velikom uglu potamnjena.

4.3.9. EGIRIN $\text{NaFeSi}_3\text{O}_6$

Hemski sastav: Sadrži 13,4 % Na_2O , 34,6 % Fe_2O_3 i 52 % SiO_2 . od primjesa sadrži: K_2O , CaO , FeO , MnO , TiO_2 , Al_2O_3 , nekad i V_2O_3 . Može sadržavati i rijetke zemnlje: ThO_2 , ZrO_2 , BeO

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Javlja se u izduženo-prizmatskim do igličastim kristalima. Obično su izduženi po plohi (001) i u kombinaciji sa plohamama (100) i (110). Plohe prizme su vertikalno isprutane. Srasta po plohi (100), nekad i polisintetski. Zelenocrne, tamnozelene do mrke boje. Ogreb svijetlozelen. Staklaste sjajnosti. Cjepljivost jasno izražena po plohi prizme, a nekad se zapažaju izdvajanja po (010) i (001).



122. *Egirin*

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima obično se javlja u igličastim agregatima, a u nekim vulkanskim stijenama u kristalnim skeletima. Prizmatska cjepljivost vidljiva samo kod većih kristalnih individua.

Boje je zelene. Pokazuje jak pleohroizam, X-zelen, Y-svjetlozelen, Z-smeđastožut.

Indeksi loma visoki, zbog čega pokazuje jak pozitivan reljef.

$$N_x=1,745-1,777 \quad N_y=1,770-1,823 \quad N_z=1,782-1,836$$

Dvolom je vrlo velik, $N_y-N_x=0,037-0,059$, ali su interferentne boje trećeg i četvrtog reda pokrivene vlastitom zlatnožutom bojom.

Ravnina optičkih osi je (010). Ugao optičkih osi $2V=60^{\circ}$. Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je negativan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjena je vrlo malen $X:c=2^{\circ} - 8^{\circ}$.

Egirin je vrlo stabilan mineral, ali se u određenim uslovima pretvara u hlorit, epidot, hematit i limonit.

T: 5.

H: 3,5-3,6.

Geneza i parageneze: Postaje magmatskim putem, u magmama koje su bogate Na. Stvara se u uslovima povišene alkalnosti, te je karakterističan sastojak alkalnih sijenita. U asocijaciji je sa feldspatima i feldspatoidima- nefelinom i leucitom ili u društvu kvarca i albita.

Identifikacija: Karakteristike egirina su istaknut reljef, jak pleohroizam i vrlo mali ugao potamnjena.

Akmit je varijanta egirina koja u mikroskopuskim preparatima pokazuje smeđu boju i pleohrouzam u smeđim nijansama.

4.3.10. ŽAEDIT (JAEDIT) $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$

Žaedit se javlja u štapićastim do vlknastim agregatima. Zelene je boje. U mikroskopskim bezbojan je do zelenkast. Samo jako obojeni žaediti pokazuju pleohroizam. Cjepljivost je prizmatske, kao i ostali pirokseni. Indeksi loma su visoki, pa je reljef istaknut, pozitivan.

$$N_x=1,655-1,666 \quad N_y=1,659-1,674 \quad N_z=1,667-1,688$$

Dvolom je umjeren, $N_z-N_x=0,012-0,023$, te interferira u živim bojama prvog do drugog reda. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjena $Z:c=30^{\circ}-44^{\circ}$.

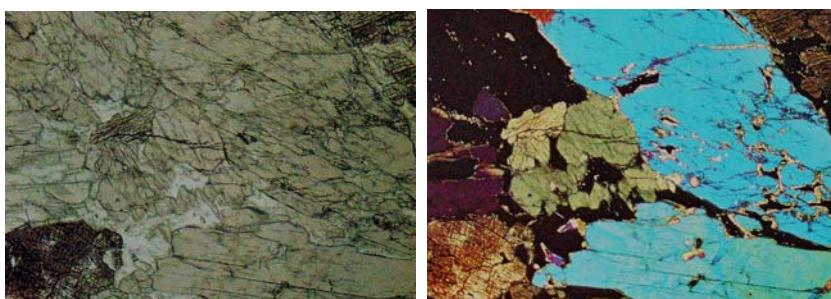
Vrlo je rijedak mineral. Obično čini monomineralnu stijenu žaedit još nepoznate geneze. Metamorfozira se u uralit.



Sl.123. Žaedit

4.3.11. SPODUMEN $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$

Hemijski sastav: Sadrži 8,07 % Li; 27,44 % Al_2O_3 i 64,5 % SiO_2 . Litijum se često može zamijeniti sa natrijumom, a od primjesa može sadržati FeO , MgO , Cr_2O_3 , K_2O i H_2O .



Sl.124. Spodumen

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Kristali su mu stubičasti pravcem (110), ili pločasti po (001). Najčešći je u prutičastim agregatima. Boje je različite: obično sivkastobijel, zelen kao jabuka, zelenkastobijel. Ogreb bijel. Cjepljivost po plohi (110). Sjajnost staklasta.

Mikroskopske osobine: Spodumen je litiski piroksen. Javlja se izduženim, smjerom osi c i često vrlo velikim kristalima. Na kristalima su redovna prutnja.

U mikroskopskim preparatima je bezbojan, jasno izražene prizmatske cjepljivosti. Ugao između oba sistema cjepljivosti je 93° . Lučenje smjerom prvog pinakoida (100) jače je istaknuto od redovne piroksenske cjepljivosti.

Indeksi loma su visoki 1,651 do 1,681, zbog čega spodumen pokazuje pozitivan reljef. Dvolom je umjeren, $N_z-N_x=0,013-0,023$. Ugao optičkih osi $+2V=54^{\circ}-69^{\circ}$. maksimalni ugao potamnjnenja $Z:c=23^{\circ}-27^{\circ}$.

Sličan je diopsidu, a razlikuje se od njega lučenjem smjerom prvog pinakoida i manjim uglom potamnjenja.

Rijedak je mineral. Nalazi se sa ostalim litijskim mineralima u nekim granitskim pegmatitima.

T: 6,5;

H: 3,1.3,2.

Geneza i parageneze: Vezan je za pegmatite granitske magme, a metamorfozom prelazi u muskovit, smjesu albita i muskovita tzv. cimatolit. U pegmatitima se nalazi u asocijaciji sa kvarcom, feldspatima, litijskim liskunima, turmalinom idr.

4.4. AMFIBOLI

Kao i kod piroksena i kod amfibola postoje predstavnici i rombične i monoklinične simetrije. Amfiboli imaju najsloženiji hemijski sastav od svih petrogenih minerala magmatskih stijena, što je uslovljeno velikom fleksibilnošću ionske zamjene. Opšta formula amfibola je:



U kojoj su:

X – Ca, kod alkalnih amfibola i Na, a kod rombičnih predstavnika Mg i Fe (fero);

Y – Mg, Fe (fero), rjeđe Al, Fe (feri), Ti (trovalentan),

Z – Si, manjim dijelom i Al.

U slijedećem pregledu data je opća podjela amfibola:

- 1) Rombični amfiboli
 - a) Antofilitska serija
 - antofilit $(Mg,Fe)_7(OH)_2Si_8O_{22}$
 - žedrit $(Mg,Fe)_5Al_2(OH)_2Si_6Al_2O_{22}$
- 2) Monoklinični amfiboli
 - a) Kumingtonitska serija $(Fe,Mg)_7(OH)_2Si_8O_{22}$
 - kupferit Mg-član
 - grinerit Fe-član
 - b) Tremolit-aktinolitska serija
 - tremolit $Ca_2Mg_5(OH)_2Si_8O_{22}$
 - aktinolit $Ca_2(Mg,Fe)_5(OH)_2Si_8O_{22}$
 - c) Hornblenda, izomorfna smješa slijedećih komponenata:
 - aktinolitske $Ca_2(Mg,Fe)_5(OH)_2Si_8O_{22}$
 - čermakitske $Ca_2(Mg,Fe)_3Al_2(OH)_2Si_7AlO_{22}$
 - edenitske $NaCa_2(Mg,Fe)_5(OH)_2Si_7AlO_{22}$
 - hastingsitske $NaCa_2(Mg,Fe)_4Al(OH)_2Si_6Al_2O_{22}$Oksihornblenda je predstavnik sa znatnim sadržajem troivalentnog gvožđa.

Pargazit je hornblenda sa pozitivnim uglom optičkih osi.

d) Alkalni amfiboli

- glaukofan $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$
- ribekit $(\text{Na},\text{Ca})_3\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_2(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$
- arfedsonit $(\text{Na},\text{Ca})_3(\text{Fe},\text{Mg})_4(\text{Fe},\text{Al})(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$

4.4.1. ANTOFILIT $(\text{Mg},\text{Fe})_7(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$

Hemijski sastav: Sastav mu je jako nepostojan, jer uvijek sadrži i žadeitsku komponentu. U manjim količinama može sadržati primjese Ca, Na, Fe^{3+} , Mn i dr.

Kristalni sistem: Rombičan

Makroskopske osobine: Veoma rijetko se javlja u kristalima koji predstavljaju kombinaciju (110), (010) i (001). Češći je u vlknastim i fibroznim agregatima. Boje je zelene, mrke, sive do skoro bijele. Boja ogreba bijela. Sjajnosti staklaste. Cjepljivosti savršene po prizmi (110), pri čemu pravci cjepljivosti zaklapaju ugao od $125^{\circ}30'$.

Mikroskopske osobine: Uzdužni presjeci antofilita u mikroskopskim preparatima su pravougaonici, a u poprečnom presjeku romb, jer je najčešće razvijena samo prizma. Karakteristična amfibolska cjepljivost jasno je razvijena. Blizanci nisu poznati.

Bezbojni su do slabo obojeni. Obojeni antofiliti u debljim preparatima pokazuju pleohroizam X i Y=smeđkast, Y=žut i zelenkast. Indeksi loma nešto veći od indeksa loma kanada balzama, zato su pozitivnog reljefa.

$$N_x=1,598-1,652 \quad N_y=1,615-1,662 \quad N_z=1,623-1,676$$

Dvolom je umjeren, $N_z-N_x=0,016-0,025$, te inetrferira u višim bojama prvog reda, do početnih boja drugog reda. Ravnina optičkih osi paralelna je sa (010). Ugao optičkih osi je velik, $2V=70^{\circ}-89^{\circ}$. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. Z=c. potamni paralelno.

T: 5,5-6.

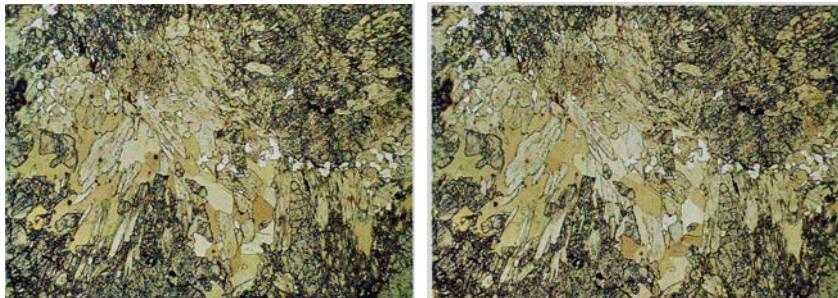
H: 2,8-3,4.

Geneza i parageneze: Pojavljuje se u raznovrsnim kristalastim škriljcima i kontaktno-metamorfnim stijenama, a ponekad i u magmatima kao sekundarni mineral. Alteracijom prelazi u talk, serpentin (bastit) i druge produkte.

Identifikacija: Antofilit pokazuje sve karakteristike amfibola, od kojih je najznačajniji ugao prizmatske cjepljivosti od 126° . Liči na bezbojni tremolit i zelenkasto obojeni aktinolit, ali se od njih razlikuje paralelnim potamnjenjem.

4.4.2. KUMINGNOTIT $(\text{Fe},\text{Mg})_7(\text{OH})(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$

Hemijski sastav: Ovaj mineral predstavlja izomorfnu smjesu kupferita i grinerita. Prvi nije nađen u prirodi. Kumingtonit sadrži 56,55 - 50,74 % SiO_2 ; 0 – 0,95 % Al_2O_3 ; 21,67 – 33,14 % FeO ; 1,50 – 7,80 % MnO ; 0 – 10,31 % MgO ; 3,04 – 3,18 % H_2O i 0,54 – 8,44 % Na_2O . Kumingtonit obogaćen sadržajem Mn naziva se danemorit, a sa oko 8 % MnO , tirodit.



Sl.125. Kumingnotit

Kristalni sistem: Monoklinski

Mikroskopske osobine: Kada se javlja u monokliničnim oblicima ima forme u kojima su pljosni savijene, ali se najčešće javlja u fibroznim i radijalnim agregatima.

Makroskopske osobine: Boje je bliјedomrke. Boja ogreba bijela. Sjajnost staklasta. Cjepljivost savršena po pljosni (110). Najčešći su vlaknasti agregati. Boja u mikroskopskom preparatu zavisi o količini željeza. Varijeteti sa manje željeza slabo su obojeni i pokazuju neznatan pleohroizam, X=Y=blijedožut, Z=smeđastožut. S većom količinom željeza su tamniji i intenzivnijeg pleohroizma, X=bezbojan, Y=smeđast, Z=smeđ ili zelenkast.

Indeksi loma su umjereni i rastu s porastom željeza. Pozitivnog je reljefa.

$$N_x=1,639-1,657 \quad N_y=1,645-1,669 \quad N_z=1,664-1,689$$

Dvolom je prilično visok, $N_z-N_x=0,025-0,029$. Interferiraju u živim bojama drugog reda. Ravnina optički osi paralelna je s (010). Ugao optičkih osi je velik, $2V=68^{\circ}-87^{\circ}$. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjena povećava se sa porastom magnezija.

T: 6.

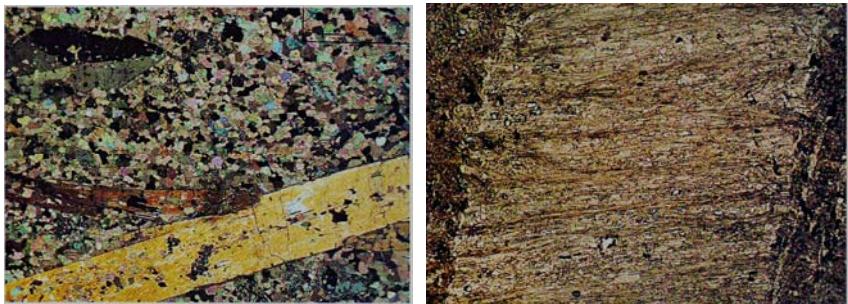
H: Raste sa sadržajem Fe od 3,2-3,6.

Geneza i parageneze: Sastojak je metamorfnih stijena bogatih gvožđem i liskunskih škriljaca.

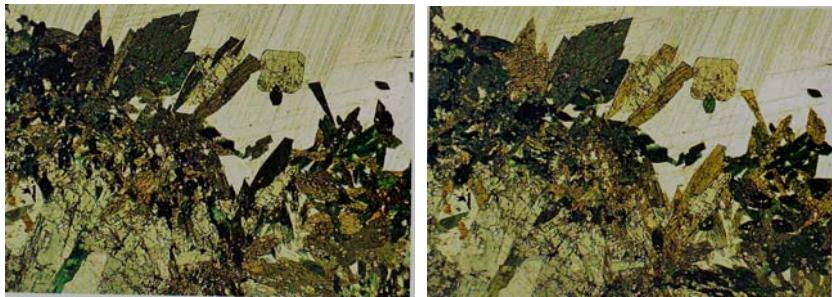
Identifikacija Pokazuje tipične amfibolske karakteristike. Od antofilita se razlikuje kosim potamnjnjem, a od aktinolita što je optički pozitivan.

4.4.3. TREMOLIT-AKTINOLIT $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$

Hemijski sastav: Tremolit sadrži 57,72 % SiO_2 ; 28,83 % MgO ; 13,45 % CaO , ali sadrži do 3 % FeO , MnO , Al_2O_3 (iako se smatraju amfibolima bez sadržaja Al) i Na_2O . Tremolit kod koga je jedan dio Mg zamijenjen sa Fe naziva se aktinolit. Količina Fe u aktinolitu varira od 3-6 %. Čvrsti i kompaktni varijetet tremolit-aktinolita naziva se nefrit, $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$. U vrstama tremolita gdje je sav Mg zamijenjen Fe dolazi do stvaranja ferotremolita, čiji bi sastav bio $\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Pored ovih varijeteta javljaju se: tremolit-azbest i aktinolit-azbest, tankovlaknasti, slični azbestu varijeteti sa dugačkim vlaknima.



Sl.126. Tremolit



Sl.127. Aktinolit

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Oba minerala razvijaju se u oblicima karakterističnim za amfibole, dakle u kombinaciji prizmi i drugog pinakoida. Terminalne bazalne pljosni obično su slabo razvijene. Kristali su im jako izduženi, tankostubičasti, igličasti, ponekad fibrozni. Sreću se u vidu radijalnih i vlknastih agregata. Tremolit je bijel do svijetlosive boje, naročito one bez željeza, a zelena boja u raznim nijansama karakteristična je za aktinolit. Ogreb je bijel. Staklaste su sjajnosti. Cjepljivost savršena po plohi (110) u dva pravca pod uglom od 56° i 124° .

Mikroskopske osobine: Idiomorfni tremolit i aktinolit pokazuje u uzdužnom presjeku pravougaone presjeke s pukotinama cjepljivosti koje teku paralelno s plohami prizme i ujedno označavaju kristalografsku os **c**. U poprečnom presjeku vide se plohe prizme u obliku romba i paralelno s tim plohami dvostruki sistem cjepljivosti, koje se sijeku pod uglom 124° . U alotriomorfnim zrnima vide se samo pukotine cjepljivosti.

U mikroskopskim preparatima tremolit je bezbojan, a aktinolit blijedoželen i pokazuje slab pleohroizam u zelenkastim i zelenkastožutim nijansama X i Y=žut, Z=zelen.

Indeksi loma su umjereno visoki i rastu s porastom željeza. Reljef je pozitivan.

$$N_x=1,600-1,628 \quad N_y=1,613-1,644 \quad N_z=1,625-1,655$$

Dvolom je umjereno visok i neznatno raste s porastom magnezijske komponente. $Nz-Nx=0,022-0,027$. Interferira do žute boje drugog reda.

Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Ugao optičkih osi je velik, $2V=79^\circ-85^\circ$. Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. Potamni koso.

Maksimalni ugao potamnjenja je malen, $Z:c=10^{\circ}-20^{\circ}$ u tupom uglu β . Kod aktinolita maksimalni ugao potamnjenja je $10^{\circ}-13^{\circ}$, kod tremolita $13^{\circ}-20^{\circ}$. Poprečni presjeci pokazuju simetrično potamnjenje. Blizanci i blizne lamele smjerom (100) su česte.

T: 5,5-6.

H: Zavisna od sadržaja Fe i kreće se od 3,2-3,5;

Geneza i parageneze: Tremolit i aktinolit su tipični metamorfni minerali. Aktinolit je čest sastojak zelenih škriljaca. Uglavnom su niskotemperaturni minerali koji se pojavljuju na kontaktu efuzivnih stijena i krečnjaka ili dolomita i kristalastih škriljaca. Pojavljuju se takođe i u metamorfisanim krečnjacima. U znatnim količinama, naročito aktinolit, stvaraju se u procesu hidrotermalnih izmjena bazičnih stijena, gabrova, diorita i drugih, na račun monoklinskih piroksena, hornblende, a nekad olivina i plagioklasa. U asocijaciji sa granatima, volastonitom, diopsidom jako su rasprostranjeni u skarnovima. Transformacijom prelaze u talk. Od manjeg značaja su ovi minerali nastali hidroermalnim putem u kvarcnim žicama.

Identifikacija: Tremolit i aktinolit pokazuju karakterističnu amfibolsku cjepljivost. U mikroskopskom preparatu bezbojni su do blijeđozeleni i slabog pleohroizma. Mali ugao potamnjenja i pozitivni optički karakter takođe je karakterističan. Bezbojna hornblenda edenit, koja im je slična, odlikuje se većim uglom potamnjenja.

Azbest je finovlaknasti amfibol, varijetet tremolita i aktinolita.

Nefrit je agregat tremolita i aktinolita.

Uralit je zeleni amfibol koji je nastao metamorfozom piroksena. Po hemijskom sastavu je sličan aktinolitu i zelenoj hornblendici.

Smaragdit je intenzivno smaragdanozeleni amfibol, koji se po hemijskom sastavu nalazi između aktinolita i hornblende. Nastao je metamorfozom dijalaga. Sastojak je eklogita.

4.4.4. HORNBLEND A₂(Na,K)(Mg,Fe,Al)₅(OH)₂[(Si,Al)₄O₁₁]₂

Hemijski sastav: Jedan je od jako složenih silikata, a uz to je i jako nepostojan. Sadrži: SiO₂ od 34,66-59,5 %; FeO od 1,96-40,4 %; MgO od 0,5-36,19 %; CaO od 0,5-27,7 %; Na₂O do 12,9 %; H₂O od 0,5-10,9 %. Osim toga može sadržati: TiO₂ i SrO do 0,13 %; V₂O₅ do 0,1 %; Cr₂O₃ do 4,7 %; NiO do 0,2 %; ZnO do 4,7 % i rijetko Li₂O.

Ovako veliki broj elemenata koji ulaze u sastav hornblende omogućava stvaranje više vrsta i varijeteta hornblende. Varijetet siromašan sa Fe naziva se pargasit, a bogatiji sa Fe, a neznatnim sadržajem Na i trovalentnih elemenata-gastingsit. Osim toga, izdvajaju se dvije vrste hornblende: obična hornblenda: NaCa₂(Mg,Fe²⁺,Fe³⁺,Al)₅(OH)₂[(Si,Al)₈O₂₂] i bazaltna hornblenda ili lamprobolit, koja je karakteristična po manjem sadržaju hidroksilne grupe, a nekad i povišenim sadržajem Fe.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Javlja se u izduženim kristalnim formama, izduženim duž vertikalne ose c. Kristalne forme su: (110), (010), (100), (001), (011), (021), (111) idr. Blizanci po plohi (100), nekad su i polisintetički. Ponekad su zastupljena izometrična, ksenomorfna zrna. Boja uslijed složenog hemijskog sastava jako varira od svjetlozelene do zelenocrne i crne. Boja ogreba je bijela do siva. Sjajnost staklasta do smolasta. Često

su boje zonarno raspoređene, tamnije u centralnom dijelu kristala, a svijetlozelena po periferiji zrna. Lom neravan, nekad ljušturast. Cjepljivost savršena po plohi (001).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu uzdužni presjeci hornblende su izduženi pravokutnici. Duže stranice odgovaraju prizmatskim ploham. Paralelno s njima teku pukotine prizmatske cjepljivosti, koje ujedno označavaju položaj kristalografske osi c . Poprečni presjeci su karakteristični pseudoheksagonalni; paralelno s ploham prizme teku dva sistema prizmatske cjepljivosti, koji se sijeku pod uglom 124° , odnosno 56° . U stijeni je hornblenda najčešće hipidiomorfno razvijena. Terminalne plohe su dosta rijetke.

U mikroskopskom preparatu hornblenda je zelene i smeđe boje. Pleohroizam je kod različitih varijeteta različit: X=žutozelen, bijledosmeđ, plavkastoželen, žutozelen, zelenkastosmeđ, Y=zelen, zelenkast, žut, crvenkastosmeđ, Z=tamnozelen, plavozelen, smeđ, crvenosmeđ. Plavozelene nijanse pokazuju hornblende koje sadrže mnogo aluminija.

Indeksi loma relativno su visoki, reljef je istaknut, pozitivan.

$$N_x=1,614-1,675 \quad N_y=1,618-1,691 \quad N_z=1,633-1,701$$

Dvolom je umjerjen, $Nz-Nx=0,019-0,026$. maksimalna interferentna boja u normalno debelim preparatima je žuta boja drugog reda. U jače obojenoj hornblendi interferentna boja je djelimično ili potpuno prekrivena vlastitim bojama.

Ravnina optičkih osi paralelna je s ravninom (010). Ugao optičkih osi je velik $2V=52^{\circ}-85^{\circ}$. Optički je negativan. Optički karakter glavne zone izduženja je pozitivan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjivanja dosta koleba. $Z:c=12^{\circ}-30^{\circ}$ u tupom uglu β . U poprečnom presjeku potamni simetrično.

Blizanci i blizne lamele smjerom prvog pinakoida (100) su česti.

T: 6.

H: 3,0-3,4.

Geneza i parageneze: U pogledu postanka je tipično magmatski mineral. Stvara se pri relativno niskim temperaturama i povišenim pritiscima. Najrasprostranjenija je u inturzivnim kiselim stijenama. Široko je rasprostranjena i u metamorfnim stijenama u asocijaciji sa granatima, epidotom, magnetitom, staurolitom i drugim mineralima. U vulkanckim stijenama se javlja bazaltna hornblenda. U pegmatitima bazičnih stijena javlja se kao pneumatolitski mineral. Prilično je nepostojan mineral, naročito oni sa Fe i Ti, koji se brzo transformišu stvarajući hidrohlorite, nontronit, opal, hidroksid Fe i dr. Pri metasomatskim procesima hornblenda stvara stijene poznate pod imenom amfiboliti. Vlaknasta hornblenda stvara pseudomorfoze po augitu i onda se naziva uralit.

Identifikacija: Hornblenda se razlikuje od ostalih amfibola bojom i pleohroizmom. Ponekad joj sliči biotit, ali biotit pokazuje odličnu pinakoidalnu cjepljivost, koja je razvijena samo u jednom smjeru. Ona nije vidljiva u presjecima paralelnim s bazalnim pinakoidom. Osim toga potamnjivanje kod biotita je paralelno ili skoro paralelno.

Pargazit je zelena hornblenda, optički je pozitivan, $+2V\approx 55^{\circ}$. $Z:c=18^{\circ}-27^{\circ}$. U mikroskopskom preparatu je zelenkaste boje sa slabim pleohroizmom, X=zelenkastožut, Y=smaragdanozelen, Z=zelenkastoplav. Javlja se sivozelenim do crnim kristalima u mermeru. Jedini je amfibol koji je optički pozitivan.

4.4.5. OKSIHORNBLEND

Hemijski sastav: Razlikuje se od obične hornblende po tome što ima veću količinu trovalentnog željeza, alkalijskog titana i po tome što u nema hidroksilne skupine (OH).

Makroskopske osobine: Javlja se u većim dobro razvijenim idiomorfnim kristalima, najčešće kao fenokristal u efuzivnim stijenama. Kratkoprizmatskog je habitusa s kombinacijom prizme i drugog pinakoida. Vrlo dobre prizmatske cjepljivosti pod uglom 124°. Boje je crne.

Mikroskopske osobine: Oksihornblenda je gotovo redovno idiomorfna, s odgovarajućim pravougaonim uzdužnim i pseudoheksagonskim poprečnim presjecima. Karakteristična prizmatska cjepljivost dobro je razvijena.

U mikroskopskom preparatu je tamnosmeđe boje, jakog pleohroizma, X=žut ili smeđ, Y=smeđ, Z=tamnoplav, tamnozelen ili tamnosmeđ.

Indeksi loma veći su od indeksa loma obične hornblende.

$$N_x=1,60-1,692 \quad N_y=1,683-1,730 \quad N_z=1,693-1,760$$

Dvolom koleba u širokom rasponu i može biti vrlo velik, $N_z-N_x=0,026-0,072$. Interferira u bojama drugog do višeg reda, ali su te boje uvijek prekrivene vlastitim.

Ravnina optičkih osi je paralelna sa (010). Ugao optičkih osi je vrlo velik, $2V=64^{\circ}-80^{\circ}$. Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan.

Potamni koso, a ponekad paralelno ili gotovo paralelno. Maksimalni ugao potamnjena je malen i najčešće oko 5°, $Z:c=0^{\circ}-12^{\circ}$ u tupom uglu β. Blizne lamele smjerom (100) su česte, iako nisu jasno izražene zbog malog ugla potamnjena oksihorblende. Kristalno zrno i sraslačke lamele potamne gotovo istovremeno.

Geneza i parageneza: Najčešće se javlja kao utrusak u nekim efuzivnim stijenama, andezitima, bazaltilima, tefritima i njihovim tufovima.

Vrlo je vjerovatno da oksihornblenda nastaje u kasnomagmatskom stadiju oksidacijom željeza obične hornblende pod uticajem gasova i visoke temperature. Oksidacija se u tom slučaju odvija uz gubitak vodonika iz hidroksilne grupe.

Naročito je značajna magmatske resorpcija fenokristala oksihorblende u efuzivnim stijenama, poznata pod imenom opacitizacija. Nastaje gotovo neprozirni crni rub sitnog zrnja magnetita i augita. Počinje s tankim opacitskim ovojem oko hornblende, koji u daljem stadiju postaje debiji, da napokon ispuni konture bivšeg minerala.

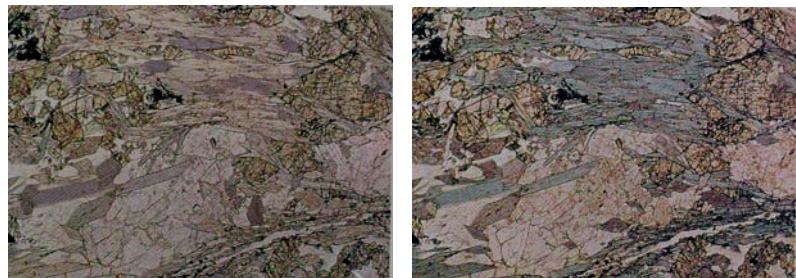
Rjeđa je alteracija u hlorit i talk.

