

J. KARK

MINERALOOGIA  
ÕPPERAAMAT

RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“

TARTU 1940

J. KARK

557

MINERALOGIA  
ÕPPERAAMAT

MINERALOGIA ÕPPERAAMAT

RAKKEADUSLIK KIRJANDUS

TARTU 1966

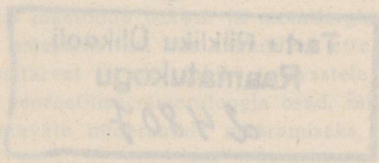
24  
37

A-11754 III

J. KARK

Inventar № 569

# MINERALOGIA ÕPPERAAMAT



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“  
TARTU 1940

J. KARK

78

██████████ Tehniline toimetaja: J. Ots.  
Korrektor: H. Pürkop. Trükisuurus 600 eks. Trükiluba antud  
12. X 1940. Paberi formaat 66×94 cm. Trükitud Natsionali-  
seeritud trükikojas J. Mällo ja Pojad, Tartus. Hind 3 kr.

MINERALOGIA  
ÖPPERAMAT

V



2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu  
24807

RAAMATUKOGU  
TARTU 1940

## Saatesõna.

Seni puudus põhjalikum eestikeelne mineraloogia õpperaamat. Tallinna Tehnikaülikooli üliõpilased pidid läbi ajama loengute konspektide ja võõrkeelsete raamatutega. Säärase seisukorraga võis leppida seni, kuni ei olnud tarvidust üksikasjalisema kursuse järele. Mäeosakonna avamine Tallinna Tehnikaülikoolis 1938. a. sügisel püstitas mineraloogia õpetuse suhtes suuremaid nõudeid, millede rahuldamiseks ongi mõeldud käesolev raamat, mis jaguneb kahte ossa: mineraloogia üldosa ja mineraalide kirjeldus (füsiograafia).

Kokkukõlas Tehnikaülikooli mäeosakonna õppekavaga on raamatus ainult lühidalt mainitud neid mineraloogia osi, mida põhjalikumalt käsitletakse naaber-teadustes, näiteks: valguse nähtused ja erikaalu määramine, mida käsitletakse füüsikas; mineraalide analüüs (käsitletakse keemias), üldisem keemilise tasakaalu õpetus kui mineraalide tekkimise õpetuse alus (käsitletakse füüsikalises keemias ja osalt petrograafias). Samuti on ära jäänud mineraalide varapaikade õpetus, mis moodustab erikursuse. Mineraalide tehnilise kasutamise kohta antakse põhjalikke teadmisi mäetööde oskuse ja metallurgia kursustes; nende toodangu hulka valgustab mäestatistika, mis samuti on ette nähtud eriainena. Silmas pidades raamatu otstarvet — olla juhiks tufevastele praktilistele mäemeestele — on ära jätetud teoreetilise mineraloogia osad, mis ei anna otseseid hõlpsaid meetodeid kasutatavate mineraalide määramiseks.

Raamatu koostamisel on kasutatud mõningaid jooniseid järgmistest raamatutest:

- 1) Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie. Elfte Ausgabe. Herausgegeben von P. Ramdohr. 1936.
- 2) Mineralogy by E. H. Kraus, W. F. Hunt and L. S. Ramsdell. Third ed. 1936.
- 3) F. Rinne. Geosteinskunde. 12. Ausgabe. 1937.
- 4) Marc-Jung. Die physikalische Chemie. 1930.
- 5) P. Niggli. Tabellen zur allgemeinen und speziellen Mineralogie. 1927.
- 6) Schmidt-Baier. Lehrbuch der Mineralogie. 1935.

Jooniste hulk on hoitud mõõdukuse piires, et raamatut mitte kalliks ajada. On arvestatud ka seda, et mineraloogia õppiija peab möödapääsematult vastavates laboratooriumides ja muuseumides tutvuma kristallograafiliste mudelite ja mineraalidega.

Ülilahket kaasabi raamatu käsikirja viimistlemisel andis Tartu Ülikooli geoloogia ja mineraloogia professor dr. A. Öpik, kes käsikirja läbi vaatas ning parandusi ja täiendusi tegi. Prof. A. Öpikule olgu avaldatud minu suurim tänu. Suuremad prof. A. Öpiku täiendused on märgitud alguses ja lõpus märgiga \*.

Et hõlbustada võõrkeelse mineraloogilise kirjanduse käsitlemist, on raamatu lõpus erinimestikus toodud tähestikulises järjekorras saksakeelsed (enamikus rahvusvaheliselt tarvitavad) mineraalide nimed ühes eestikeelsete vastetega.

Tallinn, aprill 1940.

J. Kark.

## Sisukord.

Saatesõna . . . . .	Lk. 5
---------------------	-------

### I osa.

#### Üldine mineraloogia.

I ptk. Mineraal. Mineraloogia . . . . .	11
II ptk. Maakera koore elementaarne koostis . . . . .	12
III ptk. Aatomite sisemine struktuur . . . . .	13
IV ptk. Aatomite agregaadid . . . . .	15
V ptk. Röntgenikiirte meetod. Ruumvõre . . . . .	18
VI ptk. Kristallid . . . . .	22
VII ptk. Geomeetriline kristallograafia . . . . .	24
Serv- ja tippnurkade konstantsuse seadus . . . . .	24
Tahkude asendi määramine . . . . .	25
Tahkude sümbolid . . . . .	27
Kristallide kujutamine . . . . .	30
Stereograafiline projektsioon . . . . .	30
Stereograafilise projektsiooni rakendusi . . . . .	35
Sümmeetria mõiste . . . . .	36
Sümmeetriaelemendid . . . . .	36
Sümmeetriatelg . . . . .	37
Pöördpeegeltelg . . . . .	37
Sümmeetriakeskpunkt (-tsentrum) . . . . .	38
Kruvitelg . . . . .	38
Sümmeetriaelementide omavaheline sõltuvus . . . . .	38
Kristallide võimalikud sümmeetriaelemendid . . . . .	40
Sümmeetriasüsteemid ja -klassid . . . . .	41
Pedioniline ehk asümmeetriline klass . . . . .	41
Pinakoidne klass . . . . .	42
Ainsad sümmeetriateljed . . . . .	42
Üksainus kolmiktelg ja sümmeetriakeskpunkt . . . . .	47
Üksainus peegelpind . . . . .	47
Peegelpinnad risti teljega . . . . .	48
Pöördteljed peegelpinnas . . . . .	49
Pöördpeegeltelg temas lõikuvate peegelpin- dadega . . . . .	51
Pöördteljed ja nendega risti olevad ning pa- ralleelsed peegelpinnad . . . . .	52

Kahesuguste telgede kombinatsioonid ilma peegelpindadeta . . . . .	53
Kolmiktelgede lisandamine eelmistele kombi- natsioonidele . . . . .	56
Kristallograafilised süsteemid . . . . .	59
Merocedria . . . . .	61
Kombinatsioonid . . . . .	64
Kristallograafilised arvutused . . . . .	65
Reeglipärased kristallide liitumised . . . . .	68
Paralleelsed kokkukasvamised . . . . .	68
Kaksikud . . . . .	68
Heterogeensed kokkukasvamised . . . . .	70
Iscärasused kristallide välimuses . . . . .	70
Kristallide esinemiskohad . . . . .	71
Amorfsed mineraalid . . . . .	72
<b>VIII ptk. Mineraalide optilised omadused . . . . .</b>	<b>74</b>
Polariseeritud valgus . . . . .	74
Polarisatsioonimikroskoop . . . . .	79
Interferentsi nähtused optiliselt anisotroopseis kristalles . . . . .	80
Ohikud (lihvid) . . . . .	82
Vaatlemine mikroskoobis . . . . .	83
Vaatlemine harilikus valguses . . . . .	83
Ortoskoobiline vaatlemine . . . . .	84
Konoskoobilised vaatlused . . . . .	89
Optilise ellipsoidi ja sümmeetriaelementide vahekord. Optiliste telgede nurk . . . . .	93
Ringpolarisatsioon . . . . .	95
Läbipaistmatud mineraalid . . . . .	96
Optilised anomaaliad . . . . .	97
Muud optilised omadused . . . . .	97
Mineraali värvus . . . . .	97
Kriips . . . . .	98
Pleokroism . . . . .	99
Helendumine . . . . .	100
Läige . . . . .	100
Asterism . . . . .	101
<b>IX ptk. Muud füüsikalised omadused . . . . .</b>	<b>102</b>
Kõvadus . . . . .	102
Mohs'i astrik . . . . .	104
Lõhevus . . . . .	105
Murdepind . . . . .	106
Termitilised omadused . . . . .	106
Magnetilised omadused . . . . .	107
Elektrilised omadused . . . . .	108
Erikaal . . . . .	109

	Lk.
X ptk. Mineraalide teke . . . . .	111
XI ptk. Mineraalide keemilised omadused . . . . .	120
Isomorfism . . . . .	120
Polümorfism . . . . .	121
Pseudomorfoosid . . . . .	121
Jootetoru analüüs . . . . .	122
Sulavus . . . . .	123
Leegi värvus . . . . .	123
Reaktsioonid söel . . . . .	124
Booraksi- ja fosforsoola-helmed . . . . .	124
Jootetoru reaktsioonide tabel . . . . .	125
Teised reaktsioonid . . . . .	130
Mikrokeemiline analüüs . . . . .	131

## II osa.

Mineraalide füsiograafia. . . . .		134
<b>I klass. Elemendid</b> . . . . .		137
1. sugukond: Metalloidid . . . . .		137
2. „ Habrasmetallid . . . . .		140
3. „ Taotavad metallid . . . . .		141
<b>II klass. Hapnikuvabad ühendid S, As, Sb, Bi, Se ja Te-ga</b> . . . . .		146
1. sugukond: Habrasmetallide sulfiidid . . . . .		146
2. „ Taotavate metallide sulfiidid . . . . .		148
3. „ Sulfooolad . . . . .		159
<b>III klass. Oksüüdid, hüdroksüüdid</b> . . . . .		164
1. sugukond: Happelise iseloomuga oksüüdid . . . . .		164
2. „ Aluselise iseloomuga oksüüdid . . . . .		174
3. „ Poolteist-oksüüdid ja nende hüdraadid . . . . .		175
4. „ Aluminaadid ja ferriidid . . . . .		180
<b>IV klass. Haloidsoolad</b> . . . . .		184
1. sugukond: Lihtsad kloriidid ja fluoriidid . . . . .		184
2. „ Cl ja F kaksiksoolad . . . . .		187
<b>V klass. Boraadid, karbonaadid</b> . . . . .		188
1. sugukond: Boraadid . . . . .		188
2. „ Süsihappesoolad . . . . .		189
<b>VI klass. Sulfaadid, kromaadid, molübdaadid, volframaadid</b> . . . . .		197
1. sugukond: Veeta sulfaadid . . . . .		197
2. „ Sulfaadid kristallveega . . . . .		199
3. „ Kromaadid . . . . .		202
4. „ Volframaadid ja molübdaadid . . . . .		203
<b>VII klass. Nitraadid, fosfaadid ja teised 5. keemilise rühma hapete ühendid</b> . . . . .		205
<b>VIII klass. Silikaadid</b> . . . . .		209
1. sugukond: Üksikud $\text{SiO}_4$ tetraeedrid . . . . .		211
2. „ Kaksiktetraeedrid $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$ . . . . .		221
3. „ Kuuikrõngad $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{-12}$ . . . . .		222

4. sugukond: $\text{SiO}_4$ tetraeedrid lõpmatuis ahelais . . . . .	223
5. „ $\text{SiO}_4$ „ „ tasapinnalistes võrkudes (lehtedes) . . . . .	230
6. „ $\text{SiO}_4$ tetraeedrid kolmemõõtmelistes võ- redes . . . . .	239
<b>IX klass. Orgaanilised ühendid . . . . .</b>	<b>250</b>

**Lisad:**

Eesti mineraalid . . . . .	254
Mineraalid keskmise erikaalu järjekorras . . . . .	267
Mineraalid kõvaduse järjekorras . . . . .	269
Mineraalid kristallograafiliste klasside järgi . . . . .	271
Mineraalide saksakeelne nimestik . . . . .	273
Mineraalide tähestikuline nimestik . . . . .	278
Üldosa sisuregister . . . . .	283

## I osa.

# Üldine mineraloogia.

## I peatükk.

### Mineraal. Mineraloogia.

\*Mineraalid on maapõue looduslikud homogeenised osad tahkes kui ka vedelas olekus.

Homogeenne tähendab ühtlane, s. t. iga mineraal on keemiline ühend ehk element omaette ning igas oma osas ühtlaste füüsikaliste omadustega.

Mineraalid homogeensete kehadena on eristatavad üksteisest füüsikaliste meetoditega.\* Paljusid looduses leiduvaid mineraale valmistatakse laboratooriumes ja tehaseis kunstlikult, kuid neid ei nimetata mineraalideks. Nõnda on mineraali oluliseks tunnuseks tema pärinevus maapinnast, kust ta välja kaevatakse. Romaani päritoluga sõna „mine“ tähendabki kaevandust.

Olgugi et inimsugu kasutas mineraalvarasid nii tarbe- kui ka ehtesjadena juba igivanal ajal (vrd. kivi-, pronksi- ja raua- aega), on mineraloogia teadusharuna alguse saanud siiski alles peale keskaja lõppu.

Nüüd on see teadusharu nii laialdaseks muutunud, et tema eri osad esinevad omaette distsipliinidena. Harilikum jaotus on järgmine: 1) üldine mineraloogia ühes kristallograafiaga, mille aineks on mineraalide üldiste omaduste uurimine ja kirjeldamine; 2) mineraalide füsiograafia — üksikute mineraalide kirjeldus; 3) mineraalide tekkimine ja muutumine, mis osalt ühtib uue teadusharu — geokeemiaga; 4) mineraalide kasutamine.

**Maakera koore elementaarne koostis.**

Mineraalide tekkimisest ja esinemisest arusaamine põhineb keemial ja füüsikal. Eriti keemial on siin suur tähtsus. Kõik senituntud 92 keemilist elementi esinevad mineraaliriigis. Mitmed teadusmehed on arvutanud, missuguses koguses esinevad keemilised elemendid enam-vähem tuntud kümne miili (umbes 16 km) paksuses maakera koores. Nende arvutustes on lahkuminekuid, kuid üldine pilt on kõigil ühtlane. Tabelis 1 on toodud lahtris A tahkes maakoore (litosfääris) iga elemendi kaalule vastav protsendimäär, lahtris B samade elementide kaaluprotsent, kui võtta arvesse ka vesikond ja õhkkond (hüdro- ja atmosfäär).

Nõnda moodustab meie maakoore koostisest ligi poole osa hapnik ja veerandi siliitsium. Järelikult need kaks elementi moodustavad kolmveerandi maakoore kaalust. Edasi järgneb alumiinium  $\frac{1}{14}$ -ga, siis raud, kaltsium, naatrium, kaalium ja magneesium igauks üle 2% ulatuses; vesinik esineb 1% ulatuses. Kokku need 9 elementi moodustavad tervelt 99% kogu maakoore kaalust, kuna ülejäänud 83 elementi jagunevad 1%-ses jäägis väga ebahülaselt, nagu nähtub tabelist.

Tabel 1.

**Elementide sagedus kaaluprotsentides.**

A — tahkes maakera koores (litosfääris), B — koos atmo- ja hüdro-sfääriga.

Elemendi nimi	A	B	Elemendi nimi	A	B
Hapnik . . .	46,71	49,52	Mangaan . . .	0,09	0,08
Siliitsium . . .	27,69	25,75	Väävel . . .	0,052	0,048
Alumiinium . . .	8,07	7,51	Baarium . . .	0,050	0,047
Raud . . .	5,05	4,70	Kroom . . .	0,035	0,033
Kaltsium . . .	3,65	3,39	Lämmastik . . .	0,000	0,030
Naatrium . . .	2,75	2,64	Fluor . . .	0,029	0,027
Kaalium . . .	2,58	2,40	Tsirkoon . . .	0,025	0,023
Magneesium . . .	2,08	1,94	Nikkel . . .	0,019	0,018
Vesinik . . .	0,14	0,88	Strontsium . . .	0,018	0,017
Titaan . . .	0,62	0,58	Vanaadium . . .	0,016	0,016
Kloor . . .	0,045	0,188	Tseerium, ütrium	0,014	0,014
Fosfor . . .	0,13	0,12	Vask . . .	0,010	0,010
Süsinik . . .	0,094	0,087	Kõik ülejäänud .	0,033	0,032
				100	100

### III peatükk.

## Aatomite sisemine struktuur.

Nüüdisaja teadus kinnitab, et materia on energia kohaline kuhjumine. Raskes massis  $m$  on energiat  $e = mc^2$ , kus  $c$  on valguse kiirus tühjas ruumis (umbes 300 000 km/sek.). Energia kvant ei või olla vähem kui  $6,62 \cdot 10^{-27}$  ergsek., mis alghulka nimetatakse Planck'i mõjukvandiks ja tähistatakse tähega  $h$ . See kvant oleks siis kõige oleva — nii energia kui ka massi — jagunematu algelement, tõeline *atomos*, mittejaotatav. Varemalt selle nimetusega nimetatud osakesi kujutatakse nüüd päikesesüsteemi mikromudelitena, mille panevad liikuma elektromagnetilised jõud. Aatomite tuumad, mis peavad koosnema a) vesiniku kui kõige kergema aine osakestest (prootonitest), milledest igäüks omab üht positiivset elektriühikut, ja b) neutronitest, s. o. niisama suurtest massiosadest, kuid ilma vaba elektrita, tõmbavad endi lähedusse nende 1-st (vesinikul) 92-ni (uraanil) ulatuva positiivse elektriühiku mõjul 1800 korda väiksema massiga negatiivseid elektrone, mis planeetidena ümber tuuma keerlevad, omades erinevate raadiustega ja erinevate ekstsentrilisustega orbiite.

Aatomite keskpunktide vastastikused kaugused kõiguvad  $10^{-8}$  cm ümber, mis pikkust tähistatakse Å (ångström). Tuumade läbimõõdud on umbes  $10^{-12}$  cm. Kui üks keedusoola kuubikujuline kübemeke, servapikkusega  $\frac{1}{10}$  mm, ehitada mudelina  $10^{11}$ -kordse lineaarse suurendusega, siis oleks mudeli serva pikkus 10 000 km, nii et maakera sisse paigutatuna mudeli nurgad ulatuksid kerast välja. Naaberaatomite kaugus üksteisest oleks 28 m ja niisama kaugel pöörleksid nende tuumade ümber elektronid — planeedid. Tuumade eneste läbimõõdud oleksid u. 1 mm.

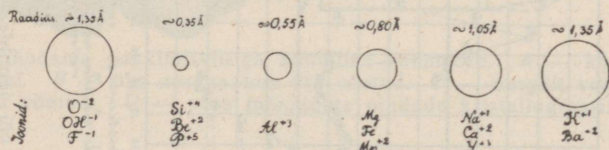
Säärased oleksid siis algmaterjalid, milledest ehituvad elementide aatomid ja neist omakorda mineraalid. Jõud, mis neid materjale koos hoiavad, on samad, mis üldiselt keemilistes ühen-

dites esile tulevad: elektromagnetiline külgetõmme ja eemale-  
tõuge. Harilikud elementide aatomid on neutraalsed, sest posi-  
tiivsete ja negatiivsete elektriühikute arv on neis tasakaalus.  
Välise energia mõjul aatomid sageli ioniseeruvad, kaotades mõne  
elektroni või omandades mõne väljastpoolt. Need  $\pm$  ioonid pea-  
vad grupeeruma ja grupeeruvadki elektriliste seaduste järgi kee-  
milisteks ühenditeks, kusjuures grupeerumine toimub nõnda, nagu  
see vastab antud ümbruskonna tingimustele (ioonide kontsent-  
ratsioon, temperatuur, rõhumine).

#### IV peatükk.

### Aatomite agregaadid.

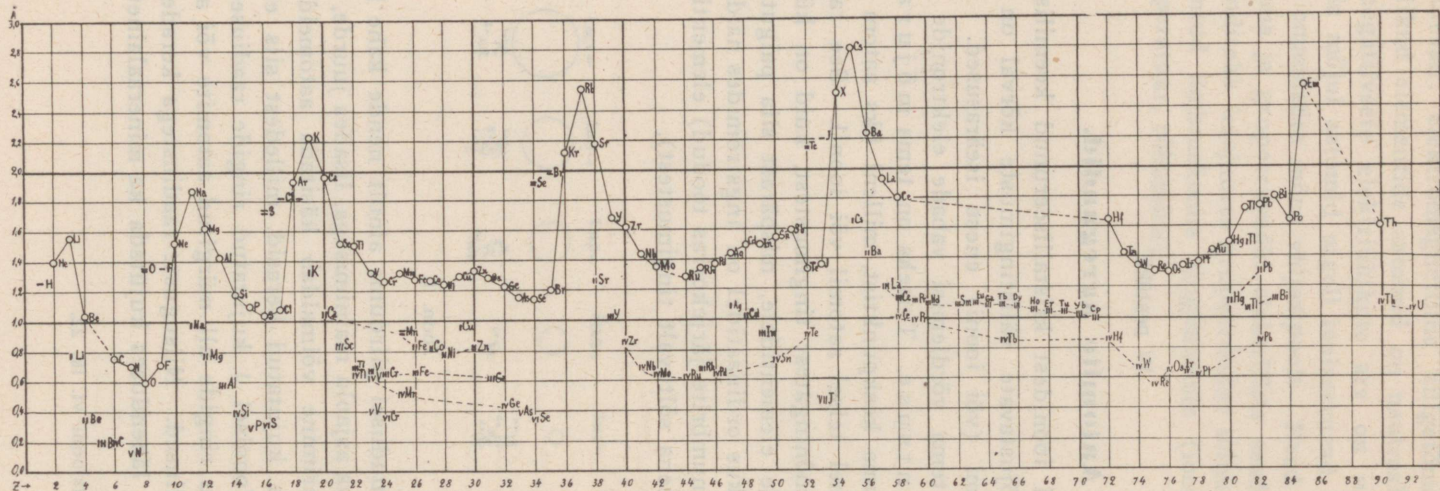
Aatomitest või ioonidest kristalliseerunud keemiliste ühendite struktuuri mõjustavate välistingimuste kõrval on muidugi mõõtuandvad aatomi (või iooni) enese isärasused. Esimeses järjekorras seisab tema võrdlemisi vabade elektronide arv, mis määrab tema valentsuse. Teiseks on tema mõjuraadius. See on kaugus tuuma keskpunktist, milleni üks aatom võiioon laseb ligineda mõnel teisel aatomil või ioonil. See raadius on muutuv, olenedes mõningatest tingimustest, kuid on küllalt isoleomustav üksikuile elementidele, mis pärast siia paigutame diagrammi (joon. 2), kus ordinaatidel on ängströmid näidatud mõningate (abstsissil numbrite järjekorras toodud) elementide mõju- raadiused (erinevatena sõltuvalt tingimustest).



Joon. 1.

Peame ruumpuudusel piirduma ainult nende kahe kristalli<sup>1</sup> struktuuri mõjustava asjaolu mainimisega, lisades juurde, et mõju- raadiuste konstateerimine võimaldab käsitada aatomeid (ioone) kui mõjuraadiusega kujutatud kerasid, milledest siis ehitatakse kristallide aine. Joonisel 1 kujutatud ringide raadiused suhtu- vad umbes nii nagu ringide all märgitud aatomite või anioonide või kationide raadiused. Niisuguste raadiustega keradest ehitatuna võib esimeses lähenduses kujutada ka mineraalainet.

<sup>1</sup> Kristalli definitsiooni vt. lk. 22.

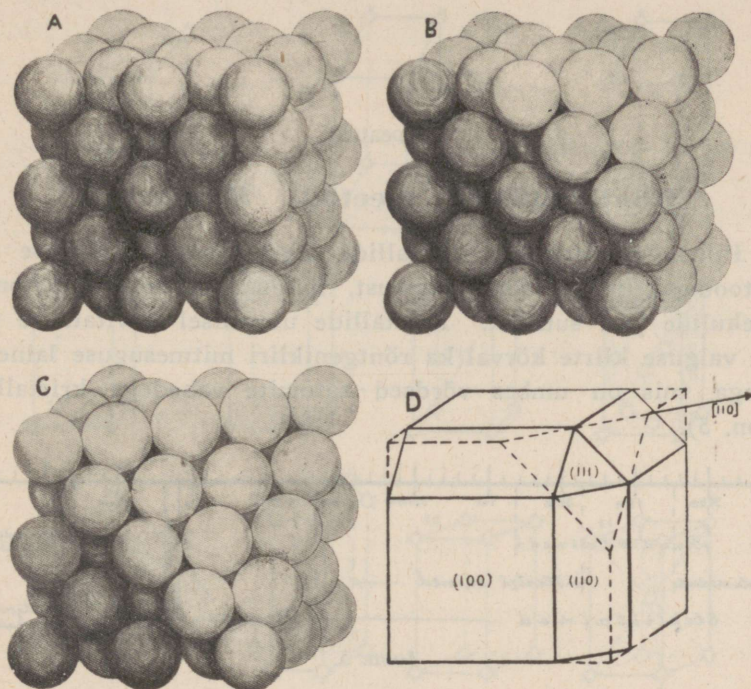


Märkid:

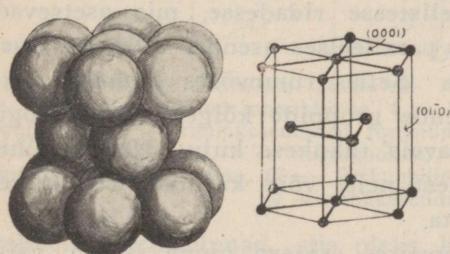
- Neutraalne aatom (O)
- Negatiivsed ioonid (S) - see kahe kolme valemend.
- Positiivsed ioonid (I) - see kahe kolme nelja viie kuue seitsme valemend.
- Aktsioonil: aatomi number Z, ordinaadid: aatomi või iooni raadius ängströömides ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ).

Joon. 2.  
 Aatomite või ioonide raadiuste olenevus elementide numbritest.

Kõige lihtsam juhtum on, kui on tegemist üheainsa aatomi-  
liigiga. Jättes tähele panemata valentsuse ja muud asjaolud, ku-  
jutleme, et puistame sääraseid kerakesi kasti. Nad asetuvad tea-  
tavas korras. \*Kui niisugust suurt kerade hulka kastis raputada



Joon. 3. Tihedama pakkimisviisiga kuubiline ruumvõre. *A* — kõik aatomid (kerad) kohal. *B* — üks nurgaaatom ära võetud. *C* — nurgalt veel üks kord aatomid ära võetud. *D* — võre mõningate pindade kristallograafiline skeem.



Joon. 4.

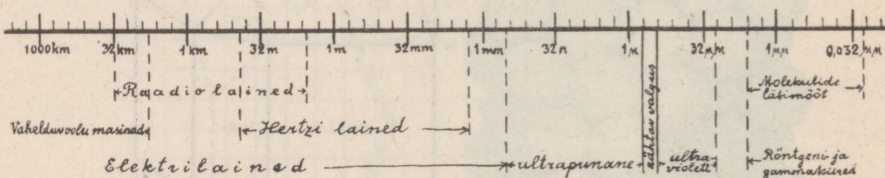
küllalt kaua ning kui aeg-  
ajalt kontrollida kerade ase-  
tust, siis selgub, et sageda-  
mini korduvad võimalikult ti-  
hedda kerade pakkimisega süs-  
teemid.\* Kaks tihedama pak-  
kimisviisiga asetust on kris-  
tallide puhul eriti tähtsad,  
nimelt kuubiline (joon. 3) ja  
heksagoonne (kuusnurkne,

joon. 4). Emba-kumba neist struktuuridest omavad väga paljud  
elemendid ja ka mitmest elemendist koosnevad mineraalid.

V peatükk.

## Röntgenikiirte meetod. Ruumvõre.

Piirdudes siinkohal kristallide algstruktuuri käsitlese osas ülaltooduga, puudutame küsimust, kuidas mõõdetakse aatomite, molekulide jne. suurust. Kristallide uurimisel tarvitatakse nähtava valguse kiirte kõrval ka röntgenikiiri mitmesuguse lainepikkusega, mis on umbes võrdsed aatomite vahedega kristallides (joon. 5).



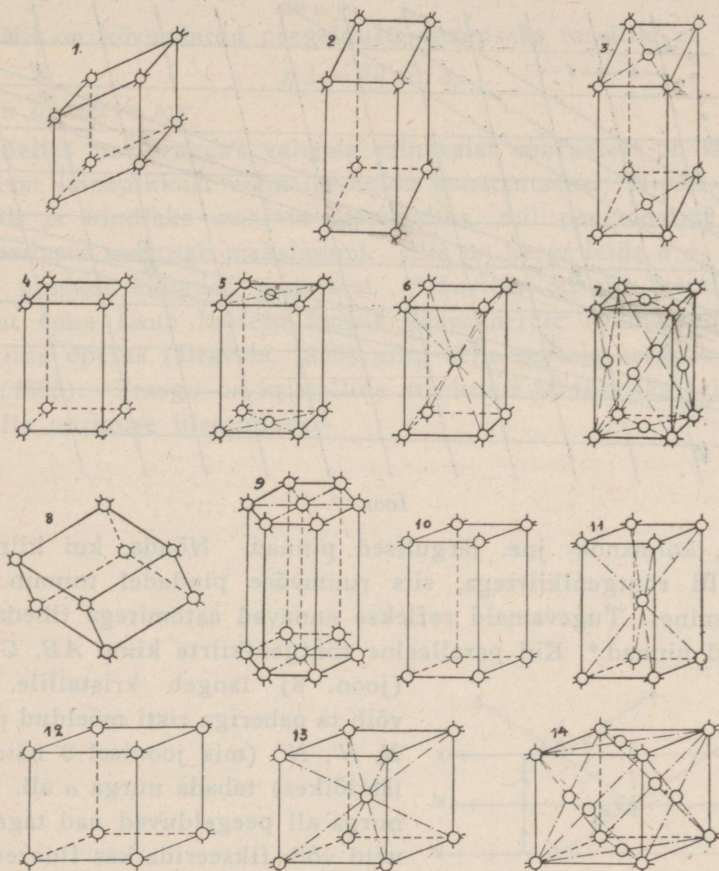
Joon. 5.

Röntgenograafilised mõõtmised, mida esimest korda tehti 1912. a. (Max F. von Laue), tõendavad, et kristallide osakesed (kas aatomid või molekulid või muud aatomite grupid) on asetatud reeglipärastesse sirgjoonelistesse ridadesse, mis asetsevad paralleelselt tasapindadel, mis paralleelses asendis olles moodustavad omakorda ruumvõre. Selles ruumvõres lõpmatu korratuna esinev aatomite või nende gruppide kõige väiksem kogu omab ühe joon. 6 näidatud Bravais' rakukese kuju. Neil on ühiseks omaduseks see, et igäihest neist võib kujutada ruumvõre, mis täidab ruumi ilma vahedeta.

Olgu joonisel 7 ühe ruumvõres esineva pinna skeem, näit. joonisel 6, 1 rakukestest tekitatud ruumvõre aluspõhi. Säärasteist üksteisest teataval kindlal kaugusel asetsevaist pindadest koosneks kogu ruumvõre. Ruumvõre nurkades ( $A, C, \dots$ ) asetsevad aatomid või nende grupid. Suunas  $AB$  on nende vahede pikkus

kõikjal sama (a); suunas  $AC$  a-st erinev, kuid jällegi omavahel sama (b).

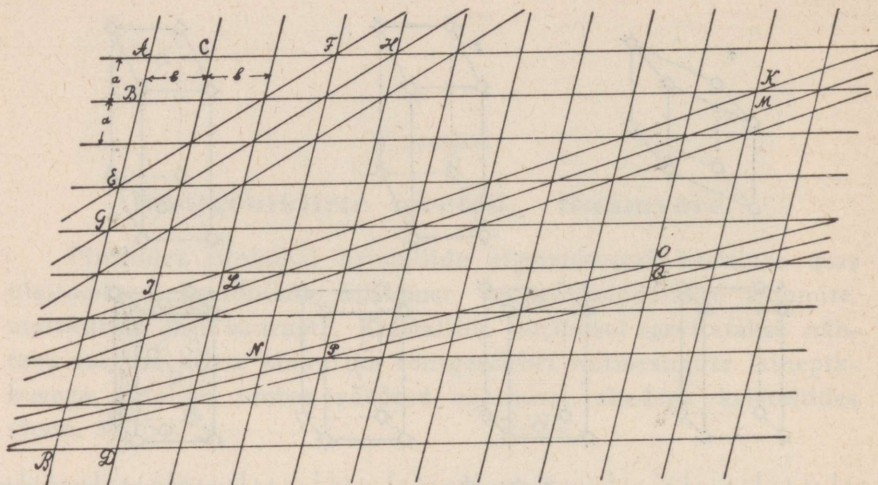
\*Kui joon. 7 sirged  $AB \parallel CD$  jne. ning  $AH \parallel BD$  jne. arendada püstpindadeks, mis läbiksid meie ruumvõre kõik joonisega 7 pa-



Joon. 6. Bravais' ruumvõre rakused. 1 — triklinne, 2 — lihtmonokliinne, 3 — baasiskesendatud monokliinne, 4 — lihtrombiline, 5 — baasiskesendatud rombiline, 6 — ruumkesendatud rombiline, 7 — tahkesendatud rombiline, 8 — romboedriline, 9 — heksagoonne, 10 — liht-tetragoonne, 11 — ruumkesendatud tetragoonne, 12 — lihtkuubiline, 13 — ruumkesendatud kuubiline, 14 — tahkesendatud kuubiline.

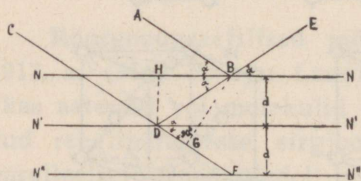
ralleelsed kihtpinnad, siis oleks kõigil nimetatud püst- kui ka horisontaalpindadel, joon. 7 kaasa arvatud, aatomid asetatud suurema tihedusega kui igasugustel teistel võimalikkudel pindadel selles võres. Nõnda näeme joonisel 7, et aatomite tihedus  $AB$ -l on suurem kui  $EF \parallel GH$  jne., ning edasi,  $IK \parallel LM$  jne. joontel

asetsevad aatomid hõredamalt, võrreldes  $EF$  joonega, ning et  $NO$  joonel meie joon. 7 ulatuses kohtame ainult nelja aatomit. Sellest kõigest oleme õigustatud järeldama, et aatomitega tihedamini kaetud pinnad peavad reageerima välisrõhkudele tundavamalt kui



Joon. 7.

teise-, kolmanda- jne. järgulised pinnad. Nõnda, kui kiiritada kristalli röntgenikiirtega, siis ruumvõre pindadel toimub peegeldumine. Tugevamaid reflekse annavad aatomitega tihedamini kaetud pinnad.\* Kui paralleelne röntgenikiirte kimp  $AB, CD \dots$



Joon. 8.

(joon. 8) langeb kristallile, siis võib ta paberiga risti mõeldud pindu  $N, N', N''$  (mis joonisel 8 näidatud läbilõikes) tabada nurga  $\alpha$  all. Sama nurga all peegelduvad nad tagasi ja neid võib fikseerida kas fluorestseerival ekraanil või fotograafilisel plaadil, kuid ainult neis kohtades,

kus naaberpindadelt peegeldatud kiired interfereerides üksteist kõvendavad. Teatavasti kõveneb võnkeliikumine siis, kui kohutavate lainete faasid on samad, s. o. kui nende käigu vahe moodustab lainepikkusest  $\lambda$  terve arvu. Joonisest näeme, et kiir  $CD$ , mis pinnast  $N'$  peegeldudes läheb sama teed kui kiir  $BE$ , mis peegeldub pinnast  $N$ , peab läbima tee  $DB$ , mida  $AB$  tegema ei pea; kuid  $CD$  peaks see-eest olema jõudnud punktisse  $G$  kiirte ühisel ristsirgel, kus ta omaks ühist faasi kii-

rega  $AB$ . Nii kujuneb faaside vahe, kui tähistame pindade  $N$  ja  $N'$  vahekauguse  $d$ -ga, järgmiseks:

$$\begin{aligned} BD - DG &= BD - BD \cos 2\alpha = \frac{d}{\sin \alpha} (1 - \cos 2\alpha) = \\ &= \frac{2d \sin^2 \alpha}{\sin \alpha} = 2d \sin \alpha. \end{aligned}$$

Nii on kõvendatud peegelduste saamiseks tarvilik, et

$$n \lambda = 2d \sin \alpha,$$

kus  $n$  on terve arv.

Selles nn. Braggs'i valemis esinevaist suurustest on katsetel teatavat lainepikkust võimalik hoida konstantsena. Nurka  $\alpha$  võib muuta ja kindlaks määrata momendiks, mil peegeldatud kiirte intensiivsus saavutab maksimumi. Siis on kerge leida  $d$  — ruumvõre pindade kaugust üksteisest. \*Huvitav on siin nentida, et ammu enne Laue katseid kerkis päevakorrale ruumvõrede teoreetiline õpetus (Bravais, 1850) ning selle teooria arendas Fedorov (1885). Praegu on kristallide struktuur tähtsamaks kristallograafia uurimise ülesandeks.\*

## VI peatükk.

### **Kristallid.**

Eelkirjeldatud ruumvõreline struktuur põhjustab seda, et seal, kus mineraalil oli tema tekkimise ajal vaba ruumi kasvamiseks, ilmnevad mineraali välises kujus tasapinnad — samad, mida võib eristada ruumvõres. Sellist looduslike tase tasapindadega piiratud keha nimetatakse kristalliks, nende tekkimist aines — kristalliseerumiseks. \*Kristalli polüeedriline väliskuju on tingitud sellest, et kristalliseerumisel ta kasvab eri suundades eri kiirusega. Peale selle, kahe kasvukiiruse suuna vaheline mõni kolmas kasvusuund ei oma naabersuundadest tuletatud keskmist kasvukiirust, vaid selle kolmanda suuna kasvukiirus on omaette konstantne suurus. Üldiselt näeme kristallidel servade ja nurkade suunas suuremat kasvukiirust kui tahkude normaalide suunas. Sellega on kokkukõlas aatomite jaotuse erinev tihedus erisuunalistel pindadel ruumvõres. Kasvukiirus on füüsikaline omadus, ning selles on kristallid ilmsesti anisotroopsed. Anisotroopne kasvamine on eranditult kõigi kristallide lahutamatu tunnus, samuti nagu nende ruumvõreline struktuurigi.

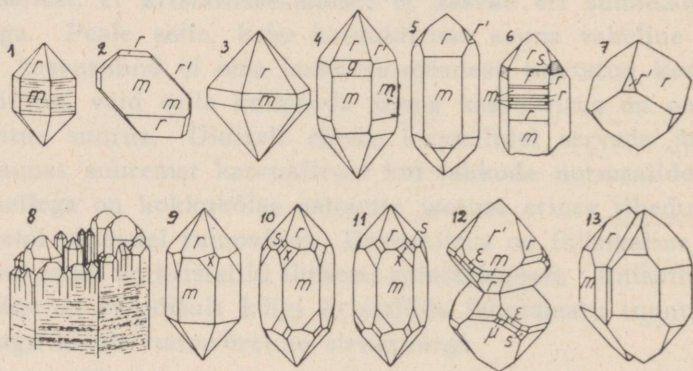
Nõnda võib täpsustada kristalli definitsiooni järgmiselt: kristall on homogeenne aine anisotroopses tahkes olekus, koostatud aatomite või aatomirühmitiste piiramatust hulgast, mis on liitunud omavaheliste tungidega geomeetriliselt korrapäraseks ühtlaseks ruumvõreks ning mis on võimeline piiramatult kasvama ja esinema tahkudest piiratud polüeedrina.

Kui kehal puudub selle definitsiooni viimane tunnus — polüeedriline väliskuju, siis kõneleksime mitte kristallist, vaid aine kristalliseerunud olekust. Välistingimused nimelt enamasti takistavad polüeedriliste kujude arendamist, — ning ka igasugune kristallikild on täiskristalli omadustega.\* Eri kristallidel on eri-

line, nende erilisest struktuurist tingitud ja neid iseloomustav piirdepindade-tahkude kompleks, mis võimaldab ka mineraale määrata. Sellepärast on tähtis seda kristallikuju tunda. Kristallide ja kristalliseerunud olekute uurimisega tegeleb kristallograafia. Sellepärast on mineraloogile tähtis see kristallograafia osa, mis kirjeldab geomeetriliste meetoditega kristallide välimust ja ehitust. Meie tutvume kristallograafiaga järgnevalt seevõrra, kuivõrra see on vajalik mineraalide määramisel.

**Geomeetiline kristallograafia.****Serv- ja tippnurkade konstantsuse seadus.**

Kui vaadelda ühe ning sama mineraali kristalle, näiteks joonisel 9 kujutatud rani omi, siis leiame, et hoolimata nende mitmekesidusest leidub neil ka ühiseid tunnuseid. Mõõtes joonisel samade tähtedega märgitud tahkude vahelised nurgad veendumiseks, et nende nurkade suurus püsib — on sama kõigil ränikristallidel.



Joon. 9.

Tavaliselt toimub niisugune nurkade mõõtmine erilistel, teodoliidi põhimõttel konstrueeritud optilistel nurgamõõtjatel — gonio-meetritel; suuremate kristallide ja väiksema täpsuse puhul võib seda teha ka malliga, mis on varustatud pöörleva radiaalse varvaga.

Kui igal ränikristallil oleksid tema tekkimisel olnud igal tahul ühesugused kasvuvõimalused, siis oleks iga kristall põhivormis kujutanud reeglipärast kuusnurkset prisma, mille mõlemasse otsa on asetatud ühesugused kuusnurksed püramiidid, umbes nagu nr. 1 ja 3 joonisel 9. Kuid tahkude arenemine looduses

on olnud ebäühtlane — mõned on kasvanud kiiremini kui teised. Tahu kasvamise suund ruumis on aga jäänud samaks, seepärast on ka ülalmainitud nurgad konstantsed.

Tagasi tulles joonise 7 juurde, mis kujutab ruumvõre läbilõiget — ühte tema pinda, millel temaga lõikuvad teised mõeldavad pinnad jätavad jäljed sirgete  $AB \parallel CD \dots$ ,  $AH \parallel BD \dots$  jne. näol, näeme, et nurgad nende sirgete vahel (ja kolmemõõtmelises ruumvõres ka võimalikkude tasapindade vahel) on määratud juba ruumvõre kujuga ja et nad ei muutu, kui näit. tasapind nihkub asendist  $AB$  paralleelsesesse asendisse  $CD$  või asendist  $IK$  asendisse  $LM$ .

Määratu hulga mineraalide mõõtmine on näidanud, et harva esinevad mineraalid sel kujul, et nende keskel võib kujutada punkti, millest kõik üheväärsed tahud on ühekaugusel. Niisugune ideaalne kuju antakse küll kristallimudelitele, kuid looduses esinevais kristallides on harilikult sama rühma tahkude kaugused keskpäigast erinevad ja seetõttu ka tahkude kuju ja suurus erinevad. Nii esineb sageli kuubi asemel püstkülik, kuid siiski mitte kunagi kaldnurkne rööptahuk — paralleelepiped, sest nurgad on püsivad püsivate välistingimuste puhul ( $t^0$ ,  $p$ ).

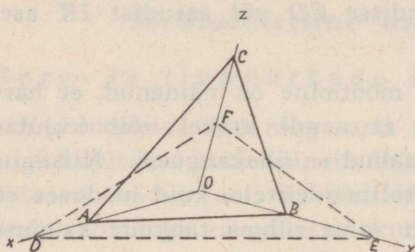
Arusaadav, et juhul, kui teatavate tahkude rühmade vahel nurgad on konstantsed, siis on nad seda ka servade vahel — ka mõõtmised tõestavad seda. See ruumvõrest teoreetiliselt tuletatav ja empiirilisel tõestatud kristallide kuju omadus kannab serv- ja tippnurkade konstantsuse seaduse nime-tust \*(N. Steno seadus. N. Steno † 1686). Seda ülitähtsat seadust arendasid Romé Delisle ning Miller (1839) ning viimane andis sellele seadusele ta veel praegu kehtiva kuju. Nurkade seadus kõlab lühidalt nõnda: kristallitahkude suhteline suurus on muutlik, kuid püsivas temperatuuris on pindadevahelised nurgad konstantsed.\*

### Tahkude asendi määramine.

Et kirjeldada kristalli, on tarvis määrata tema tahkude asendid. Määramine toimub, nagu analüütilises geomeetrias, vastavalt valitud sirgjoonelise koordinaat-teljestiku abil. Harilikult valitakse säärasteks kristallograafilisteks telgedeks sagedamini kristallis esinevad 3 ristuvat serva; nende ristumispunkt mõeldakse

üleviiduks kristalli keskpunkti. Väljudes vastava kristalli ruumvõrest (kui selle kuju on teada) valitakse koordinaatpindadeks ruumvõre kolm kõige tihedamini aatomitega kaetud ristuvat tasapinda.

Iga kristallis esinev üldise asendiga tahk  $ABC$  (joon. 10) lõikab valitud koordinaattelgi  $OX$ ,  $OY$  ja  $OZ$  punktides  $A$ ,  $B$  ja  $C$  ning sellist tahku võiks nõnda määrata kolme sirglõigu pikkustega:  $OA = a$ ,  $OB = b$  ja  $OC = c$ . Need pikkused kannavad antud tahu parameetrite nimetust. Kristallis eriti silmapaistev ja kõiki koordinaat-



Joon. 10.

telgi lõikav tahk valitakse ühiktahuks ja tema parameetrid loetakse ühikparameetriteks (ühikvektorid telgede järgi). Kui joonisel 7 oleks kujutatud üks meie koordinaatpindadest, näit.  $XOY$  (joon. 10), siis vastaks

$AB'$  parameeter  $a$ -le ja  $AC$  parameeter  $b$ -le — ruumvõre ühikutele suundades  $AB$  (telg  $OX$ ) ja  $AC$  (telg  $OY$ ). Samuti oleks  $c$  ruumvõre ühikuks kolmanda telje suunas, mis lõikab joonist 7 punktis  $A$  (joonisel 10 telg  $OZ$ ). Nõnda seatakse sisse eri mõõtühikud parameetritele iga telje jaoks, millega siis mõõdetakse teiste selles kristallis esinevate tahkude parameetreid.

Olgu üheks neist teistest tahkudest tahk  $DEF$ . Tema parameetrid oleksid:  $OD = ma$ ,  $OE = nb$  ja  $OF = pc$ . Koefitsiendid  $m$ ,  $n$  ja  $p$ , millega tuleb korrutada ühiktahu parameetreid, et saada iga teise kristallis esineva tahu (meil  $DEF$ ) parameetreid, ei saa olla irratsionaalsed, sest, nagu selgub juba korduvalt tsiteeritud joonisest 7, tahkudena on mõeldavad ainult aatomitega kaetud pinnad; aatomite vahed on aga iga telje suunas kõik ühesugused ja neid vahesid võib lugeda ainult täisarvude kaupa. Peale selle, veel kord vaadeldes (joon. 7) sirgete rühmi  $AB \parallel CD \dots$ ,  $AH \parallel BD \dots$  jne., järeldame, et need sirged (seega ka neis lõikuvad tasapinnad) on kaetud aatomitega kas tihedamalt või hõredamalt, kusjuures tihedamalt kaetud tasapinnad asetsevad üksteisest kaugemal kui hõredamalt kaetud (võrrelda näit.  $AB$  ja  $CD$  ühelt poolt ja  $NO$  ning  $PQ$  teiselt poolt). Arusaadav, et esimesed pinnad esinevad kristalles sagedamini, sest tihedamalt aseta-

tud aatomite külgetõmbejõud annab neile pindadele suurema püsivuse kui hõredalt kaetud pindadele.

Sellest kõigest järeldub nn. ratsionaalsuse ehk kristallograafia põhiseadus. Sirlõigud, mida lõikavad koordinaattelgedel kõik kristallis esinevad tahud, on iga üksiku telje jaoks ratsionaalseis ja pealegi väikeste arvudega väljendatavasis vahekordades. Neid vahekordi tähistame järgnevas tähtedega  $m$ ,  $n$  ja  $p$ . Joonisel 10 oleks siis tahu  $ABC$  jaoks  $m = n = p = 1$ , tahu  $DEF$  jaoks aga  $m = \frac{3}{2}$ ,  $n = 3$  ja  $p = \frac{1}{2}$ .

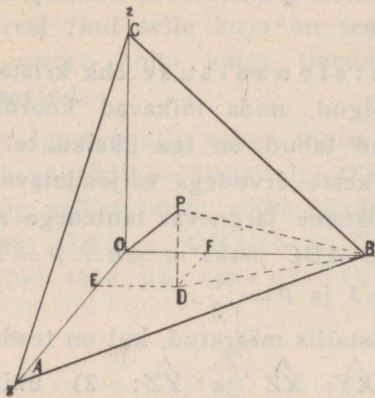
Nõnda oleks tahkude asend kristallis määratud, kui on teada: 1) koordinaatteljestiku nurgad:  $\hat{XY}$ ,  $\hat{XZ}$  ja  $\hat{YZ}$ ; 2) ühiktahu parameetrite pikkus ja 3) antud tahu parameetrite vahekorrad ühiktahu parameetritega telgede järgi. Kuid nagu eespool seletatud, ei loeta kristallograafias eri tahuks säärast, mis iseendaga paralleelseks jäädes on nihkunud mõeldavale kristalli keskpunktile lähemale või temast kaugemale. Seepärast pole ka tahu asendi määramiseks tähtis parameetrite absoluutne suurus, vaid ainult nende suhe. Harilikult antakse ühiktahu  $Y$ -telje parameetrile  $b$  suurus 1 ja saadakse nõnda ühiktahu parameetrite suhtena:  $a : b : c = \frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b}$ .

\*Kristallograafia põhiseadus avastati R. J. Haüy poolt 1780. a. Täieliku rakenduse kristallograafias leidis see seadus F. Neumann'i poolt 1823. a.\*

### Tahkude sümboolid.

Nagu nägime, määravad antud koordinaatteljestiku ja valitud ühiktahu puhul mistahes tahu asendi arvud  $m'$ ,  $n'$  ja  $p'$ , või arvesse võttes seda, et tähtis on ainult parameetrite suhe, võib suhte  $m' : n' : p'$  asendada suhtega  $\frac{m'}{n'} : 1 : \frac{p'}{n'}$  või lihtsalt  $m : 1 : n$ . Kui viimase kaksiksuhte arvusid korrutada vastavate parameetrite pikkustega, tuletame suhte  $ma : b : nc$ , mis kaksiksuhe kannab Weiss'i sümbooli nime. \*Olgu siin mainitud, et just Ch. S. Weiss esmakordselt (1804) toob kristallograafiasse telgede mõiste.\*

Selles sümboolis esinevate arvudega on raske teha kristallograafilisi arvutusi. Analüütilises ruumigeomeetrias tuletatakse



Joon. 11.

antud pinda iseloomustavaid valemeid, väljudes sellele pinnale koordinaatide algpunktist langetatud ristsirge aluspunkti koordinaatidest. Olgu (joon. 11)  $ABC$  kristalli tahk ristsirgeis koordinaatides  $OX, OY, OZ$ ;  $OA$  on tema parameeter  $a$ ,  $OB$  — parameeter  $b$  ja  $OC$  — parameeter  $c$ . Langetame tahule ristsirge  $OP$  ( $P$  on selle sirge lõikepunkt tahuga). Punkti  $P$  koordinaadid saame, projekteerides ta pinnale  $XOY$  (punkt  $D$ ) ja tõmmates

$DE \parallel OY$ . Punkti  $P$  koordinaadid on:

$$OE = x, \quad DE = y \quad \text{ja} \quad PD = z.$$

Ühendades  $P$  ja  $B$  (antud tahu pinnas),  $D$  ja  $B$  (pinnas  $XOY$ ) ning  $E$  ja  $P$  sirgetega ja tõmmates  $DF \parallel OX$ , leiame: kolmnurgast  $OPB$  (täisnurkne  $P$  juures)

$$OB^2 = PB^2 + OP^2 \dots \dots \dots (1)$$

ja kolmnurgast  $PBD$  (täisnurkne  $D$  juures)

$$PB^2 = PD^2 + DB^2 = z^2 + DB^2 \dots \dots \dots (2)$$

Ja viimaks kolmnurgast  $DFB$  (täisnurkne  $F$  juures)

$$DB^2 = DF^2 + BF^2 = OE^2 + (OB - OF)^2 = x^2 + (b - y)^2 = x^2 + b^2 + y^2 - 2by \dots \dots \dots (3)$$

Asendades (1)-s  $PB^2$  tema suurusega (2)-st ja viimases  $DB^2$  tema suurusega (3)-st ja teades, et  $OB = b$ , saame:

$$b^2 = z^2 + x^2 + b^2 + y^2 - 2by,$$

millest tuletame:

$$2by = x^2 + y^2 + z^2.$$

Analüütiline geometria tõestab, et võrrandi parempoolne osa võrdub  $OP^2$ , nii et tähistades selle antud tahule konstantse arvu  $r$ -ga saame:

$$by = \frac{r^2}{2}$$

ehk

$$y = \frac{r^2}{2} : b;$$

näeme, et  $y$  on  $b$  pöördarv. Samuti on kerge näidata, et

$$x = \frac{r^2}{2} : a$$

ja

$$z = \frac{r^2}{2} : c.$$

Cambridge'i professor Miller hakkaski märkima tahke arvu-  
dega, mis on proportsionaalsed siintoodud  $x$ ,  $y$  ja  $z$ -ga ja pöörd-  
vahekorras Weissi parameetritega. Milleri tahusümbo-  
liks on lihtsalt kolm arvu —  $h$ ,  $k$ ,  $l$ , paigutatud ümmarsulg-  
desse, nii et nad järjekorras vastavad:  $x$  — ehk esimesele teljele,  
 $y$  — ehk teisele ja  $z$  — ehk kolmandale teljele. Kui Weissi  
(parameetiline) sümbol on  $ma : b : nc$ , siis vastav Milleri (indek-  
site) sümbol on  $(hkl)$ . Ühiktahu parameetreid Miller ei märgi,  
sest nad on mineraali konstandid ega mõjusta tahkude sümbo-  
leid.  $m$  ja  $n$  on  $h$ ,  $k$  ja  $l$ -ga seotud valemitega:

$$m = \frac{k}{h} \quad \text{ja} \quad n = \frac{l}{l};$$

ümberpöördult:

$$h = \frac{l}{m}, \quad k = l, \quad l = \frac{l}{n}.$$

Kui viimased valemid annavad murdarve, leitakse nende ühine  
nimetaja, millega korrutatakse murdusid nii, et sümboolisse jäävad  
nende (täisarvulised) nimetajad.

Nii Weissi kui ka Milleri sümboleis esinevad arvud võivad  
olla positiivsed või negatiivsed, olenedes sellest, kas sümbooliga  
määratud tahk lõikab koordinaattelgi positiivses või negatiivses  
osas; positiivsed parameetrid ja indeksid on ilma märgita, kuna  
negatiivseile parameetreile asetatakse miinusmärk ette, indeksitele  
aga nende kohale üles, näit.  $-2a : 3b : -c$  või  $(\bar{3} 2 \bar{6})$ , millega on  
tähistatud tahk tagumises parempoolses alumises oktandis — ole-  
tusel, et koordinaattelgede positiivsed suunad moodustavad ees-  
parem- ja ülempoolse oktandi.

Parameetrid võivad olla lõpmata suured, kui tahk on paral-  
leelne mõne teljega; niisugusel juhul esineb Weissi sümboolis  
märk  $\infty$ . Vastav Milleri indeks on  $\frac{1}{\infty} = 0$ .

Milleri (ja lk. 44 mainitud Bravais') indeksid, mis määravad üksikut tahku,  
paigutatakse edaspidi lihtsulgudesse (); kui nende indeksitega määratakse mõnd  
sirget (kristalli serva, telge), asetatakse nad nurksulgudesse, nii et  $[hkl]$  on  
sirge sümbol; kui tahetakse korruga haarata tervet tahkude kompleksi, mis  
kuulub ühele kristallivormile, siis asetatakse temasse kuuluva üksiktahu in-  
deksid loogelistesse sulgudesse {}. Punktid indeksite vahel, nagu  $\{h . h . 2h . l\}$ ,  
tähendavad, et indeksid võivad olla rohkem kui ühekohalised arvud.

## Kristallide kujutamine.

Harilik kristallide kujutamisiis on aksonomeetriline projekteerimine; vahel tarvitatakse ka lihtsat ortogonaalset projektsiooni ühele või teisele koordinaatpinnale. Seejuures kujutatakse mitte kristalli ehituses leiduvaid vigu, vaid ainult kristalli ideaalset vormi (vt. joon. 83—87 jt.).

Kui nõnda on valmistatud kristallist kaks, tarbe korral kolm ortogonaalset projektsiooni kahele või kolmele ristiolevale tasapinnale, võib kujutava geomeetria eeskirjade järgi graafiliselt leida temas esinevate või kujuteldavate nurkade, pikkuste jne. tõelised suurused. Kuid selleks otstarbeks, samuti ka kristalli ehituse seaduspärasuste leidmiseks ja arvude saamiseks, millede põhjal võib toimuda kristalli elementide arvutamine analüütilisel teel, on soodsam tarvitada teissuguseid projektsioone. Meie piirdume stereograafilise projektsiooniga.

### Stereograafiline projektsioon.

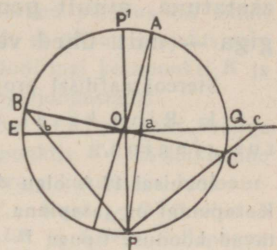
Eespool selgus, et kristallides ei ole tähtis, kui kaugel kristalli keskpunktist asetseb tahk; tähtsad on nurgad, mis tahk moodustab teiste tahkudega, nende seas ka koordinaatpindadega. Neid nurki võib aga kujutada ka siis, kui kõik kristallis esinevad tahud nihutada kokku nii, et nad, jäädes paralleelseiks oma endise asendiga, läbiksid kõik ühe ning sama punkti, mida nimetame projektsiooni keskpunktiks (tsentrumiks). Märgime kohe ära, et kõik omavahel paralleelsed pinnad sulaksid seejuures ühte. Kui selle keskpunkti ümber kujutada tõmmatuks kerapind, siis jätaks iga tahk sellel pinnal jälje suurima ringi näol; nurgad nii tahkude kui ka kõigi tsentrumit läbivate sirgete vahel esineksid kas kesknurkade või suurimate ringide kaarte näol. Nõnda oleks lihtne lahendada kristallisse puutuvaid ülesandeid sfäärilise trigonomeetria meetoditega.

Graafilisteks lahendusteks tasapinnal projekteeritakse kõik need kaared ja punktid kerapinnalt kera ekvaatori pinnale kiirte abil, mis koonduvad ühte kera poolusesse. Olgu joonisel 12 A sää-

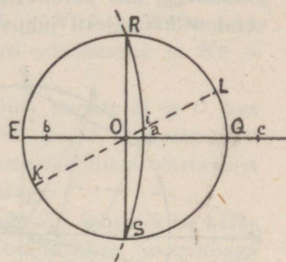
rase kera meridionaalne läbilõige,  $EQ$  ekvaatori projektsioonipinna jälg,  $P$  — poolus (vaatluspunkt), kuhu projekteerivad kiired kokku jooksevad. Olgu  $OA$  mõne joonise-pinnaga ristioleva tahu jälg. Punkti  $A$  ühendame poolusega sirgega  $AP$ ; viimase lõikepunkt projektsioonipinna jäljega, punkt  $a$ , ongi punkti  $A$  stereograafiline projektsioon, mis joonisel 12 B, kus projektsioonipind on kujutatud paberile paigutatult, saadakse siis, kui mõõta keskpunktist  $O$  vastav pikus  $Oa$  diameetril  $EQ$ . Võib teha joonisel 12 A kujutatud läbilõike projektsioonikerast mingit teist diameetrilist pinda mööda, näit. säärast mööda, mille jälg (joon. 12 B) on  $KL$ , ja saada sellega sama tahu projektsiooni jaoks veel punkti. Korrates niisugust konstrueerimist kõigi punktide jaoks, saame tahu projektsioonina mingi kaare  $SaR$ . Punktid  $S$  ja  $R$  sel kaarel peavad ühtima  $EQ$ -ga ristioleva projektsioonisõõri diameetriga, sest selles diameetris lõikub tahk projektsioonipinnaga. Märgime ära, et kõik tasapinnad, läbides keskpunkti  $O$ , on diametraalpinnad ja lõikavad seepärast kerapinda suurimates ringides. Kerapinna jälge projektsioonipinnal nimetatakse p õ h i r i n g i k s.

On lihtsam tahku  $OA$  märkida mitte tema lõikejoonena keral, vaid temale keskpunktis püstitatud ristsirgega  $OB$ , mille punkti  $B$  kerapinnal nimetatakse antud tahu pooluseks. Pooluse stereograafiline projektsioon on  $b$ ; seda nimetatakse ka antud tahu  $OA$  g n o m o stereograafiliseks projektsiooniks. Ümberpöörduvalt kannab kaar  $SaR$  sirge  $OB$  gnomostereograafilise projektsiooni nimetust.

Punktid, mis vaatluspunktist vaadates asetsevad teisele poole ekvaatorit jääval poolkeral, projekteeruvad põhiringi sees. Punktid, mis asetsevad samal poolkeral, kus asetseb vaatluspunkt, projekteeruvad väljapoole põhiringi, ja mida lähemal nad asetsevad vaatluspunktile, seda kaugemal nad projekteeruvad (punkt  $C$  joonisel 12A). Seepärast kujutatakse sageli kumbagi poolkera eri vaatluspunktist: ülemist (joon. 12 A) punktist  $P$  ja alumist punktist  $P'$ ; saadud projektsioone kujutatakse mõnikord teineteisele



Joon. 12A.



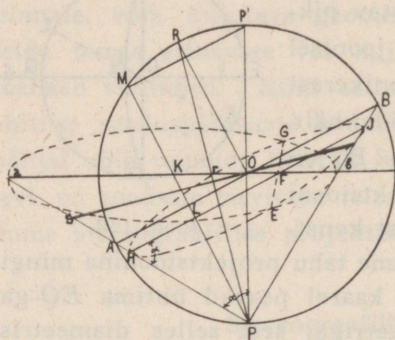
Joon. 12B.

asetatuna, ainult poolkerade järgi märgitakse punktid eri märkega — näit. ühed väikese ringiga, teised ristikesega.

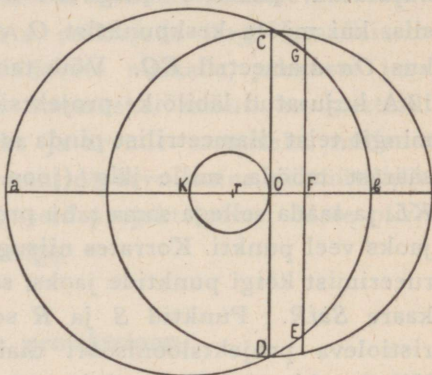
Stereograafilisel projektsioonil on mõned tähtsad omadused.

1. Ring keral, nii suurim kui ka iga teine, projekteerub ringina.

Joonisel 13 A olgu  $AOB$  paberiga risti oleva, diametraalse tasapinna lõige. Kerapinnal on tasapinna jälg suurim ring, mille projekteerivad kiired moodustavad koonuse tipuga  $P$ . Projektsiooni- (ekvaatori-) pind lõikab selle koonuse küljepinda mingil suletud kõveral  $aCbD$ . Kõik selle koonuse pinna lõiked tasapindadega, mis paralleelsed antud tasapinnaga, on samuti ringid. Valides kõveral  $aCbD$  täiesti juhusliku punkti  $E$ , tõmbame läbi selle punkti antud tasa-



Joon. 13 A.



Joon. 13 B: projektsioonipind.

pinnaga paralleelse tasapinna  $HEI$ , mis lõikab projektsioonipinda sirges  $EFG$  ja pinna  $aCbD$  suurimat ringi projekteerivat koonust ringis  $HgIEH$ , sest paralleelsed lõiked annavad koonuse pinnal sarnaseid kõverjooni.

Ringi üheks omaduseks on see, et mõnest ringi punktist diameetrile langetatud ristsirge lõik on keskvärdne diameetri osadega:  $HF : EF = EF : FI$  või  $\overline{EF}^2 = HF \cdot FI$ . Vaadeldes kolmnurki  $aFH$  ja  $IFB$  leiame, et nad on sarnased, sest peale tippnurgade  $F$  juures on neil võrdsed ka nurgad  $FaH$  ja  $FIB$ , sest:  $\angle OAP = \angle OPA$  ( $\triangle OAP$  on võrdhaarne);  $\angle FHP = \angle OAP$  kui vastavad nurgad paralleeljoonte juures, nii et  $\angle FHP = \angle OPA = \alpha$ . Kolmnurkades  $aOP$  (täisnurkne  $O$  juures) ja  $HIP$  (täisnurkne  $P$  juures) on  $\angle FaH$  ja  $\angle FIB$  mõlemad  $90 - \alpha$ , s. o. võrdsed.

Kolmnurkade  $aFH$  ja  $IFb$  sarnasuse tõttu võime kirjutada:

$$\frac{FI}{Fb} = \frac{aF}{HF},$$

kust

$$Fb \cdot aF = FI \cdot HF$$

või, nagu eespool tõestatud  $FI \cdot FH$  suhtes,

$$Fb \cdot aF = EF^2.$$

Nii omab juhuslik punkt  $E$  kõverjoonel, mis kujutab antud tasapinna, omadust, et temast kõverjoonega ümbritsetud pinna poolitajale  $aOb$  langetatud ristjoon

$EF$  on keskviõrdne selle poolitaja osade vahel. Säärane omadus on ainult ringil. Sellega on teoreem tõestatud ja õhtlasi leitud, et  $ab$  on projektsiooni diameeter, nii et jagades pooleks  $ab$  leiame projektsiooniringi keskpunkti  $K$  ja määrame raadiuse —  $Ka = Kb$ , millega on kerge ringi joonestada.

Keskpunkti  $K$  võime ka leida, kui langetame (joon. 13 A) punkti  $P$  sirge  $PL$  risti  $AB$ -le ja pikendame teda lõikumiseni  $ab$ -ga punktis  $K$ . Et lõikumine toimub nimelt punktis  $K$ , tõestub järgnevalt. Ristiolevate haaradega kolmnurkadest  $BPL$  ja  $aOP$  järeldame, et  $\angle OBP = \angle OaP$ . Kuid  $\angle OBP$  võrdub ka  $\angle APL$ , mis järeldub sarnastest kolmnurkadest  $ALP$  ja  $LBP$ . Sellepärast  $\angle OaP = \angle APL$ . Kolmnurk  $aKP$  on võrdhaarne:  $aK = PK$ . Kolmnurgas  $PKb$ :  $\angle Kpb = \angle OPb + \angle OPk = \angle OPb + \angle KOL = \angle OPb + \angle BOb = \angle OBP + \angle BOb$ ;  $\angle Kbp = \angle OBP + \angle BOb$  (kui välisnurk). Seetõttu  $\angle Kpb = \angle Kbp$ ; kolmnurk  $Pkb$  on samuti võrdhaarne ja  $Kb = KP = aK$ .

Varemini leidsime, et meie projektsioon peab läbima punkte  $D$  ja  $C$ , kus projekteeritav punkt langeb õhte projektsiooniga. Nüüd näeme, et keskpunkti  $K$  kaugust punkti  $P$  (ja temale samasuguses kera diameetraallõikes vastavaist punktidest  $C$  ja  $D$ ) võrdub tõesti projektsiooni raadiusega.

Tasapinna  $AB$  valisime täiesti juhuslikult. Samuti on siis juhuslik ka kerapinnal väikest ringi lõikav tasapind  $MP'$ , mille valime paralleelsena tasapinnaga  $AB$ , nii et uus tasapind omab sama poolust  $R$  kui endine. Tema lõikumisel keraga saame väikese ringi. See ring projekteerub projektsioonipinnale projektsioonikoonuse kaudu, mille telg on  $RP$ , nimelt sama, mis oli  $AB$ -d projekteerival koonusel, sest  $\widehat{MR} = \widehat{RP'}$  ja  $\widehat{AR} = \widehat{RB}$  (telg on tippnurga poolitaja). Kõik  $MP$ -ga paralleelsed koonuselõiked annavad ringi. Tasapinna  $AB$  puhul nägime, et säärase telje juures koonus, omades ringikujuliste lõigete süsteemi, omab ka teise süsteemi ringikujulisi lõikeid, mis on paralleelsed projektsioonipinnaga. Ka selle kitsama koonuse juures ei saa see teisiti olla, ja me väidame, et ka väikesed ringid keral annavad projektsioonis ringi.

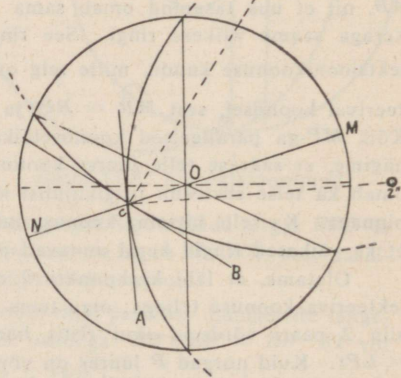
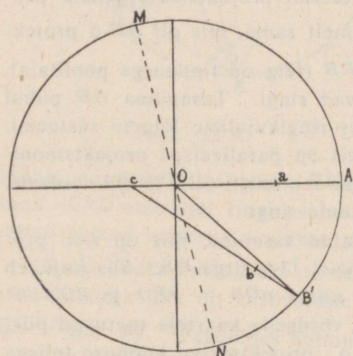
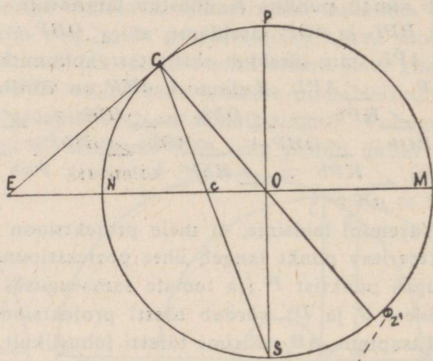
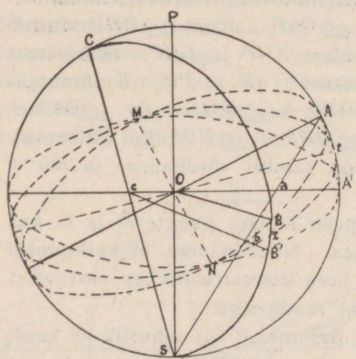
Oletame, et läbi keskpunkti  $O$  on tõmmatud tasapind, mis on risti projekteeriva koonuse teljega; olgu tema jälg joonisel 13A sirge  $OS$ . Siis kujuneb siin 2 paari võrdseid (kui ristis haaradega) nurki  $aOS = rPO$  ja  $SOA = LPr$ . Kuid nurgad  $P$  juures on võrdsed kui võrdseile kaartele toetuvad piirdenurgad, mispärast ka  $\angle aOS = \angle SOA$ , s. o.: projekteeriva koonuse teljega ristiolev tasapind jagab nurga antud tasapinna ja projektsioonipinna vahel pooleks.

Tasapinnad, mis on risti projektsioonipinnaga (sisaldavad polaartelge), projekteeruvad sirgetena — projektsioonisõõri diameetritena, s. o. ringi kaartena, mille keskpunkt on lõpmatuses.

2. Nurgad projektsioonis esinevad oma õiges suuruses.

A. Nurgad sirgete vahel. Olgu  $OA$  ja  $OB$  (joon. 14) kaks sirget;  $NB'A'$  — projektsioonipind. Olgu sirgete  $OA$  ja  $OB$ -ga määratud tasapind  $NBAM$  ja tema projekteeriva koonuse telg  $SC$ . Läbi telje ja punktide  $A$  ja  $B$  tõmbame tasapinnad  $CAA'S$  ja  $CBB'S$ . Need tasapinnad lõikavad projektsioonipinda sirgetel  $ca'$  ja  $cb'$ , millel asetsevad ka punktide  $A$  ja  $B$  projektsioonid  $a$  ja  $b$ . Tasapind  $Nzt$ , mis läbib  $O$ -d ja on risti teljega  $SC$ , jagab pooleks servnurga  $ANA'$ , nagu eespool tõestatud, ja moodustab kaks sfäärilist kolmnurka

$Nat$  ja  $NtA'$ , mis täisnurksed  $p. t$  juures ja on võrdsed. Järelikult on võrdsed ka kaared  $NB$  ja  $NB'$ . Siit järeldub, et nende kaarte vahed on ka võrdsed:  $BA = B'A'$ , s. o. sama kaar, mis jääb kerapinnal sirgete vahele, jääb ka projektsiooniringil sirgete vahele, mis ühendavad sirgeid sisaldava pinna gnomostereograafilist projektsiooni sirgete projektsioonidega. Sellele kaarele toetuv kesknurk ongi võrdne nurgaga antud sirgete vahel.



Joon. 14.

Joon. 15.

B. Nurgad tasapindade vahel. Olgu joonisel 15 kujutatud ring projektsioonikera läbilõige,  $O$  tema keskpunkt,  $OC$  mingi kahe tasapinna lõikumissirge. Sirge lõikumispunkti  $C$  kerapinnaga on tõmmatud kerale puutepind, mille jälg on  $CE$ . Punkti  $C$  projekteeriv sirge  $CS$  moodustab nii puutepinna kui ka projektsioonipinnaga võrdsed nurgad  $ECC$  ja  $ECc$  (täienduvad täisnurgaks sama nurgaga  $\angle OSC = \angle OCc$ ). Seepärast, pöörates puutepinda tema punktis  $E$  risti joonisepinnaga asetseva projektsioonipinnaga lõikumissirge kui telje ümber kuni projektsioonipinnaga ühtimiseni, veendume, et punkti  $c$  juures kujuneb puutepinnal mõõdetav antud tasapindadevaheline nurk  $AcB$  oma õiges suuruses.  $AC$  ja  $BC$  kui kera puutepinnas esinevad sirged omavad keraga ja samuti ringidega, milledes kerapind lõikub antud tasapindadega, ainult ühte ühist punkti  $C$ . Järelikult võivad ka nende sirgete projektsioonid  $Ac$  ja  $Bc$

omada nende ringide projektsiooniga ainult ühte ühist punkti  $c$ , s. t. nurka kahe tasapinna vahel mõõdab nurk nende tasapindade projektsioonikaarte puutujate vahel, mis lõmmatud kaarte ristumispunktis. Muidugi moodustavad sama nurga ka punktis  $c$  ristuvad vastavate projektsioonikaarte raadiused  $\approx c'$  ja  $\approx c$ .

### Stereograafilise projektsiooni rakendusi.

Toetudes stereograafiliste projektsioonide omadustele võib neil projektsioonidel kujutada igasuguseid kristallide tahke, servi jne., mõõta nendevahelisi nurki, graafiliselt leida telgede jne. asendeid ja lahendada muid kristallograafilisi ülesandeid. Iga suund, mille annab mõni (ikka projektsioonikera keskpunkti läbiv!) sirgjoon — kristalli serv, ristjoon mõnele tahule —, kantakse harilikult projektsioonile tema pikkuse (analoogiliselt stereograafilise pikkusega) ehk asimuudi ja polaarkauguse järgi. Harilikult arvatakse pikkust projektsiooni põhiringi paremalt vasemale poole suunatud diameetri paremast otsast üle alumise ringipoolse  $360^\circ$ -ni. Polaarkaugus arvatakse projektsioonipinnale püstitatud ristdiameetri vaatluspunktile vastupidisest otsast  $90^\circ$ -ni. Need mõõtmised saadakse vahenditult kristallide mõõtmisel teodoliitgoniomeetril või jälle õhikute vaatlusel erilise (Fedorovi) lauaga varustatud mikroskoobil.

Märgime ära mõningaid erilisi reeglipärasusi, mis ilmnevad stereograafilisel projektsioonil. Tasapinnad, mis on paralleelsed ühe ning sama sirgega, lõikuvad kõik ühes sirges. Selle sirgega ristiolev tasapind sisaldab kõigi antud tasapindade poolused. Järelikult leiduvad kõigi sääraste tasapindade gnomostereograafilised projektsioonid ühel ringikaarel — risttasapinna projektsioonil. Sääraste mõne suunaga paralleelsete tahkude esinemine kristallides on harilik, niisugused tahud lõikuvad omavahel paralleelseis servades ja moodustavad ühe vöö. Nii on kristallil mõne vöö esinemise tunnuseks 1) kas nende stereograafiliste projektsioonide toetumine ühe ning sama projektsiooni põhiringi diameetritele või 2) nende gnomostereograafiliste projektsioonide leidumine ühel ning samal mõnd tasapinda kujutaval kaarel. Kõik projektsioonipinnaga ristiolevad tasapinnad moodustavad vöö, mille poolused on projektsiooni põhiringil. Projektsioonipinnas lamavate sirgetega paralleelsete vööde gnomostereograafilised projektsioonid asetsevad põhiringi diameetritel.

## Sümmeetria mõiste.

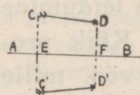
Looduses esineb kujundeid, millede üksikud osad on omavahel sarnased — samamõõtmelised. Nii on loomariigis harilik nähtus, et loomakeha koosneb kahest poolest — paremast ja vasakust; üks pool oleks nagu teise kujutis peeglis, mis asetatud looma dorsoventraalsele keskpinnale. Mõned teised kujundid jälle, näit. meritähed (*Asteroidea*), samuti suur hulk õisi, koosnevad samamõõtmelistest osadest, mis kattuvad üksteisega, kui neid mingi telje ümber pöörame nurga võrra, mis moodustab täisarvulise osa 360 kraadist. Niisugust nähtust nimetatakse samamõõtmelisuseks, sümmeetriaks. Siin võime kohe ära märkida, et sümmeetria on vähemalt kaheksugune: peegelsümmeetria ja telgsümmeetria.

Ka kristallides esineb sümmeetria ühes või teises ulatuses. Kristallid esinevad teatavasti rõhuvas enamikus polüeedritena, millede väline kuju kui ka reageerimine välistele füüsilistele jõududele osutab sümmeetriat. Seepärast on kristallide sümmeetriliste omaduste tundmine tõhusamaid abinõusid mineraalide määramiseks, mispärast sümmeetriaõpetusel on kristallograafias tähts koht.

## Sümmeetriaelemendid.

Sümmeetriaõpetus on osa geometriast, mille on välja arenanud peamiselt mineraloogid. Üldgeomeetrilises käsitluses on see õpetus viidud lõpptulemusteni, väljudes algdefinitsioonidest. Oma kursuse ulatuses vajame neid lõpptulemusi, kuid ruumi ja aja säästmise mõttes ei hakka me neid matemaatiliselt tõestama, vaid võtame nad üle empiiriliste tõsiasiadena.

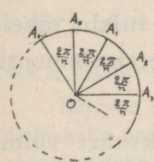
**Peegelpind.** Kiirteoptikast teame, et paberipinnaga risti mõeldud peegli  $AB$  (joon. 16) ees olev ese  $CD$  annab näiva kujutise  $C'D'$ , kusjuures  $CE = C'E$  ja  $DF = D'F$ , kui  $E$  ja  $F$  on punktide  $C$  ja  $D$  vastavad projektsioonid peeglipinnal. Kui kristallis on võimalik kujutella tasapinda, mis jagab kristalli kaheks osaks, mille kummagi vastavad punktid on ühekaugusel sellest tasapinnast (nagu ese ja ta peegelpilt), siis ütleme, et kristall omab selles tasapinnas sümmeetria- (peegel-) pinda. Märgime samas ära, et peegelduv ese ja tema peegelpilt pole üldiselt mitte asetatav-



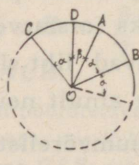
Joon. 16.

võrdsed, nagu näiteks pole teineteisega kattuvad parema ja vasema käe kindad.

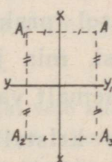
**Sümmeetriatelg.** Punktis  $O$  (joon. 17) lõikugu paberipind temaga ristioleva sirgjoonega. Kui seda sirgjoont ümbritsevas ruumis on mõne eseme (kristalli) osad  $A, A_1, A_2, \dots, A_n$  paigutatud nii, et nende osade vastavad punktid asetsevad sirgjoonega ristiolevatel pindadel niisama kaugel sirgjoonest ja nõnda, et  $\angle AOA_1 = \angle A_1OA_2 = \dots = \angle A_nOA$ , siis kannab niisugune sirgjoon  $n$ -kordse sümmeetriatelje nimetust, sest kujund, pöördudes selle telje ümber, on ühe ringi ( $360^\circ$ ) kestel  $n$  korda täpselt samas seisundis kõigi oma osade suhtes, nagu ta oli alguses. Arv  $n$  võib olla iga täisarv 2-st lõpmatuseeni (viimasel juhul kera või sõõri sümmeetria). Väikesimaks pöördenurgaks, mille juures samasugused elemendid kattuvad, on  $\frac{360^\circ}{n}$ , kus  $n$  on terve arv. Kui oletada vastupidi, s. t. et väikesim pöördenurk  $\alpha$  ei mahu täit korda ringisse, peame saama (joon. 18) algnurga  $AOB$  ja viimase terve  $\alpha$ -suuruse nurga  $COD$  vahel nurga  $DOA$ , mis on väiksem kui  $\alpha$ , mis aga eitab oletust, et  $\alpha$  on väikesim pöördenurk (joonisel on  $O$  paberiga ristiasetseva telje jälg).



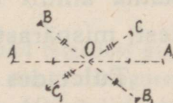
Joon. 17.



Joon. 18.



Joon. 19.



Joon. 20.

**Pöördpeegeltelg.** Joonisel 19 on kujutatud telg  $XX_1$ , mille  $n$  pole paarisarv. Tasapinnal, mis sisaldab telje ja mingi punkti  $A$ , ei või sel juhul esineda  $180^\circ$ -lise pöördega telje ümber samasugust punkti  $A_1$ . Kuid kristallides võib punktile  $A$  esineda samaväärne punkt  $A_2$ , mis saadakse kahe toimingu tulemusena: pööramisega telje  $XX_1$  ümber  $180^\circ$  võrra ja samaaegse peegeldamisega  $XX_1$ -le ristiasetatud peegelpinnas  $YY_1$ , nagu joonisest näha. Seejuures on ükskõik, kas punktist  $A$  punkti  $A_2$  tuletamist kujutella abipunkti  $A_1$  või abipunkti  $A_3$  kaudu (enne pööramine, siis peegeldus, või ümberpöördult). Kirjeldatud juhul räägitakse  $2n$  kordse pöördpeegel- ehk liittelje olemasolust. Säärased teljed võivad kristallidel olla kahe-, nelja- ja kuuekordsed.

**Sümmeetriakeskpunkt (-tsentrum).** Kui esemes on võimalik leida niisugune punkt  $O$  (joon. 20), mida läbivail kõigil sirgjoontel asetsevad paaridesse  $AA_1, BB_1, CC_1, \dots$  kuuluvad samasugused punktid on punktist  $O$  paarikaupa võrdses kauguses, siis öeldakse, et ese omab sümmeetria- (ehk inversiooni-) keskpunkti. Sel juhul nagu asetseks punktis  $O$  igasse suunda pöörduda ja korruga ainult üht punkti peegeldada võiv peegel, mispärast vahel seda punkti nimetatakse ka peegelduspunktiks.

**Kruvitelg.** Mehaanikas tõestatakse, et keha iga koha muutmist (liikumist) võib kujutella toimunuks kruvijoont pidi: pöördega ümber mingi telje koos nihkumisega telje suunas. Seesugune üldine liikumisviis, kus pööretele on määratud teatavad  $360^\circ$ -st erinevad nurgasuurused ja nihetele ruumvõrede algrakukeste mõõtmed, võimaldab samuti kristallide struktuuri samasuguseid elemente viia algasendiga võrdsesse asendisse. Seepärast loetakse ka neid kruviliigtusi sümmeetrilisteks. Eespool-vaadeldud lihtsümmeetriaelemendid kujutavad sellest üldisest liikumisviisist ainult erijuhtumeid: peegelpind vastab nihkele risti peegelpinnaga ilma pöördeta ja lihttelg eeldab ainult pööret ilma nihketa. Mineraalide määramisel praktilisteks otstarveteks tuleb tähele panna ainult erinevusi, mis järelduvad lihtsümmeetriaelementidest, mispärast me lähemalt vaatleme ainult neid.

Tuletades meelde kristallide ruumvõrelist struktuuri võime kinnitada, et: 1) iga sümmeetriatelg määrab kristallis võimaliku serva suuna; 2) iga peegelpinnaga ristiolev sirge on samuti võimalik kristalliserv; 3) iga peegelpind on võimaliku tahuga paralleelne ja 4) iga pöördteljega ristiolev tasapind on kristallis võimalik tahk.

### Sümmeetriaelementide omavaheline sõltuvus.

Nurga  $a$  all lõikuva ja järgemööda peegelduva kahe peegelpinna  $OA$  ja  $OB$  olemasolust järeldub, et peegelpindade lõikumissirge on sümmeetriatelg, mille väikesim pöördenuk on  $2a$ .

Joonisel 21 on  $OA$  ja  $OB$  kahe peegelpinna jäljed paberil ja  $O$  nende pindade lõikumissirge jälg. Mingi punkt  $C$  annab peeglis  $OA$  pildi  $C_1$ , mis omakorda peeglis  $OB$  pildistub punktina  $C_2$ . Nii nõuab kahe peegli olemasolu ka punkti  $C_2$  olemasolu, samasuguse, nagu on antud punkt  $C$ . Nagu peegeldusseadustest järelduvatest joonise geometrilistest omadustest nähtub,

$$OC_2 = OC$$

ja

$$\angle COC_2 = 2 \angle AOB,$$

nii et punkt  $C_2$  kattub punktiga  $C$  ka siis, kui pöörame seda punkti sisaldavat keha telje  $O$  ümber kahekordse nurga  $AOB$  võrra.

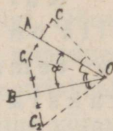
Argumenteerides vastupidi on niisama kerge tõestada, et ümberpöördukt iga samu elemente kattumisele viiv  $\alpha^0$ -ne pööre sümmeetriatelje ümber võib asendada peegeldamisega kahes peegelpinnas, mis lõikuvad teljes ja moodustavad omavahel nurga  $\frac{\alpha}{2}$ .

Kahte lõikuvat sümmeetriatelge  $OA$  ja  $OB$  (joon. 22), millede väikesimad pöördenurgad on  $\alpha$  ja  $\beta$ , võib asendada ühe teljega  $OC$ , mis lõikub antud telgedega punktis  $O$  ja mille suund määratakse sfäärilisest kolmnurgast  $ABC$ , mille külge  $AB$  võrdub nurgaga antud telgede vahel ja nurk  $A = \frac{\alpha}{2}$  ja  $B = \frac{\beta}{2}$ . Uue telje väikesimpöördenurk on  $2ACB$ .

Eelmise teoreemi pöördteoreemi põhjal võib kumbagi antud telgedest asendada kahe peegelpinnaga, mis lõikuvad antud teljes. Valime üheks niisuguseks peegelpinnaks tasapinna  $OAB$ ; sel juhul on teisteks pindadeks  $AOC$  (teljele  $AO$ ) ja  $COB$  (teljele  $OB$ ). Need kolm pinda asendavad antud telgi. Kuid pinna  $AOB$  tegevus ei avaldu väljapoole: ühe antud telje asendajana annab ta peegelpildi, mille ta teise telje asendajana jälle algasendisse tagasi toob. Jäävad järele ainult peegelpinnad  $AOC$  ja  $COB$ , neid aga asendab eelmise otse teoreemi järgi peegelpindade lõikumissirge  $OC$  teljena, mille väikesim pöördenurk on kaks korda suurem kui nurk  $ACB$ . Peame meeles, et nurgad  $CAB$ ,  $ABC$  ja  $BCA$  on kõik servnurgad, mis mõõdetakse telgi lõikavais ristpindades.

**Kaksik-pöördpeegeltelje olemasolu kehas on seotud ka sümmeetriakeskpunkti olemasoluga.**

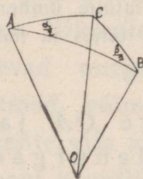
Antud on kaksik-pöördpeegeltelg  $AB$  (joon. 23) ja tema peegelpind. Punktile  $C$  vastab punkt  $C_2$ , mis saadakse peegeldades  $C$ -d esiti  $C_1$  ja siis pöörates teda telje  $AB$  ümber  $180^0$  võrra. Joonisest nähtub, et  $C_2O = OC$  ja need sirglõigud moodustavad ühe sirge. See ongi sümmeetriakeskpunkti nõue. \*Kahekordne pöördpeegeltelg kannab ka inversioontelje nimetust ja sümmeetriakeskpunkt inversioonikeskpunkti nimetust (inversioon = vahetus).\*



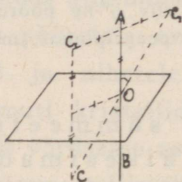
Joon. 21.

Kui keha omab üht kaksik-pöördpeegeltelge, siis on iga sirgjoon, mis läbib keha antud telje ja tema peegelpinna ristumispunktis, samuti kaksik-pöördpeegeltelg.

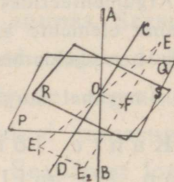
Olgu (joon. 24)  $AB$  antud kaksik-pöördpeegeltelg,  $PQ$  tema peegelpind,  $O$  — nende ristumispunkt, mis eelmise teoreemi põhjal on ka sümmeetriakeskpunkt. Valides vabalt mingi sirgjoone  $CD$ , mis läbib punkti  $O$ , ja temale ristasetseva peegelpinna  $RS$ , leiame, et kehas vabalt valitud punktile  $E$  leidub (sümmeetriakeskpunkti olemasolu tõttu) vastaspunkt  $E_1$  sirgel  $OE$ , kusjuures  $OE_1 = OE$ . Sama punkti võib aga tuletada peegeldades punkti  $E$  pinnas  $RS$  (saame punkti  $E_2$ ) ja pöörates punkti  $E_2$  telje  $CD$  ümber  $180^\circ$  võrra.



Joon. 22.



Joon. 23.



Joon. 24.

Lihntne on tõestada, et  $2n$  kordne pöördpeegeltelg on ühtlasi ka  $n$ -kordne pöördtelg. Seepärast jääb tõestus siinkohal toomata.

Kui keha omab kaht sümmeetriatelge, siis need peavad lõikuma ühes punktis,

sest vastupidine oletus eeldab kohe esimese pöörde puhul, mida kujutleksime tehtuna ühe telje ümber, kolmanda telje vajadust, mis aga meie tingimusele vastu räägib.

Sümmeetriapind, mis sisaldab  $n$ -kordset sümmeetriatelge, peab esinema  $n$ -kordselt.

### Kristallide võimalikud sümmeetriealemendid.

Oletused kristallide ruumvõrelisest ehitusest eeldavad kristalline koosnevust rakukestest, mis täidavad ruumi ilma vahedeta. Vaadeldes üksikuid tasapindu, mille moodustavad ruumvõre lõiked, näeme kohe, et rakukesed, mis täidavad pinda ilma vahedeta, on oma kujult kolmnurgad (võrdkülgsed), parallelogrammid (erandjuhul rombide ja ruudud) ja kuusnurgad. Viis-, seitse-, kaheksa- jne. nurksed ühesugused kujundid ei saa täita pinda ilma vahedeta. Mis on õige lõikepindade kohta, on mui-

dugi õige ka ruumvõrede eneste kohta. Seepärast ei või ka kristallides esineda 5-, 7- ja enam kordseid sümmeetriatelgi. Nõnda on võimalikud pöördteljed ainult 2-, 3-, 4- ja 6-kordsed, pöördpeegelteljed 2-, 4- ja 6-kordsed. Peegelpindade ja sümmeetriakeskpunktiga kombineerides võimaldavad teljed tuletada kõiki võimalikke sümmeetriaelementide kombinatsioone kristalliseerunud aines.

### Sümmeetriasüsteemid ja -klassid.

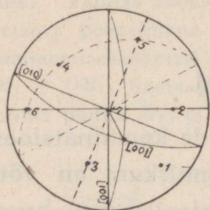
Võimalikkude erinevate sümmeetriaelementide kombinatsioone võib kristallides tuletada mitmel viisil. Loomulikum on võtta üksikelemendid ja neile lisandada uusi sümmeetriaelemente, arvestades eespool-selgitatud seaduspärasusi.

Seejuures kasutame stereograafilist projektsiooni, et kujutada neid sümmeetriaelemente. Märgime kaksiktelje otsad märkidega (); märkide täide on erinev, et tähistada samas klassis esinevaid mitte-üheväärseid kaksiktelgi. Kolmiktelje märgiks olgu  $\triangle$ , neliktelje märgiks  $\square$  ja nelik-pöördpeegeltelje märgiks  $\blacksquare$ ; kuuiktelg olgu  $\circ$  ja kuuik-pöördpeegeltelg  $\blacktriangle$ . Peegelpindu märgime kahekordse joonega — kas sirge või kaare näol, olenedes sellest, kuidas pind projektsioonis esineb. Sümmeetriakeset tähistatakse vahel tähega *C* projektsiooni keskel, kuid vajadust selleks ei ole, kui selle sümmeetriaelementi olemasolu järeldub sunduslikult teiste sümmeetriaelementide kombinatsioonist.

\*Kõigi kristalliklasside tuletamisega tegelesid juba Hessel 1830 ja Bravais 1849. Projektsioonide abil ning ratsionaliteedi-seaduse alusel lahendas probleemi lihtsustatud kujul Gadolin 1871. Tema eeskujule järgnevad hilisemad ja ka käesolev õperaamat.\*

**Pedioniline ehk asümmeetriline klass.** Kõige lihtsama klassina peame eraldama juhu, kus kristall ei oma üldse mingit sümmeetriaelementi. Ükski kristalli osa, olgu tahk, serv või nurk, ei oma teist samaväärilist. Kristalli kirjeldades tuleb kirjeldada üksikult iga tahku, pedioni, nagu nimetatakse sellist üksikpinda. Kuid selleks, et vahet teha nende üksikute tahkude vahel, mida on tarvis vähemalt 4, et igakülgselt piirata mingit ruumi, antakse neile eri nimetused selle järgi, kuidas nad asetsevad valitud koordinaatteljestiku suhtes.

Koordinaatteljestik on sel puhul samuti asümmeetriline: telgedeks valitakse kolm omavahel lõikuvat serva, mis moodustavad kõik omavahel kaldnurki. Joonisel 25 on antud selle klassi stereograafiline projektsioon I  $[100]$  ja II  $[010]$  telge sisaldavale pinnale  $(001)$ ; III telg projekteerub punktis  $[001]$ . Märgitud on võimalikkude tahkude gnomostereograafilised projektsioonid.



Joon. 25.

Kõige üldisem juhtum on neljanda (IV) asendi pedion ( $hkl$ ) (joonisel punkt 1). Pedion, mis on paralleelne esimese teljega, kannab I asendi pedioni nimetust ( $okl$ ) (punkt 2), paralleelne II-teljega on II asendi pedion ( $hol$ ) (p. 3) ja paralleelne III teljega — III asendi pedion ( $hko$ ) (p. 4). Pedionid, mis on korruga paralleelsed II ja III teljega, on I (esimesed) pedionid ( $100$ ) (p. 5; lõikavad ainult I telge); paralleelsed I ja III teljega on II pedionid ( $010$ ) (p. 6); paralleelsed I ja II teljega — III pedionid ( $001$ ) (p. 7).

Sellesse kristallograafilisse klassi kuuluvaid mineraale ei tunta. Kunstlikest kristallidest kuuluvad siia ala-väävlishapu kaltsium ( $\text{CaS}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , hüposulfiidi analoog) ja kaalibikromaat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

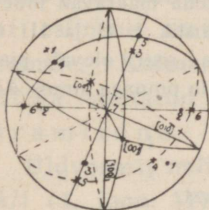
**Pinakoidne klass.** On olemas sümmeetriakeskpunkt. Selles klassis iga tahk omab teist samasugust paralleelset (vastas-) tahku, Selline kombinatsioon kahest paralleelsest tasapinnast kannab nimetust pinakoid („pinaks“ tähendab kreeka keeles lauda). Pinakoide on tarvis vähemalt 3, et nad piiraksid keha. Et koordinaatteljestik on valitud nagu eelmises klassis, siis eraldatakse neid samuti kui pedione (joonisel 26): punkt 1 — IV asendi pinakoid  $\{hkl\}$ , p. 2 — I asendi pinakoid  $\{okl\}$ , p. 3 — II asendi pinakoid  $\{hol\}$ , p. 4 — III asendi pinakoid  $\{hko\}$ , p. 5 — I pinakoid, p. 6 — II pinakoid, p. 7 — III pinakoid. Punktidega on märkitud ühel pool projektsioonikera asetsevad tahkude puutepunktid, ristikestega — teisel pool asetsevad.

Selle klassi esindajaiks on mineraalide seas enamik põldpagusid ja mõned muud; ka sinine silmakivi kuulub siia.

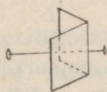
**Ainsad sümmeetriateljed.** Üksainus kaksik-sümmeetriatelg nõuab, et igale üldises asendis antud tahule vastaks samasugune teine, mis ühtib esimesega, kui teda pöörata ümber

kaksiktelje  $180^\circ$  võrra. Üldjuhul pole need tahud mitte paralleelsed, vaid lõikuvad (joon. 27). Lõikumissirge peab ristuma sümmeetriateljega, sest vastasel korral oleks meil 2 sirget, milles lõikuvad meie kaks tahku; see on aga võimatu.

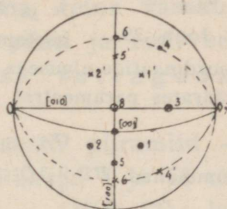
Nõue, et iga tahupaari lõikumissirged asetseksid risti kaksikteljega, põhjustab täisnurkade ( $90^\circ$ ) esinemise kristallis — ühes pindadest, milles lamab ka kaksiktelg. Selle pinnaga risti olevas pinnas moodustavad aga kristalli servad kaldnurki kaksikteljega. Seepärast valitakse niisugusel juhul ka koordinaattelgedeks  $x$  ja  $y$ , kaks teineteisega risti olevat serva, sest  $z$  moodustab  $x$ -ga kaldnurga ( $y$ -ga aga ka  $90^\circ$ ). Teljestik seatakse üles nii, et  $y$  suundub vaatleja suhtes vasemalt poolt paremale,  $z$  on loodjoones ja  $z$  ja  $x$  vaheline nurk, mis  $> 90^\circ$ , on ülal. \*Kristallograafias tarvitatakse tavaliselt  $x$ ,  $y$  ja  $z$  asemel telgede sümbolitena  $a$ ,  $b$  ja  $c$ .\*



Joon. 26.



Joon. 27.



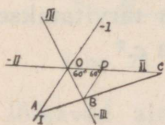
Joon. 28.

Pööramisel kaksiktelje ümber tekitatud üldise asendiga tahkudepaari nimetatakse sfenoidiks (sfen = kiil) ja vastavat klassi — sfenoidseks klassiks.

Üldise asendiga tahkudepaar  $\{hkl\}$  võib olla kas vasakul ( $2, 2'$ ) (joon. 28) või paremal ( $1, 1'$ ) pool; neid nimetatakse IV asendi sfenoidideks. Sfenoidid, millede tahud on paralleelsed I teljega, on I asendi sfenoidid —  $\{0kl\}$  (p. 3), III teljega paralleelsed — III asendi sfenoidid —  $\{hk0\}$  (4, 4'). Tahk, mis on paralleelne II teljega (sümmeetriateljega), nõuab endale paralleelse tahu olemasolu, nõnda tekib II asendi pinakoid —  $\{h0l\}$   $\{5, 5'\}$ . II ja III teljega paralleelne tahk annab I pinakoidi —  $\{100\}$   $\{6, 6'\}$ ; I ja III teljega paralleelne tahk ei nõua teist tahku, saame II pedioni, kas vasaku või parema —  $(010)$  (7); I ja II teljega paralleelne tahk annab III pinakoidi —  $\{001\}$  (8).

Kindlaid sellesse klassi kuuluvaid mineraale pole; kunstlikest sooladest on tuntuim viinahape.

Järgmisel klassil on üksainus kolmiktelg. Iga punkt väljaspool telge nõuab veel 2 punkti olemasolu, teljelt vaadatuna  $120^\circ$  nurgi; need 3 punkti määravad teljega ristioleva pinna. Kolmiktelg asetatakse püsti vaateleja ette viimase koordinaatteljena ja temaga risti olevas pinnas valitakse I ja II telg. Et võrdsete tahkude sümbolid osutuksid ka selles klassis sarnasteks, selleks valitakse horisontaalpinnas kolm telge  $120^\circ$  nurgi; püsttelg on neljas telg. Tahu sümbol selle teljestiku juures on (indeksid telgede järjekorras):  $\{hki\}$ , mis asendab Milleri sümbolit kolmik- või kuukitelge sisaldavais kristalliklassides ja kannab Bravais' sümboli nime (mineraloog Bravais' järgi, kes sellise viisi tarvitusele võttis).



Joon. 29.

Kolmemõõtmelises ruumis on ruumpunktide asendi määramiseks küllaldane kolme üksteisega lõikuva koordinaattelje olemasolu. Seepärast ei ole ka uuesti juurdetud indeks  $i$  Bravais' sümbolis mitte iseseisev, vaid teda määravad indeksid  $h$  ja  $k$ . Olgu joonisel 29 kujutatud harilik I, II ja III telje asetamine horisontaalsel, kolmikteljega risti oleval pinnal, koordinaatide algusega punktis  $O$ . Mõni tahk lõikugu selle pinnaga sirges  $ABC$ , määrates parameetrid

$$OA = \frac{l}{h}, \quad OC = \frac{l}{k} \quad \text{ja} \quad OB = -\frac{l}{i}.$$

Tõmmanud  $BD \parallel AO$ , kirjutame kolmnurkade sarnasusest:

$$\frac{OC}{OA} = \frac{DC}{BD}.$$

Kolmnurk  $OBD$  on võrdkülgne (nurgad  $\hat{a} 60^\circ$ ), mispärast

$$BD = OB = OD$$

ja

$$DC = OC - OB.$$

Seepärast võime kirjutada eelmise proportsiooni sel kujul:

$$\frac{OC}{OA} = \frac{OC - OB}{OB}.$$

Väljendades selle indeksites:

$$\frac{\frac{l}{k}}{\frac{l}{h}} = \frac{\frac{l}{k} + \frac{l}{i}}{-\frac{l}{i}}$$

ja vabanedes murdudest:

$$-\frac{l}{ki} = \frac{i+k}{hki}; \quad -h = i+k,$$

või

$$h+k+i=0; \quad i=-(h+k),$$

s. o. kolmas indeks  $i$  on esimese ja teise indeksi negatiivne summa.

Üldisim vorm on  $\{hki\}$  — kolmnurkne, trigoonne III asendi püramiid (1) (joon. 30), mis koosneb kolmest kolmikteljel asetsevas

tipus lõikuvast tahust:  $(h\bar{k}l)$ ,  $(i\bar{h}k)$  ja  $(k\bar{i}h)$  ja mis vastavalt vasakpoolsele või parempoolsele, ülemisele või alumisele seisangule annab 8 erijuhtu. I asendi püramiidid, sümboliga  $\{h0\bar{h}l\}$  (2), on ka 4 sümboli rühmaga, samuti II asendi püramiidid —  $\{h.h.2\bar{h}.l\}$  (3). Kui tahud on paralleelsed kolmikteljega, saame kolmnurksed prismad: III asendi prisma —  $\{h\bar{k}i0\}$  (4), I asendi prisma —  $\{l0\bar{l}0\}$  (5), II asendi prisma —  $\{11\bar{2}0\}$  (6). Tahk, mis asetseb risti kolmikteljega, on üksik — pedion või baas (põhipind) — alumine ja ülemine —  $\{0001\}$ . Klassi nimetus: trigoonpüramiidne. Mineraalriigis esindajaid pole; kunstlikest üks sool:  $\text{Na}_2\text{J}_2\text{O}_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Üksainus neliktelg. Pindades risti teljega grupeeruvad kõik ühesugused punktid ruudu tippudesse. Koordinaatteljestik: pinnas risti nelikteljega 2 teineteisega risti olevat telge, milledest esimene asetseb vaateleja poole suunatuna, teine vasakult paremale. Kolmandaks koordinaatteljeks on püsti ja risti eelmistega asetatud neliktelg. Klassi nimetus: tetragoonpüramiidne.

Üldvorm: nelinurkne, tetragoonne III asendi püramiid —  $\{hkl\}$  (1, joon. 31). Püramiid, mille tahud lõikavad I ja II teljest ühepikkusi lõike, on I asendi püramiid —  $\{hhl\}$  (2); kui püramiidi tahud on ühega horisontaaltelgedest paralleelsed, nimetatakse püramiidi II asendi püramiidiks —  $\{hol\}$  (3). Kui tahud on paralleelsed nelikteljega, saame vastavalt III, I ja II asendi tetragoonsed prismad (4, 5, 6). Kui tahk on risti nelikteljega, saame ülemise või alumise baasi (pedioni).

Sellesse klassi kuulub mineraalidest vulfeniit (kollane sea-tinamaak).

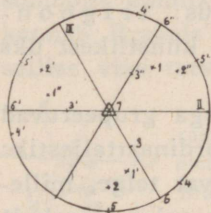
Kui on tegemist nelik-pöördpeegelteljega, siis väheneb sunduslikkude punktide arv selle teljega risti asetatud tasapinnas kahele. Need punktid määravad telge lähiva ja temaga risti asetseva sirge, mis peale peegeldust ja  $90^\circ$  pööret võtab endisega risti asendi. Nii jääb koordinaatteljestik samaks nagu eelmisel juhul.

Üldvorm  $\{hkl\}$  (1, joon. 32) omab nimetust tetragoonbisfenoid (kaksikkiil), ta koosneb neljast tahust:  $(hkl)$ ,  $(\bar{k}\bar{h}l)$ ,  $(h\bar{k}l)$  ja  $(k\bar{h}l)$  ning on III asendis. Eelmise klassi I ja II asendi püramiidid asenduvad ka vastavate bisfenoididega (2, 3), kuid pris-

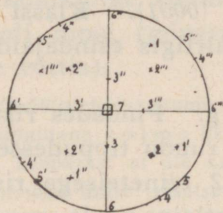
mad (4, 5, 6) jäävad samasugusteks nagu eelmisel klassil. Esi-  
neb ka baas (pinakoid) (7). Klassi nimetus: tetragoon-  
bisfenoidne.

Selle klassi mineraale ei tunta.

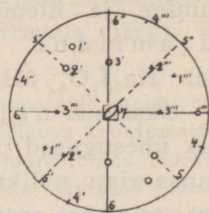
Üksainus kuuiktelg. Samadel põhjustel nagu tri-  
goon-püramiidse klassi puhul, on selle klassi (mis kannab hek-  
sagoon-püramiidse klassi nimetust) vormide aluseks 4  
koordinaattelge, kus püstteljena (IV telg) esineb kuuiktelg.  
Tarvitusel Bravais' sümbolid.



Joon. 30.



Joon. 31.



Joon. 32.

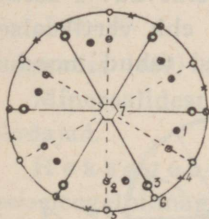
Üldvorm: III asendi heksagoonsed püramiidid —  $\{hkil\}$  (1, joon. 33), mis koosnevad kuuest tahust. Erikujud: I asendi heksagoonsed püramiidid —  $\{h0\bar{h}i\}$  (2) ja II asendi heksagoonsed püramiidid —  $\{h.h.2\bar{h}.l\}$  (3); edasi samanimelised prismad —  $\{hk\bar{i}0\}$  (4),  $\{l0\bar{l}0\}$  (5) ja  $\{l1\bar{l}0\}$  (6); lõpuks ühe tahuna baas —  $\{0001\}$ .

Mineraalidest kuulub siia nefeliin.

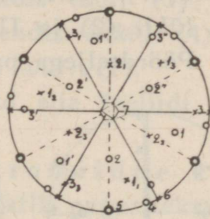
\*Oleme loendanud kõik üheainsa pöördteljega sümmeetria-  
klassid. Nende üldine omadus on polaaarsus, s. t. neisse klas-  
sidesse kuuluvad vormid erinevad indeksites samas kristallis  
sümmeetriatelje otste järgi. Samuti puudub neis klassides süm-  
meetriakeskpunkt. Kõnesolevates klassides ühel ning samal poo-  
lusel on võimalikud numbriliselt võrdsete sümbolitega tahud, mis  
omavahel erinevad nagu vasak ja parem käsi. Vasak- ja parem-  
poolsed kristallid ei kattu mingil pööramisel üksteisega. Kattu-  
mine on võimalik ainult peegeldumise teel. Nõnda parempoolse  
kristalli peegelkuju kattub samade indeksitega vasempoolse kris-  
talliga ja vastupidi. Vasem- ja parempoolsete kristallikujude  
esinemist nimetatakse enantiomorfismiks. Selle üheks  
eelduseks on sümmeetriakeskpunkti puudumine. Ka mitme süm-  
meetriateljega kristallide seas, nagu allpool näha, on enantio-  
morfseid klasse.\*

**Üksainus kolmiktelg ja sümmeetriakeskpunkt.** Kui kuuiktelg on ainult pöördpeegeltelg (kolmiktelg + sümmeetriakeskpunkt), siis saame romboeedrilise klassi. Teljestikuks on Bravais' oma, kuigi mõningail juhtudel siin võetakse tarvitusele 3 telge, mis lõikavad pöördpeegeltelge võrdsete kaldnurkade all.

Üldvorm on III asendi romboeeder —  $\{hk\bar{l}\}$  (joonisel 34: 1, 1', 1'' ülemistel ja 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub> alumistel punktidel), mis omab nurgeti väljavenitatatud või kokkulitsutud kuubi kuju, piiratud 6 ühesuuruse rombiga (väliselt nagu joon. 35). Erivormideks on I asendi romboeedrid —  $\{h0h\bar{l}\}$  (2) ja II asendi romboeedrid —



Joon. 33.



Joon. 34.



Joon. 35.

$\{h \cdot h \cdot 2h \cdot l\}$  (3) ja  $\{2h \cdot \bar{h} \cdot \bar{h} \cdot l\}$ . Kui tahud on paralleelsed pöördpeegelteljega, saame III asendi heksagoonsed prismad —  $\{hk\bar{l}0\}$  ja  $\{k\bar{h}i0\}$ , I asendi heksagoonse prisma —  $\{10\bar{l}0\}$  ja II asendi heksagoonse prisma —  $\{11\bar{2}0\}$ . Risti pöördpeegelteljega asetsevad 2 tahku, sümboliga  $\{0001\}$ , annavad baasi.

Mineraalidest kuuluvad siia klassi muuseas dolomiit, dioptaas ja ilmeniit.

**Üksainus peegelpind.** Sümmeetriapind (peegelpind) annab iseseisva sümmeetriaklassina doomalise klassi. Üldasendis võimalik tahk nõuab endale paaristahku, mis kujutab tema peegelpilti; tahud võivad lõikuda ainult peegelpinnas olevas sirges. Säärane tahkudepaar kannab nimetust dooma (katus). Igale võimalikule punktile vastab peegelpilt peegelpinnaga risti oleval sirgel. Selle ristioleku pärast ongi tarvis üks koordinaattelg valida risti peegelpinnaga ja peegelpinnas eneses valida juba kaks kaldnurgi lõikuvat sirget ülejäänud telgedeks: I ja III. Nii saame samasuguse teljestiku nagu sfenoidse klassi puhul.

Üldvormiks on IV asendi doomad (ees-, taga-) —  $\{hkl\}$  (1, joon. 36). Erivormid: III asendi —  $\{hk0\}$  (2) ja I asendi doo-

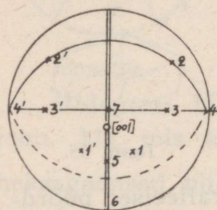
mad —  $\{0kl\}$  (3), II pinakoid —  $\{010\}$  (4); pedionid: II asendis —  $\{h0l\}$  (5), I —  $\{100\}$  (6) ja III —  $\{001\}$  (7).

Sia kuulub mineraalidest klinoedriit (Zn-Ca silikaat).

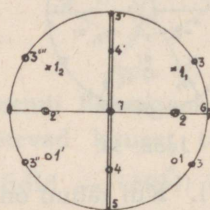
**Peegelpinnad risti teljega.** Lisandame nüüd igale pöördteljele ristioleva peegelpinna. Saame järgmised klassid:

**Monokliin-prismaline klass:** kaksik-sümmeetriatelg ja temaga risti peegelpind. Koordinaatteljestik nagu doomalisel ja sfenoidsel klassil, millede sümmetriaelementide liitumisest ongi tuletatud käesolev klass.

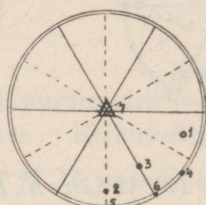
Üldvorm on neljast võrdsest tahust koosnev IV asendi prisma —  $\{hkl\}$  (1, joon. 37). Erivormidena esinevad: I asendi ehk „klino“-prismad —  $\{0kl\}$  (2) ja III asendi ehk vertikaalsed prismad —  $\{hko\}$  (3). Pöördteljega paralleelsed tahud moodus-



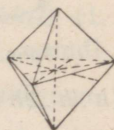
Joon. 36.



Joon. 37.



Joon. 38.



Joon. 39.

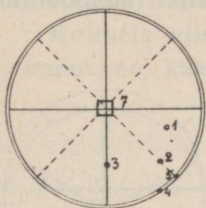
tavad üldjuhul II asendi pinakoidi —  $\{h0l\}$  (4); korruga kahe teljega paralleelsed on I (orto-) pinakoid —  $\{100\}$  (5), II (klino-) pinakoid —  $\{010\}$  (6) ja III (baas-) pinakoid —  $\{001\}$  (7).

Selle klassi esindajaid on mineraalriigis palju, näit. kips, küünekivi, epidoot jm.

**Trigoon-bipüramiidne klass:** kolmiktelg ja temaga risti olev peegelpind. Juba vaatlusel olnud trigoon-püramiidse klassi koordinaatteljestik jääb püsima; tema vormide peegelpinnaga mitte ristiolevate tahkude arv kahekordistub ja üldvormina saame III asendi trigoonse bipüramiidi —  $\{hkl\}$  (joon. 38 p. 1). Erivormidena esinevad: I asendi trigoonse bipüramiid —  $\{h0\bar{h}l\}$  (2) ja II asendi trigoonse bipüramiid —  $\{h.h.2\bar{h}.l\}$  (3) (joon. 39); trigoonsed prismad: III asendi —  $\{hki\bar{0}\}$  (4), I asendi —  $\{10\bar{1}0\}$  (5), II asendi —  $\{11\bar{2}0\}$  (6); baas —  $\{0001\}$  (7).

Selle klassi esindajaist pole kindlasti teada ühtegi mineeraali. — Selle ja järgmiste klasside kohta on projektsioonijoonistel märgitud igast vormist ainult üks tahk.

**Tetragoon-bipüramiidne klass.** Neliktelg ja temaga risti olev peegelpind. Tetragoon-püramiidse klassi teljestik püsib. Selles klassis esinenud vormid kahekordistuvad tahkude arvult (välja arvatud peegelpinnaga risti olevad tahud) ja annavad üldvormina III asendi tetragoonsed bipüramiidid  $\{hkl\}$  (1, joon. 40); erivormid samad bipüramiidid I asendis  $\{hhl\}$  (2) ja II asendis  $\{h0l\}$  (3); tetragoonsed prismad: III asendis  $\{hk0\}$  (4), I asendis  $\{110\}$  (5), II asendis  $\{100\}$  (6); baas  $\{001\}$  (7).



Joon. 40.

Mineraalidest kuuluvad siia šeeeliidi ja skapoliidi gruppide esindajad.

**Heksagoon-bipüramiidne klass.** Kuuikpöördtelg risti peegelpinnaga. Teljestik nagu heksagoon-püramiidisel klassil. Samuti kahekordistub tahkude arv (välja arvatud prismadel) ja üldvormina esineb III asendi heksagoonne bipüramiid —  $\{hk\bar{l}\}$  (positiivne) (1, joon. 41) ja  $\{h\bar{k}il\}$  (negatiivne). Erivormid on heksagoonsed bipüramiidid: I asendi —  $\{h0\bar{h}l\}$  (2) ja II asendi —  $\{h.h.\bar{2}h.l\}$  (3); heksagoonsed prismad: III asendi —  $\{hk\bar{i}0\}$  (4), I asendi —  $\{10\bar{1}0\}$  (5) ja II asendi —  $\{11\bar{2}0\}$  (6); baas  $\{0001\}$  (7).

Bipüramiidide ja prismade horisontaalses lõikes (joon. 42) selguvad nende vastastikused asendid.

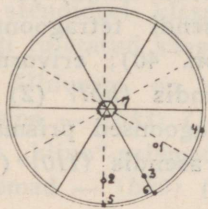
Näitena nimetame mineraalidest apatiiti.

**Pöördteljed peegelpinnas.** Järgmise rühmana võtame pöördteljed, mis lamavad peegelpinnas. Telje kordsusnumbrile vastab peegelpindade arv. Nii oleks meil kaksiktelje puhul 2 teineteisega risti olevat peegelpinda (joon. 43) ning sellest järelduvalt tegemist romb-püramiidse klassiga. Peegelduvad punktid oma peegelpiltidega määravad ära sirged, mis asetsevad risti peegelpindadega; peegelpinnad on üksteise suhtes samuti risti. Nõnda on meil siin koordinaatteljestik kolmest ristiasetsevast teljest; sümmeetriateljega ühtiv asetatakse püsti.

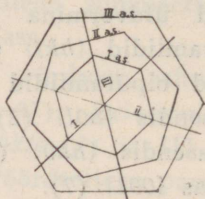
Üldvorm on rombiline püramiid —  $\{hkl\}$  (1). Kui tahk on paralleelne pöördteljega, saame III asendi rombiline prisma —

$\{hko\}$  (2), tahu paralleelsuse puhul I või II teljega — I või II asendi doomad —  $\{okl\}$  (3) ja  $\{hol\}$  (4), paralleelsuse puhul II ja III teljega — I (makro) pinakoidi —  $\{100\}$  (5) ja paralleelsuse puhul I ja II teljega — II (brahhi) pinakoidi  $\{010\}$  (6); kui tahk on risti pöördteljega, saame ülemise ja alumise pedioni —  $\{001\}$  (7).

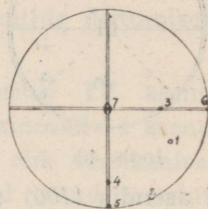
Mineraalidest olgu mainitud näitena struviit (ammoonium-magneesiumfosfaat veega).



Joon. 41.



Joon. 42.



Joon. 43.

Kolmiktelg kolme peegelpinnaga annab ditrioon-püramiidse klassi. Teljestik nagu kõigil kolmikteljega klasidel. Üldvorm: ditrigoonsed püramiidid —  $\{hk\bar{l}\}$  (1, joon. 44). Erivormid: I asendi trigoonsed püramiidid —  $\{h\bar{o}hl\}$  (2), II asendi heksagoonsed püramiidid —  $\{h.h.\bar{2}h.l\}$  (3); ditrigoonsed prismad —  $\{hk\bar{l}0\}$  (4), positiivsed ja negatiivsed; I asendi trigoonsed prismad —  $\{10\bar{l}0\}$  (5), positiivsed ja negatiivsed; II asendi heksagoonne prisma —  $\{11\bar{2}0\}$  (6) ja baas kahe pedioni näol —  $\{0001\}$  (7).

Mineraalidest olgu esitatud näitena turmaliin.

Neliktelg 4 teljes lõikuva peegelpinnaga annab ditetragoon-püramiidse klassi. Üldvorm: ditetrigoonsed püramiidid —  $\{hkl\}$  (1, joon. 45). Esinevad veel: I asendi tetragoonsed püramiidid —  $\{hhl\}$  (2), II asendi tetragoonsed püramiidid —  $\{hol\}$  (3), III asendi tetragoonsed prismad —  $\{hko\}$  (4), I ja II asendi tetragoonsed prismad —  $\{110\}$  (5) ja  $\{100\}$  (6); baas (pedion) —  $\{001\}$  (7).

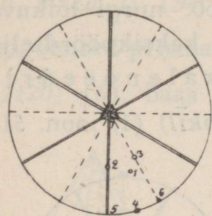
Sellise sümmeetriaga mineraali ei tunta.

Kuuiksümmeetriatelg 6 temas lõikuva peegelpinnaga annab diheksagoon-püramiidse klassi. Horisontaalne üldvormi läbilõige: diheksagoon — kaksteistnurk, mille nurgad on võrdsed üle ühe. Annab vorme: diheksagoonseid püramiide —

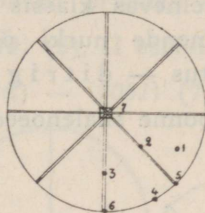
$\{hk\bar{l}\}$  (1, joon. 46), heksagoonseid püramiide: I asendi —  $\{h0h\bar{l}\}$  (2) ja II asendi —  $\{h.h.2h\bar{l}\}$  (3); heksagoonseid prismsid: III asendi —  $\{hk\bar{l}0\}$  (4), I asendi —  $\{10\bar{l}0\}$  (5), II asendi —  $\{1\bar{l}20\}$  (6) ja baasi (pedioni) —  $\{0001\}$  (7).

Näide: mineraal vurtsiit (ZnS).

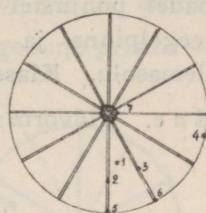
Kolmele viimasele klassile on antud nimetused: kaks korda kolmnurkne, kaks korda nelinurkne, kaks korda kuusnurkne, s. t.



Joon. 44.



Joon. 45.



Joon. 46.

et neisse klassidesse kuuluvail mineraalidel on üldvorm kuue-, kaheksa- ja kaheteistkümnepindiline. Esimene neist võib esineda ka reeglijärse kuusnurgana, sest kuusnurgas on võimalikud ühepikkused vahed aatomite vahel paralleeljoonte suunas (joon. 47). Minnes aatomist  $C$   $AB$ -ga paralleelses suunas peame punktis  $D$ , kus  $CD = AB$ , leidma



Joon. 47.

jällegi aatomi, mis peab järgmisest aatomist  $E$  olema niisama kaugel. Reeglijärses kuusnurgas on see nõue täidetud ja nõnda on selline kuusnurk kristallides võimalik.

Reeglijärsed kaheksanurk ja kaksteistnurk ei või esineda kristallides, sest näit. kaheksanurga puhul (joon. 48)  $AB$ -ga paralleelse diagonaali  $CD$  pikkus on  $(1 + \sqrt{2}) \cdot AB$ , nii et vahe  $C$  ja  $D$  vahel ei jagune  $AB$ -ga võrdseiks osadeks. Sama nähtus esineb ka reeglijärse kaksteistnurga puhul, kus diagonaali pikkus on  $\frac{1}{2}(1 + \sqrt{3})$ , s. t. samuti irratsionaalne.

**Pöördpeegeltelg** temas lõikuvate peegelpindadega. Nelikpöördpeegeltelg on ühtlasi ka lihtne kaksikpöördtelg. Seepärast teda sisaldav peegelpind nõuab ka teise, esimesega risti oleva peegelpinna olemasolu. Pöördpeegelteljega ühenduses olev, teljega risti asetsev horisontaalne abipeegelpind tekitab kaks kaksikpöördtelge, mis jagavad pooleks nurgad püstpeeglite vahel. Selline sümmeetriaelementide kombinatsioon on tetragoon-

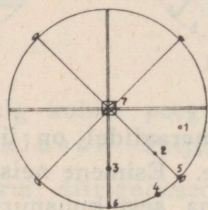
skalenoedrilisel klassil. Üldine vorm on tetragoonne skalenoeder —  $\{hkl\}$  (1, joon. 49; joon. 50). Teised vormid: tetragoonne bisfenoid —  $\{hhl\}$  (2), II asendi tetragoonne bipüramiid —  $\{h0l\}$  (3), ditetragoonsed prismad —  $\{hko\}$  (4); tetragoonsed prismad: I asendi —  $\{110\}$  (5) ja II asendi —  $\{100\}$  (6); baas (pinakoid)  $\{001\}$  (7).

Näide: kalkopüriit.

Kuuik-pöördpeegeltelg, mis asetseb peegelpinnas, nõuab samadel põhjustel nagu eelnevas klassis kolme  $60^\circ$  nurgi lõikuva peegelpinna ja kolme nende nurki poolitava kaksikpöördtelje olemasolu. Klassi nimetus — ditrigoon-skalenoedri-  
line. Üldvorm: ditrigoonne skalenoeder —  $\{hk\bar{l}\}$  (1, joon. 51;



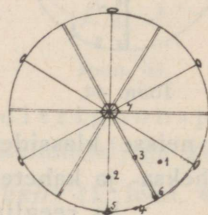
Joon. 48.



Joon. 49.



Joon. 50.



Joon. 51.

joon. 52 — positiivne) ja  $\{khl\}$  (negatiivne). Erivormid: romboeder (joon. 35) —  $\{h0\bar{h}l\}$  (2, positiivne) ja  $\{0h\bar{h}l\}$  (negatiivne), II asendi heksagoonne bipüramiid —  $\{h.h.2\bar{h}.l\}$  (3), diheksagoonne prisma —  $\{hki\bar{0}\}$  (4), I asendi heksagoonne prisma —  $\{10\bar{1}0\}$  (5), II asendi heksagoonne prisma —  $\{11\bar{2}0\}$  (6), baas (pinakoid) —  $\{0001\}$  (7).

Näited: kaltsiit, korund ja hematiiit.

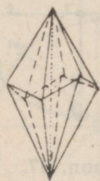
Pöördteljed ja nendega risti olevad ning paralleelsed peegelpinnad. Eelvaadeldud kahes viimases rühmas lisame igale klassile juurde veel ühe sümmeetriateljega risti oleva peegelpinna. Iga peegelpinna ristumisel ilmneb ka kaksikpöördtelg, nii et uutes sümmeetriaklassides — püramiidsete asemel bipüramiidseis — leiame niisama palju peateljega risti olevaid kaksiktelgi, kui palju on peateljes ristuvaid peegelpindu.

Romb-bipüramiidne klass. Üldvorm on rombiline bipüramiid —  $\{hkl\}$  (1, joon. 53). Teiste vormidena esinevad rombilised prismad: I asendi —  $\{okl\}$  (2), II asendi —  $\{hol\}$  (3),

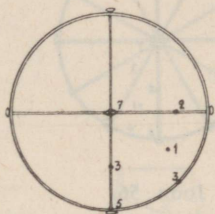
III asendi —  $\{hk0\}$  (4); pinakoidid: I —  $\{100\}$  (5), II —  $\{010\}$  (6) ja III —  $\{001\}$  (7).

Näiteid mineraalriigist: aragoniit, topaas.

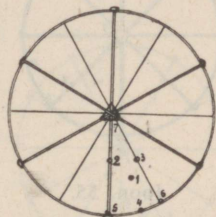
Ditrigoon-bipüramiidne klass. Võimalikud vormid, alates üldvormist: ditrigoonsed bipüramiidid —  $\{hk\bar{1}\}$  (1, joon. 54), positiivsed ja negatiivsed, I asendi trigoonsed bipüramiidid —  $\{h0\bar{h}\}$  (2) ja II asendi heksagoonsed bipüramiidid —  $\{h.h.2\bar{h}.1\}$  (3), ditrigoonsed prismad —  $\{hk\bar{1}0\}$  (4), I asendi trigoonsed prismad —  $\{10\bar{1}0\}$  (5), II asendi heksagoonne prisma —  $\{11\bar{2}0\}$  (6), baas (pinakoid) —  $\{0001\}$  (7).



Joon. 52.



Joon. 53.



Joon. 54.

Mineraalidest kuulub siia klassi benitoiit (Ba-Ti-silikaat).

Ditetragoon-bipüramiidne klass. Lisandub veel 4 kaksiktelge püst- ja ristpeegelpindade lõikumiskohtadel. Võimalikud vormid: ditetragoonne bipüramiid —  $\{hkl\}$  (1, joon. 55); tetragoonsed bipüramiidid: I asendi —  $\{hhl\}$  (2) ja II asendi —  $\{h0l\}$  (3); ditetragoonne prisma —  $\{hk0\}$  (4); tetragoonsed prismad: I asendi —  $\{110\}$  (5) ja II asendi —  $\{100\}$  (6); baas (pinakoid) —  $\{001\}$  (7).

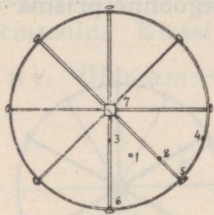
Näited: rutiil, kassiteriit.

Diheksagoon-bipüramiidne klass. Võimalikud vormid: diheksagoonsed bipüramiidid —  $\{hk\bar{1}\}$  (1, joon. 56); heksagoonsed bipüramiidid: I asendi —  $\{h0\bar{h}\}$  (2) ja II asendi —  $\{h.h.2\bar{h}.1\}$  (3); diheksagoonsed prismad —  $\{hk\bar{1}0\}$  (4); heksagoonsed prismad: I asendi —  $\{10\bar{1}0\}$  (5) ja II asendi —  $\{11\bar{2}0\}$  (6); baas (pinakoid) —  $\{0001\}$  (7).

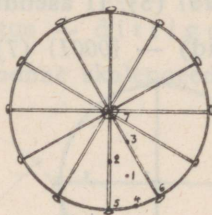
Näited: berüll ja grafiit.

Kahesuguste telgede kombinatsioonid ilma peegelpindadeta. Ilma sümmeetriapindadeta võimalikke sümmeetriatelgi võib samuti kombineerida.

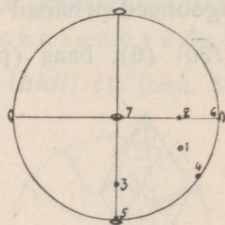
Kaksik- ja nelikteljed võivad paaristelgedega lõikuda ainult täisnurgi. Võttes ühe kaksikteljega risti teise kaksiktelje leiame varem-tõestatud teoreemi järgi, et risti nende kahega asetseb veel kolmas kaksiktelg. Saame romb-bisfenoidse klassi, mille üldkuju on rombiline bisfenoid —  $\{hkl\}$  (1, joon. 57; joon. 58), mis esineb vasakul ja paremal enantiomorfsetel kujul. Peale selle esinevad prismad: I asendi —  $\{okl\}$  (2), II asendi —  $\{h0l\}$  (3) ja III asendi —  $\{hko\}$  (4); pinakoidid: I —  $\{100\}$  (5), II —  $\{010\}$  (6) ja III —  $\{001\}$  (7).



Joon. 55.



Joon. 56.



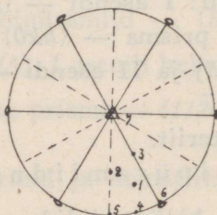
Joon. 57.

Näited: mõned vitriolid, mõrusool.

Kui kolmikteljele juurde lisada risti üks kaksiktelg, siis nõuab sümmeetria, et niisuguseid telgi oleks 3, mis lõikuvad üksteisega  $60^\circ$  nurgi. Klassi nimetus on trigoon-trapetsoeedriline, sest üldvorm  $\{hkil\}$  (1, joon. 59; joon. 60) kannab



Joon. 58.



Joon. 59.



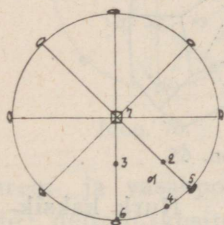
Joon. 60.

trigoonse trapetsoeedri nime (tema nelinurksed tahud tuletavad meelde trapetsit). Nad on positiivsed ja negatiivsed, parem- ja vasakpoolsed — enantiomorfsetel. Kui tahk on paralleelne mõnega horisontaalseist koordinaattelgedest, sünnivad romboeedrid —  $\{h0\bar{h}l\}$  (2, positiivne) ja  $\{0h\bar{h}l\}$  (negatiivne). Kui horisontaalsed koordinaatteljed lõikuvad ühepikkuselt, saame II asendi trigoon- sed bipüramiidid:  $\{h \cdot h \cdot \bar{2}h \cdot l\}$  (p. 3, parempoolne) ja  $\{2h \cdot \bar{h} \cdot \bar{h} \cdot l\}$

(vasakpoolne). Ditrigoonsed prismad, sümbooliga  $\{hk\bar{1}0\}$  (4), on samuti parem- ja vasakpoolsed. Esinevad ka I asendi heksagoonne prisma —  $\{10\bar{1}0\}$  (5), II asendi trigoonsed prismad —  $\{11\bar{2}0\}$  (6, parempoolne) ja  $\{21\bar{1}0\}$  (vasakpoolne), baas (pinakoid) —  $\{0001\}$  (7).

Näited: räni ja kinaver.

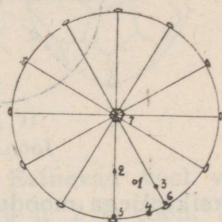
Neliktelg nõuab nelja temaga risti olevat ja omavahel  $45^\circ$  nurgi lõikuvat kaksiktelge. Klassi nimetatakse tetragoon-trapetsoeedriliseks (samuti trapetsit meenutavad nelinurksed tahud). Üldvorm: tetragoonne trapetsoeeder —  $\{hkl\}$  (1, joon. 61; joon. 62 — vasakpoolne) ja  $\{khl\}$  (parempoolne).



Joon. 61.



Joon. 62.



Joon. 63.

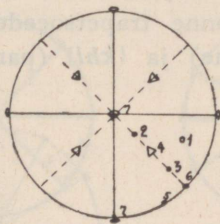
Esinevad veel: I asendi tetragoonsed bipüramiidid —  $\{hhl\}$  (2); II asendi tetragoonsed bipüramiidid —  $\{h0l\}$  (3), ditetragoonsed prismad —  $\{hk0\}$  (4); I asendi tetragoonne prisma —  $\{110\}$  (5); II asendi tetragoonne prisma —  $\{100\}$  (6) ja baas (pinakoid) —  $\{001\}$  (7).

Mineraalidest olgu mainitud näitena melliit (orgaaniline Al-ühend).

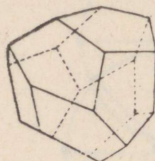
Kuuekordne telg nõuab kuut  $30^\circ$  nurgi lõikuvat kaksiktelge. Me saame heksagoon-trapetsoeedrilise klassi, nimetatud nõnda üldvormi heksagoonse trapetsoeedri järgi, mille sümbool  $\{hk\bar{1}l\}$  (1, joon. 63). Esinevad parem- ja vasakpoolsed enantiomorfseid vormid. Peale selle esinevad veel heksagoonse bipüramiidid: I asendi —  $\{h0\bar{h}l\}$  (2) ja II asendi —  $\{h.h.2\bar{h}.l\}$  (3); diheksagoonne prisma —  $\{hk\bar{1}0\}$  (4); heksagoonse prismad: I asendi —  $\{10\bar{1}0\}$  (5) ja II asendi —  $\{11\bar{2}0\}$  (6); baas (pinakoid) —  $\{0001\}$  (7).

Mineraalidest mainitagu näitena kõrge temperatuuri  $\alpha$ -räni.

**Kolmiktelgede lisandamine eelmistele kombinatsioonidele.** Kolmiktelg ainsa teljena, kombineeritud temaga risti olevate kaksiktelgedega, annab meile juba tuntud klassid. Kui kolmiktelg ei asetse risti kaksikteljega, siis eeldab see kohe teise kolmiktelje olemasolu. Kui need (sunduslikud!) 2 kolmiktelge pole asetatud nõnda, et nendega lõikuv kaksiktelg ei anna kolmiktelje nõudel kaht uut asendit, mis asetsevad omavahel ja antud kaksikteljega risti, siis on selline kombinatsioon võimatu. Sellest järeldeb, et kolmiktelg võib olla ainult kolme üheväärsse ristioleva

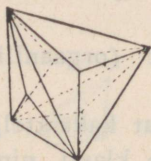


Joon. 64.

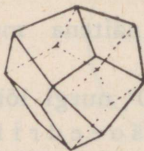


Joon. 65.

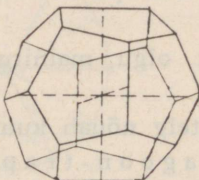
kaksikteljega moodustatud ruumnurga teljeks. Nurk kaksik- ja kolmiktelje vahel on sel puhul  $54^{\circ} 44' 08''$ . Niisugune telgede kombinatsioon koosneks siis kolmest ristiolevast kaksikteljest ja neljast kolmikteljest, mis suunduvad ühesugusel kaugusel kaksiktelgedest. See sümmeetriaklass kannab tetraeedrilis-pentagoondodekaeedrilise klassi nimetust. Üldvorm:



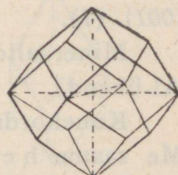
Joon. 66.



Joon. 67.



Joon. 68.

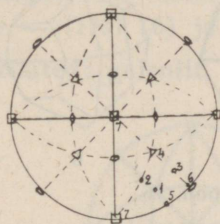


Joon. 69.

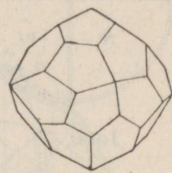
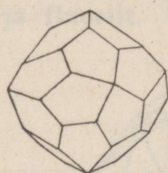
tetraeedrilised pentagoondodekaeedrid —  $\{hkl\}$  (1, joon. 64; joon. 65), positiivsed ja negatiivsed, parem- ja vasakpoolsed — enantiomorsed. Erivormid: triakistetraeeder —  $\{hll\}$  (joon. 64 p. 2 ja joon. 66), deltoiddodekaeeder —  $\{kkl\}$  (joon. 64 p. 3 ja joon. 67), tetraeeder —  $\{111\}$  (4), pentagoondodekaeeder —  $\{hk0\}$  (5) (joon. 64 p. 5 ja joon. 68), rombdodekaeeder —  $\{110\}$  (joon. 64 p. 6 ja joon. 69) ja kuup —  $\{100\}$  (7).

Näide: ullmanniit (nikli ja antimoni sulfiid).

Kolmiktelgede kombinatsioon teissuguses asendis või teissugusel arvul on võimatu. On võimalik sama telgede kombinatsioon nagu eelmine, kus kaksikteljed on asendatud neliktelgedega. Selle tulemusena ilmneb aga veel 6 kaksiktelge, mis asetsevad neliktelgede tasapindades, poolitades nurgad nende vahel. See on pentagoon-ikositetraedriline klass, sest üldvorm on pentagoon-ikositetraeeder —  $\{hkl\}$  (1, joon. 70; joon. 71),



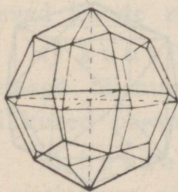
Joon. 70.



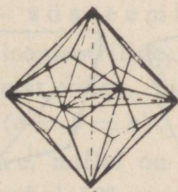
Joon. 71.

parem- ja vasakpoolne — enantiomorfed. Esinevad veel vormid: deltoid-ikositetraeeder —  $\{hll\}$  (joon. 70 p. 2 ja joon. 72), triakisoktaeeder —  $\{hhl\}$  (joon. 70 p. 3 ja joon. 73), oktaeeder —  $\{111\}$  (joon. 70 p. 4 ja joon. 74), pentagoondodekaeeder —  $\{hk0\}$  (5), romb-dodekaeeder —  $\{110\}$  (6) ja kuup —  $\{100\}$  (7).

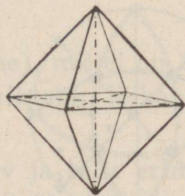
Näide: salmiaak.



Joon. 72.



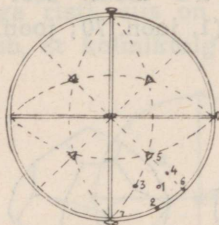
Joon. 73.



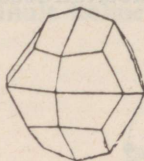
Joon. 74.

Teisi kombinatsioone ainult pöördtelgedest ei saa esineda. Lisame nüüd juurde kaht kaksiktelge sisaldava peegelpinna tetraedrilis-pentagoondodekaedriline klassis. Selliseid peegelpindu ilmneb otsekohe 3 ning ühtlasi muutuvad kolmikteljed kuukipöördpeegeltelgedeks — saame düakisdodekaedriline klassi, mis omab nõnda ka sümmeetriakeskpunkti. Üldvorm on düakisdodekaeeder —  $\{hkl\}$  (1, joon. 75; joon. 76-a — positiivne)

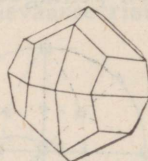
ja  $\{khl\}$  (joon. 76-b — negatiivne). Esinevad veel positiivne ja negatiivne pentagoondodekaeder —  $\{hk0\}$  (2), mille tahud pole aga reeglipärased viisnurgad, sest siis peaks  $h:k$  olema irratsionaalne; deltoidikositetraeder —  $\{hll\}$  (3), triakisoktaeder —  $\{kk1\}$  (4), oktaeder —  $\{111\}$  (5), rombdodekaeder —  $\{110\}$  ja kuup —  $\{100\}$  (7).



Joon. 75.



a

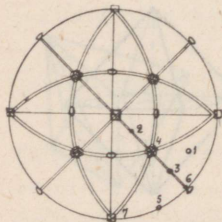


b

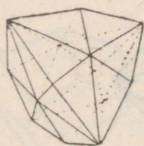
Joon. 76.

Näited: püriit ja maarjas.

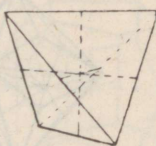
Peegelpindu võib tetraedriline - pentagoondodekaedriline klassi telgede kombinatsioonile lisandada ka nõnda, et nad poolitavad nurgad kaksiktelgedega määratud tasapindade vahel ja sellega ühes läbivad kolmiktelgi. Selliseid peegelpindu on 6. Klassi nimetatakse heksakistetraedrilineks, sest üldvorm on heksakistetraeder —  $\{hkl\}$  (positiivne) (negatiivset vt. 1, joon. 77; joon. 78). Teised vormid: triakisoktaeder —  $\{hll\}$  (2), posi-



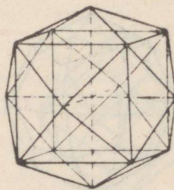
Joon. 77.



Joon. 78.



Joon. 79.



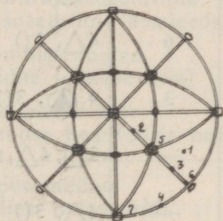
Joon. 80.

tiivne ja negatiivne, deltoiddodekaeder —  $\{kk1\}$  (3), positiivne ja negatiivne, tetraeder —  $\{111\}$ , positiivne ja negatiivne (4, joon. 70; joon. 79), tetrakisheksaedron (püramiidne kuup) —  $\{hk0\}$  (5, joon. 77; joon. 80), rombdodekaeder —  $\{110\}$ , kuup —  $\{100\}$  (7).

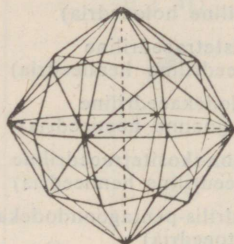
Näited: sfaleriit ja boratsiit.

Lisandades selle klassi sümmeetriaelementidele veel peegelpinnad, mis ühtivad kaksiktelgedega, saame heksakisoktaeedrilise klassi, milles kaksikteljed on lisandatud peegelpindade tagajärjel muutunud neliktelgedeks ja kolmikteljed kuuk-pöördpeegeltelgedeks. Üldvorm on heksakisoktaeder —  $\{hkl\}$  (1, joon. 81; joon. 82). Esinevad ka: deltoidikositetraeder (või lihtsalt ikositetraeder või leutsitoeeder) —  $\{hll\}$  (2), kus  $h > l$ , triakisoktaeder —  $\{hhl\}$  (3), kus samuti  $h > l$ , tetrakisheksaeder —  $\{hk0\}$  (4), oktaeder —  $\{111\}$  (5), rombdodekaeder —  $\{110\}$  (6) ja kuup —  $\{100\}$  (7).

Näited: galeniit, kivisool ja fluoriit.



Joon. 81.



Joon. 82.

**Kristallograafilised süsteemid.** Teisi sümmeetriaelementide kombinatsioon mineraales ei esine. Nagu nägime, nõuavad sümmeetriaklassid ka erinevaid koordinaatteljestikke. Viimaseid on 6 tüüpi, mispärast kõik eelvaadeldud 32 sümmeetriaklassi jagunevad kuude rühma — süsteemi:

1) **kuubiline** (isomeetiline, tesseraalne), millel on 3 üksteisega täisnurgi lõikuvat telge, millel ühiktahk lõikab ühepikkused parameetrid ( $a = b = c$ );

2) **heksagoonne**, millel on üks erinev ja selle erinevaga 3 ristiolevat ning omavahel  $60^\circ$  nurgi lõikuvat üheväärset telge;

3) **tetragoonne**, millel ühe erineva teljega on kaks ristiolevat ning omavahel  $90^\circ$  nurgi lõikuvat üheväärset telge, millel ühiktahk lõikab ühepikkused parameetrid;




















4) **rombiline**, millel on 3 üksteisest ühiktahu parameetrite pikkuselt erinevat, kuid üksteisega täisnurgi lõikuvat telge;

5) **monokliinne**, millel on 3 pikkuselt erinevat telge, milledest 2 on täisnurgi, kolmas aga moodustab nendega kaldnurga;

6) trikliinne, millel kõik 3 pikkuselt erinevat telge lõikuvad üksteisega kaldnurgi.

Klasside jaotus süsteemide järgi ühes nende sümmeetriaelementide loendiga on antud tabelis nr. 2, kus klassid on toodud sümmeetriaelementide vähenemise järjekorras.

Tabel 2. Kristallograafilised klassid.

Süsteem	Klass	Peegelepinna	Teljed	Sümmeetriapunkt + on puudub
Kuubiline	Heksakisoktaeedriline (kuubiline holoeedria)	3+6	4  , 3  , 6()	+
	Heksakistetraeedriline (tetraeedriline hemieedria)	6	4  , 3()	-
	Düakisdodekaeedriline (pentagoonne hemieedria)	3	4  , 3()	+
	Pentagoon-ikositetraeedriline (plageeedriline hemieedria)	-	3  , 4  , 6()	-
	Tetraeedrilis-pentagoondodekaeedriline (tetartoedria)	-	4  , 3()	-
Heksagoonne	Diheksagoon-bipüramiidne (heksagoonne holoeedria)	1+3+3	1  , 6()	+
	Diheksagoon-püramiidne (heksagoonse holoeedria hemimorfism)	3+3	1 	-
	Ditrigoon-bipüramiidne (trigoonne hemieedria)	1+3	1  , 3()	-
	Ditrigoon-skalenoedriline (romboeedriline hemieedria)	3	1  , 3()	+
	Ditrigoon-püramiidne (trigoonse hemieedria hemimorfism)	3	1 	-
	Heksagoon-bipüramiidne (püramiidne hemieedria)	1	1 	+
	Trigoon-bipüramiidne (trigoonne tetartoedria)	1	1 	-
	Heksagoon-trapetsoeedriline (trapetsoeedriline hemieedria)	-	1  , 6()	-
	Trigoon-trapetsoeedriline (trapetsoeedriline tetartoedria)	-	1  , 3()	-
	Heksagoon-püramiidne (püramiidse hemieedria hemimorfism)	-	1 	-
	Romboeedriline (romboeedriline tetartoedria)	-	1 	+
Trigoon-püramiidne (trigoonse tetartoedria hemimorfism)	-	1 	-	

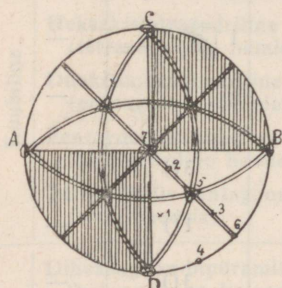
Süsteem	Klass	Peege- pinnad	Teljed	Sümm- keskpunkt + on puudub
Tetraoonne	Ditragoon-bipüramiidne (tetragoonne holoeedria)	1+2+2	1□, 4()	+
	Ditragoon-püramiidne (holoeedria hemimorfism)	2+2	1□	—
	Tetraoon-skalenoedriline (sfenoidne hemieedria)	2	1◻, 2()	—
	Tetraoon-bipüramiidne (püramiidne hemieedria)	1	1□	+
	Tetraoon-trapetsoedriline (trapetsoedriline hemieedria)	—	1□, 4()	—
	Tetraoon-bisfenoidne (sfenoidne tetartoeedria)	—	1◻	—
	Tetraoon-püramiidne (püramiidse hemieedria hemimorfism)	—	1□	—
Rombiline	Romb-bipüramiidne (rombiline holoeedria)	3	3()	+
	Romb-püramiidne (rombiline hemimorfism)	2	1()	—
	Romb-bisfenoidne (rombiline hemieedria)	—	3()	—
Monokliinne	Monokliin-prismaline (monokliinne holoeedria)	1	1()	+
	Monokliin-doomaline (monokliinne hemieedria)	1	—	—
	Monokliin-sfenoidne (monokliinne hemimorfism)	—	1()	—
Trikliinne	Trikliin-pinakoidne (trikliinne holoeedria)	—	—	+
	Trikliin-pedioniline (trikliinne hemieedria)	—	—	—

**Meroeedria.** Igasse kristallisüsteemi kuuluvate kristalliklas-  
side lihtvorme võib tuletada ka väljudes vormidest, mis on oma-  
sed vastava kristallisüsteemi kõige sümmeetrilisemale — holo-  
eedrilisele (täistahulisele) klassile. Niiugust klasside tu-  
letust, vastupidi ülaltoodud viisile, leiame paljudes kristallograa-  
fia raamatuis. Selle tuletusviisiga on seotud ka eriline klasside  
nomenklatuur, mida on kasulik tunda, eriti vanema erikirjanduse  
käsitlemisel (vt. tabelis nr. 2 sulgudes).

Lähteklassiks kuubilises süsteemis on heksakisoktaedriline klass (kuubiline holoeedria), mille üldvormil on 48 tahku — suurim tahkude arv kristalli lihtvormil.

Et saada tabelis nr. 2 järgmisena toodud heksakistetraeedrilist klassi, jätame välja peegelpinna, mis on määratud 2 koordinaatteljega. Sümmeetriaelementide vastastikuse sõltuvuse teoreemide põhjal kaovad koos sellega ka 2 teist koordinaattelgi ühendavat peegelpinda ja 6 kaksikelge; nelikteljed muutuvad kaksikelgedeks ja kuuik-pöördpeegelteljed kolmiktelgedeks. Saame heksakistetraeedrilise klassi.

Kõik viimased muutused on alumnimetatud peegelpinna väljajätmise tulemused. Seepärast on küllaldane jälgida stereograafilisel projektsioonil (joon. 83) muutusi, mis tekivad sellest, et



Joon. 83.

diameetrid  $AB$  ja  $CD$  pole enam, nagu joonisel 81, peegelpindade projektsioonid. Kõik tahud (1—7 eeltähendatud joonistel) esimesest oktandist ei oma enam analooge joonitatud oktantides; kaotatud peegelpindadega mitte risti asetsenud tahkude arv väheneb poole võrra ja nõnda saame juba eespool (vt. lk. 60 jj.) loendatud lihtvormid, eesotsas üldvormiga — heksakistetraeedriga. Oktaedri asemel saame tetraedri. Klassi

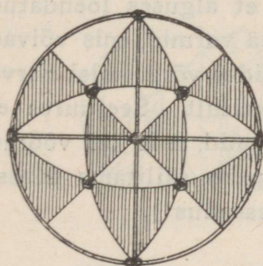
nimetatakse seetõttu ka hemieedriliseks (pooltahuliseks) ja öeldakse sel juhul tegemist olevat tetraeedrilise (ehk kaldtahulise) hemieedriaga.

Kaotades holoeedrilise klassi ühe peegelpinna, mis ühendab koordinaattelge kolmikteljega, kaotame koos sellega ka kõik teised 5 samalaadilist peegelpinda. Koos nendega kaovad ka 6 kaksikelge, kuna nelikteljed muutuvad kaksikelgedeks, ning me saame düakisdodekaeedrilise klassi. Eelmise juhu eeskujul võrdleme joonist 81 joonisega 84. Peegelpindade kadu jätab joonisel 84 joonitatud pinnad vastavate tahkudeta ja järelejäävaid tahke on jälle pooles arvus, võrreldes holoeedrilise klassiga. Tetrakisheksaedri asemel saame siin pentagoondodekaedri. Ka see klass kannab tuletusviisi kohaselt pentagoonse (ehk rööptahulise) hemieedria nimetust.

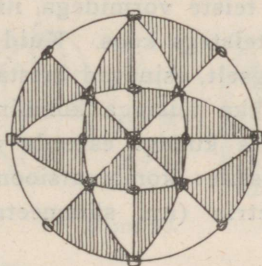
Jättes välja kõik heksakisoktaeedrilise klassi peegelpinnad säilitame ainult sümmeetriateljed, nimelt 3 neliktelge, 4 kolmiktelge ja 6 kaksikelge, — saame pentagoonikositetraeedrilise klassi,

kus pool projektsioonipinda (joonisel 85 joonitatud kolmnurgad) jääb jällegi tühjaks, kusjuures siin joonitatud pinnad, võrreldes eelmise juhuga, asetsevad ebasümmeetriliselt ka koordinaatpindade suhtes. Üldvormi — viisnurkset kakskümmendnelitahukat — nimetatakse ka güroeedriks, mispärast seda klassi nimetatakse güroeedrilis- (ehk plagieedrilis-) hemieedriliseks.

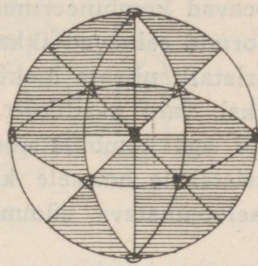
Üle minnes tetraeedrilis-pentagoondodekaeedrilise klassi juurde jätame ära ka 6 kaksiktelge, mis poolitavad nurki eelmise klassi neliktelgede vahel. Sel juhul kahaneb tahkude arv veelgi; tühjaks jäävad kõik joonisel 86 joonitatud pinnad ja antud tahu poolused ilmnevad ainult valgetel pindadel, mis moodustavad



Joon. 84.



Joon. 85.



Joon. 86.

ainult  $\frac{1}{2}$  kogu projektsioonisõõrist. Öeldakse seepärast, et siin on tegemist (kuubilise) tetartoeedriaga (neljandiktahulisusega).

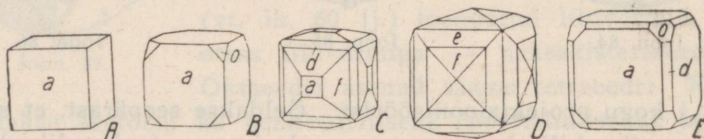
Sama tuletusviisi tarvitatakse ka teiste kristallisüsteemide puhul. Süsteemides, kus on üks eriline telg (heksagoonses ja tetragoonses), räägitakse hemimorfismist (poolekujulisusest), kui kaob peegelpind, mis asetseb risti peateljega, ja hemieedriast, kui kaovad peegelpinnad, mis sisaldavad peatelge. Kui ühinevad mõlemad juhud, on olemas tetartoedria. Ja trigoon-püramiidset klassi tema kolmetahulise üldvormiga — võrreldes heksagoonse süsteemi holoeedrilise diheksagoonbipüramiidse klassiga, mille üldkujul on 24 tahku, — nimetatakse koguni ogoeedriliseks (kaheksandiktahuliseks).

Niisugune täis-, pool-, veerandtahuliste kristalliklasside eraldamine kannab üldnimetust meroeedria. Viimasel ajal eelistatakse käesolevas raamatus eespool toodud klassinimetusi. On aga mitmelt poolt soovitatud ja tarvitusele võetud ka teisi nime-

tusi. Nende esitamine siin ainult suurendaks asjatult võõrsõnade arvu, mistõttu loobume nende esitamisest.

**Kombinatsioonid.** Eespool-vaadeldud kristallograafiliste klas- side kirjelduses on antud iga klassi jaoks lihtvormid, mis teki- vad, kui on antud üks tahk, mis siis kordub kristallis nii mitu korda, kui palju nõuab tema sümmeetriaelementide arv. Eriasi- endites — kui tahk on näit. risti peegelpinnaga või sümmeetria- tel- jega — antud tahk ei nõua uute tahkude olemasolu, mistõttu vorm on väiksema tahkude arvuga kui üldvorm.

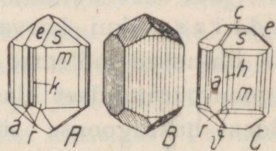
Lahtised vormid — prismad, püramiidid, sfenoidid, doomad, pinakoidid ja pedionid — ei saa üksi piirata ühtegi kristalli; nad peavad kombineeruma teiste vormidega, nii et alguses loendatud vormid esinevad ikka teistega koos. Kuid ka vormid, mis võivad kristalli piirata igakülgselt, esinevad kristallides võrdlemisi harva üksi, vaid harilikult ikka teistega kombineeritult. Seejuures ei või aga kombinatsioonis kunagi esineda vormid, mis on võõrad kristallile omasele klassile: kombinatsioon peab säilitama klassi iseloomustava sümmeetria (nn. sümmeetriaseadus!).



Joon. 87.

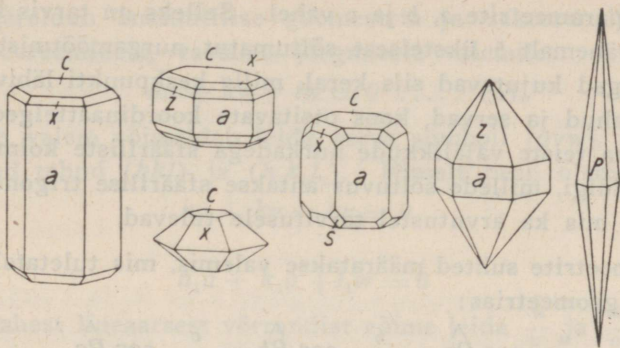
Kombinatsioonide näidetena toome joonisel 87 fluoriidi kristallid, mis kuuluvad kuubilise süsteemi heksakisoktaedrillise klassi. Märgitud tahud on:  $a$  (100),  $d$  (110),  $o$  (111),  $f$  (310),  $e$  (210).

Joonisel 88 on kassiteriit (ing- listinaoksüüd), mis kuulub ditetragoon- bipüramiidse klassi. Tahud:  $a$  (100),  $c$  (001),  $e$  (101),  $m$  (110),  $s$  (111),  $h$  (210),  $r$  (320),  $\vartheta$  (552).

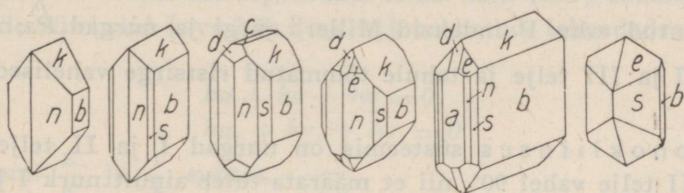


Joon. 88.

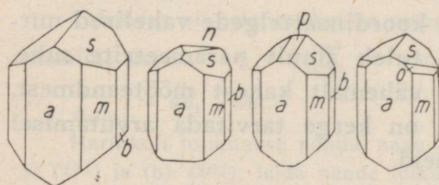
Joonisel 89 on esitatud püromorfiit heksagoon-bipüra- miidsest klassist. Tahud:  $a$  ( $10\bar{1}0$ ),  $c$  (0001),  $x$  ( $10\bar{1}1$ ),  $s$  ( $11\bar{2}1$ ),  $z$  ( $20\bar{2}1$ ),  $P$  ( $80\bar{8}1$ ).



Joon. 89.



Joon. 90.



Joon. 91.

Joonis 90 esitab oliviini romb-bipüramiidsest klassist. Tahud:  $a$  (100),  $b$  (010),  $c$  (001),  $d$  (101),  $e$  (111),  $k$  (021),  $n$  (110),  $s$  (120).

Joonis 91 kujutab augiiti monokliin-prismalisest klassist. Tahud:  $a$  (100),  $b$  (010),

$n$  ( $\bar{1}02$ ),  $m$  (110),  $o$  (221),  $s$  (111),  $p$  ( $\bar{1}01$ ).

### Kristallograafilised arvutused.

Kristallidele omase sümmeetriaelementide kompleksi järgi on tema täiuslikuks kirjeldamiseks vaja vähem või rohkem mõõtmisi. Mõõtmised on ainult nurgamõõtmised, sest lineaarsed mõõtmised ei mängi mineraali määramisel osa. Kõige väiksema sümmeetriaga trikliinseil mineraalidel tuleb määrata koordinaattelgede vahel 3 täisnurgast erinevat nurka, nimelt  $\alpha$  — II ja III,  $\beta$  — I ja III ning  $\gamma$  — I ja II telje vahel, ja kaks suhet:  $\frac{a}{b}$  ja  $\frac{c}{b}$

ühiktahu parameetrite  $a$ ,  $b$  ja  $c$  vahel. Selleks on tarvis kristallil teostada vähemalt 5 üksteisest sõltumatut nurgamõõtmist. Mõõdetud nurgad kujutavad siis keral, mille keskpunkti läbivad kõik kristalli tahud ja servad, koos otsitavate koordinaattelgedede vaheliste kui ka teiste vajalikkude nurkadega sfääriliste kolmnurkade nurki ja külgi, millede sõltuvus antakse sfäärilise trigonomeetria valemite, mis ka arvutustel tarvitusele tulevad.

Parameetrite suhted määratakse valemis, mis tuletatakse analüütilises geometrias:

$$\frac{a}{h} \cdot \cos \hat{P}a = \frac{b}{k} \cdot \cos \hat{P}b = \frac{c}{l} \cdot \cos \hat{P}c,$$

kus  $a : b : c$  on Weiss'i sümbolis esinevad ühiktahu parameetrid,  $(hkl)$  antud tahu  $P$  indeksid Miller'i järgi ja nurgad  $\hat{P}a$ ,  $\hat{P}b$  ja  $\hat{P}c$  I, II ja III telje ja tahule tõmmatud ristsirge vahelised nurgad.

Monokliinses süsteemis on nurgad I ja II telje ning III ja II telje vahel  $90^\circ$ , nii et määrata tuleb ainult nurk I ja III telje vahel ( $\beta$ ) ja suhted  $\frac{a}{b}$  ja  $\frac{c}{b}$ , milleks jätkub kolmest sõltumatust mõõtmisest.

Rombilises süsteemis on koordinaattelgedede vahelised nurgad  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ja määrata tuleb ainult parameetrite suhe, seega 2 tundmatut, mis leitakse vähemalt kahest mõõteandmest. Selles ja järgmistes süsteemides on kerge tarvitada arvutamisel ka analüütilise geometria valemeid.

Tetraoonses süsteemis, kus  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ja  $a = b$ , on vaja määrata ainult suhe  $\frac{c}{a} = \frac{c}{b}$ , milleks jätkub ühest mõõtmisest, samuti nagu heksagoonses süsteemis, kus  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ,  $\gamma = 120^\circ$  ja  $a = b$ .

Kuubilises süsteemis on  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ja  $a = b = c$ , nii et siin midagi arvutada ei ole.

Samuti nagu kristalli tahke märgitakse sümboliga  $(hkl)$ , kus indeksid  $hkl$  on võrdvahekorras antud tahule koordinaatide algusest langetatud ristsirgel vabalt valitud punkti koordinaatidega, nõnda märgitakse ka iga teise sirge suunda (vrd. lk. 29) nurksulgudes  $[ ]$  asetseva sümboliga  $[uvw]$ , kus indeksid  $u, v, w$  on samuti võrdvahekorras selle sirge mõne punkti koordinaatidega. Kui antud sirge  $[uvw]$  lamab tasapinnas  $(hkl)$ , siis peavad nende indeksid,

nagu järeldub analüütilise geomeetria ja vektoranalüüsi vasta-  
vaist teoreemidest, vastama järgmisele valemile:

$$hu + kv + lw = 0 \dots (a).$$

See valem võimaldab leida serva sümboli  $[uvw]$ , mille moo-  
dustavad tahud  $(hkl)$  ja  $(h_1k_1l_1)$ . Nimelt peab olema:

$$hu + kv + lw = 0$$

ja

$$h_1u + k_1v + l_1w = 0$$

Neist kahest lineaarsest võrrandist võime leida  $\frac{u}{v}$  ja  $\frac{w}{v}$  ja nõnda  
ka serva kogu sümboli.

Samuti võime ümberpöörduvalt leida tahu  $(hkl)$  sümboli, mille  
servade sümbolid  $[uvw]$  ja  $[u_1v_1w_1]$  on antud, lahendades võrran-  
dite

$$hu + kv + lw = 0$$

$$hu_1 + kv_1 + lw_1 = 0$$

süsteemi  $\frac{h}{k}$  ja  $\frac{l}{k}$  suhtes.

Antud sümbolites on kõik indeksid, nagu eespool mainitud,  
ratsionaalsed, mispärast on ratsionaalsed ka tuletatud indeksid.

Lahendus nii eelmisel kui ka praegusel juhul on kõige tarvitavam deter-  
minantide kujul:  $h = \begin{vmatrix} vw \\ v_1w_1 \end{vmatrix} = vw_1 - wv_1$ ;  $k = \begin{vmatrix} wu \\ w_1u_1 \end{vmatrix} = wu_1 - uw_1$ ;  
 $l = \begin{vmatrix} uv \\ u_1v_1 \end{vmatrix} = uv_1 - vu_1$ .

Harilikult toimitakse nõnda, nagu järgmisel näitel. On antud kaks tahku:  
(a)  $(111)$  ja (b)  $(201)$ ; leida nende lõikumisserva sümbol. Kirjutame teineteise  
alla kohakuti tahkude sümbolites esinevad indeksid, kummagi sümboli 2 korda:

$$\begin{array}{cccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \times & \times & \times & & & \\ 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 \end{array}$$

ja kujutame siis ridade vahel ristuvate nooltega märgitud korrutised, võttes  
otsitava serva esimese indeksi kujutamiseks vahe esimese noolteristi ülalt vasa-  
kult alla paremale suunatud noolega määratud korrutise ja sama noolteristi ülalt  
paremalt alla vasakule suunatud noolega tähistatud korrutise vahel. Järgmine  
noolterist annab teise indeksi, kolmas — kolmanda. Nii saame:  $u = 1 \cdot 1 - 1 \cdot 0 =$   
 $= 1$ ;  $v = 1 \cdot 2 - 1 \cdot 1 = 1$ ;  $w = 1 \cdot 0 - 1 \cdot 2 = -2$ . Otsitav sümbol on  $[11\bar{2}]$ .

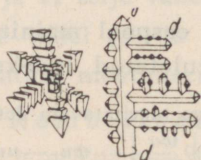
Kokkukõlas determinantide teooriaga ja eespool-tooduga võib  
veenduda, et kristallis iga kahe võimaliku tahu indeksite telgede-  
järgsest liitumusest saadud indeksid tähistavad kristallis võima-  
likku tahku. Kui on antud tahud  $(hkl)$  ja  $(h_1k_1l_1)$ , siis on või-  
malik ka tahk  $(h + h_1 \cdot k + k_1 \cdot l + l_1)$ , mis pealegi asetseb ühes

vöös antud tahkudega (sest serva  $[h + h_1 \cdot k + k_1 \cdot l + l_1]$  indeksid rahuldavad valemit  $(\alpha)$ ). Sellise indeksite liitmise teel võib antud nelja, mitte ühes vöös oleva tahu indeksite kaudu tuletada kõik võimalikud kristallitahud (nn. komplikatsioonireegel).

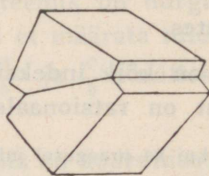
## Reeglipärased kristallide liitumised.

### Paralleelsed kokkukasvamised.

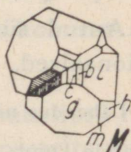
Kui mõnes mineraalieksemplaris esinevad eraldi üksikud osad täiesti paralleelsete samanimeliste telgede ja tasapindadega (näit. joonisel 9, nr. 8), siis tuleb kogu seda mineraali pidada üheks kristalliks. See nõue jääb kehtima ka sageli esinevate mineraalikondistikkude suhtes, kus mineraalaines on kogunenud ainult mõningais, kristallograafiliselt määratud suundades, näit. joonisel 92 näidatud vase kasvamisvormid.