Identifikacija: Oksihornblenda se razlikuje od obične hornblende tamnosmeđom bojom, pleohroizmom, velikim dvolomom, i malim uglom potamnjena ili čak paralelnim potamnjennjem. Ponekad je vrlo slična biotitu, ali biotit pokazuje samo jedan sistem pukotinske cjepljivosti, koji se ne vidi u presjeku paralelno s baznim pinakoidom.

4.4.6. GLAUKOFAN $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$

Hemijski sastav: Sadrži 52,59 % SiO_2 ; 0,2-21 % Al_2O_3 ; 0-15 % Fe_2O_3 ; 4-11 % FeO ; 4-17 % MgO ; 0,3-13 % CaO i 4-9 % Na_2O . Može sadržati K_2O , H_2O i MnO .

Kristalni sistem: Monoklinski



Sl.128. Glaukofan

Makroskopske osobine: Javlja se u prizmatičnim kristalima, rjeđe u zrnastim i tankovlaknastim agregatima stvarajući glaukofanski azbest. Boje je ljubičaste, u tamnijim i svjetlijim tonovima. Boja ogreba bijela do svijetloplava. Sjajnost staklasta.

Mikroskopske osobine: Javlja se u štapićastim kristalima bez terminalnih polha. Uz prizmatsku cjepljivost često je poprečno lučenje. Boja je tamnoplava do ljubičasta s intenzivnim pleohroizmom, X=bezbojan, Y=tamnoplav, Z=ljubičast.

Indeksi loma su umjereno visoki, reljef pozitivan.

$$N_x=1,621-1,655 \quad N_y=1,638-1,664 \quad N_z=1,639-1,668$$

Dvolom je relativno malen, $N_z-N_x=0,013-0,018$, zbog čega je najviša interferentna boja ljubičasta boja prvog reda. Kod tamnije obojenih glaukofana vlastita boja prekriva interferentnu boju. Ravnina optičkih osi je u ravnini simetrije (010). Ugao optičkih osi koleba od $0-68^\circ$. Najčešće je $2V=$ oko 45° . Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjivanja vrlo malen. $Z:c=4-6^\circ$, u tupom uglu β . Poprečni presjeci potamne simetrično.

T: 5-6;

H: 3-3,3.

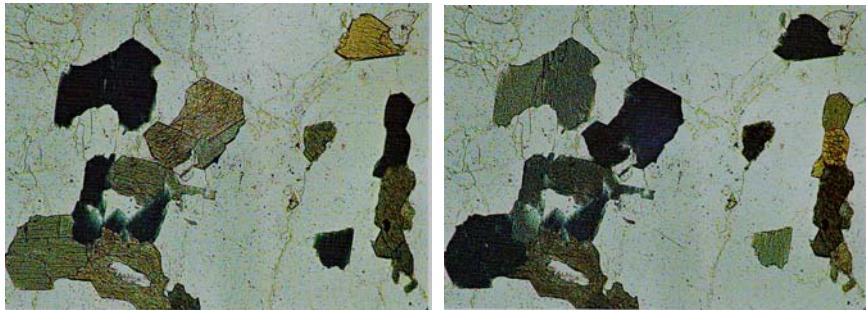
Geneza i parageneze: Karakterističan je sastojak gnatseva i kristalastih škriljaca. Obično je u asocijaciji sa muskovitom, kvarcom, granatom, sfenom, biotitom, hloritom, epidotom i drugim mineralima. Slabo podliježe procesima metamorfizma pri čemu prelazi u hlorit.

Identifikacija: Za glaukofan je u mikroskopskom preparatu karakteristična tamnoplava i ljubičasta boja, jak pleohroizam i vrlo mali ugao potamnjivanja. Od ribekita se razlikuje pozitivnim optičkim karakterom zone izduženja.

4.4.7. RIBEKIT $\text{Na}_2\text{Fe}_3\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$

Hemijski sastav: Sadrži 49,50 % SiO_2 ; 15-30 % Fe_2O_3 ; 8-10 % FeO ; 8 % Na_2O , a od primjesa može sadržati i ZrO_2 , MnO , MgO , CaO , K_2O i dr.

Kristalni sistem: Monoklinski



Sl.129. Ribekit

Makroskopske osobine: Pojavljuje se u prizmatskim kristalima i agregatima kao azbest. Nekad se javlja u vlaknastim i bubrežastim aggregatima. Boja ribekita je tamnosiva do crna. Sjajnost staklasta. Cjepljivost savršena po plohi (110) u dva pravca pod uglom od 56° i 124° .

Mikroskopske osobine: Obično se javlja u slabo individualiziranim zrnima. Boje je tamnopлавe. Pleohroizam je vrlo jak, X=tamnoplav, Y=svijetlijeplav, Z=zelenkast.

Indeksi loma su umjereno visoki, reljef pozitivan.

$$N_x=1,693 \quad N_y=1,695 \quad N_z=1,697$$

Dvolom je vrlo malen, $N_z-N_x=0,004$. Slaba interferentna boja prvog reda se ne vidi jer je prekrivena vlastitom tamnoplavom bojom. Ravnina optičkih osi je (010). Ugao optičkih osi je vrlo velik, blizu 90° . Optički je pozitivan i negativan. Optički karakter zone izduženja je negativan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjivanja je malen $X:c=5^\circ$, u oštrom uglu β .

T: 5-6;

H: 3,44.

Geneza i parageneze: Karakterističan je sastojak stijena bogatih alkalno natrijskom komponentom, kao što su graniti sa svim svojim žičnim ekvivalentima, eleolitsijeniti i trahiti. U ovim stijenama je u asocijaciji sa alkalnim piroksenom-egirinom.

Krokidolit je vlaknasti varijjetet ribekita koji formira plavi azbest.

Krosit se po hemijskom sastavu nalazi između glaukofana i ribekita. U izbrusku je obojen i jakog pleohroizma, X=žut, Y=plav, Z=ljubičast. Maksimalni ugao potamnjivanja $Y:c=150-300$, u tupom uglu β . Značajan je mineral metamorfnih stijena i javlja se u kristalastim škriljcima i zonama kontaktne metamorfoze.

Arfedsonit $Na_3(Fe,Mg)_4Fe(OH)_2(Si_4O_11)_2$. U mikroskopskom preparatu je obojen, intenzivnog pleohroizma, X=tamnoplavozelen, Y=plavo zelen, Z=zelenkastožut. Pokazuje visok indeks loma 1,7 i radi toga istaknut pozitivan reljef. Ugao optičkih osi je veliki i variabilan, optički karakter je pozitivan i negativan. Maksimalni ugao potamnjivanja $X:c=100-180$, u oštrom uglu β . Javljuju se s egirinom i egirinaugitom, u natrijem bogatim eruptivima, maročito u eleolitsijenitima.

Identifikacija: Tamnopлавa boja, jak pleohroizam, maleni dvolom, vrlo mali ugao potamnjivanja, a naročito negativan karakter zone izduženja, izdvajaju ribekit od drugih amfibola.

4.5. LISKUNI (TINJCI)

Liskuni su po hemijskom sastavu alumosilikati kalija, litija, magnezija i željeza. Hidroksilna grupa ponekad je djelimično zamijenjena sa fluorom.

Kristališu monoklinski, prizmatska klasa. Dobro razvijeni krisali redovno su pseudoheksagonskog prizmatskog habitusa koji je kombinacija prizme (110) i drugog pinakoida (010). U povoljnim uslovima nastaju kristali izduženi smjerom kristalografske osi **c**, ali se najčešće javljaju u pseudoheksagonskim pločastim kristalima s reduciranim prizmatskim plohamama i velikim baznim pinakoidom.

To su tipični filosilikati sa listastom strukturu. U osnovi njihove strukture leže udvojeni slojevi $(\text{Si}_2\text{O}_5)\text{OH}$, koji su povezani kationima. Struktura minerala grupe liskuna može biti izvedena iz strukture talka i pirofilita, ako se u ovoj $\frac{1}{4}$ Si zamijeni sa Al. Pri toj se zamjeni oslobođa jedna elektrostatička veza, koja se kompenzuje jednovalentnim ionom koji ulazi u strukturu. Tako radikal kod muskovita zadobija vid $(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$. Osnovni elemenat strukture su troslojni paketi, koji se sastoje od Si-Al-O tetraedarskih slojeva i jednog unutrašnjeg oktaedarskog sloja sa dvovalentnim ili trovalentnim kationima Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} i dr. Kod strukture muskovita jedan atom Al ima u odnosu na kiseonik koordinaciju 4, a druga dva 6. Jednovalentni kationi (kalijum) ne ulaze u sastav paketa, već su raspoređeni između njih.

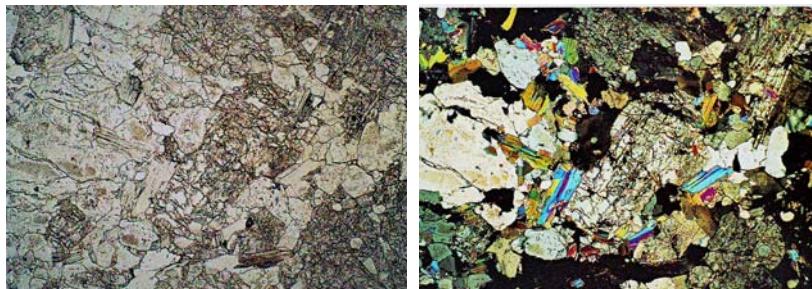
Liskuni čine veliku i važnu grupu među filosilikatima. Podijeljeni su u četiri podgrupe:

- 1) Kalijsko-natrijski
 - muskovit $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10} \text{ I } (\text{OH})_2]$
 - paragonit $\text{NaAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10} \text{ I } (\text{OH})_2]$
- 2) Magnezijsko-gvožđeviti
 - biotit $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10} \text{ I } (\text{OH})_2]$
- 3) Litijski
 - lepidolit $\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5}[(\text{F}, \text{OH})_2 \text{ I } \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
 - cinvaldit $\text{KLiFe}^{2+}[(\text{F}, \text{OH})_2 \text{ I } \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
- 4) Vanadijski
 - roskolit $\text{KV}_2[(\text{OH})_2 \text{ I } \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

4.5.1. MUSKOVIT $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

Hemijski sastav: Sadrži 45,2 % SiO_2 ; 38,5 % Al_2O_3 ; 11,8 % K_2O i 4,5 % H_2O . Al može biti zamijenjen sa Fe ili Cr, a od primjesa se javljaju Mg i Mn, rijetko CaO, Li_2O i TiO_2 . S obzirom na zamjenjivanje elemenata, kao i na povišen sadržaj nekih od njih, razlikuje se veći broj varijeteta, među kojima se pominju:

- fengit, sa većim sadržajem Si,
- fuksit, sa oko 3,9 % Cr_2O_3 ,
- ferimuskovit, sa do 13 % oksida gvožđa,
- sericit, sitnolističavi muskovit,
- žilbernit, smješa muskovita, kaolinita i nakrita,
- damurit, muskovit sitnih listića, sedefasta sjaja,
- šilkinit, radijalno zrakasti, igličasti i vlaknasti muskovit.



Sl.130. Muskovit

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine Najviše se pojavljuje u pločastim oblicima sa razvijenim plohamama (001), (110), (010), (011) i dr. Usljed razvitka ovakvih vrsta ploha kao i uslijed toga, što su veoma rijetko razvijene plohe bipiramide imaju izgled pseudoheksagonskih kristala. Inače, najčešće se javlja u ljuškastim, zrakastim i kriptokristalastim agregatima (varijitet-sericit). Sraslaci su dosta česti i to većinom po plohi (001). U tankim listićima je bezbojan, bijele boje, žućkast, rjeđe zelenkast, crvenkast, ljubičast ili tamnomaslinast. Boja ogreba bijela. Sjajnost staklasta, a po pljosnima cjepljivosti sedefasta do srebrenasta. Cjepljivost savršena po pljosni (001).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima muskovit je bezbojan. U presjecima paralelnim s baznim pinakoidom rijetki idiomorfni kristali pokazujući pseudoheksagonalne konture, ali najčešće nepravilne listiće. Presjeci okomiti na bazni pinakoid su izduženi pravougaonici s oštrim i brojnim pukotinama cjepljivosti, koji su paralelni s trećim pinakoidom.

Indeksi loma su viši od indeksa loma kanada balzama i otuda pokazuje umjereno pozitivan reljef.

$$N_x=1,556-1,570 \quad N_y=1,587-1,607 \quad N_z=1,593-1,611$$

Maksimalni dvolom je vrlo velik, $Nz-Nx=0,037-0,041$, zbog čega interferira u živim bojama drugog reda. Interferentne boje su jače u presjeku okomitom na bazni pinakiod, kada se vide i pukotine cjepljivosti. U presjeku paralelnim s baznim pinkoidom parcijalni dvolom je vrlo malen $N_z-N_x=0,004-0,006$, pa je interferentna boja obično siva boja prvog reda.

T: 2,5-3;

H: 2,76-3,0.

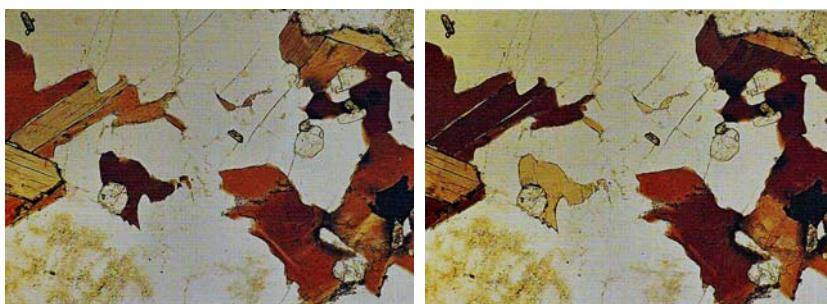
Geneza i parogeneze: Najrasprostranjeniji je liskunski mineral u kiselim magmatskim stijenama. U pegmatitima se javlja u asocijaciji sa biotitom, a može da se stvori metasomatskim putem na račun kalijskog feldspata. Raspadanjem feldspata u hidrotermalnim uslovima stvaranja muskovita, stvara se sericit (sericitizacija). U procesu metamorfizma muskovit se može stvoriti i na račun glinovitih sedimenata, pri nešto povišenoj temperaturi, kao i sa prinosom kalijuma. I muskovit i sericit su česti sastojci metamorfnih stijena, naročito onih stvaranih u procesu regionalnog metamorfizma. Vrlo je raširen u sedimentnim stijenama.

Identifikacija: Javlja se u listićima koji su omeđeni plohami baznog pinakoida. Paralelno s plohami pinakoida teku oštreti pukotine cjepljivosti. Bezbojan je umjerenog pozitivnog reljefa i živih interferentnih boja. Potamni paralelno. Slični su mu talk, paragonit i pirofilit, od kojih se može razlikovati jedino hemijskim analizama. Konstatovana veća količina kalija ukazuje na muskovit, veća količina natrija na paragonit, a magnezija na talk.

Sericit je po sastavu i fizičkim karakteristikama vrlo sličan muskovitu. Javlja se isključivo u sitnolističavim agregatima. Svilenkaste sjajnosti i masnog opipa. Sadrži manje kalija, a više (OH) od muskovita. Ugao optičkih osi je manji $-2V=25^{\circ}\text{--}30^{\circ}$. Nastaje hidroermalnom metamorfozom andaluzita, distena, kordijerita, topaza, kalijskih feldspata, ortoklasa i mikroklina. Javlja se u niskometamorfnim stijenama, slejtu, filitu, klastičnim sedimentima, šejlu i pješčarima.

Paragonit je takođe sličan muskovitu da se ni makroskopski ni mikroskopski ne mogu razlikovati. Jedino se može vidjeti nakon hemijske analize, radi većeg sadržaja natrija u paragonitu. Paragonit je asociran s distenom i staurolitom u kristalastim škriljcima.

4.5.2. BIOTIT $K(Mg,Fe)_3(OH)_2(AlSi_3O_{10})$



Sl.131. Biotit

Hemijski sastav: Sastav biotita je veoma kolebljiv. Variranje pojedinih elemenata je u granicama: K_2O od 6,18-11,43 %; Al_2O_3 od 9,43-31,69 %; MgO od 0,28-28,34 %; SiO_2 32,83-44,94; FeO 2,74-27,60 %; Fe_2O_3 od 0,14-20,65 %; H_2O od 0,89-4,64 i F od 0-4,23. Osim ovih elemenata mogu prisustrovati primjese TiO_2 , Na_2O , V_2O_3 , Li_2O , MnO , BaO , SrO , Cs_2O i dr. Kao i kod muskovita i kod biotita možemo razlikovati više varijeteta:

- natrijski biotit, kod koga je dio K zamijenjen Na (do 5%);
- vodanit, biotit kod koga je dio Si zamijenjen sa Ti (do 12,56 %);
- manganofilit, biotit sa nešto Li i do 18 % MnO;
- kalcibiotit, sa do 14,3 % CaO;
- lepidomelan, crni biotit, jako bogat sa Fe;
- haotonit, crni biotit sa mnogo FeO i malo Fe_2O_3 ;
- siderofilit, crni biotit sa mnogo FeO i skoro bez Mg i
- anit, crni biotit bez Mg,

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Nalazi se u vidu lističastih zrna, ljuspica, pseudoheksagonalnih ploča i kratkostubičastih prizmi. Idiomorfizmom se često odlikuju biotitski fenokristali u mladim izlivnim stijenama, naročito u kiselim i prelaznim efuzivima. Blizanci kao i kod muskovita po pljosni (001). Cjepljivosti savršene po (001). Ljuspice su savitljive i elastične. Boja jako varira u zavisnosti od sadržaja gvožđa. Uz veće učešće ove komponente sve su tamniji: flogopit je kadkad bezbojan, bijel, a obično je (pošto skoro uvijek sadrži nešto gvožđa) žutomrk ili crvenkastomrk. Biotiti su mrki, tamnomrki do crni. Po ravni cjepljivosti često pokazuju lijepa prelivanja u zelenkastim nijansama. Sjajnosti staklaste, na ravni cjepljivosti sedefaste. U tankim ljuspicama flogopit je providan, a biotiti su neprovidni i uvijek mrki.

Mikroskopske osobine: Biotit je u mikroskopskom preparatu srednje, žutosmeđ, crvenkastosmeđ, rjeđe tamnozelen. Intenzivnog je pleohroizma. Maksimalnu apsorpciju pokazuje u položaju kada su pukotine cjepljivosti paralelne s vibracionim smjerom polarizatora. Najčešće pleohroitske boje su: X=žuta, Y=crvenosmeđ ili tamnosmeđ, Z=crvenosmeđ ili tamnosmeđ do opak.

Indeksi loma su mali do umjerenog veliki, obično je $N_y=N_z$.

$$N_x=1,541-1,579 \quad N_y=1,574-1,638 \quad N_z=1,574-1,638$$

Maksimalni dvolumen je velik, $N_z-N_x=0,33-0,059$, ali interferentne boje su prekrivene vlastitom bojom. Dvolumen u presjeku paralelno s trećim pinakoidom jednak je nuli, jer zrake vibracionih smjerova Y i Z koji titraju u toj plohi imaju iste indekse olma. U tom presjeku biotit je jako obojen i ne pokazuje pleohroizam.

Ravnina optičkih osi paralelna je sa (010), a oštra raspolovnica X je okomita na treći pinakoid (001). Ugao optičkih osi je malen $-2V=0^{\circ}-25^{\circ}$. Biotit je skoro jednoosan. Optički je negativan. Optički karakter paralelno s pukotinama cjepljivosti je pozitivan. Potamni paralelno ili skoro paralelno. Maksimalni ugao potamnjivanja je 3° i to samo u nekim presjecima.

Za biotit su vrlo karakteristični uklopci sitnih kristalića cirkona, ovjeni tamnim pleohroitskim ovojem. Ponekad paralelno srasta s muskovitom.

T: 2-3.

H: 2,7-3,3.

Geneza i parageneze: Biotit je široko rasprostranjen mineral. Pojavljuje se u skoro svim tipovima magmatskih stijena. Jedan je od važnijih sastojaka kristalastih škriljaca i gnajseva, a može se naći i u stijenama kontaktno-metamorfne zone. Inače kao i svi liskuni najčešće se pojavljuje u pegmatitskim žicama pneumatolitskog postanka.

Identifikacija: Biotit ako dolazi idiomorfan, brušen paralelno s baznim pinakoidom pokazuje pseudoheksagonalski habitus. U tom presjeku iako obojen ne pokazuje pleohroizam, a među ukrštenim nikolima je taman. U konvergentnom svjetlu zbog vrlo malog ugla optičkih osi pokazuje interferentnu figuru skoro jednoosnog minerala. U presjeku okomitom na treći pinakoid ističe se odlična cjepljivost i intenzivan pleohroizam. Potamnjuje manje-više paralelno.

Lepidomelan je biotit bogat željezom. Najčešći je tip biotita u eruptivnim stijenama.

Meroksen je 'normalni' biotit u kojem prevladjuje magnezija nad željeznom komponentom.

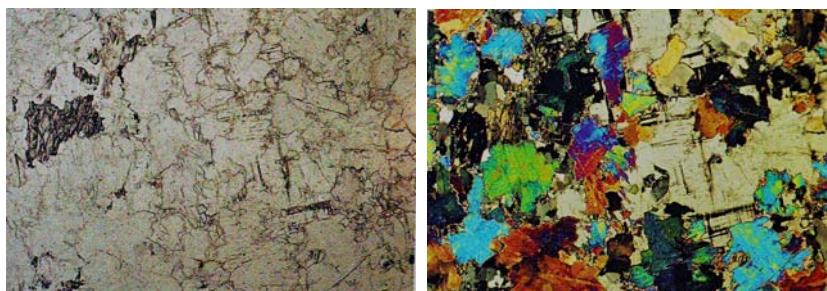
Anomit je vrlo rijetka vrsta biotita u kojem je ravnina optičkih osi okomita na (010).

Flogopit, je po hemijskom sastavu biotit bez željeza. Boje je svijetlosmeđe. U mikroskopskom preparatu je bezbojan do žućkast i slabo pleohroitičan. Potamni paralelno ili pod uglom do 5° . Ugao optičkih osi je malen, najviše do 20° . optički je negativan.

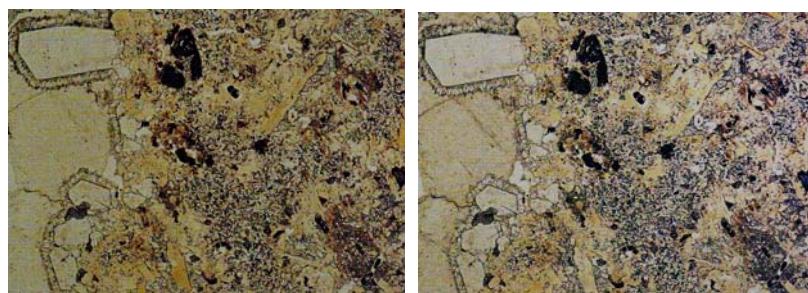
Od biotita se razlikuje slabijim pleohroizmom, a od muskovita manjim uglom optičkih osi.

Flogopit je tipičan kontaktnometamorfni pneumatolitski liskun. Najčešće ga nalazimo u mermerima.

Lepidolit je litjski liskun. Boje je ružičaste. Po optičkim karakteristikama sličan je muskovitu, pa ih je skoro nemoguće razlikovati. Lepidolit je lakotopiv i oboji plamen crvenom bojom. Nalazimo ga u pegmatitima.



Sl. 132. Lepidolit



Sl.133. Flogopit

4.6. FELDSPATI

Grupa feldspata je jedna od najvažnijih mineralnih grupa koja ima veliki značaj u petrografiji magmatskih stijena. Ovo proizlazi iz činjenice što oni izgrađuju 59,9 % magmatskih stijena; 30 % metamorfnih ili 11,5 % sedimentnih stijena, odnosno učestvuju u izgadnji Zemljine kore sa oko 60 %. Kao petrogeni minerali imaju značaj i zbog toga, jer se na osnovu njihovog prisustva vrši klasifikacija stijena.

U kristalografskom pogledu, feldspate dijelimo u dvije grupe, i to: monoklinične i triklinične. U strukturnom pogledu to je dobro proučena grupa minerala. Svi pripadaju

tektonosilikatima, kod kojih je kristalna rešetka izgrađena od SiO_4 tetraedara koji su međusobno povezani u svim pravcima. Kod alkalnih feldspata $\frac{1}{4}$ iona silicijuma je zamijenjena sa Al, a kod Na-Ca feldspata-plagioklaza Al-ioni zamjenjuju do polovine broja iona Si. Između lanaca Si-Al-O-tetraedara nalaze se ioni Na^{1+} , K^{1+} i Ca^{2+} . Novija strukturalna proučavanja omogućuju izdvajanje visokotemperurnih feldspata sa neuređenom Si-Al rešetkom (kod nje je raspored Si-Al iona samo staticki 2:2 ili 3:1), i niskotemperurnih feldspata sa uređenom Si-Al rešetkom (raspored Si-Al iona je zakonomjeran).

Po hemijskom sastavu su "alumosilikati" K, Na, Ca, rjeđe Ba. Ako se radi o feldspatima sa velikim kationima K, Ba, njihova simetrija je monoklinična ili pseudomonoklinična, dok kod feldspata sa manjim kationima (Ca,Na) imamo trikliničnu simetriju.

Između albita i anortita postoji izomorfizam. Članovi izomorfne serije nazivaju se plagioklasi. Izomorfizam postoji, takođe, između ortoklasa i celzijana (hijalofan). Izomorfno miješanje između ortoklasa i albita je ograničeno zbog znatne razlike između radiusa K^+ i Na^+ , dok između ortoklasa i anortita ono ne postoji.

Osim toga, svi imaju veliki broj zajedničkih osobina (cjepljivost, boja, tvrdoća, ogreb, sjaj i dr.), a nastaju na približno isti način.

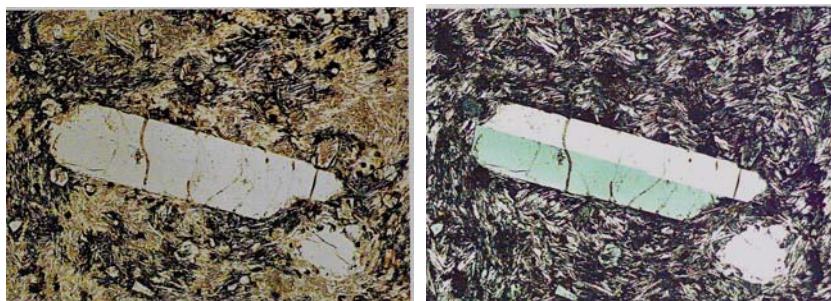
U pogledu hemijskog sastava, grupa feldspata se dijeli na:

- kalijsko-natrijske feldspate
- natrijsko-kalcijске feldspate i
- kalijsko-barijske feldspate.

4.6.1. SANIDIN KAISi_3O_8

Hemijski sastav: Identičan sastavu ortoklasa, kod kojih SiO_2 varira za 1 %; Al_2O_3 sa 0,3 %; Na_2O za 2,9 %; K_2O od 12,7 do 16,9 %; a u vidu primjesa sadrži Ba (do 5 %), FeO , Fe_2O_3 . Udio natrijske komponente može dostići do 60 %, mada obično iznosi oko 30 %.

Kristalni sistem: Monoklinski



Sl.134. Sanidin

Makroskopske osobine: Kao i ortoklas javlja se u stubičastim i pločastim kristalnim formama, od kuda mu i ime potiče. Na njima su razvijene forme: (001), (010), (110) i

druge. Srasta po zakonima po kojima se srasta i ortoklas. Sve fizičke osobine su mu identične sa osobinama ortoklasa. Razlikuje se svojom svježinom i staklastim sjajem, koji je mnogo jače izražen nego kod ortoklasa. Otuda se i naziva staklastim varijetetom ortoklasa. Bistar i prozračan. Cjepljivosti savršene po pljosni (001).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan i bistar. Zbog pločastog oblika kristala česti su stupićasti presjeci. Pukotine cjepljivosti po (001) i (010) često su izražene kao lijepi i prave linije.

Indeksi loma niži su od indeksa loma kanada balzama. Radi toga u izbruscima ima negativan reljef.

$$N_x=1,517-1,520 \quad N_y=1,523-1,525 \quad N_z=1,524-1,526$$

Maksimalni dvolom je slab, $N_z-N_x=0,006-0,007$, zbog toga sanidin interferira u sivkastobijeloj boji prvog reda.

S obzirom na položaj optičkih osi razlikuju se dvije vrste sanidina. Kod jednih ravnina optičkih osi je drugi pinakoid (010). Glavni vibracioni smjer **Z** nagnut je od osi **c** prema naprijed za 21° , zbog čega je on gotovo okomit na pukotine cjepljivosti po (001). Kod druge vrste sanidina ravnina optičkih osi je okomita na drugi pinakoid (010). Približno okomito prema (001) ide optička normala **Y**, a s osi **b** podudara se glavni vibracioni smjer **Z**.