Joon. 92.



Joon. 93.



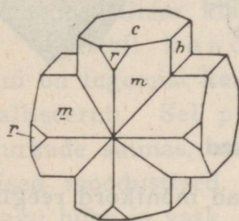
Joon. 94.

### Kaksikud.

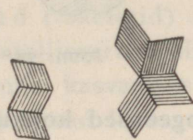
See nimi antakse kahe sama mineraali kristalliindiviidi koosinemisele („kokkukasvamisele“), kui üks indiviid kattub teisega: 1) kas peegeldudes mõnes pinnas (nn. kaksiku pind), mis aga selle mineraali sümmeetriaklassis peegelpinnana ei esine, või 2) pöördudes ümber mingi kaksiktelje (kaksiku telg), mis aga üksikus kristallis kaksikteljena ei esine. Kõrgema sümmeetriaga mineraalide puhul võivad esineda koos nii pind kui ka (temaga risti olev) telg; trikliinses süsteemis on ainult üks või teine võimalik. Nii kaksiku pind kui ka telg on kristallis alati võimalikud pinnad või servad. Selle pinna või telje, mille järgi kaksik koostunud, sümboli nimetamine on kaksiku seaduse avaldamine.

Kaksikute olemasolu on väga oluliseks mineraali tunnuseks. Nad puutuvad hästi silma, sest sageli on kaksik-indiviidide puute-

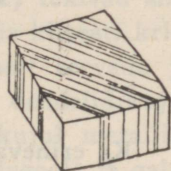
kohtadel sissepoole pööratud servnurgad [joonisel 93 kaltsiidi kaksik ( $02\bar{2}1$ ) järgi], ka ilmneb indiviidide liitumiskohal eriline „õmblus“, millest mõnikord võrdsete nurkade all hargnevad tahke pidi paralleelsed viirud [joonisel 94 markasiit: kaksik ( $110$ ) järgi,  $g$  ( $101$ ),  $l$  ( $011$ ),  $c$  ( $001$ ),  $b$  ( $013$ ),  $m$  ( $110$ ),  $h$  ( $111$ )]. Vahel on väliste tunnuste järgi raske kaksikulisi indiviide eristada, eriti kui on tegemist nn. läbikasvamis-kaksikutega; ainult erinevuste põhjal polariseeritud valguses on neid võimalik ära tunda, kui nad ei oma sissepoole suunatud servnurki, nagu joonisel 95 stauoliit: üks indiviid risti teisega:  $m$  ( $110$ ),  $b$  ( $010$ ),  $c$  ( $001$ ). Kergem on eristada puutekaksikuid, mis on kokku kasvanud kaksikpinda pidi (joon. 93).



Joon. 95.



A B  
Joon. 96.



Joon. 97.

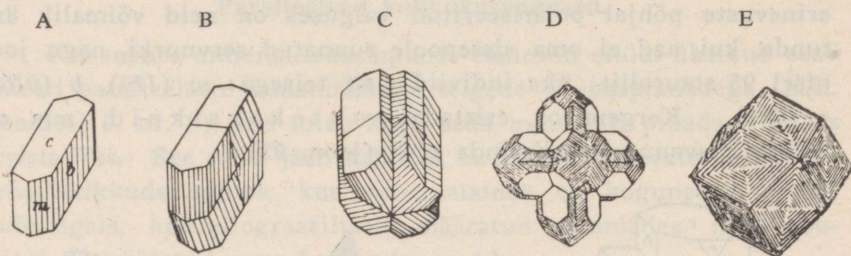
Sageli on kaksiku sümmeetria suurem kui ühe indiviidi oma, sest kaksiku pinna või telje võrra suureneb sümmeetriaelementide arv. Seejuures peavad aga mõlema indiviidi teljestikud olema paralleelses asendis.

Kaksiku seaduse järgi kokkukasvamine võib korduda: kahe esimese indiviidiga ühinevad sama kaksiku seaduse alusel veel kolmas, neljas jne. indiviid, nii et sünnivad kolmikud, nelikud jne. Seejuures võivad üksikud kristallid kokku kasvada nii, nagu näidatud joonisel 96 A, või nii, nagu joonisel 96 B.

Esimene juhtum, kus kokkukasvamispinnad on paralleelsed, on tuntud polüsünteesiliste kaksikute nimetuse all. Sageli on sel puhul indiviidid õhukesed ja korduv kokkukasvamine väljendub ainult viirulises välispinnas [joonisel 97 kaltsiit, polüsünteesiline kaksik ( $01\bar{1}2$ ) järgi].

Teisel juhul, kus kokkukasvamispind igal uuel kristallipaaril kindla nurga võrra pöörduv, võivad esineda kombinatsioonid, mis meenutavad kõrgema sümmeetriaga kristalliklasse, kui on tõeliselt omane mineraalile („mimeetilised“ kristallid). Joo-

nisel 98 *A—E* on toodud fillipsiidi monokliinne üksikkristall (*A*), mis nelikuna (*B*) näib rombilisena, kahekordistatud arvu indiviidide puhul tetragoonsena (*C*) ja juhul, kui viimased kolmes suunas liituvad, saame näilise kuubilise kristalli *D* sissepoole pööratud nurkadega ja *E*, kus viimased on kinni kasvanud. Mitme indiviidi kaksikuline kombineerumine võib toimuda ka vahelduvalt erinevate kaksiku seaduste järgi.



Joon. 98.

### Heterogeensed kokkukasvamised.

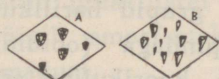
Ka erinevate mineraalide kristallid esinevad mõnikord reegli-päraselt kokkukasvanuna, juhul, kui nende ruumvõred on ligidalt sarnased. Selliseid juhtumeid on palju; neist on sagedamad: 1) sfaleriit (kuubiline) kalkopüriidiga (tetragoonne); kokkukasvamisel on viimase III telg paralleelne ühega sfaleriidi telgedest; 2) kaltsiit dolomiidiga (mõlemad heksagoonsed) täieliku telgede paralleelsuse puhul; 3) albiit (trikliinne) ja ortoklaas (monokliinne); viimase (*110*) peal kasvavad sageli albiidi kristallid samanimelise tahuga.

### Iseärasused kristallide välimuses.

Kristallid võivad esineda väga mitmesuguse välimusega (habitusega, rüüga): ligikaudu ühesuguste mõõtmetega igas suunas — isomeetrilistena; ühes suunas väljaveninutena: prismaalsed, pulkjad, kiudjad, püramiidsed, nõeljad, tahveljad ja litterjad. Üks ning sama mineraal võib, olenedes tekketingimustest, esineda erineva välimusega. Tekke- ja pärastised muutetingimused moonutavad sageli kristalli välimust — mõjustavad mõne tahu kiiremat või aeglasemat kasvu võrreldes teistega ja moodustavad ebatasaseid ja ka kõveraid tahupindu. Peab ütleva, et peegeltasaste pindadega kristalle, millede nurkade mõõtmisel goniomeetril saame suure

täpsusega nurgamõõte, on vähe; eriti võib neid leida väikesemõõtmeliste kristallide seas.

Kristalli tahkude pinnad on mõnikord juba looduses kaetud või kattuvad kunstlikult mõne sööbiva vedeliku toimel augukestega, nn. söövituslohkudega, millede asetus ja kuju võimaldavad sageli kristalli õiget sümmeetriaklassi määramist. Näit.



Joon. 99.

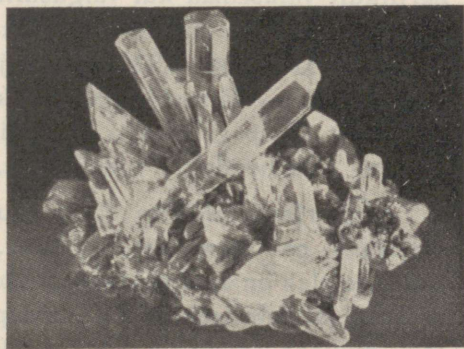
on joonisel 99 A toodud kaltsiidi ja 99 B dolomiidi romboeedri pinnad, milledest, esimesel on söövitus sümmeetriline; see tõendab, et kaltsiidil on sümmeetriapind paralleelne rombi lühema diagonaaliga, nii et kaltsiit kuulub

ditrigoon-skalenoedrilisse klassi, kuna aga dolomiidi söövituslohud on asümmeetrilised ja viltu asetatud, mis sunnib teda arvama romboedrilisse klassi, kus sümmeetriapinnad puuduvad.

Kristall-kondistikud (-skeletid) (joon. 92) tekivad siis, kui on tegemist kergesti kristalliseeruva ainega, mis kiiresti kristalliseerub. Sel puhul toimub kasvamine peamiselt servade ja nurkade suunas, millega kujunevad lehe-, sambla-, dendriidikujuised moodustised. Nii esinevad sageli sellisel kujul metallid, nagu hõbe ja vask, samuti soolad, nagu haliit (keedusool) ja galeniit, ka jää aknal ja veepinnal, jne.

### Kristallide esinemiskohad.

Mõned kristallid asetsevad tihedalt ümbritsetuna kivimis, esinedes seal sissekasvanuina. Teised asetsevad kivimite õõnsuste ja lõhede pinnal, ulatudes vabasse ruumi — neid nimetatakse pealekasvanuiks. Üks ning sama mineraaliliik võib esineda nii ühes kui ka teises rühmas. Kuid mõned, näit. leutsiit ja teemant, esinevad ainult sissekasvanuina, kuna näit. tseoliidid, brukiit esinevad ainult pealekasvanuina.



Joon. 100.

Kui kristallide rühm täidab mõne kivimis tekkinud õõnsuse, olles seejuures harilikult otsapidi õõnsuse seintele kinnitunud,

siis on tegemist kas harjaga (joon. 100 ja 239), kui õõnsuse sein on enam-vähem tasapinnaline, või pesaga (druusiga), kui õõnsus on kumer. Kui kristallid kasvavad näiteks savis, veega täisimbunud liivas või mudas, esinevad nad sageli gruppides, mida nimetatakse vahel mugulateks ehk sferoidideks.

Radiaalselt asetsevad sageli nõela-, pulga- ja kiusarnased kristallid. Väljastpoolt on selliste kristallide grupid harilikult ümbritsetud kõverapinnaliselt, erijuhul kerapinnaga (ooidid). Radiaalse ehitusega on sageli seotud kihiline, koorikuline esinemine.

Eespool-kirjeldatud erijuhtude kõrval on kristallide kokkukasvamine ilma mingi reeglita kõige sagedam. Kristallide suuruse järgi eristatakse jämeda- ja peeneteriseid mineraale ehk kristallagregate; kui silm üksikuid kristalle nende peeneterisuse tõttu ei seleta, kõneldakse tihedast mineraalist. Mõni mineraal on auklik, poorne või vahutaoline.

### **Amorfsed mineraalid.**

Amorfset olekut peeti vastandiks kristalsele olekule. Tema tunnuseks olid: isotroopsus füüsikaliste jõudude (ka polariseeritud valguse) vastu, kindla sulamistäpi ja reeglipärase väliskuju puudumine. Amorfseteks tunnustati rohkesti mineraale röntgenanalüüsi leitudamiseni. Röntgenikiirtega uurides nähti, et paljud amorfseiks arvatud aineist on kristalsed; ainult nende osakesed on harilikult väiksemad kui valguskiirte lainepikkus. Enamik amorfsed mineraale on tardunud ja ärakuivanud gelid — nad on algses olnud kolloidses olekus. Aja jooksul — ühed rutemini, teised aeglasemalt — lähevad nad üle kristalsesse olekusse, kusjuures harilikult säilib geli kogu kõverpinnaline välimus, mis omakorda tõendab eeltähendatud üleminekut.

\*Amorfsete olekute olemasolu eitada ei saa, kuid igasugune amorfsus on haruldane, mööduv. Võimalikkude olekute seas amorfne olek on energiarikas ja labiilne, kristalne olek aga energia-vaeseim ja stabiilsem. Et entroopia kohaselt iga aine, olles omaette, muudab oma oleku minimaalse energiaga olekuks, siis kristalliseeruvad ka amorfsed olekud käsikäes energia kaoga. Vastupidi — üleminek kristalliseerunud olekust amorfssesse on võimatu ilma välisenergia juurdevooluta.

Koos energia kaoga kahanevad aururõhk ja lahustuvus, keemilise reageerimise võime väheneb peaaegu nullini, s. t. aine vastu-panu välisteguritele tõuseb võimalikult suureks.\*

Kolloidset olekut kui kristalset olekut eitavat praegu enam ei tunnustata. Kuid vaatamata tõeliselt amorfsete olekute haruldusele on amorfsete mineraalide eraldamine mineraloogias õigus-  
tatud praktilistel kaalutlustel: polarisatsioonimikroskoobi all on kõigil amorfseteks nimetatud mineraalidel teatavaid ühiseid omadusi.

## VIII peatükk.

### **Mineraalide optilised omadused.**

Energia sel kujul, nagu ta mõjub meie nägemisnärvidele ja mida me nimetame valguseks, võimaldab meil kõige suuremal määral tunnetada välismaailma. Mineraalid mõjustavad selle energia avaldusi väga mitmesuguselt, mispärast mineraalide optilised omadused on mineraalide määramisel suure tähtsusega.

Meie kursuse ulatuses on küllaldane, kui me valgusenergia levimist kujutleme transversaalvõnkudega lainetena, mille näiteks võiksid olla lained vee-pinnal. Kujutelgem, et mingi elastse substraadi osake kaotab valguse tekkekohas tasakaaluasendi; see osake tõmbab kaasa lähemad kaaslased, mis samuti kõrvale kalduvad tasakaaluasendist. Elastsuse mõjul püüavad need osakesed saavutada endist tasakaaluasendit, kuid kiiruse tõttu ületavad selle ning eemalduvad vastupidises suunas. Selline võnkumine levib ühetaolises (isotroopes) keskkonnas ühest punktist radiaalselt võrdse kiirusega igas suunas, kusjuures seda punkti keskpunktiks omaval kerapinnal on võnkuvad osakesed igal antud momendil ühesuguses seisukorras (faasis). Mehaanikas tõestatakse, et sellise võnkumise mõju ulatub isotroopes aines antud punktini nii, nagu liiguks ta mööda sirgjoont, mis ühendab valguse tekkepunkti antud punktiga; see on nn. valguse kiir.

Samuti näidatakse lainete-mehaanikas, kuidas ühed võnkumised mõjustavad teisi, kunas ja kuidas võnkuvad osakesed liiguvad sirgeil ja kunas elliptilistel või ringikujulistel teedel: polarisatsiooninähtused. Vajalikel kohtadel juhime tähelepanu seal-tõestatud ilma seda tõestamata.

Valguslainet iseloomustavaist suurusist mainime ainult: laine pikkus  $\lambda$ , levimiskiirust  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm/sek tühjas ruumis ja  $V$  — kristallis ning valguse ühe laine pikkusele levimise aega  $T$ . Need suurused on seotud valemitega:  $c = \lambda : T$  tühjas ruumis ja  $V = \lambda_1 : T$  kristallis. Lainepikkus  $\lambda$  kõigub nähtaval valgusel 4000 Å (lilla) ja 7600 Å (punane) vahel; vastavalt sellele võnkude arv sekundis (sagedus) on  $4 \cdot 10^{14}$  ja  $8 \cdot 10^{14}$  vahel.

### **Polariseeritud valgus.**

Isotroopes aines levivas valguskiires võnguvad osakesed kiirega risti olevas pinnas kõigis suundades ühesuguse tõenäosusega (joon. 101; kiir on risti paberiga). Ruumvõredest koosnevas

kristalses, enamikus ka optiliselt anisotroopses aines toimub võnkumine ainult kahes, teineteisega risti olevas pinnas (mis on kiirega paralleelsed) (joon. 102). Öeldakse, et valgus, mille võnked toimuvad ainult  $AA_1$  suunas, on polariseeritud (kustutatud)  $BB_1$  suunas, ja ümberpöörduvalt: valgus, võngetega  $BB_1$  suunas, on polariseeritud  $AA_1$  suunas;  $AA_1$  koos kiire suunaga moodustab niisuguse valguse polarisatsioonipinna.

Nõnda eri suundades võnkuvad valguslained kalduvad anisotroopses aines kõrvale ka isotroopsete ainete kohta kehtivast murdumisest. Murdumisindeks on esiteks muutlik sõltuvalt valguskiire suunast, ja teiseks — harilikult ei jää murtud kiir pinda, mis määratud mineraalipinnale langeva kiire ja pinna normaaliga.

Katsed näitavad, et kuubilise kristallograafilise süsteemi kristallid, samuti kui amorfseid ained, on optiliselt isotroopsed, s. t. neis on valguse kiirus  $v$  ja temaga pöördvõrdeline murdumisindeks  $n = \frac{c}{v}$  igas suunas ühesugused. Niisuguseis mineraales on ühest punktist leviva valguslaine front igal antud momendil kerapind ja igas kiires, mis ühtib kera raadiusega, on see front risti kiire suunaga (raadiusega), ühtides selle suunaga risti oleva puutepinnaga.

Heksagoonse ja tetragoonse süsteemi kristallides toimub säärane kiirele normaalne levimine ainult ühes suunas, nimelt püsttelje suunas, mida nimetatakse ka optiliseks teljeks. Igas teises suunas jaguneb kristalli tungiv kiir kaheks, teineteisega risti olevate võnkepindadega. Üks neist murdub samuti nagu isotroopseski aines: jääb langeva kiire ja langemispunktis kristalli pinnale püstitatud ristsirgega määratud tasapinda; tema kiirus (ja vastav murdumisindeks) on igas teises suunas sama, mis levimisel peatelje suunas. Seda kiirt nimetatakse harilikuks (ordinaarseks) kiireks. Teine kiir kaldub reeglina langemispinnast välja ja levib kehas suundade järgi erineva kiirusega; selle kiire suhtes omab kristall eri suundades eri murdumisindekseid. Need muutuvad pidevalt suuna muutudes, olles võrdsed hariliku kiire murdumisindeksiga peatelje suunas ja omades risti peateljega kas suurimat või väikesimat suurust. Seda kiirt nimetatakse ebariilikuks (ekstraordinaarseks) kiireks.

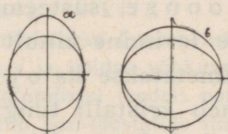


Joon. 101. Joon. 102.

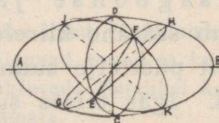
Kui määrata ebahariliku kiire murdumisindeks  $\varepsilon$  suunas, mis on risti peateljega, samuti ka indeks  $\omega$  peateljelt suunas, ja kui proportsionaalselt nende arvudega valitud telgedel kujutada ellips ja pöörata seda ellipsit ümber  $\omega$ -telje, siis saame pöördellipsoidi, mida nimetatakse indikaatriksiks. Selle keha keskpunkti läbivad läbilõiked on ellipsid; ainult risti pöördteljega, mis kannab optilise telje nimetust, saame läbilõikes ringi. Lõike-ellipsi mõlemad teljed, nagu tõestab teooria ja näitavad katsed, on proportsionaalsed: 1) kõigile lõigetele ühesugune telg (ekvatoriaalse ringi diameeter) — hariliku kiire murdumisindeksiga ja 2) pikem või lühem telg — ebahariliku kiire murdumisindeksiga, kui kiir langeb mineraalile risti vaadeldava lõikepinnaga.

Kristalle, milledes harilik kiir levib ebaharilikust kiiremini, mispärast neis vahe  $\varepsilon - \omega > 0$ , nimetatakse positiivseiks (näiteks räni, jää, kassiteriit); vastupidisel juhul — negatiivseiks (näiteks kaltsiit, turmaliin, korund). Kui eraldi kujutada hariliku kiire suundadest sõltumatust keraga, siis oleks positiivseil kristallidel kera paigutatud indikaatriksi sisse, kuna negatiivseil oleks indikaatriks kera sees (joon. 103 a ja 103 b).

\*Kaksikmurdumise avastas a. 1669 E. Bartholinus, uurides Islandi päritoluga kaltsiidikristalle.\*



Joon. 103.



Joon. 104.

Rombilistes, monokliinsetes ja trikliinsetes mineraalides ei ole üldse harilikku kiirt. Nende mineraalide optilisi omadusi võib iseloomustada kolmeteljelise ellipsoidiga, mille iga lõige on küll ka ellips, kuid nende kumbki telg pole püsiv, vaid mõlemad muutuvad mingist maksimaalsest murdumisindeksist minimaalseni. Kolmeteljelisel ellipsoidil on 3 üksteisega risti olevat sümmeetriatelge, mis on proportsionaalsed mineraali murdumisindeksitega  $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $\gamma$ , kusjuures  $\alpha < \beta < \gamma$ .

Kui teha läbi sellise ellipsoidi rida tasapinnalisi lõikeid, mis sisaldavad keskmist telge (joonis 104,  $EF$ ), siis peab lõike-

pinna ja suurima telje  $AB$  vahelise nurga kasvamisega kahanema lõikeellipsi suurim telg, sest kui see nurk saab  $90^\circ$ -seks, on suurima telje asemel väikesim telg  $CD$ . Järelikult pidi lõikel olema niisugune asukoht, kus muutuv telg võrdus keskmise teljega või kus lõikeellips muutus ringiks ( $GH = EF$ ). Ellipsoidi sümmeetria tõttu on olemas ka teine selline ringikujuline läbilõige, mis lõikub esimesega keskmises teljes ja moodustab suurima teljega niisama suure nurga kui esimene ( $IK = EF$ ).

Risti nende kahe ringikujulise läbilõikega läbib valgus sellesse rühma kuuluvaid kristalle ühe kiirena, kuna kõigis teistes suundades valgus laguneb kaheks polariseeritud kiireks, võnkumistega risti teineteisega. Neid kaht eri suunda nimetatakse optilisteks telgedeks ja mineraale, mis neid omavad, optiliselt kaheteljelisteks.

Tuleb mainida, et indikaatriksi teljepikkused muutuvad valguse värvuse järgi. Alamates sümmeetriaklassides võivad ka eri värvuste jaoks konstrueeritud indikaatriksite teljed mitte kokku langeda.

Kristallide optiliste omaduste iseloomustamiseks võiks ka konstrueerida mudeleid sellest pinnast, nn. lainepinnast, mida omab vastavas kristallis olevast valguspunktist leviva valguse front; tähendab, neis mudeleis tuleks algpunktist väljuvate kiirte pikkusele anda mõõtmed, mis on proportsionaalsed valguse levimise kiirusega kiire suunas. Vastavalt kiire jagunemisele kaheks kiireks, mis levivad erinevate kiirustega, saame anisotroopseis kristalles kaks suletud kiirtepinna, mis optiliselt üheteljeliste mineraalide puhul sarnanevad eespool-kirjeldatud indikaatriksiga, kuid ainult ümberpöörduvalt: positiivse kristalli jaoks kujutavad nad pöördellipsoidi keras ja negatiivse jaoks kera ellipsoidis. Optiliselt kaheteljeliste kristallide puhul on sääraseid kiirtepinna samuti kaks, mis teineteist lõikavad: kaks eri tasapindades polariseeritud valguskiirt levivad sääraistes kristallides nõnda, et mõningais suundades on üks kiir kiirem kui teine, teistes suundades ümberpöörduvalt.

Suunad, milledes üks või teine kristall valgust polariseerib, ja valguse levimise kiiruse vahed kristalles on niivõrra iseloomustavad, et neid määrates on kerge ka mineraali ära tunda. Seepärast peame tutvuma sääraiste määramiste meetoditega, alates valguse polariseerimisega.

Viimaseks otstarbeks võib tarvitada mitmesuguseid seadiseid. Mineraloog kasutab selleks anisotroopse mineraali omadust — murda teda läbivat valguskiirt kaheks ristamisi polariseerituks. Mõnel mineraalil, näit. kaltsiidil (mis on saadaval ka hästi läbipaistvates kristallides), on murdumisnurkade vahe nende kahe kiire vahel eriti suur, nii et need kiired eemalduvad teineteisest niivõrra, et neid on võimalik eristada palja silmaga.

Kaltsiit kristalliseerub heksagoonse (seega optiliselt ühelteljelise) kristallisüsteemi ditrigoon-skalenoedrilises klassis; lõheneb kergesti romboedri pindade järgi; optiline telg ühendab lõhenemisromboedri tõmptippe. Suurim lahkumine hariliku ja ebahariliku kiire vahel esineb suunas, mis on risti selle teljega.

Nicol'i prisma, mis laialt tarvitusel, on kaltsiidist väljalöödud pikliku rööptahuka ristlõikel (joon. 105) serva  $BC'$  ja diagonaali  $AC$  vaheline nurk  $71^\circ$ . Lihvimise teel eemaldatakse kolmnurkse läbilõikega osad  $ACC'$  ja  $BDD'$  nii, et nurk  $CAB$  jääb  $68^\circ$ -seks, et valgus läbiks prisma  $C'B$  suunas (mikroskoobi tülje suund); diagonaali  $AB$  suunas lõigatakse kristall pooleks, lõikepinnad lihvitakse ja liimitakse kanada palsamiga (Kanadas kasvavate okaspuude, eriti *Abies balsamea* vaik) jälle kokku. Sel kujul kinnitatakse „prisma“ raami, mille seinad on tuhm-mustad.

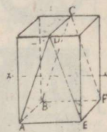


Joon. 105.

Kaltsiidis on risti optilise teljega leviva hariliku kiire murdumisindeks (kollaste kiirte jaoks) 1,658, ebahariliku oma aga 1,486, kanada palsami indeks 1,54. Seepärast, kui kiir  $EF$  satub kaltsiiti ja jaguneb temas kaheks:  $FG$  — harilik ja  $FK$  — ebaharilik, siis  $FG$  seesmiselt täielikult peegeldub vastu kanada palsamit (mis on harilikule kiirele hõredam keskus kui kaltsiit) ja läbides prisma külje  $C'B$  kustub raami mustades seintes. Ebaharilik kiir, millele kanada palsam on pisut tihedam keskus kui kaltsiit, läbib palsami ja väljub prisma pinnast  $DB$ . Sellist mõlema kiire lahutamist soodustab ka langennurkade erinevus kanada palsami pinna suhtes ( $\omega$  puhul on ta suurem) ja samuti kiirte võnkumissuund palsamikihi kui peegelpinna suhtes.

Nicol'i prisma nõuab võrdlemisi pakse ja vigadeta kaltsiidikristalle, mida on raske saada. Ka on prisma paksuse tõttu valguse kadu temas suur ja vaatenurk väike. Seepärast on uuemal

ajal üle mindud teistele prismakujudele, milledest kirjeldame Ahrens'i oma. Viimase valmistamiseks võetakse (joon. 106) ruudukujulise alusega kaltsiidist püstprisma, mille kõrgus on umbes 1,8 korda suurem aluse küljepikkusest ja mille üks küljepindadest on risti optilise teljega  $xx'$ . Prisma lõigatakse läbi tasapindadega  $ABCD$  ja  $EFCD$ , liimitakse samuti kanada palsamiga kokku, lastakse siis valgus sisse alusest, kus on sirge  $DC$ , ja väljuda alusest  $ABFE$ , samuti ebahariliku kiirena nagu Nicol'i prismast.



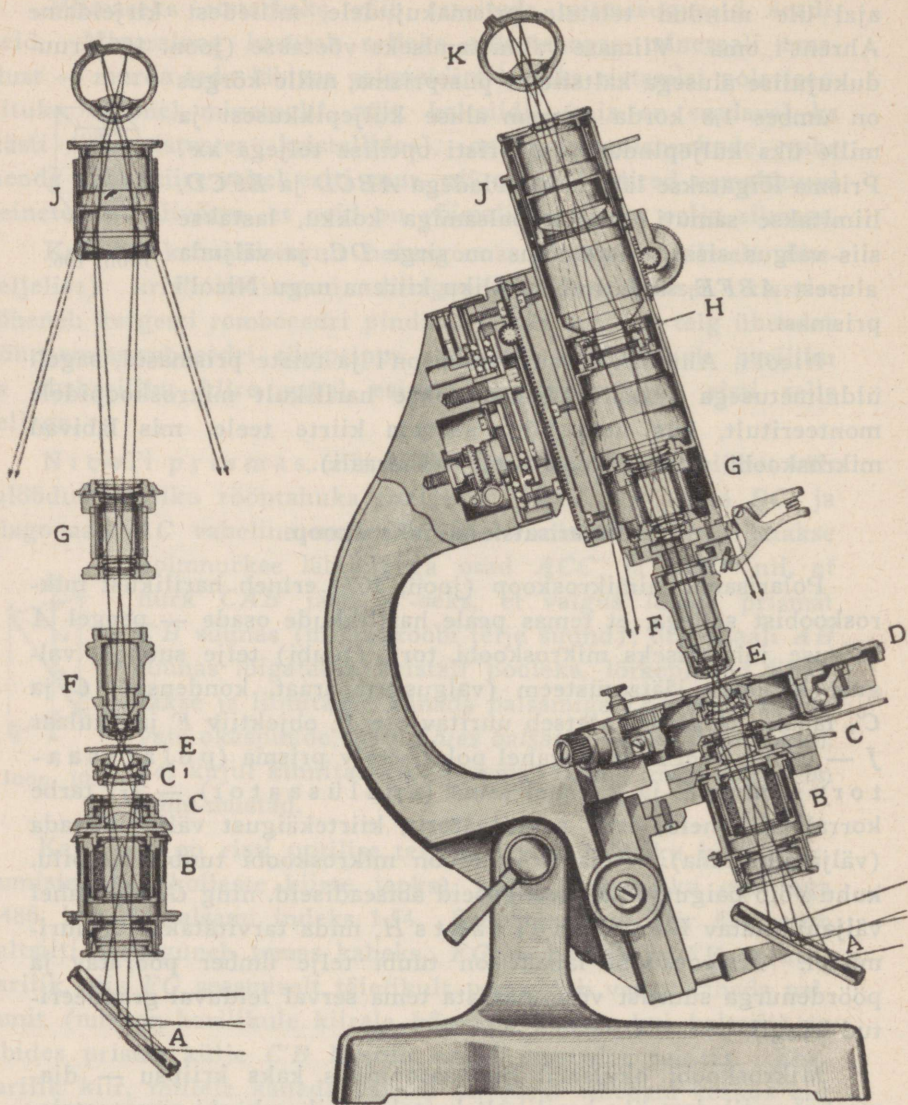
Joon. 106.

Nicol'i, Ahrens'i, Glan-Thompson'i ja teiste prismasid, sageli üldnimetusega „nikolid“, tarvitatakse harilikult mikroskoopidele monteeritult, kus neid võib asetada kiirte teele, mis läbivad mikroskoobi all uuritavat eset (mineraali).

### Polarisatsioonimikroskoop.

Polarisatsioonimikroskoop (joon. 107) erineb harilikust mikroskoobist sellega, et temas peale harilikkude osade — peegel  $A$  valguse juhtimiseks mikroskoobi toru (tuubi) telje suunda, valgust koondav läätssüsteem (valgustusaparaat, kondensor)  $C$  ja  $C'$ , lauake  $D$ , millele asetseb uuritav ese  $E$ , objektiiv  $F$  ja okulaar  $J$  — esineb veel  $A$  ja  $C$  vahel polariseeriv prisma (polarisaator)  $B$  ning  $F$  ja  $J$  vahel teine (analüsaator) —  $G$ ; tarbe korral võib neid, eriti analüsaatorit, kiirtekäigust välja lülitada (välja nihutada).  $F$  ja  $G$  vahel on mikroskoobi tuubis ristpilu, kuhu võib paigutada mõnesuguseid abiseadiseid, ning  $G$  ja  $J$  vahel väljanihutatav Bertrand'i lääts  $H$ , mida tarvitatakse eriuurimistel. Mikroskoobi lauake on tuubi telje ümber pööratav ja pöördenurga suurust võib määrata tema serval leiduval gradueeritud ringil.

Mikroskoobi okulaaril on vaatepinnas kaks kriipsu — diameetrit, milledest üks harilikult hoitakse mikroskoobi sümmeetriapinnas (läbib tuubi ja statiivi) ja teine temaga risti olevana. Analüsaatoris toimub valguse võnkumine harilikult mikroskoobi sümmeetriapinnas, kuna polarisaatorit võib pöörata ja tema võnkepinda seada kas paralleelseks või risti analüsaatori võnkepinnaga või mistahes nurga all.

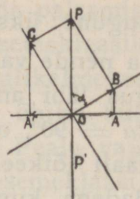


Joon. 107.

### Interferentsi nähtused optiliselt anisotroopseis kristalles.

Polarisaatorist väljub valguskiir, mille võnked toimuvad  $PP'$  suunas (joon. 108; valguskiir levib paberiga risti). Olgu  $OP$  proportsionaalne tema võnkude amplituudiga. Mikroskoobi laua-

kesel olevat anisotroopset mineraali läbides jaguneb kiir kaheks, võnkudega  $OB$  ja  $OC$  suunas — vastava indikaatriksi kiirega risti oleva elliptilise löike suurima ja väikesima telje suunas. Kui nurk  $PP'$  ja  $OB$  vahel tähistada  $\alpha$ -ga, näeme, et vastavad amplituudid oleksid:  $OB = a \cos \alpha$  ja  $OC = a \sin \alpha$ . Need kaks teineteisega ristamisi võnkumistega kiirt tungivad nüüd analüsaatorisse, mille võnkepind on harilike tööde puhul risti polarisaatori võnkepinnaga — suunas  $AA_1$ ; mingis teises suunas analüsaator võnkumisi läbi ei lase. Projekteerides  $OB$  ja  $OC$  sellele suunale leiame, et  $OA = OB \sin \alpha = a \cos \alpha \sin \alpha$  ja  $OA' = OC \cos \alpha = a \sin \alpha \cos \alpha$ , s. o. amplituudid on ühesuurused, kuid, nagu joonisest näha, nende suunad on vastupidised.



Joon. 108.

Kui kristallist väljunud kiirte  $OB$  ja  $OC$  faasid olid ühesugused (mis on võimalik ainult siis, kui nende kiirte kiirus mineraalis on ühesugune — vastav indikaatriksi löige on mitte ellips, vaid ring), siis valgus interferentsi tõttu kustub ja mikroskoobi vaateväli on pime. Järeldame: isotroopsete ja mikroskoobi laual kiirte suunaga paralleelsete optiliste telgedega mineraalide puhul on mikroskoobi vaateväli pime, kui analüsaatori ja polarisaatori võnkepinnad on risti.

Kui võnkepinnad on paralleelsed, nii et  $AA'$  ühtib  $PP'$ -ga, leiame projekteerides  $OB$  ja  $OC$   $OP$ -le, et nüüd ühes suunas mõjuvate amplituudi-koordinaatideks on  $a \cos^2 \alpha$  ja  $a \sin^2 \alpha$ , millede summa on  $a$  (sest  $\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$ ), ja mikroskoobi vaateväli on valge.

Muutes nurka  $\alpha$  näeme, et siis, kui  $\alpha = 0$ ,  $a \cos \alpha = a$  ja  $a \sin \alpha = 0$ ,  $OB$  ühtiks  $OP$ -ga, mis suunas siis ka kogu valgus mineraali läbiks, kuna  $OC$  ühtiks  $OA'$ -ga ja temas valgust ei teki. Ristinikolitega (nagu lühidalt nimetatakse polarisaatori ja analüsaatori võnkepindade risti olekut) oleks siis mikroskoobi vaateväli pime. Samuti on vaateväli pime ristinikolite puhul, kui  $\alpha = 90^\circ$ , s. o. kui mineraali löikeellipsi teljed jällegi ühtivad polarisaatori ja analüsaatori võnkepindadega. Kõik need teoreetilised järeldused tõestuvad ka katsetel (valguse absorbeerimisnähtusi arvestamata).

Anisotroopses aines on temas leviva kahe kiire kiirus erinev. Seepärast jõuavad mõlemad kiired analüsaatorisse eraldifaasides:  $OA'$  ja  $OA$  pole enam ühepikkused, sest  $a$  ei ole mõlemal ühe-

sugune: üks oleks  $a \sin \alpha \cos \alpha = \frac{a}{2} \cdot \sin 2\alpha$  ja teine mingi  $\frac{a_1}{2} \sin 2\alpha$  ja nende vahele  $\frac{1}{2} (a - a_1) \sin 2\alpha$  vastava amplituudiga leviks valgus läbi analüsaatori. Maksimaalne siinus on  $90^\circ$  juures. Kui  $2\alpha = 90^\circ$ , on  $\alpha = 45^\circ$ , nii et suurim valgus oleks siis, kui mineraali lõikeellipsi teljed on asetatud  $45^\circ$  nurgi nikolite võnkepindega, kuna valgus  $\alpha$  kahanemisega kahaneb nullini, kui  $\alpha = 0$ , nagu juba eespool nägime.

Kokkukõlas sellega näeme anisotroopse mineraali puhul, kui tema optiline telg pole paralleelne mikroskoopi läbiva kiirtekimbu teljega, et lauakese (koos mineraaliga) pöörämisel  $360^\circ$  võrra valgus kustub 4 korda, vahepeal suurenedes ja olles kõige heledam siis, kui pööre võrdub  $45^\circ$ -ga kustumisseisundist.

Senised arutlused ei puudutanud valguse lainepikkuse küsimust. Teatavasti koosneb harilik valge valgus mitme lainepikkusega värvilistest kiirtest. Harilik valge valgus, läbides anisotroopset mineraali, laguneb mitte ainult kaheks omavahel ristuvast suunas võnkuvaks kiireks, vaid kiirterühmadeks, kus igal lainepikkusel (värvusel) on erinev kiirus. Vastavalt peavad ka erineva kiiruste vahed igal värvusel kahes ristivõnkuvast kiires. Seepärast osutub mõne lainepikkuse amplituudide vahe  $a - a_1$  analüsaatorisse sattudes võrdseks nulliga, mispärast see värvus kustub, kuna paistma jääb ainult ülejäänud värvuste segu — mineraal näib värviliseks. Kui tarvitada hariliku valguse asemel ühevärvilist, siis värvus polarisatsioonimikroskoobis ei muutu, vaid ta mineraali pöörämisel ainult heleneb, või tumeneb, kuni kustub.

### Õhikud (lihvid).

Mineraalidest on suurem osa läbipaistvad, vähemalt õhukestes lehekestes — õhikutes ehk lihvides, nagu neid harilikult tarvitatakse mikroskoopilistel vaatlustel. Kuid on ka läbipaistmatuid mineraale. Harva võib mineraali kristallikest, tera või kildu asetada mikroskoobilauale ja uurida loomulikul kujul. Harilikult lihvitakse tal vähemalt üks pind tasaseks. Lihvimiseks võetakse mineraalist löödud kild või lõigatakse mineraalist teemandipuru, karborundumi või smirglipulbriga kaetud ketassaega tarvilikus suunas plaadike. Tiirleval kettal, mis kaetakse jällegi mõne lihvimispulbriga, lihvitakse üks plaadikese külj siledaks. Kui mineraal on läbipaistmatu, siis see pind poleeritakse, kuna vastaspind jäetakse puutumata. Läbipaistval mineraalil liimitakse

küllaldaselt siledaks lihvitud pind soojendatud kanada palsamiga (või uuemal ajal tarvitusele võetud kolloliidiga) esemeklaasile. Edasi lihvitakse samuti teine pind, nii et mineraalikelmekese paksus on umbes 0,02 mm. See viimasena valminud õhiku külge kaetakse kanada palsami abil õhukese kateklaasiga. Peale vajalikku puhastamist ja pealkirjaga varustamist on esemeklaasile kinnitatud õhik valmis uurimiseks teda läbivas valguses, milleks ta paigutatakse mikroskoobilauakesele, kuhu ta tarbe korral kinnitatakse eriliste vedruodega.

### Vaatlemine mikroskoobis.

Enamik mineraalide vaatlusi mikroskoobis teostatakse vähe (10—20 korda) suurendavate objektiividega, kusjuures valgustus-aparaadist lülitatakse välja valgust ülemäära koondavad kondensoriläätсед, nii et valgus läbib õhiku enam-vähem paralleelsete kiirtena; see on nn. ortoskoobiline vaatlemine. Mõningaiks otstarveteks lülitatakse aga kondensor sisse ja võetakse tarvitusele tugeva suurendusega (50—700) objektiivid; see on konoskoobiline vaatlemine.

### Vaatlemine harilikus valguses.

Kui õhik sisaldab rohkem kui ühe mineraali, siis valitakse uuritava mineraali tera läbilõik ja asetatakse ta okulaari risti keskpaika (tsentreeritakse). Risti keskpaik peab ühtima mikroskoobi pööratava lauakese teljega, mida on võimalik saavutada eriliste kruvide abil. Kõige enne vaadeldakse valitud mineraali tera väljalülitatud analüsaatori puhul. Seejuures pannakse tähele, kas ta pind näib ühtlane (tasane) või näib omavat tunduvat reljeefi (valguskontraste). Kontrastseina näivad need mineraalid, millede murdumisindeks märksa erineb kanada palsami



Joon. 109.

omast (umbes 1,5); need, millede murdumisindeks on lähedane 1,5-le, näivad siledapinnalistena („loiu reljeefiga“). Kas vaadeldava mineraali murdumisindeks on suurem või väiksem teda ümbritseva kanada palsami või teiste mineraalide murdumisindeksist, nähtub sellest, kuspool mineraali piirdejoonest asetseb valgusvöö, nn. Becke joon. Selline valguse kuhjumine võöks toimub

suurema murdenäitajaga mineraali poolel (joon. 109). Eriti on Becke joon märgatav, kui objektiiv mikromeeterkruviga täpselt fookusasendist pisut ülespoole tõsta. Objektiivi allapoole nihutamise puhul rändab Becke joon väiksema murdenäitajaga mineraali poole.

Nagu eespool seletatud, oleneb anisotroopses mineraalis murdumisindeks suunast, milles teda mõõdetakse. Seepärast võib ka õhikus, kus mineraalitera on optiliste telgede suhtes juhuslikus asendis, tema kontrastsus olla suurem või väiksem, kuid üldise orientatsiooni murdumisindeksist annab ta siiski. Murdumisindeksi arvuline määramine toimub, kui seda tarvis on, kas füüsikas kirjeldatud prisma- või täieliku sisemise peegelduse meetodite järgi või asetatakse kristall kordamööda vedelikkudesse, millede murdumisindeksid on teada, ja antakse mineraalile selle vedeliku murdumisindeks, milles mineraali piirded näiliselt kaovad. Murdumisindeksi määramine selle immersioonmeetodi järgi on võimalik suure täpsusega, eriti monokromaatilises valguses ja kasutades Becke joont. Üksikute mineraalide kirjelduses antakse ka nende pea-murdumisindeksid.

Ilma analüsaatorita märgitakse ära ka 1) mineraali löike kuju, kui see pole juhuslik, 2) lõhed mineraalis — kas juhuslikud, paralleelsed või iseloomuliku nurga all lõikuvad —, ja 3) mikroskoopiliste võõrkehade, näit. teiste mineraalide, õhu või vedelikkude sisaldus, nn. suletised. Lõhede, piirdejoonte jne. vahelised nurgad mõõdetakse pöörates enne ühe neist joontest okulaarniidiga paralleelsesse asendisse ja siis teise; pöördlauakese limbusel märgitud nurkade vahe annab vajaliku nurga.

### Ortoskoobiline vaatlemine.

Analüsaatorit risti polarisaatoriga lülitades võime konstateerida, kas meil on tegemist isotroopse mineraaliga või ka anisotroopse mineraali isotroopse või anisotroopse löikega. Isotroopsust konstateerime, kui pööramisel mineraal jääb tumedaks kogu 360°-lise pöörde ajal. Kindlaks teha ortoskoobis, kas meil pole mitte juhuslikult käes anisotroopse mineraali optilise teljega risti olev õhik, saab ainult siis, kui on võimalik õhikut kallutada. Isotroopne mineraal jääb pööramisel tumedaks ka kalakasendis, kuna anisotroopne sellisel korral täie pöörde kestel 4 korda valgeneb ja 4 korda pimeneb. Pimenemine toimub siis,

kui õhiku lõikeellipsi teljed ühtivad nikolite võnkepindadega. Kui õhikul on näha mineraali piirdeid või lõhesid, on kasulik määrata nurk nende ja leitud telgede suundade vahel; see annab ka tunnuse mineraali määramiseks.

\*Kui on kindel uuritava optiliselt anisotroopse kristalli peasuund, siis on ortoskoobiliselt võimalik määrata, kas ta on 1) üheteljeliste ning rombliste kristallide rühmast või 2) monokliinne või 3) trikliinne. Esimesel juhul kristall pimeneb, olles oma peasuunaga paralleelne ühe nikoliga (õige kustumine); monokliinsetel on ortotelje vöös kustumine samuti õige, kuid teistes suundades viltu, s. t. pimenemine toimub sel juhul, kui peasuuna ja nikolipinna vaheline nurk erineb  $0^\circ$  või  $90^\circ$ -st. Trikliinsetel kristallidel on pimenemine alati nurga all mõne serva ja nikoli vahel (viltu kustumine).\*

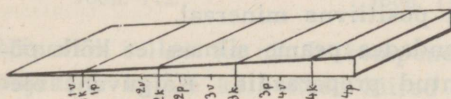
Reeglina anisotroopne kristall käitubki ristinikolite puhul selliselt, seda põhjustel, mis on käsitletud varemalt (vt. lk. 80—81). Kuid harilikku valgust tarvitades näeme, et mineraal osutub värviliseks (lk. 82). Missugune värvus esile tuleb, oleneb sellest, kui palju üks kahest mineraalis tekkivast kiirest teisest ette jõuab.

Valgus, mille  $\lambda = cT$  tühjuses (või õhus), säilitab kristallis ainult võnkesageduse või ühe võngu kestuse  $T$ ; kiirus muutub ja on erinev kummalgi kiirel, milledeks valgus mineraalis jaguneb:  $v_1 = \frac{c}{n_1}$  ja  $v_2 = \frac{c}{n_2}$ , kus  $n_1$  ja  $n_2$  on vastavad murdumisindeksid. Kumbki kiir vajab õhiku paksuse  $d$  läbimiseks sekundeid:  $\frac{d}{v_1} = \frac{n_1 d}{c}$  ja  $\frac{d}{v_2} = \frac{n_2 d}{c}$ ; üks jõuab teisest ette  $\frac{d}{c}(n_2 - n_1)$  sekundi võrra ja selle võidetud ajaga suudab õhus, teel analüsaatorisse, edasi liikuda  $c \cdot \frac{d}{c}(n_2 - n_1) = d(n_2 - n_1)$  pikkusühikut või  $\frac{d}{\lambda}(n_2 - n_1)$  laine pikkust. Selle vahe võrra jääb aeglasem kiir maha, jõudes analüsaatorisse, kus ta kiirema kiirega interfereerub. Nagu nägime (lk. 81), on ristinikolite puhul mineraalist tulevate amplituudide suunad vastupidised. Et nad teineteist kõvendaksid, on tarvis, et nende faaside vahe oleks  $(n + 1)\frac{\lambda}{2}$ , kus  $n$  on null või paarisarv. Kui nüüd  $\frac{d}{\lambda}(n_2 - n_1)$  võrdub  $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda \dots$ , siis näeme analüsaatoris valgust, nimelt värvingus, nagu see on omane laine pikkusele  $\lambda$ . Kui vahe  $\frac{d}{\lambda}(n_2 - n_1)$  on võrdne  $\lambda, 2\lambda, 3\lambda \dots$ , üldse täisarvuliste laine pikkustega, siis kustub valgus.



Kui mineraali läbiv valgus koosneb mitmesugustest lainepikkustest (harilik valgus), siis mõnede jaoks neist jätkub õhiku paksusest  $d$ , et ühe ja teise kiire käiguvahe analüsaatoris võrdub paarisarvulise  $\frac{\lambda}{2}$ -ga — need kiired kustuvad. Kõige rohkem pääsevad mõjule lainepikkused, millede jaoks käiguvahe võrdub  $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda$  jne., kuna vahepealsete lainepikkustega värvused esinevad enam-vähem summutatuina, kuid kõik kokku annavad teatava segavärvuse. Nii ilmnebki kristall mikroskoobis värviliseks ja värvus on heledam, kui mineraali optilise ellipsi teljed on asetunud nikolipindade suhtes  $45^\circ$  nurgi. Paralleelsete nikolite puhul on värvus täiendav värvusele ristinikolite puhul.

Kui muutub murdumisindeksite vahe  $n_2 - n_1$  või, nagu öeldakse, kaksikmurdumise määr, siis esinevad sama õhiku paksuse  $d$  puhul ka teised värvused. Sama kaksikmurdumise määra puhul muutuvad nad õhiku paksusega. Värvused korduvad teatavas järjekorras; iga korduv seeria kannab järje nimetust. Esimene järg ulatub mustalt üle halli, valge, kollase, oranži ja punase kuni nn. tundliku purpurini, mida iseloomustab see, et temas puuduvad silmale kõige heledamana tunduvad (kollakasrohelised) kiired:  $\lambda = 5510 \text{ \AA}$ . Teine järg ulatub sellest purpurist üle sinise, roheline, oranži, punase ja tume-lillakas-punase sinakaslillani, millega algab kolmas järg. Ka seda üleminekut iseloomustab jällegi see, et siin  $5510 \text{ \AA}$  pikkustel lainetel ilmub parajasti kahekordse laine pikkune käiguvahe, mispärast nad kustuvad. Neid järgi võib paksude õhikute puhul jälgida 8-ni, kus eri värvusi palja silmaga enam märgata ei ole, ja mineraal näib tuhmvalgena. Joonisel 110 on diagramm, kus on antud värvuste järjed sõltuvuses kaksikmurdumise suuruselt (põikjooned) ja õhiku paksusest (püstjooned).



Joon. 111. 1k, 2k, 3k... punktid kiilul kus käiguvahe kollaseile kiirtele on  $1\lambda, 2\lambda$  jne.; 1v, 2v, 3v... punktid, kus sama toimub violettkiirtele; 1p, 2p, 3p... sama punastele kiirtele.

Kõiki neid värvusjärke võib korraka näha, kui vaatlusobjektiks võtta anisotroopsest mineraalist (ränist, kipsisist) valmistatud lame kiil (joon. 111). Sel juhul leidub iga eri värvuse jaoks mõnes kiilu lühema servaga paralleelses ribas säärane paksus,

kus käiguvahe on  $\lambda, 2\lambda, 3\lambda$  jne., mispärast need värvused kustu-

vad ning ilmneb täiendav (komplementaarne) värvus. Joonisest ühtlasi selgub, miks värvused järgedes täpselt ei kordu: kogu laine pikkuse käiguvahe saamine toimub eri värvustele eri järgedes suhteliselt teistega eri kohal.

Teades õhiku paksust ja määrates mikroskoobis esineva värvuse järgi koha diagrammi (joon. 110) abstsissil, leiame kaldjoonel, mis läbib viimase abstsissi ja õhiku paksuse lõikepunkti, mineraali kaksikmurdumise määra. Kuid võib tekkida kahtlus, kas meil on tegemist näit. 2., 3. või 4. järje rohelisega, 1. või 2. järje oranžiga. Et selles veenduda, võtame appi räni- (või kips-) kiilu. Asetades mineraali optilise ellipsi teljed  $45^\circ$  asendisse, nihutame analüsaatori all olevasse mikroskoobi tuubi pilusse ränikiilu, mille pikiküljega on paralleelne kiirema kiire võnkepind ja kiilu teraga aeglasema kiire võnkepind. Kui nüüd õhiku ja kiilu suurima ja väikesima kiiruse suunad ühtivad, näeme kohtadel, mida katab kiil, värvuse muutumist kõrgemajärjesteks, sest õhikus saadud käiguvahe suureneb kiilus veelgi. Pöörates õhikut  $90^\circ$  võrra asetame tema suurima ja väikesima kiiruse suunad vastupidi neile suundadele kiilus; kiilu mõjul etterutanud kiire käiku aeglustatakse ja mahajäänu oma kiirustatakse, mistõttu analüsaatorisse jõudes käiguvahe väheneb ja võib alaneda nullini: värvuste järg alaneb mustani, kust siis on kerge kiilu paksemale poole minnes arvutada mineraalis ilma kiiluta ilmuva värvuse järge.

See katse kiiluga annab ühtlasi võimaluse määrata suunda, milles toimub kiirem või aeglasem valguse levimine kristallis. Kui koos sellega on võimalik määrata (mineraali piirete kuhu järgi) heksagoonse või tetragoonse mineraali puhul optilise telje suunda, siis võime öelda juhul, kui suurim kiirus on peatelje suunas võnkuval valgusel, et siis on meil tegemist negatiivse kristalliga, kuna peateljega risti võnkuva (harilik kiir!) valguse suurima kiiruse puhul meil on positiivne mineraal.

\*Joon. 110 diagrammi rakendades peame silmas, et kõik põhineb käiguvahe määramisel antud preparaadis. Käiguvahe oleb 1) substantsist endast, s. t. kaksikmurdumise suurusel, mille määramine on meie sihiks; 2) preparaadi paksusest, ning 3) preparaadi orientatsioonist optiliste suundade suhtes. Kasulikum asend on paralleelne peasuunaga.

Edukalt tarvitatud ja lihtne kaksikmurdumise määramise meetod põhineb immersioonimeetodil. Kuid selleks on vaja kahte

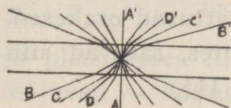
preparaati: üks peab olema risti optilise teljega, teine sellega paralleelne. Mõõtmist tuleb toimetada homogeenses valguses.\*

Kiilu asemel tarvitatakse samaks suurima või väikesima kiiruse suuna määramiseks ka 1)  $\frac{1}{4}\lambda$  vilkplaadikest või 2) 1. järje punase kipsplaadikest. Nimetuse kohaselt on esimene muskoviidist lõhestatud 0,022 mm paksune klaasile liimitud leheke, mis kollaste kiirte jaoks annab  $\frac{1}{4}\lambda$ -lise käiguvahe, näidates seetõttu ristnikolite vahel 1. järje sinakashalli värvust. Lehekest kandval klaasil on märgitud, millises suunas on suurim või väikesim kiirus. 0,055 mm paksune kipsplaadike näitab 1. järje purpurvärvust. Mõlemad plaadikesed näitavad kas värvuste alanemist 1. järje või kõrgenemist 2. järje, kui plaadikesed asetada, nagu ränikiilgi, mikroskoobi pilusse uuritava õhiku kohale. Selle järgi võib siis jällegi otsustada, kas suurim ja väikesim kiirus lihvis on samas suunas kui plaadikestel või vastupidi.

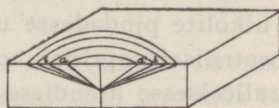
### Konoskoobilised vaatlused.

Asetame mikroskoobi lauakesele õhiku, mis on välja lõigatud üheteljelisest mineraalst risti optilise teljega.

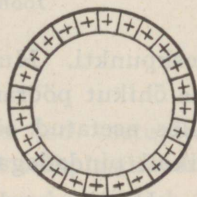
Lülitades mikroskoobi peegli ja lauakese vahele kondensorläätsed, mis muudavad valguskiirte kimbu järsk-kooniliselt koonduvaks, sunnime kiiri läbima õhikut põiki teljega, kus kiired jagunevad kaheks ja kiirte (joon. 112) teepikkused on sõõride kaupa



Joon. 112.



Joon. 113.



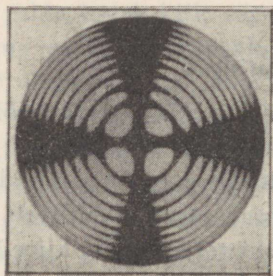
Joon. 114.

erinevad, sellest ka nende komponentide käiguvahed. Mikroskoobi objektiiv kogub kõik need kiired kokku oma fookuse tasapinda, kust nad lähevad edasi analüsaatorisse.

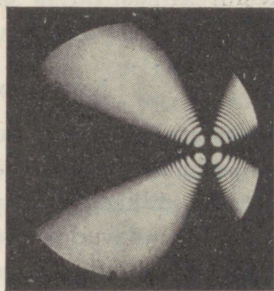
Olgu  $AA'$  optilise telje suund. Sellesuunalised kiired kustuvad analüsaatoris ja annavad keset vaatevälja musta täpi. Õhikut põiki läbivad kiired annavad sõõrikaupa (joon. 113) ühesuguse käiguvahega kiirtepaare. Kui vaatleme ühevärvilise valgusega, mille lainepikkus on  $\lambda$ , siis mingis teljele ligemas sõõris  $aa'$  võib

käiguvahe olla parajasti  $\frac{\lambda}{2}$ , mispärast sellest ringist tulev valgus tugevneb ja annab heleda ringi. Järgmises sõõris  $bb'$  on käiguvahe  $\lambda$  ja meile ilmneb vastavalt must ring. Käiguvahe  $1\frac{1}{2}\lambda$  juures saame jälle heleda ja  $2\lambda$  juures jälle musta ringi jne.

Iga senivaadeldud sõõriosakest (joon. 114) võib mineraalis vaadelda kui optilise teljega viltu väljalõigatud õhikut, milles hari-lik kiir võngub radiaalses ja ebaharilik temaga risti sihis ja mida läbivad paralleelsed (osakese väiksuse tõttu) kiired. Kohaldades ortoskoobilise vaatlusviisi juures (vt. lk. 84) saadud tulemusi leiame, et neis osakestes, millede võnkepinnad on paralleelsed nikolitega, peab valgus kustuma. Seepärast ilmubki nikolite võnkepindade sihis vaateväljal 2 ristiolevat musta riba, mis lõikavad läbi heledad ja tumedad ringid, mis ümbritsevad musta



Joon. 115.



Joon. 116.

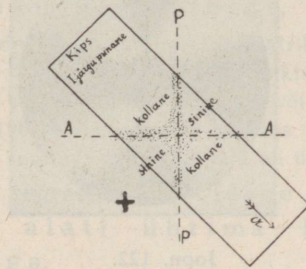
keskpunkti. Mustadest ribadest moodustuv rist püsib paigal, kui me õhikut pöörame: nikolite pindadesse uuesti sattuvad osakesed, olles asetatud sümmeetriliselt optilise telje suhtes, satuvad siin nikoli pindadega paralleelsesse asendisse (joon. 115).

Hariliku valguse puhul toimub eri värvi kiirte kustumine eri sõõrides; ülejäänud värvused annavad segavärvuse, mis moodustab ringi. Järgmises ringis on kustunud mõni teine värvus ning näeme uut värvust — ringid kujunevad värvilisteks, punasega seespool, rohelisega väljaspool.

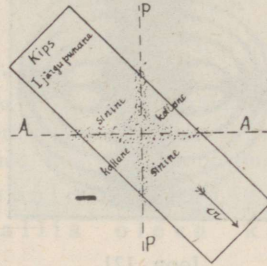
Kui konoskoobis vaadelda üheteljelisi mineraale, millede lõige pole täpselt risti optilise teljega, siis nihkuvad rist ja ringide keskpunkt vaatevälja serva poole (joon. 116); kui aga lõikepind moodustab optilise teljega veelgi teravama nurga, siis jääb vaateväljale ainult üks tume riba mõne ringiosaga. Optilise teljega

paralleelsed löiked näitavad konoskoobis kaht tumedat vihku, mis koonduvad kustumisasendis.

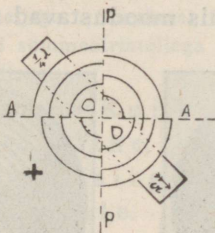
Kui üheteljelise mineraali õhik on teljega risti, siis ei saa ortoskoobis preparaati kallutamata määrata, kas ta on positiivne või negatiivne. Konoskoobis on see võimalik. Nimelt tarvitades 1. järje punase kipsplaadikest saame teljepildis musta risti keskpaigas joonisel 117 positiivse ja joonisel 118 negatiivse mineraali jaoks näidatud värvuste asetuse; sest seal, kus käiguvahed õhikus



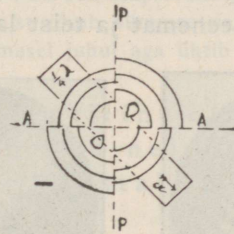
Joon. 117.



Joon. 118.



Joon. 119.

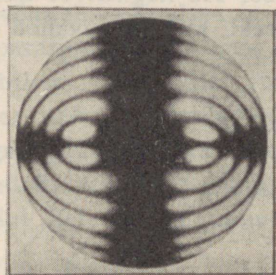


Joon. 120.

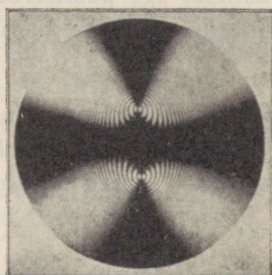
ja plaadikeses liituvad, ilmub sinine värvus, kus nad vastupidi mõjuvad — kollane. Samuti võib tarvitada ka  $\frac{1}{4}\lambda$  vilkplaadikest; sel juhul positiivse mineraali puhul ringid laienevad ja ilmub 2 musta punkti seal, kuhu suundub plaadikese kiirema võnke pind (plaadikesel märgitud noolega ja tähega  $\alpha$ ). Negatiivse kristalli puhul tuleb säärane nähtus ilmsiks vilkplaadikese aeglasema kiiruse suunas (joon. 119 ja 120).

Kahe optilise teljega mineraale liigitatakse ka positiivseiks ja negatiivseiks. Positiivne on mineraal, kui optiliste telgede väikesima nurga poolitajaks (nn. teravaks poolitajaks) on indikaatriksellipsoidi pikem telg, ja negatiivne, kui poolitajaks on lühem telg. Kui optiliste telgede nurk mineraalis

on küllalt väike ja õhik on valmistatud risti terava poolitajaga, ilmub konoskoobis nõrga kaksikmurdumise puhul pilt, nagu kujutatud joonisel 121, ja tugeva kaksikmurdumise puhul, nagu kujutatud joonisel 122. Hariliku valguse puhul on ringid ja jooned neil joonistel mitmevärvilised. Kaks punkti, mis vastavad optiliste telgede väljumispunktile, on ümbritsetud kõverjoontega —

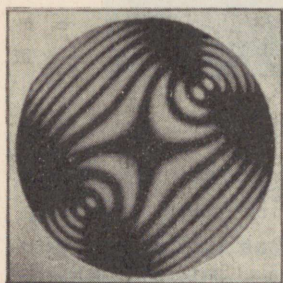


Joon. 121.

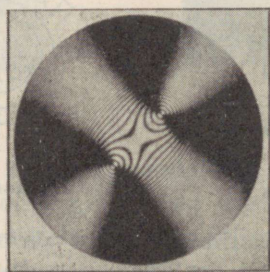


Joon. 122.

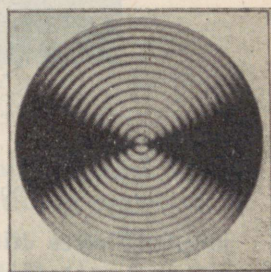
lemniskaatidega. Kui optiliste telgede tasapind ühtib mõne nikoli pinnaga, näeme veel kaht vaatevälja piiri poole laienevat musta riba — üht peenemat ja teist laiemat, mis moodustavad risti. Kui



Joon. 123.



Joon. 124.



Joon. 125.

õhikut pöörata, laguneb rist ja annab kaks hüperbooliharu, nagu näidatud joonistel 123 ja 124, sel puhul, kui optiliste telgede pind moodustab nikolipindadega  $45^\circ$ .

Kui õhiku pind on optiliste telgede nurgapoolitaja suhtes viltu, ilmub teljepilt moonutatuna. Kui õhik on paksem, siis ilmub kõrgema järgu valge värvus, mis pärast teljepilti polegi näha.

Kui õhik on valmistatud risti ühega optilistest telgedest, on

teljepilt sarnane joonisega 125: ellipsi- või ringitaolisi jooni lõikab ainult üks tume riba, mis pöörduv ühes õhikuga, kuid vastupidises suunas.

### **Optilise ellipsoidi ja sümmeetriaelementide vahekord. Optiliste telgede nurk.**

1. teoreem: Risti kolmik-, nelik- või kuuikteljel võib asetseada ainult optilise indikaatriksi ringikujuline lõige.

Üldjuhul on optilise indikaatriksi lõige ellips ühe pikema ja ühe lühema teljega. Kolmik-, nelik- või kuuiktelg nõuavad, et nendega risti olevad üheväärsed suunad korduksid 3, 4 või 6 korda. Nii peaks korduma ka ellipsi suurim (või väikesim) telg niisama palju kordi. Seda nõuet saab täita ainult siis, kui suurim ja väikesim telg on ühepikkused, s. o. kui lõige on ringikujuline.

2. teoreem: Optilise ellipsoidi mingi peatelg peab alati ühtima kristallis oleva kaksikteljega.

Oletame, et pikem ellipsoiditelg lõikab kaksiktelge kaldnurgi. Nüüd tuletame seda pikemat telge kaksiktelje ümber pöörates veel teise pikema ellipsoiditelje, mis on võimatu. Samuti ei saa lühem ellipsoiditelg olla kaldnurgi sümmeetriateljega. Seepärast kas üks neist ühtib sümmeetriateljega või nad on mõlemad sümmeetriateljega risti. Viimasel juhul aga ühtib sümmeetriatelg keskmise teljega.

3. teoreem: Kui kristalli optiline ellipsoid on kolmeteljeline, siis peab üks neist telgedest ühtima ristsirgega igale kristallis esinevale peegelpinnale.

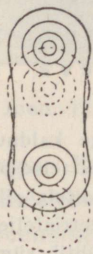
Ellipsoidi peateljed on ainsad, mispärast igäüks neist peab kas lamama peegelpinnas või olema temaga risti, sest muidu peegeldus annaks teise samasuguse telje, mis on võimatu. Kui aga kaks telge asetsevad peegelpinnas, on kolmas temaga risti — mida tõestabki teoreem.

Nende teoreemide põhjal veendume veel kord, et kuubilises süsteemis, kus on 4 ristuvat kolmiktelge, on optiliseks ellipsoidiks kera, heksagoonses ja tetragoonses süsteemis on selleks pöördellipsoid, ringikujulise lõikega risti peateljega. Mingit erinevust sümmeetriaklasside järgi siin optilistes omadustes ei ilmne. Muidugi, nii kuubilistes kui ka heksa- ja tetragoonseis mineraales vastab igale valguse värvingle eri ellipsoid, kuid nende kõigi teljed ühtivad.

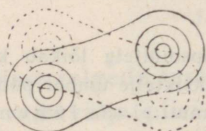
Kolmikteljeline ellipsoid on omane rombilinele, monokliinsele ja trikliinsele süsteemile. Rombilises süsteemis on kolm

üksteisega ristuvat telge — kas kaksikpöördtelge või suunda, mis on risti kahe peegelpinnaga. Nende kolme teljesuunaga peavad ühtima ellipsoidi teljed. Kuid siin võib esineda kristalle ka mineraalide seas, milledes terav poolitaja mõne värvuse jaoks muutub tõmbiks poolitajaks või kus koguni optiliste telgede pind mõne värvuse jaoks on risti teiste värvuste telgede pinnaga.

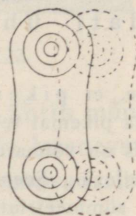
Monokliinises süsteemis on optiline ellipsoid seotud ainult üheainsa sümmeetriateljega (II koordinaattelg) või ristsirgega peegelpinnale; peegelpinnas (või üldse risti kaksikteljega) võivad siis kaks teist ellipsoiditelge asetseda täiesti vabalt. Kui optilistest telgedest ühtivad peegelpinnaga suurim ja väikesim, siis võib igal värvusel olla oma terav poolitaja, ja teljepilt oleks näit. sarnane joonisega 126 (viltune dispersioon). Kui suurim



Joon. 126.



Joon. 127.



Joon. 128.

või väikesim telg ühtib II teljega, siis on teljepilt kas säärane, nagu joonisel 127 (ristis dispersioon), või säärane, nagu joonisel 128 (horisontaalne dispersioon, kui II teljega ühtib tõmp poolitaja).

Trikliinises kristallides, kus puuduvad sümmeetriateljed ja peegelpinnad, pole ellipsoid millegagi seotud. Kuid igale mineraalile on ellipsoidi asend teatavate tahkude suhtes siiski iseloomustav.

Kaheteljelistes kristallides on igal värvusel eri teljeasend ja telgedevaheline nurk  $V$  võib olla ühe värvuse jaoks suurem, teise jaoks väiksem. See tunnus on iseloomustav ka mineraalile. Seda tunnust nimetatakse optiliste telgede dispersiooniks. Tema märkiks on  $r > v$ , kui nurk punaste kiirte telgede vahel on suurem kui violettkiirte vahel, vastasel juhul  $r < v$ . Kuidas lugu on, nähtub konoskoobilisel teljepildil: kui teljepind asetseb  $45^\circ$  nurgi nikoli-pinnaga, on optilist telge tähistav tume hüperbool oma välisküljel

kas punane (siis on  $r > v$ ) või violett ( $v > r$ ). (Värvused ilmuvad telje väljatuleku kohal täiendusvärvustena kustuvaile värvuste.)

Kaheteljeliste mineraalide telgedevaheline nurk  $V$  leitakse valemist:

$$\cos \frac{v}{2} = \frac{\alpha}{\beta} \sqrt{\frac{\gamma^2 - \beta^2}{\gamma^2 - \alpha^2}},$$

kus  $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $\gamma$  on murdumisindeksid (väikesim, keskmine ja suurim). Kuid seda nurka võib ka mõõta. Fedorovi lauakesega varustatud ortoskoobilises mikroskoobis saadakse nurga suurus lihtsalt — mõõtes vastaval limbil nurga, mille võrra tuleb kallutada õhikut, et viia okulaarniitude-risti alla ühe telje väljumispunkti asemel teise telje väljumispunkt. Et aga valguskiir õhikust väljudes õhikus olnud (telje suunale vastavast) suunast kõrvale kaldub ning õige nurga  $V$  asemel annab suurema nurga  $E$ , tuleb õige nurk arvutada valemi järgi:  $\sin V = \frac{1}{\beta} \sin E$ , kus  $\beta$  on keskmine murdumisindeks.

Konoskoobis võib samuti juhul, kui mikroskoop on varustatud okulaarmikromeetriga ja õhiku teljepildil on näha mõlema telje väljatuleku-punktid, mõõta mikromeetri ühikuis näilise kauguse nende punktide vahel, mille põhjal, arvestades mikroskoobi suurendust ja õhiku murdumisindeksit, võib arvutada nurga  $V$ .

### Ringpolarisatsioon.

Mõned kristallid enantiomorfsetest kristalliklassidest erinevad selle poolest, et nende optilise teljega risti olevad lõiked ei tumene ristiniכולite vahel. Tumenemine (ühevärvilises valguses) toimub ainult siis, kui analüsaatorit teatava nurga võrra pöörata kas paremale või vasakule poole, nii et polarisaatori ja analüsaatori vaheline nurk ei ole enam  $90^\circ$ , vaid väiksem. Teoreetiliselt seletatakse seda sellega, et säärases mineraalis ei levi polariseeritud valgus optilise telje suunas mitte samas suunas võnkuvana, nagu ta tuli polarisaatorist, vaid laguneb kaheks ringikujuliseks liikumiseks, milledes liikumine ühes suunas (paremale või vasakule poole) toimub kiiremini kui teises. Seetõttu ilmub kristallist väljuv, nende kahe ringikujulise liikumise resulteeriva, polariseeritud valguse võnkepind sissetuleku võnkepinnast ärapööratuna. Et seda valgust kustutada, peab analüsaatori temaga risti seadma, s. o. sama nurga võrra pöörama.

Mida paksem õhik, seda suurem on pöördenurk. Ränil, milles sellist nähtust kõige enne tähele pandi, on pöördenurk 1 mm paksuse puhul: punastele kiirtele  $15,7^{\circ}$ , kollastele  $21,7^{\circ}$ , lilladele  $32,8^{\circ}$ . Kinaveril on need nurgad 15 korda suuremad. Harilikult valguse puhul ei ole säärase mineraali risti optilise teljega valmistatud õhiku puhul üldse võimalik saada pimedust, vaid nii õhiku kui ka analüsaatori pööramisel püsib vaateväli värvilisena — muutuvais värvustes.

Konoskoobilisel pildil säärastel mineraalidel keskmine tume rist puudub; selle asemel on valgus ühevärvilise valguse puhul sama värvi nagu valgus, millega valgustatakse; harilikult valguse puhul — ühe- või teisevärviline, olenevalt õhiku paksusest. Kui tarvitada  $\frac{1}{4}\lambda$  vilkplaadikest, muutub teljepilt kaheks spiraaliks, mille pöördesuund näitab kristalli pöördesuunda.

Mõned ränikristallid pööravad polarisatsioonipinna paremale, teised vasakule poole. Neid kristalle saab eristada ka nende välimuse järgi, nimelt positiivse trapetsoedri tahu asendi järgi kas paremal või vasakul pool pea-romboedri tahust. Kui asetada teineteise peale 2 ühepaksust raniõhikut, üks vasak- ja teine parempoolse pöördega, saame konoskoobis 4 spiraali, mis väljuvad ühest tumedast keskpunktist; spiraalide keerdumissuund näitab alumise (polarisaatorile lähema) rani pöördesuunda.

### Läbipaistmatud mineraalid.

Teatav arv mineraale absorbeerib neisse tunginud valguse täielikult — nad on läbipaistmatud.

Seesuguseid mineraale ja aineid võib samuti uurida mikroskoobi all neist peegelduva valguse abil. Selleks valmistatakse neist ühelt poolt hästi poleeritud õhikud, mida valgustatakse pealt kas polariseeritud või harilikult valgusega nn. opaakilluminatori abil, mis asetatakse objektiivi ja analüsaatori vahele ja mis mikroskoobi kõrval asetsevast valgusallikast juhitud täispeegeldus-prisma abil valguse läbi objektiivi perpendikulaarselt õhikuga. Õhikult reflekteeritud valgus laseb määrata uuritava objektis tema värvust ja peegeldusvõimet. Kui neis omadustes on erinevusi suundade järgi, siis teame, et mineraal on anisotroopne. Kui tarvitada mõlemaid nikoleid, muutub vaateväli värviliseks, mille iseloom samuti võimaldab eristada isotroopseid objekte anisotroopseist. Mõnedel mineraalidel, mis on val-

gusele läbitavad väga õhukestes kihikestes, liitub reflekteeritud valgusega veel „sisemine refleks“ — mineraali värvus läbivas valguses, harilikult pruun või punakas värvitoon.

Tarbe korral niisutatakse säärast mineraali poleeritud pinda sööbivate vedelikkudega ja vaadeldakse neid jälgi, mis jäävad pinnale; need on sageli väga iseloomustavad mõnele mineraalile. Neile tunnustele lisanduvad veel tähelepanekud, kuidas ja kui kergesti mineraal ennast lihvida annab; peale kõvaduse saame seejuures andmeid ka poorsuse ja muu struktuuri kohta.

### **Optilised anomaaliad.**

Ruumvõred, milledest koosneb mineraali aines, on sageli rikutud kas mineraali seaduspärasesse keemilisse koostisse võõraste aatomite sattumise, mehaaniliste pingete või elektrilis-magnetiliste mõjustuste tagajärjel. Seepärast esinebki mineraalide optilistes omadustes kõrvalekaldumisi, mis ei sobi mineraali välimuses ja muis omadustes väljendatud sümmeetriaga. Nii võib kuubilisse kristallograafilisse süsteemi kuuluvatel mineraalidel sageli leida löikeid, mis on optiliselt anisotroopsed. Samuti omavad mõned heksagoonsed ja tetragoonsed mineraalid peatelje suunas kaksikmurdumist. Sageli on mõned mineraaliosad anomaalsed, kuna ülejäänud osad esinevad optiliselt normaalsetena: mineraal jaguneb erinevaiks laikudeks.

Eriti sageli on anomaaliaid tähele pandud kivisoolas, teemandis, granaadis, tsirkoonis, vesuviaanis, turmaliinis ja berüllis.

### **Muud optilised omadused.**

#### **Mineraali värvus.**

Mineraali värvus on esimesi omadusi, mida tema juures tähele pannakse. Värvus määratakse harilikult palja silmaga, ilma eriliste aparaatideta. Mineraali värvus oleneb sellest, missuguseid kiiri ta absorbeerib ja missuguseid reflekteerib. Mõnel mineraalil erineb reflekteeritava ja läbilastava valguse värvus tunduvalt.

Osale mineraalidest on värvus iseloomustav: nad on omavärvilised, nagu näit. malahhiit (roheline), teised võivad esineda mitmes värvuses, nii et neid sageli ainult värvuse järgi määrata ei saa. Tihti annab mineraalile värvuse mõni mineraali ollusele

lisandunud võõras aine. Ka neist juhtudest tuleb eraldada rühm, kus säärane võõraine lisandumine ja sellest olenev värvus on oluline, näit. ametüstil lilla värvus, sest puhas siliitsiumoksüüd, mis on ametüsti koostisaineks, on vesiselge, värvusetu ja esineb looduses mäekristallina. Üldse võib mineraal sisaldada nii suurel määral võõrainet, et määravaks kujuneb ainult viimase värvus. Võõraine absorbeerimisvõime võib nii suur olla, et mineraal muutub läbipaistmatuks.

Paljud mineraalid, mis suures tükis on läbipaistmatud, lasevad valgust läbi õhukestes osades, näit. servades; neid nimetataksegi läbipaistvaks servades. Õhikus (umbes 0,02 mm paksuselt) on aga enamik mineraale läbipaistvad; mõned lasevad mõningaid kiiri läbi ainult veelgi õhema kihina.

Reflekteeritud valguse hulk on mineraali murdumisindeksist ja absorptsiooni suuruselt. Mida suuremad on mõlemad, seda rohkem valgust reflekteerub. Teemant peegeldab tagasi  $\approx 20\%$  risti tema pinnale langevaist kiirtest, räni  $\approx 4\%$ , vask (kollaseid kiiri)  $73\%$ , hõbe  $\approx 90\%$ . Pinnale risti langevat ja peegelduvat valgust saab mõõta ainult tasapinna puhul; kui mineraali pind on ebatasane, krobeline, siis reflekteerub valgus igas suunas. Pinna seisukorrast on sageli ka mineraali värvus. Tihti on mineraali pind kaetud väga õhukese kihiga, mis on kas murenenud (oksüdeerunud) mineraalist enesest või mõni teine mineraal; selline kestake võib olla nii õhuke, et temas murduvad kiired annavad vikerkaarevärvusi (Newtoni rõngaste printsiip).

### Kriips.

Peenikese puruna (pulbrina) esineva mineraali värvus näib teisena kui mineraalil suures tükis — reflekside tõttu, mis ilmnevad pulbris. Kuid paljudele mineraalidele on see värvus iseloomustav. Toimitakse nõnda: võõpamata portselanplaadikesele (nn. biskviidile) tõmmatakse proovitava mineraaliga kriips. Portselani kõvadus on enamiku mineraalide kõvadusest suurem, biskviidipinna konarused hõõruvad mineraali pulbriks, mis jääb kriipsuna biskviidile. Enamiku silikaatide kriips on valge. Kuid mõningate sulfiidide ja oksüüdide kriipsud on oma värvuselt iseloomustavad; näit. võivad väliselt väga sarnased olla pürolusiidi, hematiti ja limoniidi palad, kuid esimesel on kriips must, teisel pu-

nane, kolmandal kollakaspruun. Ehedad metallid annavad läikiva kriipsu.

\*Väärtuslikke näpunäiteid annab ka kriipsude proovimine ha-  
petega ja leelistega, võimaldades teha järeldusi keemilise koos-  
tise kohta.\*

### Pleokroism.

Anisotroopseis mineraalides on suundade järgi sageli erine-  
vad mitte ainult murdumis-, vaid ka absorptsiooniindeksid. See-  
pärast on ka neid eri suundades läbiv valgus erivärviline. Heksa-  
ja tetragoonseis mineraalides on võimalik, et optilise telje suunas  
vaadatuna mineraal omab üht värvust, risti teljega — teist, näit.  
turmaliin, berüll. Rombilistes, mono- ja trikliinseis mineraalides  
võib olla kolme telje suunas kolm erinevat värvust, mis vahepeal-  
setes suundades annavad segavärvusi, nii et nende suhtes on õige  
nimetus pleokroism (paljuvärvilisus), millega tähistatakse  
seda nähtust. Üheteljelistel mineraalidel esineb dikroism, kahe-  
teljelistel trikroism.

Mikroskoobis võib pleokroismi jälgida väljalülitatud analü-  
saatori puhul, pöörates lauakest mineraaliga: iga  $90^\circ$  järel ilmub  
uus värvus. Eriline luup, nn. Haidingeri dikrooskoop, või-  
maldab näha kaht värvust kõrvuti: vaadeldes niisuguse luubi läbi  
pleokrooitilist mineraali näeme luubi väikese ruudulise valguse  
sisselaske-ava kujutist kahekordselt, kumbki eri värvi. Luupi pai-  
gutatud kaltsiidikristall laseb mineraalilt tuleva valguse läbi kahe  
kiirena, harilikku ja ebaharilikku, mis vastavad kahele eri-võnke-  
suunalisele, s. t. ka erivärvilisele kiirele mineraalis.

Pleokroism on tähtis tunnus nii mõnegi mineraali mää-  
ramisel. Kaheteljelistest võib mainida rombist kordieriiti, mono-  
kliinset biotiiti ja epidooti kui suure pleokroismiga mineraale;  
amfiboolide eristamine augiitidest on hõlpus esimeste tugevama  
pleokroismi tõttu. Ka mõningate kalliskivide määramine võimal-  
dub pleokroismi vaatluste najal.

\*Pleokroismile lähedast nähtust kohtame värvuseta, läbipaist-  
vate kristallide seas, eriti kaltsiidil ja dolomiidil. Et neis aineis  
erakorralise ja korralise kiire absorptsioon on erinev ( $\epsilon$  puhul  
on ta väiksem), siis tuleb see ilmsiks ühe nikoliga vaatlemisel  
objekti tumenemise ja helenemise näol selle pööramisele ühe nikoli  
puhul.\*

## Helendumine.

Selle nimetuse all mõistame mineraalide omadust levitada nähtavaid kiiri mõnesuguste mõjustuste tagajärjel. Fluorestsentsiks nimetame mineraali omadust emiteerida teist värvi (harilikult pikemalainelisi) kiiri, kui need, millega teda valgustatakse, ja toimida nõnda ainult kiiritamise ajal. Eriti mõjusalt ilmneb see nähtus rohekal või sinakal fluoriidil, mis fluorestseerub lillade kiirtega; sellest ka nähtuse nimetus. Fluorestsentsi kutsub välja ka kiiritamine nähtamatute ultraviolettkiirtega. Seda nähtust kasutatakse ka mäetööstuses: tsingimaak, mineraal villemiit helendub roheliselt ultraviolettkiirte mõjul; see võimaldab teda välja korjata ahtra puru seest, millega ta koos kaevandusest tuleb.

Fosforestsentsiks nimetatakse nähtust, kui mineraal helendub ka siis veel, kui teda enam ei kiiritata. Sääraseist mineraalidest nimetame teemanti, strontsiianiiti ja kriiti (= kaltsiiti).

Katood-fosforestsents ilmneb mineraali kiiritamisel katood- või röntgenikiirtega. Nende kiirte mõjul helenduvad paljud mineraalid, näit. sfaleriit, fluoriit, apatiit ja kivisool. Katood-fosforestsents hõlbustab muuseas kalliskivide määramist.

Luminescents — helendumine ilma kiiritamata — esineb kas soojendamise (termoluminescents) — teemant ja topaas helenduvad juba käesoojuse mõjul — või kuumutamise tagajärjel — näit. kaltsiiti tuleb kuumutada üle 100°. Helendumist võib välja kutsuda ka mehaaniline mõjustus — purustamine, murdmine, hõõrumine (triboluminescents), nagu vahel marmori, räni ja vilkivi puhul.