Ugao optičkih osi je malen, $-2V=0^\circ-20^\circ$. Zagrijavanjem sanidina s normalno simetrijskim položajem ravnine optičkih osi utvrđeno je da se njihov ugao postepeno smanjuje, dok za određenu talasnu dužinu svjetlosti ne padne na 0° . Dalnjim grijanjem ugao optičkih osi opet raste, ali uz paralelnosimetrijski položaj ravnine optičkih osi.

Ugao potamnjivanja prema pukotinama cjepljivosti smjerom (001) u presjecima paralelnim sa (010) iznosi $0-9^\circ$; ono je prema toma paralelno ili skoro paralelno, rastući s povećanim sadržajem izomorfno pomiješane Na-komponente.

Česti su karlsbadski blizanci s plohom (010) kao šavom, koji nije uvijek idealno ravan.

Sanidini izlivnih stijena često sadrže uklopke stakla. Često su zonarno raspoređeni ostali sastojci stijena uklopljeni u sanidin, augit, biotit i kvarc.

T: 6.

H: Varira u zavisnosti od hemijskog sastava, odnosno natrijske komponente (oko 2,57).

Geneza i parageneze: Tipičan je pirogeni mineral. Nastaje na visokim temperaturama neposredno kristalizacijom iz magme. Karakterističan je sastojak isključivo mladih vulkanskih stijena, čija je konsolidacija naglo obavljena, pri čemu je sačuvana njegova kristalna rešetka, koja inače u uslovima postupne konsolidacije prelazi u rešetku ortoklasa.

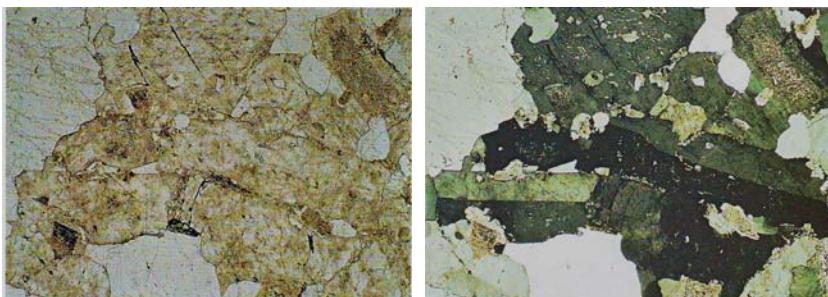
Identifikacija: Od bezbojnih minerala slabog loma i slabog dvoloma, kao što je kvart, sanidin se razlikuje u izbruscima po nižim indeksima loma od kanada balzama. Osim toga od kvarca se razlikuje po optički negativnom karakteru. Od ortoklasa se razlikuje po malom uglu optičkih osi i po tom što je bistar. Ortoklas je zbog jače ili slabije alteracije često mutan. Od nefelina se razlikuje po toma što je nefelin često mutan od produkata izmjene i što se nefelin lako rastvara u hlorovodoničnoj kiselini.

4.6.2. ORTOKLAS $KAlSi_3O_8$

Hemijski sastav: $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ sa 16,9 % K_2O ; 18,4 % Al_2O_3 i 64,7 % SiO_2 . Sadrži Na, nekad procentualno više i od K, zatim primjese BaO , FeO , Fe_2O_3 i dr. Na temperaturi preko 900°C prelazi u visokotemperaturnu modifikaciju, sanidin.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Javlja se u prizmatskim kristalima na kojima su dominirajuće plohe (110), (010), (001), a nekad i (101) i (201). Bezbojni i providni varijeteti ortoklasa nazivaju se adulari, imaju karakterističan oblik na kome su glavne plohe (110), (001) i (101). Sraslaci veoma česti po karlsbatskom (010), manebaškom (001) i bavenaškom zakonu srastanja. Bezbojan, bijele boje, siv, crvenkast, žućkast ili zelenkast (zeleni ortoklas, čija je boja uslovljena prisustvom uklopljenih materija, naziva se amazonit). Sjajnosti staklaste, naročito kod adulara. Savršena cjepljivost po plohi (001) i (010), pod uglom od 90°. U tankim pločicama uvijek providan, u zrnima obično neprovidan, rijede prozračan.



Sl.135. Ortoklas

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Zbog produkata trošenja često je mutan i ponekad slabo providan pokazujući slabu crvenkastu ili smeđastu nijansu. Pukotine cjepljivosti po (001) su dobro izražene. Slabija cjepljivost je smjerom (010) i nesavršena smjerom (110). Prilično je česta tzv. 'murčisonthia cjepljivost'. Tu se radi o strmoj plohi lučenja (801), čije pukotine na plohi (010) s pukotinama cjepljivosti prema (001) čine ugao od 73°.

Indeksi loma su niži od indeksa loma kanada balzama, zbog čega pokazuje negativan reljef.

$$N_x=1,519 \quad N_y=1,524 \quad N_z=1,526$$

Maksimalni dvolom je slab, $N_z-N_x=0,007$. Interferira u sivoj ili sivobijeloj boji prvog reda.

S obzirom na položaj ravnine optičkih osi nema razlike prema sanidinu s normalno simetrijskim položajem ravnine optičkih osi. Glavni vibracioni smjer **Y** gotovo je okomit na (001). Ugao optičkih osi je velik, $-2V=69^0\text{--}72^0$. Oštra simerala **X** ne odstupa mnogo od osi **a**.

Ugao potamnjenja prema pukotinama cjepljivosti smjerom baznog pinakoida (001) u presjecima paralelnim sa (010) iznosi $5^0\text{--}12^0$. Veće vrijednosti odgovaraju varijetetima

bogatijim sa Na-komponentom. U svim presjecima paralelnim s osi **b**, tj. i u presjecima paralelnim s trećim pinakoidom (001), potamni prema pukotinama cjepljivosti po (010) paralelno.

Često se vide karlsbadski blizanci. Kod kristala izduženih smjerom osi **a** česti su i blizanci po bavenaškom zakonu sa jasno izraženim šavom (021). U tim blizancima, pukotinama cjepljivosti (001) i (010) jednog blizaca, odgovaraju pukotine cjepljivosti (010) i (001) drugog blizanca.

T: 6;

H: 2,56 sa minimalnim variranjem uslijed promjenljivosti hemijskog sastava

Geneza i parageneze: Tipičan je magmatski i pegmatitski produkt. U prvom slučaju ortoklas je vezan za magmatske kisele i neutralne stijene i ima karakter bitnog minerala u ovim stijenama, dok su u drugom slučaju vezani za pegmatit i imaju obično veće dimenzije. U kiselim stijenama su u asocijaciji sa kvarcom, dok u bezkvarcnim magmatskim stijenama mogu biti u asocijaciji sa feldspatoidima, najčešće nefelinom i drugim alkalnim silikatima. Relativno je nepostojan. Transformiše se u sericit i kaolinit. Proces pretvaranja ortoklasa kao i drugih kalijskih i natrijsko-kalcijskih feldspata naziva se sericitizacija.

Identifikacija: Indeksi loma su niži od indeksa loma kanada balzama i plagioklasa. U presjecima okomitim na prvu os **a** ugao među pukotinama cjepljivosti smjerom (001) i (010) iznosi tačno 90° . Ne pokazuje polisintetičko bližnjenje, koje je često kod plagioklasa i mikroklina. Od sanidina se razlikuje većim uglom optičkih osi. Ortoklas je otporniji prema djelovanju hidroermalnih rastvora od plagioklaza.

4.6.3. MIKROKLIN $KAlSi_3O_8$

Hemijski sastav: Sastava je istog kao i ortoklas. Uvijek sadrži Na_2O , a nekad Rb_2O (do 1,4 %), Cs_2O (do 0,2 %).

Kristalni sistem: Triklinski



Sl. 136. Mikroklin

Makroskopske osobine: Javlja se u oblicima koji su veoma identični ortoklasu, tako da se teško može uočiti niži stepen simetrije. Takvi kristali izgrađeni su od lamela koje su međusobno srastane po albitskom i periklinskom zakonu srastanja, a mogu biti srastani i karlsbatski. Pojavljuje se i u jedrim i zrnastim masama. Boje je bijele, rjeđe zelenkaste (amazonit), svjetložute ili crvenkaste. Sjajnost staklasta. Prozračan do providan. Cjepljivost savršena kao i kod ortoklaza. Lom ljušturast do neravan.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan ili zbog alteracije mutan. Cijepa se savršeno smjerom (001), slabije smjerom (110) i dosta slabo smjerom (110) i (110). 'Murčisonitno' lučenje je isto kao i kod ortoklasa.

Kao i kod svih alkalnih feldspata, indeksi loma su niži od loma kanada balzama.

$$N_x=1,518-1,522 \quad N_y=1,522-1,526 \quad N_z=1,525-1,530$$

Maksimalni dvolom $N_z-N_x=0,007$ je slab, zbog čega mikroklin interferira u sivoj do bijeloj boji prvog reda. Ravnina optičkih osi ima približno sličan, ali ne isti položaj kao kod ortoklasa. Ugao optičkih osi je velik, $-2V=77^{\circ}-84^{\circ}$. Ugao potamnjena u presjecima smjerom (001) prema osi **a**, koju u tim presjecima označavaju pukotine cjepljivosti smjerom (010) ili šavovi sraslačkih lamela po albitnom zakonu, iznosi oko 15° . U (010) ugao potamnjena je 5° , slično kao kod ortoklasa.

Veoma su karakteristični sistemi bliznih lamela koji se vide u mikroklinu. Oni na presjecima smjerom (001) uzrokuju tzv. rešetkastu strukturu, koja je posljedica istovremenog nastupanja bliznih lamela po albitskom i periklinskom zakonu. Lamele po albitnom zakonu dokaz su da mikroklin kristališe triklinski, jer je u monoklinskom sistemu taj zakon srastanja nemoguć. Tragovi lamela po tom zakonu su u plohi (001) paralelni s osi **a**, kao smjerom u kojem se sijeku (001) i (010). Kod lamela uloženih po periklinskom zakonu sraslački šav je rompski presjek, koji je kod mikroklina gotovo okomit na (001); tragovi tih lamela su u tom pinakoidu paralelni s osi **b** mikroklina, jer je ravnina koja prolazi kroz os **b**. Obzirom da ugao između te dvije osi iznosi skoro 90° , spomenuta dva sistema lamela su u plohi (001) međusobno gotovo okomito. Na plohama (100), odnosno (010), vidi se samo jedan sistem lamela. Mikroklini bez tih lamela su vrlo rijetki.

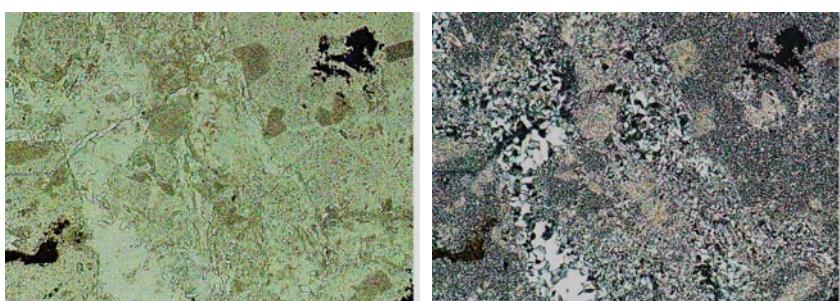
T: 6

H: 2,56.

Geneza i parageneze: Postanka je istog kao i ortoklas, samo je u pegmatitima češći.

Identifikacija: Zrna mikroklina obično su svježija od zrna ortoklasa. Indeksi loma su manji od indeksa loma kanada balzama, što se jednostavno utvrdi pomoću Beckeove linije. Zbog slabog dvoloma interferentne boje su niske. Karakteristična je rešetkasta struktura. U rijetkim slučajevima, kada se radi o mikroklinu bez te strukture, može se razlikovati od ortoklasa po kosom potamnjenu u (001) prema osi **a**, koji iznosi 15° . Ortoklas u tim presjecima potamni paralelno.

4.6.4. ADULAR KAISi₃O₈



Sl.137. Adular

Kada ortoklas nastaje hidroermalno, tada se na njegovim kristalima plohe pinakoida (010) sasvim suze ili ih uopšte nema. Na kristalima izduženim smjerom osi **c** razvijene su uz prizmu (110) još i plohe (001) i ($\bar{1}01$). Kristali podsjećaju na stupiće rompske simetrije, jer su terminalne plohe (001) i ($\bar{1}01$) gotovo jednako nagnute prema osi **c**; prva za $26^{\circ}03'$, a druga za $24^{\circ}13'$. Takva odlika ortoklasa naziva se adular. Potpuno bistro i bezbojni kristali adulara zbog niske temperature postojanja nisu mogli u sebe izomorfno primiti Na-komponentu. Radi toga je adular najčistiji kalijski feldspat u prirodi u kome sadržaj Na_2O vrlo rijetko prelazi 1 %, sa maksimumom od 1,5 %.

Mikroskopske osobine: Za adular u mikroskopskim preparatima vrijede iste karakteristike kao i za ortoklas, s tim da je adular uvijek svjež i bezbojan. Česti su blizanci po manebaškom i bavenskom zakonu, često u zajedničkoj kombinaciji, stvarajući blizance četvorke.

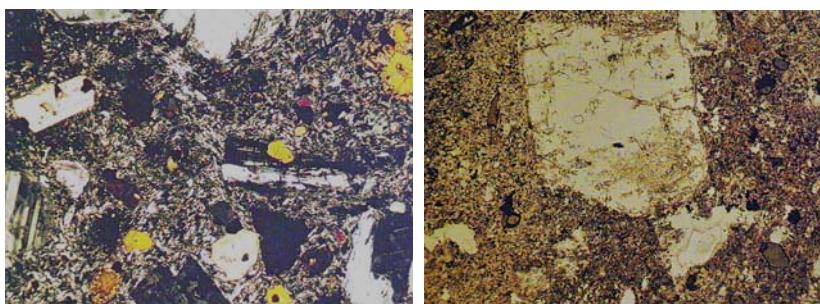
Adular je gotovo uvijek potpuno svjež. U prirodi se javlja kao hidroermalni mineral u rudnim žilama i u pukotinama alpskog tipa u kristalastim škriljcima zajedno sa hloritom, kvarcom, sfenom, albitom itd.

4.6.5. ANORTOKLAS ($\text{Na},\text{K}\text{AlSi}_3\text{O}_8$)

Hemski sastav: U prirodi dolazi kao natrijem bogat alkalni feldspat, kod koga se sadržaj Na_2O koleba od 7,2 % do 8,9 %, a sadržaj K_2O od 0,2 do 5,4 %.

Kristalni sistem: Monoklinski; po Strunzu strukturno nedefinisan. Predstavlja jedan od članova neprekidnog niza visokotemperaturnog albita i visokotemperaturnog sanidina. U tom nizu javlja se promjena simetrije u smislu, da su članovi serije koji sadrže 100 % do 63 % albitskih molekula triklinski.

Makroskopske osobine: Svojim oblicima podsjeća na ortoklas. Najčešće razvijene plohe su (201), (110) i ($\bar{1}10$). Više puta pokazuje rešetkastu građu kao i mikroklin. Često srasta karlsbatski, manebaški i bavenski, a lamele u lamelarno-rešetkastim zrnima-po albitskom zakonu. Bezbojan ili zamućen. Sjajnost staklasta. Cjepljivost po plohi (010) savršena.



Sl.138. Anortoklas

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Cijepa se savršeno smjerom (001) i nešto slabije smjerom (010), kao i drugi feldspati.

Indeksi loma, osim ponekad N_z , manji su od indeksa loma kanada balzama.

$$N_x=1,519-1,536 \quad N_y=1,522-1,539 \quad N_z=1,524-1,541$$

Maksimalni dvolom je slab, $N_z-N_x=0,005-0,007$, te interferira u sivoj boji prvog reda. Ravnina optičkih osi ima sličan položaj kao kod ortoklasa; ona je skoro okomita na drugi pinakoid (010). Oštra simetrala **X** bliže je osi **a**, praveći s njom ugao od $4^{\circ}-10^{\circ}$. Ugao optičkih osi je malen, $-2V=42^{\circ}-62^{\circ}$. Ugao potamnjenja u presjecima (010) iznosi $4^{\circ}-10^{\circ}$ prema tragovima pukotina cjepljivosti po (001), koji označava os **a** u (010).

Anortolas često pokazuje rešetkastu građu kao mikroklin. Obzirom da su lamele obično tanje nego kod mikroklina, vide se jasno tek u vrlo tankim izbruscima. Rompski presjek smjerom kojeg su uložene lamele po periklinskom zakonu, kod anortoklasa je gotovo paralelan sa (001); radi toga se rešetkasta građa primjećuje na presjecima okomitim na os **a** ili paralelnim sa (100) (kod mikroklina se ona vidi u presjeku smjerom (001)).

T: 6.

H: Različita zbog različitog sadržaja kalijске komponente (2,56-2,6);

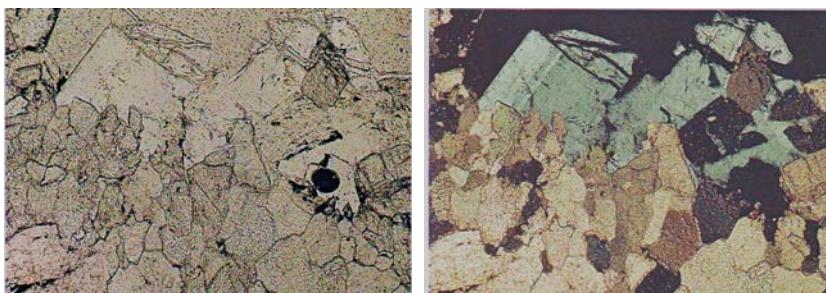
Geneza i parageneze: Javlja se gotovo isključivo u vulkanskim stijenama koje su bogate natrijumom. U stijeni je obično svjež. Iz njega metamorfozom nastaju kaolinit i sericit.

Identifikacija: Karakteristični su indeksi loma, koji su gotovo uvijek niži od indeksa loma kanada balzama, i razmjerne mali ugao optičkih osi (oko 50°). Po tome ga je lako razlikovati od plagioklasa. Od mikroklina se razlikuje po malom uglu potamnjenja u (001). Ako nema rešetkaste građe može se lako zamjeniti sa sanidinom, ako se ne odredi ugao optičkih osi i koso potamnjenja u (001). Često prorasta sa sanidinom. Pertitna građa u anortoklasu se ne vidi.

4.6.6. KALIJSKO-BARIJSKI FELDSPATI (HIJALOFANI)

Između barijskog feldspata (celzijana)- $BaAl_2Si_2O_8$ i kalijskog feldspata-KAlSi₃O₈ postoji čitav niz izomorfno smješa, koje nazivamo hijalofanima. Ovoj grupi pripadaju relativno rijetki minerali. Sadržaj BaO u celzijanu varira od 34 do 42 %.

Hijalofani i celzijani kristališu monoklinično u prizamtičnim oblicima. Po morfološkim i fizičkim osobinama oni su veoma bliski ortoklasu i od njega se mogu razlikovati samo sadržajem Ba, povišenom gustinom (2,6-2,8 za hijalofan; 3,32-3,37 za celzijan), kao i optičkim osobinama. Njihovo pojavljivanje je vezano za kontaktno-metasomatska ležišta. Hijalofan se može naći u vrlo krupnim kristalima kod Busovače u Bosni.



Sl.139. Hijalofan

4.7. PLAGIOKLASI

Ovdje pripadaju plagioklasi, koji obuhvataju kompletну izomorfnu seriju minerala počev od čisto natrijskog feldspata-albita (ab) do čisto kalcijskog feldspata-anortita (an), odnosno od $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ do $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$. Obično sadrže i nešto molekula KAlSi_3O_8 po nekim autorima do 5 %, a po drugima najviše do 10 %. U tom slučaju, opća hemijska formula plagioklasa bila bi:



gdje n varira od 0-100 %.

U grupu plagioklasa ulaze ukupno 6 minerala, koji se u hemijskom pogledu razlikuju po različitom procentualnom sadržaju albitske, odnosno anortitske komponente. Otuda, prema klasifikaciji E.S. Fedorova svaki plagioklas se označava brojem koji odgovara procentualnom sadržaju anortitske komponente u njima. Tu spadaju:

- albit	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	0-10 %	An.komponente
- oligoklas izomorfne		10-30 %	"
- andenzin smjese		30-50 %	"
- labrador Ab + An		50-70 %	"
- bitovnit		70-90 %	"
- anortit	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	90-100%	"

Prema smanjenju procentualnog sadržaja $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ komponente, povećava se procentualni sadržaj SiO_2 , pa u tom smislu se dijele na: kisele, neutralne, ili intermedijarne i bazične. Vještačka podjela plagioklasa prema kiselosti je: kisieli (sa 0-30 % An.), neutralni (sa 30-60 % An.) i bazični (sa 60 –100 % An.).

Hemijski sastav: Hemijski sastav plagioklasa bi bio:

Sastav %	Nº- O	Nº- 25	Nº- 50	Nº- 75	Nº 100% Anortit
SiO_2	68,81	62,43	56,05	49,07	43,28
Al_2O_3	19,40	23,70	28,01	32,33	36,62
CaO	-	5,03	10,05	15,08	20,10
Na_2O	10,79	8,84	5,89	2,92	-

Osim Na i Ca, plagioklasi mogu sadržavati K_2O , zatim BaO , SrO , FeO i Fe_2O_3 .

Kristalni sistem: Triklinični, holoedrija

Makroskopske osobine: Na kristalima su najčešće razvijene plohe (010), (001), (110), ($\bar{1}\bar{1}0$) i dr. Mogu biti pločasti kristali po plohi (010), a mogu biti debelostubičasti. Opća im je osobina da se javljaju kao sraslaci srastani po karlsbatskom, manebaškom ili albitskom zakonu srastanja. Nesrastana zrna plagioklasa su rijetka. Česti su polisintetski sraslaci. Vrlo često su srastani istovremeno po nekoliko zakona srastanja.

Boje su bijele, sive zelenkaste, crvenosive, plavičaste do bezbojni. Staklaste sjajnosti, a na površinama cjepljivosti do sedefaste. Savršene cjepljivosti po plohama (001) i (010). Lom neravan. Pojedine fizičke, a naročito hemijske osobine zavisne su od hemijskog sastava, odnosno procentualnog učešća Ab, odnosno An komponente.

Mikroskopske osobine: Svježi neizmjenjeni plagioklasi u mikroskopskim preparatima su bezbojni. Često se primjećuju lijepo izražene pukotine cjepljivosti smjerom (001) i (010), koje su međusobno gotovo okomite, ako je zrno presječeno okomito na os **a**. Ako su zahvaćeni procesima transformacije, zamućeni su i slabo providni.

Kristali samci su rijetki. Veoma česte su sraslačke tvorevine, koje su obično polisintetičke i sastavljene od više sraslačkih zakona. Vrlo često se vidi zonarna građa, posebno na utrscima efuzivnih stijena. Obzirom da su kristali u mnogim eruptivnim stijenama tankopločasti smjerom (010), njihovi presjeci u izbruscima izgledaju u tim slučajevima stupičasto ili prutičasto.

Indeksi loma rastu od albita s postepenim povećanjem anortitske komponente u izomorfnoj smjesi.

$$N_x=1,527-1,577 \quad N_y=1,532-1585 \quad N_z=1,534-1,590$$

Kod albita su sva tri indeksa loma niža od indeksa loma kanada balzama, što se može ustanoviti pomoću Beckeove linije, dok sa promjenom hemizma raste i kod anortita je indeks loma veći od indeksa loma kanada balzama.

Maksimalni dvolom je malen, 0,007 kod albita do 0,013 kod anortita. Plagioklasi radi toga interferiraju u bijeloj ili žutoj boji prvog reda.

Optička indikatrica mijenja s promjenom hemizma ne samo svoj oblik, koji ovisi o indeksima loma N_x, N_y i N_z , nego i svoj položaj u kristalnoj gradi plagioklasa. S tim u vezi mijenja se ugao optičkih osi, koji je velik, osim u kiselim visokotemperaturnim plagioklasima. Optički karakter je kod nekih pozitivan, kod nekih negativan. S promjenom oblika i smještaja indikatrice u ovisnosti o hemizmu plagioklasa, ovise i uglovi potamnjena na pojedinim plohama, odnosno presjecima. Iz uglova potamnjena može se odrediti sastav plagioklasa.

Kod plagioklasa su najčešći blizanci po albitnom, karlsbadskom i kompleksnom albitno-karlsbadskom zakonu s plohom (010) kao bliznim šavom. Najčešći je albitni, kod kojeg obje srasle jedinke paralelno potamne simetrično prema šavu u svakom presjeku okomitom na šav (010). Svi takvi presjeci koji prolaze kroz normalu na (010), nazivaju se presjeci iz zone simetrijskog potamnjena.

Da bi utvrdili radi li se o presjeku iz zone simetrijskog potamnjena, potrebno je potražiti blizance kod kojih se šav ili njemu paralelne pukotine cjepljivosti ističu kao uske linije, prema kojima obje srasle jedinke ili sraslačke lamele simetrično potamne ili od te simetričnosti znatno ne odstupaju. Da su pukotine cjepljivosti ili šavovi okomiti ili gotovo okomiti na ravninu izbruska, može se provjeriti uz jako povećanje na taj način da pri sporom spuštanju ili dizanjem tubusa pukotine ostaju i dalje tanke i ne pomjeraju se desno i lijevo, odnosno gore i dole, u odnosu na poprečnu nit u okularu. Da bi ti presjeci bili istovremeno okomiti i na (001), tj. na os **a**, u kojoj se sijeku (010) i (001), treba potražiti takve presjeke sa simetričnim potamnjenjem, kod kojih se gotovo okomito na šav simetrijskog potamnjena vide oštro izražene pukotine cjepljivosti. One odgovaraju cjepljivosti po (001). Kod plagioklasa srednjeg sastava u tu svrhu mogu poslužiti i lamele po periklinskom zakonu, jer je rompski presjek kao šav prema kojem su uložene te lamele skoro ništa ne razlikuje od osnovnog pinakoida (001). Ugao između ta dva sistema kreće se oko 86° . Ugao potamnjena mjeri se uvijek prema vibracionom smjeru

talasa nižeg indeksa loma X'. za kontrolu određivanja može se u tim presjecima iskoristiti nesimetrijsko potamnjene u lamelama uloženim po karlsbadskom zakonu, ako se one u presjeku javlaju.

Ugao potamnjena za plagioklase je u različitim presjecima različit. U nekom određenom presjeku on ima maksimalnu vrijednost, koja se takođe može iskoristiti za određivanje sastava plagioklasa. U tu svrhu od presjeka iz te zone traži se samo one kod kojih je ugao potamnjena smjera X' prema tragu cjepljivosti ili šava po (010) što veći. Mjerenjem na 5 do 10 zrna mjeri se vrijednost maksimalnog ugla potamnjena. Već je ranije rečeno da maksimalni ugao potamnjena ovisi o hemizmu plagioklasa, te se preko Beckeove linije indeksi loma plagioklasa sa indeksima loma kanada balzama.

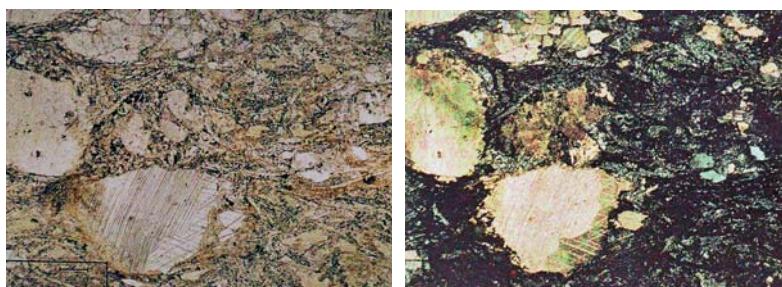
Presjeci iz zone simetrijskog potamnjena u kojima se uz par srašten po albitnom zakonu nalazi jedinka sraštena s jednom jedinkom iz albitnog zakona po karlsbadskom zakonu predstavljaju trojke. Svaki od njih može poslužiti za određivanje sastava plagioklasa. U ona dva pravca koja su rasla po albitnom zakonu odredi se ugao simetrijskog potamnjena X' prema tragu šava ili prema pukotinama cjepljivosti (010). Jedinka srasla po karlsbadskom zakonu ne potamni simetrično prema tragu (010). U njemu se izmjeri nesimetrično potamnjene X' prema tom tragu. Iz ta dva potamnjena može se pomoću Kohlerova dijagrama odrediti sastav (Sl.140). Izvučenim krivuljama u toj slici označena je nesimetrijska, a crtkanim simetrična potamnjena. Spomenute krivulje sijeku se u tački čija ordinata siječe apscisu os dijagrama. Taj broj označava koliko molekularnih procenata anortita ima u mjerenu plagioklasu.

Za određivanje sastava plagioklasa prema uglovima potamnjena postoje i drugi dijagrami: Schuster, Fouque.

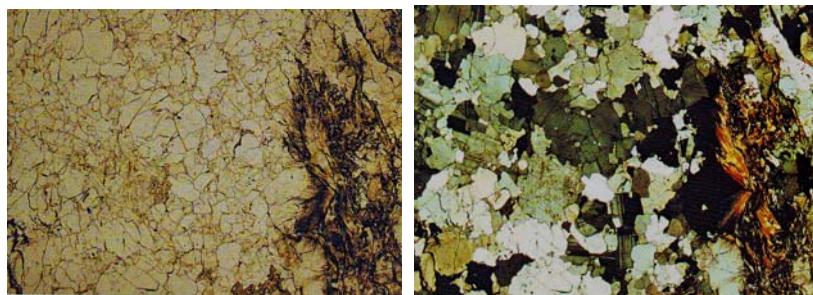
T: 6.