## Läige.

Läige oleneb mineraali valguse absorbeerimise võime, murdmisindeksi, pinna- ja seesmise struktuuri kogumõjust. Eristatakse mitut läiketüüpi. Läbipaistmatuile on sageli omane metalliläige. Viimast omab peale ehedate metallide ka enamik sulfiide. Läbipaistvad mineraalid on enamikus klaasiläikega. Kui aga mineraali murdmisindeks on kõrge, võib tal olla teemandidläige (peale teemandi näitena osalt väävel ja püromorfiit). Mõni näib nagu õliga kaetud olevat (eleoliit); mõnel helgib pind vikerkaarvärvisis, nagu pärlmutril, — need omavad pärlmutriläiget, mida põhjustavad üliõhukesed paralleel-

sed kestakesed, millede vahel on õhk (näiteks kips). Kui mineraal on kiuline, võib ta omada siidiläiget, näiteks asbest. Läiget nimetatakse tuhniks, kui reflekteeruva valguse intensiivsus on väike.

Mineraalis väikeste osadena (litrikestena, kiududena) esinevad võörkehad, samuti ka peened lõhed põhjustavad erilisi valgusreflekse, mida nimetatakse sillerdamiseks, mis seisab selles, et mineraal helgib metallitaoliselt vaatenurka muutes muutuva valgusega, näit. brontsiit. Kui mineraalis tema pöörämisel nähtub nagu sädemeid, räägitakse aventuriseerimisest (mineraal aventuriin). Kui mineraalist helgib vaatenurga muutumisel mitmesuguseid vikerkaare värvitoone, siis on tegemist labradoriseerimisega (labrador, kallisopaal). Opaliseerimisega on tegemist sel juhul, kui mineraali läbipaistvus nõrgeneb seetõttu, et temas on udu kujul sadestunud (sageli kolloidseid) osakesi.

#### **\*Asterism.**

Puhtad ja vigadeta kristallid on mineraalide seas haruldased. Sageli, eriti hästi lõhenevates kristallides, on mõrakesi sümmeetrilises asendis. Ka suletised, mis jäävad kristalli sisse, asetsevad kristalli kasvades mineraalis sümmeetriliselt, rääkimata polüsünteesilistest kaksikutest, mis optiliselt anisotroopseis kristallides on eriti sagedad. Kõik need ühtlast struktuuri segavad asjaolud tulevad ilmsiks kristalli läbiva valguse difraktsioonis. Vaadeldes täpikujulist valgusallikat (küünlast jätkub) näiteks läbi vilkpladikese näeme kuuekiirelist monosümmeetrilist tähte, kuna kiired ise näitavad difraktsioonivärvusi.

Sama nähtus tuleb ilmsiks ka kristallide tahkudel esinevate söövituste ja löögikujude puhul, samuti peegeldatud valguses. Et siin on tegemist kristallisümmeetriast tingitud difraktsioonilise iseloomuga tähekujuliste valguskujudega, kannab see nähtus asterismi nimetust. Asterism annab õige kujutluse antud tahu ja suuna sümmeetriast. Vaatlustel tuleb kristall hoida silmale võimalikult lähedal.

Nähtava valguse ja suletiste vaherkord asterismi puhul on teataval määral analoogiline röntgenikiirte interferentsiga kristallvõredest Laue menetluse puhul.\*

### Muud füüsikalised omadused.

\*Optiliste omaduste arutamisel tuli ilmsiks seaduspärane vaherkord kristalli geomeetrilise sümmeetria ja ta füüsikalise sümmeetria vahel. On ilmne seadus, et füüsikaline sümmeetria üldiselt kas võrdub geomeetrilise sümmeetriaga kristallis või seda koguni ületab. Ainult välismõjustustel anomaalseiks muutunud kristallides on olukord vastupidine, — kuid see tõstab koguni reljeefsemalt esile üldist seaduspärasust. Nõnda mitmed geomeetriselt enantiomorfed kristallid on ringpolarisatsioonist vabad. Grafiit väliselt kristalliseerub küll ditrigoonskalenoedriliselt, kuid ta ruumvõre on kõrgema, diheksagoon-bipüramiidse sümmeetriaga. Need näited illustreerivad seadust, kuidas füüsikaline sümmeetria ületab geomeetriselt sümmeetriat.

Kristalloptilised omadused on vektoriaalse iseloomuga ning allpool näeme, et kristallides on veel rida teisi vektoriaalseid tunnuseid. Vektoriaalsuses jällegi ilmneb kristallide põhitunnus — olla homogensed anisotroopsed olekud.

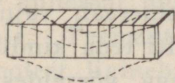
Kõrvuti vektoriaalsete omadustega on olemas ka rida skalaarseid (näiteks erikaal), kus anisotroopsus muidugi ei väljendu.\*

### Kõvadus.

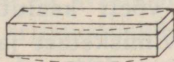
Osakeste seos mineraalis, mis nõuab suuremat või väiksemat jõudu, et osakeste asupaika üksteise suhtes muuta, määrab mineraali kõvaduse. Mehaanikas iseloomustatakse materjali vastupanu välistele jõududele tema elastsus- ja nihkemoodulitega. Viimaseid on määratud ka mineraalides. Mineraalides ilmneb aganende moodulite vahel eriti suur vahe suundade järgi, mispärast neid mainides peab nimetama ka kristallograafilise suuna, milles nad kehtivad. Ühtlasi teeb mehaanika vahet elastsete, habraste ja

plastiliste ainete vahel, millede vahel muidugi ei saa tõmmata selgeid piire. Ka mineraalide seas eristatakse samu rühmi. Seejuures toonitatakse aga ka, et mineraali paigutamine ühte või teise rühma oleneb sellest, kas deformeeriv jõud mõjub korraga, lühikese hetke kestel, või pidevalt pikema aja jooksul. On palju mineraale, mis löögi vastu on haprad, kuid pideva kauakestva jõu mõjul deformeeruvad plastiliselt.

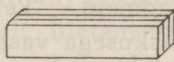
Säärane deformeerumine toimub kristallides nihetega mõningaid tasapindu pidi, millede side (aatomite asetus) naaberpindadega on selline, et see ei muutu, kui naaberpind nihkub pinnaga paralleelselt edasi mõne ruumvõre ühiku võrra. Seda nähtust nimetatakse translatsiooniks. Näitena toome jää. Vaiksel veepinnal tekkivas jääs asetsevad heksagoonsed jääkristallid kuuiktelgedega risti veepinnaga. Baas (0001) on translatsioonipind. Kui sellisest jääst välja saagida prismasid (umbes  $20 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$ ) kolmes ristiolevas suunas ja need horison-



Joon. 129.



Joon. 130.



Joon. 131.

taalses asendis toetada otstege alustele, siis näeme mõne aja järel igal prismal erinevat vajumiskuju: joonisel 129, kus translatsioonipind on risti prisma pikkusega, on paindumine (oma raskuse mõjul) kõige suurem, joonisel 130, kus (0001) on horisontaalses asendis, on samuti paindumist näha, kuid vähem, ja joonisel 131, kus baas on vertikaalne ja prisma pikkuse suunas, ei ole üldse paindumist märgata.

Teine osakeste nihkumise viis kristallis seisab selles, et paralleelsete pindade nihete ulatus suureneb proportsionaalselt kaugusega ühele neist pindadest, milles eneses nihke ulatus on 0. Sel kombel asetub nihkuv kristalliosa ülejäänud osaga kaksik-asendisse. Nii juhtub näiteks sageli kaltsiidis. Nähtust võib kunstlikult tekitada.

Säärastes nihkumisvõimalustes on paljudel mineraalidel mõjuv abinõu välise surve (või tõmbe) puhul terveks jääda. Aga ka juhtudel, kui väline jõud mineraali kristallid purustab või tema ruumvõret liiga deformeerib, on paljud mineraalid väikse-

maiks kristallideks ümber kristalliseerudes võimelised oma ruumvõret parandama.

Eri viis mineraali välise jõuga mõjustamiseks on tema kriimustamine või lõikamine terava asjaga. Mineraali vastupanu terava asja sissetungimisele ja mineraali osakeste lahutamisele nimetatakse kõvaduseks (sõna kitsas mõttes). Mineraalid oma kõvaduselt selles mõttes on väga mitmesugused, samal ajal kõvaduse määr on enamikule mineraalidest iseloomustav. Kuna mõnda, näit. kipsi, võib küünega kriimustada, ei hakka teistele viilgi külge. Seepärast püüti juba ammu seda kõvadust määrata.

Arvulisi andmeid mineraalide kõvaduse kohta on saadud peamiselt kolmel teel. Esiteks on katsutud määrata mineraalide kõvadust nii, nagu seda tehakse metallide puhul: teatava survega vajutatakse mineraali pinna sisse fikseeritud suurusega teraskuulike ning mõõdetakse seejärel kuulikese jälje — lohu — läbimõõt: mida suurem on viimane, seda pehmem on mineraal. Kuid mineraalide anisotroopsuse ja hapruse tõttu ei anna see meetod häid võrdlusandmeid. Teiseks võeti kaalutud mineraal, vajutati ta kindla raskusega vastu lihvimisketast ja lihviti teda kindla lihvimispulbriga. Uus kaalumine näitas endisega võrreldes kadu, mis pidi iseloomustama mineraali kõvadust: mineraal, millel on suurem kadu, on pehmem. Kolmandaks ehitati skleromeetrid, kus terava otsaga ese — kas teemant või terasnoel — vajutati proovitava mineraali pinnale niisuguse raskusega, et mineraali nihutamisel ilmus viimasele pinnapealne peenike kriim. Nõutavat raskust peetigi iseloomustavaks mineraali kõvadusele. Eriti viimast laadi katsed näitasid, et paljudel mineraalidel on kõvadus erinev suundade järgi, eriti näit. mineraalil küaniit (cyanit), mille kõvadus piki III telge on palju väiksem kui risti.

### Mohs'i astrik.

Kiireks mineraali kõvadusastme, kuigi ainult suhtelise, määramiseks on tema võrdlemine mõningate tuntud mineraalide kõvadusega. Selleks vaadatakse, kumb mineraal kumba kriimustab; kriimustav on kõvem. Kui nad teineteist ei kriimusta, on nad kõvaduselt võrdsed. Tüüpmineraalideks on valitud 10 mineraali, mis kannavad vastavat järjekorra-numbrit, alates kõige pehmemaga (Mohs'i astrik): nr. 1 on talk, nr. 2 — kips või ka kivisool, nr. 3 — kaltsiit, nr. 4 — fluoriit, nr. 5 — apatiit, nr. 6 —

ortoklaas, nr. 7 — räni, nr. 8 — topaas, nr. 9 — korund, nr. 10 — teemant. Kui mineraal näit. kriimustab apatiiti, kuid ortoklaas kriimustab teda, siis märgitakse tema kõvaduseks  $5\frac{1}{2}$  (mitte 5,5, sest kümnendikkude tarvitamine laseks oletada, et kõvadust on võimalik anda täpsusega kuni 0,1 ja et antud kõvadus on suurem kui 5,4 ja väiksem kui 5,6).

Eespool-toodud kõvaduse mõõtmise meetoditega saadud arvud näitavad, et Mohsi astrikus esinevate mineraalide kõvadusvahed on väga ebahühtlased. Nii oleksid kulumismeetodiga saadud arvud (topaasi arv = 10) järgmised: Mohsi nr. 1 — 0,002, nr. 2 — 0,1, nr. 3 — 0,3, nr. 4 — 0,3, nr. 5 — 0,4, nr. 6 — 2,2, nr. 7 — 7, nr. 8 — 10, nr. 9 — 58, nr. 10 — 8167.

Mineraalide kõvaduse proovimiseks pole tarvis alati kaasas kanda Mohsi astrikus leiduvaid mineraale. Sõrmeküüne kõvadus on umbes  $2\frac{1}{2}$ , punase vase oma — 3, hariliku aknaklaasi — 5, taskunoa-terase —  $5\frac{1}{2}$ , viiliterase — 6—7. Nende vahendite abil võib määrata enamiku mineraalide kõvaduse. Smirgel on korundi sisaldav mineraal, mispärast ta kriimustab (lihviv) enamikku teisi mineraale. Teemant on kriimustuskõvaduselt ületamatu; kõvaduse poolest ligineb talle kunstlik produkt karborundum (siliit-siumkarbiid), mida tarvitatakse lihvimisel.

### Lõhevus.

Kui mineraalile mõjub välisjõud, mis ületab tema osade liitumisvõimet, siis lõhestub ta. Kristallis toimub see lõhestumine eelistatud suundades, mis harilikult määratud tema ruumvõre aatomitega tihedamini kaetud tasapindadega: mineraal lõhestub kristallograafiliselt määratud tasapindu pidi. See nähtus on eriti silmapaistev vilkudel, millede ruumvõred on nn. kihilised; kihid on III pinakoidi (001) suunas ja selle pinakoidi järgi lõhestuvadki vilgud üliõhukesteks lehekesteks. Samuti lõhestuvad talk ja grafiit. Kipsi lõhestumine II pinakoidi (010) järgi on juba vähem täiuslik — temast lõhestatavad tahvlikesed on paksemad kui vilgu lehekesed. Kips lõhestub ka veel ( $\bar{1}11$ ) ja (100) järgi, kuid see lõhestumine on vähem täiuslik: lõhestumispinnad ei ole nii ulatuslikud ega tasased kui (010) järgi. Mineraalide lõhevust iseloomustatakse väljenditega: väga täiuslik, täiuslik, hea, selge, ebaselge, märgatav. Kuid need lõhevusastmed võivad ühel ning samal mineraalil olla ka muutlikud,

olenedes mõningatest tingimustest. Suurtes kristallides on lõhevus paremini arenenud kui väikestes.

Lõhevus allub ka mineraali sümmeeriale. On näit. lõhevus hea kuubi üht (paralleelset paari) tahku pidi, peab ta niisama hea olema ka kahes ristisuunas — kuubi kahe teise tahupaari suunas. Samal mineraalil võib esineda lõhevus ka mõnd teist suunda pidi, kuid harilikult on siis lõhevuskraad teine. Näiteks fluoriidil on täiuslik lõhevus oktaedri järgi, seejuures aga ka selge lõhevus kuubi järgi.

### Murdepind.

Kui mineraal ei oma märgatavat lõhevust või kui välisjõud mõjub niisuguses suunas, et lõhestumine ei saa toimuda lõhestumispindu pidi, siis murdub mineraal, kusjuures murdepind omab sageli mineraalile iseloomustavaid tunnuseid. Murdepind võib olla k o n n a k a r p j a s (kui ta kujutab kaunis tasast kumerat pinda, paralleelsete kõverate vallikestega), t a s a n e, e b a t a s a n e, s i l e, h a a k j a s (kui pinnal leidub väikesi kõvera otsaga kiusarnaseid kõrgendusi), killuline või muldjas. Murdepinna välimus sõltub veel enam kui lõhevus mineraali seisundist — kas ta on värske, murenema hakkav, surve all olnud vms.

### Termilised omadused.

Kiirgava soojuse suhtes on kristallide omadused analoogilised optiliste omadustega, mistõttu neil pole eriti tarvis peatuda. Väärib tähelepanu ainult suur vahe soojuskiirte absorptsioonis, mis laseb mineraale jaotada: 1) soojuskiiri läbilaskvaiks (harilikult erinevusega lainepikkuse järgi) ja 2) mitte-läbilaskvaiks. Viimaseist nimetame kaltsiiti, kipsi ja jääd.

Soojuse juhtivus on mineraalide peres suuresti erinev. Hõbedal on see suurim, edasi järgnevad teised metallid: kuld, vask, tsink jne. Mida suurem mineraali soojusejuhtivus, seda külmem tundub ta käele, nii et näit. marmorkuju võib alabaster-(kips-) kujust eristada selle järgi, et ta tundub käele külmem — marmori soojusejuhtivus on suurem kui kipsil. Ka teemandi soojusejuhtivus on suurem kui väliselt sarnastel kividel, mis vilunud käel lubab neid soojustunde järgi eristada.

Optiliselt anisotroopseis kristallides on soojusejuhtivus erinev ka suundade järgi. Seda võib tõestada sel kombel, et säärase

kristalli, näit. kipsi, lõhestumistahvlikese pind kaetakse õhukese vahakorraga. Asetades pinnale püsti kuumendatud nõela, võime konstateerida, et vaha sulamine nõela ümber toimub mitte ringi-, vaid ellipsikujuliselt.

Ka erisoojus on mineraalidel erinev. Kuid selle määramine ei ole lihtne, mispärast erisoojust on mineraalide määramisel raske kasutada. Metalse välimusega mineraalidel on ta madal: antimonil näit. 0,05, kuid teemandil 0,11, kipsil 0,26.

Mineraalide paisumine soojuse mõjul allub samuti sümmeetriaseadustele. Nagu valgusegi suhtes, nii võib ka paisumiskoefitsientide muutust kõrgematel kristalliklassidel iseloomustada keraga, keskmistel kristalliklassidel pöördellipsoidiga ja madalamatel kolmeteljelise ellipsoidiga. Sellisest paisumiskoefitsiendi erinevusest suundade järgi järeldub, et kui mineraalist mingis temperatuuris välja treida kera, siis mõnes teises temperatuuris jäävad keradeks ainult kuubilise süsteemi (ja amorfseid) mineraalid, kuna teised muutuvad ellipsoidideks. Sellega koos peavad muutuma ka viimaste tahkude ja servade nurgad. Nii et nurkade konstantsuse seadus vajab täiendamist konstantse temperatuuri tingimusega.

Paisumiskoefitsiendid kõiguvad  $+64 \cdot 10^{-6}$  (jää) ja nulli vahel, olles mõnel üksikul juhul ja teatava temperatuuri piirides ka negatiivsed (mineraal paisub jahtudes, näit. smaragd, temperatuuril alla  $-4,2^{\circ}$ ). Paisumiskoefitsientide erinevus võimaldab eraldada üksikuid mineraale kivimist, millega nad on kokku kasvanud: kuumutades kivimit ja pärast äkki jahutades tekitame üksikute mineraalide vahele lõhesid, mille kaudu siis kivim laguneb.

Mineraali temperatuuri muutmine muudab sageli ka tema optilisi omadusi. Harilikult väheneb murdumisindeks temperatuuri tõusuga. Kaheteljelistes mineraalides muutub temperatuuriga optiliste telgede vaheline nurk, vahel langedes nullini; isegi telgede tasapind võib oma asendit muuta.

### Magnetilised omadused.

Võimsasse magnetivälja vabalt paigutatud (näit. niidi otsas üles riputatud) kristallid käituvad kahte moodi: ühed pööravad oma pikema telje magneti tungjoonte suunda — paramagnetilised mineraalid, teised pööravad pikema telje risti tung-

joontega — diamagnetilised. Paramagnetiliste hulka kuuluvad eriti rauda sisaldavad mineraalid, millede seas on mõned, näit. magnetiit, mis näitavad magnetiväljas magnetismi mitte ainult passiivset, vaid sageli ise aktiivselt magnetina esinevad, tõmmates raud-esemeid külge. Samuti kui optilised omadused erinevad mineraalides suundade järgi, nii erineb ka magnetiline induktsoon suundade järgi.

Tugevamini magnetist mõjustatud mineraalide, eriti rauamaakide eraldamine ahtrast kivipurust toimub tehnikas sageli sel kombel, et maagi ja ahtra puru segu, tarvilikus peenuses, lastakse läbi magnetivälja, kus maak kinni püütakse, kuna puru takistamatult läbi pääseb. Samuti põhineb mõningate mineraalide magnetilistel omadustel nende asupaikade leidmine maakera kooses: need mineraalid põhjustavad üldises maakera magnetiväljas kohalikke anomaaliaid, mis avastatakse eriliste magnetiliste aparatuuridega.

### Elektrilised omadused.

Mineraalide seas on elektrivoolu juhte ja ka isolaatoreid igasuguses gradatsioonis. Juhtide hulka kuuluvad mineraalid on enamikus metalse välimusega. Neile igapähele kuulub ka oma koht potentsiaalireas, kus metallidest antimon on pluss-otsas ja vismut miinus-otsas. Mõned mineraalid lasevad seda rida mõlema otsa suunas pikendada, näit. püriit on positiivsem antimonist ja kobaltiin negatiivsem vismutist. Voolujuhtivus on samuti olenev suunast, nii et anisotroopne mineraal takistab teda läbivat elektrivoolu erinevalt, olenevalt kristallograafilisest suunast.

Isolaatormineraalidel tekivad kristallograafiliselt määratud kohtadel vabad elektrilaengud kas temperatuuri muutumise (püroelekter), surumise või venitamise (piesoelekter) või hõõrumise mõjul (triboelekter).

Soojendamine või jahutamine kutsub eriti neil mineraalidel, millel on polaarsed teljed, viimaste otstes esile vastupidised laengud, millede märk muutub, kui mineraal kuumenemise asemel jahtub. Neid vabu elektrilaenguid võib avastada Kundt'i meetodi järgi, puistates mineraalile menniku- ( $Pb_3O_4$ ) ja väävlipulbri segu, mis sõelast läbi minnes ja vastu sõela hõõrdudes elektriseerub: mennik positiivselt, väävel negatiivselt. Mennik koguneb negatiivse laengu kohale ja värvib selle punaseks, kuna väävel värvib positiivsed laigud kollaseks.

Piesoelekter esineb samal viisil. Surumine ja venitamine tekitavad vastupidiseid potentsiaale. Mõjub ka polaarse teljega ristisuunas toimuv surve või tõmme, sest sellega on seotud pikene- mine või lühenemine telje suunas. Neid omadusi näeme näiteks turmaliinil peatelje suunas ja ränil kolme kaksiktelje suunas. On kindlaks määratud seadused, kuidas surve (või tõmbe) suurus oleneb vastavast potentsiaalst. Mõõtes viimast saame surve suu- ruse. Kõnesolevat omadust kasutatakse laialt tehnikas, näit. inditseeritakse nn. piesoräni abil plahvatusmootorite kolvi tööd. Ümberpöörduvalt — andes piesokvartsile vahelduvaid elektrilaenguid sunnime teda paisuma ja kokku tõmbuma, mis tema ümbruskonnas tekitab sama perioodiga võnkeid. Need võn- ked, näit. suurema sagedusega võnked kui kõlavõnked, on mit- meti tarvitusel. Piesoränil on oma võnkeperioodid, mis olene- vad tema mõõtmeist; neist peab ta täpselt kinni, olgugi et teda ergutav elektrivool pole temaga ühtiv. Sellel võnkeperioodi täp- susel põhineb kvartskella tähtsus (täpseim ajamõõtja), sa- muti raadio-saatejaamade lainepikkuse reguleerimine.

Hõõrdumiselektri omadusi tunti mineraal merivaigul juba aastatuhandeid. Hõõrumisel elektriseeruvaid mineraale on vähe, peale eelmainitu nimetame veel näit. väävlit.

### Erikaal.

Mineraalid on erikaalu poolest väga mitmesugused. Alates mõnest maavahaliigist, millesse kuuluvad mineraalid on veest kergemad, ja lõpetades iriidiumiga, mille erikaal 22, võime mine- raalid asetada ritta, kus enamik mineraale on erikaalult 2,5 ja 3,5 vahel. Maakide erikaalud on 4 ja 7 (kuni 8) vahel. See asjaolu võimaldab eraldada neid mittemaakidest: maagid langevad vees rutemini põhja kui mittemaagid. Mineraali peaaimese kõrvalised lisandid muudavad erikaalu, mispärast erikaalu suurust võib mää- rata teatavais piirides, mõne mineraali suhtes isegi kaunis laia- des. Erikaalu kõikumised tulenevad mõnikord ka mineraali poor- susest, mis ei lase täpselt määrata mineraalaine erikaalu ilma poore täitva aineta. Seepärast pole mõtet määrata erikaalu kahe detsimaaliga.

Erikaal annab ennast tunda juba käega hinnates. Galeniit on raske, räni palju kergem. Kui on tarvis arvulisi andmeid, tu- leb erikaal määrata mõnel füüsikas rakendataval viisil: kas liht-

salt korduva kaalumisega õhus ja siis vedelikus, mille erikaal on teada, või püknomeetris. Mineraloog tarvitab aga mõnikord ujutusmeetodit, mis seisab selles, et mineraal asetatakse kõrge erikaaluga vedelikku, milles ta ujub. Kui mineraal vedeliku lahjendamisel temaga seguneva kergema vedelikuga jääb ükskõiksesse tasakaalu kuitahes sügaval, siis järeldatakse, et mineraali erikaal on sama kui vedelikul. Vedeliku erikaalu määramine on kõige kergem Mohr-Westphal'i kaaluga. Kui on tarvis teada ainult mingi erikaalu piiri, siis tarvitatakse ka tuntud erikaaluga mineraali hernetera-suurusi teri või klaaskuulikesi kui indikaatoreid; kui indikaator vedelikus paigal seisab, s. t. ei tõuse ega lange, siis on vedelikul sama erikaal.

Vedelikest tarvitatakse järgmisi:

1) Thoulet' lahus ehk kaaliumelavhõbejodiidi ( $\text{HgJ}_2 + \text{KJ}$ ) vesilahus. Kõrgeim erikaal on 3,196. Lahjendatakse veega.

2) Tallium-malonaat ja talliumformiaat võrdseis osades vesilahuses. Kõrgeim erikaal 4,2. Mürgine ja kallis.

3) Metüleenjodiid ( $\text{CH}_2\text{J}_2$ ). Kõrgeim erikaal 3,32. Lahjendatakse eetri või bensooliga. Kallis.

4) Bromoform ( $\text{CHBr}_3$ ), mis annab maksimaalse erikaalu 2,9 ja mis lahjendatakse bensooliga, on odav, kuid raskemaile mineraalidele kõlbmatu ja pruunistub valguses.

Neid vedelikke tarvitatakse ka mineraalide segust raskemate ja kergemate eraldamiseks: raskemad langevad põhja, kergemad ujuvad peal. Korrates eraldamist teissuguse erikaaluga vedelikuga, võidakse saada erikaalult õige ühtlasi fraktsioone.

X peatükk.

### Mineraalide teke.

Raamatu alguses (vt. II ptk.) on vihjatud neile algainetele-elementidele, milledest koosnevad mineraalid. Üpris harva esi-nevad aga elemendid puhtal kujul mineraalidena, tavaliselt on meil ikka tegemist ühenditega. Juba seetõttu, et hapniku kontsentratsioon on maa peal nii suur, on hapnikuühendid, peamiselt silikaatide<sup>1</sup> kujul, ka mineraalide seas ülekaalus. Meile kättesaadava litosfääri 16 km paksune kiht koosneb oluliselt silikaatidest, ning selle koore keskmine koostis, ümber arvatud oksüüd-komponentideks, annab kaaluprotsentides:

$\text{SiO}_2$  — 59,07,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 15, 22,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 3,10,  $\text{FeO}$  — 3,71,  $\text{CaO}$  — 5,10,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 3,71,  $\text{MgO}$  — 3,45,  $\text{K}_2\text{O}$  — 3,11,  $\text{H}_2\text{O}$  — 1,30,  $\text{TiO}_2$  — 1,03,  $\text{CO}_2$  — 0,35,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0,30; ülejäänud esinevad sajandikes protsentides ja veel vähem.

\*Neist komponentidest ja komponentide suhtelisest sagedusest on selge, miks kivikond koosneb leeliste, kaltsiumi, magneesiumi ning raua alumosilikaatidest ning silikaatidest ja ränist. Nõnda Clarke'i ja Washingtoni arvutustel leiame tardkivimites päevakivi (põldpagu) 59,5%, pürokseene ja amfiboole 17%, räni 12%, vilku 4% ning titaanmineraale ja apatiiti 2%; aktssesoorseid mineraale 6%.\*

Silikaatide ja räni kõrval ei etenda sulfiidid suurt osa maa-kera kooses, kuid sügavuses oletatakse nende tähtsuse tõusu. Silikaatide tekke, muutumise ja kadumise tingimused ongi seepärast eriti tähtsad geoloogiliselt ja petrogeneetiliselt seisukohalt.

Mineraalid tekivad, kristalliseeruvad kas 1) kõrge temperatuuriga silikaatidesulamist — magmast; 2) vedelates lahustites, näit. vesilahuses; 3) sublimeeruvad gaasidest olekust; 4) vedelikkude ja gaaside toimel teineteisele või tahkele

<sup>1</sup>  $\text{SiO}_2$  sisaldavad mineraalid.

ainele. Sulas olekus ja vedelas ning gaasilises lahuses on aine osakesed vabad ega moodusta kindlaid ruumvõresid, vaid moodustavad üheainsa homogeenne, liikuva faasi. Selles olekus püsib aine seni, kuni seda võimaldavad füüsikalised tingimused: temperatuur, rõhk, kontsentratsioon. Kui temperatuur, rõhk või mõlemad alanevad teatava tasemeni, siis peab muutuma ka antud homogeenne süsteem (olgu sulatis, lahus või gaas) heterogeenseks; temas tekivad uued olekud — faasid (füüsikaliste abinõudega eraldatavad eriomadustega osad), nende seas ka tahked — mineraalid. Sellega koos muutub ka lähtefaasi komponentide kontsentratsioon. Üldiselt nende muutuste puhul kehtib Gibbs'i reegel: eraldatud heterogeenses süsteemis võib vabalt muuta nii paljusid füüsikalisi tingimusi ( $V$ ), kui palju ületab kahe võrra suurendatud üksteisest sõltumatute komponentide kõige väiksem arv ( $K$ ) faaside arvu ( $F$ ), ehk  $F + V = K + 2$ .

Selle reegli tarvitamist raskendab nimelt sõltumatute komponentide kõige väiksema arvu määramine. Selgitame neid mõisteid näite varal. Lubjapõletamisel on tegemist reaktsiooniga  $\text{CaCO}_3 = \text{CO}_2 + \text{CaO}$ . Süsihapu lubi (tahke aine) annab süsihappegaasi  $\text{CO}_2$  ja põletatud lupja  $\text{CaO}$ . Kuid reaktsioon toimub ka vastupidi: lubi ühineb süsihappegaasiga, andes süsihapu lubja. Tasakaal mõlema reaktsiooni vahel sõltub temperatuurist, rõhust ja komponentide kontsentratsioonist. Kas võime kõiki viimati-loendatud tingimusi korruga muuta, seda ütlebki Gibbs'i seadus. Meie reaktsioonis esinevad: kaks eraldatavat tahket keha ja üks gaas, seega kolm faasi. Sõltumatuid komponente on kaks, sest kolmas on kahe teise järeldus. Nii oleks „vabadusi“  $V = K + 2 - F = 2 + 2 - 3 = 1$ . See tähendab, et selles süsteemis võime muuta vabalt kas ainult temperatuuri, või ainult rõhku, või ainult kontsentratsiooni, et püsiks tasakaal — teised tegurid muutuvad juba sunnituks. Kui aga katsuda hoida näit. temperatuuri konstantsena ja tõsta vabalt (piiramatuks) rõhku, muutub süsteem niikaua, kuni kaob  $\text{CO}_2$ , s. t. meile jääb kaks faasi.

\*Ent mineraalide tekketingimusi määravad üldiselt kaks füüsikalist tegurit — rõhk ja temperatuur. Litosfääris on aga neil üsna suur intervall,  $pt$  on seega muutlik, see tähendab, et Gibbs'i valemis tuleb seada  $V = 2$ . Lõpptulemuseks saame siis  $F = K$ , see tähendab, et looduses faaside hulk ei ületa komponentide arvu. See on V. M. Goldschmidt'i mineraloogiline faaside reegel ning ta vastab tõelistele olukordadele minerogeneetilistes sündmus-



temperatuuri tõus on suureneva rõhu mõjul kiirem kui sulamis-  
punkti tõus. Kui oletada, et esimese punkti muutust kujutab  
diagrammil joon *GH* ja viimase muutust *DH*, siis peame oletama,  
et nad lõikuvad (punkt *H*). Niisugune lõikumine on Tammani  
katsetega tõestatud: 1288-atmosfäärilisel rõhumisel ja  $151^{\circ}\text{C}$  t<sup>o</sup>-s  
on rombiline väävel sulaväävliga tasakaalus ja selles punktis ning  
temast kõrgemates temperatuurides ei saa monokliinne väävel  
üldse ilmuda.

Selle lihtsa näitega selgitasime, et ühel ning samal ainel võib  
olla mitu erivormi, modifikatsiooni, milledest mõned võivad olla  
tahked ja esineda erinevas kristallograafilises vormis, s. t. eri-  
nevais ruumvõredes. Kui ruumvõred on ligilähedase ehitusega,  
on harilikult võimalik muutumine nii ühes kui ka teises, eelmisele  
vastupidises suunas; sel juhul on tegemist enantiotroopse  
muutusega. Kui aga ruumvõred suuresti erinevad, on muutus  
võimalik ainult ühes suunas, seda nimetatakse monotroop-  
seks muutuseks.

Väävli puhul tutvusime nähtusega, et ebapüsiv modifikatsioon  
püsib ka tingimustel, mis on väljaspool tema püsivuse piirkonda.  
Monokliinne väävel püsib ka toatemperatuuris õige pikki aegu.  
See nähtus on sama „ülejahutuse“ nähtus, mis võimaldab puhast  
vett jahutada alla  $-10^{\circ}\text{C}$ , ilma et ta jääks kristalliseeruks. Sama  
nähtust tarvitatakse metallide karastamisel: sunnitakse metalli  
säilitama struktuuri, mis on talle omane kõrges temperatuuris,  
teda ruttu jahutades, nii et metalli osakestel ei jätku aega ümber  
korraldada madalale temperatuurile omasele olekule. On aineid,  
mis esinevad mineraalidena mitmes modifikatsioonis, millel iga-  
ühel peab olema oma püsivuspiirkond, kuid mis ei ole üle läinud  
kõige püsivamasse modifikatsiooni nende olemasolu geoloogilise-  
tel ajajärkudel.

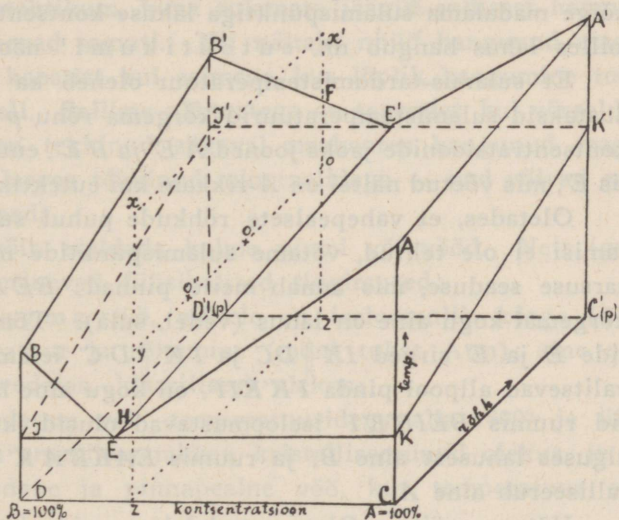
Klaas (mitte ainult tehisklaas, vaid ka loomulik) on kiiresti  
hangunud sulatis, mis aeglasel hangumisel oleks andnud mitmeid  
kristalliseerunud mineraale. Harilikul temperatuuril on selline  
amorfne „tahke lahus“ teoreetiliselt ebastabiilne. Kuid kivimites  
on säilinud vulkaanilisi klaase, millele iga on sadu miljoneid aastaid,  
ilma et klaas oleks ümber kristalliseerunud. Sellised üle-  
jahutusnähtused pole haruldased ja nad sunnivad ettevaatusele  
mõne mineraalileiu puhul, kui on vaja otsustada, milliseis füüsika-  
listes tingimustes tema tekkis.

Eriti klaaside suhtes on võimalik olnud jälgida, kuidas algab

kristalliseerumine ja kuidas ta edeneb. Jahutades mitmesuguse koostisega klaasi, võidi varem või hiljem tähele panna, et kristallid kasvavad tsentromeist, mis tekivad klaasi massis suuremal või väiksemal arvul, jällegi oleneb mõningaist tingimustest. Nende kasvamine suuremateks kristallideks sõltub eriti sellest, kas massis sisaldub mineralisaatoreid, näit. boori, fosfori, volframi ja fluori ühendeid, mis soodustavad kristalliseerumist.

Lahuseks nimetatakse homogeenet ainet, mis koosneb vähemalt kahest komponendist juhuslikus ja muutuda võivas proportsioonis, mitte stöhhiomeetriselises vahekorras. Lahus võib olla tahke (näit. klaas), vedel (kas kõrge temperatuuri suland või lahustatud harilikus temperatuuris mõnes vedelikus) või gaasi-sarnane. Teatavates füüsikalistes tingimustes võivad lahuses leiduvad ained omavahel seguneda kas ainult teatavates piirides või täielikult; võivad üksteisega moodustada ühe või mitu keemilist ühendit. Sel puhul lahus muutub heterogeenseks.

Ainult kahekomponendilise lahuse tasakaalu diagrammi, milles väljendatakse temperatuuri, rõhumise ja kontsentratsiooni sõltuvust, on võimalik kujutada kolmemõõtmelisena, kuna suurema komponentide arvu puhul võib anda ainult diagrammi üksikuid läbilõikeid juhtudeks, kus mõni muutuvaist suurusist on konstantne. Vastavate diagrammide ülesandeks on kõvera abil leida kõigile kontsentratsioonide ja  $pt$  väärtustele süsteemi vastavat tasakaalu asendit.



Joon. 133.

Mida niisugused diagrammid võimaldavad selgitada mineraalide tekketingimustes, vaatleme lihtsamal skemaatilisel juhul (joon. 133), kus kaks komponenti  $A$  ja  $B$  segunevad lahuses (sula-

mis) igas proportsioonis ega moodusta keemilisi ühendeid. Olgu ristiolevail koordinaattelgedel, punktist  $C$  alates, märgitud joonel  $CD$  aine  $A$  kontsentratsioon, mis kasvab nullist punktis  $C$  kuni 100%-ni punktis  $D$ , ja aine  $B$  kontsentratsioon, mis punktis  $D$  on 0% ja punktis  $C$  100%. Rõhud kasvavad harilikust ühe-atmosfäärilisest algrõhust punktis  $C$  (või  $D$ ) kuni kõrgeima määratud rõhuni punktis  $C'$  (või  $D'$ ). Temperatuurid kasvavad punktist  $C$  ülespoole sirgeil, mis on risti tasapinnaga  $CDD'C'$ .

Olgu katsete varal kindlaks tehtud, et puhtad ained  $A$  ja  $B$  sulavad hariliku rõhu puhul temperatuurides, mida möödame lõikudega  $CA$  ja  $DB$ , ja suurema rõhu  $p$  puhul ka kõrgemates, lõikudega  $C'A'$  ja  $D'B'$  mõõdetavais temperatuurides. Raoult'i ja van't Hoff'i seaduse järgi on lahuse sulamispunkt madalam kui puhta aine oma, nii et muutuvate kontsentratsioonide sulamispunktid moodustaksid hariliku rõhu puhul diagrammis kaks joont:  $AE$  ja  $BE$ , mis punktis  $E$  lõikudes määravad joonel  $DC$  kõige madalama sulamispunktiga lahuse kontsentratsiooni, punkti, milles lahus hangub nn. eutektikum<sup>1</sup> näol.

Et sulamis-tardumistemperatuur oleneb ka rõhust, siis moodustaksid sulamistemperatuurid kõrgema rõhu  $p$  puhul muutuvate kontsentratsioonide jaoks jooned  $A'E'$  ja  $B'E'$ , eutektikumiga punktis  $E'$ , mis võetud näitel on  $A$ -rikkam kui eutektikum rõhu  $p$  puhul.

Oletades, et vahepealsete rõhkude puhul sulamispunkti määramisi ei ole tehtud, võtame sulamispunktide muutumiseks lineaarsuse seaduse, mis annab meile pinnad:  $BE'A'AE'BB'$ , millest kõrgemal kogu aine on lahus (vedel, sula). Tõmmates läbi punktide  $E$  ja  $E'$  sirged  $IK \parallel DC$  ja  $I'K' \parallel D'C'$  leiame, et oludes, mis valitsevad allpool pinda  $I'K'KII'$ , on kogu aine hangunud. Punktid ruumis  $BEIB'E'I'$  iseloomustavad olusid, kus kristalliseerub alguses lahusest aine  $B$ , ja ruumis  $EAK'E'A'K'$  olusid, kus kristalliseerub aine  $A$ .

Võtame näite. Olgu antud lahus, mida iseloomustab punkt  $x'$ . Tema kontsentratsioon on  $z'$ , temas valitseb rõhk  $p$  ja ta on sula. Jäägu rõhk samaks ja alanegu temperatuur. Punktis  $F$  on temperatuur niivõrra alanenud, et hakkab kristalliseeruma aine

<sup>1</sup> \*Eutektiline  $t^0$  antud rõhu puhul on 1) madalaim, kus ( $A$ ) ja ( $B$ ) ja nende lahus ( $A+B$ ) on omavahel veel tasakaalus; 2) ta on madalaim võimalik  $t^0$ , milles veel sulab ( $A$ ) + ( $B$ ) igasuguses kontsentratsioonis; 3) eutektilises  $t^0$ -s eksisteerib korraka kolm faasi: ( $A$ ), ( $B$ ) ja ( $A+B$ ) lahus; allpool seda aga ainult kaks: ( $A$ ) ja ( $B$ ),\*

B. Seega jääb aga lahus B-st vaesemaks ja nihkub kontsentratsiooniteljel  $z'$ -st paremale poole. See jätkub seni, kuni temperatuur on alanenud ja kontsentratsioon muutunud  $E'$ -ni, kus kõik eutektikumina hangub. Kui nüüd aga järsku alandada rõhku, võib kogu aine või osa sellest uuesti sulada, sest punktile  $E'$  vastav temperatuur iseloomustab madalate rõhkude puhul sula-olekut.

Olgu meil rõhu  $p$  all punktini 0 hangunud sulatis. Järsku alandades rõhku liigume joonel  $oy$ , mis on paralleelne  $CC'$ -ga. Punktis  $o'$  läbime pinna  $IKK'I$ , — eutektikum hakkab sulama. Rõhu veel suuremal alandamisel punktis  $o''$  satume pealepoole pinda  $BB'EE'$ , kus kõik võib uuesti ära sulada, kui rõhu langusega ei käi kaasas ka temperatuuri langus. Vastasel korral võivad sulada ainult kristallide servad ja tipud. Harilikult rõhumise juurde jõudnud seesugune sulatis (ka pooleldi-sulanud kristallidega) hakkab nüüd uuesti hanguma, kui temperatuur langeb, ja see hangumine toimub joonte  $yH$  ja  $HE$  suunas: enne kristalliseerub  $A$ , siis eutektikum, kuna sulamata jäägid endisest hangunud massist esinevad samuti. Nii näitaks nüüd hangunud mass sootu teissugust koostist kui esimene, kus lõplik hangumine toimus kõrge rõhu all. Selliste nähtustega on tegemist, kui võrrelda mineraale, mis on tekkinud sügaval maakoos hangunud magmas, vulkaanide laavas tekkinud mineraalidega — nad võivad sageli suuresti erineda.

Maakoos võib eraldada kolme ruumi või vööd. Neis igaühes valitsevad erinevad füüsikalised tingimused:

1) sügav magma vöö, millele on iseloomulik kõrge (üle  $1000^{\circ}$  C) temperatuur ja rõhumine (mõni tuhat Atm); aine on mittekristalses (vedelas, klaasilises) olekus;

2) pinnalähedasem vöö, temperatuuridega alla  $1000^{\circ}$  ja üle  $100^{\circ}$ , kus aine on enamikus tahkes, kristalliseerunud olekus, ja

3) pinnalähedane ja pinnapealne vöö, kus temperatuur on alla  $100^{\circ}$ .

Peamiselt esimesest vööst pärinevad meie tardkivimid ja neid koostavad mineraalid; mõnevõrra on andnud ja annavad neid ka kaks kõrgemat vööd, kuhu küünivad magmalised intrusioonid ja laavad. Lahustest, nii kuumadest kui ka madalatemperatuurilistest, samuti sublimeerimise teel gaasidest tekivad mineraalid peamiselt kahes kõrgemas vöös. Eraldi tuleb mainida pinnalähedast põhjaveepinda, kus toimuvad intensiivselt oksüdeerumisprotsessid, mis muudavad oksüüdideks sulfiide ja teisi ühendeid. Nõnda tekib

näit. nn. „raudkübar“ mineraalivarapaigus: sügavamal sulfiidide näol esinevad metallid on siin, maapinna ligidal, muutunud oksüüdideks, milledest rauaoksüüd oma punase värvusega eriti silma paistab.

Kord tekkinud mineraalid võivad püsida muutmatult määratu aja. Kuid sattudes tingimustesse, kus on stabiilsed teised samasuguseid elemente sisaldavad mineraalid, võivad mineraalid muutuda. Kuumuse tõttu, mida toob kaasa mineraalide lähedusse tunginud magma, tekivad magmat ümbritsevast ainest uued mineraalid — kontaktmineraalid. Nende koostisse satub sageli ka elemente, mis imuvad välja magmast nii vedelikkude kui ka gaaside näol. Nähtust nimetatakse kontaktmetamorfooksiks.

Soojus, eriti aga rõhk erineb ka neis maakera koore osades, kus on käimas nn. orogeneetilised (mäesünnituslikud) protsessid — maakihtide voltidesse pigistamine jne. Ka siin tekib ühekülgse rõhumise puhul palju uusi mineraale ja vanad kohastuvad uute olukordadega. Sel puhul räägitakse dünamometamorfooksist.

Maapinnal toimub vee ja õhu, eriti aga organismide tegevuse mõjul mineraalides palju muutusi. Seda nähtust nimetatakse murenemiseks. Sellele protsessile võlgname peamiselt meie pinnase — põllumulla — tekkimise. Paljud mineraalid lagunevad liivaks, muutuvad saviks, lateriidiks jne., mis on tähtsad taimeriigi käekäigule. Uut sünnib ka tehislikes produktides: tsemendis ja lubjas, metallurgia räbudes, korstnate nões; mõningais tehnilistes reovetes tekivad uued ühendid, mis vastavad looduslikele mineraalidele.

Pinnapealseis ja pinnalähedastes oludes tekivad ka kolloidsed mineraalid — mineraal-gelid (süldid). Kolloidsetena (suuremate osakestena kui molekulid) lahustuvad (vees või muus vedelikes) mitmed ained:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  jne., moodustades sole. Solis hõljuvad osakesed adsorbeerivad ahnelt igasuguseid aineid, mis koos nendega lahusesse satuvad. Kui need lisained neutraliseerivad osakeste elektrilise pinge, kui muutub lahuse temperatuur või mõningail teistel põhjustel, tõmbub kolloidne aine kokku, moodustades geli. Aja jooksul lahkub gelist peaaegu kogu lahusti (vesi), gel kuivab ära, moodustades tahke mineraali, näit.  $\text{SiO}_2$  — opaali, kolloidsed Fe-oksüüdid — limoniidi.

Sellised mineraalid esinevad amorfsetena — isotroopsetena, kuigi mõne osakesed röntgenikiirtega uurides osutuvad kristal- seiks. Väliskujult on nad harilikult mugula-, kobara- või neeru- taolised; vahel esinevad nad koorikute, mulla või pulbri näol. Osa neist muutub aja jooksul kristalseks; tõenduseks, et mine- raal algupäralt oli kolloidne, jääb ainult iseloomustav kõverapin- naline väliskuju (näiteks püriit).

Lähem tutvumine kõigi nende mineraalide tekkimise üksik- asjadega kuulub petrograafia ja mineraalivarapaikade õpetusse. Seal mainitakse ka juba möödunud sajandil algatatud katseid valmistada mineraale tehislikult; need katsed on toonud asjasse palju selgust, kuid ei võimalda siiski laboratooriumis korrata kõiki neid tingimusi, mida näeme looduses — suuri rõhke maa- kera sisemuses ja geoloogilisi ajajärke.

## XI peatükk.

### Mineraalide keemilised omadused.

Harva esinevad mineraalid keemiliselt puhtatena, s. t. sääras-tena, et nende koostist võib väljendada täpse stöhhiomeetrilise formeliga. Neis on reeglipäraselt ikka mõnesuguseid lisaineid, olgugi vahel minimaalsel hulgal. Et neid kõiki on raske kõrvaldada mehaaniliste vahenditega, siis tuleb alati mineraali valemi määramisel täpseist analüüsiandmeist kõrvale kalduda, elimineerides võõrkehade mõju, ja valida valemi koefitsiendid tõesuse järgi. Olgu näit. ühe berüllilise analüüs andnud järgmised arvud:  $\text{SiO}_2$  — 66,37%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 19,26%,  $\text{BeO}$  — 14,01%. Toodud oksüüdide molekulkaalud on järjekorras: 60,1, 101,9, 25,0 ja nendega jagatud vastavad protsentarvud: 1,1043, 0,1889, 0,5604, või võttes  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ühikuna: 5,846, 1,000, 2,967, või ümmarguselt 6, 1, 3. Seejärel antaksegi berüllile järgmine valem:  $6\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{BeO}$  või  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ .

On, ümberpöörduvalt, tarvis antud mineraali valemi järgi arvutada, palju temas leidub üht või teist komponenti protsentuaalselt, siis tuleb korrutada iga komponendi molekulkaalu mineraalis esineva vastava molekulide arvuga, summeerida kõik säärased korrutised kogu mineraali kohta ja arvutada, mitu % sellest summast moodustab otsitavale komponendile vastav korrutis.

### Isomorfism.

Mõned mineraalid näitavad keemilises koostises eriti suuri kõikumisi. Niisuguseid mineraale võib sageli reastada, kusjuures ühest rea otsast teise toimub pidevalt mõne osaaine kasvamine ja teise kahanemine; äärmised mineraalid ja sagedamad vahelülid kannavad sageli eri nimetusi. Näiteks toome oliviini rühma mineraalid, millede äärmisteks esindajateks on forsteriit ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )

ja fajaliit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), kuna harilik oliviin koosneb nii Mg- kui ka Fe-silikaadist väga muutuvas vahekorras.

Niisuguste, nii äärmiste kui ka segakristallide ruumvõrede on väga lähedased üksteisele, mis on tingitud ka keemilise valemi sarnasusest; üksteist asendavate elementide mõjuraadiused on lähedased. Nähtus kannab isomorfismi nimetust; öeldakse, et need mineraalid moodustavad isomorfse rühma, annavad isomorfseid segakristalle. Neid rühmi tuleb vaadelda füsiograafia osas koos kui loomulikke gruppe, kus ühinevad mineraalid väga lähedaste omadustega. Tähtsamaid isomorfisminäiteid on: kaltsiit-magnesiit-dolomiit, põldpagude rida jt.

### Polümorfism.

Isomorfism seisneb selles, et erineva, kuid analoogilise keemilise koostisega ained omavad sarnaseid kristallivorme ja võivad anda segakristalle. On aga ka aineid, mis muutumata koostisega võivad esineda mitmel kujul. Nii leiame süsinikku (C) teemandina kuubilises süsteemis ja grafiidina heksagoonses, süsihaput lupja ( $\text{CaCO}_3$ ) kaltsiidina heksagoonses ja aragoniidina rombilises süsteemis; titaanoksüüd ( $\text{TiO}_2$ ) esineb kolme erikujulise mineraalina: rutiil, anataas, brukiit. Eespool nägime, et väävel esineb rombiliselt ja monokliinselt. Seda nähtust nimetatakse polümorfismiks. Süsinik, väävel jne. on dimorfseid, titaanoksüüd trimorfne.

Polümorfismi esinemist võimaldab ruumvõrede lodevus, mis on tingitud mõjuraadiuste ebasobivusest tihedamale pakkimisviisile (vt. lk. 17), nii et üleminek ühest rakukese kujust teise on kerge, eriti kui temperatuur või rõhk muutub. Polümorfseist mineraalidest on mõned vähem püsivad kui teised ja aja jooksul nad muutuvad püsivamateks.

\*Igal modifikatsioonil on oma kindel  $t^0$  ja p intervall, mille piirides ta on stabiilne, — nagu seda ülal ka väävli puhul selgitati. Mineraloogiliselt tähtsaid näiteid pakuvad veel markasiit ja püriit,  $\beta$ -räni —  $\alpha$ -räni — tridümiit — kristobaliit; sfaleriit — vurtsiit jt.\*

### \*Pseudomorfoosid.

Polümorfism on tingitud mõningate kristall-olekute ebastaabiilsusest ja võrede kohastumisvõimest muutunud välistingimustega.

Kuid ka keemiliselt on mineraalid ebastabiilsed oludes, mis erinevad nende tekkemiljööst. Küll kaitseb neid nende tahke olek kiire lagunemise eest, pidurdades määramata ajaks reaktsioone, mis liikuva oleku puhul toimuvad mõne hetke vältel.

Kuid aktiivsed naabrid, muutunud *pt* jm. võivad siiski hävitada mineraali, mida tunnistavad ebakristallid — pseudomorfoosid. Pseudomorfoos on mineraali keemiline lagunemine, endiste elementide kas osaline või täielik asendumine uutega, nõnda et endise mineraali ruumis ja rüüs tekib uus mineraal teisest sümmeetriaklassist. Sagedamaid pseudomorfoose on limoniit ja goiit püriidi järgi (oksüüdid sulfiidi väliskujuga), serpentiin oliviini asemel, kaoliin päevakivide rüüs. Juhtub koguni, et peale mineraali kadumist jääb üle õõnsus, mis täitub hiljemini mehhaanilise settega. Eriti juhtub nõnda kivisoola kristallidega. Sääraseid pseudomorfoose leidub ka Eestis Saaremaal silurikihtides.\*

### Jootetoru analüüs.

Mineraali määramisel on otsustav tema keemiline koostis. Seepärast on tähtis osata kiiresti ja lihtsate abinõudega avastada mineraalis mõningaid elemente. Eriti on see tähtis uurijal kuskil inimtühjal maal, kus on tarvis koha peal teada, kas mineraal on väärtuslik või mitte ja kas maksab näha vaeva tema leiukoha lähema uurimise kallal või mitte. Juba vanast ajast alates on olnud otsitavamaid mineraale metallimaagid, milledest kõrges kuumuses mõningate reaktiivide abil redutseeriti metalle. Säärase mikrometallurgia-ahjuna arendati juba ammugi välja jootetoru — riist, mille abil mineraali pisiproovidega tehakse reaktsioone kõrgeil temperatuuridel.

Jootetoru (joon. 134) kujutab harilikult valgest vasest tehtud pisut koonilist, umbes 18 cm pikka toru *a*, mille laiemas otsas on kunstvaigust lehttrisarnane suuline *b* ja teises otsas jämedam torutükk *c*, mille külgmisse aku sobib risti peatoruga peenem harutoruke *d*, millel on välimises otsas ümmargune auguke 0,4—0,6 mm läbimõõduga. Selle torukese otsa käib plaatinast müt-sike *e*, samuti väikese auguga otsas.



Joon. 134.

Hoides toruotsa *e* küünlaleegi lähedal või leegis, puhutakse läbi suu, mille vastu surutakse ots *b*, õhku, mis sunnib leeki tekitavaid põlevaid gaase kalduma kõrvale terava koonusena, milles

tekib kiire põlemine, mis põhjustab kõrge temperatuuri. Heledas koonuseosas on süsiniku osi, mis seelses temperatuuris ahnelt ühinevad proovimineraali hapnikuga — redutseerivad ühendeid, mis esinevad mineraalis. Tumedas (välises) koonuseosas on hapniku üleküllus ja see leegikoonuse osa mõjub oksüdeerivalt proovimineraalile.

### Sulavus.

Mineraali omadusi, mida võib avastada jootetoru kaasabil, on sulavus (madal või kõrge sulamistemperatuur). Mõned mineraalid sulavad juba harilikus küünlaleegis (antimoniit), teised ainult õhukestes killukestes või peente nõeltena (natroliit); mõned ei sula küünlaleegis, küll aga kergesti jootetoru ees (almandiin); mõned sulavad jootetoru ees ainult õhukeste kildudena (aktinoliit), teised jälle sulavad ka neis tingimuses raskesti (ortoklaas), mõnedel ümmarduvad pisut teravad servad (bronsiit), kuna mõned ei osuta üldse sulamistunnuseid. Eelmainitud mineraalid moodustavad Kobelli astriku, millesse on reastatud kõik mineraalid. See astrik võimaldab sulavuskraadi järgi määrata mineraale. Mineraalikillukest hoitakse selleks otstarbeks plaatinaotstega varustatud näpitsate vahel esiti lihtsalt küünlaleegis ja kui ta seal ei sula, siis jootetoru leegis.

### Leegi värvus.

Killukese kuumutamisel võib vahel ka märgata leegivärvuse muutumist: mõned elemendid värvivad leeki. Näit. Na annab kollase, K lilla, Cu sinise, Ba (ka B ja P) rohelise, Sr punase leegi. Leegi värvuse esilekutsumiseks tuleb vahel proovi enne kuumutamist niisutada soolhappega. Värvuse täpsemaks määramiseks võib tarvitada spektroskoopi või segavärvuste puhul vaadelda leeki läbi värviliste klaaside (värvifiltrite).

Mõned mineraalid näitavad kuumutamisel ka muid iseärasusi. Mõned lõhkevad (dekrepiteeruvad), kusjuures raasukesed kargavad laiali (keedusool, mõned sulfiidid); teised — nimelt kristallvett sisaldavad (näit. maarjas) — puhutakse laiaks, nad paisuvad; vermikuliit laguneb lehekesteks, nitraadid plahvatavad põlema, kaltsiit ja strontsiianiit helenduvad.

## Reaktsioonid söel.

Appi võttes puusöetükki (paremad on kase-, lepa- või pärna-süsi) saab jootetoru ees toimetada veelgi mõnda iseloomustavat reaktsiooni. Siledaks lõigatud söepinnasse tehakse väike lohk, millesse asetatakse pulbriks tambitud mineraali proov, mida tarbe korral niisutatakse veega (et ta puhumisel ära ei lendaks) või segatakse soodaga. Juhtides proovile jootetoru leegi kutsume siin välja reaktsioone, mis eritavad iseloomustavaid lõhnu ja redutseerivad või oksüdeerivad mineraali komponente. Osa reaktsiooniproduktidest katab söepinna proovi ümbert eri värvi ja ka muudes omadustes erinevate katetega, mis sageli on iseloomulikud, eriti seatina, antimoni ja vismuti mineraalidele. Mõned metallimaagid annavad söel redutseeritud metalliterakese.

### Booraksi- ja fosforsoola-helmed.

Booraksi (pura,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) või fosforsoola [ $\text{HNa}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ] sulatises lahustuvad paljud ained ja annavad hangudes iseloomustava värvinguga ühendeid. Neid sulatise valmistatakse järgmiselt. Umbes 0,3 mm paks plaatina-traat keeratakse ühes otsas pisikeseks silmuseks (1—2 mm läbimõõdus). Jootetoru ees aetakse silmus helenduma ja kastetakse booraksi- või fosforsoola-pulbrisse, mida jääb silmuse külge. Siis kuumutatakse soola, kuni ta sulab ja silmuse helmena täidab. Palava helmega puudutatakse proovitava mineraali pulbrit, millest mõned kübemed jäävad helme külge. Nendega koos kuumutatakse helmest kas oksüdeerivas või redutseerivas leegis, kuni pulber lahustub, ja jälgitakse helme värvingut kuumalt ja siis külmalt. Need värvingud on küllalt iseloomustavad paljudele elementidele, nagu nähtub järgnevast tabelist.

## Jootetoru reaktsioonide tabel.

Element või ühend	Leegi värvus	Söel	Booraksi- (või fosforsoola-) helmes	Eritunnused
Alumiinium — Al		Koobaltnitraadi lahusega niisutatult kuumutatuna muutub siniseks.	Pika puhumise järel annab selge helme.	Proov soovitav pulbriks hõõruda.
Ammoonium — NH <sub>4</sub>				Kuumutatult lahtises torus koos soodaga annab tinkpiirituse lõhna.
Antimon — Sb	Rohekas-sinine.	O. l-s <sup>1</sup> tekib proovi lähedal söel valge kate, mida leegi-ga võib eemale puhuda.	O. l-s kuumalt kollakas, külmalt valge. R. l-s alul Sb liitrikesed, pikemal puhumisel helmes selgib.	Kuumutamisel õhu käes — tihene valge suits.
Arseen — As	Helesinine.	Küüslaugu lõhn. Kergesti metalliks redutseeruv. Valge, kergesti lenduv kate (sellepärast proovist eemal).		Lahtises torus annab valge lenduva As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> sublumaadi. Kinnises torus kattub toru tumepruuni kihiga (kuumalt), mis jahtudes muutub punaseks; soodaga kuumutatult tekib torul As metallpeegel.
Baarium — Ba	Kollakasroheline (silikaatides mitte).			Leegi värvus eristatav boori ja fosfori omast spektroskoobi abil. Annab lahjas väävelhappes valge sademe.
Boor — B	Väävelhappega niisutatult kuumutatud — hele kollakasroheline			Portselantassikeses koos väävelhappe ja piiritusega kuumutatult põleb piiritus rohelse tulega.

<sup>1</sup> o. l-s — oksüdeerivas leegis; r. l-s — redutseerivas leegis.

Element või ühend	Leegi värvus	Söel	Booraksi- (või fosforsoola-) helmes	Eritunnused
Broom — Br				Kinnises torus koos $\text{KHSO}_4$ -ga kuumutatult annab broomi auru.
Elavhõbe — Hg				Soodaga kinnises torus kuumutatult annab pisikeste tilgakestena Hg (hall kate torul).
Fluor — F				Koos $\text{KHSO}_4$ -ga kinnises torus kuumutatult annab HF, mis klaasi söövitab; mõnikord tekib toru avausel $\text{SiO}_2$ ring.
Fosfor — P	Roheline, eriti väävelhappega niisutatult.			
Hõbe — Ag		Soodaga redutseerub kergesti metalse Ag kerakeseks.	O. l-s külm helmes, piimvalge; r. l-s selgib pikema puhumise järel.	
Inglitina — Sn		Sooda- ja söepulbriga kuumutatult annab tinaterakese. Valge kate, mittelen- duv.		
Jood — J				Kinnises torus $\text{KHSO}_4$ -ga kuumutatult annab lillat joodiauru, mis tärklisist sine- tab.
Kaalium — K	Lilla; Na juuresolekul viimase värv segab.			

Element või ühend	Leegi värvus	Söel	Booraksi- (või fosforsoola-) helmes	Eritunnused
Kadmium — Cd		Punakaspruun proovi lähedal, kaugemal oranž.	O. l-s kuumalt kollane, külmalt värvusetu.	
Kaltsium — Ca	Pulbrina ja HCl-ga niisutatult annab punakaskollase värvuse.		Kergesti lahustuv, kuid külm helmes segane.	
Kloor — Cl				Vasehelses fosforsoolas värvub kloori mõjul purpurnaseks.
Koobalt — Co			Nii o. l-s kui ka r. l-s tumesinine.	
Kroom — Cr			O. l-s kuumalt kollakas või punakas, külmalt rohekas-kollane; r. l-s tumeroheline.	
Kuld — Au		Kergelt annab Au metalliterakese.	Redutseerub.	
Liitium — Li	Karmiinpunane.		Külm helmes piimvalge.	
Magneesium — Mg		Co-lahusega niisutatud proov annab söel punase katte.	•	
Mangaan — Mn			O. l-s lilla, soodaga koos sinakasroheline helmes; r. l-s värvusetu.	
Molibdeen — Mo		O. l-s vaskpunane kate proovi läheduses, kaugemal valge (kuumalt kollakas), mis r. l-s tumeneb.	O. l-s kuumalt kollane või punane, külmalt värvusetu või piimvalge; r. l-s muutub pruuniks ja läbipaistmatuks.	



Element või ühend	Leegi värvus	Söel	Booraks- (või fosforsoola-) helmes	Eritunnused
Naatrium — Na	Kollane.			
Nikkel — Ni		Redutseerub metalseteks ja magnetilisteks litrikesteks.	O. l-s kuumalt lilla, külmalt punakaspruun; r. l-s soganeb redutseerunud niklist; pike-ma puhumise järel selgib.	
Raud — Fe		Pulber või mass muutub magnetiliseks.	O. l-s kuumalt kollane või punane, külmalt kollane või värvusetu; r. l-s pudelroheline.	
Seatina — Pb		Redutseerub kergesti (soodaga) metalliks. Kate proovi lähedal kollane, kaugemal valge.	O. l-s kuumalt kollane, külmalt värvusetu või kollakas.	Lahjast lämmastikhappe lahusest väävelhape sadestab valge $PbSO_4$ .
Seleen — Se	Indigosinine.	Sulab ja lõhnab mädanevast rõikast. Kate söel hall.		Lahtises torus proovi lähedal metalne kate, kaugemal punane.
Siliitsium — Si			Fosforsoolahelmes annab räniskeleti.	
Strontsium — Sr	Karmiinpunane.		Kuumalt värvusetu, külmalt piimvalge.	
Süsinik — C				Karbonaatides annab HCl-ga $CO_2$ . Bituumised ained annavad kinnises torus kuumutatult tõrva ja lõhnavaid gaase.

Element või ühend	Leegi värvus	Söel	Booraksi- (või fosforsoola-) helmes	Eritunnused
Telluur — Te	Roheline.	Valge lenduv kate söel, punase või kollase servaga.		Lahtises torus valge või hall kate, mis kuumutamisel annab värvuse-tuid tilku.
Titaan — Ti			Booraksiga o. l-s kuumalt kollane, külmalt värvusetu või valge; r. l-s kollane või pruun. Fosforsoolaga lilla helmes.	
Tsink — Zn		Söe kate kuumalt kollane, külmalt valge; Co-lahusega muutub kollakasrohelisteks.	O. l-s kuumalt kollakas, külmalt värvusetu, samuti kui r. l-s pikemal puhumisel.	
Uraan — U			Booraksiga o. l-s kuumalt pruun või punane, külmalt kollakasroheline; fosforsoolaga o. l-s rohekaskollane, r. l-s roheline.	
Vanaadium — V			Booraks: o. l-s kollakasroheline, r. l-s smaragdroheline. Fosforsool: o. l-s helekollane, r. l-s smaragdroheline	
Vask — Cu	Roheline; HCl-ga niisutatult — taevas-sinine.	Soodaga annab Cu-kerakese.	O. l-s kuumalt roheline, külmalt sinine; r. l-s läbipaistmatu punane.	Lahus annab NH <sub>4</sub> lisandamisel sinise värvuse.
Vesi — H <sub>2</sub> O				Kinnises torus destilleerub ja annab veetilgakesi (udu) toru külmemas osas.

Element või ühend	Leegi värvus	Söel	Booraksi- (või fosforsoola-) helmes	Eritunnused
Vismut — Bi		Soodaga redutseerub hapra terakesena. Käte kuumalt tumearanž, külmalt helekollane, valge ser-vaga.	O. l-s kuumalt kollane või oranž, külmalt värvusetu või piimakarva. R. l-s selgib pike-mal puhumisel.	
Volfram — W			Booraksiga o. l-s kuumalt kollane, kül-malt piimakar-va; r. l-s tume-kollane. Fos-forsoolaga o. l-s värvusetu, r. l-s sinine.	
Väävel — S				Lahtises torus tekib SO <sub>2</sub> , mis on lõhnast tunda. Sooda-ga kokkusula-tatult ja veega niisutatult an-nab hõbeda pinnal pruuni või musta jälje.

### Teised reaktsioonid.

Eelnimetatud reaktiividele lisaks on jootetoru kaasavaraks alati ka koobaltnitraadi  $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  10% lahus tilkpudelikeses. Selle lahusega niisutamisel (enne või pärast kuumutamist) annavad mõned, näit. alumiiniumi või tsinki sisaldavad mineraalid iseloomustavaid värvinguid. Ka sool-, väävel- ja lämmastikhape on harilikult käepärast. Kuivadest reaktiividest on peale eelmainitud booraksi, fosforsoola ja sooda alati kaasas ka hapu väävelhapu kaalium ( $\text{KHSO}_4$ ), kaalisalpeeter ja inglisiin ning tsingi puru. Ka lakmuspaber on kasulik.

Samuti tarvitatakse lisaks sellistele reaktsioonidele ka proovitava mineraali (pulbri) kuumutamist klaastorus: a) lahtises, kus kuumutatava mineraali juurde vabalt pääseb õhuhapnik ja

mineraali komponentidega ühinedes annab eri välimusega või lõhnaga lenduvaid osi või mõned mineraali osad destilleeruvad ja sublimeerudes katavad hangudes külma toruosa, ja b) ühest otsast kinnises torus, kusjuures mõned ained samuti destilleeruvad, andes iseloomustavaid lenduvaidprodukte.

### Mikrokeemiline analüüs.

Mineraloogidel tuleb sageli määrata mineraali keemilist koostist, kui tal on kasutada pisike killuke mineraalist või osake õhukesest õhikust. Seepärast võtsid mineraloogid juba ammugi tarvitusele erilised meetodid, kuidas mikroskoobi abil jälgida väheste reaktiivide (kapillaarpipettidega ülekantavate tilkade) mõjul toimuvaid reaktsioone või nende reaktsioonideprodukte. Produktides esinevad iseloomulikud kristallid määrati mineraloogiliste meetoditega.

Keemikud arendasid asja edasi ja töid õieti kogu oma kvalitatiivse analüüsi meetodid üle mikroskoobilauakesele, mis neil võimaldab vähese katsematerjali ja reaktiivide kuluga avastada ainete keemilist koostist. Sakslased nimetavad seda meetodit *Tupfmethode*, mis vabas tõlkes oleks „pisiniisutusviis“.

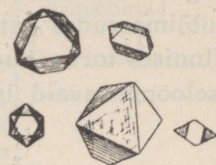
Mineraalid on enamikus silikaadid, millede lahustamine on sageli võimalik ainult fluorhappe ( $H_2F_2$ ) toimel. Seepärast oligi ajalooliselt esimeseks reaktiiviks mikrokeemilisel analüüsil  $H_2F_2$  või ränifluorvesinikhape ( $H_2SiF_6$ ). Kuid see reaktiiv söövitab mikroskoobi objektiivide klaasi, mispärast tema jäljed piinlikult tuli proovist eemaldada, näit. väävelhappe lisandamisel proov kuivaks kuumutada ja siis uuesti mõnes klaasi mitterikkavas happes lahustada.

Harilik töökord mikroanalüüsil on järgmine. Proov (terake, kild, pulber) lahustatakse uuriklaasil, portselantassikeses või plaatinalusikas, lahusest kantakse kapillaarpipetiga tilgakesed esemeklaasidele (või tarbe korral platinaplaadikestele), kuhu igale tilgale lisandatakse samuti tilgaviisi sobivaks peetavaid reaktiive. Reaktsioonide sademeid vaadeldakse mikroskoobis. Kui on tarvis katsetada õhikus esineva mineraaliterakesega, lõigatakse kateklaasisse teemandiga (või sulatatakse HF-ga) paras auguke, pestakse piiritusega kanada palsam ära ja kantakse paljastatud kohale tilgake vastavat reaktiiv. Kui õhik on katmata,

siis kaetakse ta kateklaasiga, millesse juba varemini on vastav auguke tehtud.

Mõningad iseloomustavad reaktsioonid toome määratavate ainete alfabeedilises järjekorras:

**Alumiinium** — Al. Lisades proovile haput tseesiumsulfaati ( $\text{CsHSO}_4$ ) saame sadesmeis oktaeedri ja kuubi kombinatsioones tseesium-maarja kristalle (joon. 135).



Joon. 135.

**Antimon** — Sb. Lisades terakese CsCl proovi lahusele saame kuuekülgseid anisotroopsed litrikesed  $\text{SbCl}_3 \cdot 3\text{CsCl}$  kristalle.

**Arsen** — As. Lämmastikhapus lahuses annab ammoniummolüüdaat  $[(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4]$  väga pisikesi kollaseid oktaeedreid — enamikus läbivaid kaksikuid — ammoniumarseenmolüüdaati.

**Elavhõbe** — Hg.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lahjas lahuses sadestuvad värvusetud rombilised  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  kristallid, kui tegemist on ühevalentsete Hg ühenditega. Kahevalentsed annavad KJ lahusega punase kristalse sademe, mis kuumutamisel kollaseks muutub.

**Fosfor** — P. Ammooniummolüüdaat lämmastikhapus lahuses annab fosformolüüdeenhappe ( $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) kollaseid kuubilisi terakesi.

**Hõbe** — Ag. Soolhappes tekkinud AgCl sade lahustatakse ammoniaagis ja lastakse sealt aeglaselt kristalliseeruda — tekivad oktaeedrid ja kuupoktaeedrid AgCl.

**Inglitina** — Sn. Kloortseesiumiga (CsCl) annab värvusetuid oktaeedrilisi tseesium-klorostannaadi ( $\text{Cs}_2\text{SnCl}_6$ ) kristalle.

**Kaalium** — K. Plaatinakloriid annab oktaeedri-, kuubi- või rombdodekaeedri-kujulisi  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ -kristalle (joon. 136).

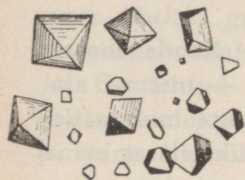
**Kaltsium** — Ca. Väävelhape annab monokliinseid kipsikristalle (joon. 137).

**Kuld** — Au. Inglitina (Sn) raasuke lahustatakse soolhappes (HCl); kulla toimel muutub lahus purpurses (kolloidne kuld ja tina hüdroksüüd).

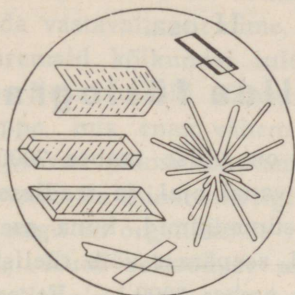
**Magneesium** — Mg. Hapu naatriumfosfaat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) ammoniakaalses Mg lahuses annab sademe  $(\text{NH}_4)\text{MgPO}_4$ , mis on rombiline, sageli puusärgikaane- või kirjaümbrikukujuline.

**N a a t r i u m** — Na. Uranülatsetaat  $[\text{UO}_2(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  annab selged helekollakad tetraeedrid naatrium-uranüülatsetaadi soolast (joon. 138).

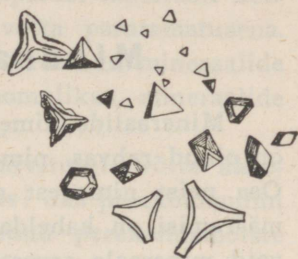
**R a u d** — Fe. Kolmevalentsed ühendid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) annavad ferrotsüaankaaliumi  $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6]$  kristalliga tumeda „berliinise“  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  sademe; kahevalentsed ( $\text{FeO}$ ) — samasuguse sademe ferri-tsüaankaaliumiga:  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ . Võib tarvitada



Joon. 136.



Joon. 137.



Joon. 138.

ka rodään-ammooniumi  $[(\text{NH})_4\text{CNS}]$  lahust, mis punaneb raua juuresolekul.

**S e a t i n a** (plii) — Pb. 20% soolhape annab tinakloriidi ( $\text{PbCl}_2$ ) rombilisi nõelu või kuusnurkseid tahvlikesi.

**T s i n k** — Z. Elavhõbe-rodaniid  $\text{Hg}(\text{CNS})_2$  annab tsink-elavhõberodaniidi  $\text{Zn}(\text{CNS})_2 \cdot 2\text{Hg}(\text{CNS})_2$  valgeid suletaolisi kristalliskelette.

## II osa.

### Mineraalide füsiograafia.

Mineraalide nimesid on üldse umbes 7000. Nende loojaks on olnud rahvas, nimelt vanal ajal, ja teadlased — uuemal ajal. Osa neist nimedest on sünonüümid, kuna osa uute mineraalide määramisi on kaheldavad, seepärast võib tõelisi üksteisest erinevaid mineraale arvestada umbes 2000-le. Et selles hulgas orienteeruda, on tarvis neid klassifitseerida, asetada mingisse süsteemi.

Süsteemi aluseks võib olla mõni mineraaliliik. Liigi defineerimine mineraaliriigis ei saa aga tugineda samadele alustele nagu bioloogias, sest päritolu ega ühtlase geneesiga ei saa mineraale iseloomustada: on näit. mineraale, mis tekivad kõrge kuumusega sulatistest, on neid, mis sublimeeruvad gaasidest, samuti neid, mis kristalliseeruvad külmast vesilahusest. Teisest küljest annab näit. vesilahusest kristalliseerumine kõigis oma omadustes sootuks erinevaid mineraale. Muutudes, metamorfiseerudes tekivad antud mineraalist uued mineraalid, mis erinevad põhjalikult nii antud mineraalist kui ka omavahel.

Ahvatlevana näib mõte võtta mineraalide süsteemi aluseks ruumvõrede omadused. Kuid seni on enamiku mineraalide ruumvõred veel tundmata. Teiseks on paljudel olulistes omadustes täiesti erinevail mineraalidel samatüübilised ruumvõred. Ruumvõrede erinevuse peaks siiski aluseks võtma polümorfismi juhtudel, kus üks ning sama aine esineb mitmes modifikatsioonis. Peaks lugema eri mineraaliks aine igat modifikatsiooni, mis säilitab oma ruumvõre ja koordinaatsioonarvud; viimaste muutumisel tuleks ainele anda uus mineraalinimi. Lihtmodifikatsioonid, mis tähistatakse  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -ga jne., kannaksid kõik ühte ning sama nime. See põhimõte pole aga seni kaugeltki järjekindlalt läbi viidud. Koguni vastupidi: on antud eri nimesid mineraalidele,

mis erinevad ainult mõnelt mitteiluliselt tunnuselt (eriti on seda märgata kalliskivide puhul).

Mineraaliliikide täpset määramist takistab ka isomorfism. Kui mineraaliaines üksikuis eksemplares võib esineda säärasena, et ta nende eksemplaride rea ühes otsas omab üht keemilist koostist ja teises oluliselt erinevat, kusjuures aga kogu rea ruumvõre jääb peaaegu samaks, samal ajal kristallograafilised omadused pidevalt muutuvad, — siis on võimatu igale mineraali koostise muutusele anda vastavalt uut nime, mispärast mineraali keemilise valemi suuremaid kõikumisi tuleb võtta paratamatusena. Kuid selline isomorfism annabki võimaluse eraldada mineraalide peres ühtlasi gruppe, mis enam-vähem loomulikus mineraalide klassifikatsioonis peavad jääma lahutamata.

On tehtud katseid ka mineraaliriigis tarvitusele võtta kahekordseid nimesid, nagu on organismide riigis: üks perekonnanimi ja teine liiginimi. Kuid eeltoodust selgunud perekonnanimõiste puudumine mineraaliriigis pole lasknud sellel kavatsusel teostuda.

Mineraalinimede algupära on väga mitmekesine. Tuntumaid mineraale on iga rahvas igivanast ajast peale ristinud omakeelsete nimedega. Mäetööstuse arenemine ja mineraloogia kui teaduse tekkimine põhjustasid uute mineraalide avastamist. Neile anti nimed kas k o h a järgi, kus nad avastati (boksiit — beauxit, pargasiit), mõne erilise omaduse järgi (rutiil — punane; sfen — sphen — kiilutaoline, prismatiin — prismaline, jne.), eriti palju peamise tähtsusega keemilise ühendi järgi (antimoniit, kalkopüriit, kuprobismiit) või jälle mõne isiku auks (götiit — göthit, brukiit — brookit, milleriit).

Mööda minnes mitmesugustest teistest mineraloogia süsteemidest jääme peatuma enamiku mineraloogide poolt tarvitusele võetud süsteemil, mille kõrgemad ühikud (klassid ja sugukonnad) on rajatud keemilisele koostisele. Allühikud on määratud ka kristallograafiliste omaduste sarnasuse järgi, eriti silmas pidades isomorfseid rühmi. Eesotsa on paigutatud mineraalid lihtsama koostisega (elemendid). Järk-järgult minnakse keerulisemate juurde, lõpetades silikaatidega; lisaks tulevad orgaanilised ained. Harilikult antakse kõigi tähtsamate mineraalide kohta alltoodud järjekorras:

- 1) nimi (või nimed) ja üldine keemiline valem,
- 2) kristallograafiline klass, ruumvõre, kristallide välimus ja esinemisviis, lõhevus,

- 3) kõvadus, erikaal, optilised omadused, kriips,
- 4) keemilised omadused, reaktsioon jootetoru ees,
- 5) kus leidub (ainult kõige tähtsamad andmed),
- 6) märkmed, kus viidatakse ka mineraalidele, milledega käsiteldavat mineraali võib ära segada,
- 7) milleks tarvitatakse.

Käesolevas raamatus on tarvitusel järgmised lühendid:

<p><i>a, b, c</i> — algrakukese mõõtmed, samuti telgede pikkused</p> <p><i>k.</i> — kõvadus Mohs'i astriku järgi</p> <p><i>e.-k.</i> — erikaal</p> <p><i>n</i> — murdumisindeks</p> <p><i>ω</i> — hariliku kiire murdumisindeks</p> <p><i>ε</i> — ebahariliku kiire murdumisindeks</p>	<p><i>a, β, γ</i> — kas murdumisindeksid kaheteljelistes mineraalides või telgedevahelised nurgad</p> <p><i>k.-m.+</i>, <i>k.-m.—</i> — positiivne või negatiivne kaksikmurdumine</p> <p><i>j.-t.</i> — jootetoru</p> <p><i>o. l.</i> — oksüdeeriv leek</p> <p><i>r. l.</i> — redutseeriv leek</p>
--	--

I klass.

## Elemendid.

1. sugukond.

### METALLOIDID.

#### Teemant. C (süsinik).

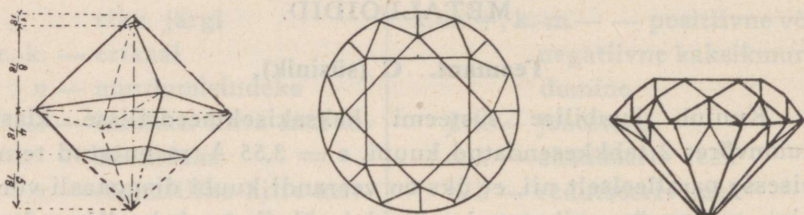
Kuulub kuubilise süsteemi heksakisoktaeedrilisse klassi. Ruumvõre: 2 tahkkesendatud kuupi,  $a = 3,55 \text{ \AA}$ , mahutatud teineteisesse paralleelselt nii, et üks on veerandi kuubi diagonaali võrra teise suhtes ära nihutatud. Leidub üksikute kristalliteradena, peamiselt oktaeedrikujulistena, kuid sageli on tahud rikutud ja väljapoole kumerad. Kaksikud (111) järgi. Harilikult pisikesed, alates mikroskoopilisest suurusest; harukordselt leidub ka suuri. Kõige suurem senileitud teemant kaalus 621,2 g. Nagu kõigi kalliskivide, nii on ka teemandi kaaluühikuks karaat; praegu on karaadi kaal rahvusvaheliselt 0,2 g. Sageli leitakse lihtsalt kristallikilde, nurgelisi või ümmardatud teri; leidub ka korrutatud või radiaalselt kokkukasvanud kristall-agregaate ja ka tiheda struktuuriga tükke. Mõned teemandid sisaldavad söetaolist ainet, hematiiti, ilmeniiti, räni, rutiili või ka mikroskoopilisi õõnsusi.

Täiuslik lõhevus on oktaeedri järgi. Murd konnakarpjas. Habras. Kõvadus 10, on kõvem kõigist mineraalidest. Erikaal 3,15—3,53. Vesiselge, läbipaistev kuni mustani, läbipaistmatuni. Läikeks on iseloomulik „teemandiläige“, kuid karedapinnalistel ka tuhm. Harilikult värvusetu või vaevalt märgatavalt kollakas; harva esineb kollaseid, punaseid, rohelisi ja siniseid, veel harvemini musti. Murdumisindeks punastele kiirtele (joon B) on 2,407, lilladele kiirtele (joon H) 2,465, nii et dispersioon on tugev — 0,058, mis põhjustab lihvitud teemandi suure läike ja „tule“ (mitmevärvilise helgi). Mõni teemant fosforestseerub hõõrumise,

päikesekiirte või elektriseerimise mõjul; hõõrumisel elektriseerub positiivselt. Soojusjuhtivus kaunis kõrge, mistõttu käes tundub külmana.

Harilikult on teemant puhas süsinik, nii et põleb pulbrina  $\text{CO}_2$ -ks juba jootetoru ees. Mustad teemandid sisaldavad vahel kuni 4% kõrvalisi aineid. Öhu juurdepääsuta elektrikaarleegis kuumutatult muutub grafiidiks. Harilikes happeis ei lahustu.