H: Od 2,62 do 2,76.

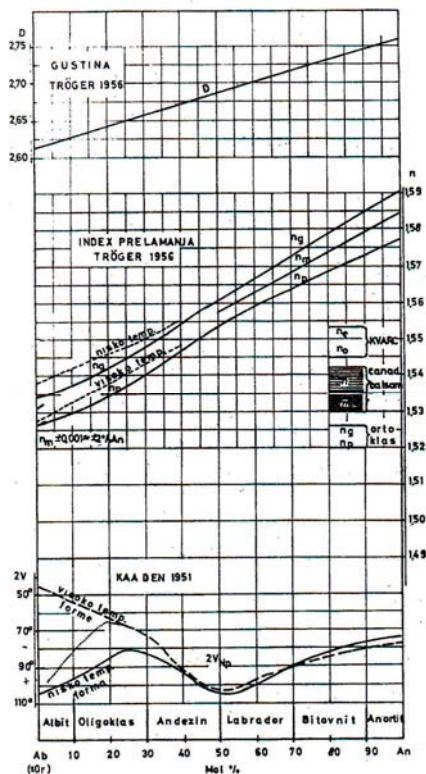
Geneza i parageneze: Pripadaju grupi endogenih minerala i kao takvi javljaju se u mnogim eruptivnim stijenama. Kiseli plagioklasi karakteristični su za kisele magmatske stijene i za neke metamorfne stijene. Pojavljuju se i u pegmatitima. Intermedijni članovi serije plagioklasa karakteristični su za prelazne stijene dioritske i kvarcdioritske magme kao i za neke tipove metamorfnih stijena, dok su bazični plagioklasi karakteristični sastojci kako intruzivnih tako i efuzivnih bazičnih stijena. Prilično su nepostojani minerali i pretvaraju se u sericit, kaolinit i zeolite.



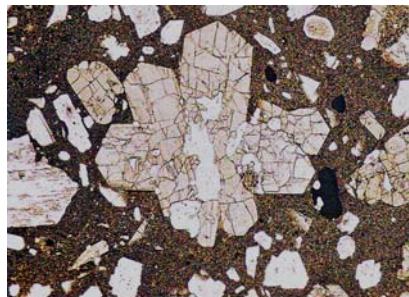
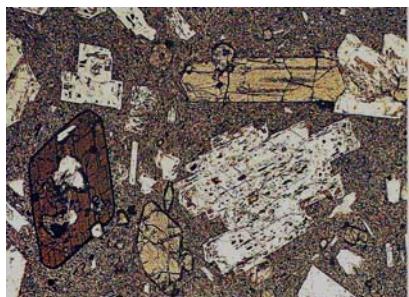
Sl.141. Albit



Sl.142. Oligoklas



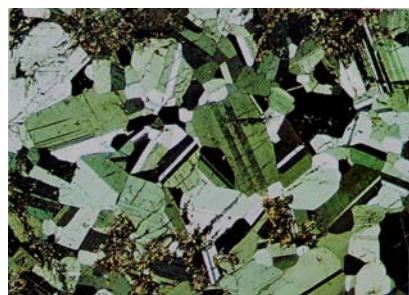
Sl.140. Variranje indeksa loma, dvoloma i ugla optičkih osi o sastavu plagioklasa



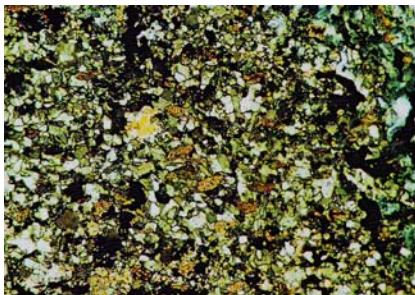
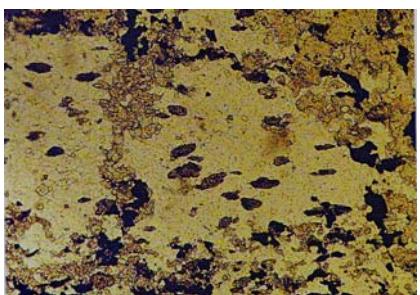
Sl.143. Andenzin



Sl.144. Labrador



Sl.145. Bitovnit



Sl.146. Anortit

4.8. GRUPA COISITA-EPIDOTA

Minerali koji pripadaju grupi epidota mogu se predstaviti opštom formulom $R_2R_3(Si_2O_7)(SiO_4)(O,OH)_2$. R_2 u formuli uvijek predstavlja Ca koji djelimično može biti zamijenjen sa Y, Ce, Th, U, kao i Na, a R_3 predstavlja Al, koji kao i Ca može biti djelimično zamijenjen sa Cr, Ti, V i P.

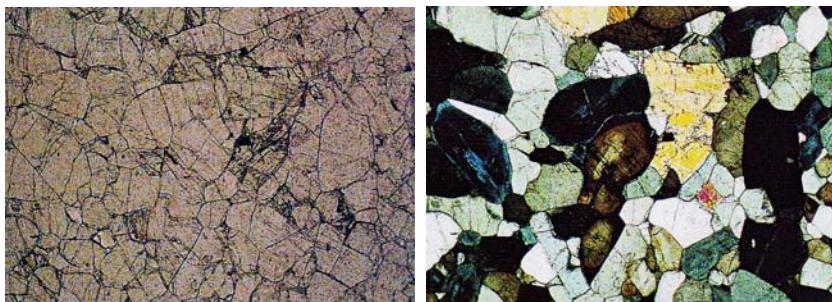
Glavni predstavnici ove grupe epidota su rompske i moniklinske simetrije, a predstavljeni su članovima:

coisit	$Ca_2AlAl_2SiO_4Si_2O_7O,OH$
klinocoisit sa sadržajem Fe ₂ O ₃	od 5 do 10 %
epidot (pistacit)	$Ca_2(Al,Fe)Al_2SiO_4Si_2O_7O,OH$
pijemontit	$Ca_2(Al,Fe,Mn)_3SiO_4Si_2O_7OH$
ortit	$(Ca,Ce,La)_2(Fe^{2+},Fe^{3+})Al_2SiO_4Si_2O_7O,OH$
alanit (magnezijski ortit)	$(CaCeMg)_2AlSi_3O_{12},OH$
nagatelit	$(Ca,Ce)_2(Al,Fe,Fe)_3OH(Si,P)_3O_{12}$

Pored ovih varijeteta razlikuju se još: tavnavit, u čiji sastav ulazi Cr, Gankoit koji sadrži Pb i Sr i pikroepidot kod koga je Ca zamijenjen sa Mg.

Klinocoisit-pistacit-pijemontit, ortit-magnezijski ortit-nagatelit predstavljaju dvije kontinuirane izomorfne smjese. Između epidota i alanita ne postoje kristali mješanci.

4.8.1. CIOSIT $Ca_2AlAl_2SiO_4Si_2O_7,OH$



Sl.147. Cosit

Hemijski sastav: Sadrži 24,6 % CaO; 33,9 % Al₂O₃; 39,5 % SiO₂; 2 do 5 % Fe₂O₃ i 2 % H₂O. Al može biti zamijenjen sa 2 do 5 % Fe₂O₃. Pored toga može sadržati male količine Mn, tzv. tuliti i nešto malo Cr, uslijed čega dobijaju zelenkastu boju.

Kristalni sistem: Rompski.

Makroskopske osobine: Javlja se u izduženim kristalnim oblicima, a najčešće u prutičastim, sitnozrnastim i jedrim agregatima. Kristalne forme su: (110), (120), (130), (140), (530). Boje zelene u različitim nijansama, zelen kao jabuka, zelenkastosiv, siv, ružičast (od Mn), žućkastosiv. Ogreb bijel. Sjajnost staklasta. Cjepljivost savršena po pljosni (010), a nesavršena po (100).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu štapičasti presjeci coisita su bezbojni. Cjepljivost uzduž kristala uvijek je jasno vidljiva. Poprečni presjeci su romb ili pseudoheksagon.

Indeksi loma visoki, reljef coisita istaknut pozitivan.

$$N_x=1,696-1,700 \quad N_y=1,696-1,703 \quad N_z=1,702-1,718$$

Dvolom je malen do umjeren, $N_y-N_x=0,006-0,018$.

Postoje dvije vrste coisita. U coisitu ne koji sadrži željezo (α -coisit) ravnina optičkih osi paralelna je s drugim pinakoidom (010), tj. s cjepljivošću. U coisitu koji sadrži 5% Fe_2O_3 (β -coisit) ravnina optičkih osi paralelna je s trećim pinakoidom (001), tj. okomita na cjepljivost.

Željezoviti coisit pokazuje normalne interferentne boje, siva boju prvog reda do plavu boju drugog reda. $2V=30-60^\circ$. disperzija $r>v$ jaka. Coisit bez željeza u presjeku paralelnom s (100) pokazuje anomalnu indigoplavu interferentnu boju, ugao optičkih osi $2V$ vrlo malen, često 0° . disperzija $r<v$ vrlo jaka. Potmni paralelno. Polisintetske lamele ponekad su razvijene.

T: 6.

H: 3,25 do 3,36.

Geneza i parageneze: Obično je produkt hidrotermalnog raspadanja plagioklasa bazičnih eruptivnih stijena. U asocijaciji je sa amfibolima. Pojavljuje se i u nekim hidrotermalnim ležištima u paragenezi sa sulfidnim mineralima Fe i Cu. U zelenim škriljcima stvara se u rezultatu regionalnog metamorfizma.

Identifikacija: Štapičasti kristali s uzdužnom cjepljivošću, visok reljef, mali dvolom, paralelno potamnjjenje i jaka disperzija su karakteristike coisita. Razlikuje se od epidota jer je bezbojan i puno slabijeg dvoloma, a od klinocoisita paralelnim potamnjnjem i manjim uglom optičkih osi. Naročito je karakteristična anomalna indigoplava interferentna boja coisita bez željeza.

4.8.2. KLINOCOISIT $Ca_2Al_3(OH)(SiO_4)_3$

Hemjski sastav: Postoji kontinuirana izomorfna serija epidota od čiste komponente $Ca_2Al_3(OH)(SiO_4)_3$ do približno 40 mol % $Ca_2Fe_3(OH)(SiO_4)_3$. Klinocoosit sadrži do 10 mol. % željezne komponente.

Kristalni sistem: Monoklinski, prizmatska klasa.



Sl.148. Klinozoizit

Mikroskopske osobine: Kristali su izduženi smjerom osi **b** s prutnjima u istom pravcu. Odlične je cjepljivosti paralelno s trećim pinakoidom (001), a slabe paralelne sa (100). Boje je sive do žućkastozelene. Blizanci smjerom (100) dosta rijetki. Uzdužni presjeci paralelni s osi **b**, nepravilni su izduženi pravougaonici, a poprečni romb ili pseudoheksagon. Cjepljivost paralelno izduženju, smjerom (001) uvijek jasna. U mikroskopskim preparatima klinocoisit je bezbojan.

Indeksi loma su visoki, reljef je istaknut, pozitivan.

$$N_x=1,710-1,723 \quad N_y=1,715-1,729 \quad N_z=1,719-1,734$$

Dvolom je malen $N_y-N_x=0,005-0,011$, interferentne boje su prvog reda, ali su anomalne. Siva boja je slabo plava, žuta je zelankastožuta. Ravnina optički osi paralelna je sa (010). Ugao optičkih osi je velik, $2V=66^{\circ}-90^{\circ}$. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja u nekim presjecima je pozitivan, u nekim negativan. To je posljedica što paralelno izduženju titra zraka međuvrijednosne brzine Y . Disperzija $r < v$ jaka.

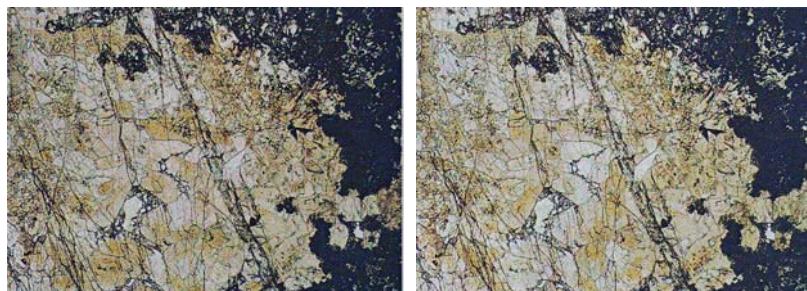
Potamni paralelno izduženju i pukotinama cjepljivosti (001). $Y=b$: cjepljivost (001)= 0° . u presjecima koji su manje-više paralelni s drugim pinakoidom (010) potamnjene je koso, Z :cjepljivost (001)= $15^{\circ}-25^{\circ}$.

Polisintetske blizne lamele smjerom (100) su rijetke.

Geneza i parageneza: Vrlo je raširen mineral u kontaktometamorfnim i regionalnometamorfnim stijenama. Nastaje hidroermalnim i pneumatolitskim procesima, produkt alteracije kalcijskih alumosilikata, naročito bazičnih plagioklasa (sosiritizacija). Najčešće se javlja s epidotom, amfibolima, granatom, vezuvijanom. Metamorfoze nisu poznate.

Identifikacija: Klinocoisit se razlikuje od epidota jer je bezbojan, nema pleohroizma, malog je dvoloma i optički je pozitivan. Razlikuje se od coisita žutozelenom interferentnom bojom prvog reda i većim uglom optičkih osi.

4.8.3. EPIDOT $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$



Sl.149. Epidot

Hemijski sastav: Kako po hemijskom sastavu, tako i strukturno, pripada složenijem spoju. Sadrži 23,5 % CaO ; 24,1 % Al_2O_3 ; 37,9 % SiO_2 ; 12,6 % Fe_2O_3 i 1,9 % H_2O . S obzirom na procentualno zamjenjivanje Al sa Fe, kao i na prisustvo drugih elemenata koji nisu prikazani u formuli epidota, razlikuju se tri vrste varijeteta:

-klinozoizit- varijetet epidota sa sadržajem Fe_2O_3 od 5 do 10 %;

- piemontit- varijetet kod koga je veći dio Al zamijenjen sa Mn i Fe;
- puškinit- varijetet sa sadržajem alkalnih metala Na_2O i LiO_2 .

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Javlja se u jednostavnim kristalnim formama, kao i u sitnozrnastim i jedrim agregatima, a u nanosu je karakterističan po izduženim uglastim i okruglim zrnima. Kristalne forme su: (001), (100), ($\bar{1}01$), ($\bar{1}\bar{1}1$), (110), (101), (201), (301), (102), ($\bar{2}01$), (011), (111) i (112). Bližnjenja paralelna pljosni (100). Boje je zelene u različitim nijansama, a u zavisnosti od sadržaja Fe. Neki varijeteti imaju crnu ili crveno ljubičastu boju. Boje ogreba je bijela do svijetlobijela. Sjajnost staklasta. Cjepljivost savršena po pljosni (001), a nesavršena po pljosni (100).

Mikroskopske osobine: Uzdужni presjeci u mikroskopskom preparatu, paralelni s osi **b** su izduženi pravougaonici. Poprečni presjeci su pseudoheksagoni. U mikroskopskom preparatu može biti bezbojan, najčešće žut i zelen. Slabog je pleohroizma u žutim i zelenim nijansama.

Indeksi loma su visoki, te jakog pozitivnog reljefa.

$$N_x=1,720-1,734 \quad N_y=1,724-1,763 \quad N_z=1,734-1,779$$

Dvolom je umjeren do velik, $N_y-N_x=0,014-0,045$, te interferira u živim bojama drugog i trećeg reda. Veličina dvoloma povećava se sa količinom željeza u molekuli epidota. Ravnina optičkih osi paralelna je s drugim pinakoidom (010). Ugao optičkih osi je velik i variabilan, $2V=69^{\circ}-89^{\circ}$. Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je u jednom presjeku pozitivan, a u drugom negativan, jer paralelno izduženju titra zraka međuvrijednosne brzine **Y** disperzija $r>v$ jaka.

Uzdужni presjeci s pukotinama cjepljivosti potamne paralelno, jer je **b=Y**. Presjeci paralelni s drugim pinakoidom (010) potamne koso, jer je Z:pukotine cjepljivosti (001)= $15^{\circ}-25^{\circ}$. Polisintetske blizne lamele smjerom (100) su rijetke.

T: 6,5.

H: 3,35-3,5.

Geneza i parageneze: Tipičan je kontaktno-metasomatski mineral. Nalazi se u asocijaciji sa granatima, aktinolitom, hloritom, kvarcom, albitom i drugim mineralima. Stvara se i transformacijom piroksena, amfibola i plagioklasa. Transformacijom plagioklasa stvara se epidot zajedno sa smješom coisita, poznatom pod imenom sosirit. Karakterističan je sastojak i u metamorfnim stijenama (epidot-hloritski škriljci). Čest je sastojak nanosa.

Identifikacija: Epidot je vrlo karakterističan mineral, visokog reljefa, živih interferentnih boja i gotovo redovno paralelnog potamnjnenja. Ta ga svojstva razlikuju os srodnih minerala, coisita, klinocoisita, koji su malog dvoloma i često anomalne plave interferentne boje.

Pijemontit, manganski epidot, razlikuje se od epidota karakterističnim vrlo živim pleohroitskim bojama, X=žut do narandžast, Y=ljubičast, Z=otvoreno do tamnocrven. Jakog je pozitivnog reljefa, $n=1,745-1,832$, i vrlo velikog dvoloma do 0,082, ali su interferentne boje prekrivene vlastitom bojom. Javlja se u nekim škriljcima i u gnajsu.

Alanit (ortit), cerski epidot, po kristalografskim osobinama je sličan epidotu. U mikroskopskom preparatu je karakterističnog pleohroizma od blijedosmeđe do tamnosmeđe boje. Indeksi loma su visoki, $n=1,64-1,80$, dvolom $N_y-N_x=0,01-0,03$, ali su

interferentne boje prekrivene vlastitom smeđom bojom. Zbog radioaktivnosti podliježe izotropizaciji. Nastali metamiktni mineral je amorfna materija istog sastava kao i alaniit. Javlja se u granitima, pegmatitima i gnajsu.

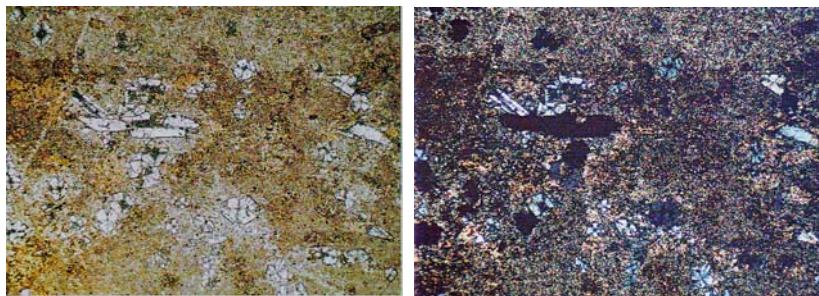
4.9. GRUPA SILIMANITA

4.9.1. ANDALUZIT Al_2SiO_5

Hemijski sastav: Polimorfna modifikacija silimanita. Kao i silimanit može sadržati Fe_2O_3 , nekad u većem postotku, a vrste andaluzita sa 7 % Mn_2O_3 , nazivaju se viridin.

Kristalni sistem: Romski, rompska bipiramidalna

Makroskopske osobine: Javlja se u stubičastim kristalima. Nekad su u kristalima obuhvaćene tamne inkluzije karbonatne ili glinovite materije koje se u njemu raspoređuju po određenom kristalografskom pravcu-simetrično, što pri poprečnom presjeku ostavlja utisak krsta. Takav varijetet se naziva *hijastolit*. Inače, često se javlja u prutičastim, igličastim i zrnastim agregatima. Boje je ružičaste, bijedožute, zelenkaste (varijeteti sa Mn), svijetlocrvene i mrke (varijeteti sa Fe), nekad siv do tamnosiv. Boja ogreba bijela. Sjajnost staklasta. Cjepljivost po pljosni (110), primjetna.



Sl. 150. Andaluzit

Mikroskopske osobine: Mikroskopski presjeci paralelni s kristalografskom osi **c** izduženi su pravougaonici. Paralelno izduženju teku pukotine cjepljivosti. Presjeci okomiti na os **c** kvadratični su i pokazuju dva sistema prizmatske cjepljivosti, koji se sijeku pod pravim uglom. Česti su divergentnotrakasti agregati, kao prsti na ruci.

Bezbojan je, a nekad nejednoliko ružičasto obojen. Tada pokazuje slab pleohroizam u ružičastim i zelenkastim bojama, X=ružičast, Y=Z=zelenkast.

Indeksi loma relativno su visoki, zbog čega pokazuje pozitivan reljef.

$$N_x=1,629-1,640 \quad N_y=1,633-1,644 \quad N_z=1,639-1,647$$

Dvolom je malen, $N_z-N_x=0,007-0,011$, i zato interferira u sivoj boji do maksimalno žučkastoj boji prvog reda. Optički je negativan $-2V=85^\circ$. Optički karakter zone izduženja je negativan. Potamni paralelno. U presjeku okomitom na os **c** potmnenje je simetrično.

T: 7,5;

H: 3,14.

Geneza i parageneze: Tipičan je metamorfni mineral, vezan za kontaktni oreol magmatskih i glinovirih stijena; javlja se u gnajsevima, škriljcima, nekad u pegmatitima, u asocijaciji sa turmalnom, korundom, muskovitom, biotitom, kvarcom, topazom i dr.

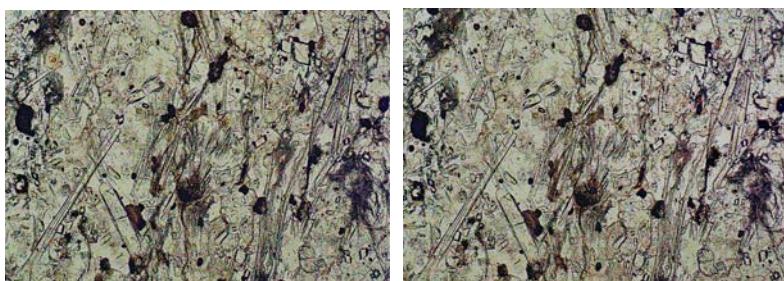
Identifikacija: Karakteristična je njegova forma, radijalnotrakasti agregati, slab pleohroizam, visok reljef i sive interferentne boje.

4.9.2. SILIMANIT Al_2SiO_5

Hemski sastav: Sadrži Fe_2O_3 2-3 %.

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Javlja se u igličastim kristalima bez završnih pljosni, kao i u vlaknastim i fibroznim agregatima. Bezbojan, providan, nekad zelenkastomrk. Boja ogreba bijela. Cjepljivost po pljosni (010), savršena. Sjajnosti staklaste.



Sl.151. Silimanit

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima najčešće se pojavljuju štapičasti kristali produžen smjerom osi **c**, često savijeni. U većim individuama jasno je primjetna pinakoidalna cjepljivost. Poprečne pukotina vrlo su česte.

U mikroskopskim preparatima silimanit je bezbojan. Indeksi loma relativno visoki, pa pokazuje istaknut pozitivan reljef.

$$N_x=1,657-1,661 \quad N_y=1,658-1,670 \quad N_z=1,677-1,684$$

Dvolom je umjeren, $N_z-N_x=0,020-0,023$, i interferira u plavoj i zelenoj boji drugog reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s drugim pinakoidom (010). **Nz** se podudara s kristalografskom osi **c**. ugao optičkih osi je malen, $2V=20^{\circ}-30^{\circ}$. Optički je pozitivan. Potani paralelno.

T: 7

H: 3,24.

Geneza i parageneze: Pojavljuje se u dinamometamorfnim i kontaktometamorfnim stijenama. Sastojak je mnogih kristalastih škriljaca i gnajseva, gdje je u asocijaciji sa granatima, nekad sa andaluzitom, spinelima i drugim aluminijskim mineralima. Javlja se i u produktima stvaranim u procesu kontaktnog metamorfizma sedimentnih stijena bogatih aluminijumom sa granitskom magmom ili drugim eruptivnim stijenama. Transformacijom prelazi u sericit, kao i u minerale glina, mada je vrlo rezistentan mineral.

Identifikacija: Za silimanit su karakteristični štapićasti do igličasti kristali, često malo savijeni, visok reljef, žive interferentne boje i paralelno potamnjene. Mali ugao optičkih osi i pozitivan optički karakter zone izduženja takođe su značajni. Andaluzit i apatit pokazuju negativan optički karakter zone izduženja; apatit je osim toga optički jednoosan i malog je dvoloma.

4.9.3. MULIT $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

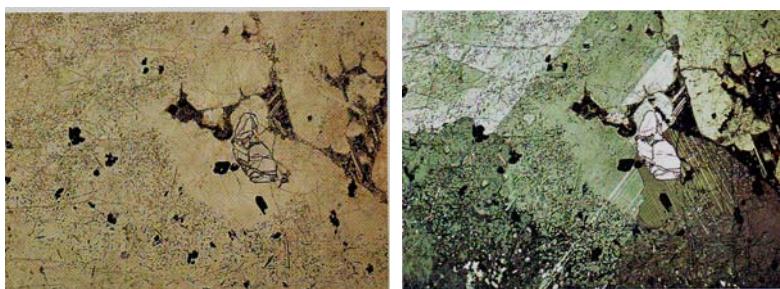
Hemski sastav: Hemski sastav promjenjiv. Može sadržavati OH-grupu i F.

Kristalni sistem: Rompski.

Makroskopske osobine: Kristali dugoprizmatski. Poprečni presjeci kvadratični. Jasne cjepljivosti smjerom drugog pinakoida (010)

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu je bezbojan, rjeđe ružičast i tada slabog pleohroizma, X=Y=bezbojan, Z=ružičast.

Indeksi loma relativno su visoki, $n=1,642-1,654$, te ima pozitivan reljef. Dvolom je malen $N_z-N_x=0,012$. Maksimalna interferentna boja u presjeku paralelnom izduženju je žuta do narandžasta boja prvog reda. U poprečnom presjeku interferira u slaboj sivoj boji prvog reda. Ravnina optičkih osi je (010). Optički je pozitivan s manjim i varijabilnim uglom optičkih osi. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. Disperzija $r>v$ jaka. Potamni paralelno.



Sl. 152. Mulit

T: 6-7

H: 3,15

Geneza i parageneza: Mulit nastaje pirometamorfozom najvišeg stupnja glinovitih sedimenata, slejta i filita. Čest je sastojak pelitskih ksenolita u eruptivnim stijenama.

Sintetički nastaje kao mineral vlastitih materijala, porcelana, opeke i dr. Nastaje žarenjem pri visokoj temperaturi andaluzita, silimanita i distena. Jedini je aluminijski silikat otporan prema visokoj temperaturi (koristi se za izradu automobilskih svjećica).

Identifikacija: Mulit je vrlo sličan silimanitu, pa je ta dva minerala u mikroskopu vrlo teško razlikovati. Za razliku od silimanita, mulit ima našte niže indekse loma i jaču disperziju.

4.9.4. DISTEN Al_2SiO_5

Hemski sastav: Pored Al_2O_3 koga sadrži 63,1 % i SiO_2 36,9 %, sadrži kao primjese, Fe_2O_3

Kristalni sistem: Triklinski, pinakoidna

Makroskopske osobine: Javlja se u izduženim kristalnim formama ili u radijalnim i nepravilnim agregatima. Kristalne forme su: (100), (010), (001) i (110). Blizni se po pljosnima (100) ili (001). Boje je bijele, plavičaste, golubijesive, zelenkaste, žućkaste, tamnosive (od uklopljenog materijala). Boja ogreba bijela. Sjajnost staklaste, nekad sedefasta. Cjepljivost odlično izražena po pljosni (001).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima uzdužni presjeci pločasti, prizmatski. Poprečni presjeci četverostrani i šestostrani. U prvim presjecima se može vidjeti odlična cjepljivost smjerom prvog pinakoida, slabija smjerom drugog pinakoida i lučenje smjerom trećeg pinakoida. Ako je preparat brušen paralelno s jednim od tih pinakoida, u preparatu se javlja samo druga cjepljivost. U poprečnom presjeku vide se obje cjepljivosti.

U mikroskopskom preparatu je bezbojan, rijetko blijedoplavkast. Samo debљi preparati obojenih distena pokazuju slab pleohroizam, X=bezbojan, X=Z=plavkast.

Indeksi loma visoki, pa disten pokazuje istaknut reljef.

$$N_x=1,712 \quad N_y=1,722 \quad N_z=1,728$$

Dvolom je dosta malen $N_z-N_x=0,016$, i u normalno debelim preparatima maksimalna interferentna boja je crvena prvog reda. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjenja $Z:c=50^\circ-80^\circ$. u plohi (001) potamnjenje je paralelno ili gotovo paralelno. Ravnina optičkih osi je okomita na prvi pinakoid. Ugao optičkih osi $-2V \approx 82^\circ$.

T: Različita u različitim kristalografskim pravcima. Na pljosnima koje su paralelne osi **c** iznosi 4-5, a na pljosnima paralelnim osi **b** 6-7.

H: 3,63.