Prægu on rikkaim teemantide leiukoht Lõuna-Aafrikas, kus neid saadakse nii primaarseist leiukohtadest tardkivimist (peridoitiidi-taolisest aimest, mis täidab hiiglasuuri vertikaalseid vulkaanilisi lõõre) ja ka sekundaarseist settelademeist. Peamiselt settelademed on ka Brasiilia, India, Austraalia, Uurali mäestiku,

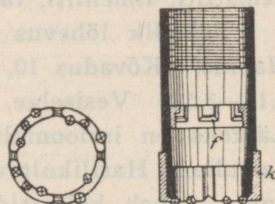


Joon. 139.

Guayana, Briti Kolumbia ja Arkansase leiukohad. On leitud mikroskoobiliselt mõnes meteoriidis. Teated kunstliku valmistamise kohta on kaheldavad.

Vesiselged teemandid on lihvituna esmajärgulised ehtekalliskivid. Levinuim lihvimisviis on briljantlihv (joon. 139). Suurimate teemantide „elulood“ ja prægused asukohad on kalliskivide õpetuse huvitavamaid peatükke.

Iluasjaks kõlbmatud teemandid leiavad tarvitamist tehnikas. Siin eristatakse järgmisi liike: 1) b o r t — radiaalkiulised sitked kerakesed ja 2) c a r b o n a d o — tumepruunid või mustad, tihedad, samuti sitked tükid. Maa puurimisel, samuti kividesse ja metallidesse aukude puurimisel tarvitatakse rõngaid — „kroone“ (joon. 140), millede servadesse kinnitatud teemandid krooni kiirel keerlemisel löikavad (hõõruvad) kivisse või metalli rõngaspilu, kuna krooni

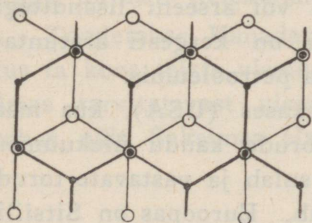


Joon. 140.

õõnsus annab südamiku (tuuma), mis puuritava aine proovina kätte saadakse. Peene traadi tõmbamisel (eriti kõvast materjalist, nagu volfram) tarvitatakse tõmbeauke, mis puuritud teemandisse. Klaasilõikamise teemandid on üldtuntud. Peente jaotuskriipsude pealekandmine mõõduriistadele või difraktsioonvõrele toimub samuti teemantidega. Pulbrina on teemant kõlblik kõige kõvemate materjalide (ka teemandi enese) lihvimiseks.

### Grafiit. C.

Struktuuriliselt kuulub diheksagoon-bipüramiidsesse klassi, väliselt romboedriliste pindadega. Ruumvõre skeem joonisel 141, kus kuusnurkade küljepikkus on 1,45 Å, järgmise kihi kaugus 3,41 Å; kihid vahelduvad nii, et esimeses, kolmandas, viiendas jne. on aatomid asendis, mis märgitud punktiga, ja teises, neljandas jne. — asendis, mis märgitud ringiga. Esimesed moodustavad paksujooneliste kuusnurkade võrgu, teised peenejooneliste.  $a : c = 1 : 1,386$ . Kristallid väga harva, esinevad kuuekülgsed tahvlikesed. Harilikult leheliste, soomuseliste, ka teraliste ja kiuliste massidena, vahel ka muldjana.



Joon. 141.

Lõhevus väga täiuslik baasi järgi; lehekesed painduvad. K. 1. Määrib käsi, tundub rasvane. E.-k. 2,1—2,3. Metalliläikega või tuhm, terashall, läbipaistmatu. Kriips hall; laialihõrutult metalliläikega. Elektri- ja soojusjuhtivus hea.

Puhas süsinik, kuid on ka grafiiti kuni 20% lisaainetega, mis tuhana järele jäävad, kui grafiit ära põletada. Hapniku juurdepääsuta tulekindel. Ka happekindel, ainult kaaliumkloraadi ja suitseva lämmastikhappe toimel muutub grafiithappeks  $C_{11}H_4O_5$ , mis on rohekaskollane.

Peamised leiukohad: Tseiloni ja Madagaskari saared, Korea, Mehhiko ja Texas.

Ära vahetada võib molübdeniidiga, mis aga ei põle.

Kõige rohkem grafiiti läheb metallisulatamise tiiglite valmistamiseks, samuti metallurgiliste ahjude voodriks. Tarvitatakse

ka värvideks (näit. ahjude raud-osade katmiseks), elektriasjanduses, lisandiks määrdeõlilede ja pliitsisüdamiketeks.

Osa tehnikas tarvitavat grafiiti valmistatakse elektriahjudes antratsiidist või naftakoksist.

### Väävel. S.

Romb-bipüramiidne. Ruumvõre väga keeruline: igas raku keses üle saja aatomi. Harva kristalliseerunud [bipüramiidid, peamiselt (111) ja (001)]. Harilikult esineb teralise, kiulise, tiheda ja jahutaolise ühtlase massina või mõnes kivimis pispesadena; esineb ka koorikuna ja katekirmena.

Lõhevus vaevalt märgatav. Murd konnakarpjas või ebataasane. Väga habras; käesoojusest jätkub, et kristallid ebahütlase laienemise tõttu lagunevad. K. alla kahe. E.-k. 2—2,1. Tasastel pindadel teemandi-, muidu rasvaläige. Kollane, roheka tooniga; kui väävelarseeniga segatud, siis oranž, kui bituumeniga, siis pruun. Kriips valge. Optiliselt positiivne.  $\alpha = 1,960$ ,  $\beta = 2,040$ ,  $\gamma = 2,248$ ;  $2V = 69^{\circ} 5'$  (kollase valguse jaoks).  $95,3^{\circ}$  t<sup>0</sup>-s muutub monokliinseks väävliks, mis sulab  $119,25^{\circ}$  t<sup>0</sup>-s.  $270^{\circ}$  t<sup>0</sup>-s hakkab hapniku manulusel põlema. Halb elektrijuhtivus: hõõrumisel elektriseerub negatiivselt.

Looduses sageli bituumeni, seleeni või arseeni lisanditega. Põledes annab SO<sub>2</sub>, mille lõhna järgi on kergesti äratuntav. Lahustub väävelsüsinikus (CS<sub>2</sub>), osalt ka petrooleumis.

Suurim tootmine Louisianas ja Texases (USA), kus maalustesse settelademetesse pressitakse torude kaudu ülekuumen-datud vett ja auru, mille mõjul väävel sulab ja vastavate torude kaudu voolab maapinnale, kus ta hangub. Euroopas on Sitsiilia saar väävli tootmisel esireas. Palju väävli saadakse tema ühenditest — püriidist ja teistest sulfiididest.

### 2. sugukond.

## HABRASMETALLID.

### Arseen. As.

Ditriگون-skalenoeedriline. Ruumvõre: kaks tahkkesendatud romboeedrit, poole küljepikkuse võrra teineteise suhtes ära nihutatud. Romboeedri küljepikkus  $5,60 \text{ \AA}$ ; nurk  $84^{\circ} 36'$ . Heksagoonselt  $a : c = 1 : 1,401$ . Harva kristallidena. Harilikult esineb tihedana, koorikjalt ja klaaspea-kujuliselt, olles kihilise ehitusega.

Lõhevus täielik baasi järgi. Peeneterine kuni tasane. Habras. K. 3—4. E.-k. 5,4—5,9. Läbipaistmatu. Värske murd helehall, läikiv; õhu käes musteneb ja tuhmub ruttu. Kriips must.

J.-t. ees sublimeerub sulamata, jättes valge katte, mis on kergesti lenduv; küüslaugu lõhn.

Kaunis sagedane, kuid vähesel hulgal esinev. Leidub Saksimaal Harzis, Tšehhis (Pribram), Norras (Kongsberg), Mehhikos, Tšiilis ja Vancouveri saarel. Majanduslikku tähtsust ei oma.

### Vismut. Bi.

Ditrigoon-skalenoedriline, isomorfne arseeni ja antimoniga. Ruumvõre sarnane arseeni omaga: romboedrilisel rakukesel  $a = 6,56 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 87^\circ 35'$ ; heksagoonselt  $a : c = 1 : 1,304$ .

Harva kristallidena, harilikult dendriitidena või kiudkoena, ka leheliste või teraliste agregaatidena.

Lõhevus täiuslik (0001) järgi. Habras, kuid laseb noaga lõigata ja soojalt veidi taguda. K. 2—2½. E.-k. 9,7—9,8. Metalliläige. Hõbevalge, punaka tooniga, sageli kaetud kirju kirmekesega. Kriips tinahall. Tugevasti diamagnetiline. Sulab 289° t°-s, sublimeerub j.-t. ees ja annab söel katte, mis on kuumas olekus oranž, külmalt helekollane.

Toodetakse Kanadas (Ontario, Suur-Karujärv) ja Boliivias, kus ta koos teiste vismutimineraalidega annab suurema jao maailmas tarvitatavast vismutist. Mineraloogiliselt mitmes teises kohas, näit. Saksimaa Harzis.

3. sugukond.

## TAOTAVAD METALLID.

### Kuld. Au.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre rakuke: tahkkesendatud kuup:  $a = 4,070 \text{ \AA}$ . Head kristallid haruldased; harilikult esinevad pleki- või traaditaolised väga moonutatud vormid. Enamikus esineb aga välise kristallivormita; leidub suurtest (kuni 150 kg!) ümmardatud välispinnaga ja auklikest mürakatest alates peene tolmu.

Lõhevust ei ole. Murd haakjas. Laseb kergesti õhukeseks plekiks taguda. K. 2½—3. E.-k. 15,6—19,3. Metalliläige. Kollane;

hõbedasisalduse puhul heledam. Kriips metalliläikega, kuld-kollane.

Keemiliselt kas puhas kuld või sisaldab ka 2 ja rohkem % Ag (kui Ag on 30—75%, kannab eri nimetust — elekt-rum) —, Cu, Bi, vahel ka Pd või Rh. J.-t. ees sulab kergesti kerakeseks (puhta Au sulamispunkt 1062,4°). Lahustub  $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$  lahuses, samuti peene tolmuna KCN lahuses ja üldse lahustes, kus on vabu haloide; kolloidsena ka  $\text{H}_2\text{O}$ -s. Annab Hg-ga amalgaami.

Peaaegu kogu kullasaak saadakse eheda kullana. Oma väär-risuse tõttu vabaneb ta kergesti ühenditest teiste elementidega ja sadestub metallina. Eriti on ta ühenduses hanguvatest mag-madest väljapressitud kuumvete lahustest tekkinud mineraali-soontega, kus domineerib eriti räni. Need ränisooned moodus-tavadki kulla primaarseid varapaiku (leiukohti). Kogu säärase soone materjal purustatakse ja kuld eraldatakse pesemise ja kas Hg-s, KCN-s või muus sobivas lahustis lahustamise teel. Töö-tatakse kasuga kohtades, kus Au-sisaldus ühes mineraalne ton-nis ei lange alla 1,3 g primaarseis varapaikades ja 0,1 g sekun-daarseis varapaikades.

Teine tüüp kullaleiupaiku on sekundaarne, kus kuld sisaldub eluviaalses või alluviaalses materjalis: konglomeraatides, liivas jne. Säärastes leiukohtades jääb sageli ära esialgne kulda sisal-dava kivimi purustamine, alustatakse pesemisega ja väljapestud kontsentraat, kui osutub tarvilikuks, purustatakse, et siis vas-tavas lahustis kulda kinni püüda.

Praegu on kullatootjaist maist esimesel kohal Lõuna-Aafrika, edasi järgnevad USA (Kalifornia, Nevada), Austraalia, Kanada ja Siber. Ülemaailmaline toodang oli 1939. a. 1235 tonni.

Kasutatakse müntide, ehteasjade ning füüsika- ja keemia-aparaatide valmistamiseks ning keemilisteks reaktiivideks.

### Hõbe. Ag.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre nagu kullal.  $a = 4,078 \text{ \AA}$ . Kristallid sagedamad kui kullal, kuid harilikult samuti moonu-tatud. Peamiselt ilma kristalli välimusega, pesadena, kate-kirmena, ka pleki- ja kiukujuliselt, vahel ka ümmardatud mugu-latena — kaalult kuni 750 kg; on registreeritud koguni 1760-kg leid.

Märgatav lõhevus puudub. Murd haakjas. Kergesti taotav ja venitatav.  $K. 2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 10—12 (puhtal hõbedal 10,5). Metalliläige, suurim peegeldusvõime ja väikesim  $n = 0,181$  (kollasele valgusele). Õhukesed lehekesed lasevad läbi sinist valgust. Värvus hõbevalge, kuid harilikult kollaka, pruuni, halli või musta kirmekesega. Kriips metalliläikega ning hõbevalge. Suur soojus- ja elektrijuhtivus.

Keemiliselt Ag, kuid mõningais leiukohtades segatud kullaga igasugustes vahekordades. Vähem seltsib Cu, Hg, Bi ja Sb-ga. J.-t. ees sulab kergesti (puhta Ag sulamispunkt 960,5°).

Pole eriti haruldane mineraal, kuid on teiste hõbedamaakide kõrval tähtsusetu. Hõbedamineraalide varapaikade tsementatsioonivöös sulfiidide taandumisprodukt. Kohati ka sadestunud sügavusest tõusvatest vesilahustest. Leiukohad: Mehhiko (Sonora jt.), Tšiili, Boliivia, Kanada (Ontario), Norra (Kongsberg).

Erineb valgeist metalliläikega mineraalest, nagu antimon, antimoniit, oma hea taotavusega. Peamised tootjad on praegu Mehhiko, P.-A. Ühendriigid ja Kanada. Aastatoodang umbes 8500 t.

Kasutatakse müntide, ehteasjade ning füüsika-, keemia- ja arstiriistade valmistamiseks ning päevapilditööstuses.

### Vask. Cu.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre nagu kullal ja hõbedal,  $a = 4,079 \text{ \AA}$ . Kristallides esinevad  $\{111\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{110\}$  ja vahel ka  $\{210\}$  või  $\{311\}$ . Kuid enamasti esineb kristallivormita — dendriitidena (joon. 92), sammaljalt ja niitjalt, ka plekikujulisena, teradena või mugulatena; harva pseudomorfoosidena kaltsiidi, aragoniidi või kupriidi järgi.

Lõhevus puudub. Murd konkslik. Hästi taotav.  $K. 2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 8,5—9. Metalliläige, vaskpunane, pealispinnal sageli kaetud rohelise või sinise, pruuni või musta aegumiskoorega. Õhukese lehekesena laseb läbi rohelisi valguskiiri. Kriips metalliläikega, vaskpunane. Hea soojus- ja elektrijuhtivus.

Peaaegu puhas Cu, harva juurde segatud pisut Ag, As, Bi. J.-t. ees sulab kergesti ja kattub musta oksüüdiga (CuO); lahustub kergesti happes; ammoniaagi lisandamisel värvub lahus siniseks.

Leidub enamasti igal pool, kus esinevad Cu-maagid ja kus liiguvad orgaanilisi olluseid sisaldavad veed, eriti oksüdatsioonija tsementatsioonivööde piiril. Suurimad massid leiduvad Kee-  
wenaw' poolsaarel P.-Ameerika Superiori järvel, kus rõhuvas ena-  
mikus esineb tolmu- kuni haavlitera suuruselt, kuid on leitud  
üksikuid lahmakaid kaaluga ka kuni 400 t.

Vasesaak maailmas oli 1938. a. 1 743 300 t, 1939. a. 2 127 000 t.  
Peamised tootjad olid: P.-Am. Ühendriigid, Tšiili, Aafrika (Kongo  
ja Edela-Aafrika) ja Kanada.

Vaske kasutatakse suurel hulgal elektrijuhtmete (traadi),  
naelte ja pleki valmistamiseks; sulamites: valgevask ja pronks;  
sõjatehnikas, müntide valmistamiseks ja keemilisteks reaktiivideks.

### Raud. Fe.

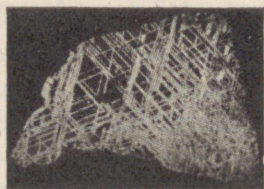
Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre ruumkeskendatud kuup,  
 $a = 2,87 \text{ \AA}$ . Looduses väliskujult määratavaid kristalle ei esine.  
Esineb teraliselt, soomuselisel ja mugulaliselt.

Kunstlikes kristalles märgata täiuslik lõhevus  $\{100\}$  järgi.  
Murd konksslik. Taotav. K. 4—5. E.-k. 7,8. Metalliläige, teras-  
hall; pealt sageli must. Mõjustab magnetit.

Taandunud oma ühenditest metallurgilisi protsesse järele-  
aimavates oludes; sulamagma sattumisel söelademetesse. Seepä-  
rast sisaldab ka sageli tsementiiti —  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

Nikli ja raua sulam (nikkelraud) näib samuti otseselt mag-  
mast välja kristalliseeruvat (Ni : Fe vahel 2 : 1 kuni 3 : 1). Sää-  
rane mineraal esineb avaruüdi nime all Uus-Meremaal jõe-  
setteis.

Nikkelraud esineb ka meteoorse rauana, mis satub maa-  
kerale maailmaruumist. Raudmeteoriidid sisaldavad 6—12% niklit.  
Lihvitud ja kergelt happega söövitatud meteorraua pind näitab nn.



Widmanstädteni jooni (joon. 142): need  
on meteoori läbivate ja oktaeedri pindade  
järgi orienteeritud niklivaeste lamellide  
jäljed. Niisugust niklivaest rauda mete-  
oriidis nimetatakse kamatsiidiks. Sa-  
geli on need lamellid mõlemalt poolt kaetud  
niklirikast täniidist koosnevate  
kestadega. Lamellide vahed on täidetud

plessiidiga — peenelt kokkukasvanud kamatsiidi ja täniidi  
seguga.

## Plaatina. Pt.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre tahkkesendatud kuup,  $a = 3,903 \text{ \AA}$ . Kristallid harvad, neis esineb peamiselt  $\{100\}$ . Muidu esineb nurgeliste teradena või ümmardatud suuremate muguladena (kuni 9,6 kg).

Murd konksslik. Taotav. K. 4—4½. E.-k. 14—19, puhastatult 21,5. Metalliläige; terashall kuni hõbevalgeni; kriips sama värvi.

Alati koos 10—40% ulatuses teiste ainetega, milledest väärivad tähelepanu teised plaatina keemilisse rühma kuuluvad elemendid: iriidium, pallaadium, osmium; ka rauda on sageli juures. J.-t. ees ei sula; sulab ainult vesinik-hapniku (paukgaasi) leegis (1755°). Lahustub keevas kuningvees; 240° t°-s annab ühenduse Cl-ga; ühineb kuumutamisel ka P, S, As, Sb ja Si-ga.

Primaarseiks leiukohtadeks on oliviin-tardkivimid, kus Pt esineb koos kromiidiga. Leiti plaatina ja teda saadakse praegugi sekundaarseis leiukohtades — Uurali mägedes (Tagil, Katškanar) ja Kolumbias. Praegu saadakse palju plaatinat Kanadas Sudbury vasemaakidest kõrvalainena. On tõusnud ka Edela-Aafrika (Transvaal) tähtsus plaatinatootjana.

Kasutatakse katalüsaatorina väävel-, äädik- ja lämmastikhappe valmistamisel, füüsika-, keemia-, elektri- ja arstiriistade ning ehteasjade (kalliskivide raamistise) valmistamiseks, kõrgete temperatuuride registreerimisel, hambatehnikas ja mõningate reaktiividena. Aastatoodang umbes 4 t.

II klass.

### Hapnikuvabad ühendid S, As, Sb, Bi, Se ja Te-ga.

Siia-kuuluvad mineraalid on enamikus mäetööstuses suure tähtsusega. Harilikult metallivälimusega, suure erikaaluga ja läbipaistmatud.

1. sugukond.

### HABRASMETALLIDE SULFIIDID.

#### Realgaar. AsS.

Monokliin-prismaline,  $a : b : c = 1,440 : 1 : 0,973$ ;  $\beta = 66^\circ 5'$ . Kristallid prismataolise välimusega või nõeljad.

Lõhevus kaunis hea pindadel  $\{010\}$  ja  $\{210\}$ . Murd konnakaarjas. K.  $1\frac{1}{2}$ —2. E.-k. 3,5—3,6.

Värvus punane (tumeroosa). Kriips oranž. Tasapindadel teemandiläige, murdepinnal rasvaläige. Päikesevalguse mõjul muutub kollaseks auripigmentdipulbriks. K.-m. —;  $a = 2,46$ ,  $\gamma = 2,61$ ;  $2V \sim 40^\circ$ ; kustumise põiksus  $11^\circ$ .

Peaaegu puhas AsS. J.-t. ees sulab kergesti ja põleb küüslaugulõhnaga; kinnises torus punane kate. Lahustub KOH lahuses.

Leiukohad Ungaris, Bosnias, Makedoonias, Pärsias, Hiinas ja USA Yellowstone'i pargis. Tehnilist tähtsust ei oma.

#### Auripigment (operment). As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>.

Monokliin-prismaline, pseudorombiline;  $\beta = 89^\circ 19'$ .  $a : b : c = 0,596 : 1 : 0,665$ . Kristallid harvad.

Väga täiuslik lõhevus ja pärlnutriläige  $\{010\}$  peal. Lõhendliistukesed painduvad. Laastuna noaga lõigatav. K.  $1\frac{1}{2}$ —2. E.-k. 3,4—3,5.

Sidrunkollane, läbipaistev. Kriips kollane. Pleokroiitiline. K.-m. +.  $a \sim 2,4$ ,  $\gamma > 2,72$ .

Kuumutatult muutub punaseks. J.-t. ees nagu realgaar, kuid suletud torus annab tumekollase katte.

Leidub harilikult koos realgaariga, mille lagunemisproduktina sageli esineb; kuid tekib muide ka As-mineraalide lagunemisel.

Kunstlikult valmistatult tarvitatakse värvina (kuningakollane).

### Antimoniit (stibniit). $Sb_2S_3$ .

Romb-bipüramiidne,  $a : b : c = 0,993 : 1 : 1,018$ . Kristallid pulkjad või nõeljad  $c$ -telje suunas, sageli kõverad; otsatahud esinevad harva.  $\{100\}$  järgi on iseloomulikud väga täiuslik lõhevus, tugev läige ja sageli ristikriipsud või lained. Esinevad samuti  $\{110\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{121\}$  ja  $\{113\}$ . Agregaadid koosnevad kiirtena laienevaist nõeltest, mõnikord sametmustadest keradest, enamasti aga ebakujulistest teradest või kujutavad tihedast materjalist koosnevaid masse. Esineb ka kiulise vildina.

Peale nimetatud väga täiusliku lõhevuse esineb veel mitte-täiuslik lõhevus  $\{100\}$  ja  $\{110\}$  järgi. Õhukesed liistukesed painduvad. K. 2. E.-k. 4,6—4,7. Tugev metalliläige, kuid pind katub tuhmi, vahel värvilise, vahel musta kihiga. Tinahall. Kriipsuume-tinahall. Läbipaistmatu. Murdumisindeksid (möödetud peegelduse abil):  $\alpha = 3,41$ ,  $\beta = 4,37$ ,  $\gamma = 5,12$  (oranžis valguses).

Sulab juba küünlatules. J.-t. ees annab kahvatu-roheka leegi, lendub valge suitsuna ja annab söel valge katte. Soolhappes laguneb pulbriks, mille küllastatud KOH lahus värvib kollaseks; selles lahuses sadestab soolhape oranžide helbeina.

Tähtsaim antimonimaak. Suurimaiks tootjaks on Hiina (Sikuanšan Kiangsi provintsis), Alžeeria, Magurka, Kremnitz end. Tšehhoslovakkias, Auvergne Prantsusmaal, Korsika ja Sardiinia, Oporto Portugalis.

Antimoni tarvitatakse peamiselt igasugustes sulamites: trükitehnikas, babbit-, britannia ja akumulaatorite metall. Peene pulbriks annab antimon musta värvi metalli ja kipsi katmiseks. Antimoni oksüüdi tarvitatakse valge emaili segus ja ka värvina. Antimoniühendeid tarvitatakse ka tekstiiltoodete värvimisel ja ravimite valmistamisel.

## Molübdeniit. $\text{MoS}_2$ .

Heksagoon-bipüramiidne. Ruumvõre tüüpiliselt kihiline:  $a = 3,15 \text{ \AA}$ ,  $c = 12,30 \text{ \AA}$ . Kristallid väga harvad. Harilikult kõveraleheliste ja soomuseliste, vahel ka tihedate agregaatidena.

Lõhevus  $\{0001\}$  järgi väga täiuslik, õhukesed lehed väga painduvad, mitte aga elastsed. Määrib sõrmi ja tundub rasvasena. K.  $1-1\frac{1}{2}$ . E.-k.  $4,7-4,8$ . Tugev metalliläige, tinahall, pisut lillakas. Kriips tumehall. Hästi õhukeseks hõõrutult määrduvad sibulroheline.

J.-t. ees ei sula, leegi värvib kollakasrohelisteks, annab söel valge katte; lahtises torus eraldub  $\text{SO}_2$  ning tekib helekollane  $\text{MoO}_3$  kate.

Tähtis molübdeenimaak. Peamine tootmine USA-s (Koloraado, Uus-Mehhiko), edasi Austraalias (Queensland). Leidub ka mitmes kohas Euroopas (Norra, Saksimaa Erzgebirge, Soome).

Molübdeeni kasutatakse peamiselt molübdeenterase valmistamiseks. Eriti suure rõhu all asendab grafiiti määrdeõlides. Röntgenitorudes sage katoodimaterjal. Katalüsaator paljudes keemilistes protsessides. Molübdeeniühendid on tähtsad värvi- ja keemiatööstuses.

Välimuselt sarnane on grafiit.

### 2. sugukond.

## TAOTAVATE METALLIDE SULFIIDID.

### Sfaleriit. $\text{ZnS}$ .

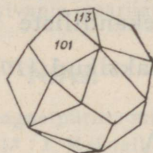
Heksakistetraeedriline. Ruumvõre: Zn tahkkesendatud kuup, milles S tahkkesendatud kuup on igas mõõtnes  $\frac{1}{4}$  kuubikülje võrra edasi nihutatud.  $a = 5,39 \text{ \AA}$ . Kristallid harva hästi moodsed, kuid esineb palju vorme. Esinevussageduse järjekorras:  $\{110\}$ ,  $\{311\}$  ja  $\{3\bar{1}1\}$  (joon. 143);  $\{211\}$  ja  $\{2\bar{1}1\}$ ;  $\{100\}$ ;  $\{111\}$  ja  $-\{1\bar{1}\bar{1}\}$ . Enamasti kaksikud  $\{111\}$  või  $\{211\}$  järgi; ka polüsüntetilised (joon. 144).

Esineb ka teraliste ja plaatjate massidena, ka tihedana. Koorikuline ja peenekiuline maksamaak koosneb vahelduvaist vurtsiidi ja sfaleriidi kihtidest või on nende segu.

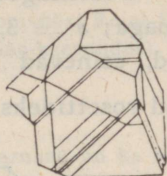
Lõhevus täiuslik  $\{110\}$  järgi. Täiesti tihe omab konnarkarpjat murdepinda. Habras. K.  $3\frac{1}{2}-4$ . E.-k.  $3,9-4,2$ . Lõhenemispindadel metalli- ja teemandiläike vahepealne läige; esineb

ka klaasi- ja rasvaläige (tihedal sfaleriidil). Maksamaak on tuhm. Harva täiesti läbipaistev, enamikus valgust läbilaskev ainult õhukestes kihtides. Harva värvusetu, tavaliselt kollane, meekarvaline, punane, roheline. Kui sisaldab palju FeS, siis pruun kuni must. Kriips nahkpruunist kollakasvalgeni. Murdumisindeks kollasele valgusele 2,369. Hõõrumisel või murdumisel vahel lumineerub; kuumutamisel avaldab polaarseid elektrit.

ZnS on harva puhas; pea-aegu alati seltsivad temaga FeS ja CdS; Mn, Cu ja mõned teised metallid esinevad sageli kas lahustatuina või mehaaniliselt sissekasvanuina. J.-t. ees prageb ja sulab ainult õhukestes servades; annab söel kuumalt kollase, külmalt valge katte. Lämmastikhappes lahustub, sadestades väävli. 1020° t<sup>0</sup>-s muutub vurtsiidiks.



Joon. 143.



Joon. 144.

Tähtsaim tsingimaak. Esineb peamiselt koos seatinamineeraalidega. Peamised tsingi tootjad on USA (Missouri, Kansas, Oklahoma), Belgia (imporditud maakidest), Saksamaa (Reini ja Aacheni rajoon), Kanada, Poola (Sileesia). 1939. a. toodang umbes 1 633 000 t. Eestis väikesed kristallid paehive läbivais kaltsiidisoontes, koos püriidiga.

Tsingist läheb umbes pool osa raua galvaniseerimiseks, 30% valgevase seguks, osa plekiks, tsingivaluna ja oksüüdina värvideks, jne.

### Vurtsiid. ZnS.

Diheksagoon-püramiidne. Ruumvõre ruumkeskendatud heksagoonne (9, joon. 6),  $a = 3,80$ ,  $c = 6,23$ ; telgede vahekorid —  $c : a = 1 : 1,638$ .

Lõhevus selge  $\{10\bar{1}0\}$  suunas, vähe selge  $\{0001\}$  järgi. Kristallid väga harvad; esinevad lõhevustahud koos  $\{11\bar{2}1\}$ -ga. Koorikutaoliselt kihilisena, ka purikatena, kiulisena ja tihedana.

K. 3½—4. E.-k. 4,0. Tõrva- või klaasiläige. Hele- kuni tumepruun. Kriips helepruun. Sfaleriidist erineb kaksikmurdumise ja pleokroismiga.

Keemiliselt nagu sfaleriit.

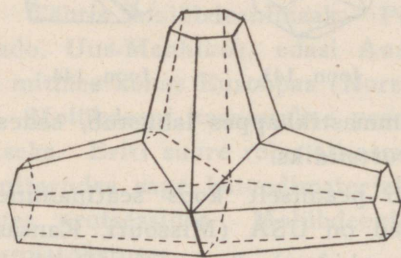
Esineb sageli koos sfaleriidiga — maksamaagis, olles nõnda ka harilikuks tsingiandjaks. Kunstlikult tekib sageli metallurgia-ahjudes.

## Magnetpüriidi rühm

koosneb Fe, Ni, Co ja Mn monosulfiididest, arseniididest ja anti-moniididest. Tähtsamad neist on neli allpool-kirjeldatud. Ühis-teks omadusteks on neil metalliläige, läbipaistmatus, hele värvus, haprus ja keskmine kõvadus.

### Magnetpüriit (pürrotiin). FeS.

Diheksagoon-bipüramiidne. Ruumvõre sarnaneb vurtsiidi omaga;  $a = 3,43 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,68 \text{ \AA}$ ,  $a : c = 1 : 1,66$ . Kristallid harvad, esinevad kuuekandiliste tahvlikestena, mis sageli koonduvad rosettideks. Kaksikud  $\{10\bar{1}2\}$  järgi (joon. 141). Esineb plaadiliste, teraliste või tihedate agregaatidena, harilikult ühes teiste sulfiididega.



Joon. 145.

Lõhevus vaevalt märgatav. Habras. K. 4. E.-k. 4,6. Heledat pronksivärvi, vahel tumedam pruun, sageli tuhmi kattega ja murenenud. Kriips hallikasmust. Mõjustab magnetit; kristallid polaarselt. Keemiliselt esineb

alati väävlit rohkem kui näitab valem FeS, nii et keskmine tuntud analüüsist vastab  $\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$ -le. Sageli näitavad analüüsid 2—3%, koguni 5—7% niklit. Seda põhjustab enamasti pentlandiidi lisand. Kinnises torus vähene sadestus. Lahustub happes, eraldades  $\text{H}_2\text{S}$  ja S.

Niklit sisaldav magnetpüriit on tähtsaim niklimaak. Peamine tootekoht Sudbury Kanadas. Kus ta niklit ei sisalda, seal tarvitatakse teda ainult rauavitrioli ja poleerpulbri valmistamiseks, näit. Kongsbergis (Norra), Bodenmais (Baieris).

Meteoriitides leiduvat FeS nimetatakse troilliidiks, kuigi ta on identne magnetpüriidiga.

### Pentlandiit. (Fe, Ni)S.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre keeruline;  $a = 10,03 \text{ \AA}$ . Ei esine väliskult väljaarenenud kristallidena, vaid ebakujuliste teradena magnetpüriidis.

Lõhevus selge  $\{111\}$  järgi. Habras. K.  $3\frac{1}{2}$ —4. E.-k. 4,6—5. Helepruun; kriips must. Magnetpüriidist pisut heledam, pole magnetiline.

Sisaldab 15—45% Ni. Esinemine magnetpüriidis teeb viimase väärtuslikuks niklimaagiks. Arvatavasti on eraldunud üldisest lahusest madalamais temperatuurides, kus FeS enam ei suuda hoida lahuses palju (Fe, Ni)S.

## Milleriit. NiS.

Ditrigoon-püramiidne. Romboeedriliselt on algrakul:  $\alpha = 116^\circ$ ,  $a = 5,64 \text{ \AA}$ . Kristallid nõeljad ja kiudjad, kuid sageli radiaalsete või viltjate kogumikena (koorikutena).

Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  ja  $\{01\bar{1}2\}$  järgi. Habras. K.  $3\frac{1}{2}$ . E.-k. 5,3. Valgevasekarva. Kriips rohekasmust.

J.-t. ees sulab magnetiliseks kerakeseks; annab niklile omase helme; happeis lahustub, andes rohelise lahuse.

Leidub mõningate niklismaakide lademetete tsementatsioonivöös; Reini ääres Siegerlandis, Joachimstalis, USA Pennsylvania osariigis (Gap-kaevandus).

## Nikeliin. NiAs.

Diheksagoon-bipüramiidne, nagu magnetpüriit, mille sarnane on ka ruumvõre:  $a = 3,57 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,10 \text{ \AA}$ .  $c : a = 1,43 : 1$ . Kristallid harvad. Harilikult tükidena või soonekestena, kobarjalt või neerjalt.

Lõhevus ebatäiuslik  $\{10\bar{1}0\}$  ja  $\{0001\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. K.  $5\frac{1}{2}$ . E.-k. 7,3—7,7. Hele-vaskpunane; murenedes kattub tuhmi pruuni või halli kattega; sageli kaetud rohelise annabergiidiga ( $\text{Ni}_3\text{As}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ). Kriips pruunikasmust.

As võib osalt asendada Sb või S-ga. J.-t. ees söel annab As tunnuseid; kinnises klaastorus ei anna As-katet (peeglit); oksüdeeritult annab Ni-helme. Kangeis happeis lahustub roheliselt.

Leidub koos koobalti, hõbeda ja teiste niklismaakidega Saksi ja Tšehhi Erzgebirges, Kanadas (Cobalt City), Argentiinas La Rioja rajoonis koos Cu- ja Pb-mineraalidega. Otsitav niklismaak.

## Püriidi-markasiidi bisulfiidide rühm.

Rühm on isodimorfne: kuubilise ja rombiline reaga. Aluseli-seks osaks on Fe, Ni, Co, Pt ja ka Mn; happeliseks S, As ja Sb. Mineraalid omavad metalliläiget, on kõvad, haprad, läbipaistmatud ja halva lõhevusega; murdepind ebatasane, püriidil ja kobaltiinil ka konnakarpjas.

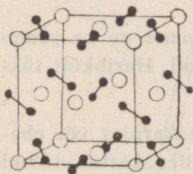
## Püriit. $\text{FeS}_2$ .

Düakisdodekaeedriline. Ruumvõre: Fe moodustab tahkesendatud kuubi, mille külgede keskpäigas ja samuti kuubi tsentrumis asetsevad S kaksik-aatomite raskuspunktid, kus aatomite ühendusjooned on paralleelsed kuubi diagonaalidega (joon. 146).  $a = 5,40 \text{ \AA}$ . Kristallid harilikud; esineb palju vorme, sa-gedamini  $\{100\}$  ja  $\{210\}$ , kas eraldi või kombineeritult (joon. 147). Kombineeritult esinevad veel harilikult  $\{111\}$ , mis koos  $\{210\}$ -ga

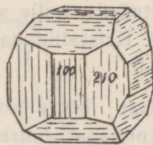
annab nn. mineraalse ikosaeedri (joon. 148), ja {321} ning {421}. Kaksikud {110} järgi. Joonisel 149 kujutatud nn. „raudristi“-kaksikud esinevad sageli. Triibud tahkudel tõendavad, et püriit ei kuulu heksakisoktaeedrilisse klassi.

Esineb ka ilma välise kristallivormita, nimelt teradena, mugulatena, neerjalt ja radiaalsete kiirte kujul, samuti dendriitidena. Sagedane kivistus- ja tsementeeriv materjal.

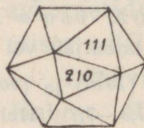
K. 6—6½, annab terasega löömisel sädemeid; E.-k. 5,0—5,2. Hele-valgevasekarvaline, kuid vahel ka kullakarvaline või kirju kattega; pealispinnal sageli murenenud limoniidiks.



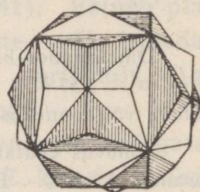
Joon. 146.



Joon. 147.



Joon. 148.



Joon. 149.

Lisanditena esinevad Ni, Co, Cu, Zn, Ag, Au ja As, millest ühed esinevad isomorfselt ruumvõres, teised aga on sekka segatud mehaaniliselt eri mineraalide kujul. Au ja Ag lisandid teevad mõnikord püriidi väärtuslikuks kulla- või hõbedamaagiks. J.-t. ees põleb püriidist osa väävlit välja ning ta sulab kokku mustaks magnetiliseks kerakeseks. Kinnises klaastorus subliimeerub S. Lahustub lämmastikhappes, kuid soolhappes mitte.

Leidub kõikjal ja on tekkinud ning tekib väga mitmesugustes oludes. Eesti lubja-, liiva- ja kiltkiivid on rohkesti temaga impregneeritud; erikihina leidub ta ordoviitsiumi obolus- ja diktionemakihtide vahel. Toodetakse suuremal hulgal Hispaanias (Huelva, Rio Tinto), Norras (Sulitelma), Rootsis (Falun), Soomes (Outokumpu), USA-s (Virgiinia, New Yorki ja Kalifornia osariigis). Kui püriit sisaldab suuremal hulgal Au või Ag, on ta nende metallide maagiks. Rauda temast ei sulatata. Põletatakse, et saada SO<sub>2</sub>, mida tarvitatakse väävelhappe ja väävelhappu ammooniumi valmistamiseks ning tselluloosivabrikutes sulfitlahuseks. Põletamisjäänuseid tarvitatakse koos teiste maakidega raua sulatamiseks; põletamata püriit selleks ei kõlba.

## Markasiit. $\text{FeS}_2$ .

Romb-bipüramiidne. Ruumvõre mõõtmed:  $a = 6,75$ ,  $b = 4,45$  ja  $c = 5,42 \text{ \AA}$ ; telgede suhted:  $a : b : c = 0,766 : 1 : 1,218$ . Kristallid harilikult ridadena kokku kasvanud; neis esinevad:  $\{110\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{101\}$ ,  $\{111\}$  ja  $\{013\}$ . Kaksikud sagedad, ka mitmekordistatud,  $\{110\}$  järgi (joon. 150; vt. ka joon. 94); kaksikud põhjustavad ka iseloomulikke „odaotsa“-vorme. Vahel seaduspäraselt püriidiga kokku kasvanud. Sageli radiaalkiulise ehitusega koorikutena või neerjate mugulatena, ka pruun- ja kivisöes; samuti kivistusmaterjalina.



Joon. 150.

K.  $6-6\frac{1}{2}$ . E.-k. 4,8—4,9. Värvus pisut rohekam kui püriidil; kollane nüanss nõrgem. Sageli kirju, eriti roheka kattega ja roostese murenemiskoorega. Kriips rohekas- või tumehall. Terasega löömisel annab sädemeid. Keemiliselt sama kui püriit.

Väga sagedane mineraal, kuid püriidist palju haruldasem ebastabiilsuse tõttu; esineb eriti seal, kus  $\text{FeS}_2$  võis kristalliseeruda madalates temperatuurides hapust lahusest. Mõned esialgu markasiidiks arvatud mineraalid osutusid pärast püriidiks, millega koos tõeline markasiit sageli esineb.  $400^\circ \text{ t}^\circ\text{-s}$  muutub püriidiks. Esineb ka Eestis, kuid õige harva.

Koos püriidiga tarvitatakse samaks otstarbeks kui püriiti.

## Arseenopüriit. $\text{FeAsS}$ .

Romb-bipüramiidne, markasiidiga isomorfne. Ruumvõre:  $a = 6,44$ ,  $b = 9,52$  ja  $c = 5,63$ . Teljed:  $a : b : c = 0,677 : 1 : 1,188$ . Kristallid, kas üksikud või druside ja gruppidega, on prismalised; esinevad peamiselt  $\{110\}$ ,  $\{014\}$ ,  $\{101\}$  ja  $\{011\}$ . Kaksikud  $\{101\}$  ja  $\{110\}$  järgi. Esineb ka tükilisena ja teralisena, samuti kiirjalt kiulise ja neerja välimusega.

K.  $5\frac{1}{2}-6$ . E.-k. 5,9—6,2. Inglisevalgest kuni terashallini; sageli tumedamate katekirmekestega. Kriips must. Terasega lüües annab sädemeid ja küüslaugu lõhna.

Sisaldab harilikult valemist erinevaid hulki Fe, As ja S; on kokku kasvanud kas magnetpüriidi või löllingiidiga; isomorfsetl on mõnikord juurde segatud ka Co või Ni. Mitmes leiukohas sisaldab ka Au ja Ag. — Kinnises torus sublimeerub alul punane (realgaarile vastav) väävelarseen, siis pruun ja lõppeks annab metalne As peegli. J.-t. ees annab söel musta magnetilise kerakese. Lämmastikhappes sulab, sadestades S.

Leidub peaaegu igal pool, kus esinevad väävelmetallid. Suurimad lademed Bolidenis Põhja-Rootsis. Tähtis Au-, Ag-, Co- ja Ni-sisalduse tõttu; As tarvitus (peamiselt taimekahjurite tõrjeks) on väiksem kui saadakse maakidest kõrvalproduktina.

### Löllingit. $\text{FeAs}_2$ .

Romb-bipüramiidne, isomorfne markasiidiga. Ruumvõre:  $a = 2,85$ ,  $b = 5,25$ ,  $c = 5,92$  Å. Teljed:  $a : b : c = 0,669 : 1 : 1,233$ . Kristallid enamikus  $\{110\}$  ja  $\{101\}$ , kujult nõeljad. Harilikult teraliste, pulkjade ja nõeljade agregaatidena.

K. 5. E.-k. 7,1—7,4. Hõbevalge, halli katekirmega. Kriips hallikasmust. Juurdesegatuna esinevad mõnikord Ag, Bi ja Au. J.-t. ees sulab raskelt mustaks magnetiliseks kerakeseks; kinnises torus ei anna punast sublimaati, vaid kohe As-peegli.

Leidub harva, muuseas Löllingi küla juures Karintias (kust pärit nimi), Saksi Erzgebirges, Kanadas (Cobalt Ontarios).

### Kobaltiin (koobaltläige). $\text{CoAsS}$ .

Tetraeedrilis-pentagoondodekaeedriline. Ruumvõre nagu püriidil, kuid igas seotud S-aatomite paaris on üks S asendatud As-ga. Väikesed kristallid sageli täielikult välja kujunenud; tavalised vormid  $\{210\}$  ja  $\{111\}$ , ka  $\{100\}$  — viiruliste tahkudega nagu püriidil. Esineb ühtlasi teraliste agregaatidena, ilma kindla välisvormita.

K.  $5\frac{1}{2}$ . E.-k. 6,0—6,4. Hõbevalge, osalt punakas; harilikult punakashalli kirmekesega ja vahel kaetud punase erütriini ( $\text{CO}_3\text{As}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) kattega. Kriips hallikasmust.

Harilikult sisaldab ka rauda — kuni 12%, mis osalt põhjustatud kokkukasvamisest püriidiga või magnetpüriidiga. Ei anna kinnises torus As-peegli. J.-t. ees As suits ja lõhn; sulab mustaks magnetiliseks kerakeseks. Tumesinine boorakshelmes. Lahustub keevas lämmastikhappes.

Ei esine suurte kogumikena. Toodetakse: Kanadas (Cobalt, Ontario maakonnas), Rootsis (Tunaberg), Norras (Skutterud), Austraalias ja Kaukasuses. Hea koobaltimaak.

Koobalti lisandamine eriterastele tõstab märksa nende kõvadust. Annab sinist värvi, eriti keraamikatoodetele. Koobaltisoolad annavad häid sikatiive värvitööstuses.

### Smaltiin. $\text{CoAs}_2$ kuni $\text{CoAs}_3$ .

Düakisdodekaeedriline, kuid püriidiga mitte-isomorfne. Ruumvõre kuubi küljepikkus 8,18 Å. Kristallid harvad. Harilikult vormita: teraline, leheline või kiuline.

K. 5. E.-k. 6,4—6,6. Inglisevalge kuni terashall, osalt tumehalli kattega; murenemisel kattub erütriidiga. Kriips hallikasmust.

Esineb isomorfselt igas vahekorras segunenuna kloantiidiga ja ka arseenoferriidiga ( $\text{FeAs}_2$ ). J.-t. ees As lõhn ja magnetiline kerake; kinnises torus halvasti nähtav As-pegel (selgem siis, kui palju Ni). Lämmastikhappes lahustub punaka värviga.

Tähtis Co-maak. Toodetakse: Ontario maakonnas ja Suur-Karujärvel Kanadas, mitmes kohas Saksi Erzgebirges.

### Kloantiit. $\text{NiAs}_2$ kuni $\text{NiAs}_3$ .

Sarnaneb kristallograafiliselt ja ka keemiliselt väga smaltiiniga, millega on isomorfne. Sama kõvadus, erikaal ja värvitoon; ainult murenedes kattub annbergiidiga. Lämmastikhappes lahustub rohelise värvusega.

Leiukohad samad kui smaltiinil.

### Sperriliit. $\text{PtAs}_2$ .

Düakisdodekaeedriline. Ruumvõre nagu püriidil;  $a = 6,00 \text{ \AA}$ . Kristallid väikesed:  $\{100\}$ ,  $\{111\}$  ja  $\{210\}$ .

K. 6—7. E.-k. 10,6. Inglise-valge. Kriips must.

Sisaldab ka Pd, Rh, Fe ja Sb. Väga vastupidav murenemisele, mispärast leidub ka sekundaarseis asendeis.

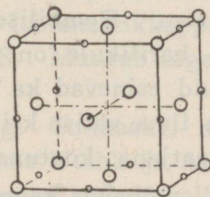
Toodetakse: Transvaalis (Bushveld, Tweefontein) ja Kanadas (Sudbury Ontario maakonnas), kus ta annab umbes  $\frac{1}{3}$  kogu maailma platinatoodangust.

### Galeniidi-argentiidi-kalkosiini rühm.

Sia kuuluvad mäekaevurite „läiked“ — pehmed, kõrge erikaaluga ja metalse läikega Pb, Ag ja Cu väävelühendid, mis vähemalt ühes modifikatsioonis kristalliseeruvad kuubilises süsteemis.

### Galeniit (seatinaläige). $\text{PbS}$ .

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre: tahkkesendatud Pb kuup,  $a = 5,93 \text{ \AA}$ , ja samasugune S-kuup teineteise sees, kuubi külje poole pikkuse võrra kahes mõõtmes üksteise suhtes ära nihutatud (joon. 151). Vahel päris suuremõõdulisi kristalle leidub sageli ja paljudes leiukohades. Esinevad  $\{100\}$ ,  $\{111\}$ , ka  $\{110\}$  ja  $\{221\}$ ,  $\{211\}$ ,  $\{331\}$ . Tahud on mõnikord kõverad või murtud. Kaksikud  $\{111\}$  järgi saadad, osalt tahvlikesteks kokku surutud. Esineb ka ilma kindla välise kristallivormita teralisena, plaadilisena, ka tihedana, kobarjalt ja purikataolisena või muldjalt.



Joon. 151.

Lõhevus väga täiuslik {100} järgi. K. 2½. E.-k. 7,2—7,6. Värsketel lõhkepindadel tugev metalliläige, mis tuhmub aja jooksul. Seatinahall. Kriips tuhm, hallikasmust.

Harilikult sisaldab ka Ag, alates 0,01 kuni üle 1%, mis on osalt isomorfiselt lisandunud argentiidina, osalt mehaaniliselt mitmesuguste Ag-mineraalidena. Leidub ka Zn, Fe ja Cu lisandeid, vahete-vahel paari protsendi ulatuses; see oleneb vastava mineraali mehaanilisest lisandist. J.-t. ees jätab söele rohekaskollase katte ja annab Pb-terakese, mis pikema puhumise järel oksüdeerub ning järele jätab hõbedaterakese. Lämmastikhappes lahustub, eraldades S ja PbSO<sub>4</sub>; lahusest HCl sadestab valge PbCl<sub>2</sub>, mis kuuma vee lisandamisel jälle lahustub.

Leidub peaaegu kõikjal, ka Eestis Adavere lademe lubjakivis ja dolomiidis kuni kümneid kilogramme kaaluvate kamakatenä ja soontena; väiksemate teradena ka teistes lubjakivides. Peamisiks tootjaiks on Broken Hill Austraalias ja Coeur d'Alène Idahos; Arkansase ja Missouri jõe alamjooksul (USA) esineb koos sfaleriidiga. Leidub ka Mehhikos, Birmas, Hispaanias, Sardiinia saarel ja Karintias (endises Austrias).

Sfaleriit on sagedane galeniidi kaaslane. Ag-sisaldus teeb galeniidi väärtuslikuks hõbedamaagiks, nii et suure osa toodetavast hõbedast annab galeniit. Seatinana tarvitatakse värvi (tinavalge), torude, pleki ja haavlite valmistamiseks, jootemetallina, trükitähtede materjalina jne. Kristalle tarvitatakse detektoreiks radioaparaatides.

1939. a. toodeti umbes 1 736 000 t, mille peatootjad olid USA, Austraalia, Mehhiko, Kanada ja Saksamaa.

### Argentiit (hõbeläige). Ag<sub>2</sub>S.

Alla 179°C romb-bipüramiidne; kõrgemas temperatuuris kuubiline, ruumvõrega, kus S-aatomid moodustavad tahkkesendatud kuubi, mille kaheksandikkude keskpaigas on igäühes üks Ag-aatom. Rombilise kuju ruumvõre on väga sarnane kuubilisega ja harilikult on kristallide välimus väga sarnane kuubilistega, kuid esinevad ka õige iseloomulikud rombilised vormid. Leidub ka ilma välise kristallivormita kiulisenä, okkalisenä, hambulisenä, plaatjana, kootuna ja pulbritaolisenä.

Lõhevus kaunis hea {100} järgi, kuid mineraali pehmuse tõttu (laseb ennast taguda!) halvasti väljenduv. K. 2, e.-k. 7,3. Värske

lõikepind metalliläikega, tume-tinahall, kuid varsti tuhmub ja tumeneb. Kriips läikiv.

J.-t. ees annab kergesti Ag-terakese. Kanges lämmastikhappes lahustub, eraldades S-i; lahusest sadestab HCl kloorhõbeda, mis ammoniaagi lisandamisel lahustub.

Leidub kõigis Ag-maakide leiukohtades, eriti Mehhikos, Nevadas (USA), Peruu, Tšiilis ja Saksi ning Tšehhi Erzgebirges. Tähtis hõbedamaak.

### Kalkosiin (vaseläige). $\text{Cu}_2\text{S}$ .

Nagu argentiit, nii on ka kalkosiin dimorfne: alla  $91^\circ\text{C}$  on ta (kui esineb puhtal kujul!) romb-bipüramiidne, telgede suhtega 0,582 : 1 : 0,907; kõrgemal temperatuuril aga kuubiline (heksakis-oktaedriline). Samaks jääb siis, kui temas tahke lahusega võtab osa  $\text{CuS}$  (mineraal kovelliini näol eraldi eksisteeriv), mis kuubilise  $\text{Cu}_2\text{S}$  muudab stabiilseks harilikkuude maapinna-temperatuuride intervallis.

Rombiline luuk esineb kõige sagedamini, kuid kristallide välimus ligineb heksagoonsele sümmeetriale:  $\{110\}$  nurk on  $119^\circ 35'$ ; esinevad veel  $\{010\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{113\}$  jne. On ka kaksikuid — mitme seaduse järgi. Kuid palju sagedamini leidub ilma kristallograafiliste välisvormideta suurtes tihedais massides konna-karpja murdepinnaga või jälle üliõhukeste katetena teistel maakidel, esineb ka muldjana.

Kuubiline ruumvõre sarnaneb argentiidi omaga;  $a = 5,59 \text{ \AA}$ . Looduses mõõdetavaid kristalle ei leidu; tükid on mõnikord plaatjad, millel selge lõhevus  $\{111\}$  järgi.

K.  $2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 5,7—5,8. Värskel lõike- või murdepinnal tugev metalliläige, kuid varsti muutub tuhmiks ja mustaks või kattub pruuni hallitusesarnase kattega. Tume-seatinahall, Kriips metalliläikega.

Sageli on S-i rohkem kui valem nõuab. Ka Fe- ja Ag-sisaldus on kaunis harilik. J.-t. ees sulab pritsmeid andes hapraks kerakeseks; soodalisandiga annab metalse Cu-tera. Lämmastikhappes lahustub roheline värvusega, kusjuures eraldub S. Muutub sageli kovelliiniks, malahhiidiks või asuriidiks.

Leidub peaaegu igas kohas, kus on teisigi Cu-maake, nii USA-s: Buttes (Montana osariigis), mitmes kohas Utah's ja Arizonas, edasi Edela-Aafrikas, Mehhikos, Inglismaal (Cornwall), NSVL-s (Altai). Tähtsaim Cu-maak, kuigi mitte kõige sagedam,

## Kovelliin (vase-indigo). CuS.

Diheksagoon-bipüramiidne. Ruumvõre tüüpiliselt kihiline;  $a = 3,80$ ;  $c = 16,46$ . Teljed:  $a : c = 1 : 4,321$ . Häid kristalle vähe, neis peaaegu ainult  $\{0001\}$  ja  $\{10\bar{1}0\}$ . Muidu peeneteriste tükkidena või koorikutena, soonekestena ja pulbritaoliselt.

Lõhevus väga täiuslik  $\{0001\}$  järgi; õhukesed lehekused painduvad. K.  $1\frac{1}{2}$ —2. E.-k. 4,7. Sinakasmust, värskelt indigosinine. Kriips must, pisut läikiv. Õige õhukesed lehekused läbipaistvad. Väga suur valguse dispersioon: hariliku kiire murdumisindeks punaste kiirte jaoks on u. 1,0, siniste jaoks u. 1,9, mistõttu mineraal osutab erinevais keskustes eri värvust. J.-t. ees sinise leegiga kergesti sulav. Lämmastikhappes lahustub, eraldades S.

Leidub vähesel määral õhukeste koorikukirmitena või muldja kattena peaaegu kõigis vasemaakide leiukohtades.

## Kinaver (tsinnabariit). HgS.

Trigoon-trapetsoedriline.  $a : c = 1 : 1,145$ . Ruumvõre sarnaneb galeniidi deformeeritud võrega. Kristallid harvad, pakside plaadikestena või kuupjate romboeedritena, millel aga kaunis palju vorme. Peamiselt siiski  $\{0001\}$  ja  $\{10\bar{1}1\}$ ; kaksikud  $\{0001\}$  järgi. Esineb teraliste ja tihedate tükkidena, muldjana ja teiste mineraalide kattena.

Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}0\}$  järgi. Murd ebatasane või killuline. Pehme. K. 2— $2\frac{1}{2}$ . E.-k. 8,1. Teemandiläige. Õhukeses kihis läbipaistev. Košenill-punane, kuid mõningate lisandite mõjul ka mõnda muud punast ja pruuni värvi, koguni must või terashall. Optiliselt positiivne; punasele valgusele  $\omega = 2,85$ ,  $\varepsilon = 3,20$ . Pöördpolarisatsioon 15 korda suurem kui ränil.

Peaaegu alati segatud teiste ainetega, näit. bituumeniga. J.-t. ees sublimeerub täielikult; sooda lisandamisega annab Hg; lahustub ainult kuningvees. Harva seltsib mineraaliga ka ehe Hg pisitillukestes tilkades.

Kinaveri kui peaaegu ainsa tähtsa Hg-maagi tootjad on Almaden (Hispaanias), Idria ja Monte Amiata (Itaalias), Nikitovka (Ukraina NSV) ja mõned kohad Kalifornias ning Mehhikos. Tekib praegugi mõningais soojavee-allikais (Yellowstone'i park USA-s). Valmistatakse kunstlikult kinavervärvi saamiseks.

Elavhõbe on ainuke harilikus temperatuuris vedel metall. Annab kergesti paljude metallidega lahuseid — amalgaame, mida laialt tarvitatakse, näit. kulla tootmisel. Elavhõbeda tarvitamine füüsikalistes aparaatides ja arstiteaduses on üldtuntud. Aastane maailmatoodang kõigub 4000 t ümber.

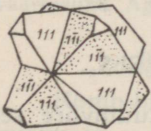
## SULFOSOOLAD.

(1. ja 2. sugukonna mineraalolluste segud).

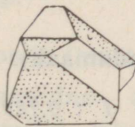
Ruumvõred enamikul veel uurimata, kuid on põhjust oletada, et nendes ühe ning sama elemendi aatomid asetsevad kaht erinevat moodi.

Kalkopüriit (vasepüriit).  $\text{CuFeS}_2$ .

Tetragoon-skalenoedriline.  $a : c = 1 : 0,985$ . Ruumvõre sarnaneb väga sfaleriidi omaga;  $a = 5,27$ ,  $c = 10,38 \text{ \AA}$ . Kristallid väikesed, halvasti välja kujunenud; enamikus esinevad kaksikud  $\{100\}$  järgi (joon. 152) või spinelliseaduse  $\{111\}$  järgi (joon. 153);  $\{111\}$  tahud on harilikult tuhmid, kuna  $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$  tahud on läikivad. — Esineb teraliste ja tihedate massidena, vahel ka neerjalt; kattena sfaleriidil, galeniidil ja tetraedriidil, kunagi mitte kiulisena.



Joon. 152.



Joon. 153.

Lõhevus vaevalt märgatav. Murd konnakarpjas või ebatasane. Mitte väga habras. K. 3—4. E.-k. 4,1—4,3. Valgevaskkollane, roheka jumeaga; kirju kuni musta kirmekesega. Kriips rohekasmust.

Valemile vastavalt sisaldab 34,5% Cu. Fe-sisaldus on harilikult valemis nõutust suurem, mis tuleneb püriidiga segunemisest. Vahel leidub ka Au ja Ag. J.-t. ees sulab kergesti mustaks magnetiliseks teraks. Lämmastikhappes lahustub, eraldades S.

Peamine ja kõige sagedam Cu-maak. Toodetakse USA-s: Butte (Montana), Bisbee (Arizona), Bingham (Utah); Tšiilis, Kanadas (Sudbury), Belgia Kongos, Katangas, Põhja-Rodeesias, Rootsis (Falun) ja Hispaanias (Rio Tinto). On ka teiste Cu-maakide algaineks. Ümberpöörduvalt muutuvad viimased vahetevahel kalkopüriidiks. Seepärast esineb ka palju pseudomorfoose kas kalkopüriidi järgi või on kalkopüriit see, mis võõral kujul esineb.

## Borniit (kirju vasemaak). $\text{Cu}_3\text{FeS}_4$ .

Heksakisoktaeedriline. Keeruline ruumvõre — kuubi küljega 10,91 Å. Kristallid harvad, koosnevad harilikult rikutud kuupidest. Muidu teraliste või plaatjate tükkidena.

Lõhevus harva märgatav. Murd konnakarpjas. Pehme. K. 3. E.-k. 4,9—5,2. Metalliläige. Värske pind punakas-tombakpruun, ruttu kattuv sillerdavate (paabulinnu-saba) värvidega, mis borniidile iseloomulikud. Kriips hallikasmust.

Keemiline koostis kõikuv. Optiliste omaduste järgi borniidiks tunnistatud mineraalid andsid analüüse, mis vastasid  $\text{Cu}_3\text{FeS}_3$  kuni  $\text{Cu}_9\text{FeS}_6$ , kusjuures Cu kõikus 55—69% vahel. Tõlgendatakse neid valemeid kui teiste vase- ja rauasulfiidide segu, näit.:  $\text{CuFeS}_2 \cdot \text{Cu}_2\text{S}$  kuni  $\text{CuFeS}_2 \cdot 4\text{Cu}_2\text{S}$  või  $\text{Fe}_2\text{S}_3 \cdot 3\text{Cu}_2\text{S}$  kuni  $\text{Fe}_2\text{S}_3 \cdot 5\text{Cu}_2\text{S}$ . Sageli sisaldab Ag. — J.-t. ees sulab halliks magnetiliseks kerakeseks; kanges  $\text{HNO}_3$ -s või HCl-s lahustub, eraldades S.

Peamised leiukohad samad kui kalkopüriidil, võiks lisandada veel Peruu, Boliivia ja Tasmaania. Hea vasemaak.

## Pürargüriit (tumepunane hõbedamaak). $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ .

Ditrigoon-püramiidne.  $a : c = 1 : 0,789$ . Ruumvõre seni puudulikult tuntud. Kristallid mitte-haruldased, meenutavad kaltsiiti; suur vormiderikkus. Kõige sagedamini esinevad ja on viirutatud:  $\{11\bar{2}0\}$ ,  $\{21\bar{3}1\}$  ja  $\{01\bar{1}2\}$ . Kaksikuid esineb mitme sea-duse järgi. — Ka tükiliselt, kattena ja dendriitidena kivimite mõrades.

Lõhevus selge  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Murd konnakarpjas või killuline. Mõõdukalt habras. K.  $2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 5,8. Metallil- või teemandiläige, kuid ka tuhm. Servades punaselt läbipaistev, pealt vaadates tumepunane, tinahall või must. Kriips kirsspunane. Punases valguses on  $\omega = 3,084$ ,  $\varepsilon = 2,881$ .

Sisaldab 60% Ag, sageli ka pisut As. — J.-t. ees sulab kergesti, andes söel valge Sb-katte ja hõbedaterakese.

Leidub suuremal hulgal Kesk- ja Lõuna-Ameerika maagisoontes: Mehhikos, Tšiilis, Peruus ja Boliivias; USA-s: Kolorados, Nevadas ja Arizonas; ka Freiburgis Saksimaal ja Pribra-mis end. Tšehhoslovakkias. Tähtis hõbedamaak.

### Prustiit (helepunane hõbedamaak). $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ .

Kristallograafiline klass sama kui pürargüriidil.  $a : c = 1 : 0,804$ . Kristallid sarnanevad pürargüriidi omadega, kuid on vormivaesemad. Ka muu esine eelmise sarnane, kuid leidub palju harvem.

K. samuti  $2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 5,6. Läbipaistvam ja värvilt heledam kui pürargüriit. Punases valguses on  $\omega = 2,979$ ,  $\varepsilon = 2,711$ .

Keemiliselt reageerib samuti kui pürargüriit, kuid eraldub As lõhnaga. Leiukohad üldiselt samad kui pürargüriidil.

### Stefaniit (must hõbedamaak). $\text{Ag}_5\text{SbS}_4$ .

Romb-püramiidne.  $a : b : c = 0,629 : 1 : 0,685$ . Kristallid meenutavad heksagoonseid, on prismalised või tahveljad, sageli rosettadena grupeerunud; palju vorme. Kaksikud sagedad  $\{110\}$  järgi, ka kolmikutena ja üldse mitmekordistatult.

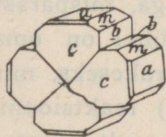
Lõhevus selgusetu. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras, kuid pehme. K.  $2\frac{1}{2}$ , e.-k. 6,2—6,3. Metalliläige; tinahall kuni raudmust; kattub tumhi musta kattega. Kriips läikiv must.

Sisaldab 68% Ag. — J.-t. ees plahvatab, annab Sb-katte ja tumehalli kerakese, mis soodalisandiga annab Ag-tera. Lahja lämmastikhappega kuumutamisel lahustub, eraldades S ja  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ .

Leidub koos teiste Ag-mineraalidega nende leiukohtades ja moodustab väärtusliku Ag-maagi.

### Burnoniit (must antimonimaak). $\text{PbCuSbS}_3$ .

Romb-bipüramiidne.  $a : b : c = 0,938 : 1 : 0,897$ . Ruumvõre uurimata. Kristallid lähedased tetragoonseile; paksud tahvlid  $\{001\}$  järgi, mille ääred moodustuvad  $\{011\}$  ja  $\{101\}$ -st; muide väga vormirikas. Iseloomulikud on tsüklilised kaksikud  $\{110\}$  järgi [joon. 154:  $m$  ( $110$ ),  $a$  ( $100$ ),  $c$  ( $001$ ),  $b$  ( $010$ )], mis meenutavad hammasrattaid; mistõttu burnoniidi teiseks nimetuseks on *r a t a s - m a a k*. See kaksikehitus on teralises või tihedas mineraalis mikroskoobi all näha, mis on heaks määramistunnuseks.



Joon. 154.

Lõhevus puudub. Murd konnakarpjas. Habras. K. 3. E.-k. 5,7—5,9. Värskel murdepinnal metalliläige; harilikult välimuselt tuhm. Terashall kuni raudmust. Kriips hall.

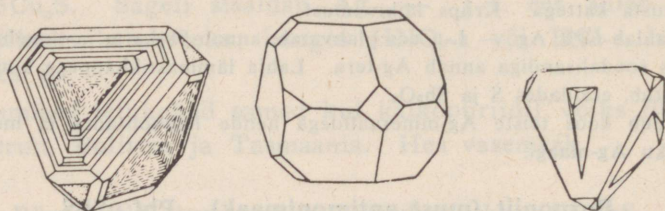
$2\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ . Sisaldab 42,5% Pb, 13% Cu. — J.-t. ees sulab kergesti mustaks kerakeseks, annab söel Pb-katte; ülejääk annab sooda lisandamisel Cu-terakese.

Tähtis Pb- ja Cu-maak. Toodetakse Mehhikos, Tšiilis, Bo-liivias, Peruus, Cornwallis (Inglismaal), mitmes kohas Saksa-maal, Ungaris ja end. Tšehhoslovakkias.

## Tetraedriit (tuhmmaak). $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ .

Heksakistetraeedriline. Ruumvõre laseb end tuletada sfaleriidi ruumvõrest.  $a = 10,35 \text{ \AA}$ . Kristallid enamikus tetraeedrilise välimusega, harvemini romb-dodekaeedrilised või kubilised (joon. 155). Ka kaksikud kaksikuteljega  $[111]$  järgi harilikud. Mõnikord on kristallid reeglipäraselt kattunud kalkopüriidi või sfaleriidi kristalse koorikuga. Ka teraliselt ja tihedalt.

Lõhevus puudub. Murd konnakarppjas või ebatasane. Väga habras. K. 3—4. E.-k. 4,4—5,1, olenedes koostisest. Terashall, rohekaskollaka jumega; rohkem Zn ja Fe sisaldavail sinakas. Värskel murdepinnal metalliläige, muidu pind harilikult tuhm. Osalt läbipaistev, mistõttu alguses must kriips muutub laiali hõõrutult punakaspruuniks.



Joon. 155.

Alguses antud keemiline valem on Cu-Sb tuhmmaagi (tetraedriidi, kitsas mõttes) oma. Kuid Cu võib osalt või täiesti asendada Ag, Hg, Zn ja Fe-ga, Sb asendub As ja Bi-ga, mispärast neid jaotatakse mitmeks alaliigiks, milledest igapähele on oma nimetused. — J.-t. ees sulavad kergesti halliks kerakeseks, mis peale S väljapõlemist annab Cu (ja sageli ka Fe) reaktsiooni. Lahustuvad täielikult kuningvees. Koostisest olenevalt muutuvad eri reaktsioonid.

Tähtsad vase- ja hõbedamaagid. Väga laialt esinev kõigis vase- ja hõbedamaakide leiukohtades.

## Enargiit. $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ .

Romb-bipüramiidne.  $a : b : c = 0,869 : 1 : 0,831$ . Ruumvõre väga sarnane heksagoonsega (vurtsiidi omaga):  $a = 6,39$ ,  $b = 7,43$ ,  $c = 6,15 \text{ \AA}$ . Kristallid harilikult pikaprismalised 3. telje suunas ja neis esinevad peamiselt  $\{110\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{100\}$  ja  $\{010\}$ . Tavaliselt kiirjate või plaatjate, ka peeneteriste agregaatidena.

Lõhevus täiuslik {110} järgi, selge {100} ja {010} järgi. Habras. K.  $3\frac{1}{2}$ . E.-k. 4,4. Ebatäiuslik metalliläige; terashall kuni raudmust, lillakaspruuni jumeaga; kriips hallikasmust.

Keemiliselt  $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$ ; vahel on osa As-i asendunud Sb-ga, mõnikord leidub ka Fe ja Zn. J.-t. ees As lõhn ja söel soodaga Cu-tera; lahustub lämmastikhappes, eraldades S.

Leidub Peruus, Tšiilis, Argentiinas, Boliivias, Mehhikos, Luzoni saarel (Filipiinid), Tsumebis (Edela-Aafrikas), mitmes kohas USA-s ja Jaapanis. On tähtis Cu-maak, annab ka arseeni.

III klass.

## Oksüüdid, hüdroksüüdid.

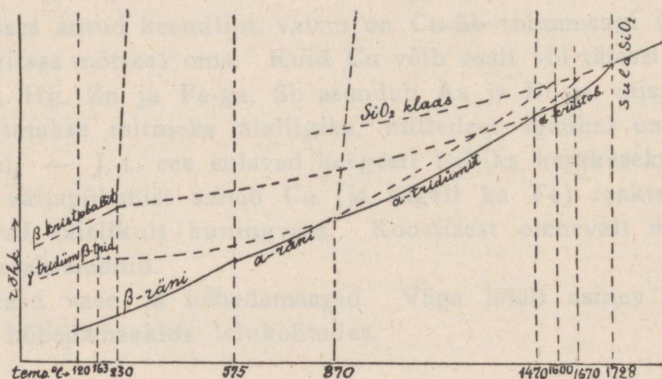
Hapnikuühendid, mis ei kanna soolade ilmet.

1. sugukond.

### HAPPELISE ISELOOMUGA OKSÜÜDID.

#### Räni<sup>1</sup> rühm.

Siliitsiumdioksüüd (ränihappe anhüdroid) esineb mineraalina mitmel kujul: harilik (madala temperatuuri) räni ( $\beta$ -räni), madala temperatuuri  $\beta$ -tridümiit,  $\beta$ -kristobaliit ja räniklaas. Nende püsivuse temperatuuri-intervallid on näha joonisel 156. Seal mainitud kõrge temperatuuri modifikatsioonid  $\alpha$ -räni,  $\alpha$ -tridümiit ja

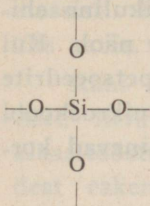


Joon. 156.

<sup>1</sup> Elemendi siliitsium nimetusena on meil laialt tarvitusel (ka koolides) „räni“. Nii esineb keemilises nomenklatuuris rahvusvahelise siliitsiumi asemel räni, mis kõlaliselt on väga sarnane elemendi reenum nimetusega. Selle tagajärjel SiO<sub>2</sub> puhteesti nimetus „räni“ (harak-räni, tuleräni jm.) peab aset andma võõrsõnale „kvarts“. Käesolevas raamatus jäädakse nimetuste „siliitsium“ ja „silikaat“ juurde, kuna nimetus „räni“ säilitab oma rahvapärase tähenduse.

$\alpha$ -kristobaliit ei lase endid püsivalt jahutada hariliku temperatuurini.

Kõigis mineraalides, kus esineb  $\text{SiO}_2$ , on siliitsiumiaatom ümbritsetud nelja hapniku-aatomiga, millel igäühel jääb vabaks üks negatiivne valentsusühik:

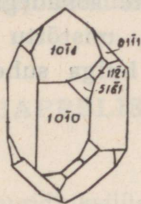


O aatomid asetsevad sel juhul tetraeedri tippudes, Si-aatom tetraeedri keskkohas. Seesugused  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  tetraeedrid ühinevad üksteisega mitmel moel, moodustades vastavaid ruumvõresid. Kui mineraal peale Si ja O muid aatomeid ei sisalda, on iga Si-aatom temas seoses nelja O-aatomiga ja iga O-aatom seoses kahe Si-aatomiga. Teiste sõnadega: iga O-aatom kuulub kahele  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  tetraeedrile, mistõttu piiramatu tetraeedrite arvu puhul Si- ja O-aatomite hulga suhe on 1 : 2, vastavalt valemile  $\text{SiO}_2$ .

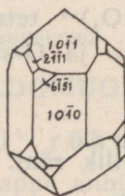
### Harilik räni. $\text{SiO}_2$ .

Trigoon-trapetsoeedriline;  $a : c = 1 : 1,100$ . Ruumvõre mõõtmed:  $a = 4,89$ ,  $c = 5,38$  Å. Kristallide välimus enamasti kuusnurk-prismaline, millel otsad teritatud harilikult romboeedrite (positiivse ja negatiivse) tahkudega, mis võrdse arenemise puhul meenutavad heksagoonseid bipüramiide. Nii esinevad:  $m \{10\bar{1}0\}$  — peaaegu alati risti peateljega viirulised, mis iseloomustav ränile;  $r \{10\bar{1}1\}$  — alati tasane;  $r' \{01\bar{1}1\}$ , mis vahel tuhm. On ka teisi romboeedreid (risti peateljega viirulised ja tuhmid), samuti iseloomustavaid trapetsoeedreid, näit.  $x \{51\bar{6}1\}$ ,  $\{61\bar{5}1\}$ , ja trigoonsed teise asendi bipüramiide, näit.  $s \{11\bar{2}1\}$  ja  $\{21\bar{1}1\}$  (vt. joon. 9). Kui  $x$  (ja  $s$ ) on paremal pool  $r$ -i, nimetatakse kristalli parempoolseks (joon. 157), kusjuures säärane kristall pöörab polarisatsioonipinda paremale poole; kui  $x$  ja  $s$  ilmuvad vasakul pool põhiromboeedrit ( $r$ ), siis nimetatakse kristalli vasakpoolseks (joon. 158), ka polarisatsioonipinna pöördumine on temas vasakpoolne. — Kaksikud moodustuvad mitme seaduse järgi; neist on sagedamad läbikasvanud kaksikud: 1) dauphiné (loe: dofinee), alpi või šveitsi seaduse järgi, kusjuures kaksikteljeks on  $[0001]$  või  $[10\bar{1}0]$ , seejuures kasvavad teineteisest läbi kas kaks parempoolset või kaks vasakpoolset indiviidi, nii et

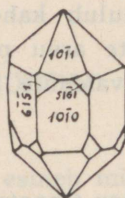
positiivse romboeedri tahud ühtivad negatiivse romboeedri tahudega (joonisel 9: nr. 9 ja 11 — parempoolsete, 10 — pahempoolsete kaksikud); 2) brasiilia seaduse järgi, kusjuures kaksikpinnaks on  $(11\bar{2}0)$  ja parempoolne indiviid ühineb vasakpoolsega nii, et nende positiivse (järelikult ka negatiivse) romboeedri tahud omavahel ühtivad (joon. 159). Sageli on kaksikuline ehitus korduv, nii et üksikud indiviidid esinevad liistude näol. Kui kristallide välispinnal puuduvad iseloomulikud trapetsoeedrite jne. tahud, on kaksikute eristamine võimalik ainult mikroskoobi all. Pole haruldased juhud, kus teatavas kaksikus esinevad korraga mõlemad seadused.



Joon. 157.



Joon. 158.



Joon. 159.

Kristallid sageli harjadena või pesadena koos; tahud on mitteühtlaselt arenenud. Ka ilma välise kristallograafilise vormita teraliselt, tihedalt, pulgaliselt ja kiuliselt. Väga sageli pseudomorfoose teiste mineraalide järgi. Sisaldab mitmesuguseid lisandeid (suletisi) teiste mineraalide kui ka vedelikkude näol.

Lõhevus on harukordadel märgatav  $(10\bar{1}1)$  järgi. Murd konnakaarpjas või killuline. Habras. K. 7. E.-k. 2,65. Tõrva- või klaasiläige. Vesiselge, läbipaistev kuni läbipaistmatu. Värvitu või kollane, roosa, lilla; harva sinine, hall, pruun või must. Kollasele valgusele  $\omega = 1,544$ ,  $\varepsilon = 1,553$ . Ringpolariseeriv. Absorbeerib valguslaineist lühemaid laineid (lilla, ultralilla) palju vähem kui harilik klaas.

Vesiselged on sageli puhas  $\text{SiO}_2$ , kuid harilik räni on segatud paljude teiste mineraalidega. Happeist lahustab teda ainult  $\text{H}_2\text{F}_2$ ; KOH mõjub vähe.  $\text{KHSO}_4$ -sulatis lahustab. Kolmikteljega ristiolevate kaksiktelgede suunas elektriseerub polaarselt, kui muuta kristalli temperatuuri või rõhku nende kaksiktelgede suunas. Ümberpöördult — kristall paisub või tõmbub kokku nende telgede suunas, kui telgede otstele anda elektrilise potent-

siaali vahe. Sellisele „piesokvartsi“ omadusele on viimasel ajal rajatud hulk riistu nii laboratooriumes kui ka tehnikas.

Ränile kuulub mineraalide seas maakera kooses kolmas koht. Teda leiame tardkivimite ja enamiku moonekivimite osisena, samuti moodustab ta setekivimite hulgas suurema osa liivakivide massist. Liiv ja kruus on enamikus räni, ta ei puudu ka harilikus savis.

Räni massiline tarvitus on kõigil teada. Teda kasutatakse näit. liiva näol teede ehitamisel, betooni ja lubja segamisel, klaasitööstuses, tulekindlate dinas-telliskivide valmistamisel. Muudest rakendusalaadest võiks nimetada: optilised riistad, piesokvartsid, ehte- ja iluasjad erivärvinguga ränist. Esiajaloolisel (kiviajal) oli räni (tulekivi = kaltsedon) toleaege inimese peamine riistamaterjal.

Räni hulgalise esinemise tõttu tutvus inimsugu varakult ka tema eriliikidega, milledest paljud on kaunivärvilised. Neile anti eri nimetused, mis on säilinud mõnes kultuurkeeles ka meie ajani. Peamisi neist loendame alamal.

A. Liigid, mis on silmanähtavalt kristalsed.

Mäekristall — vesiselged kristallid, esinevad harilikult harjade või druuside näol, harva üksikult. Esineb harva ka Eestis, näit. Saaremõisa ja Porkuni lademe paes. Lilla mäekristall on tuntud ametüstina. Kui värv päikesekiirte või kuumutamise mõjul välja pleegib, saadakse tsitriin, mis on helekollane. Kui värv on tumepruun, nimetatakse mäekristalli suitsukvartsiks või suitsutopaasiks, kui täiesti must — moriooniks.

Ilma kristalse välimuseta „harilikust“ ränist eraldatakse roosakat läbipaistvat roosakvartsi, mida osalt lihvitakse ehtekivideks. Kui räni on täis mikroskoopilisi lõhesid, vedelikkude või gaaside mullikesi, siis on tegemist piim- või (sinaka värvi puhul) safiir-räniga; kui lisandiks on värvilised mineraalid, saame roheline aktinoliidi nõelakesi sisaldava praasemi ja sillerdavate vilgultrikeste puhul aventuriini.

Kiuline räni, mis harilikult esineb pseudomorfoosina teiste kiuliste mineraalide (asbest) järgi, annab rohekashalli kassisilma ja siidiläikega kullakarva tiigrisilma.

## B. Mikrokristalsed teisendid.

Mikrokristalseid ränisid, mis valgust märgatavalt läbi lasuvad, kutsutakse ühise nimega kaltседонiks. Mikroskoobilisel uuringul võib nende seas eristada ka optiliselt negatiivseid, kuna harilik räni on positiivne.

Kaltседон kitsamas mõttes on valgust läbilaskev sinakashalli, kollakat või piimjat värvi neerja või kobarja pealispinnaga; esineb ka stalaktiitidena ja õõnsusi täitva ainenä tardkivimites. Eestis leidub kaltседони mugulatena Jõhvi lademes Põõsaspea neemel rohkesti.

Punast (lihakarva) kaltседони nimetatakse karneooliks, rohelist (Ni-sooladega värvitud) — krüsopraasiks. Ahhaat koosneb väga õhukestest mitmevärvilistest kaltседонikihikestest; ta katab harilikult tardkivimite õõnsuste seinu. Kui kihikesed on paksemad, ning tasapinnalised ja tumedad vahelduvad kontrastselt heledatega, on tegemist oonüksiga, kui kihid on kumerad, on tegemist sardonüksiga. Olgu tähendatud, et müügil on palju kunstlikult värvitud ahhaate ja oonükseid. Katuräni kuulub kaltседонide hulka ja on viimaste levinuim ja tehniliselt väärtuslikem teisend. Sageli sisaldab ta aga ka opaali.

Läbipaistmatut mikrokristalset räni, kui ta on värviline, nimetatakse jaspiseks. Mõned jaspise teisendid kannavad eri nimetusi: sibulrohelist nimetatakse plasmaks ja veripunaste täppidega plasmata heliotroobiks. Sarvkivi on samast liigist, kuid ta on segatud opaaliga. See segu esineb sageli organismide jäänuste kivistusmaterjalina, näit. puutüved on sageli nõnda kivistunud.

### Tridümiit. $\text{SiO}_2$ .

Madala temperatuuri  $\beta$ -tridümiit on romb-bipüramiidne, kuid harva esinevad pisikesed kristallid on heksagoonse välimusega, mis jäänud alla  $130^\circ\text{C}$  jahutatud kõrge temperatuuri  $\alpha$ -tridümiidist, mis on diheksagoon-bipüramiidne. Kristallid kujutavad kuuekülgseid tahvlikeksi, millel esinevad:  $\{0001\}$  ja  $\{10\bar{1}0\}$ , harvemini  $\{10\bar{1}1\}$  ja  $\{11\bar{2}0\}$ ; tahvlikesed kogunevad kolmikuiks või ka kerajaiks agregaatideks.

E.-k. 2,27. Vesiselge, vahel ka piimvalge. K.-m. +. J.-t. ees ei sula; fosforsoola helmes ilmuv ränihappeskelett on tridümiidist. Lahustub keevas küllastatud soodalahuses.

Leidub hapudes pürskekivimites, kus täidab nende poore, sageli mikroskoobiliselt. Avastatud ka ühes meteoriidis. Kunstliku sünnitiseana põhjustab halvasti jahutatud klaasi soğanemise.

### Kristobaliit. $\text{SiO}_2$ .

Madala temperatuuri  $\beta$ -kristobaliit on ditetragoon-bipüramiidne, milliseks ta muutub, kui jahutada kuubilises süsteemis kristalliseeruvat  $\alpha$ -kristobaliiti alla  $180^\circ$ . Piimvalged kristallid esinevad  $\{111\}$  näol; harva lisanduvad ka  $\{100\}$  tahud. Korduvad liistjad kaksikud  $\{111\}$  järgi on harilikud. Tridümiidist tekib ta  $1470^\circ$  t<sup>0</sup>-s, ränist pikemaajalisel kuumutamisel juba  $1200^\circ$  t<sup>0</sup>-s. Sulab  $1710^\circ$  (mõningail andmeil  $1713^\circ$  või  $1728^\circ$ ) t<sup>0</sup>-s. E.-k. 2,32.

Leidub pürskekivimite õõnsustes. Kunstliku sünnitiseana mõningais klaasiosortides, samuti dinas-telliskivides nende põletamise ajal.

### Opaal. $\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ .

Amorfne. Esineb suuremate või väiksemate massidena ja lõhede täitjana mitmesugustes kivimites, tüüpilise kolloidgeli välimusega. Esineb neeru-, kobara- või purikakujulisena, kuid ka muldjalt.

Murd konnakarpjas. K.  $5\frac{1}{2}$ — $6\frac{1}{2}$  (mullataolistes muidugi märksa vähem). E.-k. 2,1—2,2. Vesiselge kuni läbipaistvani. Värvitu, piimvalge, pruun või ka mõnda teist värvi — kuni peaaegu mustani.