Geneza i parageneze: Tipičan je metamorfni mineral. Karakterističan je sastojak kristalastih škriljaca, gnajseva, granulita i drugih metamorfnih stijena dubljih zona stvaranja i bogatijih aluminijumom. Disten se nikad ne nalazi u eruptivnim stijenama. Kao otporan mineral, pri raspadanju metamorfnih stijena prelazi u nanose. Dejstvom atmosferilija transformiše se u muskovit, hloritoide i druge minerale. Na visokoj temperaturi prelazi u vlaknasti silimanit-fibrolit i korund, a pri nižoj temperaturi nekad i u muskovitu.

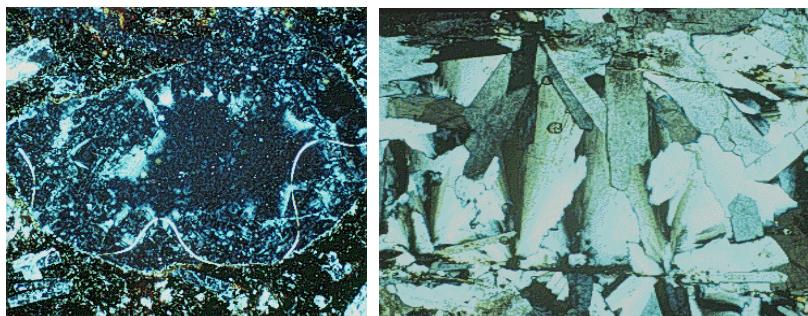
Identifikacija: Disten je karakterističan sa svoje dvije vrlo dobre cjepljivosti, istaknutim reljefom, kosim potamnjenjem od 30° u uzdužnom presjeku i gotovo paralelnim potamnjenjem u poprečnom presjeku.

4.10. ZEOLITI

U ovu grupu tektonosilikata koja je izdvojena od predhodnih tektonosilikata spadaju dvije veće skupine: tektonosilikati sa vodom i tektonosilikati koji ne sadrže vodu. Među tektonosilikatima sa vodom izdvajaju se analcim i drugi kubični zeoliti, zatim minerali grupe šabazita (habazita), natrolita i harmotona, dok među tektonosilikatima bez vode ubrajaju se grupa skapolita i sodalita.

U ovu grupu spadaju uopće uzev zeoliti-posebna grupa silikatnih minerala, koji imaju poroznu rešetku i tzv. zeolitsku vodu. Glavna karakteristika ovih minerala je, da mogu lako da otpuštaju ovu vodu, kao i da mogu primajući vodu primati u sebe i druge katione, pri čemu lako dolazi do izmjene kationa u njihovoj strukturi. Kao i kod drugih tektonosilikata,

tako i kaod zeolita, pojedini ioni Si zamijenjeni su inoima Al, pri čemu se slobodne valencije kompenziraju sa Na, K, Rb, Ca rjeđe sa Ba.



Sl.153.Hojlandit

Osnovu kristalne strukture zeolita čine prstenovi Si_4O_{12} sastavljeni od 4 tetraedra. Između prstenova ostaju široki prostori "kanali" u kojima se nalazi zeolitska voda. Zagrijavanjem ova voda napušta ove kanale, a pri povoljnim uslovima, voda ih može ponovo napuniti. Ova osobina otpuštanja i primanja vode je postupna, tako, da se mogu pratiti promjene optičkih i fizičkih osobina zeolita izazvanih zbog ovih promjena u sadržaju vode.

Ovakva strukturalna osobina omogućava zeolitima, kako je već napomenuto, da vrše izmjene kationa. Tako, Ca i Na se mogu zamijeniti sa K, Mg, Fe pa čak i anionima.

Podjela zeolita se može izvršiti na određen broj grupa s obzirom na njihove strukture, odnosno s obzirom na različite načine povezivanja pomenutih prstenova.

Tako razvrstani tektosilikati sa vodom daju slijedeće grupe:

- analcim i minerali njemu srodnih struktura;
- grupa šabazita;
- grupa natrolita;
- grupa harmoton-filipsita;
- grupa mordenita.

U hemijskom pogledu to su alumosilikati alkalnih i kalkoalkalnih elemenata. Međusobno imaju priličan broj sličnih strukturalnih, hemijskih, fizičkih, kao i genetskih osobina.

S obzirom na morfološke oblike mogu se podijeliti na:

- heksaedarske (šabazit, filipsit, harmotom),
- listaste (hojlandit, desmin) i
- igličaste (natrolit, tomsonit, lomontit) zeolite.

4.10.1. POLUCIT, $\text{CsAlSi}_2\text{O}_6$

Hemijski sastav: Sadrži 32 % Cs_2O ; 2,8 % Na_2O ; 16,3 % Al_2O_3 ; 46,4 % SiO_2 i 2,5 % H_2O . U manjim količinama sadrži Rb_2O , K_2O i Tl_2O . Stvara izomorfne smjese sa analcimom.

Kristalni sistem: Kubični

Makroskopske osobine: Javlja se u formama: (001), (110), (210) i (211). Kristali obično predstavljaju kombinaciju (100) i (112). Bezbojan je do providan. Sjajnost staklasta. Bez izražene cjepljivosti. Lom ljušturast.

Mikroskopske osobine: Indeksi loma promjenljivi od 1,425-1,525, manji od kanada balzama, zog čega pokazuje negativan reljef.

T: 6,5.

H: 2,86-2,90.

Geneza i parageneze: Kao mineral hidrotermalnog porijekla javlja se u pukotinama granita i pegmatita u asocijaciji sa mineralima iz grupe litijskih silikata i fosfata, kao i sa kvarcom. Nestabilan je i pretvara se u minerale kaolinske grupe.

4.10.2. ŠABAZIT (HABAZIT), $(\text{Ca}, \text{Na}_2)\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Hemijski sastav: Sadrži 48-54 % SiO_2 ; 15-20 % Al_2O_3 ; 6-11 % CaO ; do 3 % Na_2O ; sa preko 5 % Na_2O poznat je kao zebahit, i 21 % H_2O . Kao primjese može da sadrži K_2O , Fe_2O_3 , BaO , MgO , SrO . Jedan dio Ca može biti zamijenjen sa Na i K.

Kristalni sistem: Heksagonalski

Makroskopske osobine: Kristalizira pseudoheksagonalski-romboedrijski, u romboedrima sličnim heksaedru. Najčešće glavne plohe su: (1011), (0112), (0221). Karakteristični su mu prodorni sraslaci po plohi (1011). Pojavljuju se u jedrim i zrnastim agregatima. Boje je bijele sa crvenim i mrkim nijansama. Šabazit crvene boje naziva se akadijalit. Sjajnost staklasta. Cjepljivost jasna po plohi romboedra.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Reljef je negativan, indeksi loma su manji od indeksa loma kanada balzama. Dvolom je slab i kolebljiv, $\text{Nz-Nx}=0,002-0,010$. Interferira u sivoj boji prvog reda. Potamnjivanje je prema pukotinama cjepljivosti simetrično. Ugao optičkih osi je malen, $2V=0^\circ-32^\circ$. Ponekad je optički jednoosan. Optički je pozitivan. Varijetet s minimalnim dvolomom sličan je analcimu.

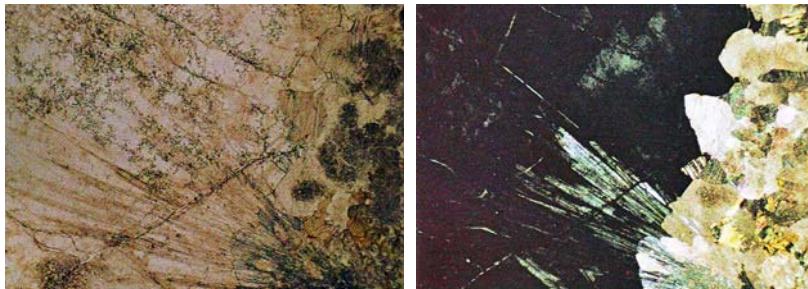
T: 4-5.

H: 2,1-2,2.

Geneza i parageneze: Može se smatrati isključivo hidratogenim mineralom. Javlja se u šupljinama i pukotinama bazalta, fonolita i drugih efuzivnih stijena, često u asocijaciji sa filipsitom, kalcitom i dr.

4.10.3. NATROLIT, $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Hemijski sastav: Natrolit sadrži 47, % SiO_2 ; 26 % Al_2O_3 ; 16 % Na_2O . Kao primjese se javljaju CaO (do 6 % kalcijski natrolit), K_2O (do 3,6 %), Fe_2O_3 ; FeO i MnO . Natrolit predstavlja izomorfnu smjesu natrolitske ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$) · $2\text{H}_2\text{O}$ i skolecitske ($\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$) · $3\text{H}_2\text{O}$ komponente. Otuda je opća formula ove grupe zeolita $R(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ gdje R može biti: Ca, Na, Ba a n može biti jednako 2 i 4.



Sl.154. Natrolit

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Kristalizira rompski sa razvijenim plohamama (110), a i kao druze, kao radijalno-zrakasti agregati. Srasta po plohi (110) i (100). Nekada dvije srasle individue prorastaju normalno jedna na drugu. Javlja se i u zrnastim, gustim i vlaknastim agreagtima. Uglavnom je bezbojan, bijele boje, a nekad žut ili crvenkast. Cjepljivost savršena po plohi (100).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je proziran. Reljef je negativan, indeksi loma su manji od indeksa loma kanada balzama. Dvolom je malen $N_z - N_x = 0,012-0,013$, interferira u sivoj boji, maksimalna interferentna boja je narandžasta boja prvog reda. Ugao optičkih osi prilično je velik, $2V=60^{\circ}-63^{\circ}$. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. Potamni paralelno izduženju kristala.

T: 5-5,5

H: 2,2-2,5.

Geneza i parageneze: Najčešće se nalazi u mandulama i geodama efuzivnih stijena, bazalta, fonolita. Ima ga i u dubinskim stijenama-sijenitima, granitima, gnajsevima gdje je nastao metamorfozom natrijskih silikata (nozeana, nefelina, plagioklasa).

Identifikacija: Sličan mu je skolecit. Međutim skolecit potamni koso, a optički karakter zone izduženja skolecita za razliku od natrolita je negativan.

4.10.4. HARMOTOM, $\text{Ba}_2\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Hemski sastav: Sadrži 47-50 % SiO_2 ; 16 % Al_2O_3 ; 11,6 % BaO ; 3,6 K_2O i 13,8 % H_2O . Od primjesa sadrži MgO , Fe_2O_3 i CaO .

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Veoma je sličan filipsitu, ali se od filipsita razlikuje jer je filipsit rompski, a ne monoklinski kako se ranije smatralo. Najčešći oblik pojavljivanja su četvorni sraslaci. Od filipsita se razlikuje nešto većom gustinom, većim indeksom loma i manjim uglom optičke osi (43°).

Geneza i parageneze: Nalazi se češće u rudnim žicama. Rijedak u pukotinama eruptivnih stijena.

4.10.5. HOJLANDIT $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Hemijski sastav: 59,2 % SiO_2 , 16,8 % Al_2O_3 , 9,2 % CaO , 14,8 % vode. Od primjesa sadrži Na_2O i SrO do 3,6 %. Ako sadrži do 2,5 % BaO , naziva se barijumhojlandit.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Bijele boje. Kristali su pločasti smjerom drugog pinakoida (010). Odlične je cjepljivosti smjerom (010).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Negativnog je reljefa, indeksi loma su manji od indeksa loma kanada balzama.

$$N_x=1,505 \quad N_y=1,499 \quad N_z=1,498$$

Dvolom je malen $N_z-N_x=0,007$, i interferira u sivoj do bijeloj boji prvog reda. U presjeku paralelno s cjepljivosti među ukrštenim nikolina je gotovo izotropan. Ravnina optičkih osi je okomita na (010). Ugao optičkih osi je vrlo kolebljiv, $2V=0^{\circ}\text{--}48^{\circ}$. Optički je pozitivan, optički karakter paralelno s pukotinama cjepljivosti je negativan. Potamni paralelno s pukotinama cjepljivosti.

T: 4

H: 2,2

Geneza i parageneza: Javlja se u bazaltnim porfirima. Nalazi se u asocijaciji s desminom.

Identifikacija: Vrlo je sličan stilbitu, ali se razlikuje od njega boljom cjepljivošću i optički je pozitivan, a stilbit je optički negativan

4.10.6. STILBIT $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Hemijski sastav: Sličan hemijski sastav hojlanditu, sa većim sadržajem vode.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Javlja se u agregatima koji nalikuju na snopljе. Dobre je cjepljivosti smjerom (010)

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan do bijel. Indeksi loma $n=1,498$, manji od indeksa loma kanada balzama, radi čega pokazuje negativan reljef.

T: 3,5-4.

H: 2,09-2,20.

Geneza i parageneza: Nastaje hidroermalno u efuzivnim stijenama.

Identifikacija: Po optičkim svojstvima sličan je hojlanditu, ali za razliku od njega , stilbit je optički negativan.

4.10.7. TOMSONIT $\text{NaCa}_2[\text{Al}(\text{Al},\text{Si})\text{Si}_2\text{O}_{10}]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Javlja se u štapićastim i vlknastim agregatima. Dobra cjepljivost smjerom (010).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Indeksi loma su našto manji od indeksa loma kanada balzama, zbog čega je reljef negativan. Dvolom je malen $N_z-N_x=0,006\text{--}0,012$, te interferira u bojama prvog reda. Poprečni presjeci pokazuju maksimalnu interferentnu boju. Ravnina optičkih osi je (001), to je poprečni presjek. Ugao

optičkih osi je velik, $2V=44^{\circ}-55^{\circ}$. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja nekih vlakana tomsonita je pozitivan, a drugih je negativan. Potamni paralelno. Disperzija ∇v jaka.

T: 5-5,5

H: 2,2-2,4

Identifikacija: Tomsonit je vrlo sličan ostalim štapićasto-vlknastim zeolitima, pa ih je teško razlikovati. Različit optički karakter pojedinih vlakana u zoni izduženja karakteristika je tomsonita.

4.10.8. SKOLECIT $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Hemski sastav: Predstavlja izomorfnu smjesu sa natrolitom. Sadrži do 13,8 % H_2O .

Kristalni sistem: Monoklinski.

Makroskopske osobine: Javlja se u trakastim, igličastim do vlknastim agregatima. Jasne je prizmatske cjepljivosti (119), ugao cjepljivosti 88° .

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Indeksi loma su manji od ondeksa loma kanada balzama, zbog čega pokazuje negativan reljef. Dvolom je slab, $N_z-N_x=0,007$, te interferira u sivoj do bijeloj boji prvog reda. Ravnina optičkih osi okoita je na (010).

Ugao optičkih osi relativno je malen, $2V=36^{\circ}$. Optički karakter zone izduženja je negativan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjena $X:c=15^{\circ}-18^{\circ}$. Disperzija ∇v jaka. Vrlo su česti blizanci, sraslačka os odgovara kristalografskoj osi **c**, sraslački šav je (100)

T: 5-5,5

H: 2,2-2,4

Geneza i parageneza: Nalazi se u bazaltilima i fonolitima.

Identifikacija: Sličan je drugim vlknastim zeolitima. Razlikuje se od njih kosim potamnjnjem i blizanicima.

4.11. HLORITI

Ovoj grupi pripada veći broj minerala koji imaju dosta sličnosti sa liskunima. To su Mg-Fe silikati, koji su po cjepljivosti i pseudoheksagonalnoj simetriji veoma slični liskunima. Imaju znatno veći sadržaj vode (13 % koja se u njima nalazi kristalna i konstitucionalna voda) i znatno manji sadržaj alkalnih metala. Nisu tako elastični kao liskuni. Mogu se podijeliti u tri grupe: magnezijске, magnezijsko-gvožđevite i gvožđevite hlorite (po V.P.Ivanovu). Među karakterističnim hloritim sa malo gvožđa su:

- penin, $(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}[(\text{OH})_8/\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]$
- klinohlor, $(\text{Mg},\text{Fe})_{4.75}\text{Al}_{1.25}[(\text{OH})_8/\text{Al}_{1.25}\text{Si}_{2.75}\text{O}_{10}]$
- prohlorit, $(\text{Mg},\text{Fe})_{4.5}\text{Al}_{1.5}[(\text{OH})_8/\text{Al}_{1.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_{10}]$

sa više gvožđa su:

- šamozit, $\text{Fe}^{2+} \cdot 4\text{Al}[(\text{OH})_8/\text{AlSiO}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- tjuringit, $\text{Fe}_{3.5}(\text{Al},\text{Fe})_{1.5}[(\text{OH})_8/(\text{Al}_{1.5}\text{Si}_{2.5})] \cdot \text{H}_2\text{O}$
- delesit, fero-feri hlorit

Većina ovih hlorita je makroskopski veoma slična, teško se razlikuju, te je njihova makroskopska identifikacija nemoguća.

U strukturnom pogledu, hloriti se razlikuju po teme što imaju specifičnu četveroslojnu građu koja se odlikuje ređanjem prostornih paketa tipa talka-pirofilita (dva spoljašnja tetraedarska silicijsko-aluminijksko-kiseonična i jedan unutrašnji oktaedarski magnezijsko-aluminijski) sa jednoslojnim oktaedarskim paketima tipa brucita ili hidrargilita. Neki, naročito oni koji su sedimentnog porijekla, obogaćeni sa Al_2O_3 , Fe_2O_3 i MgO imaju četveroslojnu rešetku koja je izgrađena od dvoslojnih paketa razmještenih u nizu i u jednom pravcu orijentisanih. Ovakva rešetka je slična rešetki kaolinita.

4.11.1. HLORITI (u užem smislu), $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6[(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}/(\text{OH})_8]$

Hemijski sastav: Po hemijskom sastavu hloriti su hidratisani alumosilikati Mg i Fe. Pri tome, dio Al može biti zamijenjen trovalentnim Fe ili kadkad Cr, a dijelovi Mg i ferogvožđa sa Ni i Mn.

Kristalni sistem: Monokliničan

Makroskopske osobine: Javljuju se u vidu pseudoheksagonalnih ploča, nastalih kombinovanjem monoklinične baze, klinopinakoida, klinodome i monoklinične prizme. Bližnjenja slična kao kod liskuna. Obično se nalazi u vidu sitnoljuspicičastih agregata, u radijalno-zrakastim, paralelno raspoređenim ili drugim koncentracijama. Karakteristično je zelene boje, ali ova zavisi od hemijskog sastava pojedinih vrsta hlorita; manganski varijjeteti su mrke, a hromni ljubičaste. Sjajnosti staklaste. Cjepljivosti savršene po bazi. Ljuspice su savitljive, ali nenelastične. Pritiskom se izazivaju figure, slične šestokrakim figurama kod liskuna.

-Penin $\text{Mg}_5(\text{Al},\text{Fe})(\text{OH})_8(\text{AlSi})_4\text{O}_{10}$. Idiomorfni kristli penina pokazuju paralelno s baznim pinakoidom pseudoheksagonski, šestostrani presjek. U smjeru okomitom na to presjeci su pravougaonici. Duže strane označavaju plohe baznog pinakoida, s kojim paralelno teku oštре i brojne pukotine cjepljivosti. Paralelno s njima su vibracioni smjerovi X i Y. Boje su zelenkaste, pleohroizam je dosta slab, zelenkast do bezbojan, ponekad zelen do smeđastocrven.

Indeksi loma nešto veći od indeksa loma kanada balzama, zbog čega pokazuju slabo izražen pozitivan reljef..

$$N_x=1,575-1,582 \quad N_y=1,576-1,582 \quad N_z=1,576-1,583$$

Dvolom je vrlo malen, $N_z-N_x=0,001-0,004$. Za penin je karakteristična anomalna interferentna boja, berlinsko plava (lavandulaplava). Ta je boja vjerovatno posljedica djelimične izotropizacije penina. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010), a oštra raspolovnica izlazi gotovo na bazni pinakoid. Ugao optičkih osi je vrlo malen $2V=0^{\circ}-20^{\circ}$. Ponekad je toliko malen da izgleda kao optički jednoosan mineral. Optički je većinom pozitivan, ponekad i negativan. Potamni paralelno, jer se vibracioni smjerovi X i Y podudaraju s pukotinama bazne cjepljivosti.

Sraslačke lamele po peninskom zakonu, iako su često prisutne, ne mogu se lako zapaziti, jer su paralelne s baznim pinakoidom i potamne paralelno.

Za penin je karakteristična berlinska plava interferentna boja, paralelno potamnjene i vrlo mali ugao optičkih osi, dok se poput ostalih hlorita odlikuje slabo izraženim reljefom, zelenkastom bojom i slabim, ali vidljivim pleohroizmom.

Kemererit je hromski penin koji sadrži do 5 % Cr₂O₃. boje je crvene kao breskvin cvijet. Nastaje u bazičnim stijenama alteracijom silikatnih minerala koji sadrže hrom.

-**Klinohlor** Mg(Al,Fe)(OH)₆(Al,Si)₄O₁₀ Obično se javlja u sitnolističavim agregatima. Listići su često savijeni. U izbrusku je bezbojan do zelenkast. Slabog je pleohroizma.

Indeksi loma su nešto veći od indeksa loma kanada balzama. Slabo je izraženog reljefa.

$$N_x=1,571-1,588 \quad N_y=1,571-1,588 \quad N_z=1,576-1,579$$

Dvolom je veći nego kod penina i pokazuje normalne interferentne boje, sive do žućkaste boje prvog reda. N_z-N_x=0,005-0,011. Presjeci paralelni s baznim pinakoidom su izotropni jer N_x i N_y imaju gotovo iste vrijednosti. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Oštra rasplovnica Z izlazi gotovo okomito na bazni pinakoid. Ugao optičkih osi je kolebljiv, 2V=0°-50°. optički je pozitivan. Optički karakter paralelno s pukotinama cjepljivosti je negativan. Potamni koso. Maksimalni ugao potamnjena što ga čin titrajni smjer **X** s pukotinama cjepljivosti je 2°-9°. Z:c=0°-8°.

Kristalografska os **c** nije označena nekim geometrijskim elementom ali je možemo odrediti kao okomicu na pukotine cjepljivosti.

Polisintetski blizanci paralelni s baznim pinakoidom su česti.

Klinohlor se od ostalih hlorita razlikuje kosim potamnjnjem, a od penina većim dvolomom, normalnom interferentnom bojom i većim uglom optičkih osi.

Prohlorit: Javlja se u lističavim, crvolikim lepezasto-trakastim agregatima i sferulitima. Idiomorfni kristali pokazuju pseudoheksagonske presjeke. Odlične je cjepljivosti smjerom baznog pinakoida (001). Boje je zelene. Pleohroizam je jedva primjetan.

Indeksi loma su veći od indeksa loma kanada balzama. Reljef je umjereno pozitivan.

$$N_x=1,588-1,658 \quad N_y=1,589-1,667 \quad N_z=1,599-1,667$$

Dvolom je malen N_z-N_x=0,001-0,011. Interferira u sivoj do žutoj boji prvog reda. U presjeku paralelnom s baznim pinakoidom prohlorit je praktično izotropan. Ravnina optičkih osi paralelna je sa (010). Ugao optičkih osi je malen i varijabilan, 2V=0°-30°. Optički je pozitivan. Optički karakter paralelno s pukotinama cjepljivosti je negativan. Potmamni paralelno ili skoro paralelno.

Prohlorit se od penina i klinohlora razlikuje većim indeksom loma.

Leptohloriti su makroskopski i mikroskopski slični ortohloritima. U mikroskopskim preparatima pokazuju jaču boju, intenzivan zelen i smeđ pleohroizam. Zbog veće količine željeza višeg su indeksa loma od ortohlorita, n=1,60-1,64. Dvoloma su malog i interferiraju u sivim do žute boje prvog reda. Šamozit i turinginit pokazuju često anomalnu berlinskoplavu interferentnu boju. Optički su negativni. Ugao optičkih osi vrlo malen i ponekad su optički jednoosni.

Turingit je glavni sastojak turičkih škriljaca.

Delesit se javlja s koncentričnom građom u mandulama melafira.

Šamozit je karakterističan u zelenosivim oolitima. Može biti slabije kvalitetna željezna ruda, jer sadrži 42 % FeO.

Hloritiod (Otrelit) H₂(Fe,Mg,Mn)Al₂SiO₇ Pripada grupi krtih liskuna, kristališe monoklinski. Javlja se u pločastim pseudoheksagonskim kristalima. Vrlo dobre je

cjepljivosti smjerom trećeg pinakoida (001), a slabije smjerom (110). Najčešći je u lističavim agregatima. Boje je crnozelene do crne. Sjajnosti je staklaste do sedefaste.

U mikroskopskim preparatima listići hloritoida su obojeni i intenzivnog pleohroizma. X=zelen u različitim nijansama, Y=plav u različitim tonovima, Z=žut do žutosmeđ.

Indeksi loma su visoki,, radi čega pokazuje jak pozitivan reljef.

$$N_x=1,715-1,724 \quad N_y=1,719-1,726 \quad N_z=1,731-1,737$$

Dvolom je malen do umjeren, $Nz-Nx=0,007-0,016$. Interferira usivoj do narandžastoj boji prvog reda u presjecima okomitim na cjepljivost. Bazalni presjeci interferiraju u slaboj sivoj boji prvog reda ili su gotovo izotropni. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Ugao optičkih osi je varijabilan $2V=36^{\circ}-60^{\circ}$. Optički je pozitivan. $Z:-L(001)=3^{\circ}-21^{\circ}$. Optički karakter paralelan s cjepljivosti je negativan.

Potamni ponekad paralelno s cjepljivosti, ponekad ugao potamnjena se popne na 21° , $X:a=3^{\circ}-21^{\circ}$ (kritalografska os **a** podudara se s pukotinama cjepljivosti.)

Za razliku od sličnog hlorita, hloritoid pokazuje visok reljef i jači pleohroizam.

T: 2,5.

H: 2,6-3,3.

Geneza i parageneze: Minerali ove grupe nastaju na temperaturama između normalnih površinskih do temperatura od oko 500°C , rjeđe u prisustvu dovoljno vode na nešto višim. Gvožđem bogati predstavnici razvijaju se na nižim temperaturama. Minerali hloritske grupe stvoreni su uglavnom u hidrotermalnoj fazi, bilo neposrednim izlučivanjem iz rastvora, bilo preobražavanjem drugih Mg-Fe-alumosilikata, stvarajući pri tome često veoma lijepе pseudomorfoze po biotitu, amfibolima i piroksenima. Pri regionalnom metamorfizmu razvijaju se, na nižim temperaturama, zajedno sa sericitom. Rijetko se nalaze i u kontaktno-metamorfnim stijenama, i to uvijek dosta daleko od mase magmateke stijene.

Gvožđem bogati hlorit, npr. tjuringit ili šamozit, može da nastene i pri površinskim hidatogenim ili dijagenetskim procesima.

Pri površinskom raspadanju gvožđem bogati predstavnici se, uslijed oksidacije dvovalentnog gvožđa lakše raspadaju. Inače, hloriti su dosta stabilni, mada osjetno brže od muskovita bivaju razorenji ili preobraženi u minerale glina.

4.12. SERPENTIN ($\text{Mg,Fe}_3(\text{OH})_4(\text{Si}_2\text{O}_5)$)

Hemijski sastav: Sadržao 43 % MgO ; 44,1 % SiO_2 i 12,9 % H_2O . Varijeteti serpentina u zavisnosti od primjesa u njima su:

- neput, čist niklantigorit – $\text{Ni}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10} \text{I} (\text{OH})_8]$;
- garnijerit, čist nikalhrizitol;
- serpofit, amorfni serpentin sa većom količinom vode;
- kerolit, sličan serpofitu samo ima veći sadržaj Si (50 %) i manji sadržaj MgO ;
- grinalit, $\text{Fe}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10} \text{I} (\text{OH})_8]$;
- kronštedit, gvožđeviti serpentin;
- pikrolit, krupnovlaknasti serpentin slabo savitljivih vlakana;
- dragi serpentin, sa svijetlim i čistim bojama;
- hidrofil, serpentin sa sadržajem od 16 % H_2O ;

- pikrosmin, listasti serpentin koji se pojavljuje u prutičastim ili zrnastim agregatima;
- bauenit, jako sitnozrni zeleni serpentin i dr.

Kristalni sistem: Monokliničan. Za antigorit je poznata heksagonalna politipna modifikacija (orthoantigorit), a za hrizotil dvije rombične (ortohrizotil i pikohrizotil).

Makroskopske osobine: Nikad se ne javljaju u kristalnim formama, već u lističastim i vlaknastim agregatima. Boje je zelene ili tamnozelene u različitim tonovima. Antigorit je tamnozelen, a hrizotil zelenkastožut. Nekada su crne boje od primjesa magnetita, a nekad i grafita. Boja ogreba bijela. Hrizotil je svilaste sjajnosti. Cjepljivost slična liskunskoj (001), ali samo kod listastih agregata.

Mikroskopske osobine: Serpentin se po svojim hemijskim i optičkim svojstvima približava hloritima s malo aluminija. Najsličniji mu je penin. To je zapravo vrsta hlorita s malo aluminija. Nastaje isključivo metamorfozom. Razlikujemo dvije vrste serpentina istog hemijskog sastava; antigorit je lističavi, dok je hrizotil vlaknasti serpentin. Osim po morfološkim, razlikuju se i po optičkim svojstvima.

4.12.1. Antigorit ($Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$

Antigorit je lističavi serpentin. Cjepljivost je dobro razvijena smjerom baznog pinakoida. Boje je obično zelene do tamnozelene.

U mikroskopskim preparatima antigorit je bezbojan do zelenkast. Pleohroizam se rijetko uočava i tada je vrlo slab.

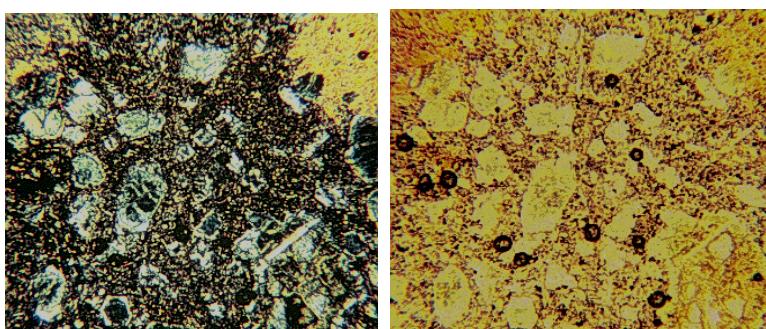
Indeksi loma su nešto veći od indeksa loma kanada balzama, te pokazuje nizak reljef.

$$N_x=1,555-1,564 \quad N_y=1,562-1,573 \quad N_z=1,562-1,573$$

Dvolom je mlen $N_z-N_x=0,007-0,009$. Interferira uglavnom u sivoj boji prvog reda. Maksimalna interferentna boja je žuta boja prvog reda, ali je neznatno anomalna pokazujuću zelenu nijansu. Ravnina optičkih osi paralelna je sa (100). Ugao optičkih osi obično je malen, ali znatno koleba, $2V=20^\circ-90^\circ$. Optički je negativan. Optički karakter paralelno s pukotinama cjepljivosti je pozitivan. Potmni paralelno.

Alteracijom prelazi u talk.

Antigorit se odlikuje malim indeksom loma i malim dvolomom. Od njemu sličnih hlorita razlikuje se što ne pokazuje pleohroizam, što se u njemu ne pojavljuju pleohroitski ovoji i što su njegove interferentne boje uvijek normalne.



Sl.155. Antigorit

4.12.2. Hrizotil $(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH}))_4$

Hrizotil je serpentin sa finovlaknastom strukturom. Vlakna su položena okomito na pukotine. Svilenkaste sjejnosti, boje sive, žućkaste ili zelene. Slabe je cjepljivosti smjerom plohe prizme (110).

U mikroskopskim preparatima fina vlakna su jasno vidljiva. Bezbojan je rijetko slabo zelenkast. U normalno debelim preparatima ne pokazuje pleohroizam.

Jedni indeksi loma su nešto manji, a drugi veći od indeksa loma kanada balzama. Reljef je negativan ili vrlo nizak.

$$N_x=1,493-1,546 \quad N_y=1,505-1,550 \quad N_z=1,517-1,557$$

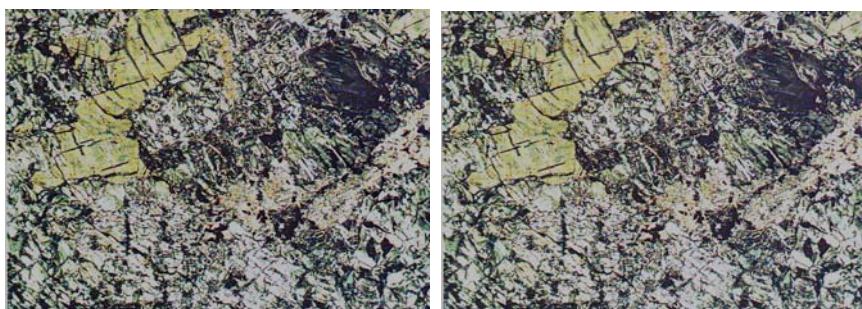
Dvolom je malen, $N_z-N_x=0,011-0,014$. Interferira u sivoj boji, a maksimalna interferentna boja je žuta prvog reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Ugao optičkih osi obično je malen, ali koleba u velikoj mjeri, $2V=0^{\circ}-50^{\circ}$. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan. $Z=c$. Potamni paralelno.

Za hrizotil je vrlo karakteristična finovlaknasta struktura. Vlakna leže okomito na stjenke zidova pukotina.

T: 2-3,5.

H: 2,6-2,7. Može biti i 2,9 za vrste obogaćene rudnim mineralima.

Geneza i parageneze: Široko su rasprostranjeni minerali. Nastaju kao produkti hidrotermalnih izmjena ultrabazičnih i bazičnih stijena, peridotita, gabrova i norita, uglavnom raspadanjem u njima olivina i hiperstena, rjeđe amfibola i monoklinskih piroksena. Kod intenzivnog procesa serpentinizacije dolazi do stvaranja monomineralnih stijena-serpentinita. U takvim stijenama serpentin se nalazi u asocijaciji sa hloritom, magnetitom, talkom, hromnim diopsidom, karbonatima i drugim mineralima. Kao sporedan sastojak pojavljuje se rjeđe u zelenim škriljcima, u izmijenjenim dolomitima i nekim kornitim.



Sl.156. Hrizotil

4.13. MINERALI GLINA

Minerali glina nastaju u površinskim dijelovima litosfere trošenjem alumosilikata, naročito feldspata (glinanaca).

Izuzetno mala veličina zrna ograničava njihovu mogućnost određivanja u običnom polarizacionom mikroskopu. Zbog njihovog značaja u različitim privrednim granama i u nauci, služimo se po potrebi drugim metodama, koje su pomogle da se minerali glina

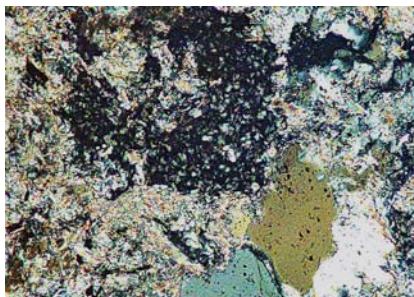
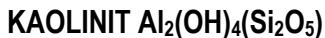
upoznaju kao i drugi minerali. To su rendgenska, diferencijalno-termička analiza, elektronski mikroskop.

U polarizacionom mikroskopu uz posmatranje redovnih optičkih karakteristika, za određivanje glina koristi se i metoda bojenja.

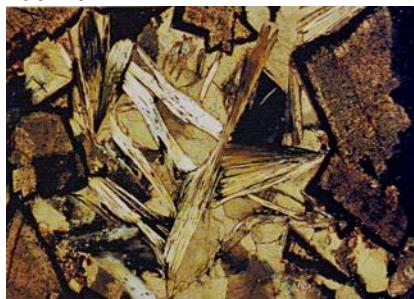
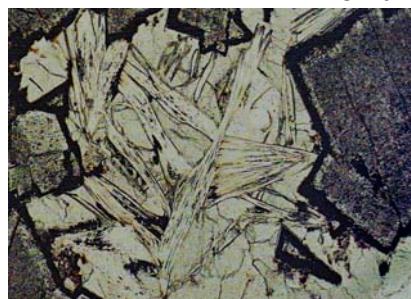
Predstavljaju veliku grupu srodnih silikata. Uglavnom čine mješavinu više minerala. Naziv dobiju prema preovlađujućem mineralu. Podijeljene u četiri grupe:

- Kaolinitске; kaolinit, dikit, nakrit, haloazit, alofan.
- Montmorilonitske; montmorilonit, nontronit, saponit
- Iilitске; ilit, glaukonit
- Vlaknaste; sepiolit, paligorskит.

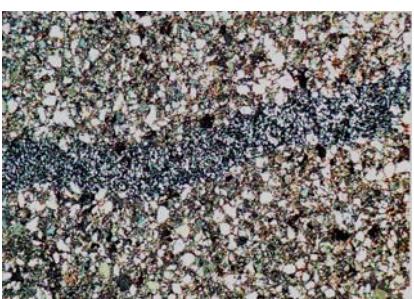
4.13.1. GRUPA KAOLINITA



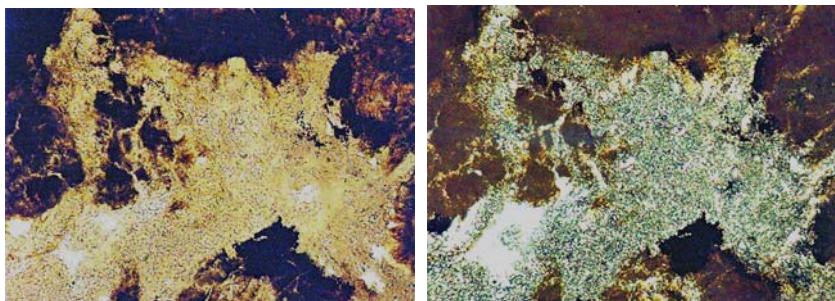
Sl.157. Kaolinit



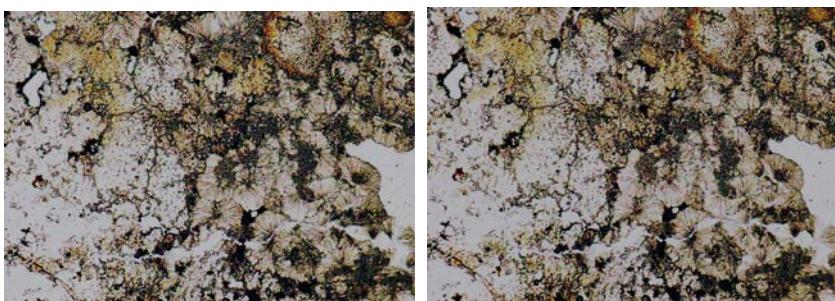
Sl.158. Dikit



Sl.159. Nakrit



Sl.160. Haloazit



Sl.161. Alofan

Hemijski sastav: Sadrži 46,50 % SiO_2 , 39,56 % Al_2O_3 i 13,94 % H_2O . Sadržaj ovih elemenata je kolebljiv. Može sadržati primjese Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , BaO i dr.

Kristalni sistem: Triklinski

Makroskopske osobine: Veoma rijetko se javlja u kristalima. Najčešći je u ljuškavim i jako sitno zrnim agregatima. Bezbojan je do bijele boje. Sjajnost najčešće sedefasta, a zemljaste mase su mutne. Cjepljivost savršena po plohi (001).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan do žućkast.

Indeksi loma nešto veći od indeksa loma kanada balzama, te pokazuje nizak reljef.

$$N_x=1,561 \quad N_y=1,565 \quad N_z=1,566$$

Dvolom je malen, $N_y-N_x=0,005$ i interferira u sivoj i bijeloj boji prvog reda. Ravnina optičkih osi okomita je na drugi pinakoid. Ugao optičkih osi je varijabilan, $2V=20^\circ-50^\circ$. Optički je negativan. Optički karakter paralelno pukotinama cjepljivosti je pozitivan. Potamni skoro paralelno, $Y:(001)=10^\circ-30^\circ$, $X:\perp(001)=30^\circ$.

Karakteristična osobina je nizak reljef i sive interferentne boje.

Dikit je istog hemijskog sastava kao i kaolinit, ali mu je struktura drugačija. U mikroskopskom preparatu je nešto većih listića nego kaolinit i pokazuje veći ugao potamnjena $Y:(001)=15^\circ-23^\circ$.

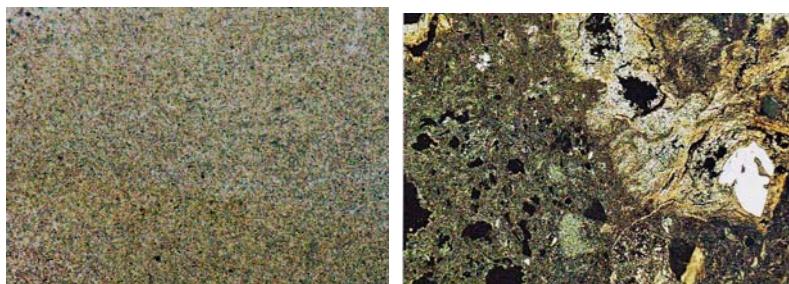
Haloazit se javlja u ekstremno sitnim agregatima. Bezbojan je. Indeksi loma gotovo su jednaki indeksu loma kanada balzama. Dvolom mu je vrlo malen i optički je skoro izotropan.

T: Oko 1

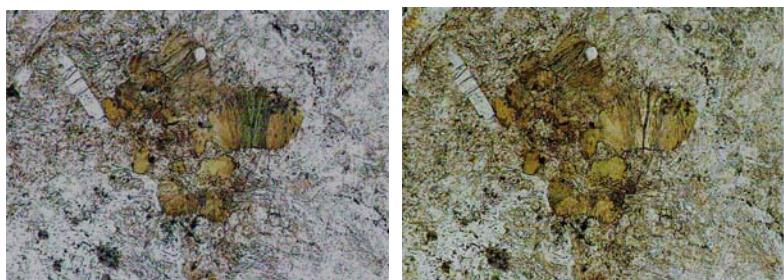
H: 2,58-2,63.

Geneza i parageneze: Javlja se kao produkt transformacije metamorfnih i magmatskih stijena uglavnom dekompozicijom feldspata. Taj proces preobržaja stijena-kaolinizacija, dešava se pod djelovanjem H_2O i CO_2 . Ulazi u sastav glina, laporaca i glinovitih škrljaca. Djelovanjem hidrotermalnih otopina –niskotemperaturnih na silikate i alumosilikate, dolazi do stvaranja pseudomorfoza kaolinita po feldspatima, feldspatoidima-leucitu, skapolitu i većem broju drugih silikata.

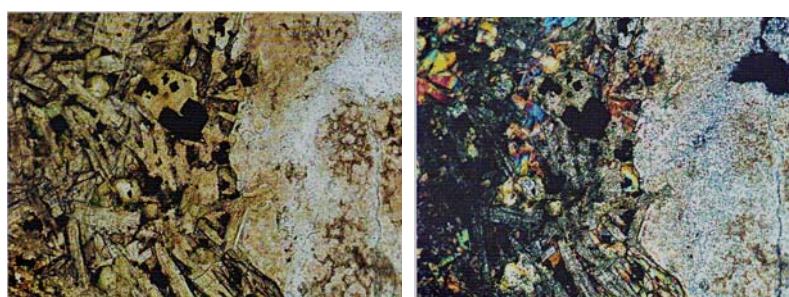
4.13.2. GRUPA MONTMORILONITA



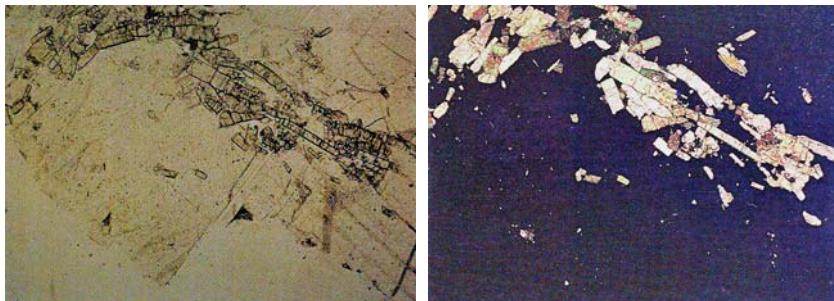
Sl.162. Montmorilonit



Sl.163. Nontronit



Sl.164. Saponit



Sl.165. Paligorskite

Hemijiski sastav: Sadržaj pojedinih hemijskih elemenata je veoma varijabilan i kreće se u granicama: SiO₂ od 35-95 %; MgO od 0,23-25,89 %; Al₂O₃ od 0,14-29,90 %; Na₂O od 0,11-3,04 %; H₂O od 11,96-26 %; Fe₂O₃ od 0,03-29,0 %; CaO od 0,16-3,52 % i FeO od 0,19-0,95 %. Pored ovih elemenata može sadržavati Cr₂O₃, NiO, CuO, K₂O, ZnO i Li₂O. U grupi razmjenjujućih iona spada ion H ili OH, i prema zamjenjivajućem ionu u rešetki montmorilonita razlikuje se nekoliko varijeteta:

- nontronit, Fe₂[(OH)₂ | Si₄O₁₀]_nH₂O (ferimontmorilonit) ;
- kerolit, Mg₃[(OH)₂ | Si₄O₁₀]_nH₂O;
- sokonit (Al,Zn)₂[(OH)₂ | Si₄O₁₀]_nH₂O (cinkmontmorilonit);
- medmontit, (Al,Cu)₂[(OH)₂ | Si₄O₁₀]_nH₂O (kupromontmorilonit);
- hrizokol, Cu₃[(OH)₂ | Si₄O₁₀]_nH₂O;
- volkonskoit, (Mg,Ca,Cr,Al)₃[(OH)₂ | Si₄O₁₀]_nH₂O (hromnimontmorilonit);
- hektorit, (Mg,Li)₂[(OH)₂ | Si₄O₁₀]_nH₂O (litijskimontmorilonit).

Kristalni sistem: Monokliničan

Makroskopske osobine: Javlja se u sitnodisperznim, kriptokristalastim, pločastim i zemljastim agregatima. Boje je bijele, naročito kada je čist od inkluzija, do blijedozelene. Sjajnost slaba, uglavnom voštana.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan, ako sadrži željeza, onda je narandžast, zelen, smeđ. Pokazuje slabiji ili jači pleohroizam.

Indeksi loma manji od indeksa loma kanada balzama, zbog čega pokazuje negativan reljef.

$$N_x=1,492 \quad N_y=N_z=1,513$$

Dvolom je umjerenog velik, Ny-Nx=0,021, ali listići montmorilonita su toliko tanki da interferiraju u bojama prvog reda. Naročito su karakteristični odlomci tufitičnog stakla, koje su potpuno prešle u montmorilonit. Ta pojava se može lako može konstatovati mikroskopom.

T: 2,0-2,5

H: 2,2-2,9.

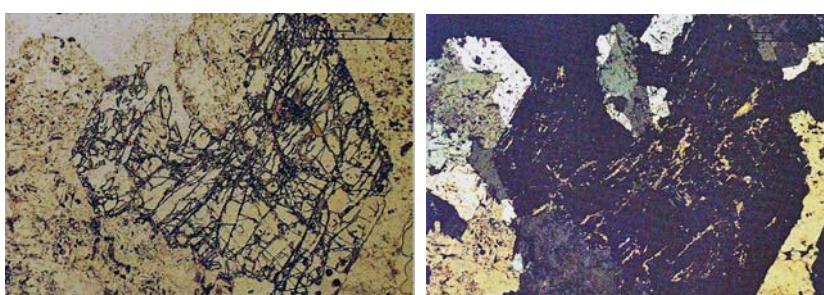
Geneza i parageneze: Po načinu postanka pripada tipičnim egzogenim mineralima. Nastaje raspadanjem bazičnih eruptivnih stijena u alkalnim sredinama, naročito raspadanjem vulkanskog pepela i tufova. Otuda se i mogu naći u kori raspadanja bazičnih alkalnih stijena, dok su u kiselim sredinama rjeđi. Zavisno od prirode primarnog materijala, na kome se stvara montmorilonit, javljaju se različite vrste montmorilonita. U

morskim bazenima stvaraju se mnoge bentonitske gline, koje se sastoje od montmorilonita, odnosno, koje predstavljaju čiste montmorilonitske gline. Prema djelovanju atmosferilija, relativno je otporan mineral, a u tropskim, pustinjskim predjelima daje materijal za stvaranje lesa.

4.13.3. GRUPA ILITA

HIDROMUSKOVIT ili ILIT, $KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH)_2$

Hemski sastav: Sadržo 47-51 % SiO_2 ; 18-26 % Al_2O_3 ; 5-8 % Fe_2O_3 ; 3 % MgO ; 5 % K_2O i 7,16 H_2O . U poređenju sa muskovitom sadrži manje oksida K i više vode. Aluminijum se često može dijelom zamjeniti magnezijumom rjeđe kalcijumom i drugim elementima.



Sl.166. Ilt

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Javlja se u mikrokristalastim oblicima čije su dimenzije zrna manje od $200 \cdot 2000 \cdot 10^{-10} m$. Po fizičkim osobinama sličan je montmorilonitu mada ne apsorbuje lako vodu i zbog toga upšte ne bubri. Boje bijele.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu je bezbojan do žućkastosmed.

Indeksi loma umjereni do veliki. Reljef je negativan do slabo izražen.

$$N_x=1,535-1,570 \quad N_z=1,565-1,605.$$

Dvolom je velik, $N_z-N_x=0,030-0,035$, ali zbog sitnih listića interferira u bojama prvog reda. Među mineralima gline ističe se nešto većim indeksima loma i većim dvolomom.

Glaukonit je u mikroskopskim preparatima zelene i žutozelene boje. Pokazuje zelen-žutozelen-žut pleohroizam.

Indeksi loma su umjereno veliki, a isto tako i reljef.

$$N_x=1,590-1,612 \quad N_y=1,609-1,643 \quad N_z=1,610-1,644$$

Indeksi loma rastu sa povećanjem željezovite komponente. Dvolom je velik, $N_z-N_x=0,020-0,032$, ali su interferentne boje drugog reda prekrivene vlastitom bojom. Ugao optičkih osi $2V=16^{\circ}-30^{\circ}$. optički je negativan. Optički karakter paralelno cjepljivosti je pozitivan. Potamni praktično paralelno.

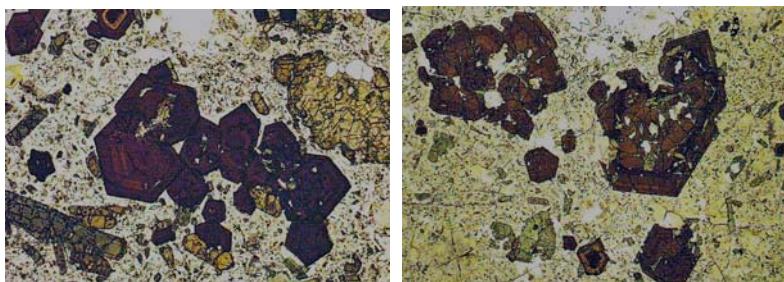
U mikroskopu je karakteristična njegova zelena boja i pleohroizam.

Seladonit je glaukonit u kojem preovlađuje trovalentno željezo.

T:1-2.

H: 2,6-2,9.

Geneza i parageneze: Ilit nastaje na različite načine, atmosferskim trošenjem kalijskih feldspata, alteracijom muskovita, metasomatskom zamjenom magnezija i kalcija u montmorionitu, rekristalizacijom glinovitih sedimenata koji sadrže kalij.



Sl.167. Glaukonit

4.13.4. GRUPA VLAKNASTIH GLINA

Vlaknaste gline su relativno rijetke. Bogate su magnezijem. Nastale su alteracijom magnezijskoželjenih ultrabazičnih eruptivnih stijena, pa se javljaju sa serpentinom, magnezitom i opalom, ili su produkti alteracije magnezijem bogatih kristalastih stijena i vulkanskog pepela.

Sepiolit $Mg_3Si_4O_{11} \cdot nH_2O$ kristališe monoklinski. Mikroskopski se zapaža fina vlaknasta struktura. Često je izmiješan s amorfnom materijom istog hemijskog sastava. U mikroskopskom preparatu je bezbojan do sivkast.

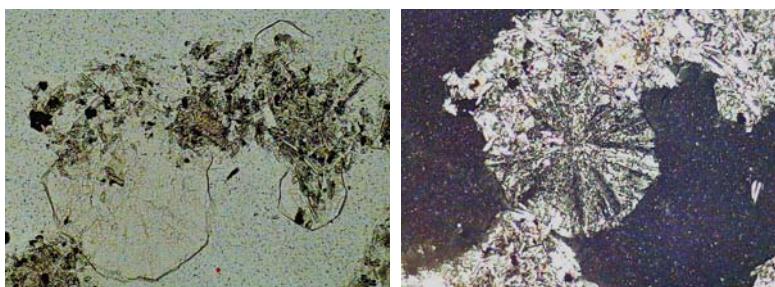
Zbog niskih indeksa loma ima negativan reljef. Dvolom je srednji, $Nz-Nx=0,015-0,020$. Optički je negativan. Optički karakter zone izduženja je pozitivan.

Paligorskит je magnezijski alumohidrosilikat varijabilnog sastava. Kristališe monoklinski. U mikroskopskom preparatu vrlo je sličan montmorilonitu. Indeksi loma su manji od indeksa loma kanada balzama, zbog čega pokazuje negativan reljef. Dvolom je srednji, $Nz-Nx=0,023$.

4.14. MINERALI BOKSITA

4.14.1. DIJASPOR $AlO(OH)$

Hemijski sastav: Može odstupati od idealne formule zbog Fe (do 11 %), Cr (do 7 %) i u manjim količinama zbog Ga, Ti, Mg, Ca i Si.



Sl.168. Dijaspor

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Najčešće se javlja u pločastim, rjeđe stubičastim kristalima; u lističavim, sitnoljuskastim, prutičastim ili vlaknastim agregatima. Kristali su rijetki. Razvijene su pljosni (010), rjeđe (110) i (021). Blizanci nisu izraženi. Boja: bijela, sivkasta, bez boje, zelenkastosiva, smeđa, ljubičasta i ružičasta. Ogreb je bijel do bijelo obojen. Sjajnost staklasta do sedefasta. Cjepljivost savršena po pljosni (010) i po (110) slabija. Lom školjkast.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu presjeci su pločasti, često izduženi, bez pravilnih kristalnih kontura. Cjepljivost je paralelna izduženju kristala. Obično je bezbojan, ponekad je svijetloplav ili crvenkast. U debljim preparatima javlja se pleohroizam.

Indeksi loma su veliki, reljef istaknut, pozitivan.

$$N_x=1,702 \quad N_y=1,722 \quad N_z=1,750$$

Dvolom je vrlo velik, $N_z-N_x=0,048$, i dijaspor interferira u živim bojama trećeg reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s pukotinama cjepljivosti. Ugao optičkih osi je vrlo velik, $2V=84^\circ$. Optički je pozitivan. Optički karakter zone izduženja je negativan. Disperzija $r < v$ slaba. Potamni paralelno.

T: 6,5 – 7.

H: 3,3 do 3,5.

Geneza i parageneze: Najrašireniji je u dijasporskim boksitima. Može doći i u hidrotermalno-metasomatskim stijenama i u nekim visokotemperaturnim hidrotermalnim žicama. Ovdje je zajedno sa pirofilitom, sericitom, rutilom, alunitom, kaolinitom i dr. Sa drugim hidroksidima aluminijuma ulazi u sastav krečnjačkih boksita. Dijaspor je pronađen kao pseudomorfoza po korundu, a sam može preći u kaolin.

4.14.2. BEMIT AIO(OH)

Hemski sastav: Sadrži 84,97 % Al_2O_3 ; 15,03 % H_2O . Može da sdrži više od 1 % TiO_2 , MgO , CaO , SiO_2 , Na_2O , K_2O i u manjim količinama i Sc i Ga_2O_3 .

Kristalni sistem: Rompski, holoedrijski.

Makroskopske osobine: Boja bijela; ogreb bijel; sjaj mutan. Cjepljivost savršena po (010).

Mikroskopske osobine: Kristali su mikroskopski, pločasti po (001). Obično sitnozrnasti agregati, pizoliti ili raspršeni u matriksu.

Indeksi loma veći od indeksa loma kanada balzama, zbog čega pokazuje pozitivan reljef. $n=1,638-1,651$. Dvolom umjeren $Nz-Nx=0,013$.

T: 3;

H: 3,019.

Geneza i parageneze: Pripada grupi egzogenih minerala i ulazi u sastav boksita, u asocijaciji sa hidrargilitom, getitom, hematitom, anatasom, kaolinitom. Kao hidroermalni produkt nalazi se u asocijaciji sa nefelinom i zeolitima, naročito u pegmatitima. Putem dijogeneze ili slabog metamorfizma prelazi u dijaspor.

4.14.3. HIDRARGILIT (GIBSIT) Al(OH)_3

Hemijski sastav: Sadrži 65,4 % Al_2O_3 i 34,6 % H_2O . kao primjese sadrži Fe_2O_3 do 2 %, Ga_2O_3 do 0,006 %.

Kristalni sistem: Monoklinski.

Makroskopske osobine: Javlja se u veoma sitnim kristalima, a obično u vlaknastim i listastim agregatima. Kristalne forme su (100); (110) i (001). Kristali su bezbojni, a kriptokristalasti agregati bijeli, sivi, do zelenkaste boje. Ogreb je bijele boje. Sjajnosti staklaste do sedefaste na površinama cjepljivosti ili mat kod kriptokristalastih agregata. Kristali su prozračni. Krt; cjepljivost savršena po pljosni (001); listići elastični; prelom stepenast ili ravan, do školjkast kod agregata.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan do blijedosmeđ. Indeksi loma nešto viši od indeksa loma kanada balzama, reljef nizak.

$$N_x=1,554-1,567 \quad N_y=1,554-1,567 \quad N_z=1,576-1,589$$

Dvolom je umjeren, $N_z-N_x=0,022$, interferira u bojama prvog do drugog reda. Ravnina optičkih osi je okomita na (010), a kod nekih hidrargilita paralelna s (010). Ugao optičkih osi je varijabilan, $2V=0^{\circ}-40^{\circ}$. Optički je pozitivan. Potamni koso. Ugao potamnjenja Z:a, pukotine cjepljivosti u presjeku paralelnom s (001) su česte.

Polisintetičke blizne lamele smjerom (001) su česte.

T: 2,5-3.

H: 2,3-2,4.