Veesisaldus enamikus 3—9%, kuid esineb ka opaale 1% ja ka 21% veega. Sisaldab sageli kõrvalaineid, näit. Fe, Al, Ca ja Mg ühendeid. — J.-t. ees soodaga segatult sulab; kinnises torus eraldab vett. Keevades leelilahuseis lahustub. Sageli segamini kaltsedoniga, milleks muutub vee kaotamisel. Eristatakse järgmisi teisendeid.

Kallis opaal — valge või sinakashall; mikroskoopiliste mörakeste tõttu helgib vikerkaarevärvides. Esimese klassi kalliskivi. Toodetakse praegu peamiselt Austraalias. Tuli opaal — punane, oranž, läbipaistev. Hüaliit — vesiselge, kobarjas. Harilik opaal on väga sagedane mineraal; kollakasvalge, pruun, roheline, punane jne.; läbipaistev kuni läbipaistmatuni. Ni-sooladega roheliseks värvunult kannab nime prasopaal. Osaliselt kaltsedoniks muutunud ja seepärast valget ja läbipaistmatut opaali nimetatakse ka kašolongiks.

Vähemalt alguses toimub puu kivistumine  $\text{SiO}_2$ -ga ikka opaali näol, mis hiljemini võib muutuda kaltsedoniks. Samuti toimub ka  $\text{SiO}_2$  sadestus kuumavee-allikates (geiserites). Opaalist on ka

mikroskoopiliste algloomakeste — radiolaaride ja vetikate (diatomeede) — kestad. Nende kestade kuhjatised moodustavad eri kivimeid, näit. diatomiiti, mille lademeid leidub ka Eestis, Narva jõe alamjooksu mõlemal kaldal.

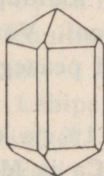
### Rutiili rühma

kuuluvad ditetragoon-bipüramiidselt kristalliseeruvad  $\text{TiO}_2$  ja  $\text{SnO}_2$ , olgugi et nad isomorfseid segusid ei anna.

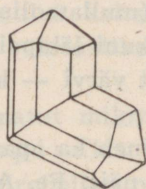
#### Rutiil. $\text{TiO}_2$ .

Ditetragoon-bipüramiidne.  $a : c = 1 : 0,644$ . Ruumvõre: titaani aatomid moodustavad ruumkesendatud tetragoonse prisma; O-aatomid asetsevad prisma diagonaalpindadel — 4 aatomit prisma alustahkudel ja 2 prisma kehas. Kõigi samanimeliste aatomite vastastikused vahemaad ei ole ühesuurused.  $a = 4,58$ ,  $c = 2,95$  Å. Kristallid harilikult  $\{110\}$ ,  $\{111\}$  ja  $\{100\}$  (joon. 160), pika- või

lühiprismalise ilmega. Sageli peente nõeltena teistes mineraalides. Kaksikud sagedamini  $\{101\}$  järgi (joon. 161); esineb ka kolmikuid. Esineb ka teradena ja massidena ilma välise kristallograafilise vormita.



Joon. 160.



Joon. 161.

Lõhevus täiuslik  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K.  $6-6\frac{1}{2}$ . E.-k. 4,2—4,3. Tahkudel teemandiläige, murdepinnal rasvaläige. Valgust läbilaskev kuni läbipaistmatuni. Punane pruunikani ja kollakani, ka must. Kriips kollakaspruun.  $\omega = 2,616$ ,  $\epsilon = 2,903$  kollasele valgusele.

Sageli sisaldab ka Fe (kuni 30%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ja vanaadiumi. J.-t. ees ei sula; boorakshelmes Ti reaktsioon; happes ei lahustu.

Toodetakse USA-s Virgiinia osariigis, leidub ka Norras ja Šveitsis — sissekasvanuna graniidis, vilk-kiltkivis; kuid esineb ühtlasi (Floridas, USA) sekundaarseis liivalademeis.

Tarvitatakse valgeks värviks, osalt koos baariumiga, emailimassides, mõne erisorti terase ja alumiiniumi lisandina.

## Anataas. $TiO_2$ .

Ditetragoon-bipüramiidne.  $a : c = 1 : 1,777$ . Ruumvõres  $a = 3,7$ ,  $c = 9,3 \text{ \AA}$ , nii et rutiilist erineb. Leidub ainult kristallidena; esinevad  $\{111\}$  ja  $\{001\}$ , milledega vahel seltsivad  $\{117\}$ ,  $\{113\}$  ja  $\{115\}$ .

Lõhevus täiuslik  $\{111\}$  järgi. Habras. K.  $5\frac{1}{2}$ —6. E.-k. 3,8—3,9. Läge ja läbipaistvus nagu rutiilil. Sinakasmust, kuid ka pruunikaskollane, pruun, kollakaspunane; harva värvitu.  $\omega = 2,56$ ;  $\varepsilon = 2,49$ . Keemiliselt nagu rutiil. Kuumutamisel muutub rutiiliks.

On rutiilist märksa haruldasem. Üksikute kristallidena koos mäekristalliga Alpides, Brasiilias (Minas Geraes), USA-s (Koloraado, P.-Karoliina) ja Uurali mägedes.

## Brukiit. $TiO_2$ .

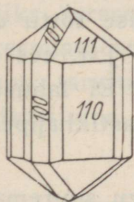
Romb-bipüramiidne.  $a : b : c = 0,842 : 1 : 0,944$ . Ruumvõre koosneb servi-pidi ketisarnaselt lülitatud oktaedritest, millede keskel on Ti-aatom ja tippudes O-aatomid. Esineb ainult kristallidena.  $\{100\}$  on harilikult vertikaalsete viirudega; esineb  $\{110\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{122\}$ ,  $\{021\}$  jm.

Lõhevus puudub. Habras. K.  $5\frac{1}{2}$ —6. E.-k. 3,9—4,2. Läge ja läbipaistvus nagu rutiilil. Kollakas või punakaspruun, vahel peaaegu must. Kriips kollakasvalge kuni pruun.  $\alpha = 2,583$ ,  $\gamma = 2,741$ . Teljepind punasele ja kollasele valgusele basopinakoidis, rohelinele ja sinisele — teises pinakoidis. Keemiliselt nagu rutiil.

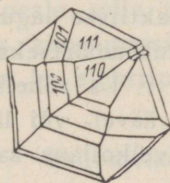
Leidub seal, kus anataaski, sageli viimasega kokkukasvanuna.

## Kassiteriit (inglistinakivi). $SnO_2$ .

Ditetragoon-bipüramiidne;  $a : c = 1 : 0,672$ . Ruumvõre nagu rutiilil;  $a = 4,72$ ,  $c = 3,17 \text{ \AA}$ . Kristallid on leiukohtade järgi erinevat tüüpi. Kõige sagedamini esinevad  $\{111\}$ ,  $\{110\}$  ja  $\{321\}$ ; vorm nagu joon. 162 ja 88. Kaksikud sagedad  $(101)$  järgi (joon. 163). Esineb ka peenekiuliste koorikjate massidena, mis kannavad nimetust „puutina“, ja sekundaarseis leiukohtades ka liivana ja veerkivikestena.



Joon. 162.



Joon. 163.

Lõhevus ebatäiuslik  $\{100\}$  järgi. Habras. Murd konnakarpjas. K. 6—7. E.-k. 6,8—7,1. Tasased kristallitahud tugeva läikega; murdepind rasvaläikega. Valgust läbilaskev. Harilikult kampilpruun või pruunikasmust, kuid harukordadel ka värvitu või kol-

lane, rohekas, pruunikaspunane või hall. Kriips kollakasvalge või valge.  $\omega = 1,997$ ,  $\varepsilon = 2,093$ .

Sisaldab harilikult ka Fe ja Mn, vahel Ta. J.-t. ees ei sula, annab söel visalt Sn-katte. Happeis ei lahustu; sulab ainult  $K_2O$  või  $Na_2O$  sulatistes.

Ainuke tehniliselt tähtis Sn-maak. Toodavad Malaka pool-saar ja Sunda saared, eriti Banka ja Billiton. Siin on peamiselt sekundaarsed lademed. Järgmine on Boliivia, kus on primaarsed maagisooned. Väiksemal määral toodetakse Siiamis, Hiinas, Ni-geerias ja Inglismaal (Cornwallis).

Inglitina toodang 1939. a. oli umbes 181 000 t. Tarvitatakse lehtraua (karra) katmiseks, jootetinana, pronksideks, amalgaami, trükitähtede valmistamiseks ja babbittmetallis. Tekstiil-tööstuses tarvitatakse tinasoola värvimisel.

### Uraniniit (uraanpigi). $UO_2$ .

Heksakisoktaeedriline. Tuleb oletada, et vähemalt mineraali tekkimisel tema ruumvõre koosnes tahkkesendatud U-kuubist, millesse paigutatud O-kuup, nii et igal kuubi tipul asetsev O-aatom asetseb iga U-kuubi kaheksandiku keskpäigas (fluoriit-tüüp). Kristalle leidub harva:  $\{100\}$ ,  $\{111\}$  ja  $\{110\}$ . Harilikult ilma väliste kristallograafiliste vormideta tihedana ja kõverpin-naliselt kihilisena, neerja pinnaga, vahel ka muldjana.

Murd konnakarpjas. Habras. K. 4—6. E.-k. 9—9,7 kristal-lides; muutunud tükkides langenud 7-ni. Värskel pinnal pigi-või rasvaläige, muidu tuhm. Läbipaistmatu, väga harva õhuke-selt pruunikalt läbipaistev. Pigimust roheka, pruunika või halli varjundiga. Kriips tumeroheline, pruunikas või hallikasmust.

Uraniniit sisaldab harilikult ka Th, Ce, La, It ja teisi harul-dasi elemente, samuti ka oma radioaktiivse lagunemise produkte: raadiumi, heeliumi, pliid (seatina). Raadiumi sisaldus on 1 : 3 300 000 osa. Mehaaniliselt on sageli liitunud Ca-, Bi-, Fe-, As-, S- ja Si-mineraalidega. Radioaktiivse lagunemise tõttu on ruumvõre hävinud ja mineraal osutub amorfseks. — J.-t. ees ei sula; boorakshelmes o. l-s kollane, r. l-s roheline. Ei lahustu soolhappes, kuid lahustub kuumas väävel- või lämmastikhappes; lahuses tekib  $NH_3$  lisandamisel väävelkollane sade.

Toodetakse peamiselt raadiumi saamiseks. Praegu suuremad tootmiskohad: Aafrikas, Katangas (Tanganjika järvest lääne pool), Suur-Karujärve ääres Kanadas, väiksemal määral Norras, end. Tšehhoslovakkias, Texases (USA) ja Siberis.

## MnO<sub>2</sub>-tüübilised mangaanoksüüdid.

MnO<sub>2</sub> on tüüpiline sekundaarne pinnatekkene mineraal. Alul kolloidsena sadestunud ja seejuures palju teisi olluseid adsorbeerinud mangaani dioksüüd on kas säilinud amorfsena, koredana või koguni pulberjana (psilomelaan, vad), või on kristalliseerunud — kas (veeta) tetragoonse polianiidina või (mõnikord veega) rombiline pürolusiidina. Raske üksteisest eristada; ka röntgenikiirtega uurimised ei ole seni selgust toonud.

### Polianiit. MnO<sub>2</sub>.

Kristallograafiliselt sarnaneb rutiiliga, kui otsustada kristallide järgi, mida leitud ainult end. Tšehhoslovakkias, Blatnos. Mujal ilma kristalse välimusega. K. 6—6½. E.-k. 5,0. Tugev terashall metalliläige ja sama või raudmust värvus. Kriips must. Peale Blatno pole kusagil kindlasti määratud.

### Pürolusiit. MnO<sub>2</sub>.

Romb-bipüramiidne. Kristallid harvad; enamasti kiirjalt kiulised massid, pealt mõnikord neerjad; vahel ka muredad (määrivad sõrmi).

Lõhevus mõnikord selge {010} järgi. Habras. K. 2—6. E.-k. u. 5. Metalliläige. Läbipaistmatu. Raudmust, tume-teras-hall, mõnikord sinakas. Kriips must.

Sisaldab mõnikord kuni 2% vett; alati palju kõrvalisi lisan-deid. J.-t. ees ei sula; eraldab O; boorakshelmes sinakaslilla. Soolhapest eraldab Cl.

Toodetakse suurimal määral Tšiaturis (Transkaukasuses), Nikopolis (Dnepri ääres), Indias, Brasiilias, Kullarannikul ja Kapimaal Aafrikas.

Tähtsaim (koos psilomelaaniga) Mn-maak. Mangaani aastatoodang (üle maailma) u. 3 milj. t; sellest läheb üle 90% lisan-diks terasele; peale selle tarvitatakse tema ühendeid paljudes keemiatööstustes, klaasimassis kõrvaldab ta FeO rohelist värvin-gut; tarvitatakse ka elektripatareide valmistamisel ja õlivärvides sikatiivina.

### Psilomelaan. MnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O.

Amorfne või vähemalt krüptokristalne. Välimus tüüpiline kolloidsest olekust settinud ainele. Väga harva metalliläige, ena-mikus tuhm. Must, vahel sinakas tumehall. Kriips mustast pruunini.

Murd konnakarpjas või tasane. K. 5—6. E.-k. 3,3—4,5. Sisaldab 10—15% vett ja lisanditena Al, Fe, Si, Ba. J.-t. ees nagu pürolusiit.

Leidub samas, kus pürolusiitki, ja on niisama tähtis Mn-maak.

### Vad. $MnO_2 \cdot nH_2O$ .

Nii nimetatakse pehmeid ja muremaid psilomelaaniliike, mis määrivad käsi (mustjaspruuniks); osa neist on ka kõvemad, neerja kujuga. Esineb harva ka Eestis, sekundaarselt devonliivakivi pindadel.

2. sugukond.

## ALUSELISE ISELOOMUGA OKSÜÜDID.

### Tsinkiit (punane tsingimaak). $ZnO$ .

Diheksagoon-püramiidne;  $a : c = 1 : 1,587$ . Ruumvõre sarnaneb vurtsiidi omaga;  $a = 3,24$ ,  $c = 5,18 \text{ \AA}$ . Kristallid harvad; tsingisulatusahjudes tekkivad kunstlikud kristallid omavad  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $(0001)$ ,  $(000\bar{1})$ ,  $\{10\bar{1}1\}$  ja  $\{10\bar{1}\bar{1}\}$ .

Lõhevus täiuslik  $(0001)$  järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K.  $4\frac{1}{2}$ —5. E.-k. 5,4—5,7. Teemandiläige, valgust läbilaskev. Kunstlikud kristallid on kas värvita, rohekaskollased või mesi-pruunid, looduslikud veripunased kuni kollakaspunaseni; harilikult on värviandjaks Mn-soolad. Kriips punakaskollane.  $\omega = 2,01$ ,  $\varepsilon = 2,03$ . Harilikult leidub jämedateraliste või plaatjate koorikutaoliste massidena.

Harilikult Mn-lisandiga — kuni 9%. J.-t. ees annab söel tsingikatte, boorakshelmes Mn reaktsiooni; lahustub happes.

Leidub suuremal hulgal New Jersey osariigis USA-s, kus ta esineb väärtusliku tsingimaagina.

### Kupriit (punane vasemaak). $Cu_2O$ .

Pentagoon-ikositetraeedriline. Ruumvõre: O-aatomid moodustavad ruumkesendatud kuubi; iga Cu-aatom ühendab kaks O-aatomit, moodustades O-kuubis Cu-tetraedri.  $a = 4,257 \text{ \AA}$ . Kristalles esinevad  $\{111\}$ ,  $\{110\}$  ja  $\{100\}$ . Teraline, tihe, kiuline.

Lõhevus selge {111} järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras.  $K. 3\frac{1}{2}$ —4. E.-k. 5,8—6,2. Värsketel tasapindadel metalliläige. Valgust läbilaskev kuni läbipaistmatu. Košenillpunane, punakaspruun või hall. Kriips pruunikaspunane.  $n = 2,849$  punasele valgusele.

Tihedas massis seguneb sageli hulga  $Fe_2O_3$ -ga. J.-t. ees muutub esmalt mustaks ja annab siis Cu-tera. Lahustub happes ja ammoniaagis.

Esineb peaaegu kõikjal, kus Cu-mineraalid on sattunud põhjavee pinna ligidale. Kus teda suuremal määral leidub, hinnatakse teda kui head Cu-maaki. Koos muldja limoniidiga ( $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ ) moodustab ta nn. telliskivimaagi.

### 3. sugukond.

## POOLTEIST-OKSÜÜDID JA NENDE HÜDRAADID.

### Korundi rühm.

Siia kuuluvad ditriagoon-skalenoedrilistest korund ( $Al_2O_3$ ,  $a : c = 1 : 1,363$ ) ja hematiit ( $Fe_2O_3$ ,  $a : c = 1 : 1,366$ ) ning romboedrilistest ilmeniit ( $FeTiO_3$ ,  $a : c = 1 : 1,385$ ). Kõrge kõvadusega.

### Korund. $Al_2O_3$ .

Ruumvõre meenutab galeniidi kuupi, mis ühe diagonaali suunas romboedriks venitatud ja kus üks element — kas Pb või S — asendatud  $Al_2O_3$  molekuliga. Romboedri serva pikkus 5,12 Å, nurk  $55^\circ 17'$ . Heksagoonselt:  $a = 4,75$ ,  $c = 12,98$  Å. Kristallid kas kivimisse sisse kasvanud või pinnapealsed, sageli õige suured. Nad on prismakujulised, terava bipüramiidi (joon. 164), tahvli või romboedri taolised, sageli vaatjad, kusjuures tahkudel ilmuvad horisontaalsed viirud (joon. 165). Vormidest sagedamad:  $d \{0001\}$ ,  $l \{11\bar{2}0\}$ ,  $r \{10\bar{1}1\}$ ,  $n \{22\bar{4}3\}$ ,  $m \{11\bar{2}1\}$  ja  $\{22\bar{4}1\}$ . Kaksikud ka lamellaarselt korduvad) sagedad ( $10\bar{1}1$ ) järgi. Esineb ka kristalse välisvormita plaatjana ja teralisena.

Lõhevus näiline  $\{0001\}$  ja  $\{10\bar{1}1\}$  järgi; lõhenemine neis suundades toimub translatsiooni ja korduva kaksikuse tõttu. Murd

konnakarpjas või killuline. K. 9. E.-k. 3,9—4,1. Klaasiläige.

Läbipaistev kuni sogaseni. Vesiselge või värviline, sagedamini sinakais toones, kuid ka hallikaspunane, pruun, kollane või sinakasroheline; värvus muutub plekitaoliselt või vöödilisel; mõned eksemplarid näitavad peatelje suunas vaadatuna tähekujulist kiirgamist, mis tingitud vöörkehade sisaldusest.

Tumedavärvilised on pleokrooiitilised.  
 $\omega = 1,769$ ,  $\varepsilon = 1,761$ .

Vesiselged — puhas  $Al_2O_3$ ; tumepunased värvitud  $Cr_2O_3$ -ga (1—2½%); tumesinised Fe- ja Ti-sooladega. J.-t. ees ei sula, sest sulamistemperatuur on 2050°; booraksis pika kuumutamise järel lahustuv. Happeis ei lahustu, sulas  $KHSO_4$  lahustub.  $Co(NO_3)_2$  lahusega niisutatult muutub pikemat aega kuumutatud pulber siniseks.

Eristatakse järgmisi alaliike: 1) kalliskividena tarvitata-  
 — punane rubiin ja sinine safiir; kui viimane on valkjas, nimetatakse teda leukosafiiriksi; rohekad kivid kannavad hommikumaa smaragdi, lillad — hommikumaa ametüsti ja kollased hommikumaa topaasi nime;

2) harilik korund — sogasevärvilised kristallid;

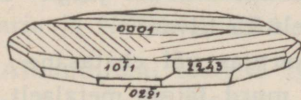
3) smirgel — teraline korundi, magnetiidi, hematiidi ja räni segu.

Kalliskorundi leiukohtadest on rubiini alal tähtsaim Birma ja safiiri alal Tseiloni saar ja Siiam. Harilikku korundi toodetakse kõige rohkem Madagaskari saarel ja Lõuna-Aafrikas; suuri (sada ja rohkem kilogrammi kaaluvaid) kristalle leidub Kanadas ja Põhja-Karoliinas (USA). Smirgli peamisteks tootekohtadeks on Tsüklaadi saared ja Väike-Aasia. Enamik kalliskorundi saadakse sekundaarseist lademeist. Harilikku korundi ja smirglit tarvitatakse lihvimismaterjalina.

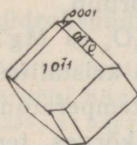
Sulatades paukgaasitules või elekterahjus  $Al_2O_3$  tolmu saadakse materjal, mis oma peomadustelt ei erine korundist, on vaid puhtam, olles ilma lisanditeta. Lisandades tarviliiku osa Cr-, Fe-, Ti-, V- või Co-oksüüde saadakse igasugu värvilist materjali, mis lihvituna on koguni ilusamad loomulikest rubiinest ja safiirest. Nii valmistatakse kalliskive kaaluga kuni 200 karaadini (sünteesilised rubiinid, safiirid jm.).

## Hematiit (punane rauamaak). $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

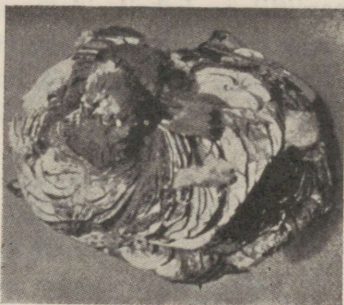
Ruumvõre sarnaneb korundi omaga: romboedri serv 5,43 Å, nurk  $54^\circ 58'$ . Kristallid kas õhukesed või pakstahveljad (joon. 166), kusjuures tahvlikesed koonduvad mõnikord rosettideks (joon. 167, nn. „raudroos“), või püramiidsed või romboedrilised (joon. 168), harva prismalised. Väga vormirikas. Sagedamini esinevad  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{10\bar{1}4\}$ ,  $\{22\bar{4}3\}$ ,  $\{0001\}$  ja  $\{30\bar{3}5\}$ . Kaksikud sagedad mitme seaduse järgi. Rutiiliga sageli seaduspäraselt kokku kasvanud. Esineb ka ilma välise kristallivormita — teralisena,



Joon. 166.



Joon. 168.



Joon. 167.

lehtjana, tihedana ja eriti iseloomustava radiaalkiulisena, läikiva neerja välispinnaga („klaaspea“). Sageli moodustab pseudomorfoose teiste mineraalide järgi. Hematiidi pseudomorfoose, mis tekkinud magnetiidi murenemisest, nimetatakse martiidiks.

Lõhevus niisama näiline nagu korundil. Murd konnakarpjas. Habras.  $K. 6\frac{1}{2}$ . E.-k. 5,2—5,3. Kristallidel metalliläige, muidu harilikult tuhm. Läbipaistmatu, ainult väga õhukesed lehekused lasevad läbi punaseid kiiri; viimaste  $\omega = 2,949$ ,  $\varepsilon = 2,725$ . Teras-hall või raudmust, ilma kristalse välimuseta esinedes punane. Kriips kirsspunane või punakaspruun.

Sageli Ti-lisandeid isomorfse ilmeniidi lisanduse tõttu. J.-t. ees ei sula; söel kuumutatult saab magnetiliseks; boorakshelmes Fe värviga; pulbrina lahustub happes.

Eristatakse välimuse järgi kristalseid, suureteriseid ja plaatjaid metalliläikega agregate, mida nimetatakse r a u a l ä i k e k s, ja tihedaid, kiulisi ja muldjaid tuhme, mida tuntakse p u n a s e r a u a m a a g i (kitsamas mõttes) nime all.

Leidub väga paljudes kohtades ja on tähtis rauamaak. Suurima osa toodangust annavad USA, Kanada Ülemjärve ümbrus ja Tennessee osariik; leidub ka Ukraina NSV-s (Krivoi Rog), Hispaanias (Bilbao), Elba saarel, Põhja-Norras, Rootsis (Gällivaara) ja Brasiilias.

### Ilmeniit (titaanraud). $\text{FeTiO}_3$ .

Romboeedriline. Ruumvõre väga sarnane hematiidi omaga. Kristallid kas tahvli- või romboeedrikujulised, kus peamiselt esinevad  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{0001\}$ ,  $\{01\bar{1}2\}$ ,  $\{02\bar{2}1\}$  ja ka teravamad romboeedrid. Ka ilmeniidil on kaksikuid, samuti mitme seaduse järgi. Esineb ka teralisena ja lehtjana; sekundaarselt ka liivas.

Lõhevus puudub. Murd konnakarpmas või ebatasane. Habras. K. 5—6. E.-k. 4,5—5. Värske murd läigib metalselt, üldiselt aga tuhm. Läbipaistmatu, kuid õhukesed lehekesed lasevad läbi pruuni valgust. Kriips must või tumepruun.

$\text{FeTiO}_3$ -le on harilikult lisandunud  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ja  $\text{MgTiO}_3$  kui ka  $\text{MnTiO}_3$ . Mõned neist mineraalidest on välja kristalliseerunud algulatisest jahtumise ajal, sest madalamais temperatuurides ei ole need ained piiramatult segatavad, nagu kõrges temperatuuris. J.-t. ees ei sula; happeis lahustub visalt;  $\text{KHSO}_4$ -s sulatades lahustub.

On sage rauamaakide, eriti magnetiidi kaaslane. Rauamaagina ei kõlba. Titaani ja tema ühendite väheste rakendusvõimaluste tõttu ei oma erilist majanduslikku väärtust.

### Brauniit (kõva mangaanimaak). $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$ .

Ditragoon-bipüramiidne;  $a : c = 1 : 0,992$ , väga lähedane kuubilisele. Kristallid sarnanevad oktaeedritega, mis harilikult tiheda harjana moodustavad õõnsuste seintel koorikuid. Sagedamini esineb teralisena.

Lõhevus ei ole märgatav. Murd ebatasane. Habras. K. 6—6½ (kui murenemata). E.-k. 4,7—4,9. Rasva- või metalliläige. Läbipaistmatu. Raudmust või pruunikasmust. Kriips must.

J.-t. ees ei sula; annab lilla boorakshelme ja eraldab HCl-st kloori.

Toodetakse Indias (Nagpur) Mn-maagina; mujal esineb vähesel hulgal, olles teiste Mn-mineraalide kaaslane.

### \*Alumiiniumoksiüdid veega.

Tuntakse kahte (mõlemad kristalliseerunud) mineraali: diaspoori ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ja hüdrargiliiti ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), mis puhtalt esinevad harva.\*

## Boksiit. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Amorfne tahkeks muutunud kolloidne alumiiniumoksüüd. Algupäralt kas troopilises kliimas murenenud alumosilikaatide jääk, nn. lateriit (alati räniga ja opaaliga segatud), või *terra rossa*, mis jääb järele, kui lahustub lubjakivi.

Puhtalt valge, konnakarpja murdepinnaga. K. 1—2. E.-k. 2,4—2,5. Sisaldab alati palju  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ja  $\text{SiO}_2$ .

On alumiiniumimaak, kui sisaldab mitte alla 40%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ja mitte üle 25%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ning 3%  $\text{SiO}_2$ . Leidub Euroopas suuremal hulgal Prantsusmaal (Les Beaux), Jugoslaavias (Karst), Ungaris ja NSVL-s; USA-s Georgia ja Alabama osariigis.

Alumiiniumi toodeti 1938. a. üle maailma kokku 550 000 t; sellest Saksamaal 175 000 t.

## Rauahüdroksüüdide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) ehk limoniidi rühm.

Romb-bipüramiidsed, kui  $n = 1$  ja aines esineb kristalliseerunud kujul. Eristatakse järgmisi liike: 1) nõel-rauamaak, mille telgede vahekord on  $a : b : c = 0,459 : 1 : 0,303$  ja mis esineb prismalisena, nõeljana või kiudjana, õhukestes kihikestes läbi vaadates pruun või kollane; omab keskmist kaksikmurdumist; 2) götiit ehk lepidokrokiit, mille telgede vahekord on  $a : b : c = 0,308 : 1 : 0,246$  ja mis esineb tahvlikestena, õhukestes kihikestes läbi vaadates punane, omab teemandiläiget ja väga kõrget kaksikmurdumist.

Mõlema mineraali lõhevus on  $\{010\}$  järgi täiuslik. K. 5. E.-k. 4—4,3.

Enamik sellesse gruppi kuuluvaist mineraalidest esineb aga ilma kristalse välisvormita, neid nimetatakse limoniitideks. Vahel esineb ta radiaalkiuliseks, kusjuures neeru- või kobarataoline pealispind on sile (pruun klaaspea), kuid peamiselt amorfse massina, sageli (näit. nn. soo- või mättarauamaak) kärjetaolisena või ooliitsena (meredes või järvedes tekkinud). Osa neist esineb mullana või pulbrina — ooker.

Leidub kõikjal. Murenevas aines esinevad roostevärvid on tingitud limoniidist, sest niiske maapinna oludes on  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  teatava osa veega teiste rauaoksüüdide seas kõige püsivam. Kohati kuhjub ta tootmiskõlblikeks varapaikadeks. Euroopas on suurimad lademed limoniidi ooliite (minette) Ida-Prantsusmaal (Lotringis). Harzi eelmägedes on peaaegu kasutuskõlblikku limoniiti. NSVL-s leidub Kertšis (Musta ja Aasovi mere rannikul) ja Uurali mägedes. USA-s on limoniiti laialt Alabama, Virgíinia, Tennessee ja Georgia osariigis. Eestis Vagula järves järvemaagina (limniit). Järvemaak on eriti sagedane Soomes ja Rootsis.

Rauamaakide nüüdisaja aastatoodang kogu maailmas ületab 150 milj. t.

## Manganiit. $Mn_2O_3 \cdot H_2O$ .

Romb-bipüramiidne;  $a : b : c = 0,844 : 1 : 0,545$ . Kristallid prismataolised; kui nad on pikad, omavad nad pikiviirulisi väheseid tahke, kui lühikesed, siis on vormirikkad. Esinevad  $\{110\}$ ,  $\{101\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{210\}$ ,  $\{120\}$  ja  $\{313\}$ . Kaksikud  $\{011\}$  järgi kas põlvetaoliselt murtud või ristikujulised. Pulkjad indiividid asetsevad kas radiaalselt või sasisitult (vihkudena). Harva teraliselt.

Lõhevus täiuslik  $\{010\}$  järgi. Murd ebatasane. Habras. K. 4. E.-k. 4,3—4,4. Värskel läige metalliläike taoline. Pruunikasmust. Kriips tumepruun. Õhukeses kihikeses läheb läbi punast valgust, millele  $\alpha = 2,25$ ,  $\gamma = 2,53$ . Murenedes läheb üle pürolüsiidiks.

Vabaneb veest ainult üle  $200^\circ$  kuumutamisel. J.-t. ees Mn reaktsioon; HCl-st eraldab kloori.

Kaunis harva leitav, sest mureneb ruttu pürolüsiidiks.

### 4. sugukond.

## ALUMINAADID JA FERRIIDID.

Siia kuuluvad ühendid, millede koostist võib tähistada valemiga:  $R^{II}O \cdot R_2^{III}O_3$ , kus  $R^{II}$  on harilikult Mg, Fe, Zn ja Be ning  $R^{III}$  — Fe, Al, Cr ja Mn; viimaseid asendavad mõnikord V või Ti. Üldse on ühe elemendi asendumine teisega, kui aatomi raadiused lubavad, sagedane nähtus.

### Spinelli rühm.

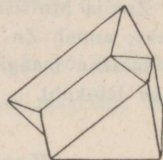
Isomorfne heksakisoktaedriline rühm. Ruumvõre kaunis keeruline: O-aatomitest koosnevasse tahkkesendatud kuupi on paigutatud  $R^{II}$  tetraedri ja  $R^{III}$  oktaedri tsentrumi asendis. On palju segam mineraale, kus ühed aatomid teisi ulatuslikult asendavad. Aluminaatspinellid on madalama erikaaluga, valgust läbilaskvad ja suure kõvadusega; ferriitspinellid on raskemad, metalliläikega, läbipaistmatud ja pisut väiksema kõvadusega. Kõigil lõhevus ebatäiuslik  $\{111\}$  järgi.

### Spinell. $MgO \cdot Al_2O_3$ .

Ruumvõre  $a = 8,10 \text{ \AA}$ . Kristallides esinevad  $\{111\}$ ,  $\{110\}$  ja  $\{311\}$ , harvem  $\{100\}$ . Kaksikud  $\{111\}$  järgi sagedad; kaksiku paari moodustavad indiividid on kaksikpinnale risti kokku surutud (joon. 169). Kristallid on üksikult kivimisse kasvanud. Neid leitakse ka sekundaarselt ümmardatud ja katkiste teradena.

Murd konnakarpjas. K. 8. E.-k. 3,5—4,1. Klaasiläige. Läbi-  
paistev kuni peaaegu läbipaistmatu. Iga värvi, peamiselt punane.

MgO on sageli osalt asendatud FeO-ga ja  $Al_2O_3$  —  $Fe_2O_3$  ning  $Cr_2O_3$ -ga. J.-t. ees ei sula, happed ei lahusta, kuid sulatatud  $KHSO_4$ -ga lahustub kergesti. Koobaldilahusega niisutatult muutub ta pulber kuumutamisel siniseks. Sulamispunkt 2135°.



Joon. 169.

Eristatakse teisendeid: 1) kallisspinell — läbi-  
paistev; tumepunast kallisspinelli nimetatakse rubiinspinel-  
liks, helepunast — baleerubiiniks (balaisrubin), kollakat või oranži — rubit-  
selliks, lillakat — almandiinspinelliks; 2) sinine spinell — sisaldab kuni  
3,5% FeO; 3) klorospinell — roheline; sisaldab 9—15%  $Fe_2O_3$  ja pisut Cu.  
Neid kalliskividena tarvitata vaid spinelle leidub Tseiloni saarel, Indias ja  
Siiamis, siniseid Rootsisis ja USA-s, rohelisi Uurali mägedes.

### Magnetiiit (magnet-rauamaak). $FeO \cdot Fe_2O_3$ .

Ruumvõre  $a = 8,40 \text{ \AA}$ . Kristallid harilikult  $\{111\}$ ; esine-  
vad ka  $\{110\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{211\}$  ja  $\{221\}$  ning mõned heksakisokta-  
eedrid. Kaksikud  $\{111\}$  järgi, ka korduvad kaksikud lamellaar-  
sete indiviididega. Enamikus ilma välise kristallivormita, tera-  
lisena ja tihedana, ka koorikjalt ja lahtiste (liiva-)teradena.

Murd konnakarpjas. Habras. K. 5½. E.-k. 5—5,2. Läge  
rasva- ja metalliläike vahepealne. Läbipaistmatu. Raudmust.  
Kriips must. Magnetiline.

Puhtana sisaldab 71,4% Fe, kuid sageli on Mg, Mn, Zn, Al,  
Ti või V lisanditega. Osalt esinevad need lisandid mikroskoop-  
iliste ja kristallograafiliselt orienteeritud spinelli- või ilme-  
niidikristallikestena. J.-t. ees sulab visalt; annab boorakshelmes  
Fe reaktsiooni ja lahustub pulbrina kanges HCl-s.

Leidub määratu suurte lademetena Põhja-Rootsis (Kiruna),  
samuti Norras; USA-s New Yorki ja Wyomingi osariigis, edasi  
Mehhikos, Tšiilis, Transvaalis. Uurali mägedes ja Soomes. Kus  
ta ei sisalda ülemäära palju Mg ja Ti, on ta otsitud rauamaak.  
Peente teradena esineb lisandina peaaegu kõigis tardkivimites,  
eriti aluselistes. Eestis leidub kõikjal liivades veekogude rannikul.

### Frankliniit. $(Zn, Mn)O \cdot Fe_2O_3$ .

Esineb, nagu eelmisedki spinelli rühma liikmed, peamiselt  $\{111\}$  näol, kuid  
vahel kombineerub temaga  $\{110\}$ . Kristallid sageli ümmardatud, kivimisse sisse  
kasvanud.

Murd konnakarpjas. Habras. K. 6—6½. E.-k. 5,0—5,2. Metalliläige. Läbipaistmatu. Raudmust. Kriips punakas- või mustjaspruun. Sageli pisut magnetiline.

Zn- ja Mn-sisaldus väga vahelduv. J.-t. ees ei sula, kuid muutub magnetiliseks; annab Zn- ja Mn-reaktsioone; keevas HCl-s lahustub, vabastades Cl. Tarvitatakse maagina New Jersey osariigis (Franklin-Furnace), kus on tema ainuke leiukoht.

### Kromiit (kroom-rauamaak). $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Oktaedriline kristallid esinevad harva; harilikult leidub ilma välise kristallivormita mugulatena, teradena või soonekestena.

Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K. 5½. E.-k. 4,5—4,8. Läge tõrva- ja metalliläike vahepealne. Läbipaistmatu. Raud- või pruunikasmust. Kriips tumepruun.

Sageli esinevad Mg ja Al, harilikult ka Zn ja Mn. Keskmiselt leidub 52—58%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 25—40%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . J.-t. ees ei sula, muutub magnetiliseks. Boorakshelmes kuumalt Fe-reaktsioon, külmalt Cr-reaktsioon. Ei lahustu happes.

Ainus kroomimaak. Peamised tootekohad Rodeesia ja Transvaal Lõuna-Aafrikas, India ja Uus-Kaledoonia. Väga laialt levinud oliviini sisaldavais tardkivimites; alaline plaatina kaaslane plaatina leiukohtades, kus ta leidub ka teradena sekundaarseis lademeis.

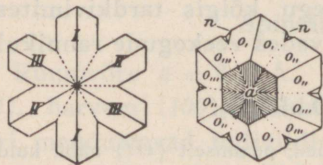
Kroomi tarvitatakse peamiselt lisandiks terasesortidele, edasi teiste metallide katmiseks ning parkainete ja värvide valmistamiseks. Kromiidist valmistatakse happekindlaid voodrikive ja üldse voodrimaterjali mõningais metallurgiaahjudes.

### Krüsoberüll. $\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ .

Romb-bipüramiidne:  $a : b : c = 0,471 : 1 : 0,582$ . Ruumvõre: O-aatomid moodustavad heksagoonse tihedama pakkimise, kus Be-aatomid on paigutatud

nii, et neid ümbritseb 4, ja Al-aatomid nii, et neid ümbritseb 6 O-aatomit. Kristallid sisse kasvanud, harilikult  $\{100\}$  järgi tahveljad. Peale  $\{100\}$  esinevad sageli veel  $\{111\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{011\}$  ja  $\{120\}$ . Kolmikud väga sagedad  $\{031\}$  järgi (joon. 170); siin o on  $\{111\}$  ja n on  $\{121\}$ . Sekundaarlademeis teraliselt.

Lõhevus selge  $\{010\}$  järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 8½. E.-k. 3,5—3,8.



Joon. 170.

Klaasiläige. Läbipaistev. Roheline mitme varjundiga; tumedamad pleokrooiitilised: *a*-telje suunas lillakaspunane, *b*-telje suunas oranž ja *c*-telje suunas smaragdroheline. Seetõttu näivad mõned krüsoberüllid teisendid („aleksandriit“), mis päevavalgel on rohelised, kunstlikus valguses punased olevat.  $\alpha = 1,747$ ,  $\gamma = 1,756$ .

J-t. ees ei muutu; happeis ei lahustu; lahustub sulas alkalis või  $\text{KHSO}_4$ -s.

Puhtavärvilisi tarvitatakse kalliskividena. Leitakse Uurali mägedes, Tseloni ja Tasmaania saarel ning Brasiilias.

IV klass.

### **Haloidsoolad.**

Neist vaatleme ainult mõnda tähtsamat Cl- ja F-soola. Kõik nad on puhtalt ilma värvita, vähese kõvaduse ja erikaaluga; mitmed neist on majanduslikult tähtsad.

1. sugukond.

### **LIHTSAD KLORIIDID JA FLUORIIDID.**

#### **Kivisoola rühm.**

Vaatlusele tulevad sülviiin, haliit ja kerargüriit — kõik kuu-  
bilised ja vist ka heksakisoktaeedrilised. Ruumvõre nagu gale-  
niidil; loenduse järjekorras  $a = 6,27, 5,63$  ja  $5,58 \text{ \AA}$ .

#### **Sülviiin (kloorkaalium, kaaliumkloriid). KCl.**

Kristallid pesadena,  $\{100\}$ , kombineeritud vahel  $\{111\}$ -ga. Harilikult esineb teraliste või plaatjate agregatidena.

Lõhevus täiuslik  $\{100\}$  järgi. Habras. K. 2. E.-k. 1,9—2. Klaasiläige. Vesiselge kuni gaseeni.  $n = 1,490$ . Ei absorbeeri infrapunaseid kiiri (diatermne). Maitse mõrukas.

Segatud harilikult vähese Na ja  $\text{MgCl}_2$ -ga, milledest viimane on hügrokoopne ja põhjustab soola lahustumise. J.-t. ees värvib leegi lillakaspruuniks; kuumutamisel aurub ära; lahustub kergesti vees.

Kaalisooladest väärtuslikem. Leidub Saksamaa soolalademeis koos teiste sooladega (Hannover, Stassfurt), NSVL-s Kama jõe piirkonnas, Poolas ja Hispaanias.

## Haliit (kivisool, kloornaatrium, naatriumkloriid). NaCl.

Kristallid pesadena või ka savisse, anhüüriiti või kainiiti sisse kasvanud; rõhuvas enamikus {100}, harukordadel esinevad ka {111} ja {110}. Massiliselt teralisena, vahel kiulisena või juuksetaolise kattena, ka purikatena.

Lõhevus täiuslik {100} järgi. Õhukesed lehekesed lasevad end pisut painutada. Murd konnakarpjas. K. 2. E.-k. 2,1—2,2. Klaasiläige. Hügrooskoopsete soolade juuresolekul niiske. Värvitu või lisaainete tõttu värviline: rauaoksüüdide puhul kollane või punane, savi või bituumeni puhul pruun. Siniste laikude põhjuseks arvatakse olevat submikroskoopiliselt radioaktiivsete tegurite toimel sadestunud metallet naatriumi.  $n = 1,544$ . Väga dia-termne.

Peale kipsi, savi, bituumeni,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  jne. sisaldab sageli ka soolvett ja gaase, vahel ka naftat. J.-t. ees sulab ( $800^\circ \text{t}^0\text{-s}$ ) ja värvib leegi kollaseks; kuumutamisel aurub ära.

Leidub suurte maa-aluste lademetena Saksamaal (Stassfurt Saksimaal, Württemberg, Hannover), Poolas (Wieliczka), Hispaanias, end. Austrias, Prantsusmaal, Uurali lõunapoolses osas, Armeenias, Alžeerias, Abessiinias, Indias, USA-s (Michigani, New Yorki ja Ohio osariigis) ja mujal. Pinnapealseid lade-meid leidub kõrvekliimalistes kohtades, kus terved madalad järved on täidetud soolaga, ühes muda vahekihtidega. Kunstlikult saadakse soola, aurutades ära merevee või soolaste allikate vee. Soola tarvidus inimese majapidamises on teada. Tehnikas tarvatakse soola sooda ja kõigi teiste naatriumisoolade valmistamiseks.

## Kerargüriit (hõbeda sarvmaak; kloorhõbe, hõbekloriid). AgCl.

Kristallid koorikutel, halvasti kujunenud; harilikult esineb kooriku- ja purikataolisena ning dendriitidena.

Lõhevus puudub. Painduv ja noaga lõigatav. K. 2. E.-k. 5,5—5,6. Täiesti värskelt värvitu, kuid õhu käes muutub halliks, kollaseks, pruuniks või ka mustaks. Värskel läige teemandi- ja rasvaläike vahepealne. Valgust läbilaskev.  $n = 2,06$ . Kriips läikiv.

Olles teiste hõbedam mineraalide murenemissaaduseks sisaldab sageli viimaste jäänuseid, mõnes leiukohas ka Hg. J.-t. ees sulab kergesti ja aurub ära; söel annab kergesti Ag-tera. Lahustub happes visalt, kergesti  $\text{NH}_4\text{OH}$ -s.

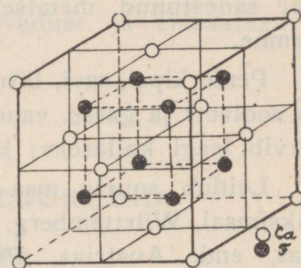
Leidub peaaegu kõigis hõbedakaevandustes ja võetakse seal väärtusliku lisandina teiste maakide hulka.

## Fluoriidi rühm.

### Fluoriit. $\text{CaF}_2$ .

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre (joon. 171): tahkkesendatud Ca-kuupi on paigutatud F-kuup nii, et iga F on iga Ca-kuubi kaheksandiku keskpaigas.  $a = 5,45 \text{ \AA}$ . Sageli ilusais kristallides, kus peamiselt esineb  $\{100\}$  (harilikult läikiv), vahel kombineeritud  $\{111\}$  (sageli tuhmid ja karedad),  $\{110\}$ ,  $\{211\}$ ,  $\{311\}$  ja  $\{310\}$ -ga (joon. 87). Kaksikud  $(111)$  järgi sagedad. Esi- neb ka ilma välise kristallivormita jämedaterisest kuni täiesti tihedani, vahel vöödiline, harva pulga- või mullataoline.

Lõhevus täiuslik  $\{111\}$  järgi. Hab- ras. K. 4. E.-k. 3,1—3,2. Klaasiläige. Harva vesiselge, enamasti lillades ja rohekais toonides, vahel vöödiliselt va- heldudes. Tumedad (kuni mustani) värvid võivad olla tekitatud radioaktiiv- sel toimel sadestunud metalse Ca poolt. Kollases valguses  $n = 1,434$ , mistõttu ta õhikus omab suurt negatiivset reljeefi. Värvide dispersioon väike. Fluorestsee- rub, eriti tumedavärvilised Cumberlandist (Inglismaal). Ei juhi elektrit.



Joon. 171.

J.-t. ees kargab tükkidena laiali ja fosforestseerub; ka killu- kestena raskesti sulav (sulamispunkt  $1392^{\circ}$ ); kipsiga koos sulab helmeks, mis kuumalt on selge, külmalt sogane. Väävelhappe toimel eraldub HF.

Väga laia levikuga. Sulatamisahjudes tarvilik rübude vedel- damiseks, mistõttu toodetakse mitmel pool: Saksamaal (Harzis ja Tüüringis), Norras, end. Tšehhoslovakkias, USA-s (Illinoisi ja Kentucky osariigis) ja Siberis.

Peale sulatamisvahendiks tarvitamise kasutatakse ka opaal- klaasi ja vaapade valmistamiseks. Vesiselgeid tarvitatakse opti- listeks läätsedeks apokromaat-objektiivides.

## Cl ja F kaksiksoolad.

Krüoliit.  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ .

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 0,966 : 1 : 1,388$ ;  $\beta = 89^\circ 49'$ . Ruumvõre vähe uuritud. Kristallid kuupjad, sest esinevad  $\{110\}$  ja  $\{001\}$  lõikuvad peaaegu täisnurgi. On ka kaksikuid  $\{110\}$  järgi. Muidu massidena, mille pindadele kristallide otsad välja ulatuvad ja millede tuumana esinevad räni või teised mineraalid.

Lõhevus näiline  $\{001\}$ ,  $\{110\}$  ja  $\{101\}$  järgi. Murd ebatasane. Habras. K.  $2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 2,95. Pärlmutri- või niiske klaasi läige. Valgust läbilaskev. Lumivalge, kuid vahel ka punakas või pruunikas. K.-m. —, madal, samuti madal on  $n$  ( $\beta = 1,339$ ).

Keemiliselt väga puhas. J.-t. ees sulab kergesti. Lahtises torus kuumutatult annab HF. Lahustub kanges väävelhappes.

Tootmisväärsel hulgal ainult Ivigut'is Lääne-Gröönimaal. Aastatoodang umbes 20 000 t. Tarvitati alumiiniumi valmistamisel elektrolüütilise menetluse puhul; ka opaakklaasi valmistamisel.

Karnalliit.  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Romb-bipüramiidne;  $a : b : c = 0,593 : 1 : 0,698$ . Heksagoonse välimusega kristallid harvad. Jämedaterisena haliidis, anhüdriidis või eri kihtidena soolalademeis.

Lõhevus puudub. Murd konnakarpjas. K. 1—2. E.-k. 1,6. Rasvakas klaasiläige. Vesiselge, valge, kollakas või punane hematiiditriekste sisalduse tõttu. K.-m. +. Fosforestseerub. Maitse mõrkjas nagu sülvil; hügrokoopne.

Osa K on sageli asendatud Na-ga; mõnes leiukohas sisaldab Br ja Rb. J.-t. ees sulab kergesti; lahustub kergesti vees.

Põhja-Saksamaa, Poola ja Hispaania soolalademeis peamiseks kaaliumisoolaks. Põlluväetiseks tarvitamisel tuleb enne eemaldada Mg. Viimane on sellest soolast kergesti eraldatav metallina, mida viimasel ajal ka tehakse.

V klass.

## **Boraadid, karbonaadid.**

1. sugukond.

### **BORAADID.**

Boorhapete soolad. Vesiselged mineraalid, teiste soolade lademeis kaunis haruldaste kaaslastena.

#### **Boratsiit. $5\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 7\text{B}_2\text{O}_3$ .**

Harilikul temperatuuril romb-bipüramiidne;  $265^\circ$  t<sup>0</sup>-s muutub isotroopseks heksakistetraeedriliseks. Sissekasvanud kristallid, säilitanud kuubilise välimuse, sageli täpsed nagu mudelid:  $\{100\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$  (tuhmid tahud),  $\{211\}$  ja  $\{531\}$ . Mikroskoobi all ilmneb anisotroopsus, suure nurgaga optiliste telgede vahel. Ka tihedana, muguladena ja soontena.

Lõhevus puudub. Murd konnarpjas. Habras. K. 7. E.-k. 2,9—3,0. Teemandiläige. Läbipaistev; pealt vahel kaetud tuhmi koorega. Värvitu või kollakas, sinakas või rohekas.  $\alpha = 1,662$ ,  $\gamma = 1,673$ . Püroelektriline, mis omadus kaob  $265^\circ$  t<sup>0</sup>-s, kuid jahtumisel ilmub jälle.

Keemiline koostis seni täpselt määramata. Osa MgO võib asendada FeO-ga (kuni 8%). J.-t. ees sulab valgeks helmeks, värvides leegi rohelisteks; ka muud B-reaktsioonid. HCl lahustab.

Põhja-Saksamaa soolakaevandustes tehti temast booraksit. Leidub väiksemal määral ka teistes soolalademetes.

#### **Booraks (tinkal). $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .**

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 1,099 : 1 : 0,563$ ;  $\beta = 73^\circ 25'$ . Kristallid prismalised, milledes ülekaalus  $\{100\}$  ja  $\{110\}$ .

Lõhevus selge  $\{100\}$  järgi. Murd konnarpjas. Veidi habras. K. 2—2½. E.-k. 1,7—1,8. Rasvaläige. Läbipaistev. Värvitu või sogane, hallikas või kollane; kaetud tuhmi koorekesega.  $\alpha = 1,447$ ,  $\gamma = 1,472$ .

Puhtas aines 36,7%  $B_2O_3$ , kuid harilikult palju lisandeid. J.-t. ees sulab läbipaistvaks helmeks, mis lahustab metallioksiüide. Leek roheline. Maitse magus-soolane ja suunahka kokkutõmbav.

Leidub USA-s (Kalifornia ja Nevada), Tiibetis ja Egiptuses mõnede järvede põhjamudas. On tähtis boormineraal. Boormineraale tarvitatakse savi- ja portselanriistade vaabas, klaasi- ja värvitööstustes, mõnesugustes sulatusprotsessides, ravimeis ja kodumajapidamises. Boorkarbiid on kõvaduselt peaaegu võrdne teemandiga.

## 2. sugukond.

### SÜSIHAPPESOOLAD (KARBONAADID).

Tuletatud süsihappest:  $H_2CO_3$ . Ilma metalse välimuseta: värvita (välja arvatud Cu-soolad), kõvadusega alla 5. Happed eraldavad neist  $CO_2$ , mõnedest küll ainult kontsentreeritud happed ja kuumutamisel.

### Kaltsiidi rühm. Heksagoonne.

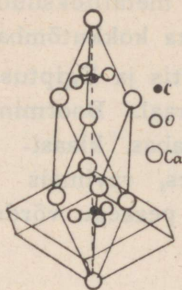
#### Kaltsiit (lubjapagu). $CaCO_3$ .

Ditrigoon-skalenoeedriline;  $a : c = 1 : 0,854$ ; romboeedri  $\alpha = 101^\circ 55'$ . Ruumvõre nagu joon. 172;  $a = 6,55 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 46^\circ 6'$ . Kristallid sagedad; vorme rohkem kui ühelgi teisel mineraalil. Kõige sagedamini esinevad  $\{01\bar{1}2\}$ ,  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{02\bar{2}1\}$ ,  $\{21\bar{3}1\}$  ja  $\{0001\}$ . Neist on  $\{10\bar{1}0\}$  tasane ja läikiv,  $\{0001\}$  sageli tuhm ja valge. Kaksikud sagedad ( $0001$ ) järgi ja eriti lamellaarselt korduvad ( $01\bar{1}2$ ) järgi (joon. 97); on ka teisi kaksikuseadusi (joon. 93). Esineb ka ilma välise kristallivormita teralise, pulkja, kiulise, tiheda või muldja massina, ka ooliitsel või purikalisel kujul. Sagedaim organismide kivistusmaterjal.

Lõhevus väga täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Habras. K. 3. E.-k. 2,6—2,8. Klaasiläige. Vesiselge kuni läbipaistmatu. Värvitu, kuid lisanditega ka mitmeti värviline. Kriips valge.  $\omega = 1,6585$ ,  $\varepsilon = 1,4862$ .

Sageli sisaldab, olgugi vähesel hulgal, isomorfset Mg, Fe ja Mn, harvemini Zn, Ba, Sr ja Pb. Suurem Mg-sisaldus oleneb segunemisest dolomiidiga. Mehaaniliselt seguneb ka harilikult

limoniidi, hematiiidi, söe või räniliivaga. J.-t. ees ei sula, vaid muutub helendades põletatud lubjaks. Lahustub juba lahjades hapetes harilikus temperatuuris, energiliselt eraldades  $\text{CO}_2$  mullikeste näol („kihiseb“). Toatemperatuuris lahustub ühes liitris vees 13 mg kaltsiiti,  $\text{CO}_2$  kaastoimel umbes 10 korda rohkem.



Joon. 172.

Kõikjal suurel hulgal leiduv, eriti lubjakivina võimsaid lademeid moodustades ja soontena (lõhede täitjana) esinedes. Võib eristada järgmisi alaliike:

1) Kaltsiit kitsas mõttes — vesiselged kristallid, mis leiduvad kas tard- või setekivimite õõntes. Suure kaksikmurdumismäära tõttu näivad nende läbi vaadeldavad esemed kahekordselt. Neist valmistatakse Nicol'i prismasid. Tuntuim leiukoht Islandi saarel (islandi pagu).

2) Peeneterine marmor, mis tekkinud ümberkristalliseerumise teel harilikust tihedast setelubjakivist. Tuntuimad leiukohad: Carrara Põhja-Itaalias ja Parose saar Kreekas. Tehnikas nimetatakse marmoriks iga lubjakivi, mis on lihvitav ja lihvitult nägus.

3) Lubjakivi, lubjapaaas. Osalt ka kristalne, harilikult sisaldab igasuguseid loomade (ja taimede) kivistisi; osalt paljale silmale tihe, kuid mikroskoobi all siiski alati kristalne. Lisandid annavad talle mitmesugust värvi — kuni mustani (söölisand!). Sageli on lisandiks dolomiit, mille puhul räägitakse dolomitiseerunud lubjakivist; savilisandiga annab savika lubjakivi kuni merglini.

4) Stalaktiitne, purikaline lubjakivi. On kihiline, kusjuures üksikud kihid koosnevad mõnikord risti kihipinnale asetatud kiududest. Sama laadi kaltsiidiagregaadid on ka allikate sete: lubjatuff (-nõrg).

5) Ümmarate suuremate või väiksemate (oa-, herne-, kala-marjatera-suuruste) teradena — ooidid.

6) Kriit on peamiselt kokolitoforiidide, foraminifeeride jt. olendite osakeste kuhjatis.

Lubjakivi, lubja, marmori jne. tarvitamisalad on väga mitmesugused ja kõigile teada. Eestis, eriti põhjapoolses osas, esineb neid väga mitmesuguseid, samuti Petserimaal. Ka Eesti lubjakivides leidub sageli kaltsiiti kristallidena pesade ja soonte kujul.

### Magnesiit. $MgCO_3$ .

Romboedriline;  $a : c = 1 : 0,809$ . Ruumvõre sarnaneb kaltsiidi omaga. Kristallides esinevad harilikult ainult  $\{10\bar{1}1\}$ , harva lisanduvad  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{11\bar{2}0\}$  ja  $\{0001\}$ . Ka teraliste, pulkjate ja tihedate massidena.

Lõhevus väga täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Habras. K. 4—4½. E.-k. 2,9—3,1. Klaasiläige. Vesiselge kuni ainult valgust läbilaskvani. Värvitu, valge, kollane, pruun, ka mustjas.  $\omega = 1,717$ ,  $\varepsilon = 1,515$ .

Sageli sisaldab isomorfselt Fe, Mn ja Ca. J.-t. ees ei sula;  $CO_2$  lendub juba  $500^\circ$  t<sup>0</sup>-s. Lahustub happes ainult kuumalt ja pulbrina. Leiukohad harvad, esineb Steiermarkis (end. Austria), Norras, Euböa saarel, Brasiilias ja Sileesias. Tarvitatakse tulekindla materjalina metallurgia-ahjude vooderdamiseks, mõnesuguste ehituskivide valmistamiseks ja soojuse isoleerimise segudeks.

### Smitsoniit (tsingipagu). $ZnCO_3$ .

Ditriگون-skalenoedriline;  $a : c = 1 : 0,806$ . Kristallid väikesed, koorikutel, mis on ilma välise kristallivormita. Harilikult esineb ainult põhiromboeder, nurgaga  $72^\circ 20'$ . Neeru-, purika-, kärjekujulisena, vöödiliste koorikutena, ka muldjalt.

Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Habras. K. 5. E.-k. 4,3—4,5. Klaasi- või pärlmutriläige. Lähipaistev kuni sogaseni. Värvitu, kuid harilikult kollakas, pruun, hall, ka roheline või sinakas.  $\omega = 1,849$ ,  $\varepsilon = 1,621$ .

Sageli sisaldab palju Mn ja Fe, osalt ka Ca ja Mg; mõnes leiukohas leidub ka Cd kuni 3%. J.-t. ees ei sula; annab Zn-reaktsiooni. Kuumas happes lahustub kergesti.

On tähtis tsingimaak. Peamised tootiskohad: Broken Hill Austraalias, Tsumeb Edela-Aafrikas, Tetiuhi Siberis, Joplin Missouri osariigis USA-s, Sileesias.

### Sideriit (rauapagu). $FeCO_3$ .

Ditriгон-skalenoedriline;  $a : c = 1 : 0,819$ . Ruumvõre kaltsiidi oma sarnane. Kristallid sageli moonutatud. Enamikus ainult  $\{10\bar{1}1\}$ , kuid esinevad ka  $\{0001\}$ ,  $\{02\bar{2}1\}$ ,  $\{40\bar{4}1\}$  jne. Korduvad kaksiklamellid  $\{01\bar{1}2\}$  järgi esinevad harva. Ilma kristalse

välimuseta plaatjate, jämeda ja peeneteriste agregaatidena, radiaalselt pulga- ja kiukujulise ehitusega neerjad ja kerajad mugulad (sferosideriit), vahel saviga segatud; mõnikord ooliitsena.

Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Habras. K. 4—4½. E.-k. 3,7—3,9. Klaasi- või pärlmutriläige. Läbipaistev kuni mitteläbipaistevani. Kollakasvalge, hall, kollakaspruun.  $\omega = 1,873$ ,  $\varepsilon = 1,633$ .

Puhtas sideriidis on 48,3% Fe, kuid harilikult sisaldab ka Mn ja Ca. Vahel segatud saviga või ka kivisöega (kuni 35% C Šotimaa „blackband'is“). J.-t. ees ei sula, vaid 450° t°-s vabastab CO<sub>2</sub> ja muutub magnetiidiks. Lahustub ainult kuumas happes, eraldades CO<sub>2</sub>.

Leidub end. Austrias (Erzberg), Inglismaal, Ungaris, mitmes kohas USA-s. Hea rauamaak; kui sisaldab Mn, siis sulatakse otsekohe peegelmalmiks.

### Rodokrosiit (mangaanpagu). MnCO<sub>3</sub>.

Ditrigoon-skalenoedriline;  $a : c = 1 : 0,826$ . Kristallid harvad ja pisikesed, harilikult ainult  $\{10\bar{1}1\}$  kujul. Teralised, plaatjad ja tihedad agregaadid, mis omavad kobarjat ja klaaspeakujulist, ka koorikjat kuju.

Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Habras. K. 4. E.-k. 3,3—3,6. Klaasiläige. Valgust läbilaskev. Harva värvitu, harilikult roosa, ebapuhtana ka hall või pruun; murenedes kattub musta koorega.  $\omega = 1,814$ ,  $\varepsilon = 1,596$ .

Harilikult on osa Mn asendatud Fe, Mg, Ca või Zn-ga. J.-t. ees ei sula; annab Mn-reaktsiooni. Lahustub kuumas happes. Kaunis harv mineraal. Leidub suuremal hulgal Rumeenias (Kapnik), Hispaanias, Saksamaal (Freiberg) ja mõnes USA osariigis; siin sulatatakse teda koos rauamaakidega ferromangaaniks.

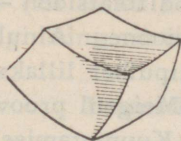
### Dolomiit. CaCO<sub>3</sub> . MgCO<sub>3</sub>.

Romboedriline;  $a : c = 1 : 0,832$ . Ruumvõres, mis sarnaneb kaltsiidi omaga, on Ca aatom üle ühe asendatud Mg aatomiga; romboedriliselt  $a = 6,01 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 47^{\circ} 7'$ . Kristallid peamiselt  $\{10\bar{1}1\}$  kujul, sageli aga painutatud (joon. 173), ka saduljalt (joon. 174); kaksikud (0001) järgi (joon. 175); esineb ka kaksiklamellaarsust (0221) järgi, kuid palju harvemini kui kaltsiidil. Teraline ja pulgaline, ka pulbriline.

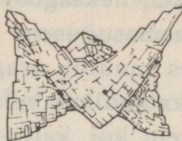
Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Murd konnakarpijas. Habras. K. 3½—4. E.-k. 2,85—2,95. Klaasiläige. Vesiselge kuni läbi-

paistvani. Värvitu, kuid lisanditega kollane, pruun, must.  
 $\omega = 1,682$ ,  $\varepsilon = 1,503$ .

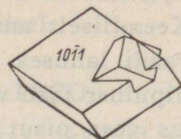
Puhtal moodustab  $\text{CaCO}_3$  54,35%, ülejäänud on  $\text{MgCO}_3$ , kuid need arvud kõiguvad, sest sageli on kaltsiiti rohkem ja vahel seltsib ka Fe, Mg ja Mn. J.-t. ees ei sula, kaotab  $\text{CO}_2$ . Külmalahja hape ei lahusta, kuid kuum teeb seda hästi.



Joon. 173.



Joon. 174.



Joon. 175.

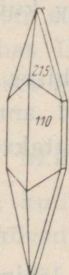
Leidub sageli massiliselt, eriti settelademeis, kus ta harilikult on tekkinud lubjakivist. Ka Eestis laialt levinud; tuntuimad on Saaremaa dolomiitkivid, mida murtakse ehituskivideks; varemini veeti sealt dolomiiti välja ka metallurgia-ahjude vooderdamiseks. Ka kristallides dolomiiti leidub Eestis (pesad dolomiitkivis ja lubjakivis).

### Aragoniidi rühm (rombiline).

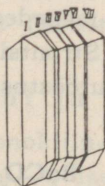
Siia kuuluvad romb-bipüramiidsed isomorfsed karbonaadid, milledest vaatleme aragoniiti, strontsiianiiti, viteriiti ja tserussiiti.

#### Aragoniit. $\text{CaCO}_3$ .

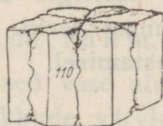
$a : b : c = 0,623 : 1 : 0,720$ . Kristallid kas peitlitaolised või teravpüramiidjad, ka nõeljad (joon. 176); sagedamini esinevad  $\{110\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{011\}$ ,  $\{021\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{121\}$ ,  $\{061\}$ ,  $\{001\}$  ja mõned tera-



Joon. 176.



Joon. 177.



Joon. 178.

vamad bipüramiidid. Kaksikud ( $110$ ) järgi sagedamad kui lihtsad kristallid, kas korduvalt üle ühe lamellaarselt paralleelses asendis (joon. 177) või kolmikutena (joon. 178), mis on heksa-

goonse ilma. Kiireliste, pulgaliste, kiuliste, purikaliste, haruliste agregaatidena, koorikutena ja ooliitidena.

Lõhevus {010} järgi ebaselge. Murd konnakarpjas. Habras.  $K. 3\frac{1}{2}$ —4. E.-k. 2,95. Klaasiläige. Läbipaistev kuni sogaseni. Värvitu, valge, helekollane, punakas, roheline, sinakas, hall, must.  $a = 1,530$ ,  $\gamma = 1,686$ .

Palju harvem kui  $\text{CaCO}_3$  heksagoonne modifikatsioon — kaltsiit. Keemiliselt annab samasuguseid reaktsioone. Ainult kooaltnitraadi lahuses keetes muutub aragoniidipulber lillaks, kuna kaltsiidipulber jääb valgeks (kollakaks) (nn. Meigeni proov). Lahustuvus vees pisut suurem kui kaltsiidil. Kuumutamisel muutub  $400^\circ \text{C}$ -s kaltsiidiks. — Sisaldab vahel Sr, ka Fe, Mn ja Zn.

On mõnes kohas maakide kaaslane, näit. sideriidi leiukohtades end. Austrias; sageli esineb seoses kipsi või väävliga. Konnakarpide  $\text{CaCO}_3$  on enamjaolt aragoniit, samuti pärlide  $\text{CaCO}_3$ . Ka aurukatelde katlakivi sadestub aragoniidina.

### Strontsianiit. $\text{SrCO}_3$ .

$a : b : c = 0,609 : 1 : 0,724$ . Kristallid nõeljad, odajad või pulkjad, harilikult puhmastena kokku kasvanud, aimavad järele heksagoonseid vorme. Kaksikud {110} järgi ja kolmikud nagu aragoniidil. Kiireline ja kiuline.

Lõhevus selge {110} järgi. Murd konnakarpjas. Habras.  $K. 3\frac{1}{2}$ . E.-k. 3,7. Klaasiläige. Vesiselge kuni ainult valgust läbilaskvani. Optiliselt sarnaneb aragoniidiga.

Harilikult on osa Sr asendatud kaltsiumiga. J.-t. ees sulab ainult servades, värvib leegi punaseks. Eraldab  $\text{CO}_2$  ainult kuumas happes. Väävelhapu sool on vähem lahustuv kui kips, kuid rohkem kui barüüt.

Leidub maagisoontes Harzi mägedes, Argylshires Inglismaal, New Yorki osariigis USA-s. Strontsiumisoolad annavad tulevärkides punast leeki. Suhkrutööstuses tarvitatakse melassist suhkru sadestamisel.

### Viteriit. $\text{BaCO}_3$ .

$a : b : c = 0,595 : 1 : 0,741$ . Kristallid alati läbimiskolmikud {110} järgi, mis omavad vorme {110}, {021}, {001} ja {111} ning moodustavad näiliselt heksagoonseid (nagu ränil) bipüramiide. Kobarjad, neerjad ja kerajad mugulad, mis on kiulise või lehtja ehitusega.

Lõhevus selge {010} järgi. Murd ebatasane. Habras.  $K. 3\frac{1}{2}$ . E.-k. 4,2—4,4. Klaasiläige, murdepinnal rasvaläige. Läbipaistev. Värvitu, valge, hall, kollakas.

J.-t. ees sulab kergesti; leek roheline. Lahustub ka külma- des lahjades hapetes.

Leidub Inglismaal galeniidisoontes, suuremal määral Kali- forniast (El Portal). Tarvitatakse suhkrutööstuses, nagu stront- sianiitigi, ning värvide ja vaapade valmistamisel.

### Tserussiid (valge seatinamaak). $PbCO_3$ .

$a : b : c = 0,610 : 1 : 0,723$ . Kristallid kas üksikud või rüh- mades, ka pseudoheksagoonse välumusega: {111} ja {021}; esine- vad ka {012}, {010}, {001} jt. Kaksikud väga sagedad {110} järgi, nagu viteriidil, kuid vahel ka tähekujulised. Neeru- ja pulga- kujulisena, puhmastena, õhukese katte näol, pulbri- ja mulla- taolisena.

Lõhevus väga vähe märgatav {110} ja {021} järgi. Murd konnakarpjas. Habras.  $K. 3-3\frac{1}{2}$ . E.-k. 6,4—6,6. Rasvane tee- mandiläige. Läbipaistev. Värvitu, valge, hall, kollane, pruun; kui sisaldab palju peent PbS, siis ka must. Kriips valge.  $\alpha = 1,804$ ,  $\gamma = 2,078$ .

Harilikult kaunis puhas, kuid mõnes kohas sisaldab Ag ja Zn. J.-t. ees puruneb ja kargab laiali, muutub kollaseks; söel annab Pb-katte ja Pb-tera.  $HNO_3$ -s lahustub; lahusest sadestab  $H_2SO_4$  väävelhapu Pb soola.

Esineb peaaegu kõigis galeniidi leiukohtades pinnaligidastes osades. Kus teda palju esineb, sulatatakse tast tina. Euroopa leiu kohad on suurelt osalt juba lõpuni välja töötatud; on veel mitmes kohas USA-s ja Lõuna-Aafrikas. Eestis vähesel mää- ral ühenduses galeniidiga (Pilistvere).

### Malahhiidi ja asuriidi rühm.

Rühma kuuluvad monokliin-prismalised vase aluselised kar- bonaadid, kõvadusega  $3\frac{1}{2}-4$ , iseloomulikkude värvidega.

### Malahhiit. $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ .

Häid kristalle harva, on harilikult pikad, kiudjad ja nõeljad. Enamikus aga neeru-, kobara- ja purikataoline, „klaaspea“-taolise pinnaga, vöödilise, radiaalkiuline või tihe, ka muldjas. Sageli

pseudomorfoosides teiste Cu-mineraalide, kaltsiidi ja tserussiidi järgi.

Lõhevus hea {001} järgi. Murd konnakarpmas. Habras. E.-k. 3,9—4,1. Kristallidel klaasiläige, agregaatidel siidiläige või tuhm. Läbipaistev või ka mitte. Kristallid mustjasrohelist, agregaadid rohirohelised. Kriips heleroheline. Väga pleokrooitiline.

J.-t. ees sulab ja annab Cu-terakese. Kinnises torus annab vett ja mustub. Lahustub happes ja ammoniaagis.

Sagedane Cu-maak. Suurel hulgal Uurali mägedes, Edela-Aafrikas ja Kongos, Arizona osariigis USA-s ja Austraalias. — Valmistatakse iluasju ning tahveldatakse mööblit ja koguni toaseinu.

### Asuriit (vase lasuur). $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ .

Kristallid kas sisse või peale kasvanud, väga taurikkad, harilikult lühiprismalised, kuid ka tahveljad. Koonduvad kerajaiks agregaatideks. Ka neerjalt ja kobarjalt tiheda, kiirelise või muldja ehitusega, samuti õhukese kirmekesena.

Lõhevus kaunis täiuslik {100} järgi. Murd konnakarpmas või ebatasane. Habras. E.-k. 3,7—3,9. Klaasiläige. Läbipaistev. Sinine; kristalles tumedam, muidu heledam. Kriips heleroheline.

Puhas asuriit sisaldab 55,2 Cu. J.-t. ees nagu malahhiit.

Leidub samas, kus malahhiitki, millest ta sageli tekib. Koos malahhiidiga rändab Cu-sulatamisahju.

On vahel tarvitatud sinise värvina.

VI klass.

## Sulfaadid, kromaadid, molübdaadid, volframaadid.

Ühiseks tunnuseks on tuletus happest  $H_2RO_4$ . Mitte-metalse välimusega mineraalid.

1. sugukond.

### VEETA SULFAADID.

#### Barüüdi rühm.

Siaa kuuluvad romb-bipüramiidsed isomorfsed tsölestiin, barüüt, anglesiit ja nendega mitteisomorfne anhüdriit.

#### Tsölestiin. $SrSO_4$ .

$a : b : c = 0,779 : 1 : 1,280$ . Kristallid tahkuderikkad, prismalised, harve-mini plaatjad. Harilikult  $\{110\}$ ,  $\{102\}$ ,  $\{011\}$ , harva  $\{001\}$ . Teraline, plaatjas, pulkjas, tihe; ka neerjate mugulatena.

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  järgi. Murd konnakarpjas. Mitte liiga habras. K.  $3-3\frac{1}{2}$ . E.-k. 3,9—4. Klaasi- või pärlnutriläige. Läbipaistev. Värvitu, valge, kollakas, sageli sinine, harva punakas või roheline.  $\alpha = 1,622$ ;  $\gamma = 1,631$ .

Sisaldab harilikult ka pisut Ba või Ca. J.-t. ees sulab valgeks helmeks; leek punane. HCl-s ei lahustu; kanges kuumas  $H_2SO_4$ -s lahustub; vee juurdelisamisel sadestub.

Soontes või teistes õõnsustes lubjakivides ja ka tardkivimeis. Eriti palju Erie järve ümbruses USA-s. Koos kipsi ja väävliga, näit. Sitsiilias. Leidub ka Inglis- ja Saksamaal. Tarvitatakse samaks otstarbeks kui strontsiianiiti.

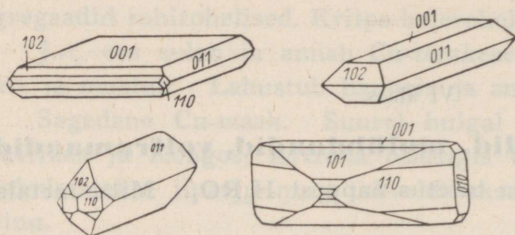
#### Barüüt (raskepagu). $BaSO_4$ .

$a : b : c = 0,815 : 1 : 1,314$ . Kristallid üksikult või druusidena, väga mitmekesised ja vormirikkad (joon. 179). Kasvukaksikud harvad, survekaksikud  $\{106\}$  järgi sagedad. Koorikuline, leheline, kiireline, kiuline, ka purikatena.

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  järgi, pärlnutriläikega;  $\{010\}$  järgi vähem täiuslik, klaasiläikega. Murd konnakarpjas. Mitte väga habras. K.  $3-3\frac{1}{2}$ . E.-k. 4,3—4,6. Vesiselge kuni ainult läbi-

paistev. Värvitu, kuid ka valge ja mitut muud värvi.  $a = 1,636$ ,  $\gamma = 1,648$ ;  $2V = 36^\circ$ ;  $r < v$ .

Sageli sisaldab pisut Sr. J.-t. ees sulab visalt helmekeseks; leegi värvib kollakasrohelisteks. Hapete suhtes nagu tsölestiin.



Joon. 179.

Sageli leiduv mineraal, eriti soontes ja sulfiidiliste maakide kaaslasena. Suuremal hulgal esineb Harzis Saksamaal, Cumberlandis Inglismaal, Ardèche'is Prantsusmaal, Connecticutis ja Koloraados USA-s, Five Islandis Kanadas.

Tarvitatakse valgeks värviks ja paberi ning kudede raskendamiseks; rotary-menetlusel maapuurimisel raske uhtepori valmistamiseks. Eestis esineb vähesel määral kaltsiidisoontes pesadena (Tallinna paemurdudes).

### Anglesiit. $PbSO_4$ .

$a : b : c = 0,785 : 1 : 1,289$ . Kristallid harilikult üksikult peale kasvanud, kas lühiprismaalsed või tahveljad ja püramiidjad. Esinevad  $\{110\}$ ,  $\{011\}$ ,  $\{102\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{122\}$  ja  $\{111\}$ . Koorikjalt galeniidil<sup>1</sup>; sageli koos tserussiidiga.

Lõhevus selge  $\{001\}$  ja  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpjas. Väga habras. K. 3. E.-k. 6,4. Rasvaläige. Läbipaistev, ka vesiselge. Värvitu, aga ka mitmes värvis.  $a = 1,877$ ,  $\gamma = 1,894$ .

Kui puhas, nagu ta harilikult on, siis sisaldab 68,3% Pb. On ka Ba-sisaldusega teisendeid. J.-t. ees söel Pb-terake. O. l-s kuumalt selge, külmalt valge helmes. Väävelhappes sulab nagu tsölestiin,  $HNO_3$ -s sulab visalt; KOH lahustab täielikult.

Galeniidi murenemisprodukt, kuid harvem kui tserussiit. Kus teda rohkem leidub, sulatatakse tast Pb-t.

### Anhüdriit. $CaSO_4$ .

$a : b : c = 0,893 : 1 : 1,001$ . Kristallid kuupjad või prismaalsed. Esinevad  $\{101\}$ ,  $\{011\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{010\}$  ja  $\{001\}$ . Kaksiklamellaarsus  $(101)$  järgi sagedane. Kõige sagedamini aga teraline, plaatjas ja tihe, ka pulkjas ja kiuline.

<sup>1</sup> Ka Eestis (Pilistvere).

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  järgi, pärlmutriläikega;  $\{010\}$  järgi vähem täiuslik, klaasiläikega; selge  $\{100\}$  järgi. Habras. K. 3—4. E.-k. 2,9—3. Läbipaistev. Värvitu, valge, sinakashall, sinine, ka punakas.  $\alpha = 1,569$ ,  $\gamma = 1,613$ ;  $2V = 43^\circ$ . Sageli bituume-niga segatud. J.-t. ees sulab visalt valgeks helmeks; booraksiga kuumalt selge, külmalt valge helmes. Peene pulbrina lahustub kanges vävelhappes. Niiske pulber ühineb aegamööda kahe vee-molekuliga ja muutub kipsiks.

Soolalademeis eri kihtidena; maapinna lähedal on need kihid sageli kipsiks muutunud; seejuures toimuva mahu suurenemise tõttu on kiht ise kui ka naaberkihid kõvasti muljutud. Leidub ka mõningais maagisoontes ja sublimatsioonisaadusena laavadel.

Tarvitatakse põlluväetiseks nagu kipsigi.

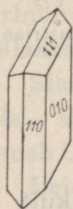
2. sugukond.

## SULFAADID KRISTALLVEEGA.

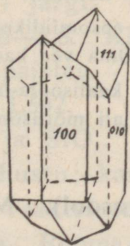
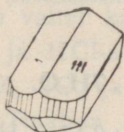
### Kips. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Monokliin-prismaline.  $a : b : c = 0,689 : 1 : 0,413$ ;  $\beta = 81^\circ 2'$ . Kristallid kas üksikud või gruppides, prismalised, tahveljad või läätsjad (joon. 180). Esinevad  $\{110\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{010\}$   $\{\bar{1}11\}$   $\{\bar{1}03\}$ ,  $\{120\}$

jt. Kaksikud sagedad  $\{100\}$  järgi (nn. „pääsu-kesesabad“) (joon. 181) ja ka  $\{101\}$  järgi. Ilma vä-lise kristallivormita, esi-nedes plaatjana, kiulisena, soomuselisena, peeneteri-sena, tihedana ja muldja-na. Vahel sisaldab borat-siidi-, kivisoola-, räni- ja vävlikristalle või soolvett.



Joon. 180.



Joon. 181.

Lõhevus väga täiuslik  $\{010\}$  järgi, pärlmutriläikega; väga selge  $\{\bar{1}11\}$  järgi, siidiläikega;  $\{100\}$  järgi murduvad kristallid hapralt klaasiläikega, kuna kipsitahvlikesed üldiselt haprad ei ole, vaid annavad veidi painutada. K.  $1\frac{1}{2}$ —2. E.-k. 2,3—2,4. Selge (seleniit) kuni läbipaistmatu. Värvitu, valge, harva ka mitut värvi.  $\alpha = 1,521$ ,  $\gamma = 1,530$ ;  $2V = 61^\circ 24'$ . Halb soojuse-juhtivus.

Sageli savi, liiva või bituumeniga segatud. J.-t. ees sulab valgeks sogaseks helmeks, kuid CaF lisandiga on helmes kuumalt selge, külmalt sogane. Kinnises torus kuumutatult eraldab vett. Vees ja happes lahustub visalt; keevas KOH lahuses lahustub täielikult.

CaSO<sub>4</sub> lahuseist kristalliseerub kas kips või anhüdriit, olenevalt lahuse temperatuurist ja lahuse kaaslastest. On laialdaste kihtidena soolalademete kaaslane; leidub savides ja mergleis, kus tekkinud FeS<sub>2</sub> lagunemisest saadud väävelhappe toimel kaltsiidsisse; tekkinud ka PbS, ZnS jt. sulfiidide lagunemise tagajärjel.

Leidub väga paljudes kohtades, ka Eestis, Petserimaal. Peamine tarvitus: kuumutatuna krohvikipsiks, põletatuna estrich-kipsiks; põlluväetiseks; lisandiks portlandtsemendile. Puhtast krohvikipsist valmistatakse ka kujusid, ilusamast kiulisest ja valgest peeneterisest kipsist (alabaster) nikerdatakse kujusid ja väiksemaid iluasju.

### Kiseriit. MgSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O.

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 0,905 : 1 : 1,774$ ;  $\beta = 88^{\circ} 55'$ . Kristallid harvad; harilikult peeneterisena.

Lõhevus selge {111} ja {113} järgi. K. 3½. E.-k. 2,57. Klaasiläige. Selge kuni sogaseni. Värvitu, valge või kollakas.  $\alpha = 1,523$ ,  $\gamma = 1,586$ ;  $r > v$ .

Hügrokoopne; kattub valge epsomiidikoorega; vähesel veega taagnaks tehtud pulber kõveneb nagu kips. Oma vee kaotab kuumutamisel 200° t<sup>0</sup>-s.

Esineb kihtidena Saksamaa kaalisoola-lademeis, samuti end. Austrias ja Poolas, ka Indias. Annab materjali mõrusoola valmistamiseks.

### Epsomiit (mõrusool). MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O.

Romb-bisfenoidne;  $a : b : c = 0,99 : 1 : 0,57$ . Harilikult korbarjate või koorikjate kiuliste massidena, ka muldjana.

Lõhevus täiuslik {010} järgi. Murd konnakarpjas. K. 2—2½. E.-k. 1,68. Klaasiläige. Selge kuni läbipaistev. Värvitu, valge, harva helepunakas.  $\alpha = 1,433$ ,  $\gamma = 1,461$ . Pöörab polarisatsioonipinda. Maitse mõrusoolane.

Vahel sisaldab pisut Fe, Mn või Cu. Lahustub vees, kuid pole hügrokoopne. Kuumutatuna üle 150° muutub kiseriidiks.

Alam-Volga ja Siberi soolajärvedes; ka mõningates sulfiidimaakide leiukohtades. Tarvitatakse keemiatööstuses ja ravimina.

## Vitriolide rühm.

Raskemetallide Zn, Mn, Fe, Ni, Co, Cu ja Pb sulfaadid  $7\text{H}_2\text{O}$ -ga (rombilised ja monokliinsed) ja  $5\text{H}_2\text{O}$ -ga (trikliinsed). Neist vaatleme ainult vasevitrioli kui tähtsamat.

### Vasevitriol (kalkantiit). $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Trikliinne.  $a : b : c = 0,572 : 1 : 0,555$ ;  $\alpha = 82^\circ 5'$ ;  $\beta = 107^\circ 8'$ ;  $\gamma = 102^\circ 41'$ . Mõõtmised saadud kunstlikelt kristallidelt, sest looduslikke leidub harva ja need on pisikesed. Harilikult esineb purika-, kooriku-, neeru- või pulbritaolisena; leidub ka kjulisena või teralisena.