Geneza i parageneze: Može doći kao hidrotermalni mineral u žilama i šupljinama prvenstveno alkalnih stijena. Najčešće je produkt trošenja aluminijskih minerala, pa ga najviše ima u lateritskim i platformnim boksitima. Uglavnom dolazi uz sekundarne minerale željeza i aluminija, kao što su: bemit, dijaspor, getit i dr.

Identifikacija: Hidrargilit je po strukturi sličan kalcedonu, ali se od njega razlikuje većim indeksima loma, pozitivnim reljefom i jačim dvolomom. Od kaolinita se razlikuje jačim dvolomom, a od muskovita kosim potamnjnjem.

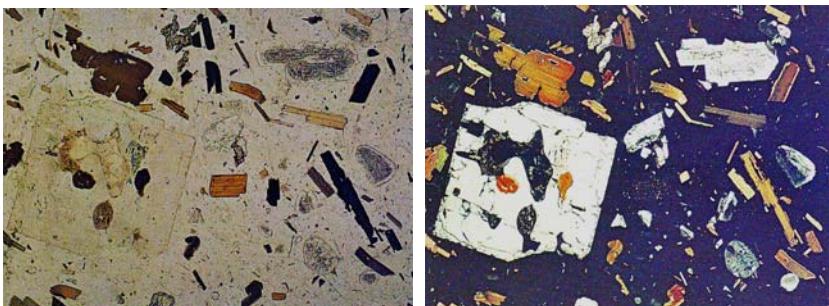
5. POJEDINAČNI MINERALI RAZLIČITIH GRUPA

5.1. TRIDIMIT SiO_2

Hemijski sastav: Polimorfna modifikacija kvarca. Ima svoje dvije polimorfne modifikacije: α -tridimit, niskotemperaturna modifikacija heksagonske simetrije i β -tridimit, visokotemperaturna modifikacija trigonske ili heksagonske simetrije.

Kristalni sistem: α -tridimit:heksagonski; β -tridimit:trigonski ili heksagonski

Makroskopske osobine: Kristali tridimita se pojavljuju u vidu heksagonskih ploča koje predstavljaju kombinaciju ploha (0001), (1010), (1011), (10 2 0). Sivobijel do bezbojan. Sjajnost staklasta. Cjepljivost nesavršena.



Sl.169. Tridimit

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan. Indeksi loma su manji od indeksa loma kanada balzama, reljef je negativan.

$$N_x=1,460 \quad N_y=1,469 \quad N_z=1,473$$

Dvolom je malen, $N_z-N_x=0,004$, interferira u sivoplavkastojo boji prvog reda. Presjeci paralelni s trećim pinakoidom (001) su tamni, jer je $N_y-N_x=0$. potamni paralelno s baznim pinakoidom. Blizanci u presjeku klinastog oblika su vrlo česti. Zagrijavanjem iznad 130° , sraslačke lamele nestaju.

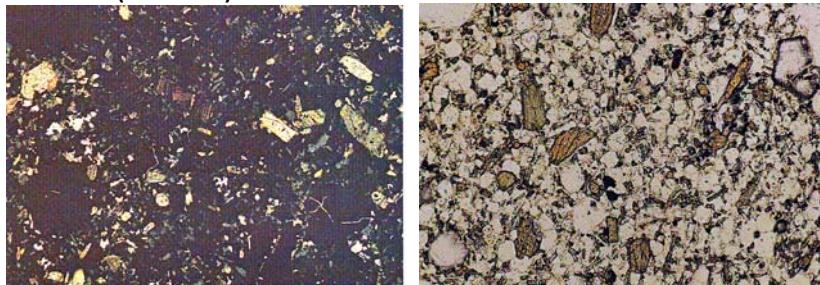
T: 6,5

H: 2,26.

Geneza i parageneze: Pojavljuje se u šupljinama vulkanskih stijena, gdje je nastao izlučivanjem iz toplih vulkanskih gasova, i u uklopcima raznih stijena u lavama, gdje je nastao termometamorfozom. Mada teorijski nastaje na temperaturama između 1470° i 870°C , vjerovatno zbog ugrađivanja malih količina Al u rešetku, dolazi do izvjesnog snižavanja donje temperaturne granice. Ovi visokotemperaturni tridimiti, pri opadanju temperature, kao što je ranije izloženo, mogu da pređu u kvarc, kada nastaju paramorfoze kvarca po tridimitu, ili, mnogo češće, prelaze u niskotemperaturni tridimit.

Identifikacija: Tridimitu je sličan kristobalit. Od njega se razlikuje nešto manjim indeksima loma, negativnim optičkim karakterom zone izduženja, paralelnim potamnjnjem i blizancima u formi klina.

5.2. SFEN (TITANIT) CaTiSiO_5



Sl. 170. Sfen (titanit)

Hemijski sastav: Sadrži 28,6 % CaO ; 40,8 % TiO_2 i 30,6 % SiO_2 . U sfenu su često prisutni Fe, Al, Mg, Mn, Y, T, Nb, Ta, Sn, Zr, B, Na, K, Th, U, kao i niz drugih elemenata. Cr_2O_3 može biti sadržan do 12 %, SnO_2 do 10 %, MnO do 4 % itd.

Kristalni sistem: Monoklinski, holoedrija

Makroskopske osobine: Javlja se u kristalnim formama koje su ili sabijene, prizmatične, pločaste ili u formi romba. Rijedak u zrnastim agregatima. Kristalne forme: (111), (001), (100), (102) i (110). Blizni se po pljosni (100). Cjepljivosti jasne po (110). Sjajnosti voštane do dijamantske, na prelomu smolaste ili masne. Boje obično žute (kao med ili vosak), rjeđe zelenkaste, sive, ružičaste i drugih. Boja ogreba bijela.

Mikroskopske osobine: Idiomorfni sfen pokazuje u mikroskopskim preparatima karakteristične presjeke šiljastog romba. Relativno nepravilne pukotine cjepljivosti nisu uglavnom paralelne s kristalnim plohama. Bezbojan je rijetko žut ili smeđežut. Ponekad u debljim preparatima pokazuje pleohroizam, X=bezbojan, Y=žućkast do zelenkast, Z=žut do crvenosmeđ.

Indeksi loma vrlo visoki, zato pokazuje visoki reljef s crnim rubom oko kristala, a ističe se i šagrenirana površina.

$$N_x=1,887-1,913 \quad N_y=1,894-1,921 \quad N_z=1,979-2,054$$

Dvolom je ekstremno velik, $N_z-N_x=0,092-0,141$, radi toga sfen interferira u bijeloj boji višeg reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Ugao optičkih osi znatno koleba, $2V=23^{\circ}-50^{\circ}$. Optički je pozitivan. Presjeci romba pokazuju simetrično potamnjjenje. Zbog jake disperzije pojedini presjeci ne potmne potpuno. Disperzija $r>v$ jaka.

T: 5-5,5.

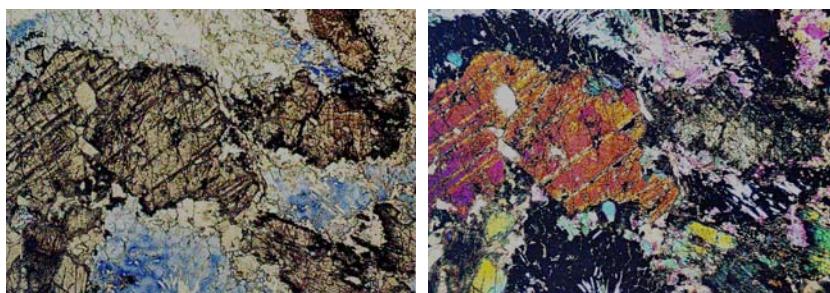
H: Oko 3,5.

Geneza i parageneze: Sfen nastaje magmatski, pegmatitski, pneumatolitski i hidroermalno. Kao pneumatolitski i hidroermalan mineral može se razviti i sekundarno, pri raspadanju ilmenita (tada ga nazivamo leukoksenon), augita, hornblende i biotita sa sadržajem titana. Najviše je zastupljen u intermediarnim magmatskim stijenama. Pri površinskom raspadanju je stabilan, te se koncentriše u ostacima mehaničkog raspadanja stijena.

Identifikacija: Presjeci u obliku romba, jako istaknut reljef i interferencija u bijeloj boji višeg reda su karakteristike sfena.

5.3. KORDIJERIT $(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$

Hemski sastav: Sadrži 13,68 % MgO (koji se izomorfno zamjenjuje sa FeO): 34,96 % Al_2O_3 i 51,36 % SiO_2 . Vrste kordijerita kod kojih je Mg u potpunosti zamijenjen sa Fe, naziva se željezni kordijerit. Od primjesa sadrži: CaO, Na₂O i H₂O.



Sl.171. Kordijerit

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Javlja se u oblicima koji predstavljaju prizme, pinakoide i bipiramide. Kristali imaju pseudoheksagonalni oblik. Često se javlja u zrnastim agregatima. Rijetko se javlja u vidu blizanaca (dodirni i prodorni blizanci) po pljosni prizme (110)-aragonitski zakon. Obično je bezbojan ili obojen u različitim tonovima sive, ljubičaste i mrke boje. Sjajnosti staklaste. Cjepljivost srednje izražena po plohi (010), a nesavršena po (100) i (001). Lom ljušturstast.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima obično je alotriomorfan, cjepljivost u pravilu nije vidljiva. U prepartima normalne debljine je bezbojan, dok u debljim pokazuje pleohroizam X=žut, zelen, smeđ. Y=tamnoljubičast, tamnoplav, tamnosmeđ, Z=plav, žut, smeđ. Kordijeriti bogati željezom pokazuju pleohroizam i u tankom preparatu, X=bezbojan, Y=Z=ljubičast.

Indeksi loma rastu s porastom željezne komponente. Većim dijelom su jednaki indeksu loma kanada balzama. Reljef je nizak.

$$N_x=1,532-1,552 \quad N_y=1,536-1,562 \quad N_z=1,539-1,570$$

Dvolom je malen i takođe raste s porastom željeza., $N_y-N_x=0,007-0,011$. interferira u sivoj boji, a maksimalna interferentna boja je žuta boja prvog reda. Dvolom probližno odgovara dvolomu kvarca.

Ravnina optičkih osi je (100). X je okomit na (001). Ugao optičkih osi jako je kolebljiv, ali nije ovisan o sadržaju željeza. $2V=39^{\circ}-84^{\circ}$. Optički je negativan, a neki kordijeriti su i pozitivni. Potamni paralelno produženju kristalnih ploha.

Polisintetske blizne lamele, slično kod plagioklasa, nisu rijetke. Naročito je karakteristično bližnjjenje koje se zapaža u poprečnom presjeku, pseudoheksagon podijeljen na 6 sektora. Dva suprotna sektora pripadaju jednom individuumu, iste su optičke orijentacije, interferiraju u istim bojama i potamne istovremeno.

Vrlo često sadrži uklopke silimanita, staurolita, apatita, cirkona i drugih minerala. Cirkon obično pokazuje pleohroitski ovoj koji je vidljiv u bezbojnem kordijeritu. Kad je vibraciona ravnina polarizatora paralelna s X, pleohroitski ovoj je nježnožute boje kao limun. Unutar pleohroitskog ovoja smanjuje se dvolom.

T: 7.

H: 2,55.

Geneza i parageneze: Genetski je tipičan metamorfni mineral. Javlja se u kordijeritskim škriljcima, a može biti sastojak pegmatita i magmatskih stijena bogatih magnezijumom. Može biti srednje do visokotemperurni mineral. Javlja se i u vulkanskim lavama, kada obično sadrži uklopljeno vulkansko staklo. Pod dejstvom atmosferilija transformiše se u listaste aggregate, kao i u liskun.

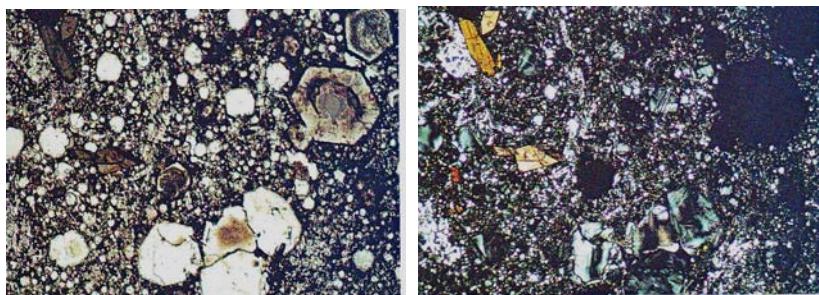
Identifikacija: Kordijerit je vrlo sličan kvarcu po reljefu, po interferentnim bojama i po tome što nije razvijena cjepljivost. Od kvarca se razlikuje po tome što je optički dvoosan, pleohroitskim ovojem i karakterističnom metamorfozom, ako je prisutna.

Kad se u njemu javljaju polisinteske blizne lamele, sličan je plagioklasima.

Prorastanja heksagonskog izgleda podijeljeni u šest sektora vrlo su karakteristični za kordijerit.

5.4. VOLASTONIT CaSiO_3

Hemijiski sastav: Sadrži 48,3 % CaO i 51,7 % SiO_2 . Poznate su modifikacije: paravolastonit, monoklinična modifikacija koja se na temperaturi od 1200°C vraća u volastonit i pseudovolastonit koji pripada pseudoheksagonalnoj simetriji. Volastonit sa dosta gvožđa naziva se ferovolastonit. Od primjesa može sadržavati Fe , Mg , Mn , a nekad i Al .



Sl.172. Volastonit

Kristalni sistem: Triklinski

Makroskopske osobine: Boje je bijele, a nađene su i savršeno prozračne i bezbojne vrste volastonita. Boja ogreba bijela. Sjajnosti staklaste, a na površini cjepljivosti sedefaste. Cjepljivost savršena po (001) i (101).

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu štapičasti do vlaknasti agregati volastonita su bezbojni.

Indeksi loma su relativno visoki, reljef je umjeren, pozitivan.

$$N_y=1,620 \quad N_y=1,632 \quad N_z=1,634$$

Dvolom je malen, $N_y-N_x=0,014$. maksimalna interferentna boja je narandžasta boja prvog reda. Paralelno zoni izduženja interferira u sivoj do bijeloj boji prvog reda. Ravnina optičkih osi skoro je paralelna sa (010) i prema tome leži okomito na zonu izduženja kristala. Optički je negativan, $-2V=40^\circ$. Potamni skoro paralelno sa smjerom izduženja, jer je kristalna os **b** skoro paralelna s titrajnijim smjerom **Y**; inače $X:c=32^\circ$. Disperzija $\triangleright v$ slaba.

T: 5.

H: 2,9.

Geneza i parageneze: Tipičan metamorfni mineral. Nalazi se na kontaktu krečnjaka i eruptivnih stijena ili u skarnovima zajedno sa Ca-Mg silikatima, diopsidom, vezuvijanom, Ca-granatima i epidotom.

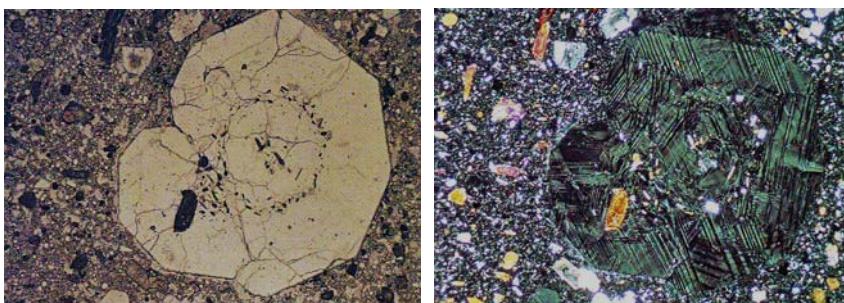
Identifikacija: Volastonit je makroskopski i mikroskopski sličan tremolitu. Tremolit paralelno izduženju potamni koso i pokazuje karakterističnu amfibolsku cjepljivost. Ta dva minerala se razlikuju i po položaju optičkih osi. Volastonitu sličan coisit višeg je indeksa loma i najčešće pokazuje anomalnu lavandoplavu interferentnu boju.

5.5. PRENIT $\text{Ca}_2\text{Al}_2[(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]$

Hemijiski sastav: Veoma je varijabilan: SiO_2 do 44,04; Al_2O_3 do 25,37 %; CaO do 27,25 % i H_2O do 4,60 %. Sadrži primjese Fe_2O_3 i FeO .

Kristalni sistem: Rombičan

Makroskopske osobine: Boje je bijele, zeleno-sive do žuto-zelene. Sjajnost staklasta. Cjepljivosti srednje izražene po pljosni (100). Ne javlja se u kristalima, već u kristalastim agregatima, najčešće radijalno vlknaste građe.



Sl.173. Prenit

Mikroskopske osobine: Javlja se u agregatima poput snopa, kao niti svezanih u petlje, u radijalno trakastim agregatima ili su pločasti smjerom (001). U mikroskopskom preparatu je bezbojan.

Indeksi loma su visoki, zbog čega pokazuje umjereni pozitivan reljef.

$$N_x=1,615-1,635 \quad N_y=1,624-1,642 \quad N_z=1,645-1,665$$

Dvolom je kolebljiv, umjeren do velik, $N_y-N_x=0,020-0,033$, tako da interferira u živim bojama drugog reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Ugao optičkih osi je vrlo variabilan, najčešće $2V=65^{\circ}-70^{\circ}$. Optički je pozitivan. Potamni paralelno. Karakteristično je nejednoliko potamnjivanje i prenit među ukrštenim nikolina izglarda poput mozaika, odnosno parketa (sl.173).

Neki presjeci pokazuju finu strukturu sraslačkih lamela slično mikroklinu.

T: 6,54

H: 2,8-3,0.

Geneza i parageneze: Tipičan je hidrermalni mineral, koji se stvara raspadanjem bazičnih plagioklasa u gabrovima i amfibolitima. Nalazi se često u asocijaciji sa zeolitima, kalcitom, epidotom i drugim sekundarnim mineralima u mandulama bazaltnih i andezitskih stijena kao i u pukotinama gabrova.

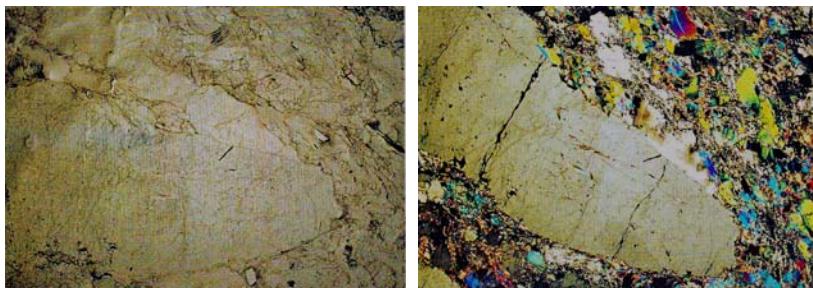
Identifikacija: Za prenit su karakteristični radijalnotrakasti agregati, relativno visok reljef, žive interferentne boje i potamnjivanje sa strukturon poput parketa.

5.6. TALK $Mg_3[(OH)_2(Si_4O_{10})]$

Hemijski sastav: Sadrži 31,7 % MgO; 63,5 % SiO₂ i 4,8 % H₂O. Magnezijum u strukturi talka može često biti zamijenjen sa željezom (2-5 %), može sadržati Al₂O₃ (do 2%), Fe₂O₃ i MnO. Talk kod koga je Mg zamijenjen djelimično sa Ca naziva se kalciotalk, a onaj kod koga je Mg zamijenjen sa željezom, a dio silicijuma sa Al i fe, naziva se minesotait.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Ne javlja se u kristalima pa su mu kristalne forme nepoznate. Jedre mase talka nazivaju se steatitom. Bijele ili blijedozelene boje. Ogreb bijel. Staklaste sjajnosti, nekad sedefastog izgleda. Opip mastan. Providan u tankim listićima. Cjepljivost savršena po plohi (001).



Sl. 174. Talk

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu fini listići i vlakna talka su bezbojni.

Indeksi loma uglavnom su veći od indeksa loma kanada balzama. Reljef mu je nizak, a ponekad negativan.

$$N_x=1,538-1,545 \quad N_y=1,575-1,590 \quad N_z=1,575-1,590$$

Dvolom je velik, $N_y-N_x=0,030-0,050$. Interferira u živim bojama. Maksimalne interferentne boje su visoke boje trećeg reda. Obzirom da je $N_z-N_y\approx 0$, presjeci paralelni s trećim pinakoidom (001) interferiraju u najnižoj sivoj boji prvog reda ili su potpuno tamni. Ravnina optičkih osi paralelna je prvom pinakoidu (100). Oštra simetrala X izlazi gotovo okomito na cjepljivost (001). Ugao optičkih osi je varijabilan i malen, $2V=6^{\circ}-30^{\circ}$. Optički je negativan. Optički karakter paralelan s pukotinama cjepljivosti je pozitivan. Potmni paralelno s pukotinama cjepljivosti, u nekim presjecima, ugao potamnjena $2^{\circ}-3^{\circ}$.

T: 1

H: 2,82.

Geneza i parageneze: Postaje djelovanjem toplih voda bogatih CO_2 na magnezijske silikate, kao što su olivin, pirokseni, amfiboli i dr. ovi procesi su najčešće ostvareni u zonama dinamometamorfizma. Zato se najčešće javlja u kristalastim škriljcima zajedno sa aktinolitom, hloritom i magnezijskim liskunima. U asocijaciji sa talkom mogu biti i dolomit, kao i magnezit. Izgrađuje monomineralne stijene-talkštiste.

Identifikacija: Karakteristika talka su fini listićavi agregati slabog reljefa i jakih interferentnih boja. Vrlo je sličan muskovitu, ali je muskovit vezan za kisele stijene s kvarcom i alkalnim feldspatima, a talk je vezan za bazične stijene s feromagnezijskim mineralima. Za sigurnu determinaciju neophodna je hemijska analiza. Talk ima manji ugao optičkih osi od muskovita, ali je to teško ustanoviti zbog vrlo sitnih listića talka.

5.7. PIROFILIT $\text{Al}_2[(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}]$

Hemijski sastav: Sadrži 66,7 % SiO_2 ; 28,3 % Al_2O_3 i 5 % H_2O . Od primjesa sadrži MgO (9 % i više), FeO (do 5 %); Fe_2O_3 ; u minimalnim količinama CaO , TiO_2 i alkalije.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Najčešće se javlja u u pločastim i zrakastim agregatima. Agregati teksturno slični jedrim masama talka nazivaju se agalmatolit.

Boje je bijele, zelenkaste, a nekad i žućkaste. Sjajnost staklasta, po plohi cjepljivosti sedefasta. U tankim listićima providan. Cjepljivost savršena u jednom pravcu (001). Listići kao i kod talka savitljivi, ali ne i elastični.

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je bezbojan.

Indeksi loma su veći od indeksa loma kanada balzama. Reljef je nizak.

$$N_x=1,552 \quad N_y=1,5888 \quad N_z=1,600$$

Dvolom je velik, $N_z-N_x=0,048$. U presjecima okomitim na cjepljivost interferira u živim bojama trećeg reda. U presjeku paralelnom s pukotinama cjepljivosti (001) interferira u sivoj do žućkasto boji prvog reda, jer se u toj ravnini nalaze vibracioni smjerovi **Y** i **Z**, dok je $N_y-N_x=0,012$. Ravnina optičkih osi paralelna je sa (001), **X** je paralelan s kristalografskom osi **a**. Ugao optičkih osi $2V=530-600$. Optički je negativan. Optički karakter paralelno cjepljivosti je pozitivan. Potamni paralelno izduženju i paralelno pukotinama cjepljivosti



Sl. 175. Pirofilit

T: 1 do 1,5.

H: 2,84.

Geneza i parageneze: Pojavljuje se u metamorfnim stijenama i često se razvija kao i hidrotermalno-alteracioni produkt. Nalazi se u asocijaciji sa andaluzitom, silimanitom, distenom i alunitom.

Identifikacija: Pirofilit je vrlo sličan muskovitu i talku, ali mu je ugao optičkih osi veći nego u ta dva minerala. Za njihovo tačno razlikovanje potrebna je hemijska analiza.

5.8. LAVSONIT $\text{CaAl}_2[(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot \text{H}_2\text{O}$

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Kristali su prizmatskog habitusa. Odlične je cjepljivosti smjerom drugog pinakioda (010), nešto slabija smjerom trećeg pinakioda (001), a dobra smjerom prizme (110). Bezbojan je ili plavkast.

Mikroskopske osobine: Karakteristični su poprečni presjeci u formi romba. Uzdužni presjeci su pravougaonici. Odgovarajuće pukotine cjepljivosti su jasne. U mikroskopskom

preparatu je bezbojan. U debljim preparatima je obojen i pleohroitičan, X=plav, Y=žućast, Z=bezbojan.

Indeksi loma su visoki, reljef jako izražen, visok.

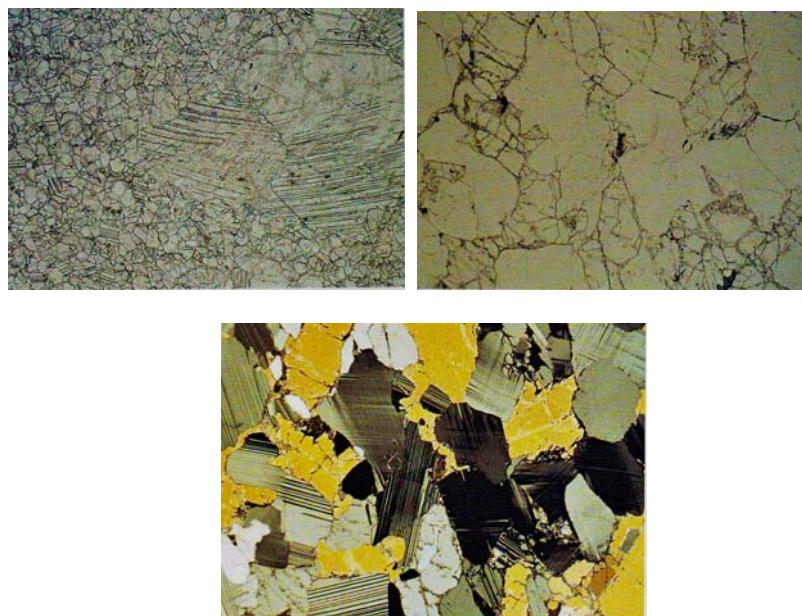
$$N_x=1,665 \quad N_y=1,674 \quad N_z=1,684$$

Dvolom je umjeren, $N_z-N_x=0,019$, maksimalna interferentna boja je plava boja drugog reda. Ravnina optičkih osi je (010). Ugao optičkih osi je vrlo velik, $2V=84^{\circ}$. Optički je pozitivan. Potamni paralelno, a u presjecima romba simetrično. Disperzija $r>v$ je jaka. Ponekad se javljaju polisintetičke blizne lamele smjerom (110).

T: 6.

H:3,1.

Geneza i parageneza: Čest je mineral glaukofanskih škriljaca. Nastaje zajedno s albitom pri sosiritzaciji plagioklasa u gabru. Asociran je s muskovitom, glaukofanom, granatom i sfenom.



Sl. 176. Lawsonit

Identifikacija: Tipičan sekundarni mineral. Od poznatih sekundarnih minerala ima najviše indekse loma. Slični su mu donekle coisit i klinocoisit. Lawsonit pokazuje veći dvolom od oba minerala. Sličan mu je skapolit, koji je jednoosan.

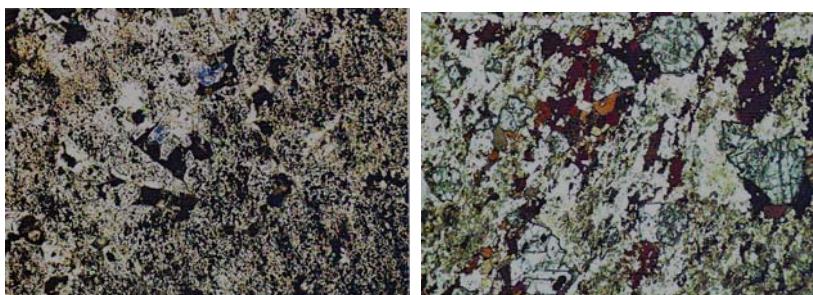
5.9. ARAGONIT CaCO_3

Hemijski sastav: Sadrži 56,0 % CaO i 44,0 % CO_2 . Sadrži primjese Sr (do 5,6 %), Mg, Fe, Zn i Pb.

Kristalni sistem: Rompski

Makroskopske osobine: Kristali su ili pločasti ili igličasti, obično kombinacije (110), (010), (011) i (111). Bližnjenje često po prizmi (110), lamelarno između većeg broja individua, ili ciklično, izvedeno na razne načine. Usled bližnjenja zrno dobija pseudoheksagonalan izgled. Aragonit se, najčešće koncentriše u agregatima stubičastih ili pločastih zrna. Agregati mogu pokazivati kuglaste ili stubaste konture, a zrna aragonita su obično raspoređena radijalnozrakasto. Cjepljivosti jasne po (010). Krupnije stubaste agregati jasno pokazuju ravni djeljivosti. Preloma školjkastog. Krt. Sjajnosti staklaste, na prelomima masne. Providan, prozrašaćan, može biti i mutan. Bezbojan, bijel ili različito obojen: žut, siv, zelenkast i mrk. Pod ultraljubičastom svjetlošću luminiscira.

Mikroskopske osobine: Najčešći su štapičasti i vlaknasti agregati. Veći kristal u poprečnom presjeku je pseudoheksagon. U mikroskopskim prepartima je bezbojan. Cjepljivost u vlaknastim agregatima je slabo vidljiva.