Murd konnakarpjas. Habras. K.  $2\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,2—2,3. Klaasiläige, läbipaistev, sinine.  $\alpha = 1,514$ ,  $\gamma = 1,543$ . Vastiku maiguga.

Kui puhas, sisaldab 31,8% CuO; harilikult esineb ka Fe. J.-t. ees eraldub vesi ja vitriol muutub valgeks; viimane lahustudes vees annab jälle sinise vasevitrioli-lahuse.

Teiste vasemineeralide murenemise saadus. Suuremal hulgal säilib kohtades, kus on vähe sademeid, näit. Tšiili kõrbes. Seal tarvitatakse koos teiste Cu-maakidega vase sulatamiseks.

## Maarja rühm.

### Aluniit (maarjas-kivi). $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Ditrigoon-skalenoedriline;  $a : c = 1 : 1,252$ . Väikesed, õõntes esinevad kristallid on kuupjad, romboedri nurgaga  $89^\circ 10'$ . Harilikult teraline, tihe või muldjas.

Lõhevus täiuslik  $\{0001\}$  järgi. Murd konnakarpjas või killuline. K.  $3\frac{1}{2}$ —4. E.-k. 2,6—2,8. Klaasiläige, lõhenemispindadel pärilmutriläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, punakas või kollakas.  $\omega = 1,572$ ,  $\varepsilon = 1,592$ .

Sisaldab vahel ka Na ja  $\text{SiO}_2$ . J.-t. ees praguneb, kuid ei sula. Vees ja HCl-s ei lahustu; kanges  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lahustub visalt. Annab Al, K,  $\text{SO}_2$  ja  $\text{H}_2\text{O}$  reaktsioone.

Leidub Itaalias (Tolfa, Rooma lähedal), Ungaris, Kreeka saartel, Nevada ja Koloraado osariigis (USA), Uurali mägedes. — Peale põletamist leotatakse aluniidist maarjase lahust.

## Brokantiidi rühm.

### Brokantiit. $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

Romb-bipüramiidne;  $a : b : c = 0,780 : 1 : 0,484$ . Väikesed prismalised kristallid harva koorikutel. Tihe teraline või kiuline brokantiit esineb koorikjate ja neerjate kogumikena.

Lõhevus täiuslik  $\{010\}$  järgi. Murd ebatasane. K.  $3\frac{1}{2}$ —4. E.-k. 3,9. Klaasiläige, lõhenemispindadel pärilmutriläige. Selge, läbipaistev. Roheline, tumeroheline. Kriips heleroheline.  $\alpha = 1,730$ ,  $\gamma = 1,803$ .

J.-t. ees sulab ja annab söel Cu-terakese. Kinnises torus eraldab  $H_2O$ .

Leidub vähesel hulgal teiste vasemineraalide lademetes pealmistes osades Rumeenias, Uurali mägedes, Boliivias, Tšiilis, Mehhikos, USA-s (Arizona, Koloraado, Utah). Tarvitatakse vasemaagina.

## Kaksiksoolade rühm: sulfaadid koos haloidsooladega.

Neist vaatleme üht esindajat kui tähtsamat, nimelt kainiiti.

### Kainiit. $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ .

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 1,219 : 1 : 0,586$ ;  $\beta = 94^\circ 54,5'$ . Harilikult suhkurjate kogumikena, millel harva esinevad tahveljad kristallid.

Lõhevus täiuslik  $\{100\}$  järgi. K. 3. E.-k. 2,1. Klaasiläige. Harva selge; läbipaistev. Harva värvitu; valge, kollakas ja hall, ka punane.  $\alpha = 1,495$ ,  $\gamma = 1,520$ . Maitse mõrusoolane. Ei ole hügrokoopne.

Osa  $KCl$  on sageli asendatud  $NaCl$ -ga. Lahustub kergesti vees, kuid seejuures laguneb: veest kristalliseerub uuesti  $K$  ja  $Mg$  väävelhapu kaksiksool. J.-t. ees eraldab vett ja  $HCl$ -i ning sulab. Leidub eri kihtidena mitmes soolalademes Poolas (Kaluš) ja Saksamaal (Stassfurt ja Aschersleben). Tähtis kaalisool.

3. sugukond.

## KROMAADID.

### Krokoiit (punane seatinamaak). $PbCrO_4$ .

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 0,960 : 1 : 0,917$ ;  $\beta = 77^\circ 33'$ . Kristallid nõeljad või pikaprismalised — pesadena või peal lamavatena. Ka ilma välise kristallivormita teradena kivimis või kelmekestena tema peal.

Lõhevus kaunis täiuslik  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Pole habras. K.  $2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 5,9—6. Teemandiläige, läbipaistev. Kollakaspunane. Kriips oranž. Punasele valgusele  $\alpha = 2,29$ ,  $\gamma = 2,66$ . Pleokroiitiline.

Lõhkeb j.-t. ees ja kargab laiali, kuid sulab kergesti. Söel annab  $Pb$ -terakesi sisaldava räbu. Soolhappes lahustub, andes  $PbCl_2$  sademe.

Leidub harva, muuseas Uurali mägedes, Tasmaania ja Lu-zoni saarel, Brasiilias.

## VOLFRAMAADID JA MOLÜBDAADID.

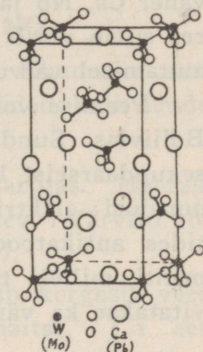
Siia kuuluvad šeeleit ja vulfeniit — tetragoon-püramiidsed, ruumvõrega joon. 182, ja monokliin-prismaline volframiit.

Šeeleit.  $\text{CaWO}_4$ .

$a : c = 1 : 1,536$ . Harilikult üksikkristallidena, kus peamiselt esinevad  $\{111\}$  ja  $\{101\}$ ; ka  $\{102\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{313\}$  ja  $\{311\}$ . Kristalsete koorikutena ränil; ka ilma välise kristallivormita.

Lõhevus selge  $\{111\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K.  $4\frac{1}{2}$ —5. E.-k. 5,9—6,1. Rasvaläige. Läbipaistev. Harva värvitu, tavaliselt hallikas, kollakas või pruunikasvalge, harva roheline.  $\omega = 1,920$ ,  $\varepsilon = 1,936$ .

Sageli sisaldab kuni 8%  $\text{MoO}_3$ ; osa Ca on vahel asendatud Cu-ga. J.-t. ees sulab visalt; fosforsoolaga annab kuumalt rohelise, külmalt sinise helme. HCl eraldab  $\text{H}_2\text{WO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (kollane sade), mis lahustub ammoniaagis; HCl lahus muutub siniseks, kui teda keeta Sn lisandiga.



Joon. 182.

Leidub Harzi mägedes Saksimaal, Zinnwaldis Tšehhimaal, Uurali mägedes ja Siberis Baikali taga, Pitkärantas (Karjala-Soome NSV-s), Itaalias, Kalifornias, Austraalias, Tasmaania saarel. Peale volframiidi tähtsam volframimaak.

Vulfeniit (kollane seatinamaak).  $\text{PbMoO}_4$ .

$a : c = 1 : 1,577$ . Kristallid harilikult tahveljad, mis koonduvad kargjatesse rühmadesse, harvemini püramiidjad või lühiprismalised. Leidub ka ilma välise kristallivormita tihedate, pesaliste, koorikuliste või auklikkude masidena.

Lõhevus kaunis selge  $\{111\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Mitte väga habras. K. 3. E.-k. 6,7—6,9. Teemandi- või törvaläige. Selge või läbipaistev. Kollane, harva oranžpunane.  $\omega = 2,405$ ,  $\varepsilon = 2,283$ .

Sisaldab sageli pisut Ca, V, Mo ja Cr. J.-t. ees pragiseb ja sulab kergesti; söel annab Pb-tera: happelis lahustuv.

Leidub paljudes Pb-maakide leiukohtades, nii Pribramis (Tšehhimaal), Karintias, Arizonas ja Kongos. On molübdeenimaak.

### Volframiit. (Fe, Mn)WO<sub>4</sub>.

$a : b : c = 0,830 : 1 : 0,868$ ;  $\beta$  muutub 89° 32' kuni 90° 28'. Kristallid harilikult pakstahveljad {100} järgi või prismalised {110} järgi, leidub ka peeni nõeljaid. On sageli ka kaksikuid {100} järgi. Ka kiirjana, lehtjana või koorikjana.

Lõhevus täiuslik {010} järgi. Murd ebatasane, Habras. K. 5—5½. E.-k. 7,1—7,5. Rasva- kuni metalliläige. Läbipaistmatu. Tumepruun kuni mustani. Kriips kollakaspruunist mustani. Vahel pisut magnetiline.

Puhtad FeWO<sub>4</sub> (ferberiid) ja MnWO<sub>4</sub> (hübneriid) on haruldased; enamikus esinevad nende isomorfseid segud; ka lisanduvad vahel Ca, Nb ja Ta ning mõned haruldased muldelemendid. J.-t. ees sulab visalt magnetiliseks kerakeseks. Kange H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ga kuumutamisel värvub pulber siniseks.

Peamise volframimaagina toodetakse kõige rohkem Hiinas, Boliivias, Sunda saartel ja Portugalis osalt primaarseist, osalt sekundaarseist lademeist. Volfram annab terasele eriti kasulikke omadusi; elektrihoõglampides on ta hoõgtraadiks, röntgeniaparaatides antikatoodiks; volframkarbiit asendab mõnes paigas teemanti, millele ta kõvaduselt on ligidane. Volframiühendeid tarvitatakse ka värvides, vaapades ja riide immutamisel.

## Nitraadid, fosfaadid ja teised 5. keemilise rühma hapete ühendid.

### Tšiili salpeeter (naatriumnitraat). $\text{NaNO}_3$ .

Ditrigoon-skalenoedriline;  $a : c = 1 : 0,830$ . Ruumvõre analoogiline kaltsiidi omaga. Esineb kristalsete teradena või nende kogumikena.

Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K.  $1\frac{1}{2}$ —2. E.-k. 2,2—2,3. Klaasiläige. Läbipaistev. Värvitu või hallikas, kollakas, punakas.  $\omega = 1,585$ ,  $\varepsilon = 1,337$ .

Alati segatud  $\text{NaCl}$  ja  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -ga. Lahustub kergesti vees ja on pisut hügrokoopne. Soolakas, jahutav maitse. J.-t. ees sulab kergesti, söel põleb ära pahvatades.

Peamine leiukoht Põhja-Tšiilis; saadakse ka Indias, Egiptuses, Kalifornias, Nevadas ja Siberis. Tarvitatakse põlluväetiseks ja muudeks lämmastikuühenditeks.

### Monatsiit. $\text{CePO}_4$ .

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 0,969 : 1 : 0,925$ ;  $\beta = 76^\circ 20'$ . Kristallid pakstahveljad või prismalised:  $\{100\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{011\}$ ,  $\{111\}$  jt. Kaksikud sagedad  $\{100\}$  järgi. Sagedamini leidub veerkivikestena ja liivateradena.

Lõhevus täiuslik  $\{101\}$  järgi, peaaegu samuti ka  $\{100\}$  järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 5—5 $\frac{1}{2}$ . E.-k. 4,8—5,5. Tõrvaläige. Läbipaistev. Hele-kollasest tumepruunini.  $\alpha = 1,796$ ,  $\gamma = 1,841$ .

Harilikult on segandunud suurel hulgal lantaani ja sageli ka ütriumi, eriti palju esimest. Tähtis on Th-sisaldus (kuni 6%  $\text{ThO}_2$ ). J.-t. ees väga visalt sulav;  $\text{HCl}$ -s lahustub peaaegu täielikult; väävelhappega niisutatult annab leegile rohelist värvi.

Leidub Belgia Kongos, Brasiilias, Indias, Uurali mägedes, Siberis, Soomes ning Põhja- ja Lõuna-Karoliinas (USA). Peamine tooriumi- ja tseeriumimaak. Mõlemad annavad gaasilambisukkade materjali; tseeriumi tarvitatakse ka tulemasinakivides kui ka teistes sulamites, samuti ravimeis. Th on radioaktiivne.

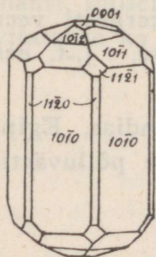
## Apatiidi rühm.

Kuulub kloori ja fluori sisaldavate soolade hulka. Selle rühma liikmed kristalliseeruvad heksagoon-bipüramiidises klassis ja nende koostis tuletatakse kolmest ortofosfor-, ortoarsen- või ortovanaadiumhappe molekulist, kuna alustena esinevad viiekordselt kas Ca või Pb koos ühekordse Cl või F-ga.

**Apatiit: kloorapatiit,  $\text{Ca}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$ , ja fluorapatiit,  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ .**

$a : c = 1 : 0,735$ . Ruumvõre keeruline. Kristallid hiiglasuurtest kuni peenimate nõelten. Sissekasvanud kristallid prismalised:  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$  ja  $\{10\bar{1}1\}$ ; pesades harilikult pakstahveljad, kus esinevad ka mitmed bipüramiidid (joon. 183). Tihe, teraline, kiuline, kiireline, ooidne, mugulatena, kobaratena, koorikutena, purikatena või muldjalt.

Lõhevus vähem või rohkem selge  $\{0001\}$  ja  $\{10\bar{1}0\}$  järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 5. E.-k. 3,16—3,22. Klaasiläige; murdepinnal rasvaläige, selge või läbipaistev. Värvitu või lisandite tõttu värviline: kollakas või sinakasroheline, lilla, punane jt. Mõnes leiukohas, eriti koos magnetiidiga, pleokroiitiline.  $\omega$  (kollasele valgusele) = 1,646;  $\varepsilon$  = 1,642. Kuumutamisel fosforestseerub.



Joon. 183.

Fluorapatiit on kloorapatiidist sagedam. Kuid enamikus on esindatud nii F kui ka Cl. Esinevad ka Mg, Fe ja Mn. Kloori võivad asendada ka  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  ja eriti OH. J.-t. ees peaaegu sulamatu. Happeis lahustub kergesti; lahusest langeb ammoniummolüüdaadiga välja kollase sademena.

Väga sagedane mineraal; olugi enamikus mikroskoopilistes nõelkristallides, leidub ta peaaegu kõigis tardkivimeis, olles neis peamine fosforikandja.

Eristatakse kristalset apatiiti otseses mõttes, mille kogused on seotud tard- ja muutekivimeitega, ja nn. fosforiite, mis leiduvad setelademeis. Esimesi toodetakse Koola poolsaarel (Hiibina), Norras (Arendal) ja Kanadas. Teiste peamised tootjad on Alžeeria, Tuneesia ja Maroko, Florida (USA), mõned Vaikse ookeani saared (Nauru). Ka Eestis kaevatakse fosforiidist koos-

nevaid oboluskarpe, mis leiduvad kuhjatistena ühes alam-ordoviitiumi liivakivi (obolusliivakivi) kihis. — Tarvitatakse peamiselt põlluväetiseks, ka fosfori ja tema ühendite valmistamiseks.

### Püromorfiit (roheline seatinamaak). $Pb_5Cl(PO_4)_3$ .

$a : c = 1 : 0,736$ . Pealekasvanud kristallid prismaalsed, sageli vaatjalt kõhukad; esinevad harilikult  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$  ja  $\{10\bar{1}1\}$  (joon. 89). Kobarjas ja neerjas, ka üksikute teradena ja kirmekesena.

Lõhevus pole selge. Murd konnakarpijas või ebatasane. Habras. K.  $3\frac{1}{2}$ —4. E.-k. 6,7—7,0. Teemandiläige. Läbipaistev. Harva värvitu, harilikult roheline, kuid ka kollakaspunane ja pruun.  $\omega = 2,061$ ,  $\varepsilon = 2,049$  (kollasele valgusele).

Peaaegu alati Ca ja As lisandid. J.-t. ees sulab kergesti ja hangub kristalseks teraks. Söel annab soodaga Pb-tera. Lahustub  $HNO_3$ -s ja KOH lahuses.

Tekib teiste Pb-mineraalide murenemisel maapinnal. Seepärast Euroopas peaaegu kõik ära kasutatud. On suuremal hulgal veel Siberis ja Lõuna-Aafrikas, kus ta koos teiste Pb-maakidega läheb sulatamiseks.

### Vanadiniit. $Pb_5Cl(VO_4)_3$ .

$a : c = 1 : 0,712$ . Kristallid sarnanevad püromorfiidi omadega, kuid on ka vahel teravpüramiidjad. Ka kiulisena ja kobarjalt ning neerjalt.

Lõhevus ei ilmne. Murd konnakarpijas. Habras. K. 3. E.-k. 6,8—7,1. Teemandiläige. Õhukestes lehekestes läbipaistev. Kollane, pruun, oranž.  $\omega = 2,358$ ,  $\varepsilon = 2,311$  (kollasele valgusele).

V võib asendada P või As-ga. J.-t. ees sulab kergesti;  $HNO_3$ -s lahustub kergesti.

Leidub Lõuna-Aafrikas (Rodeesia), Austraalias (Broken Hill), Argentiinas, USA-s (Arizona), Uuralis. On hea vanaadiumimaak. Vanaadiumi tarvitatakse eri-terasestidele lisandiks.

### Kallaiit (türkiis). $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 5H_2O$ .

Triklinne, kuid harilikult tihe ja kobarja ning neerja välimusega. Murd konnakarpijas. Kaunis habras. K. 5—6. E.-k. 2,6—2,8. Vahaläige. Harilikult läbipaistmatu. Sinine, roheline.

Kui Cu-sisaldust, mis aga on oluline, ei väljendata, võiks keemiline koostis olla  $2Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 5H_2O$ , nagu teda varemini märgitigi.

Vanast ajast kalliskivina otsitud. Toodetakse Pärsias (Nišapur), Siinai poolsaarel, Turkestanis (Samarkand, Hodžent), Mehhikos ja mitmes kohas USA-s.

### Niobaatide ja tantalaatide rühm.

Metahapped  $\text{HTaO}_3$  ja  $\text{HNbO}_3$  annavad Fe ja Mn-ga mineraale, mis on dimorfsed: tetragoonsed ja rombilised. Neist rombilised on sagedamad, mistõttu piirdume nende kirjeldamisega. Täiesti puhtalt ei leidu kumbagi mineraali, vaid nad esinevad ikka isomorfset teineteisega segatuna, mistõttu vaatleme neid koos.

#### Kolumbiit (niobiit). $(\text{FeMn})(\text{NbO}_3)_2$ .

#### Tantaliit. $(\text{FeMn})(\text{TaO}_3)_2$ .

$a : b : c = 0,829 : 1 : 0,890$ . Kristallid sisse kasvanud, prismalised või tahveljad. Kaksikud (021) järgi sagedad. Ka kogumikena ilma kristalse välimuseta.

Lõhevus selge {100} järgi, eriti kolumbiidil. Murd konna-karpjas. K. 6. E.-k. 5,3 (kolumbiidil) kuni 8,2 (tantaliidil). Pigiläige. Must. Kriips pruun või must.

J.-t. ees ei sula; happeis ei lahustu.

Toodetakse Edela-Aafrikas, Lääne-Austraalias, Gröönimaal, Uuralis (Miask), Soomes, mitmes kohas USA-s. Tantaalimaak. Tantaal on elektrihoõglampide traadi materjal.

**Silikaadid.**

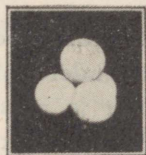
Siliitsium ja süsinik on lähemad naabrid elementide tabeli 4. rühmas. Süsinik annab lõpmata palju kõiksugu ühendeid piiratud arvu elementidega. Ka Si-ühendite arv on suur ja neiski esineb harilikult väike arv teisi elemente.  $\text{SiO}_2$ , mis puhtal kujul esineb ränina, millega eespool tutvusime, esineb neis ühendis — silikaatides — happe-anhüdriidina.

Kui süsinikuühendite keemiline struktuur on enamikus kindlaks tehtud seetõttu, et enamik tema ühendeid tekib ja lahustub harilikes temperatuuri- ja rõhutingimustes, siis ei saa seda kaugeltki öelda silikaatide kohta, mis tekivad enamikus kõrgete temperatuuride ja rõhkude juures, mis laboratooriumis pole saavutatavad, ja millede lahustuvus harilikes lahustites on minimaalne. Seepärast on selle kõige arvrikkama ja tähtsama mineraaliklassi keemilise struktuuri määramine seni vähe edenenud. Seetõttu enamik silikaatide keemilisi valemeid praegu veel mineraali keemilist struktuuri ei väljenda.

Füüsikalise peenstruktuuri uurimine — ruumvõrede määramine — on aga seni teostatud kaunis suure hulga silikaatide kohta. Seejuures on selgunud, et kõigis silikaatides esineb Si ja O kombinatsioon sel kujul, et eriti väike ioon  $\text{Si}^{+4}$  peitub tetraeedri keskel, mille moodustavad neli  $\text{O}^{-2}$  aatomit. See  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  tetraeeder ongi iga silikaadi peenstruktuuri aluseks. Need tetraeedrid võivad oma tippe pidi (O-aatomeid pidi, iga kaks tetraeedrit aga ainult ühte tippu pidi!) ühineda reeglipäraselt suuremateks gruppideks. Nii saame näit. järgmisi gruppe:

- 1) Üksikud  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  tetraeedrid, kus suhe Si : O on 1 : 4 (joon. 184, kus näha ainult O-aatomid, mis varjavad pisikese Si aatomi).

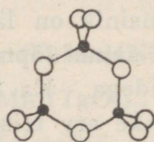
- 2) Tetraeedrite paarid ( $\text{Si}_2\text{O}_7$ )<sup>-6</sup>, kus suhe Si : O on 2 : 7  
(joon. 185).
- 3) Tetraeedrite kolmikud ( $\text{Si}_3\text{O}_9$ )<sup>-6</sup>, „ „ Si : O „ 1 : 3  
(joon. 186).
- 4) Tetraeedrite nelikud ( $\text{Si}_4\text{O}_{12}$ )<sup>-8</sup>, „ „ Si : O „ 1 : 3  
(joon. 187).
- 5) Tetraeedrite kuuikud ( $\text{Si}_6\text{O}_{18}$ )<sup>-12</sup>, „ „ Si : O „ 1 : 3  
(joon. 188).



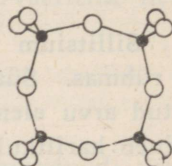
Joon. 184.



Joon. 185.

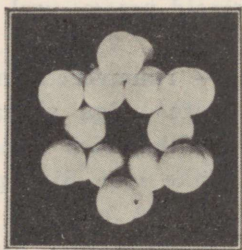


Joon. 186.

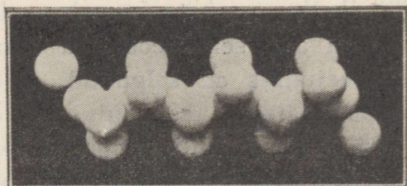


Joon. 187.

Senikirjeldatud juhud annavad lõplikke gruppe. Aga tetraeedrid ühinevad ka lõpmatuks paelteks, pindadeks ja ruumilisteks kujunditeks. Nii esineb (pürokseenides) pael, nagu näidatud joon. 189, kus suhe samuti Si : O = 1 : 3 ja iga  $\text{SiO}_3$  annab 2 vaba negatiivset valentsust, s. t.  $(\text{SiO}_3)^{-2} \times 2 = (\text{Si}_2\text{O}_6)^{-4}$ . Amfiboolides esineb pael joon. 190, mis on nagu kahest pürokseenipaelast kokku liidetud. Vilgud, talk jne. koosnevad tasapinnalis-



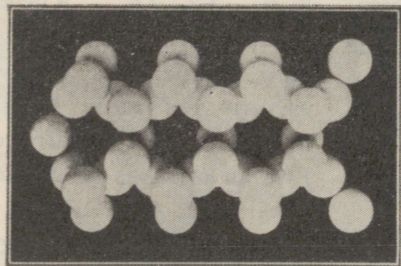
Joon. 188.



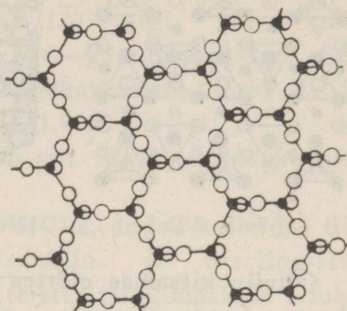
Joon. 189.

test võrkudest (joon. 191), kus Si : O = 2 : 5 ja grupp  $\text{SiO}_2$  omab kahte negatiivset valentsust, s. t.  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{-2}$ . Lõppeks on tetraeedrite vahel võimalik ka ruumiline side. Selline side on olemas ränis eneses ja ka mõningais silikaatides (näit. päevakivis).

Olgugi et  $Al^{+3}$  erineb ühe valentsuse võrra  $Si^{+4}$ -st, võib ta asendada Si-d hapnikutetraeedrites, kusjuures aga see valentsuse muutus kompenseeritakse igas ühikrakukeses veel mõne teise, erineva valentsusega elemendi võrre astumisega. Võimalus, et Al asendab happelist Si-aatomit, kusjuures toimub valentsuse kompenseerimine, annab väga suure varieerumisvõimaluse mineraalide koostises.



Joon. 190.



Joon. 191.

Loendatud tetraeedrite grupid ühinevad üksteisega vaba valentsuse tõttu kolmandate elementide kaudu, kusjuures viimased asetsevad kas gruppides esinevais õõntes või paelte või pindade vahel. Pindadevahelised sidemed on harilikult palju nõrgemad kui ühte pinda kuuluvad  $SiO_4$  tetraeedrite sidemed omavahel, mistõttu siis ka viimaseid paelu või pindu (kihte) pidj esineb reeglipäraselt täiuslik lõhevus.

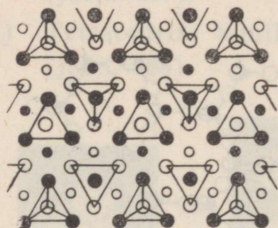
1. sugukond.

### ÜKSIKUD ( $SiO_4$ )-TETRAEEDRID.

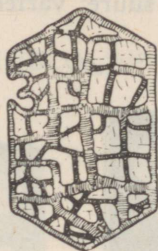
#### Oliviin (peridoot, krüsoliit). $(Mg, Fe)_2SiO_4$ .

Romb-bipüramiidne;  $a : b : c = 0,465 : 1 : 0,586$ . Ruumvõre koosneb O-ioonidest heksagoonse tihedama pakkimisega sarnanevast alusest; Si on paigutatud iga nelja O vahele ja Mg või Fe iga kuue O vahele; viimaste kaudu ühinevadki  $SiO_4$  tetraeedrid (vt. joon. 192, kus kolmnurkadega on märgitud  $SiO_4$  tetraeedrid; Si, mis iga tetraeedri keskel, pole näidatud, kuid O on märgitud suurema ringiga; Mg või Fe on märgitud väiksema ringiga. Mustad ringid on allpool joonise pinda). Kristallid prismalised või pakstahveljad. On palju vorme, milledest sagedamad  $\{110\}$ ,

{120}, {100}, {010}, {001}, {101}, {011}, {021} ja {111} (vt. joon. 90). Harilikult on ta kivimeisse sisse kasvanud — kas kristallidena või teraliste agregaatidena. Õhikus esinevad iseloomustavad praod, mida mööda oliivin muutub serpentiiniks (joon. 193).



Joon. 192.



Joon. 193.

Lõhevus kaunis selge {010} järgi, ebatäiuslik {100} järgi. Murd konnarkarpjas. Habras. K.  $6\frac{1}{2}$ —7. E.-k. 3,2—3,6. Klaasikuni rasvaläige. Selge kuni läbipaistev. Harva värvitu või hall; harilikult oliiv- või pudeliroheline, ka kollakas või pruun.  $a = 1,661$ ,  $\gamma = 1,697$ .

Oliivin kitsamas mõttes ehk krüsoliit on isomorfne segu kahest harva-esinevast piirimineraalist: forsteriidist,  $Mg_2SiO_4$ , ja fajaliidist,  $Fe_2SiO_4$ . Vahel sisaldab ka pisut Ni. J.-t. ees ei sula; happelis lahustub, kui sisaldab palju Fe-d.

Moodustab peaaegu ainuüksi tardkivimeid: peridotiite ja duniite; esineb sageli gabrodes, diabaasides, melafüürides ja basalitides; esineb ka kristalliltkivides ja koguni lubjakivides ning dolomiitkivides, ka meteoriitides. Samuti tekib ta sageli kunstlikult metallurgilistes rübudes.

Selged krüsoliidid kuuluvad kalliskivide hulka; parimaid leitakse St. Johns'i saarel Punases meres. Oliivini sisaldavate kivimitega on mõnikord ühenduses plaatinalademed.

## Fenakiidi rühm.

Siia kuuluvad romboedriline Be-, Zn- ja Cu-ühendid  $SiO_4$  tetraeedriga, kus iga O on seotud kahe katiooniga. Siia kuuluvad vaatalem fenakiiti, villemiiti, dioptaasi ja krüsokollat.

### Fenakiit. $Be_2SiO_4$ .

$a : c = 1 : 0,661$ . Sageli vormirikkad kristallid on kas romboedriline või prismakujulised; sagedamini esinevad {10 $\bar{1}$ 1}, {11 $\bar{2}$ 0}, {10 $\bar{1}$ 0}, {11 $\bar{2}$ 3}, {0001}, {01 $\bar{1}$ 1} ja {011 $\bar{2}$ }.

Eriliselt märgatavat lõhevust ei ole. Murd konnarkarpjas. K.  $7\frac{1}{2}$ —8. E.-k. 3,0. Klaasiläige. Selge, värvitu, kollakas, roosakas.  $\omega = 1,654$ ,  $\varepsilon = 1,670$ .

J.-t. ees ei sula; booraksiga sulab ja annab selge helme. Happeis ei lahustu. Haruldane mineraal. Leidub Uurali mägedes koos teiste kalliskividega, millede hulka ka teda arvatakse; leidub ka Norras, Brasiilias ja Edela-Aafrikas.

### Villemiit. $Zn_2SiO_4$ .

$a : c = 1 : 0,677$ . Peamiselt prismalised kristallid, väikesed. Esineb ka jämeda- ja peeneterisena.

Lõhevus vahel selge  $\{0001\}$  ja  $\{11\bar{2}0\}$  järgi. Murd konnakarpjas või killuline. K.  $5\frac{1}{2}$ . E.-k. 4,0—4,2. Klaasiläige. Selge kuni läbipaistev. Värvitu, sageli rohekaskollane, kuid ka iga-sugust muud värvi.  $\omega = 1,691$ ,  $\varepsilon = 1,719$ .

Mõnikord sisaldab palju Mn, on siis roosa ja kannab nime-tust trustiit.

J.-t. ees söel Zn-kate; lahustub HCl-s, andes kolloidse  $SiO_2$ .

Tsingimaagina kaevatakse Franklin- ja Sterling-Hillis (USA); leidub väiksemal hulgal ka teistes tsingimaakide leiu-koh-tades. Tarvitav raadiodetektorina.

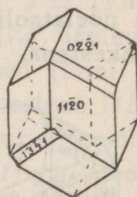
### Dioptaas. $CuO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ .

$a : c = 1 : 0,534$ . Väikesed prismalised kristallid harilikult pesades:  $\{11\bar{2}0\}$ ,  $\{02\bar{2}1\}$  ja  $\{1.15.\bar{1}6.7\}$  (joon. 194).

Lõhevus täiuslik  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K. 5. E.-k. 3,3. Klaasiläige. Selge või ainult läbipaistev. Rohiroheline. Kriips roheline.  $\omega = 1,644$ — $1,658$ ,  $\varepsilon = 1,697$ — $1,709$ .

J.-t. ees ei sula. HCl-s ja  $NH_3$ -s lahustub, eraldades  $SiO_2$  kolloidselt.

Kaunis harv mineraal. Lihvitakse kalliskivina. Leidub mitmes kohas Aafrikas (Katanga, Otavi, Mindouli), Tšiilis, Peruu, Arizonas.



Joon. 194.

### Krüsookolla (vaseroheline, ränimalahhiit). $CuO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

Harilikult amorfne, kobara-, neeru-, purika- või koorikutaoline, ka muldja kirmena.

Murd konnakarpjas. Läbipaistev kuni läbipaistmatu; noaga lõigatav. K. 2—4. E.-k. 2—2,2. Klaasiläige. Rohi- või sinakasroheline, vahel ka sinine. Kriips rohekasvalge.

J.-t. ees ei sula. HCl-s annab  $SiO_2$  pulbrina, mitte kolloidselt.

Morencis (Arizona, USA) toodetakse Cu-maagina. Leidub ka teistes Cu-maagi leiu-koh-tades, nii Uuralis, Siberis, Katangas (Aafrika), Tšiilis ja Mehhikos.

## Tsoisiidi rühm.

Üldiselt Ca-, Al- ja Si-ühendid, kus Ca ja Al võib asendada Fe, Mn, Ce ja Ti-ga ning osa võtta ka OH ja F.

### Tsoisiit. $4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Romb-bipüramiidne;  $a : b : c = 0,620 : 1 : 0,343$ . Kristallid sisse kasvanud; esinevad  $\{110\}$  ja  $\{010\}$ , mis on pikiviirulised, ning  $\{021\}$ , mis on ristiviiruline. Harilikult pulgaliselt, harvemini plaatjalt või kiulisena.

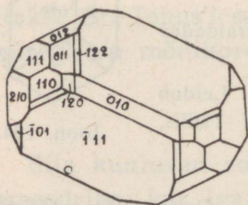
Lõhevus täiuslik  $\{010\}$  järgi. Murd ebatasane. K. 6. E.-k. 3,2—3,3. Klaasiläige, lõhenemispindadel ka pärlmutriläige. Sogane või läbipaistmatu. Harilikult tuhkhall, kuid ka kollakas, rohekas või pruunikas.  $\alpha = 1,700$ ,  $\gamma = 1,706$ .

Sisaldab harilikult pisut Fe. J.-t. ees ajab ennast kohevile ja sulab selgeks helmeks. Happeis ei sula ilma põletamata.

On sagedane küünekivide kaaslane moonekivimeis, leidub ka mõningais raua- ja vasemaakide lademeis. Roosa tsoisiit kannab tuliidi nimetust ja leidub Norras, Rootsis ning Itaalias.

### Epidoot. $4\text{CaO} \cdot 3(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 1,581 : 1 : 1,806$ ;  $\beta = 64^\circ 37'$ . Väga vormirikas, alati  $[010]$  järgi pikaks venitatud — koguni nõeljani; näitena joon. 195. Kaksikud  $(100)$  järgi sagedad. Kiire- ja nõelataolised, vahel vihkudesse kogunenud agregaadid, ka kir-mekestena.



Joon. 195.

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  järgi, vähem täiuslik  $\{100\}$  järgi. Murd konnakarpjas, ebatasane või killuline. K. 6—7. E.-k. 3,3—3,5. Klaasiläige. Harva selge, enamasti läbipaistev. Tume- või sinakasroheline, ka kollakasroheline, väga harva punane. Kriips hall.  $\alpha = 1,729$ ,  $\gamma = 1,768$ . Väga pleokrooitiline.

Sisaldab 8—16%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; mida vähem rauda, seda rohkem liginevad optilised omadused tsoisiidile, jäädes aga siiski monokliinseks. Niisuguseid rauavaeseid epidootide nimetatakse klinotsoisiidiks. Rauarikkaid ja tihedaid rohelisi nimetatakse pistatsoidiidiks. J.-t. ees sulab kohevile muutudes mustaks, vahel magnetiliseks räbuks; põletatult lahustub HCl-s, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli näol.

Väga sagedane mineraal, peamiselt kontaktväljades, eriti ühenduses lubjarikaste kivimitega. Esineb samuti maagisoontes, kus leiduvad ka parimad kristallid, näit. Knappenwandis Salzburgi Alpides. Leidub ka teradena liivas.

### Ortiit (allaniit). $4(\text{Ca, Ce, Th})\text{O} \cdot 3(\text{Al, Fe})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 1,55 : 1 : 1,77$ ;  $\beta = 64^\circ 59'$ . Kristallid tahveljad, harvad. Harilikult sissekasvanud teraliste või pulgaliste agregaatidena. Kaksikud  $\{100\}$  järgi.

Lõhevus vaevalt märgatav. Murd konnakarpijas kuni ebatasane.  $K. 5\frac{1}{2}$ . E.-k. 3—4,2. Rasvaläige. Läbipaistmatu. Pigimust, vahel pruunikas või hallikas; murenemiskoorik roostekarva või ka hallikasroheline. Kriips rohekas-hall või pruun. Ohikus pruunilt läbipaistev, vöödilise ehitusega. K.-m. —. Väga pleokroiitiline; vilgu sees on kristalli ümber sageli pleokroiitilised oreoolid. Sisaldab vahel ka Di. La ja Mg. J.-t. ees sulab vahutades mustaks magnetiliseks teraks. Osa ortiite lahustub HCl-s vabalt, osa nõuab eelnevat kuumutamist.

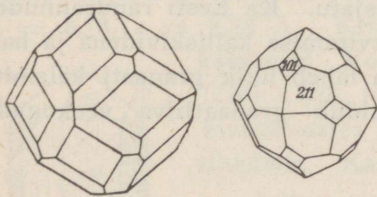
Esineb mitteoolulise osana mõningais graniitides, süeniitides, dioriitides ja gneissides (Norras, Rootsis, Soomes, Uuralis, Kanadas ja USA-s).

## Granaatide rühm.

### Granaat. $M_3'' M_2'''(\text{SiO}_4)_3$ ,

kus  $M''$  on kas Ca, Mg, Mn või Fe ja  $M'''$  kas Al, Fe või Cr.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre õige keeruline;  $a = 11,5—12,0 \text{ \AA}$ ; iga ühikrakuke sisaldab 8 molekuli. Kristallid üksikult sisse või peale kasvanud, mõned seejuures õige suured (kuni 10 kg rasked). Peamiselt esineb  $\{110\}$  (granatoeeder), mis vahel kombineerub  $\{211\}$  ja  $\{321\}$ -ga (joon. 196). On ka teisi, harvemini esinevaid vorme, näit. kuup, oktaeeder. Ka jämeda- või peeneterisena, samuti tiheda massina; sekundaarselt veerkivikestena ja liivana.



Joon. 196.

Lõhevus ebatäiuslik  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpijas või kiluline. Habras.  $K. 6\frac{1}{2}—7$ . E.-k. 3,4—4,6. Klaasi- või rasvaläige. Selge kuni läbipaistmatu. Värvitu, rõhuvas enamikus aga pruunikas ja punane, kuid ka kõigis teistes värvides, peale sinise.  $n = 1,7—2,0$ . Sageli vöödiline ja mõnikord optiliselt anisotroopne.

Keemiline koostis väga mitmekesine. Allpool-nimetatud alaliikidest on enam-vähem keemilisele valemile vastavad — puhtad

liigid — harvad; domineerivad isomorfsed segud, millede koostis võib olla erinev ühe ning sama mineraali eri vöödes. J.-t. ees sulab harilikult magnetiliseks kerakeseks; sellisena lahustub kergesti happeis, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli.

Alaliigid: 1) grossulaar (Ca- ja Al-granaat),  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  — värvitu, valge, heleroheline, punakaskollane, lillakas-punane (viimasel juhul nimetusega hessoniiit);

2) andradiit või aploom (Ca- ja Fe-granaat),  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$  — harilikult pruun, kuid ka värvitu, roheline, must; selge-rohelise nimetuseks on demantoid ja seda lihvatakse kalliskivina; sametmust — melaniit — sisaldab alati ka Ti ja pisut  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;

3) püroop (Mg- ja Al-granaat),  $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  — veripunane, harva ka peaaegu must, kui sisaldab ka Fe; on otsitud kalliskivi;

4) almandiin (Fe- ja Al-granaat),  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  — punane, pruun, harva must; selgeid punaseid, eriti lillakaid tarvitatakse ka kalliskividena;

5) spessartiin (Mn- ja Al-granaat),  $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  — kollane või punakaspruun; harilikult sisaldab ka Fe;

6) uvaroviit (Ca- ja Cr-granaat),  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$  — tumeroheline; kaunis haruldane.

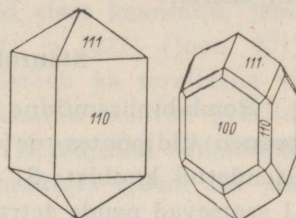
Granaate leidub paljudes tardkivimites, eriti aga moonekivimites: gneiss, vilkkilt. Eri liikide leiukohad on üle kogu maailma laiali, nii et nende loend on asjatu. Ka Eesti rändrahnudes võib neid sageli leida. — Peale tarvitamise kalliskividena ja halvemais taskukellades laagrikividena läheb hulk granaati käiamis- ja lihvismaterjaliks. Eestis leidub granaatliiva veekogude rannikutel koos magnetiidiga.

### Tsirkoon. $\text{ZrSiO}_4$ .

Ditetragoon-bipüramiidne;  $a : c = 1 : 0,640$ . Ruumvõre nagu rutiilil, kusjuures Zr-aatomid asetsevad tetragoonse prisma tip-pudes ja Si-aatomid tahkude keskel;  $a = 6,58$ ,  $c = 5,93$  Å. Kristallid sisse kasvanud, prismalised või püramiidsed (joon. 197). Esinevad peamiselt  $\{110\}$  ja  $\{111\}$  või  $\{101\}$ , ka  $\{100\}$ ,  $\{311\}$ ,  $\{221\}$  ja  $\{331\}$ . Kaksikud harvad. Sageli leidub ümmardatud teradena sekundaarseis leiukohtades, näit. kullalademeis.

Lõhevus ebatäiuslik  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpjas.  $K. 7\frac{1}{2}$ . E.-k. harilikult 4,7. Teemandiläige. Selge, läbipaistev kuni läbipaistmatu. Harva värvitu või hall, roheline või kollane; harilikult pruun või pruunikaspunane.  $\omega = 1,960$ ,  $\varepsilon = 2,01$ .

Sisaldab sageli kuni 4% Hf ja pisut Th; viimase sisaldus muudab sageli radioaktiivselt tsirkooni omadusi, alandades tema erikaalu 3,9 peale ja mõjustades ka  $H_2O$  tungimist mineraali; niisugused alaliigid on tuntud malakooni nime all. J.-t. ees ei sula; happeis ilma leelissooladega kokku sulatamata ei lahustu.

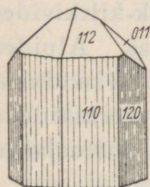


Joon. 197.

Kollakaspunaseid selgeid tsirkoone loetakse kalliskivideks hüatsiini nime all. Pisikristallides, mis sageli on ümbritsetud pleokroiitiliste ringidega, esineb tihti happelistes või keskimestes tardkivimites; pegmatiitides vahel mitme sentimeetri suuruste kristallidena. Nii leidub teda eleoliitsüeniitides Norras, Koola poolsaarel, Põhja-Karoliinas. Hüatsinte leitakse Tselioni saare alluviaal-liivades.

### Topaas. $(F, OH)_2Al_2SiO_4$ .

Romb-bipüramiidne;  $a : b : c = 0,528 : 1 : 0,954$ . Ruumvõres on Si tetraeedrite iga O ühendatud Al-ga, nii et iga Al on ühendatud nelja O-ga ja peale selle veel kahe F või OH-ga.  $a = 4,64$ ,  $b = 8,78$ ,  $c = 8,38$  Å. Kristallid üksikult või pesadena peale kasvanud. Vormirikas; peamiselt esinevad  $\{110\}$ ,  $\{120\}$ ,  $\{130\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{010\}$  jt. (joon. 198). Ka päevakivisarnastes tükkides ja pulkjana, harva ka päris tihedana. Ka veerkivikestena.



Joon. 198.

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane.  $K. 8$ . E.-k. 3,5—3,6. Klaasiläige. Selge või läbipaistev. Värvitu või helekollane, merisinine, roheline, lilla, kollakas või roosakaspunane. Mõned pleegivad päikesevalguses.  $\alpha = 1,612$ ,  $\gamma = 1,621$ ;  $2V = 56^\circ 39'$ .

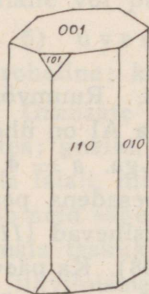
F ja OH vahekord on muutlik. J.-t. ees ei sula. Kõrgel kuumutamisel või fosforsoolas eraldub F. Väävelhape lahustab visalt ja osaliselt.

Pneumatolüütilise metamorfoosi tähtsamaid mineraale. Peale selle esineb koos tardkivimite vedelamate jääkide hangumisproduktidega, eriti inglüstina leiukohtades. Ilusaid kalliskividena lihvitavaid kristalle leidub Uurali mägedes, Brasiilias ja Tseiloni saarel.

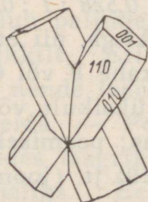
### Stauroliid. $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{SiO}_5$ .

Romb-bipüramiidne;  $a : b : c = 0,473 : 1 : 0,682$ . Ruumvõre koosneb üldjoontes deformeeritud O-aatomeist koosnevast tahkesendatud kuubist; Si asetseb iga nelja O keskel ja Fe, OH ja Al asetsevad nende tetraeedrite vahel, olles seoses O-ga.  $a = 7,8$ ,  $b = 16,6$ ,  $c = 5,6$  Å. Sissekasvanud kristallid prismalised  $[001]$  järgi. Harilikult  $\{110\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{101\}$  ja  $\{011\}$  (joon. 199). Kaksikud harilikud, eriti  $\{032\}$  järgi (joon. 95) või  $\{232\}$  järgi (joon. 200).

Lõhevus selge  $\{010\}$  järgi. Murd konnakarppjas või killuline. K.  $7-7\frac{1}{2}$ . E.-k.  $3,7-3,8$ . Klaasiläige, pinnal vahel ka tuhm. Läbipaistev ja läbipaistmatu. Punakas- või mustjaspruun.  $\alpha = 1,744$ ,  $\gamma = 1,756$ . Pleokroiitiline.



Joon. 199.



Joon. 200.

Sageli sisaldab suurel hulgal teisi mineraale, näit. räni, ka söeollust. J.-t. ees ei sula; visalt sulab booraksi või fosforsoolaga; happes ei lahustu, samuti mitte külmas HF-s.

Iseloomustav mineraal moonekivimeis: gneissides, vilk-kiltkivides. Leidub mitmes kohas Alpides, USA-s, Edela-Aafrikas, Skandinaavias, Uurali mägedes veerkividena.

Selgeist ja värvilt ilusamaist valmistatakse lihvitult ehteasjakesi.

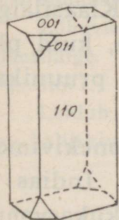
### Andalusiidi, sillimaniidi ja küaniidi rühm.

Nende keemiline üldvalem on  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , kuid nende kaunis keerulised ruumvõred erinevad. Esimesed kaks kristalliseeruvad romb-bipüramiidses klassis, kuna küaniit on trikliinne (pinakoidne klass). Sisaldavad pisut Fe ja Mn. J.-t. ees ei sula. Co-lahusega kuumutatult muutuvad siniseks. Happeis ei lahustu, ka HF la-

hustab visalt. Kuumutamisel muutuvad nad kõik ja annavad mulliidi + klaas: küaniit  $1360^{\circ}$  t<sup>0</sup>-s, andalusiit  $1390^{\circ}$  ja sillimaniit  $1545^{\circ}$  t<sup>0</sup>-s.

### Andalusiit.

$a : b : c = 0,986 : 1 : 0,702$ . Kristallid sisse kasvanud, jämedaprismaalised, esinevad  $\{110\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{101\}$  ja  $\{011\}$  (joon. 201); pealt sageli kaetud vilgusoomustega. Esineb ka teralisena või kiireliste pulkadena. Mõned pulkjad kristallid omavad grafiidisalduse tõttu tumedat, sageli läbilõikes ristikujulist südamikku; neid nimetatakse kiastoliidiks (õoneskivi) (joon. 202 pikk kristall tükkideks lõigatuna).



Lõhevus selge  $\{110\}$  järgi. Murd ebatasane. Habras. K.  $7\frac{1}{2}$ . E.-k. 3,1—3,2. Klaasiläige, kuid ka tuhm. Harva selge; harilikult ainult läbipaistev. Rohekas- või punakashall; kui tumedamavärviline, siis pleokrooiitiline.  $\alpha = 1,632$ ,  $\gamma = 1,643$ .

Kalifornias (Inyo Range) murti andalusiiti sisaldavat kivi erilise portselani materjaliks. Ilusamaid eksemplare lihvitakse ja müüakse turmaliini pähe. Toodetakse muuseumis: Andalusias Hispaanias (sellest nimi!), Alpides, Uuralis, Brasiilias ja Austraalias.



Joon. 202.

### Sillimaniit (fibroliit).

$a : b : c = 0,97 : 1 : 0,70$ . Üksikuis kristallides ei esine, vaid alati kiuliste — kas kiireliste või viltjate — agregaatidena, kõverapinnalise lõhevusega, samuti räniga läbikasvanud massidena ja veerkivikestena.

Lõhevus täiuslik  $\{010\}$  järgi. Murd ebatasane. K. 6—7. E.-k. 3,2. Kiulised siidiläikega, muidu klaasiläige. Selge kuni läbipaistev. Kollakashall, hallroheline, pruunikas.  $\alpha = 1,657$ ,  $\gamma = 1,677$ .

Leidub gneissides, vilk-kiltkivides ja nendega ühenduses olevates kivimeis. Kus teda on rohkem, seal annab ta head tulekindlat materjali. Muistsel ajal tarvitati teiste mineraalidega kõr-

vuti kivikirve-materjaliks. Ilusamad liigid (Birmast) asendavad kalliskive. Leiukohti: Freiberg Saksis, Alpides, paaris kohas Prantsusmaal, mitmes kohas USA-s.

### Küaniit (disteen).

$a : b : c = 0,899 : 1 : 0,709$ ;  $a = 90^{\circ} 55'$ ,  $\beta = 101^{\circ} 2'$ ,  $\gamma = 105^{\circ} 44,5'$ . Sissekasvanud, joonlauataolised, murtud otstega kristallid, peamiselt  $\{100\}$ , mis kaetud ristkriipsudega ja sageli painutatud, edasi  $\{010\}$  ja  $\{\bar{1}\bar{1}0\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{210\}$  ja  $\{001\}$  — viimane nihkepinnaga. Kaksikud mitme seaduse järgi. Enamasti esineb kiirelisena — kitsa- või laialehelisena. Ka veerkivikestena.

Lõhevus täiuslik  $\{100\}$  järgi, selge  $\{010\}$  järgi. Habras. K. piki kristalli  $4-4\frac{1}{2}$ , risti  $6-7$ . E.-k.  $3,6-3,7$ . Klaasiläige,  $\{100\}$ -l pärlmutriläige. Selge kuni läbipaistev. Sinine, kuid plekiline või vöödiline; ka valge, roosa, hall, rohekas või pruunikas.  $a = 1,717$ ,  $\gamma = 1,729$ ;  $2V = 82^{\circ}$ .

Nagu andalusiit ja sillimaniit, on ka küaniit moonekivimeis kodus. Leidub suuremal hulgal Rootsis (Värmland), Indias ja Kalifornias. Assamis (Indias) annab korundiga kokkukasvanud küaniit otsitud tulekindlat materjali.

### Mulliid. $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ .

Romb-bipüramiidne. Väga sarnane sillimaniidiga, kuid väiksema optilise murdumisega:  $a = 1,642$ ,  $\gamma = 1,654$ . Kunstlikult tekib ja moodustab peamise massi igas portselantootes ja teistes sarnastes keraamikatoodetes. Looduses leidub seal, kus saviraasukesed on sattunud laavasse (Mull'i saar Šotimaal).

### Vesuviaan. $6[Ca_3Al_2(SiO_4)_3] \cdot Ca(OH)_2 \cdot Mg(OH)_2$ .

Ditetragoon-bipüramiidne;  $a : c = 1 : 0,537$ . Ruumvõre nagu granaadil (grossulaar), millele on lisandunud  $Ca(OH)_2$  ja  $Mg(OH)_2$  rühmad.  $a = 15,63$ ,  $c = 11,83$  Å. Kristallid harilikult pikaprismalised või nõeljad, enamikus pikuti kriipsulised. Esinevad  $\{110\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{\bar{1}\bar{1}1\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{101\}$ ,  $\{331\}$ ,  $\{311\}$  ja  $\{210\}$ . Ka teraline, kiireline, sageli granaadiga kokku kasvanud, sarv-kivitaoline.

Lõhevus ebatäiuslik  $\{100\}$  ja  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpjas või killuline. K.  $6\frac{1}{2}$ . E.-k.  $3,3-3,4$ . Klaasiläige. Harva selge, harilikult läbipaistev. Pruun, roheline, kollane, harva sinine või roosa.  $\omega$  kõigub  $1,70$  ja  $1,75$  vahel,  $\varepsilon$  samuti; seepärast on mõni eksemplar +, mõni —.

Väga keeruline keemiline koostis, sest Ca võib asendada Na, K, Mn-ga, Mg omakorda Mn-ga, Al aga Fe ja Ti-ga; võivad esineda ka Be ja B. J.-t. ees sulab vahutades; kuumutamisel eraldab vett; happeis lahustub ainult pärast kuumutamist.

Leidub moonekivimeis — nii dünamo- kui ka kontaktmeta-  
morfseis, näit. Soomes, mitmes kohas Alpides, Vesuuvi laavas, Böömimaal (Eger), Norras, Vilui jõel Siberis, Mehhikos ja mit-  
mes kohas USA-s. Ilusaid selgeid lihvitakse kalliskivideks, ro-  
helised tihedad massid kõlbavad suuremaiks iluasjuks.

### Euklaas. $\text{HBeAlSiO}_5$ .

Monokliin-prismaline. Kristallid [001] järgi pikergused, tahurikkad püst-  
telje suunas.

Lõhevus väga täiuslik {010} järgi. Habras. K.  $7\frac{1}{2}$ . E.-k. 3,0—3,1.  
Klaasiläige. Selge või ainult läbipaistev. Värvitu või heleroheline.  $\alpha = 1,652$ ,  
 $\gamma = 1,671$ .

Leidub Brasiilias, Uurali mägedes, Belgia Kongos ja Baieris. Harva lei-  
dud kalliskivi.

### Datoliit. $\text{HCaBSiO}_5$ .

Monokliin-prismaline.  $a : b : c = 0,633 : 1 : 1,269$ ;  $\beta = 89^\circ 51'$ . Kristallid  
pesadena, lühiprismalised, kuid ka pakstahveljad, vormirikkad. Esineb ka te-  
ralisena, tihedana, peenekiulisena.

Märgatavat lõhevust ei ole. Murd ebatasane. K.  $5-5\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,9—3,0.  
Klaasiläige. Selge või läbipaistev. Värvitu, valge, rohekas, kollakas.  $\alpha = 1,626$ ,  
 $\gamma = 1,670$ .

Keemiliselt vastab hästi valemile. J.-t. värvib leegi rohelseks; sulab  
vahutades selgeks helmeks. HCl-s lahustub, andes  $\text{SiO}_2$  geli.

Leidub aluseliste tardkivimite lõhedes ja soontes Šotimaal, Norras, Saksa-  
maal, Itaalias ja mitmes kohas USA-s ning NSVL-s. Tihedaist portselani-  
taolistest liikidest valmistatakse iluasju.

2. sugukond.

### KAKSIKTETRAEEDRID. $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$ .

#### Hemimorfiit (kalamiin). $\text{H}_2\text{Zn}_2\text{SiO}_5$ .

Romb-bipüramiidne.  $a : b : c = 0,783 : 1 : 0,478$ . Väikesed  
kristallid, enamikus tahveljad (010) järgi, esinevad {100} {010},  
{001}, {110}, {101}, {011}, {301} ja {031}. Kaksikud (001) järgi.  
Kerajad, koorikjad ja purikataolised kiulised massid.

Lõhevus täiuslik {110} järgi, vähem täiuslik {101} järgi.  
Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K. 5. E.-k. 3,3—3,5.  
Klaasiläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, heleroheline või

pruun.  $\alpha = 1,614$ ,  $\gamma = 1,636$ . Väga pleokroiitiline ja püroelektriline.

Valemiks võib anda:  $2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , seejuures aga  $\text{H}_2\text{O}$  eraldub ainult punases hõõgtules. J.-t. ees ei sula; söel Zn-kate.  $\text{HCl}$  lahustab  $\text{SiO}_2$  geli eraldamisega.

Leidub koos smitsoniidiga paljudes Zn-maakide lademeis, moodustades otsitava maagi Poolas (Olkuš), Nertšinskis, Altais, USA-s (paljudes kohtades), Alžeerias ja Mehhikos.

### \*Kolmikring ( $\text{Si}_3\text{O}_6$ )<sup>-6</sup>. Benitoiit. $\text{BaTiSi}_6\text{O}_{18}$ .

Ditriagoon-bipüramiidne. Sinine, kõva (6,5), kalliskivina tarvitatud. Ainult üks leiukoht (St. Benito) Kalifornias.\*

3. sugukond.

### KUUIKRÕNGAD. ( $\text{Si}_6\text{O}_{18}$ )<sup>-12</sup>.

#### Berüll. $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ .

Diheksagoon-bipüramiidne.  $a : c = 1 : 0,499$ . Ruumvõres on üksteise peal kuuikrõngad ( $\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ), millede Al ja Be asetsevad nii, et Al on ümbritsetud kuue O-ga ja Be nelja O-ga. Siiski jääb ülestikku asetsevate kuuikrõngaste sisemusse tühi kanal, kuhu sageli asuvad F, Li, Cs, Na, (OH). Kristallid mõnikord hiiglasuured (kuni 18 000 kg), harilikult heksagoonsed prismad, mis on pikuti viirulised ja vahel silindritaoliselt ümmardatud. Sagedamini esinevad:  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{1121\}$ ,  $\{20\bar{2}1\}$ ,  $\{21\bar{3}1\}$  ja  $\{11\bar{2}0\}$  (joon. 203). Ka pulkjate agregaatidena ja veerkividena.

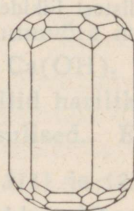
Lõhevus täiuslik  $\{0001\}$  järgi. Murd konna-karpjas või ebatasane. Habras. K.  $7\frac{1}{2}$ —8. E.-k. 2,63—2,80. Selge, läbipaistev. Klaasiläige. Vesiselge, sageli roheka varjundiga; roheline, kollane, sinine või roosa.  $\omega = 1,57$ —1,60,  $\varepsilon = 1,56$ —1,59.

J.-t. ees sulavad visalt ainult õhukesed servad. Happeis ei lahustu.

Eristatakse kallis- ja harilikku berüllit. Kallisberüllit alaliikideks on:

1) smaragd — kroomoksüüdiga tumeroheliseks värvunud selge mineraal;

2) akvamariin — vesiselged, rohekad, sinakad või kollakad;



Joon. 203.

3) kuldberüll — kollane;

4) morganiit — roosa.

Neist on smaragd otsitud kalliskivi. Harilik berüll on sagedane pegmatiidoosontes, kus ta on kasvanud ränisse või päevakivisse. Hiiglakristallidena Maine'i osariigis (Albany), New Hampshire'is (Ackworth ja Grafton) ja Lõuna-Dakotas (Keystone). Kallite liikide peamised leiukohad on Uurali mägedes, Kolumbias, Brasiilias, Lääne-Austraalias, Tseiloni saarel ja Indias. — Berüll on peamine metall berülliumi maak.

### Kordieriit (dikroiit). $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ .

Romb-bipüramiidne.  $a : b : c = 0,587 : 1 : 0,558$ . Ruumvõre sarnaneb berülliga, kusjuures aga Si on veel rõhkem asendatud Al-ga, mille tetraeedrid moodustavad ahelaid. Lühiprismaalised, heksagoonse välimusega kristallid sisse kasvanud, sageli tuhmide tahkude ja ümmardatud servadega. Esinevad  $\{110\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{130\}$  ja otstes  $\{001\}$ ,  $\{112\}$  ning  $\{011\}$ . Kaksikud  $(110)$  ja  $(130)$  järgi. Kuid sagedamini teraliste tükkidena, ka veerkividena.

Lõhevus ebaselge  $\{010\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K.  $7-7\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,6. Rasvane klaasiläige. Selge, läbipaistev. Hall, mitmevarjundiline sinine, pruunikasroheline või kollakas. Tugev pleokroism — lillakas ja hall, palja silmaga märgatav.  $\alpha = 1,541-1,549$ ,  $\gamma = 1,534-1,542$ .

Peaaegu alati sisaldab ka Fe ja  $\text{H}_2\text{O}$ . J.-t. ees sulavad (visalt) ainult õhukesed servad. Happeis ei lahustu.

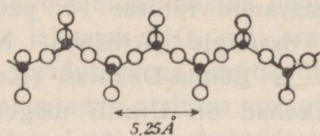
Mõningais gneissides oluline mineraal. Leidub ka mõnedes happelistes tardkivimites, võib olla neisse sattunud kiltkividest tekkinuna. Kontaktmetamorfseis kivimeis mikroskoopilised isendid sagedad. Leiukohad Soomes (Orijärvi), Norras, Rootsis, Hispaanias ja Tseiloni saarel. — Mõningad selged liigid annavad lihvitult kalliskive. Keemiliselt ebastabiilne kordieriit annab rohkesti pseudomorfoose.

### 4. sugukond.

### $\text{SiO}_4$ -TETRAEEDRID LÕPMATUIS AHELAIS.

$\text{SiO}_4$  tetraeedrid võivad seotud saada ka nii, et iga tetraeedri kaks O-d on seotud naabertetraeedrite Si-ga, nii et kujuneb otsatu ahel (joon. 204); Si ja O vahekord on 1 : 3 ja igal

tetraeedril on 2 vaba negatiivset valentsust. Säärased ahelad ise-loomustavad pürokseene. Ahelad on asetatud rööpselt vastavate



Joon. 204.

mineraalide 3. teljega ja seotud mitmesuguste katioonide abil. Si võib osalt asendada Al-ga, kusjuures nõnda ahelas tekkiv üleliigne vaba negatiivne valentsus kompenseeritakse ühtede elementide asendumisega teistega.

### Pürokseeni (augiit laias mõttes) rühm.

Keemiline koostis vastab üldjoontes valemile:  $R''SiO_3$ , kus  $R''$  võib olla Mg, Fe, Mn või Cu ning kus Si võib osalt asendada Al, Fe või Ti-ga. Ühtlane ruumvõre ehitus tingib ka ühtlase lõhenemissuuna, mis 3. teljega ristilõikes moodustab  $87^\circ$  nurga. Pleokroism suhteliselt nõrk. Jagunevad rombilisteks, monokliinseteks ja trikliinseteks.

#### Rombilised pürokseenid.

Ei sisalda Ca ega Al. Romb-bipüramiidsed.  $a : b : c = 1,031 : 1 : 0,587$ . Kõigil on enam-vähem selge lõhevus  $\{110\}$   $\{100\}$  ja  $\{010\}$  järgi. Kõvadás 5—6. E.-k. 3,1—3,5.  $\alpha = 1,58$ ,  $\gamma = 1,67—1,71$ . — Vaatleme neist enstatiiti, brontsiiti ja hüpersteeni.

#### Enstatiit. $MgSiO_3$ .

Kristallid, mõnes kohas küll hiiglasuured, on ebareeglipärased. Habras, läbipaistev. Helehall, kollakas, pruunikas või roheline. — J.-t. ees sulavad ainult õhukesed servad. Happeis ei lahustu, isegi HF lahustab visalt.

Eriti leidub Norras, koos apatiidiga. Pisikristallidena esineb mõningais aluselistes tardkivimites olulise koosteosisena, happelistes kivimites kõrvallisandina. Leitud ka ühes meteoriidis.

#### Brontsiit. $(Mg, Fe)SiO_3$ .

Mõõtmisteks kõlblikke kristalle pole maapinnal leitud; ainult ühest meteoriidist saadud kristalle on suudetud mõõta. Lõhevus  $\{100\}$  järgi hea. Pronksikarva sillerdamine ja siidjas metalliläige. Mikroskoobi all näib, et mõned brontsiidid on monokliinsete augiitidega läbi kasvanud. Läbipaistev kuni läbipaistmatu.

Pruuni ja rohelist värvi. — J.-t. ees sulab visalt. Happeis ei lahustu. Sisaldab 5—15% FeO.

Oluline mineraal gabrodes ja noriitides. Leidub ka meteoriitides.

### Hüpersteen. (Fe, Mg)SiO<sub>3</sub>.

Leidub ka kristallidena, kuid enamikus teraliste või leheliste tükkidena. Habras. Klaasiläige, vahel vaskpunane sillerdamine {100}-l. Läbipaistmatu. Must, mustjaspruun või roheline. Keemiliselt erineb brontsiidist rauarohkusega, sisaldades 15—34% FeO. J.-t. ees sulab visalt magnetiliseks kerakeseks. Happeis ei lahustu.

Mõningais tardkivimeis, eriti aluselistes.

### Monokliinsed pürokseenid.

Neis esinevad suured katioonid — Ca<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ja Mn<sup>++</sup> ja väiksemad — Mg<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Fe<sup>+++</sup>, Al<sup>+++</sup> ja Ti<sup>+++</sup>. Nende kombinatsioonid tingivad selle rühma suure mitmekesisuse. Harilikult eristatakse Al-vaeseid ja Al-rikkaid pürokseene; esimeste esindajana vaatleme diopsiidi, teiste esindajana augiiti kitsamas mõttes.

### Diopsiid. CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>.

$a : b : c = 1,092 : 1 : 0,589$ ;  $\beta = 74^{\circ} 10'$ . Prismalised kristallid sageli täisnurksed: {100} ja {010}; esinevad ka {110}, {310},  $\{\bar{2}21\}$ ,  $\{\bar{3}31\}$ ,  $\{\bar{1}11\}$ , {111}, {001} ja {10 $\bar{1}$ }. Korduvad kaksikud (100) järgi. Esineb liistjate, koorikjate ja teraliste agregaatidena.

Lõhevus selge {110} järgi; {100} järgi mõnikord lagunemine. Habras. K. 5—6. E.-k. 3,3. Klaasiläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, hall, kollane, eriti sageli mitmes varjundis roheline.  $a = 1,650$ ,  $\gamma = 1,681$ .

Harilikult sisaldab Fe, vahel ka Mn, Na, Zn ja Cr. J.-t. ees sulab visalt; happeis ei lahustu.

Eristatakse järgmisi liike:

1) diopsiid kitsamas mõttes — kristallidena esinevad läikivad rohelised (kuid ka värvita ja ka päris mustad) eksemplarid koos sääraste kristallide aluseks oleva teralise massiga;

2) malakoliit (saliit) — ilma kristalse välimusega soogane valge mass või ka roheline või pruun; esineb mõningais maagikogumikes (lubjakivis);

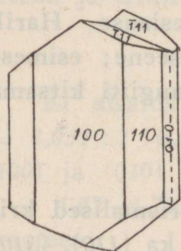
3) diallaag — väga täiusliku lagunevusega  $\{100\}$  järgi; alati sisaldab ka  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ja  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; rohekashall, pruunikasroheline või must; mõned diallaagiliigid sillerdavad nagu brontsiit;

4) kroomdiopsiid — sisaldab veidi  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; esineb oliivinis rohiroheliste teradena (Kapimaal teemantide kaaslane). Rohkesti Outokumpus Soomes.

Diopsiid esineb paljudes tard- ja moonekivimeis, samuti kontaktmetamorfseis lubjakivides ja dolomiitkivides.

### Augiit. $n\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6 \cdot m(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ .

$a : b : c = 1,092 : 1 : 0,589$ ;  $\beta = 74^\circ 10'$ . Kristallid harilikult lühiprismalised (joon. 91)  $\{110\}$ ,  $\{100\}$  ja  $\{010\}$ -ga, kuna prisma otstes esineb  $\{\bar{1}11\}$ . Lõige risti  $[001]$ -ga on kaheksanurkne. Kak-sikud  $(100)$  järgi (joon. 205) ja ristuvad  $(101)$  järgi. Ka tera-lisena ja nõeljana.



Joon. 205.

Lõhevus mitte alati selge  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K. 6. E.-k. 3,3—3,5. Läbipaistev, enamikus aga läbi-paistmatu. Väga harva peaaegu täiesti värvitu; roheline kuni pigimust, õhikus pruun või rohe-line. Kriips hallikasroheline. Pisut pleokro-iitiline, kui sisaldab palju Fe.  $\alpha \sim 1,71$ ,  $\gamma \sim 1,73$ , kuid arvud muutuvad, nii et mõned augiidiid on positiivsed, mõned negatiivsed.

Sageli sisaldab Al ja Fe, ka Ti. J.-t. ees sulab mustaks klaasiseks kerakeseks, mis mõni-kord on magnetiline. Happeis peaaegu lahustumatu.

Eristatakse liike:

1) harilik augiit — must, vahel rohekas; esineb alu-selistes tardkivimites (diabaas, melafüür, basalt jne.) ja mõnin-gates moonekivimites;

2) basaldis esinev augiit, ka basalttufis; sageli vöödilise; kristallid värskel välimusega;

3) fassaiit — roheline; Fe-d vähem kui Al-i; on kon-taktmineraal lubjakivides;

4) omfatsiit — sarnane eelmisega, kuid leidub mõnin-gais kristall-kiltkivides;

\*5) ägiriin (ja akmiit).  $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$ . Naatronaugiit, olu-line mineraal alkaligraniitides ja alkalisüeniitides.  $a : b : c =$

$= 1,1 : 1 : 0,601$ ;  $\beta = 73^{\circ} 11'$ ; lõhevus eriti hea. K. 6,5. E.-k. 3,5. Klaasiläige, rohekaspruun, õhikus roheline ning pleokroiitiline (ägiriin). Akmiit on ka õhikus pruun, kuid nõrgema pleokroisimiga. Leidub Norras ja Portugalis.\*

Võib esineda peaaegu kõigis kivimiliikides; laialt levinud üle maailma. Muutub mõnikord struktuurilt küünekviviks; selliseid muutunud augiite nimetatakse uraliidiks.

### Jadeiit. $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ .

Esineb mikrokristalselt peenekiulise vildina või tiheda massina. Väga vintske. K.  $6\frac{1}{2}$ . E.-k. 3,2—3,3. Klaasiläige. Läbipaistev. Valge, rohekas. J.-t. ees sulab selgeks helmeks ja sel kujul lahustub happeis. Leidub Pamiiris, Kuenlunis ja Alpides. Esiajaloolisel ajal tarvitati koos nefriidiga jt. (vt. küünekivi) kirvesteks jne.

### Spodumeen. $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ .

$a : b : c = 1,128 : 1 : 0,623$ ;  $\beta = 69^{\circ} 32'$ . Harilikult plaatjas või laiakiireline; kristallid vahel mõni meeter pikad, auklikkude pindadega ja pikuti  $\{001\}$  soonelised.

Lagunevus (mitte lõhevus)  $\{100\}$  järgi. K.  $6\frac{1}{2}$ —7. E.-k. 3,1—3,2. Klaasiläige. Läbipaistev. Harva värvitu, harilikult lilla, roheline, roosa või kollane. Sageli pealt murenenud ja seepärast tuhm-hall või -roheline.  $\alpha = 1,66$ ,  $\gamma = 1,68$ .

Sisaldab vahel ka Na. J.-t. ees sulab kohevile ajades, kusjuures leek muutub punaseks.

Kuntsiidiks nimetatakse lillat või roosat selget spodumeeni, mida lihvitakse kalliskivina, samuti rohirohelist või kollast hideniiti.

Spodumeen on liitiumimaak. Toodetakse Tiroolis, Šotimaal, Dakotas, Kalifornias, Põhja-Karoliinas, Madagaskari saarel ja Brasiilias.

### Trikliinsed pürokseenid.

Neist vaatleme vollastoniiti ja rodoniiti, mis on isomorfsed ja kristalliseeruvad pinakoidses klassis, olgugi et esimest kirjeldati seni monokliinsena.

### Vollastoniit. $\text{CaSiO}_3$ .

Tahveljad kristallid harvad, harilik esinemine liistuliste, leheliste või kiuliste massidena.

Lõhevus täiuslik  $\{100\}$  ja  $\{011\}$  järgi. K.  $4\frac{1}{2}$ —5. E.-k. 2,8—2,9. Klaasiläige, lõhenemispindadel pärlmutriläige, kiulistel ka siidiläige. Läbipaistev. Valge, hallikas või punakaskollane.  $\alpha = 1,619$ ,  $\gamma = 1,634$ .

J.-t. ees sulab visalt (sulamistemperatuur 1540°). Kangeis happeis lahustub, eraldades SiO<sub>2</sub> geli. Leidub sageli metamorfsetes lubjakivides.

### Rodoniit. MnSiO<sub>3</sub>.

Kristallid väga harvad. Harilikult plaatjana, teralisena või tihedana.

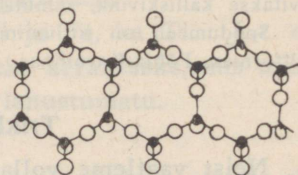
Lõhevus täiuslik {110} ja {1 $\bar{1}$ 0} järgi. Vintske (kristallid haprad!). Murd konnakarpjas või ebatasane. K. 5½—6½. E.-k. 3,4—3,7. Klaasiläige. Selge, läbipaistev. Punane mitmesuguse varjundiga. Murenemisel tekivad temas mustad laigud või sooned. K.-m. väike ja vahelduv, nii et mõni rodoniit on +, mõni —;  $\beta = 1,74$ .

Osa Mn on harilikult asendatud Ca või Fe-ga. J.-t. ees Mn reaktsioon; happeis ei lahustu.

Peamiselt kontaktmineraalina leidub Massachusettsis (USA), Huelvas (Hispaania), Uuralis mitmes kohas. Ilusad roosad tüki-kesed annavad materjali iluasjadeks; osa on Mn-maak.

### Amfibooli (küünekivi laias mõttes) rühm.

Ruumvõre SiO<sub>4</sub> otsatud ahelad on kinnised (joon. 206), nagu oleks pürokseeniahel kokku kasvanud oma peegelpildiga. Tulemusena ilmneb siin lõhenemispindade vahel nurk 124°, millega kristallide välimus ligineb heksagoonsele, olgugi et enamik amfibooli on monokliinsed; vähe on rombilisi. Trikliinsed mineraalid, mida seni sellesse rühma on paigutatud, röntgenograafiliste uurimiste alusel siia ei kuulu.



Joon. 206.

Keemiliselt erineb amfibooli rühm pürokseenidest sagedase F ja OH-sisaldusega. Kui F ja OH jätta tähele panemata, oleks rombiliste amfiboolide valem (Mg, Fe)SiO<sub>3</sub>, millega teatavatel juhtudel seltsib ka Al; monokliinsete valem oleks rikkam nii kahe- kui ka enamvalentseist elementidest. — Rombilistest amfiboolidest tutvume ainult antofülliidiga.

### Antofülliid. $7(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Leidub pulgaliste ja kiuliste (asbestjate) massidena. K.  $5\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,9—3,2. Klaasi- või pärlmutriläige. Läbipaistev. Helepruun või kollakashall; sarnaneb brontsiidiga ja hüpersteeniga. Hästi pleokroiitiline.

J.-t. ees sulab visalt; happeis ei lahustu. Leidub Norras, Shetlandi saartel, Baieris ja Moraavias. \*Metamorfsetes kivi- mites on sagedane ka  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -sisaldusega teisend (gedriit).\*

### Aktinoliidi (kiirjaskivi) rühm.

Need amfiboolid ei sisalda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ja  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Monokliin- prismaalsed.

### Aktinoliit. $2\text{CaO} \cdot 5(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

$a : b : c = 0,541 : 1 : 0,293$ ;  $\beta = 73^\circ 58'$ . Harilikult pulkjate või kiuliste massidena; kiud kas paralleelsed, kiirtena laienevad või läbisegi asetsevad; kui kristallid, siis harilikult liistjad. Kor- duvad kaksikud (100) järgi.

Lõhevus täiuslik {110} järgi. K.  $5\frac{1}{2}$ —6. E.-k. 2,9—3,1. Klaasiläige. Läbipaistev ja läbipaistmatu, harva selge. Roheline mitmes toonis.

Vahel sisaldab ka pisut Al, Na ja F. J.-t. ees sulab; happeis peaaegu ei lahustu.

Eristatakse liike:

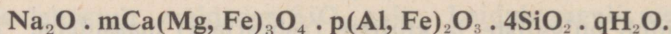
1) kiirjaskivi (aktinoliit) kitsamas mõttes — sisaldab palju Fe ja on tumeroheline; esineb sageli talk- ja kloriitkilt- kivides;

2) amiant (mäelina ehk amfiboolasbest); sageli pika- ja peenekiulised agregaadid, kiud painduvad, kuid on rabadamad kui serpentiin-asbestil; kui kiud on viltjalt läbi kasvanud, nime- tatakse agregaati vahel mäenahaks ja mäekorgiks; lei- dub Alpides ja Põhja-Itaalias;

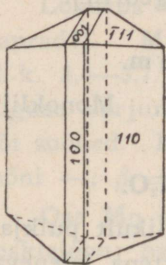
3) tremoliit on peaaegu ilma Fe-ta, mistõttu värvilt on valge, hall või pisut rohekas; esineb talk-kiltkivides ja serpen- tiinides; leidub peamiselt Šveitsis (Tessin) ja Edela-Aafrikas;

4) nefriit on väliselt tihe, kuid peentest aktinoliidikiu- dudest vilditud vintske kivi, poolläbipaistev, rohekashall. Sar- naneb jadeiidiga, kuid ei sisalda Na ega Al. Kiviaegse inimese otsitud riistamaterjal. Leidub Aasias (Kuenlun, Baikal) ja Uus- Meremaal, vähesel määral ka Euroopas.

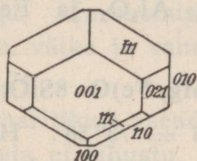
## Harilik amfibool (küünekivi).



$a : b : c = 0,548 : 1 : 0,294$ ;  $\beta = 75^\circ 2'$ . Kristallid kuusnurkse läbilõikega, mille moodustavad  $\{110\}$  ja  $\{010\}$ ; otstes esinevad  $\{001\}$  ja  $\{\bar{1}11\}$  (joon. 207 ja 208). Kaksikud  $(100)$  järgi. Sageli paralleelselt kokku kasvanud augiidiga. Esineb ka pulkjate või kiuliste massidena.



Joon. 207.



Joon. 208.

Lõhevus täiuslik  $\{110\}$  järgi; laguneb vahel ka  $\{001\}$  ja  $\{100\}$  järgi. K. 5—6. E.-k. 2,9—3,4. Klaasiläige. Roheline ja must. Kriips hallikasroheline või pruun.  $\beta$  umb. 1,64. K.-m. —, välja arvatud pargasiit, mille k.-m. on +.  $2V = 80^\circ$  kuni  $85^\circ$ . Tugev pleokroism: sinakasrohelistest või pruunist helerohelise

või kollaseni. Võib sisaldada ka Mn, Ti ja F. J.-t. ees sulab, kusjuures rauda sisaldavad sulavad kergemalt, andes magnetilise terakese. Happeis ei lahustu.

Alaliike: 1) tumeroheline pargasiit, mida leitakse Soomes seoses kontaktmetamorfse lubjakiviga; 2) basaltküünekivi, mis sisaldab palju Fe; on sagedane nooremates purskekiivimites; üldse on harilik amfibool väga sagedane mineraal, moodustades olulise või mitteolulise koosteosana nii tard- kui ka moonekivimeis; \*3) alkali amfiboolid — erinevad  $\text{Na}_2\text{O}$  sisalduselt. Tähtsamad on arfvedsoniit ja riebekiit alkaligraniitides ja süeniitides ning sinine glaukofaan metamorfseis kiltades.\*

5. sugukond.

## $\text{SiO}_4$ -TETRAEEDRID LÕPMATUIS TASAPINNALISTES VÕRKUDES (LEHTEDES).

### A. Heksagoonsed silmused.

Vilk, kloriit, talk, kaoliin ja ka serpentiin omavad ruumvõresid, kus  $\text{SiO}_4$  tetraeedrid esinevad seotuna tasapinnalistesse võrkudesse, nagu näitab joonis 191. Sääraste võrkude vabad valentsused on harilikult suunatud ühele poole, kus neid siis külastavad ioonid Mg, Ca, Fe...), mis peale Si ja O kuuluvad mi-

neraali koostisse. Ka siin võib tetraeedrites Al asetuda Si asemele, vastava kompensatsiooniga valentsuses. Selliste tasapinnaliste võrkude („lehtede“) suunas on mineraalidel täiuslik lõhevus ja ka translatsioon, sest lehtedevahelised valentsussidemed on nõrgad.

### Talk. $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Monokliin-prismaline. Mõõdetavate kristallidena ei esine. Ruumvõre koosneb joon. 191 näidatud „lehtedest“, millede ristiläbilõiget (2 lehte) kujutab joon. 209. Lehe-, kooriku-, harva pulgakujulise struktuuriga, ka tihedana ja neerja välimusega.

Lõhevus väga täiuslik  $\{001\}$  järgi. K. 1, pehme, lehekeseid painduvad; tundub rasvasena. E.-k. 2,6—2,8. Rasva- või pärlmutriläige. Läbipaistev või läbipaistmatu. Värvitu, rohekas.  $a = 1,539$ ,  $\gamma = 1,589$ .  $2V = 6-30^\circ$ .

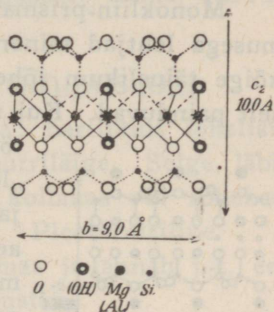
J.-t. ees avanevad lehed, mis helendavad, kuid ei sula; happeis ei lahustu. Tihedaid, vahel ka kollakaid, punakaid ja pruunikaid talgimasse nimetatakse mõnikord steatiidiks (rasvakiviks), potikiviks või ka nikerduksiviks, sest neist valmistatakse väikesi kujakesi, eriti Tiibetis ja Hiinas.

Leidub seoses kristalsete kiltkividega mitmes kohas Saksa maal, Šveitsis, Prantsusmaal, Rootsis, Uurali mägedes, Hiinas, Kanadas ja Transvaalis. Annab tulekindlat materjali mitmesuguseks otstarbeks; tarvitatakse kosmeetikas ja paberitööstuses lisandiks paberimassile.

### Pürofülliit. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Romb-bipüramiidne. Talgi ruumvõret vt. joon. 209, kus Mg on asendatud Al-ga, kuna \*-ga märgitud kohad jäävad tühjaks. Sassiskiirelised või tihedad massid, sarnased steatiidiga.

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  järgi. Painduv ja tundub rasvasena. K.  $1\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,8. Pärlmutri- ja hõbedaläige (nagu üksteise peal asetsevatel klaasilehtedel). Läbipaistev. Valge, kollakas või rohekas.  $a = 1,552$ ,  $\gamma = 1,600$ .



Joon. 209.

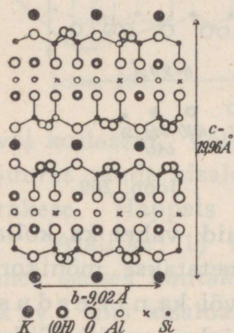
J.-t. ees ei sula, ainult lahustub lehekesteks. Vesi eraldub alles 730° t<sup>0</sup>-s. Vävelhappes lahustub visalt.

Tihedad teisendid, nimetusega agalmatoliit, on samuti nagu talgil otsitud nikerdusmaterjal, eriti Hiinas.

Leidub USA-s (Arkansas, Georgia, Põhja-Karoliina), Uurali mägedes, Belgias, Rootsis, Šveitsis, Ungaris, Brasiilias ja Hiinas. Tarvitatakse tulekindla materjalina ja nikerdusteks.

### Vilkude rühm.

Monokliin-prismalised, kuid heksagoonse või rombiline välimusega lehtjad mineraalid. Kõigil vilkudel on mineraalide seas kõige täiuslikum lõhevus {001} järgi; lõhendlehekesed on elastiselt painduvad. Kui sellisesse lehekesse järsu haamrilöögiga lüüa tömp nõel, tekib lehekeses kuuekiireline „löökkuju“; kiirtest on kaks paralleelsed (110) ja [010] suundadega. Kui õige tömpi nõela aeglaselt vajutada lehekesse, mis asetatud pehme alusele, tekivad kiired asendites, mis poolitavad eelmiste kiirte vahelisi nurki.