Sl.177. Aragonit

Indeksi loma, slično kao kod kalcita su jako različiti, pa aragonit pokazuje različit intenzitet reljefa u različitim smjerovima (pseudoapsorpcija). Aragonit je negativnog reljefa kada su vlakna paralelna vibracionoj ravnini polarizatora, a u položaju okomitom na to reljef je istaknut pozitivan. Bazalni presjeci ne pokazuju promjenu reljefa, jer paralelno titraju Z i Y, a N_z i N_y su gotovo jednaki.

$$N_x=1,530 \quad N_y=1,681 \quad N_z=1,685$$

Maksimalni dvolum je vrlo velik N_z-N_x=0,155, interferira u bijeloj boji prvog reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Oštra raspolovnica X izlazi okomito na treći pinakoid. Ugao optičkih osi je malen, 2V=18°. Optički je negativan. Disperzija κv slaba. Potamni paralelno izduženju kristala, odnosno vlakanaca.

T: 3,5-4.

H: 2,9-3,0.

Geneza i parageneze: Kristalizira iz topnih voda u kavernama krečnjaka, oko topnih izvora i gejzira i u kosturima brojnih živih organizama. Ima ga u ležištima gipsa, limonita i siderita. Dolazi uz limonit, siderit, druge karbonate, celestin, brucit, zeolite i feldspate. Kao nestabilna modifikacija CaCO₃ teži da pređe u kalcit.

Identifikacija: Aragonit karakteriše velika promjena reljefa u različitim položajima (pseudoapsorpcija) i interferentna bijela boja višeg reda. Po tim svojstvima sličan je kalcitu. Od njega se ipak razlikuje jer je aragonit optički dvoosan i ne pokazuje romboedrijsku cjepljivost kalcita.

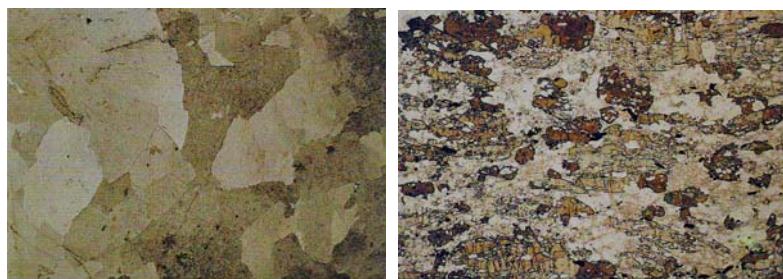
5.10. ANHIDRIT CaSO_4

Hemijski sastav: Sadrži 41,2 % CaO i 58,8 % SO_3 . Sadrži primjese Sr i Ba, a često je i onečišćen bitumenom.

Kristalni sistem: Rompski

Način pojavljivanja: Rijetko se javlja u kristalima. Obično stvara masivne, zrnaste i jedre aggregate. Pseudomorfoze po gipsu.

Makroskopske osobine: Cjepljivost po sva tri pinakoida: savršene po (001), nešto slabije po (010) i jasne po (100). Usljed tih cjepljivosti mogu se dobiti mali heksaedri sa pljosnima različite sjajnosti. Sjajnosti sedefaste po (001), staklaste po (010) i masne po (100). Providan do prozračan, može biti i mutan. Bezbojan, bijel, plavičast, siv.



Sl.178. Anhidrit

Mikroskopske osobine: U mikroskopskom preparatu su međusobno okomite pukotine cjepljivosti uvijek jasno izražene. Bezbojan je, rijetke ljubičaste vrste pokazuju pleohroizam, Y=bezbojan, X=Z=ljubičast.

Indeksi loma su veći od indeksa loma kanada balzama, reljef je nizak do umjereno pozitivan.

$$N_x=1,570 \quad N_y=1,576 \quad N_z=1,614$$

Dvolom je velik, $N_y-N_x=0,044$, interferira u živim bojama drugog i trećeg reda. U presjeku paralelnim s drugim pinakoidom pokazuje pseudoapsorpciju zbog veće razlike indeksa loma N_x i N_z . Ravnina optičkih osi paralelna je s drugim pinakoidom (010). **Z=a, X=c, Y=b**. Optički je pozitivan. Ugao optičkih osi je umjeren $+2V=42^\circ$. disperzija $\kappa_v < \kappa_u$ jasna. Potamni paralelno.

T: 3-3,5.

H: 2,8-3.

Geneza i parageneze: Važan je petrogeni mineral, naročito u hemijskim sedimentima. Kristalizira ako je temperatura preko 40°C i pri visokom salinitetu. U protivnom kristalizira gips. Može se pojaviti i u magmatskim stijenama i u žilama. Dolazi uz gips, dolomit, halit, celestin, kalcit, glauberit, prehnit, zeolite i kvarc.

Identifikacija: Za anhidrit su vrlo karakteristične međusobno okomite cjepljivosti smjerom tri pinakoida i žive interferentne boje. Od gipsa se razlikuje višim indeksima loma i velikim dvolomom.

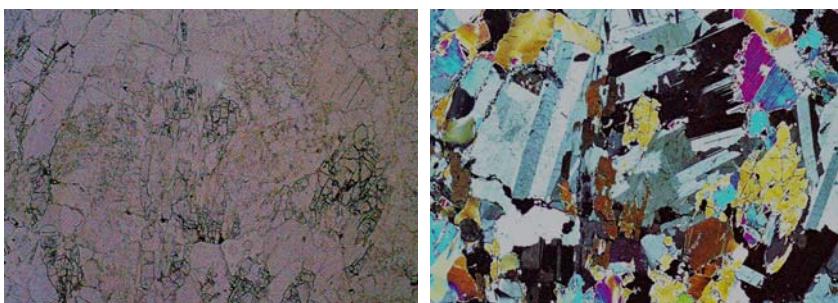
5.11. GIPS $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Hemski sastav: Sulfat kalcijuma sa 32,5 % CaO; 46,6 % SO₃ i 20,9 % H₂O. Najčešće je hemski čist, ali može kao primjese da sadrži glinovite i organske tvari i sulfidne minerale.

Kristalni sistem: Monoklinski

Način pojavljivanja: Kristali su česti, pločasti po bočnom pinakoidu ili izduženi, pa čak i igličasti smjerom kristalografske osi c. Mogu biti deformisani tokom rasta, ali zadržavaju monoklinski izgled. Druze su takođe česte. Vrlo su česti po (100) dodirni sraslaci, s jasno izraženim upadnim uglom, pa podsjećaju na račvasti lastin rep. Po (111) srastaju dva pojedinka križno i rijetko po (101) kao dodirni sraslaci. Poseban tip srastanja su pustinjske ruže, kada se javljaju rozete kristala gipsa. Dolazi i kao masivni, kompaktni, znasti, vlknasti i bubrežasti agregati.

Makroskopske osobine: Sitnozrni agregati. Bijele boje, koji su prozračni ili poluprozračni, nazivaju se alabasteri, a fibrozni i vlknasti agregati zovu se vlknasti gips ili selenit. Bezbojan, snježnobijel, prozračan i providan ako je čist. Zbog primjesa može biti različito obojen. Ogreb bijel. Sjajnosti staklaste do sedefaste i svilaste kod vlknastih agregata. Cjepljivost savršena po (010) i jasna po plohi (100). Lističi gipki ali nisu elastični. Prelom kod kristala stepenast, a kod sitnozrnih agregata ravan, gladak ili vlknast. Teško se rastvara u vodi i kiselinama.



Sl.179. Gips

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima gips je bezbojan. Pokazuje dobru cjepljivost.

Indeksi loma niži od indeksa loma kanada balzama, zbog čega je negativnog reljefa.

$$N_x=1,520 \quad N_y=1,522 \quad N_z=1,529$$

Dvolom je malen, $N_z-N_x=0,009$ i u normalno debelim preparatima gips interferira u sivoj boji prvog reda. Maksimalna interferentna boja je je žuta boja prvog reda. Ravnina optičkih osi paralelna je s (010). Optički je pozitivan. Ugao optičkih osi $+2V=50^\circ$. disperzija $r>v$ jaka. U presjecima paralelnim sa (100) potamni paralelno. Inače koso X:c=37°30' u oštrom ugлу β.

T: 2.

H: 2,3.

Geneza i parageneze: Tipičan hemijski sediment. Nastaje u lagunama zajedno sa anhidritom, kamenom soli i dr. iz vodenih rastvora izdvaja se na temperaturi od 63°C , a pri višim temperaturama stvara se anhidrit. Postaje metasomatozom na krečnjacima, djelovanjem H_2SO_4 . Nalazi se i u glinovitim sedimentima, gdje nastaje raspadanjem sulfidnih minerala. Kao sporedan mineral javlja se u rudnim žicama, gdje nastaje oksidacijom sulfida.

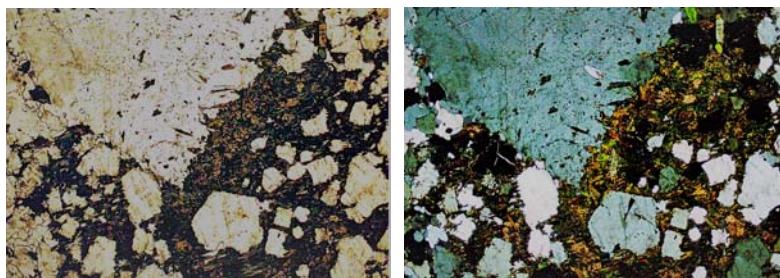
Identifikacija: Gips pokazuje tri cjepljivosti, negativnog je reljefa, a interferira u sivoj boji prvog reda. Po optičkim karakteristikama lako se razlikuje od anhidrita.

5.12. MONACIT CePO_4

Hemijski sastav: Sadrži $21,08\text{-}32,29\%$ Ce_2O_3 , $27,90\text{-}41,83\%$ La_2O_3 i $24,90\text{-}29,70\%$ P_2O_5 . Može prisustvovati Th (32 %), Si (6,1 %), U (6,6 %), S (3 %), a u neznatnim količinama Mg, Mn, Pb, Fe^{2+} i Al. Pripada fosfatima s velikim kationima.

Kristalni sistem: Monoklinski

Makroskopske osobine: Kristali su mu rijetki i obično sitni i tabličasti. Mogu se naći i veoma krupni kristali, težine do nekoliko kilograma. U vidu stnih ovalnih zrna nalaze se u pjesku. Boje žutomrke, mrke, crvenkaste, rijetko zelene. Prozračan do neprovidan. Sjajnosti staklaste do masne. Krt. Cjepljivosti savršene po (001). Preloma školjkastog do neravnog. Često je radioaktivran.



Sl.180. Monacit

Mikroskopske osobine: U mikroskopskim preparatima je gotovo bezbojan. Jasno se zapaže apsorpcija $\text{Y}>\text{X}=\text{Z}$, ali ne i pleohroizam.

Indeksi loma su visoki, reljef je izrazit i pozitivan.

$$N_x=1,786\text{-}1,800 \quad N_y=1,788\text{-}1,801 \quad N_z=1,837\text{-}1,849$$

Dvolom je vrlo velik, $N_z-N_x=0,045\text{-}0,051$, interferira u živim bojama trećeg reda. Maksimalne interferentne boje penju se do blijeđih početnih boja četvrtog reda. Poprečni presjeci pokazuju vrlo slabi dvolom s najnižom sivom interferentnom bojom, jer je $N_y-N_x=0,001\text{-}0,002$. Ravnina optičkih osi okomita je na (010). Ugao optičkih osi je malen, $2V=6^{\circ}\text{-}19^{\circ}$. Optički je pozitivan. Disperzija $r>v$ i $r<v$ slaba. Potamnjivanje uzdužnog presjeka je koso. Ugao potamnjivanja je vrlo malen, $Z:c=2^{\circ}\text{-}6^{\circ}$ u tupom uglu β .

Obzirom da sadrži radioaktivni torijum, često se uočava proces izotropizacije. Takav metamiktni mineral je malog dvoloma.

T: 5-5,5.

H: 4,8-5,5.

Geneza i parageneze: Javlja se u kiselim, alkalnim stijenama, granitima i sijenitima i njihovim žičnim ekvivalentima-pegmatitima. U asocijaciji je s cirkonom, turmalinom i magnetitom.

Identifikacija: Sličan je cirkonu, ali je cirkon većih indeksa loma i optički je jednoosan. Sličan mu je i olivin, ali on ima veliki ugao optičkih osi. Kad je monacit i u maloj količini, pokazuje priličnu radioaktivnost.

INDEKS POJMOVA

A

Adams A.E. 188
Adular 141
Ahrensova prizma 32
Ahortit 105
Akmit 112, **120**
Aktinolit 116, 123, **125**
Akvamarin 107
Alanit 149, **152**
Albit 144
Albititi 100
Alfamonobromnaftalin 41
Alohrromatska boja minerala 5
Alofan 168
Almadin **81**
Alunit **97**
Alveoline 95
Alvit 100
Amfiboli 123
Amici-Bertrandova leća 62
Amorfne materije 19
Amplituda 4
Amplituda vibracije 12
Analcim **78**
Analizator 33
Andaluzit **153**
Andezin 144
Andeziti 88
Andezitsko staklo 86
Andradit **81**
Anhidrit **184**
Anit 134
Anizotropne materije 5, 19,
Anomalne interferentne boje **53**
Anomit **136**
Anortit 144
Anortoklas **142**
Antigorit 114, **165**
Antimonit 28
Antofilit 123, **124**
Anvelopa 8
Apatit 22, **98**

Apsolutni indeks loma 9
Apsorpcija svjetlosti 5, 31
Aragonit 28, **182**
Arfedsonit 124, **131**
Augit **118**
Augit-dijalag 112
Augit-feroaugit 112
Azbest 127

B

Barić T. 188
Barit 28
Bastit 114, 124
Bauenit 165
Bazalti 88
Bazaltski augit 119
Bazaltsko staklo 86
Bazične stijene 112
Baždarenje mikroskopa 35
Beckeova linija **40**
Berekov kompenzator **56**
Bemit **173**
Beril 76, **106**,
Berilski vezuvijan 101
Berry.L.G. 188
Berthelsen 18, 19
Bijela svjetlost 4
Biotit 93, 132, **134**
Biot-Frenselova konstrukcija 65
Bitovnit 144
Blistanje polirane površine 11
Boja minerala 5
Boja svjetlosti 4
Brewsterov zakon 32
Brewsterov ugao ili ugao polarizacije
32
Bromturmalin 105
Bronzit 113
Brucit 72, **93**

C

Celzijani **143**
Centriranje mikroskopa 34
Cinvaldit 132

- Cirkon 22, **99**
 Citrolit 100
Coisit 149
 Cornelis K. 188
 Crni rubovi 11
- Č**
 Čilska šalitra 22
- D**
 Dacitsko staklo 86
 Damurit 132Danait 79
 Danemorit 124
 Delesit 161, **163**
 Deer W. A. 188
 Dihroizam 37
Dikit 168
Dijaspor 172
 Diopsid-hedenbergit 112
 Diopsid 112, **115**, 118
 Dipir 102
 Disperzija indeksa loma 15
 Disperzioni efekt **41**
 Disperzija ugla optičkih osi **67**
 Disten 28, **155**
 Dolomit **96**
 Dragi serpentin 164
 Dravit 104
 Drvenasti opal 85
 Dunit 75
 Durbin 14
 Dvolom 18
 Dvoljuskasta polha 21
- E**
 Egirin 112, **120**
 Egirin-augit **119**
 Ekstraordinarna zraka 19, 31
 Elbait 104
 Elektromagnetni talasi 4
 Eleolit 108
 Elipsa 25
 Elipsoid 20
 Elongacija vibracije 12
- Enstatit 112, **113**
 Epidot (pistacit) 149, **151**
 Eudijalit 99
 Eulit 113
- F**
 Fajalit 110
 Faza 4
 Feldspati 136
 Fengit 132
 Ferimuskovit 132
 Ferobrucit 93
 Ferohipersten 113
 Ferohortonolit 110
 Ferosalit 115
 Ferosilit 113, **115**
 Ferotremolit 125
 Feručit 28
Flogopit 136
 Fluorapatit 98
Fluorit 76
 Frekvencija 4, **11**, 12
 Fosforiti 99
 Fotoaparat 33
 Forsterit 110
 Forque 3
 Franklinit 73
 Frauenhoferova metoda **13**
 Fraunhoferove linije 50
 Frensel 3, 17
 Frenselova talasna ploha 19
 Fuksit 132
- G**
 Gabrovi 103
 Galaksit 73
 Ganit 73
 Gankoit 149
 Garnijerit 164
 Geisselerova cijev 15
 Gejzirit 85
 Gelenit 99
 Geološki termometri 76
 Gips 87, 94, **185**

Gipsani listić (pločica) **54**
Glanova prizma 32
Glaukofan 124, **129**
Glaukonit **171**
Glavni indeksi loma 27, 29
Gnajs 103
Goniometar 14
Granit 100
Grinerit 123, 124
Grinalit 164
Grosular **81**
Grupa granata 81
Grupa spinela 72, **73**
Guilford C. 188

H

Hajin 79
Halit **87**
Haloazit **168**
Haotonit 134
Harmotom **159**
Hedenbergit 112, **117**
Heksagonski kristali 20
Hektorit 170
Heliodor 107
Helvin 79
Hematit 91
Hercinit 73, **75**
Hibšit 83
Hidrargilit (gibsit) **174**
Hidrofil 164
Hidroglosular 83
Hidromagnezit 94
Hidromuskovit (ilit) **171**
Hijalofani **143**
Hijalosiderit 110
Hijastolit 153
Hipersten 112, 113, **114**
Hlorapatit 98
Hloriti 161, **162**
Hloritoid (otrelit) **163**
Hojlandit 157, **160**
Hornblenda **127**
Horblenda aktinolitska 123

Hornblenda čermakitske 123
Hornblenda edenitska 123
Hornblenda hastigintska 123
Horizontalna disperzija 68
Hortonolit 110
Howie R. A. 188
Hrizokol 170
Hrizolit 110, **166**
Hromit 73
Hromdiopsid 115
Hromni beril 106
Huygens 3
Huygensov princip 7

I

Idingsiti
Idiohromatska boja minerala 5
Ilić M. 188
Ilmenit 93
Imerzione metode **41**
Imerziona sredstva 42
Indeks prelamanja svjetlosti 6
Infracrvene zrake 4
Indigolit 105
Interferencija **45**
Islandske kalcite, islandski dvolomac 3, 18, 31
Izbrusci 34
Izogire 65
Izohromatske krivulje 65
Izotropne materije 5, 19
Izvor svjetla 33

J

Jačina (intenzitet) svjetlosti 4
Jaedit (žaedit) 112, **121**
Jakopsis 73
Jednokružni goniometar 14
Justiranje polarizacionog mikroskopa **70**

K

Kalcedon **90**
Kalcibiotit 134
Kalcit 3, 21, 22, 23, **94**,

- Kalomel 22
 Kanada balzam 31, **39**,
 Kankrinit **108**
 Kaolinit **167**
 Karamata S. 188
 Kasiterit 76
 Kedrovo ulje 41
 Kemererit **163**
 Kerolit 164, 170
 Kleber W. 188
 Klinocoisit 149, **150**
 Klinoenstatit 118
 Klinohlor 161, **163**
 Knebelit 111
 Kohlerov dijagram 146
 Kolimator 14
 Kompenzatori 33
 Končanice 34
 Konoskop 34
 Konoskopska opažanja **62**
 Kordijerit **176**
 Korpuskularna teorija svjetlosti 9
 Korund **91**
 Kosa (nagnuta) disperzija 68
 Koso potamnjene **59**
 Kovačević R. 188
 Krečnjaci 102
 Kristali mješanci 62
 Kristobalit **88**
 Krokidolit 131
 Kronštedit 164
 Kroosit 131
 Kugla 21
 Kupferit 123, 124
 Kumengnotit **124**
 Kvarc **89**
 Kvarcni (kremenii) klin 51
- L**
 Labrador 144
 Lavrovit 115
 Lawsonit **181**
 Lazurit 79
 Led 20, 22
- Leminskate 65
 Lepidotit 132, **136**
 Lepidomelan 134, **135**
 Leptohloriti 163
 Leucit **77**
 Leucit-tefritsko staklo 86
 Linearno polarisana svjetlost 3
 Liparitsko staklo 86
 Liskuni (tinjci) 132
 Liskunski listić (pločica) **54**
 Lomni brid kline 13
 Lopta 7
- M**
 MacKenzie W.S. 188
 Magnetit
 Magnezoferit
 Magneziohromit 73
 Malakon 100
 Manganooapatit 98
 Manganobrucit 93
 Manganofilit 134
 Marijalit 102
 Mason B. 188
 Maxwell 3
 Medmontit 170
 Mejonit 102
 Melgarejo i Draper J.C. 188
 Melanit 83
 Melilit 99
 Meroksen **134**
 Metalni sjaj 18
 Metilenjodid 41, 42
 Metoda Beckeove linije (centralne rasvjete) **41**
 Metoda klina (prizme) 13
 Metoda kose rasvjete 42
 Metoda minimalne devijacije 13, 29
 Metoda šona (Chaulnes) 43
 Metoda totalne refleksije 15
 Michael-Levi 3
 Mikroklin **140**
 Mikrometarokulari 34
 Mikrometarski zavrtanj 33

Mikroskop 3
Mikroskopski preparati 34
Mikroskopski sto 33
Millardova polukugla 69
Minerali glina **166**
Mizonit 102
Monacit **186**
Monohromatska svjetlost 4, 15
Monticelit 111
Montmorilonit 169
Muskovit **132**
Mulit **153**

N

Nagatelit 149
Nakrit 167
Natrijski biotit 134
Natroalunit 98
Natrolit **158**
Negativni reljef **39**
Nejednako zamračene (šagrenirane) površine 11
Nefrit 125, **127**
Nemalit 94
Neobična, izvanredna, ekstraordinarna zraka **18**
Nicol W 3, 31
Nigrin 92
Nikol 3
Nikolova prizma 31, 32
Nefelin **107**
Nefelinsijeniti 109
Nepuit 164
Newton 3
Nontronit 169
Nozean 79
Numuliti 95

O

Obična, redovna, ordinarna zraka **18**
Obični opal 85
Objektmikrometar 34
Objektivi 33
Određivanje veličine u mikroskopu 34

Oksihorblenda 123, **129**
Okulari 33
Oligoklas 144
Olivin **110**
Omfacit 115, 119
Ooliti 95
Opaki minerali 5, 36
Opal **85**
Optička aktivnost **69**
Optička indikatrisa 24, 25
Optičke anomalije **61**
Optički dvoosni kristali 26, **65**
Optički jednoosni kristali 19, 21
Optički jednoosni negativni kristali 21
Optički jednoosni pozitivni kristali 21
Optički karakter izduženje (znak glavne zone) **58**
Optički negativni kristali 28
Optički pozitivni kristali 28
Ordinarna zraka 19
Orijentalni topaz 91
Ortit 149
Orthorhizotil 165
Ortoklas **139**
Ortoskop 34
Ortoskopska opažanja 44

P

Paligorskit 172
Paralelno potamnjjenje **59**
Paragonit 132, **134**
Pargazit 124, **127**
Pegmatiti 100
Pehštajn 86
Penin 161, **162**
Periklas **72**
Perfluorotributilsmin 42
Phillips R. 188
Pijemontit 149, **152**
Pikohrizotil 165
Pikotit 73, **75**
Pikroepidot 149
Pikrolit 164
Pikrosmin 165

Piralspiti **81**
Pirit 18
Pirofilit **180**
Pirokseni 112
Pirop 35, **81**
Pižonit 115, **118**
Plagioklasi **144**
Planck 3
Platina 18
Plemeniti opal 85
Pleohroizam (polihroizam) **37**
Pleonast 73, **75**
Podolit 98
Polarizator 33
Polarizacioni mikroskop 32
Polarizatori 33
Polucit 157
Postolje 33
Pozitivni reljef **39**
Prenit 102, **178**
Prohlorit 161, **163**
Providnost minerala 5
Prozračni minerali 5
Pseudoapsorpcija **40**
Pseudohromatska boja minerala 5
Pseudoleucit 77
Pukotine cjepljivosti 34

R

Radukić G. 188
Reed H.H. 188
Relativni indeks loma 9, 10
Reljef minerala 11, **38**
Refleksija svjetlosti 5
Refrakcija svjetlosti 6
Rendgenske zrake 4
Reperit 111
Ribekit 124, **130**
Rioliti 86
Ristić P. 188
Roseenbusch 3
Roskolit 132
Rösler H.J. 188

Rotacioni elipsoid 21, 25
Rubelit 105
Rubin 91
Rudni minerali 36
Rutil 22, 75, 91, **92**

S

Sagenit 93
Salihović s. 188
Salit 115
Sanidin **137**
Saponit 169
Schusterov dijagram
Seladonit 171
Selen 42
Selenski arsen 42
Sepiolit 172
Sericit 132, **134**
Serpentin 72, 94, **164**
Serpentinit 75
Serpofit 164
Sfen (titanit) **175**
Sferuliti 95
Siderofilit 134
Silimanit **154**
Silvin 87
Simetrično potamnjenje **59**
Sjaj minerala 17
Skapolit **102**
Skarnovi 102
Skolecit 161
Slaganje(interferencija) svjetlosnih talasa 45
Smaragd 107
Smaragdit **127**
Snelov zakon loma 7, 18, 19
Sodalit **79**
Sokonit 170
Sorby Henry Clifton 3
Spersantin **81**
Spinel **73**
Spodumen 112, 122
Sraslački šavovi 59
Staklena polukugla 15

- Stativ 33
 Stilbit **160**
 Stroncijapatit 98
 Sulfatni apatit 98
 Sumpor 42
- Š**
 Šabazit (Habazit) **158**
 Šagren 38
 Šamozit 161, **163**
 Šeferit 115
 Šerlit 104
 Šikinit 132
- T**
 Tajder M. 188
 Talasna dužina 4, 6, **11**
 Talasna površina 7
 Talasna teorija svjetlosti 9
 Talk **179**
 Tamavit 149
 Tamne ivice 10
 Tefroit 111
 Terminalne plohe 59
 Tetragonski kristali 20
 Tiroidit 124
 Titanit 75
 Titanski augit 119
 Titanski vezuvijan 102
 Titrajno vrijeme 11
 Tjuringit 161, **163**
 Tomsonit 160
 Topaz 76
 Totalna refleksija 10
 Totalrefraktometri 15, 30
 Totalreflektometri 15
 Trahit 86
 Trahitsko staklo 86
 Transverzalno pravolinjsko kretanje 19
 Tremolit 123, **125**
 Trevozit 73
 Tridimit **174**
 Trihroizam 38
 Troosni elipsoid 26
- Trubelja F. 188
 Tsilait 104
 Tubus 33
 Turmalin 23, **104**
 Turmalinske pločice 32
 Turmalinsko sunce 105
- U**
 Ugao minimalne devijacije 14
 Ugao optičkih osi 28
 Ugranditi **81**
 Ukrštena disperzija 68
 Ukršteni nikoli 33
 Ultrabajčne stijene 112
 Uralit 116, **127**
 Uralitizacija 116
 Uvarovit **81**
- V**
 Vakuum 4
 Vedzuvijan (Idokraz) **101**
 Verdelit 105
 Viluit 101
 Vodanit biotit 134
 Volastonit **178**
 Volkonskiit 170
 Volksgang 3
 Vorobjevit 106
 Vulkansko staklo **86**
- Z**
 Zakon loma 6
 Zakon refleksije 5
 Zavrtanj za grubo dotjerivanje 33
 Zeoliti **156**
 Zeolitska voda 156
 Zirkel 3
 Zussman J. 188
- Ž**
 Žaedit (jaedit) 112, **121**
 Žedrit 123
 Žilbernit 132

LITERATURA:

- Adams A.E., MacKenzie W.S., Guilford C. (1997):Atlas of sedimentary rocks under the microskope, Hong Kong.
- Barić Lj., Tajder M (1967): Mikrofiziografija petrogenih minerala, Školska knjiga Zagreb
- Berry L. G., Mason B. (1959) Mineralogy. W.H. Freeman & Co. San Francisco.
- Cornelis K. (2002): Mineral science. John wiley& sons, inc. New York.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J (1962): Rock-forming minerals. Vol 1-5. London.
- Ilić M., Karamata S.(1978). Specijalna mineralogija, prvi deo. ICS Beograd.
- Ilić M. (1978): Specijalna mineralogija, drugi deo. ICS Beograd.
- Kleber W. (1982): Einführung in die Kristallographie VEB Verlag technik, Berlin.
- Melgarejo i Draper, J. C.(1997): Atles d' associacions minerals en làmina prima UB Barcelona.
- Phillips R. (1971): Mineral optics. W.H. Freeman & Co. San Francisco
- Radukić G. (1996): Tabelarni pregled optičkih osobina minerala koji izgrađuju stene. Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Ristić P., Kovačević R. (1983): Specijalna mineralogija, RGF Tuzla.
- Reed H.H., (1979): Rutley's elements of mineralogy, Thomas Murby &CO, London.
- Rösler H.J. (1983): Lehrbuch der mineralogie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- Salihović S. (2001): Kristalografska knjiga, Univerzitet u Tuzli, Tuzla.
- Trubelja F., Ristić P. (1973): Osnove kristalografske i mineralogije. Sarajevo