Joon. 210.

Kui (harva!) esinevad mõõdetavad kristallid, siis on neis harilikult esindatud {001}, {110} ja {010}. Esinevad ka kaksikud (001) järgi. Ruumvõre — lehed nagu joon. 191; lehtede ristiläbilõige on sarnane joonisel 210 toodud muskoviidi omaga.

Keemiliselt esinevad kõigis vilkudes OH, mõni leelismetallidest (K, Na, Li, Rb, Cs), kolmevalentseist kas Al või Fe; endastmõistetavalt ka Si; võivad aga peale selle esineda Ba, Cr, Mn, V, Ti, Mg ja Zn. Üldist valemit on raske anda.

### Muskoviit (kaalivilk). $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

$a : b : c = 0,577 : 1 : 2,217$ ;  $\beta = 95^\circ 5'$ . Ruumvõres  $a = 5,18$ ,  $b = 9,02$ ,  $c = 20,04$  Å. Esineb koorikuliselt, leheliselt, soomuselisel ja tihedana, viimasel kujul tuntud seritsiidi nime all. K. 2—2½. E.-k. 2,8—2,9. Pärlmutriläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, kollakas, rohekas, punakas või pruunikas.  $a = 1,556$ ,  $\gamma = 1,593$ . I poolitaja peaaegu risti (001)-ga.  $2V$  umb.  $40^\circ$ .

Osa K-st asendab Na, osa Al-st Fe ja Si; Mg esineb harva. J.-t. ees sulab visalt halliks või kollakaks kerakeseks; happeis ei

lahustu. — Kui Na on ülekaalus, siis nimetatakse sellist heledat vilku paragoniidiks.

Suhteliselt sagedane mineraal. Graniitide ja teiste sarnaste tardkvimite, samuti kristall-kiltkivide oluline osa; ka liivakivides ja liivades sagedane, sest allub visalt keemilisele murenemisele; murenedes laguneb peamiselt kaoliiniks. Tehniliselt tarvitata kõrges kuumuses olevaiks aknakesteks, kaitseprillideks ja elektrisolatsiooniks. Peamised tootmismaad: India (Bengalia), USA (Põhja- ja Lõuna-Karoliina, Maryland, New York), Brasiilia, Argentiina, Kanada, Lõuna-Aafrika, Madagaskar, Hiina, NSVL, Jaapan, Korea ja Austraalia.

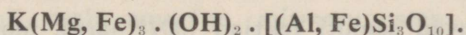
### **Flogopiit (magneesiavilk). $\text{KMg}_3(\text{F}, \text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ .**

Mõõdetavate kristallidena esineb harva; harilikult leheliste massidena. K. 2—3. E.-k. 2,7—3,0. Pärlmutriläige, Selge, läbipaistev. Värvitu (harva), punakaspruun, kollakas või rohekas.  $\alpha = 1,534$ ,  $\gamma = 1,566$ .  $2V$  umb. 5 kuni  $10^\circ$ . Pleokrooiitiline.

Sisaldab 1—2% FeO; F on alati olemas ja annab j.-t. ees oma reaktsiooni. Keevas väävelhappes lahustub.

Leidub Soomes, Roots, Norras, Alpides, USA-s (New Yorki osariigis), Kanadas ja Tseilonil. Tarvitatakse samaks otstarbeks kui muskoviiti.

### **Biotiit (magneesiaraua vilk, must vilk).**



Vähe mõõdetavaid kristalle, nagu teistelgi vilkudel; harilikult lehekeste pakkidena.

K.  $2\frac{1}{2}$ —3. E.-k. 2,8—3,2. Pärlmutriläige. Läbipaistev kuni läbipaistmatu. Tumepruun, tumeroheline ja must.  $\alpha = 1,54$ —1,58,  $\gamma = 1,57$ —1,64.  $2V$  muutub 0-st  $35^\circ$ -ni. Pleokroism tugev.

Keemiliselt väga muutuv, nii et ülalantud valem annab ainult keskmise koostise. Valemis antud ainete suhtelised arvud võivad muutuda, samuti lisanduda Mn, Ti ja F. J.-t. ees sulab klaasiks. HCl lahustab pisut; keev  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lahustab täielikult.

Kõige sagedamini leiduv vilk. On oluline koostesa paljudes tardkivimeis ja kristall-kiltkivides (eriti gneisis, vilkkildas), samuti kontaktkivimeis. Mureneb kergemini kui muskoviit; biotiidi osaliselt murenenud metalselt läikivad litrikesed on tuntud „kassikullana“. Tarvitatakse odavamate isolatsiooniesemete valmistamiseks.

## Liitiumvilgud.

Sisaldavad peale biotiidi koostise veel Li ja F. Osa neist — tsinnvaldiit — sisaldab ka palju Fe ja nad on harilikult tumedad (pruunikad, rohekad) või koguni mustad; teistes — lepidoliit — puuduvad Mg ja Fe ja nad on värvilt valged, roosad, hallid või rohekad. Annavad j.-t. ees Li-reaktsiooni, sulavad kergesti. Rohkem rauda sisaldavad tsinnvaldiidid lahustuvad happeis, lepidoliit — mitte.

### Margariit (lubivilk). $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Leidub õhukestes kuuenurgelistes lehekestes ja ka teraliste või soomuseliste kogumikena.

Lõhevus nagu muilgi vilkudel, väga täiuslik, kuid lehekesed on haprad, paindumatud. K. 4. E.-k. 3. Eriti tugev pärlmutriläige. Läbipaistev. Valge, hallikas või punakas.

J.-t. ees sulab väga visalt, hargnedes lehekesteks. Happeis lahustuv.

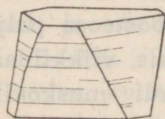
Leidub peaaegu kõigis smirgli leiukohtades (Naxos'e saar jne.), Tiroomi kloriitkiltkivis, Uuralis berüllis leiukohas.

Margariit moodustab vahepealse lüli nn. habrasvilkude (kloritoidide, millede üks esindaja on näit. otreliid) ja pärisvilkude vahel. Habrasvilgud on vähem lõhenevad, nende lõhendlehekesed ei paindu ja on haprad, k. on neil 6—7, e.-k. kuni 3,6, optiliselt on nad positiivsed väikese k.-m. puhul, kuna  $n$  on suurem kui pärisvilkudel (kloritoididel  $\beta = 1,72$ ). Nad leiduvad kontaktvööde välisosades).

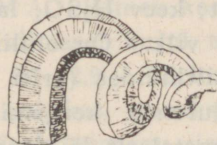
## Kloriidi rühm.

Siia kuuluvad samuti lehtjad {001} järgi, monokliinprismaalsed mineraalid, kõvadusega harilikult  $1\frac{1}{2}$  ja  $2\frac{1}{2}$  vahel, painduvate, kuid mitte elastsete lehekestega. Keemiliselt sarnanevad osalt vilkudega, kuid valemid on keerulisemad. Sisaldavad vett, mis ühel osal (ortokloriidid: klinokloor, penniin) eraldub kuumutamisel üle  $500^\circ$ , teistel (leptokloriidid: šamosiit, turingiit) osaliselt juba madalamas temperatuuris.

### Klinokloor. $5\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .



Joon. 211.



Joon. 212.

Kristallid pesadena, heksagoonse välimusega, kas püramiidsed, romboedriliised (joon. 211) või tahveljad; mõnikord kruvitaoliselt painutatud (joon. 212). Soomusjate massidena kloriitkiltkivides.

E.-k. 2,5—2,8. Pärlmutri- või klaasiläige. Läbipaistev. Tumeroheline.  $a = 1,59$ ,  $\gamma = 1,60$ . Pleokroitiiline.

J.-t. ees sulab visalt kollaseks helmeks.  $H_2SO_4$ -s lahustub.

### **Penniin.** $6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 5H_2O$ .

Kristallid pesadena, romboeedrilise välimusega. Ka tihedana. E.-k. 2,6—2,8. Pärlmutri- või klaasiläige. Selge või ainult läbipaistev. Sinakasroheline, kuid ka punakas või hall.  $a = 1,576$ ,  $\gamma = 1,579$ .  $2V$  lähedane nullile. Tugev pleokroism.

J.-t. ees laguneb lehekesteks ja sulab kollakaks helmeks. Väävelhappes lahustub.

### **Šamosiit.** $3FeO \cdot 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ .

Tihe või peen-ooliitne mineraal. E.-k. 3,2. Rohekasmust. On rauamaak umb.  $25^\circ$  Fe-ga. Leidub Šveitsis (Chamoson) ja ka Lotringi minettides.

### **Turingiit.** $8FeO \cdot 4(Al, Fe)_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 9H_2O$ .

Peeneterine või soomuseline. E.-k. 3,2. Tumeroheline. Samuti rauamaak umb.  $28^\circ$  Fe-ga; leidub Saksimaal, Karintias ja Sudeedimaal. Lahustub HCl-s.

### **Glaukoniit.** $KFeSi_2O_6 \cdot H_2O$ .

Terakestena, osalt amorfne, mitmesugustes kivimites, eriti lubjakivis, liivas ja savis. Koguni iseseisva kivimina (glaukoniitliiv). Ei kuulu täpselt kloriidi rühma, kuid värvilt on samuti tumeroheline (kuni mustani). Leidub laialdaselt, ka Eestis, eriti alam-ordoviitsiumi lademeis. Suurema K-sisalduse puhul on väetisena tarvitata.

### **Kaoliini rühm.**

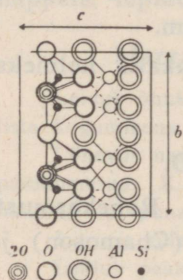
Alumosilikaadid veega, koostisega  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , kust vesi eraldub alles hõõgtemperatuuril.

### **Kaoliiniit (kaoliin, portselansavi).**

Monokliin-doomaline.  $a : b : c = 0,635 : 1 : 1,793$ ;  $\beta = 79^\circ 48'$ . Ruumvõre aluseks on lehed (joon. 191); lehe ristläbilõiget kujutab joon. 213;  $a = 5,14$ ,  $b = 8,90$ ,  $c = 14,51$  Å. Kristallid harvad. Harilikult tihedad peensoomuselised või muldjad massid.

Lõhevus täiuslik {001} järgi; lehekesed painduvad. Murd muldjalt ebatasane. K. 1. Tundub harilikult rasvasena. E.-k. 2,1—2,6. Tuhm. Harva läbipaistev, harilikult läbipaistmatu. Valge, kollane, punakas, pruunikas, rohekas või sinakas.  $a = 1,561$ ,  $\gamma = 1,566$ . Veega segatult annab plastilise massi; suurematest kristallidest koosnemise korral tuleb enne jahvatada.

J.-t. ees ei sula. HCl ei suuda täielikult lahustada; kange  $H_2SO_4$  lahustab täielikult.



Joon. 213.

Eristatakse veel dikiiti ja nakriiti, mis on küll kaoliniidiga koostiselt võrdsed, kuid pisut erinevad ruumvõrelt, teketemperatuurilt ja vee eraldamise soojuselt, mis on kaoliniidil  $390-450^\circ$ , dikiidil  $510-575^\circ$  ja nakriidil  $600-650^\circ$ .

Kõik need mineraalid on alumosilikaatide muurenemise saadused. Võib arvata, et need saadused algstaadiumis olid kolloidses olekus, mis soodustas nende edasikandmist veevoolude poolt. See-tõttu leidub kaoliiniainet peaaegu kõigis setekivi-

meis, eriti aga savides, mis kujutavad kaoliini lademeid, segatud liiva, vilgu, orgaaniliste ja muude ainetega. Värvu annab savidele harilikult rauaoksüüd. Kui viimast on palju, võib savi tarvitada punase kriidina (osalt tuntud booluse nime all). Kui säärane savi on pruun, nimetatakse teda vahel umbraks. Mõned savisordid on peenepoorilised, mistõttu nad võivad imada rasvaineid, — neid tarvitatakse riide vanutamisel ja mõnda sorti seebi asemel kalgi (näit. mere-) veega pesemisel.

Savi tarvitamiselad on üldtuntud. Eestis leidub kaunis puhast (tulekindlat) savi Petseri- ja Võrumaal, keskdevoni kihtides.

\*Peale kaoliinsavide on tuntud veel peliitsavid, mis koosnevad mehaaniliselt peenendatud mineraalainest, erinedes põhjalikult eelmisest. Enamik Eesti savidest on peliidid.\*

### Serpentiini rühm.

Neist, samuti lehtjaist ruumvõredest koosnevaist mineraalidest vaatleme serpentiini, merivahtu ja garnieriiti.

#### Serpentiin. $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

Monokliin-prismaline. Esineb mikrokristalselt kiulise, lehtjana või soomuselise. Ruumvõre kiulistel (krüsotiil):  $a = 14,66$ ,  $b = 18,5$ ,  $c = 5,33$  Å; lehtjail (antigoriit):  $a = 5,3$ ,  $b = 9,3$ ,  $c = 14,5$  Å.

Lõhevus on krüsotiilil ebaselge {110} järgi, antigoriidil selge {001} järgi. Murd konnakarpjas või killuline. Pole habras. K. 3—4. E.-k. 2,5—2,6. Tuhm või vilkuv. Läbipaistev kuni läbipaistmatu. Mitmeti kirjuvärviline, rohekas värv eelistatud. K.-m. madal, on kas + või —;  $\beta = 1,50—1,57$ . Vähene pleokroism.

Sisaldab ka Fe, vahel ka Ni. J.-t. ees sulavad ainult õhemad servad, Co-lahusega muutub pulber kuumutamisel valkjaspunaseks. Happeis lahustub  $\text{SiO}_2$  eraldamisega.

Eristatakse liike: 1) kallisserpentiin — läbipaistev, puhtavärviline, helerohekaid või kollakaid toone, tihe ja homogeenne; 2) harilik serpentiin — läbipaistmatu, tumedate segavärvidega, sageli muutuvatega, ka tihe; 3) asbest, krüsotiil — kergesti eraldatavate elastsete kiudude kujul; 4) antigoriit (lehtserpentiin) — läbipaistev tumeroheline, kihilise struktuuriga.

Peamine asbestitootja on Kanada, edasi Transvaal, Rodeesia ja Küprose saar. Harilikku serpentiini leidub suurtes massides väga mitmes paigas.

Kallisserpentiini lihvitakse iluasjuks, harilik leiab vahel tarvitamist ehitustehnikas. Asbesti tarvitatakse tulekindla riide, papi jne. valmistamisel ja soojusisolatsiooniks, samuti filtrimaterjaliks ja katalüsaatorite aluseks.

### Merivaht (sepioliit). $2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Esineb muguljate massidena. Murd konnakarpjas. K. 2—2½. E.-k. 2, kuid poorsuse tõttu ujub vee peal. Tuhm. Läbipaistmatu. Valge, hall, kollakas või punakas. Jääb tugevasti keele külge.

J.-t. ees tõmbub kokku ja sulab ainult servadel. Kinnises torus eraldab vett, kuid lõplikult eraldub vesi ainult hõõgtemperatuuril. Soolhappes lahustub.

Peamine tootekoht Eski Šehir Väike-Aasias. Merivahust tehakse piibupäid, sigaretipitse jne., sest ta on kergesti poleeritav, tulekindel ja halb soojusjuht.

### Garnieriid ( $\text{Ni, Mg}$ )O . $\text{SiO}_2$ . $\text{H}_2\text{O}$ .

Amorfne; mugula- ja purikakujuline. K. 2—4. E.-k. 2,2—2,7. Roheline. Leidub suuremal hulgal Uus-Kaledoonia saarel, kus ta leiab tarvitust hea nikli-maagina.

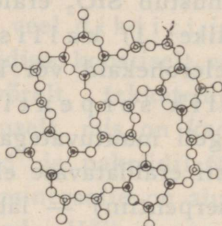
## B. Tetragoonsed silmused.

Ruumvõrede lehti tetragoonsete silmustega omavad apofülliit ja meliliit. Apofülliidid ruumvõre lehe skeem on näidatud joonisel 214.

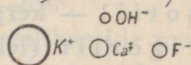
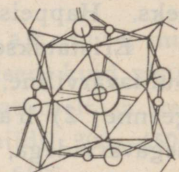
**Apofülliit (ihtüoftalm, kalasilm).  $\text{KF} \cdot \text{Ca}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ .**

Ditetraoon-bipüramiidne;  $a : c = 1 : 1,251$ . Ruumvõres (joon. 214 ja 215) on  $\text{SiO}_4$  tetraeedrid ühendatud neljakaupa lehtedesse, mis vastavad  $\{001\}$ -le.  $a = 9,0$ ;  $c = 15,8 \text{ \AA}$ . Kristallid mitmesuguse välimusega, kus peamiselt esinevad  $\{111\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{001\}$  ja  $\{210\}$ . On ka lehelisi, koorikulisi ja teralisi masse.

Lõhevus väga täiuslik  $\{001\}$  järgi. Murd ebatasane. Habras. K.  $4\frac{1}{2}$ —5. E.-k. 2,3—2,4. Lõhenemispindadel pärlmutriläige ja eriline valguskiiritus („kalasilm“). Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, roosa, pruun, rohekas, punakas või kollakas. Optiliselt sageli anomaalne, vahel kahteljeline, vahel ühe ning sama kristalli osad + või —.



Joon. 214.



Joon. 215

(joon. 214 keskkoha üksikasjaline kujutis).

Alaline K- ja F-sisaldus sundis tunnustama ülaltoodud keemilist valemit. J.-t. ees laguneb lehekesteks, punsub ja sulab. Pulbrina lahustub soolhappes, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli.

Leidub basaltide, aga ka graniitide õõntes ja lõhedes Islandil ja Gröönimaa rannikusaartel, Saksis, Harzis, Tirolis, Rootsis ja mitmes kohas USA-s.

**Meliliit.  $(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Mg}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_7]$ .**

Tetraoon-skalenoedriline;  $a : c = 1 : 0,46$ . Kristallid väikesed; esinevad  $\{001\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{310\}$  ja  $\{111\}$ .

Lõhevus vahel selge  $\{001\}$  järgi. K. 5—5 $\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,9—3,0. Klaasiläige. Selge, enamikus sogane. Värvitu; kollane, hall või pruun (meekarva). Optiliselt sageli anomaalsed interferentsvärvid ja vöödilise struktuur.

Väga muutlik keemiline koostis; varieerub kahe piirimineeraali vahel: üks ilma Ca-ta ja teine ilma Mg-ta. J.-t. ees sulab visalt; HCl-s lahustub kergesti, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli.

On oluline koostiosa mõningais basaltides (Koloraado, Ida-Aafrika, Lõuna-Saksamaa). Kunstlikult tekib mõningates tsementides ja räbudes.

## SiO<sub>4</sub> TETRAEEDRID KOLMEMÕÖTMELISTES VÕREDES.

Puhtal kujul ilmnevad sellised võred ränil, tridümiidil ja kristobaliidil, milledega eespool tutvusime. Kui mineraalis esineb peale Si ja O ka teisi elemente, siis sellised ruumvõred moonduvad. Nagu senivaadeldud rühmades, nii võib ka siin tetraeedrite Si asendada Al-ga. Mõningad elemendid või elementide rühmad, eriti suured anioonid OH, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, F, Cl võivad olla seotud ruumvõres mitte otseselt tetraeedrite O-ga, vaid kaudselt, näit. üle Ba või Ca.

### Päevakivide (põldpagude) rühm.

Siiakuuluvatel mineraalidel on pseudotetragoonsed ruumvõred. Kogu rühma on võimalik tuletada kolmest piirimineraalist: 1) kaalipäevakivi — ortoklaas:  $KAlSi_3O_8$  ehk  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  (lühendatult or); 2) naatriumpäevakivi — albiit:  $NaAlSi_3O_8$  ehk  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  (lühendatult ab) ja 3) kaltsiumpäevakivi — anortiit:  $CaAl_2Si_2O_8$  ehk  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  (lühendatult an). Or seguneb väga vähe ab ja an-ga, kuid viimased on omavahel piiramatult isomorfset segatavad ja annavad pideva rea mineraale, milledele on antud ka eri nimetusi, kui nad sisaldavad ab ja an vahelist molekulide vahekorda teatavais piirides. Mõningais päevakivides esineb ka Ba, puuduvad alati Mg ja Fe.

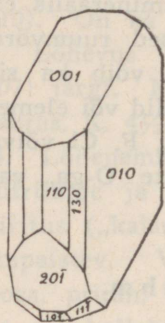
Ortoklaasi peetakse monokliinseks (prismaline klass), kuid sama keemilise koostisega esinev mikrokliin on trikliinne (pinakoidne klass); ab ja an segud, mis ühendatakse ühisesse plagioklaaside rühma, on samuti trikliinised (pinakoidne klass).

### Ortoklaas. $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ .

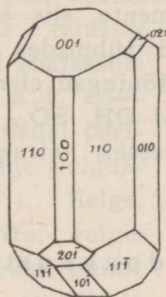
$a : b : c = 0,652 : 1 : 0,555$ ;  $\beta = 63^\circ 57'$ . Ruumvõre ei ole veel täpselt määratud, kuid ühikrakukese mõõtmed on  $a = 13,2$ ,  $b = 13,1$ ,  $c = 8,6$  Å. Esinevad  $\{001\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{130\}$ ,  $\{11\bar{1}\}$ ,  $\{021\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{20\bar{1}\}$ ,  $\{10\bar{1}\}$  ja  $\{20\bar{3}\}$ . Esineb üksikult, pesadena ja teralisena; kristallid on mõnes paigas veerand meetri pikkused ja paksused; tuleb ette koguni majasuurusi. Kristallid on välimuselt leiukohtade järgi erinevad: kas tahveljad  $\{010\}$  järgi

(joon. 216) või prismalised  $[001]$  järgi (joon. 217). Kaksikud sagedad, eriti järgmise kolme seaduse järgi:

1) karlsbadi kaksikud, kus kaksikteljeks on  $\{001\}$  või, mis annab sama resultaadi, kaksikpind  $(100)$  (vt. joon. 218, kus teise komponendi tahkude sümbolid on alla kriipsutatud);



Joon. 216.

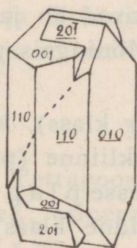


Joon. 217.

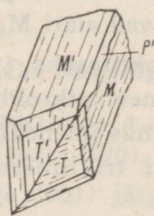
2) baveno kaksikud — kaksikpinnaks  $(021)$  (vt. joon. 219, kus  $M$  on  $\{010\}$ ,  $P$   $\{001\}$  ja  $T$   $\{110\}$ ; teisel komponendil märgiga); nad on alati  $[100]$  järgi pikergused;

3) manebahi-kaksikuil on kaksikpinnaks  $(001)$  (vt. joon. 220); ka need on  $[100]$  järgi pikergused.

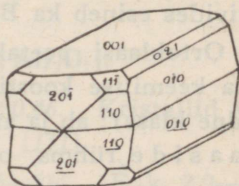
Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  järgi, vähem täiuslik  $\{010\}$  järgi; mõnedel ilmnevad veel täiendavad lõhevussuunad. Murd kas ebataasane või killuline. Habras. K. 6. E.-k. 2,53—2,56. Vesiselge kuni täiesti sogane.  $\{001\}$ -l harilikult pärlnutriläige, muidu aga klaasiläige. Värvitu harva, harilikult valge, hall, punakas või rohekas.  $\alpha = 1,519$ ,  $\gamma = 1,525$ ;  $2V = 0$  kuni  $70^\circ$ .



Joon. 218.



Joon. 219.



Joon. 220.

Harilikult sisaldab ka pisut Na, vastavalt ab lamellide sisaldusele. Need lamellid on enamalt jaolt mikroskoopilised ja moodustavad koos ortoklaasiga pertiidi nime all tuntud seaduspäraseid kokkukasvamisi. Peale hariliku ortoklaasi eristatakse:

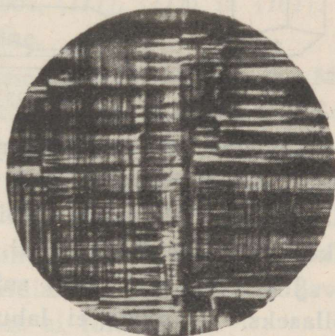
1) adulaari — vesiselge, vahel kloriidiga läbi kasvanud;  
 2) sanidiini — hall, hilisvulkaanilistes laavades esinev, tugeva klaasiläikega ja sageli lõhenenud pindadega; sanidiinis esineb ka  $\text{Na}_2\text{O}$ , kuid ta ei ole eraldunud albiidilamellide näol;

3) k u u k i v i (mis võib olla aga ka plagioklaas!) — adulaar või sanidiin, mis omab mõnes suunas erilist valguskuma.

Ortoklaas on kõige sagedam mineraal maakooses. Graniitide, süeniitide ja mõningate teiste tardkivimite oluline koostesa; leidub pegmatiitides eriti suurte massidena. Murtakse paljudes kohtades materjaliks portselani- ja üldse keraamikatööstusele.

### Mikrokliin. $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ .

Välimuse järgi ortoklaasist vaevalt eristatav; ainult mikrokoobi all selgub, et ta koosneb trikliinseist lamellidest, mis moodustavad korduvaid kaksikuid albiidi ja perikliini seaduse järgi (vt. allpool albiidi juures!), mispärast mikrokoopiline pilt ristinikolite all ilmub iseloomustava võrguna (joon. 221).



Joon. 221.

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  ja  $\{010\}$  järgi. K. 6. E.-k. 2,54—2,57. Läge, läbipaistvus ja värv samad kui ortoklaasil; vahel ka roheline, mis juhul kannab mineraal a m a t s o n i i d i nime.  $a = 1,518$ ,  $\beta = 1,525$ ;  $2V = 83^\circ$ .

Keemiliselt ühtib ortoklaasiga.

Olgugi et makroskoopiliselt on raske eristada mikrokliini ja ortoklaasi, võib siiski arvata, et mikrokliin esineb niisama sageli kui ortoklaas. Amatsoniiti leidub Uurali mägedes, Koloraados ja Pennsylvanias USA-s.

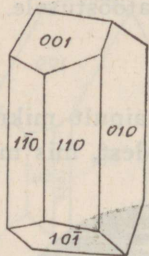
### Albiit. $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ .

$a : b : c = 0,663 : 1 : 0,558$ ;  $\alpha = 94^\circ 3'$ ,  $\beta = 116^\circ 29'$ ,  $\gamma = 88^\circ 9'$ . Kristallid tahveljad  $\{010\}$  järgi (joon. 222) või pikergused  $[010]$  järgi („perikliin“) (joon. 223). Esineb ka tiheda, plaatja või teralise massina. Kaksikud sagedad:

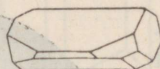
1) albiidi seaduse järgi: kaksikpind on  $(010)$  (joon. 224); sageli korduv lamellaarselt;

2) perikliini seadus — kaksiktelg on  $[010]$ ; kokkukasvamine toimub kas  $(001)$  kaudu või pinna kaudu, mis baasiga moodustab  $21^\circ$  nurga (joon. 225). Albiidi kaksikud esinevad ka

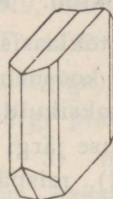
ortoklaasi puhul mainitud karlsbadi, baveno ja manebahi seaduse järgi, kuid sel juhul võib igäüht neist kahte seadusse jagunevaks tunnistada. Pole haruldane ka kahe kaksikuseaduse esinemine korraga, näit. albiidikaksikud võivad ühineda karlsbadi seaduse järgi.



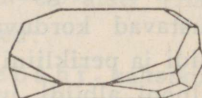
Joon. 222.



Joon. 223.



Joon. 224.



Joon. 225.

Lõhevus täiuslik  $\{001\}$  ja  $\{010\}$  järgi; selge ka  $\{110\}$  ja  $\{1\bar{1}0\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. K. 6—6½. E.-k. 2,62. Klaasiläige. Vesiselge, läbipaistev. Värvitu, valge või hall; rohekas, kui sisaldab kloriiti.

J.-t. ees ( $1110^\circ$  t<sup>0</sup>-s) sulab klaasiseks helmeks, värvides leegi kollaseks. Happeis ei lahustu.

#### Oligoklaas. 6ab 1an kuni 2ab 1an.

Värvitu, valge või rohekas koosteosa graniidis, räniporfüüris, lipariidis ja teistes tardkivimeis; ka gneisis.

#### Andesiin. 2ab 1an kuni 1ab 1an.

Esineb peamiselt andesiitides, samuti ka mõningais gneissides.

#### Labradoriit. 1ab 1an kuni 1ab 2an.

Värvitu, valge; väheste lisandite tõttu vahel ka hall, sinakas või pruun. Sillerdav värvimäng on omane eriti mõnedele labradoriitidele (Pauli saar, Ojama Soomes, Podoolia). Happeis lahustuv. Aluselistes purske kivimeis sagedane. — Kui an osa veelgi suureneb (kuni 1 ab 6 an), siis nimetatakse säärast päevakivi, kuigi ta labradoriidiga väga sarnaneb, *bütovniidiks*.

#### Anortiit. $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (1ab 6an — 1an).

$a : b : c = 0,635 : 1 : 0,550$ ;  $\alpha = 93^\circ 13'$ ,  $\beta = 115^\circ 55'$ ,  $\gamma = 91^\circ 12'$ . Kristallid sama välimusega nagu albiidil; ka samasugused kaksikud; esineb ka tihedate, teraliste või plaatjate massidena.

Lõhevus nagu albiidil, samuti ka murdepind ja kõvadus; E.-k. 2,76. Selge kuni läbipaistev. Valge, hallikas või punakas.  $a = 1,575$ ,  $\gamma = 1,588$ ;  $2V = 77^\circ$ .

J.-t. ees sulab visalt. Happeis lahustub  $\text{SiO}_2$  geli eraldamisega.

Väga aluseliste tardkivimite ja neist võrsunud moonekivimite osa. Ka metallurgiaräbudes sagedane.

### Skapoliit $m(\text{CaCO}_3 \cdot 3\text{an}) \cdot n(\text{NaCl} \cdot 3\text{ab})$ .

Tetragoon-bipüramiidne;  $a : c = 1 : 0,439$  (kuni 0,446). Kristallid prismalised, esinevad  $\{110\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{11\bar{1}\}$ ,  $\{111\}$  ja  $\{101\}$ . Ka tihe, jämedaterine, pulkjas ja kiireline.

Lõhevus täiuslik  $\{100\}$  järgi; vähem täiuslik  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 5—6. E.-k. 2,5—2,8. Klaasiläige. Selge kuni vähe läbipaistev. Värvitu, valge, vahel ka hall, sinakas, rohekas või punakas.  $\omega$  muutub 1,539-st 1,596-ni;  $\epsilon$  1,537-st kuni 1,557-ni.

Cl-sisaldus kuni 4,2%; mõnes esineb ka  $\text{SO}_3$ . J.-t. ees sulab; leek kollane. HCl lahustab anortiidiainet rohkem sisaldavaid, kuna rohkem albiidiainet sisaldavasse ei toimi.

Peaaegu puhtaid  $\text{CaCO}_3 \cdot 3\text{an}$ -skapoliite nimetatakse meioniidiks, puhtaid  $\text{NaCl} \cdot 3\text{ab}$ -skapoliite — marialiidiks. Skapoliit tekib kuuma vee toimel põldpagudele, esineb metamorfseis lubjakivides ning tardkivimites Ca assimileerimise puhul.

### Nefeliin (eleoliit). $\text{NaAlSiO}_4$ .

Heksagoon-püramiidne;  $a : c = 1 : 0,839$ . Ruumvõre nagu  $\alpha$ -tridümiidil, kus pooltes  $\text{SiO}_4$  tetraeedrites Si on asendatud Al-ga, mille asetuse tagajärjel alanenud ühe valentsuse kompensatsiooniks on ruumvõresse asunud Na. Kristallid lühiprismalised, harilikult esinevad  $\{10\bar{1}0\}$  ja  $\{0001\}$ , harvemini  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{11\bar{2}1\}$  ja  $\{11\bar{2}0\}$ . Korduvad kaksikud  $(0001)$  ja  $(11\bar{2}1)$  järgi on nii harilikud, et nefeliinikristalle võiks välimuse järgi arvata diheksagoon-bipüramiidsesse klassi. Esineb ka tihedate ja teraliste massidena.

Lõhevus ebatäiuslik  $\{10\bar{1}0\}$  ja  $\{0001\}$  järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. K.  $5\frac{1}{2}$ —6. E.-k. 2,6—2,65. Tahkudel klaasiläige, murdepinnal tugev rasvaläige. Vesiselge, läbipaistev.

Värvitu, kuid enamasti valge, hall, rohekas, kollakas või punakas.  $\omega = 1,544$ ,  $\varepsilon = 1,539$ .

Harilikult sisaldab ka K, vahel ühtlasi Ca. J.-t. ees sulab klaashelmeks. Happeis lahustub, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli. Pulber annab leelise reaktsiooni.

Sogaseid, halle, punakaid või sinakaid liike, mis on eriti õlise läikega, nimetatakse eleoliidiks, kuna nefeliini nimetus kitsamas mõttes jääb selgeile, värsketele liikidele.

On oluline koostesa paljudes süeniitides, fonoliitides ja basaltides. Nefeliinist loodetakse saada klaasi- ja nahaparkimis-tööstuse toormaterjali.

### Turmaliin.

$\text{M}_{20}\text{B}_2\text{Si}_4\text{O}_{21}$  ( $\text{M} = \text{K}, \text{Na}, \text{Li}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Al}, \text{Fe}; \text{F}; \text{OH}$ ).

Ditrigoon-püramiidne;  $a : c = 1 : 0,448$ . Ruumvõre lõplikult uurimata. Kristallid harilikult  $[0001]$  järgi pikad, pulkjad ja nõeljad; kui kiirtena rühmitatud, siis räägitakse „turmaliinpäikestest“. Pikad kristallid on harilikult pikuti joonitatud; harvemini esinevad lühikesed on tasased. Esineb suuri kristalle, aga ka mikroskoopilisi nõelakesi. Harilik kristallide ristiläbilõige on kolmekülgne, pisut kõverate külgedega (joon. 226; välistust vt. joon. 227). Peamiselt esinevad  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{11\bar{2}0\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{01\bar{1}\bar{1}\}$ ,  $\{02\bar{2}1\}$ ,  $\{01\bar{1}\bar{2}\}$ ,  $\{21\bar{3}1\}$ ,  $\{12\bar{3}2\}$  ja  $\{0001\}$ . Sekundaarselt liivas ja kruusas.

Lõhevus puudub. Murd konna-karpjas, ebatasane või killuline. Habras. K.  $7-7\frac{1}{2}$ . E.-k.  $3-3,2$ . Klaasiläige, murdepinnal ka pigiläige. Vesiselgest läbipaistmatuni. Värvitu (harva!), igasugustes värvides kuni pigimustani; sageli vöödilise või laiguline.  $\omega = 1,639$  kuni  $1,692$ ,  $\varepsilon = 1,620$  kuni  $1,657$ . Tugev pleokroism; harilik kiir absorbeerub peaaegu täielikult. Tugev püroelektritsism.



Joon. 226.



Joon. 227.

Väga muutlik keemiline koostis. Turmaliini suhtes tehti katseid püstitada alaliike, kuid neid on raske eristada. J.-t. ees sulavad rohkem Fe-d sisaldavad liigid kergesti, teised visalt. Happed lahustavad ainult põletatud (kuumutatud) turmaliini.

Peamiselt värvi järgi eristatakse alaliike:

- 1) akroiit — värvitu või pisut rohekas;
- 2) rubelliit — punane;
- 3) indigoliit — sinine;
- 4) roheline turmaliin, mille alla kuulub ka kroomturmaliin;
- 5) turmaliin kitsamas mõttes — must, on kõige sagedasem ja harilikum.

Turmaliin on väga sagedane, eriti seoses happelise magma intrusioonidega ja nendega ühenduses olevate soonte, pegmatiidide ja kontaktväljadega. Esineb ka kristall-kiltkivides ja inglisiin leiukohtades. — Ilusavärvilisi selgeid turmaliine tarvitatakse kalliskividena; samuti tehakse heledavärvilistest polarisatsiooniriistu (turmaliin-tangid); pieso-turmaliinidena tarvitatakse radio-saatejaamades laine stabilisaatoriteks.

### Sodaliit. $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{NaCl}$ .

Heksakistetraeedriline. Ruumvõre sarnaneb  $\alpha$ -kristobaliidi omaga.  $a = 8,89 \text{ \AA}$ . Kristallid väga harvad, peamiselt esineb  $\{110\}$ . Harilikult tihe ja plaatjas suuremate või väiksemate teradena.

Lõhevus mitte väga selge  $\{110\}$  järgi. Murd konnakarppjas või ebatasane. K. 5—6. E.-k. 2,3. Klaasi- ja rasvaläige. Vesiselgest täiesti läbipaistmatuni. Värvitu, valge, eriti aga sinine, kuid ka hall, roheline, punane või must.  $n = 1,483$ .

J.-t. ees sulab visalt vahuseks klaasiks. Pulbrist võib NaCl veega välja leotada. Happeis lahustuvad, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli.

Sodaliidi rühma kuuluvad samuti heksakistetraeedriliselt kristalliseeruvad noseaan, milles kolm nefeliini molekuli on seotud naatriumsulfaadiga:  $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ , ja haüiin, kus lisand on kaltsiumsulfaat:  $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ . Nende mõlemate omadused peaaegu sarnanevad sodaliidi omadega, ainult nende leiukohad on harilikult erinevad. Üldse on selle rühma mineraalid koos nefeliini ja leutsiidiga „päevakivide asendajad“  $\text{SiO}_2$ -vaesemates tardkivimites.

### Lasuriit (lapis lazuli). $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{S}$ .

Samuti heksakistetraeedriline nagu sodaliit, mille rühma ta kuulub. Kristallid väga harvad ja väikesed. Harilikult teralisena, sageli  $\text{FeS}_2$ -sisaldusega.

Lõhevus ebaselge  $\{110\}$  järgi. Murd ebatasane. K.  $5\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,4. Klaasiläige. Läbipaistev, läbipaistmatu. Sinine ja hall.  $n$  umb. 1,5.

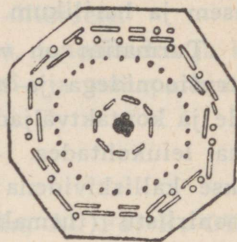
J.-t. ees sulab värvituks klaasiks. Happeis lahustub, eraldades  $\text{H}_2\text{S}$  ja  $\text{SiO}_2$  geli.

Endistel aegadel andis värvainet — loomulikku ultramariini, nüüd tarvitatakse ainult ehteasjakesteks. Toodetakse Afganistanis (Badohšan), Siberis (Sljudjanka jõgi), Tšiilis (Ovalle) ja Kalifornias.

## Leutsiit. $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ .

Alla  $600^\circ\text{C}$  romb-bipüramiidne, kõrgemal temperatuuril düa-kisdodekaeedriline. Väline kuju vastabki alati viimasele sümmeetriaklassile ja leutsiit esineb peaaegu eranditult sissekasvanud deltoid-ikositetraeedritena  $\{211\}$  (leutsitoeedritena), olles aga madalas  $t^\circ\text{s}$  sisemise ehituse järgi rombiliste korduvate kaksikute agregaadiks.

Lõhevust ei ole märgata. Murd konnarpjas. Habras.  $K. 5\frac{1}{2}$ —6. E.-k. 2,5, Klaasi läige, sageli tuhm. Väga harva vesiselge, harilikult läbipaistev. Valge ja hall.  $\alpha = 1,508$ ,  $\gamma = 1,509$ . Mikroskoobi all on iseloomustav suletiste vöödilise asetuse (joon. 228).



Joon. 228.

Võib sisaldada ka pisut Na, Rb ja Li. J.-t. ees ei sula. Happeis lahustub, kuid  $\text{SiO}_2$  geli asemel räni sadestub pulbrina.

On sagedane mineraal aluselistes purskekivimites (basaldid, fonoliidid jne.). Itaalias saadakse temast kaaliväetist ja maargest alumiiniumitööstusele.

## Zeoliitide rühm.

Vett sisaldavad silikaadid, keemiliselt lähedased päevakividele või nende „asendajatele“. Ruumvõred koosnevad  $\text{SiO}_4$  tetraeedritest, mis enamikus ühendatud kruvitaoliselt keeratud lõputuisse paletesse. Vett ja ka mõningaid leelismetalle võib (näit. kuumutamise) osaliselt või täiesti eemaldada, ilma et ruumvõre laguneks; seejuures mineraali omadused muutuvad, näit. optilised omadused pidevalt, ilma järskude hüpeteta. Peamiselt on zeoliidid seotud kuuma vee tegevusega vulkaanilistes kivimites.

Võib eristada kolme liiki: (pseudo-)tetragoonse, heksagoonse ja kuubilise ehitusega. Vaatleme ühte esindajat esimesest ja kaht teisest ning kolmandast liigist.

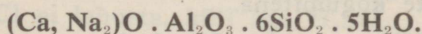
**Natroliid („kiudzeoliit“).**  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Romb-bipüramiidne.  $a : b : c = 0,978 : 1 : 0,353$ . Kristallid pikkprismalised kuni nõelataolised; harilikult aga kiulised, teralised või tihedad koondised.

Lõhevus täiuslik  $\{110\}$  järgi. Murd ebatasane.  $K. 5-5\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,2. Klaasiläige, kiulistel ka siidiläige. Selge kuni ainult läbipaistev. Värvitu, valge, hall, kollakas, punakas, ka punane.  $a = 1,480, \gamma = 1,493; 2V = 63^\circ$ .

J.-t. ees sulab keedes kergesti läbipaistvaks klaasiks. Happeis lahustub, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli. — Natroliidi rühma kuuluvad ka kõik mineraalid, mis kujutavad siinkirjeldatud naatrium-zeoliidi isomorfseid segusid kaltsium-zeoliidiga:  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , mida nimetatakse skoletsiidiks. Viimane kuulub monokliin-prismalisse klassi; tema murdumisindeksid on:  $a = 1,512, \gamma = 1,519; 2V = 36^\circ$ ; muus osas on tema ja ka vahepealsete segude omadused sarnased natroliidi omadega.

### Heulandiit ehk lehtzeoliit (saksa autoritel stilbiit).

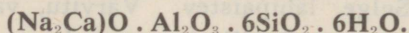


Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 0,403 : 1 : 0,479; \beta = 63^\circ 40'$ . Ruumvõre puudulikult tuntud, kuid tal on sarnasust lehtjate pseudoheksagoonsete struktuuridega. Kristallid tahveljad  $\{010\}$  järgi. Harilikult lehtjate, plaatjate või koorikjate kogumikena.

Lõhevus väga täiuslik  $\{010\}$  järgi. Murd ebatasane. Habras.  $K. 3\frac{1}{2}-4$ . E.-k. 2,2. Lõhenemispindadel pärlmutri-, mujal klaasiläige. Selge kuni läbipaistev. Värvitu, valge (hallikas, pruunikas), pruun.  $a = 1,498, \gamma = 1,505$ .

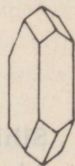
Alati esineb ka Sr ja Na. J.-t. ees keeb ja sulab valgeks klaasiks. Happeis lahustub pulbritaolise  $\text{SiO}_2$  jäägiga.

### Desmiin ehk vihkzeoliit (inglise ja prantsuse autoritel stilbiit).



Monokliin-prismaline;  $a : b : c = 0,762 : 1 : 1,194; \beta = 50^\circ 50'$ . Kristallid harilikult vihkjates kogumikes, omavad rombist välimust, mis tingitud kaksikulisest ehitusest  $\{001\}$  järgi, kui kombineeruvad tahud  $\{110\}$ ,  $\{010\}$  ja  $\{001\}$  (joon. 229).

Lõhevus täiuslik  $\{010\}$  järgi. Murd ebatasane. Habras.  $K. 3\frac{1}{2}-4$ . E.-k. 2,1—2,2. Lõhenemispindadel pärlmutri-, mujal klaasiläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, kollakas, harva punane.  $a = 1,494, \gamma = 1,500; 2V = 33^\circ$ .



$\text{CaO}$  ja  $\text{Na}_2\text{O}$  vahekord kõigub 5 ja 6 vahel. J.-t. ees Joon. 229. sulab visalt, ohtrasti punsudes. Happeis lahustub;  $\text{SiO}_2$  eraldub limase pulbrina.

Väga sagedane zeoliit basaltide ja temasarnaste purskekivimite õõntes; leidub ka mõningais maagisoontes, eriti koos magneetiidiga.

Desmiini rühma kuuluvad ka harmotom (vett sisaldav kaaliumi ja baariumi alumosilikaat) ja fillipsiit (kaaliumi ja kaltsiumi alumosilikaat), millede peamiseks iseloomustuseks on nende tung imiteerida kõrgemat sümmeetriat (ise nad on monokliinsed!) korduvate kaksikute moodustamisega (joon. 98).

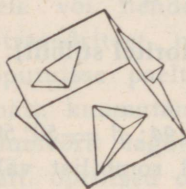
#### Analtsim. $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre puudulikult tuntud;  $a = 13,7 \text{ \AA}$ . Kristallid üksikud või pesadena, harilikult  $\{211\}$ , vahel ka  $\{100\}$ . Ka ilma välise kristallivormita, teraliste, tihedate või muldjate kogumitena.

Märgatavat lõhevust pole. Murd ebatasane. Habras. K.  $5\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,2—2,3. Klaasiläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, hall, kollakas või punakas.  $n = 1,487$ . J.-t. ees sulab selgeks helmeks. Happeis lahustub, eraldades  $\text{SiO}_2$  geli.

#### Kabasiit (kuupzeoliit). $(\text{Ca}, \text{Na}_2)[2\text{AlO}_2 \cdot 4\text{SiO}_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Romboedriline;  $a : c = 1 : 1,086$ . Kristallid kuupjad, kas ainult  $\{10\bar{1}1\}$  või kombineeritud  $\{01\bar{1}2\}$ ,  $\{02\bar{2}1\}$ -ga. Ka kaksikud  $\{0001\}$  järgi (joon. 230).



Joon. 230.

Lõhevus sageli selge  $\{10\bar{1}1\}$  järgi. Murd ebatasane. Habras. K.  $4\frac{1}{2}$ . E.-k. 2,1. Klaasiläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, punakas või pruun. Optiliselt anomaalne, mis lubab oletada, et ta on trikliinne.  $n = 1,48$ .

Sageli sisaldab ka K. J.-t. ees sulab keedes valgeks helmeks. Happeis lahustub, eraldades  $\text{SiO}_2$  litrikeste näol.

\* \*  
\*

Silikaatide sarnased on mõned mineraalid, milledes happe osa esindavad Ti, Zr ja Th kas üksi või koos Si-ga. Enamikus on nad haruldased ning ilma suurema praktilise tähtsusetä. Nende esindajana vaatleme ainult titaniiti, mis neist on kõige levinum.

## Titaniit (sfen). $\text{CaTiSiO}_5$ .

Monokliin-prismaline.  $a : b : c = 0,755 : 1 : 0,854$ .  $\beta = 60^\circ 17'$ . Ruumvõre sarnaneb oliviinitaoliste silikaatide võrega.  $a = 6,55$ ,  $b = 8,70$ ,  $c = 7,43 \text{ \AA}$ . Kristallide välimus erineb leiukohtade järgi, olles kord tahveljad, kord prismalised (teravate, kiiljate servadega), kord kirjaümbrikutaolised. On ka kaksikuid. Ka teraliste ja koorikuliste massidena.

Lõhevus selge (110) järgi. Murd konnakarpmas. Habras. K. 5—5½. E.-k. 3,4—3,6. Teemandiläige. Selge kuni läbipaistmatu. Kollane, pruun või must, vahel rohekas.  $\alpha = 1,900$ ,  $\gamma = 2,034$ ; 2V sinisele valgusele  $23^\circ$ , punasele  $34^\circ$ . Mõned tume-damad pleokrooiitilised.

Vahel on juurde segatud Fe, Y ja Ce. J.-t. ees ainult servades sulav. HCl ei lahusta, küll aga  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Sagedane, kuid mitteoluline mineraal tard- kui ka moonekivimeis, eriti metamorfsetes lubjakivides. Värvilt ilusamad annavad kalliskive.

IX klass.

## Orgaanilised ühendid.

Neist vaatleme ainult tähtsamaid, nimelt nafta, vaigu ja süte rühma.

### Nafta (maaõli).

Mitmesuguste süsivesinikkude ( $C_n H_m$ ) segud vedelal kujul. Eri leiukohtades on nafta omadused erinevad. Erinevus on tingitud oletatava algmaterjali mitmekesisusest ja leiukoha omadusest. Aastamiljonite vältel sündinud nafta algmaterjaliks on enamiku teadlaste arvates olnud taimede ja loomade rasvad, õlid ja vaigud. Nafta kogunemiskohtadeks on poorsed kivimid: liiv, liivakivid, lõhestunud lubjapaed, merglid. Kui nende ainete kihid on hästi isoleeritud maapinnast saviste ja muude vedelikke ja gaase mitteläbilaskvate kihtidega, siis säilivad naftas ka madala keemistemperatuuriga osad — nafta on kerge (erikaal alates 0,6-st!) ja sisaldab kõrge rõhu all palju gaasisarnaseid süsivesinikke. Kui aga gaasid ja madala keemispunktiga süsivesinikud võivad välja pääseda, siis jääb leiukohta viskoossem ja kõrgema erikaaluga (kuni 1,0) nafta, mis ise välja ei voola (ei pursku), kui leiukoht avada puurauguga, kuna esimese liigi nafta gaasi surve mõjul puuraugust välja purskub.

Nafta leiukohtades on harilikult mitu üksteise kohal olevat kihti, kuhu nafta on kogunenud. Need kihid võivad sisaldada ka üksteisest erinevaid naftasid: kas parafiinseid (küllastatud süsivesinikkude  $C_n H_{2n+2}$  ülekaaluga) või nafteenseid (süsivesinikud  $C_n H_{2n}$  ülekaalus).

Kõige rohkem toodetakse naftat USA-s, kus tema leiukohad asetsevad alates Pennsylvaniast idas kuni Kaliforniani läänes, ulatudes lõunas peaaegu Mehhiko lahe kaldani. Kalifornias on seni (1939. a.) puurimisega mindud 4 km sügavusse ja peaaegu

selles sügavuses on ka tootvaid puurauke. Järgmine toodangu suuruselt on Nõukogude Liit, kus kasutatakse Bakuu, Groznõi, Emba ja paljusid väiksemaid leiukohti. Edasi järgnevad Venezuela, Iraan (Pärsia) jne. 1938. a. toodeti kogu maailmas 268 536 224 t naftat, sellest USA-s 162 990 822, N. Liidus 28 859 000, Venezuelas 27 845 286, Iraanis 10 412 327, Hollandi Indias 7 398 586, Rumeenias 6 603 000 t<sup>1</sup>.

Kuumutamise teel eraldatakse naftast kerged õlid: bensiin, petrooleum; jääk annab kütteõli ja asfaltbituumeneid.

### Ozokeriit (maavaha).

Ozokeriit on naftas lahustatud parafiinrea kõrgemate süsi- vesinikkude segu, mis vahataolise aina järele jäi, kui vedelad naftaosad olid haihtunud. Mikroskoobi all vaadeldes osutub koosnevaks anisotroopseist nõelakestest. Pehme, plastiline. K. umb. 1. E.-k. 0,85—0,98. Valge, pruunikas, roheline või must. Sulab 50—90° t<sup>0</sup>-s; lahustub bensoolis ja tärpentiinis. Leidub suurel hulgal Poolas, Rumeenias, Bakuus, Tšelekeni saarel (Kaspia meres) ja USA-s (Utah).

### Püopissiit (vahasüsi).

Leidub pruunsöes, olles vaik, mida eritasid sütt tekitanud puud. Sarnaneb omaduste poolest väga ozokeriidiga. Värvilt kas vaha- või rohekaskollane või kollakasvalge. Sulab kergesti ja põleb heleda leegiga.

### Merivaik (suktsiniit).

Amorfne. Esineb mugulate, purikate, plaatide, terade ja munakate kujul. Murd konnakarpjas. Habras. K. 2—2½. E.-k. 1,0—1,1. Rasvaläige. Selge, läbipaistev. Vahakollane, pruun või kollakasvalge, väga harva sinine või roheline. Hõõrumisel elektriseerub ja lõhnab. Sulab 300° t<sup>0</sup>-s; põleb heleda tulega ja erilise lõhnaga. Osaliselt lahustub piirituses, bensoolis ja eetris. Sisaldab umb. 78% C, 10% H, 11% O, pisut S.

On oligotseeniaegse kuuse *Pinites succinifer*'i kivistunud vaik. Suurimat toodangut annavad kaevandused Ida-Preisimaal. Sekundaarleiukohti on aga kogu Läänemere idarannikul, kuni

<sup>1</sup> Rekordiline naftatoodang oli 1937. a.: üle maailma 279 527 625 t.

Saaremaani, kus meri seda vaiku paiguti välja uhab. Leidub ka Inglis-, Prantsus- ja Poolamaal, samuti Hispaanias. — Valmistatakse iluasju, elektri-isolatsiooniesemeid ja merivaiklakki.

### Asfalt (maapigi).

Amorfne. Esineb plaadi-, kobara-, kera- ja neerukujuliste massidena lõhede täitematerjalina. Murd konnakarpjas. K. 1—2. E.-k. 1,1—1,2. Rasvaläige. Läbipaistmatu. Must.

Oksüdeerunud nafta. Seepärast sisaldab peamiselt kõrgemaid süsivesinikke, millede siiski esinevad ka O, N ja S. Osa ainekist lahustub orgaanilistes lahustites (bensool, väavelsüsinik jne.), osa ei lahustu.

Suurimad leiukohad on Trinidadis saar ja Venezuela, samuti Surnumeri. Esineb ka Hannoveris, Šveitsis, Itaalias ja NSVL-s. — Teesillutise sideaine, katusepapi immutusaine, niiskus-isolatsioon ehitistes; kirjalakkideks ja värnitsaks.

### Süte rühm.

Mineraalsööed on taimejäänused, mis aja jooksul on läbi teinud teatavaid muutusi. Eelduseks on, et need satuksid keskusse, kus valitseb hapnikupuudus. Siin läheb muutus selles sihis, et taimes olnud elementidest väheneb O, N ja lõppeks ka H hulk, kuna jääk rikastub C-ga.

Mida vanemad söed, seda suurem on neis C protsent ja seda vähem H, kuna vanemais O ja N peaaegu puuduvad. Süte vanemist soodustavad ka rõhu ja soojuste kõrgenemine söekihis. Vaatleme süsi, alates nooremaist.

### Turvas.

Koosneb veel hästi eristatavaist taimeosadest, millede ainult veesisaldus on vähenenud. Turba tekkimise viis ja tema omadused ning tarvitusviis on üldtuntud, mistõttu pikemalt tema juures pole tarvis peatuda.

### Pruunsüsi.

Ka pruunsöes on veel kerge eristada üksikuid taimeosi. Keemiliselt on temas 55—75% C, 26—19% O ja 6—3% H. Pruunsüsi on pehme; erikaal keskmiselt 1,13. Peamiselt pruun ja tuhm, kuid mõnes kohas ka must ja läikiv. Kaaliumhüdraadis leotades

annab lahusele tumepruuni värvi. Leidub mitmes kohas Saksa- maal (tertsiaariaegsed) ja Moskva ümbruses (karboniaegsed). — Läheb kütteks ja ka bensiini valmistamiseks hüdreerimise teel.

### Kivisüsi.

Orgaaniline struktuur on nähtav ainult erivõtete abil mikroskoobi all. C-sisaldus 74—94%, O — 3—20% ja H — 1—5%. Harilikult kihiline. Murd ebatasane. Habras. K. 2—2½. E.-k. 1,15—1,5. Klaasi- või rasvaläige või tuhm. Mikroskoobilistel vaatlustel eristatakse läikivat vitriidiollust tuhmist duriidist ja kiulisest fusiidist. Tehniliste omaduste järgi, mis osalt tingitud ka söe algmaterjali erinevusest, eristatakse pika leegiga bituumseid boghead- ja cannel-süsi koksisütest, mis harilikult on lühikese leegiga. Eri nimetuse antratsiit all mõeldakse erilisi kõvu (k. 2—3) ja tihedaid (e.-k. 1,4—1,7) süsi, milledes C-sisaldus ületab 90%. Kivisöed ei värvi KOH lahust.

Tarvitus on üldtuntud. Toodang 1937. a. 1 333 000 000 t koos pruunsöega.

### Kukersiit.

Selle nimega ristiti meie õlikivi, mis samuti kui kivi-süsi ei kujuta mineraali, kuid väärub mainimist. \*Eesti õlikivi põlemisvõimeliseks osaks ning ühtlasi ka õlitootmise tooraineks on pruun amorfne orgaaniline aine. Anorgaaniline osa koosneb oluliselt kivististe kaltsiumkarbonaadist ning savist. Kui õlikivist hapetega kõrvaldada kogu anorgaaniline osa, siis jääb järele pulbritaoline pruun homogeenne orgaaniline aine — kukersiit kitsamas mõttes. Ta on ühtlasi vaigutaoline kerogeen ilma õlita. Viimane tekib alles retortides. Põlevkivi, eriti aga kukersiitlubjakivi preparaatides on mikroskoobi all suurel suuredusel näha pruunkollaseid kerakesi kobarates, milledest koosnebki kukersiidi põlev osa ning milledes paleofütoloogid arvavad ära tunda võivat vetikaid. Vetikale anti ka nimi: *Gloeocapsamorpha prisca*. Keskmiseks kukersiit-õlikivi koostiseks võib arvata 34% orgaanilist ollust, 56% tuhka (milles ka  $\text{CaCO}_3$ -s sisalduv  $\text{CO}_2$ ) ja 10% vett.\*

Leidub kihtide seeriana ordoviitsiumi lademeis Eestis kui ka naabrusalal Nõukogude Liidus. Tarvitatakse kütteks aurukatlais tööstustes, veduritel ja õliajamiseks. 1939. a. toodeti kukersiiti 1 642 165 t; õli aeti 180 121 t.

## Lisa.

### \*Eesti mineraalid.

#### Tekketingimusi.

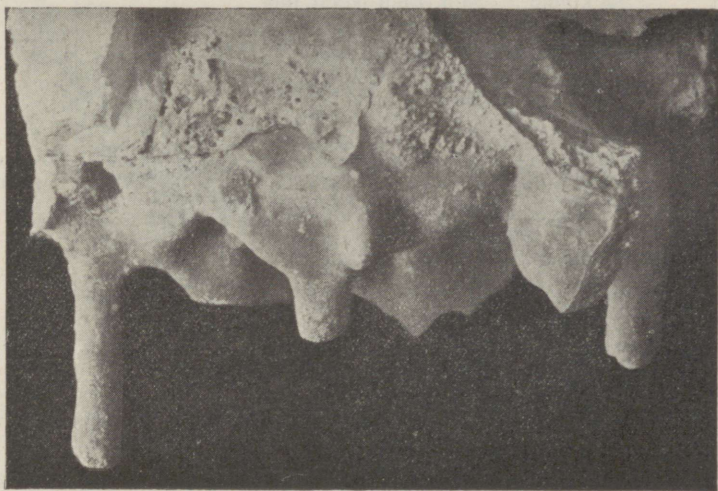
Mineraalide tekke vaatekohast eraldame Eestis kolm geoloogilist ehituskorda: 1) sügavama aluspõhja kord, mille moodustab ürgmäestiku sokkel, 2) vanema paleozoikumi setekivimitest koosnev pealiskord ning 3) diluviaalse ja alluviaalse päritoluga pinna-kate.

Ürgmäestik koosneb metamorfsetest silikaatkivimitest, ilma õõnteta, nõnda et mineraalid temas esinevad kõik sissekasvanud kujul. Et metamorfiitide seas on sagedamaks gneiss, siis sagedamateks mineraalideks on ortoklaas ja teised päevakivid ning vilk ja räni. Ürgmäestiku mineraalid ise on oluliselt kõrgetemperatuurilise (üle 550° C) metamorfismi ja metasomatoosi tulemus, osalt ka magmalise päritoluga. Ürgmäestik kujunes arhaiskumis, kaua enne paleozoikumi algust.

Pealiskorra paleozoikumi setekivimid tekkisid kliimaoludega määratud temperatuurides, sündides oluliselt vees kas organismide (lubjakivid, põlevkivi, fosforiit) või keemiliste tegurite (kips) toimetel. Peale selle esineb neis rohkesti ümbersettinud silikaatmineraale, mis on pärit kristalsetest kivimitest. Ordo-viitsiumi ja devoni liivakivide räni ja ortoklaas on selle head näited. Peale selle esineb setetes, peamiselt liivakivides, veel vilk (muskoviit), rasketest mineraalidest — magnetiit, ilmeniit jt. Peale nende mineraalide, millest oluliselt tekkisid paleozoikumi setted, toimus minerogenees ka veel hiljemini. Nimelt, peale kivistumist tektooniliste tegurite mõjul lõhestus pealiskord kaunis põhjalikult ning aja jooksul kristalliseerusid vesilahustest neis lõheded peamiselt kaltsiit ja püriit. Sel viisil võime kõnelda hilisest madalatemperatuurilisest kaltsiidisoonte (tekkeliselt dia-klaassoonte) generatsioonist Eestis. Neis soontes esineb ka teisi mineraale, nagu barüüt, sfaleriit, dolomiit jt. Neid lõhesid ja

sooni leiame igas paemurrus. Mitte ainult madal temperatuur, vaid ka madal rõhk iseloomustab meie pealiskorra mineraalide tekketingimusi. See ilmneb rohkete õõnte ja pooride olemasolus, mis aja jooksul osaliselt täitusid kaltsiidi, väiksemal määral teiste mineraalide kristallidega. Niisugused pesad on sagedad paekivides. Eriti olid selleks õõnsad fossiilid soodsad, nagu brahhiopoodid, tsüstiidid ja kefalopoodid.

Pinnakate Eestis on oluliselt eespoolnimetatud kivimite murendi mehaaniline segu, mis tekkis diluviaalse jää kuhjatisena ning mida voolav vesi edasi transportides osaliselt fraktsioneeris



Joon. 231. Tilkkivi ( $\text{CaCO}_3$  stalaktiidid) Mäekülast, Tallinna juures. Mineral.-laborat., Tartu („Eesti Loodus“, 1933, nr. 3).

terasuuruse ja erikaalu järgi. Ka hilisemal ajal toimus ning toimub ka praegu minerogenees organismide läbi ja vee ning kliima keemilisel ja füüsikalisel tegevusel.

Et meie pinnakate kujunes peamiselt Fennoskandiast pärinevast materjalist, siis oluliselt koosneb ta peenendatud kristallkivimite murendist (gneiss, graniit jne. kivide, rahnude kujul). Kus peenendumine jõudis üksikute mineraaliteradeni, seal koosneb murend räni- ja päevakivide, väiksemal määral ka vilkude, amfiboolide, pürokseenide, magnetiidi ja teiste mineraalide terakestest. Rändkivides võib meil leida kõiki Soomes esinevaid silikaate. Kõik ülalöeldu Eesti minerogeneesist mahub kokkuvõttes järgmisse tabelisse:

## Minerogenees Eestis.

Lito- sfääri profiil ja ajaline astendus Eestis	Süngeneetiline järk		Epigeneetiline järk		
	allotigeenne aines	autigeenne aines	allotigeenne aines		
Pinnakate	Kruusad, liivad, savid, rändkiivid	Turvas, diatomiit, järvekriit, vivianiit	Sooraud, limniit, limoniit, alliklubi, teradevaheline sideaine jt. Granaatliiva, magnetiitliiva jt. hilised kontsentratsioonid		
Pealiskord	Devon	Old Redi liivakivide räni, vilk, rasked mineraalid ja rauaoksüdid koos savidega	Luufosfaat, lubjakivide kaltsiit, kips ja tsölestiin		
	Silur	Merglite savi, räni jne.	Lubjakivide ja dolomiitkivide kaltsiit ja dolomiit	Kaltsiidisooned ja pesad koos püriidiga ja teiste mineraalidega	
	Ordoviitsium	Obolus-liiva räni, diktüoneemakilda savi-aines jt.	Põlevkivi, obolus-fosforiit, glaukoniit, ooidid jt.	Sekundaarsed dolomiitkivid	? Adavere galeniit
	Kambrium	Liivakivide räni ja savi	Glaukoniit, fosforiit, püriit		
Aluskord	Arhaikum	Pinnakattes esinevate silikaatmineraalide teke magmaliselt ja metamorfselt, nii süngeneetiliselt kui epigeneetiliselt. Maagid, peamiselt magnetiit.			

Ülalolevas tabelis süngeneetilises järgus esinevad mineraalid tekkisid kas koos neid kandvate kivimitega või otseses ühenduses kivimitekkeliste protsessidega või nad ise moodustavad kivimeid. Epigeneetilises järgus on toodud mineraale, millede kontsentratsioon toimus peale kivimi tekkimist.

Soontes kujunesid meie mineraalid peamiselt lateraalse sekretsiooni toimetel; sekundaarsed dolomiidid on ulatusliku metasomatoosi tulemus. Selle dolomiidistumise kõrvalharuks oli võib-olla galeniidi kontsentratsioon Adavere dolomiitides. Ent võib ka olla, et see galeniit on pärit hoopis mujalt, sügavusest tõusnud lahustest, olles seega epigeneetiline ja allotigeenne. Peale selle on epigeneetilised ka mehaaniliselt kontsentreeritud magnetiit- ja granaatliivad.

## Mineraalide kirjeldus.

Allpool anname lühida ülevaate meil leitud mineraalidest, kuid diluviaalseid rändsilikaate ja nende kaasläsi nimetamata. Mainimist leiavad ainult need silikaadid ning räni, Fe jt. mineraalid, mis on meil kohapealsete tegurite mõjul kontsentreerunud (näiteks: räni ja vilk devoni liivakivis).



Joon. 232. Götiidikristallikesi kaltsiidipesas. Nehatu, Eesti. Mineral.-laborat. („Eesti Loodus“ 1934, nr. 5).

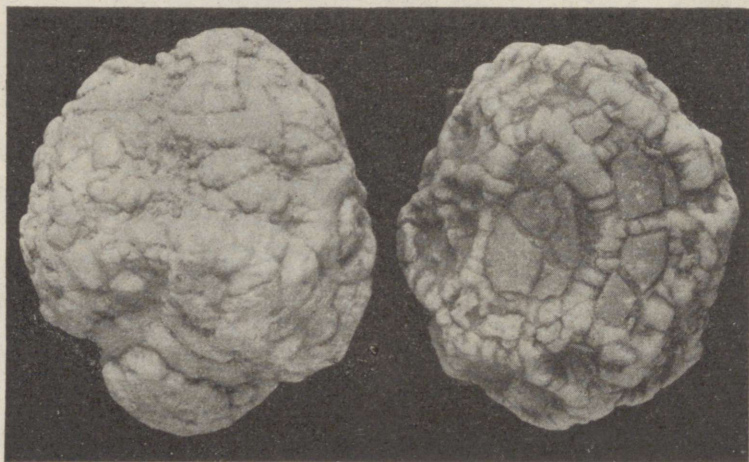
**Barüüt.** Tihedate massidena diaklaassoontes Tallinna pae-murdudes, Aluvere murrus (Jõhvi lade) kivististe täitena. Kristalle on leitud Tallinna ümbruses ja Jaagarahul.

**Dolomiit.** See mineraal on kõige enam levinud dolomiitkivides. Samades dolomiitkivide õõntes esineb ka tavaliselt romboedrilisj dolomiidikristalle. Sagedamalt leidub neid Adavere dolomiitkivides.

**Fosforiit.** Fosforiiti (oluliselt trikaltsiumfosfaati) esineb Eestis neljas eri modifikatsioonis: 1) mugulatena, 2) luufosfaadina, 3) guaanona ja 4) obolus-fosforiidina.

Fosfaatmugulad esinevad alamkambriumi liivakivis (nn. mickwitzia-konglomeraat, mille „veerkivid“ on tõeliselt fosforiidist), vähesel määral obolus-liivakivis, glaukoniitliiva alumises pooles ning Lääne-Eestis Kunda lademe alumises osas. Nendel mugulatel, mille  $P_2O_5$  sisaldus ei ületa 20%, pole mingit praktilist väärtust.

Luufosfaati moodustavad devoni liivakivis kohati, nagu Võrtsjärve Tamme kaldal, kokkukuhjunud kalade luud. Puhtal kujul sisaldavad nad 36%  $P_2O_5$ , mis vastab 71,5% puhtale fluorapatiidile. Devoni luufosfaadi majanduslik väärtus on küsitav ja ka veel uurimata.



Joon. 233. Kaltsedonimugulad Põõsaspealt, Läänemaal. Mineral.-laborat., Tartu („Eesti Loodus“, 1934, nr. 5).

Guaanot, peamiselt tuvide oma, leidub vanades varemetes ja vanade majade põõningutel. Suurim hulk seda fosfaati toodeti mõne aasta eest Irboska varemetes.

Obolus-fosforiit on ainsaks tasuvaks fosforiidiks Baltimaadel, koguni kogu Loode-Euroopas. Ta on puhtakujuline organogeenne fosfaat, olles moodustatud brahhiopoodi *Obolus*'e kaantest. Fosfaat ise oli nende kaante primaarseks ehitusmaterjaliks. Obolus-fosforiit — *Obolus*'e kaante kuhjatised — kuulub Eesti ordoviitsiumi aluskihti, mis juba rohkem kui saja aasta eest nimetati obolus-liivakiviks.

Obolus-fosforiit sisaldab pärast liivast puhastamist:  $P_2O_5$  — 36,6%, CaO — 50,6%,  $CO_2$  — 2,5%, F — 2,7% ning ka rohkem

või vähem impregneeritult püriiti. Nõnda, koos fluorapatiidiga, sisaldavad obolused veel mõne %  $\text{CaCO}_3$ .

**Galeniiit.** Ammusest ajast tuntud galeniidi leiukohti on Viljandimaal Pilstivere, Võhma ja Adavere ümbruses, siluriaegses dolomiidilises Adavere lademes. Galeniit esineb siin peamiselt korrapäratute, kuni 10 kg raskuste mugulatena otse dolomiidis. Nähtavasti on galeniit sääraselt kontsentreerunud dolomiidistumise aegu metasomaatilisel teel. Eesti galeniit on puhas PbS ilma lisanditeta. Galeniit kristallides on Eestis suure levikuga,



Joon. 234. *Obolus apollinis* obolus-fosforiidina Ülgase obolus-liivakivis. Geol.-instituut, Tartu.

olgugi üsna vähese kontsentratsiooniga. Suuremaid kristalle leitud jällegi Adavere lademe dolomiitkivides koos püriidiga. Peale selle leitud teda Tallinna ümbruses diaklaassoontes, kohati siluri lubjakivides Läänemaal ja mujal.

**Glaukoniiit.** See roheline sedimentaarne autigeenne süngeneetiline meretekkeline kaali-magneesia-raua- (vilku meenutav) silikaat esineb terakestena kambriumi liivakivis, glaukoniiitlubjakivis, eriti aga alamordoviitsiumi glaukoniiitliivakivis. Kohati (näiteks Mäekülas) on Eestis kihte, mis koosnevad puhtal kujul selle mi-

neraali teradest. Eesti glaukoniiti on muide korduvalt uuritud: ta sisaldab kuni 7%  $K_2O$ .

**Granaat.** Allotigeenne granaat on igal pool esindatud pinna-kattes, kuid ka vanemates liivakivides. Sekundaarne kontsentratsioon toimub praegu liivastel randadel lainete mõjul. Siin esineb ta iseloomulikult violett-punase kihina liiva peal. Kaasas on tal alati magnetiiti ning mõningaid teisi raskeid mineraale.



Joon. 235. Romboeedrilised dolomiidikristallid. Adavere lade. Mineral-laborat., Tartu.

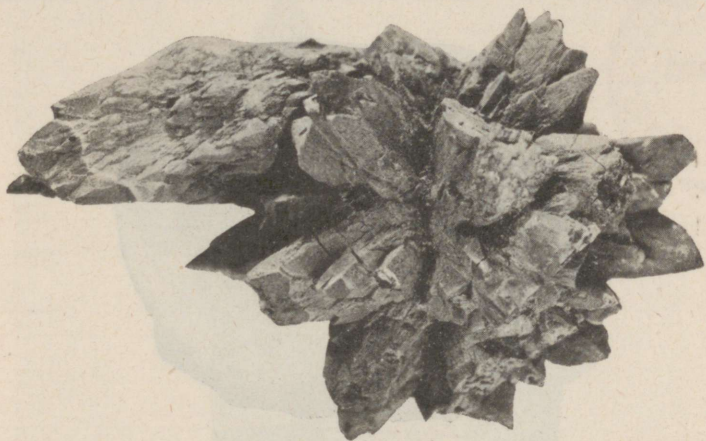
**Götiit** ( $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ) esineb väikeste tumedate nõelakujuliste kristallidena (nõel-rauamaak) Põhja-Eestis lubjakivide kaltsiidipesades.

**Kaltsiit** on levinuim mineraal Eestis. Ta esineb olulise mineraalina lubjakivides, järvekriidis ja travertiinis (allikalubjas). Ka koobastes (karstides) leidub teda stalaktiididena.

Kristalliseerunud kaltsiit on sagedane meie ordoviitsiumi ja silurit läbivates soontes, kus koos temaga leidub ka barüüti, püriiti, sfaleriiti jt. Ka samade lubjakivide õõntes on kaltsiit moodustamas pesi. Parimaid, sageli ka kaksikuid ning sissekas-

vanud kristalle kannab Jaagarahu paas Saaremaal. Sealt on tuntud näiteks kõigi kaltsiidil esinevate seaduste järgi koostatud kaksikud ning lihtkristallidel üle kolmekümne eri kombinatsiooni.

Antrakoniit on orgaanilise ainesega mustaks värvunud kaltsiit. Teda leidub meil diktüoneemakildas mugulatena ja vahekihtidena. Ka Maardu kaevanduse obolus-liivakivi ülemises osas esineb teda kihtidena. Mugulad koosnevad kiirja asetusega teravatest skalenoedritest ja romboedritest. Sageli on kristallid õõnsad ja muutunud sekundaarselt dolomiidiks. Nende pseudomorfooside kaltsiidilist algupära reedab skalenoeder, mis pole dolomiidil võimalik.



Joon. 236. Antrakoniit, kiirjas dolomiidi pseudomorfoos kaltsiidi järgi. Diktüoneema-kilt. Mineral-laborat., Tartu.

**Kips.** Ta esineb meil: 1) üksikkristallidena (kuni 2 cm suured) diktüoneemakildas esineva püriidi murenemise produktina, ning 2) kiudkipsi ja tiheda kipsi lademetena näol Irboska devoni lubjakivides, kus teda murtakse tööstuslikult.

**Kivisool.** Pseudomorfoose kivisoola järgi leidub Saaremaa dolomiitides ja devoni dolomiitmerglis Tartu juures.

**Kukersiit** (vt. lk. 253).

**Limoniit.** Kõikjal kollakaspruuni pigmendina kivimites; püriidi lagunemise saadusena obolus-liivakivi ja diktüoneemakilda piiril; soomaagina laialdaselt levinud; limniidi näol õige suurel määral Vagula järves Võru juures (järvemaak); pseudomorfoosina püriidi järgi ordoviitsiumi lubjakivides. O o k -

rina puhtate soomaakide puhul, kuid ka rauarikastes allikates rauabakterite tegevuse sademena.

**Magnetiit.** Granaatliivades liivastel rannikutel meres, Peipsis, Võrtsjärves ning teistes veekogudes väikeste mustade terakeste näol.

**Malahhiit.** Väikeste teradena väga harva ülemise ordoviitsiumi lubjakivides ja dolomiitkivides pseudomorfoosina mingi vasesulfiidi järgi.

**Markasiit.** Allpool-kirjeldatud püriidikihti nimetatakse kirjanduses ka markasiidikihiiks, olgugi mittepõhjendatult. Tegelikult on markasiiti ainult kristallides leitud mõnel korral koos



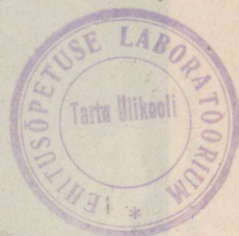
Joon. 237. Kvartsikristallide pesa õõnsas kivistises, Porkuni lade. Mineral.-laborat. Tartu.

kaltsiidiga selle pesades ja soontes. Kristallid on tavaliselt kiilutaolised ja väga väikesed. Praegu tunneme ainult kolme kristalliseerunud markasiidi leiukohta Eestis: 1) Jaagarahu, 2) murrud Lasnamäel, 3) sissekasvanult kambriumi liivakivis Kadriorus.

**Mõrusool.** Dolomiitide murenemissaadusena vähesel hulgal Saaremaal.

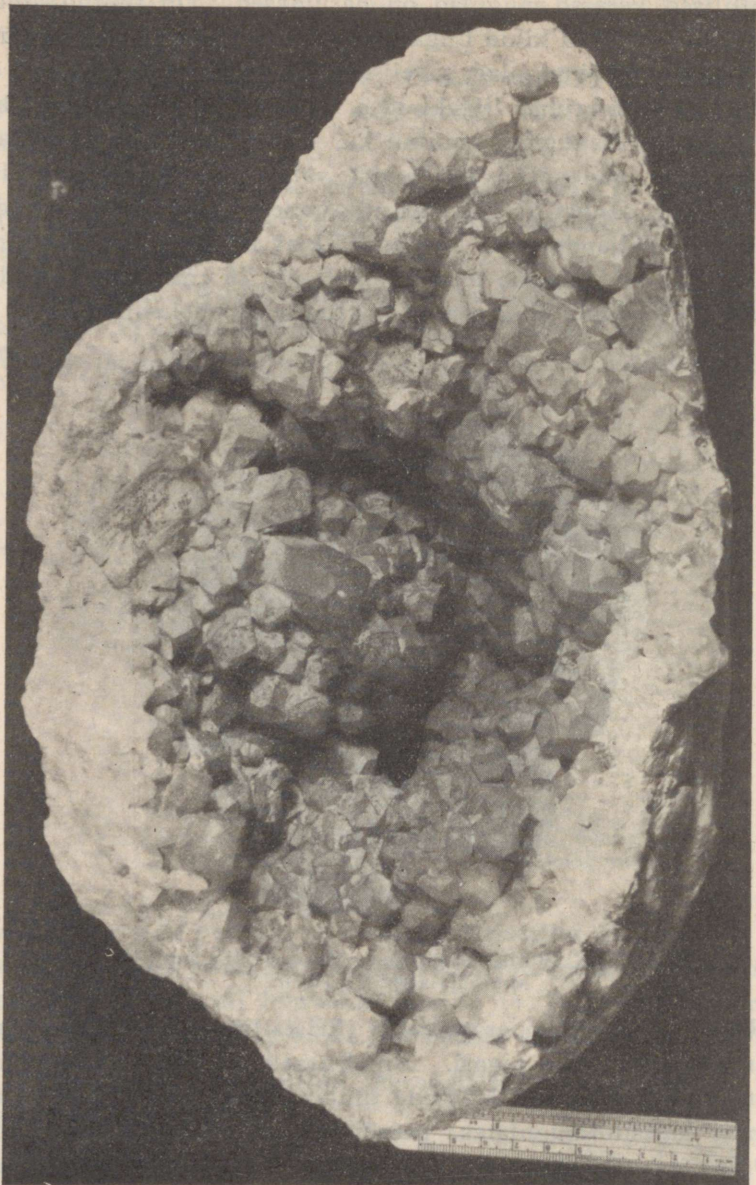
**Püriit.** See mineraal esineb 1) üksikkristallidena ja kristallide kobaratena ordoviitsiumi ja siluri lubjakivides ning soontes ja pesades. Tavalisteks kujudeks on heksaeeder ja kbooktaeeder. Püritoeder on haruldane. Parimaid kristalle leidub Saastamaal Matsalu lahe juures. 2) Suurekristallilistes agregaatides esineb püriit rohkesti diktüoneemakildas ja glaukoniitliivas. 3) Radiaal-

kristallilised kerajad mugulad on haruldased. On tuntud ainult üks leiukoht (Uhaku kihid Lüganusel). 4) Neeru- kuni kerakujulised tihedad püriidimugulad, sageli rusikasuurused ja suuremad, on sagedad alamkambriumi liivakivides. Neid võib suurel arvul koguda Kopli ja Kakumäe rannikul kui ka mujal Põhja-Eesti rannal, kus nad pudenevad liivakivist välja. 5) Iseseisva kihina esineb püriit obolus-liivakivi ja diktüoneemakilda piiril Loode-Eestis. Ta paljandeid on olemas kõikjal Paldiski ja Jõelähtme vahel. Selle kihi paksus tõuseb kohati üle 10 cm. Kiht sisaldab 31—52%  $\text{FeS}_2$ , kuna muu osa on kvartsliv ja obolus-fosfaat.



Joon. 238. Püriit, Šaastamaa, Matsalu lahe juures.  
Mineral.-laborat., Tartu.

**Räni.** Madalatemperatuurilist kristalliseerunud räni tunti Eestis juba 60 aastat tagasi. Bipolaarselt arenenud, sissekasvanud, tavalise välimusega kristalle tuntakse Saaremõisa ja Porkuni lademete kaltsiidimugulates; pesadena leidub teda samade lademete ning Adavere dolomiidi kivistisõontes, harva ka Jõhvi lademe kaltsedoni konkretsioonides Põõsaspea neemel. Siin leidub ka suitskvartsi ja koguni ametüsti. Kaltsedon esineb Põõsaspea neemel Jõhvi lubjakivides. Kaltsedoni mugulad võivad siin ulatuda kuni pea suuruseni. Need on sageli täidetud seest kaltsiidiga; kihikestena esineb kaltsedon Raikküla ja Adavere lademes.



Joon. 239. Kaltsiidipesa, Kagu-Eesti devoni-lubjakividest. Geol.instituut, Tartu.

Tulekivi (hall, kollane) on sage Adavere lademes, sama päritoluga leidub teda lahtiselt Võrtsjärve kallastel. Eesti tulekivi tarvitati kiviajal artefaktideks. Mitmes lademes (Jõhvi, Porkuni jt.) on kivistised, eriti korallid, ränistunud — olles muutunud



Joon. 240. Kaltsiidikristalle Jaagarahult.

peamiselt kalsedoniks. Räni on laialdaselt levinud liivakivides (kambrium, obolus-liivakivi, devon) ning pinnakattes.

**Sfaleriit.** Väikesed mustad terad ja kristallikesed sageli Tallinna ümbruses diaklaassoontes, Jaagarahul, ülemise ordoviitsiumi dolomiitkivides Alutagusel; koos püriidiga diktüoneemakildas

Maardu kaevanduses, sealsamas kildas lehepaksuste soonekestena. Kõikide leidude puhul on tegemist sfaleriidi rauarikka teisendiga.

**Tsölestiin** esineb siniste kiududena Irboska kiudkipsis.

**Vaad.** Mustad, pudedad, Mn-reaktsiooniga koorikud Petseri valge devoni-liivakivi lõhede pindadel kuuluvad arvatavasti siia. Harva devoni kalade luudes.

**Vilk.** Muskoviit on oluline mineraal devoni-liivakivides. Peale selle kohtame vilku igal pool diluviaalses ja alluviaalses pinnakattes. Vilk on alati allotigeense päritoluga.

**Vivianiit.** Värskest valge, õhus siniseks muutuv muldjas vivianiit on sage turbas ning turbaga seotud gyttjas. Peale selle esineb ta obolus-fosforiidi murenemise saadusena kohati paikald läheduses.

Peale loendatud mineraalide esineb meil veel harva 1) asfaltiiti siluri ja ordoviitsiumi lubjakivides ning põlevkivis, 2) kivi-sütt väikeste mugulatena glaukoniitlubjakivis Narvas, 3) rauavitrioli ja 4) maarjast diktüoneemakildas selle püriidi lagunemise produktina, 5) tetraedriiti (üks väike leid Toompeal, Tallinnas). Eesti mineraalide täielik kogu säilib Tartu Ülikooli Mineraloogia-laboratooriumis.\*

## Mineraalid keskmise erikaalu järgi.

Erikaal	Mineraal	Erikaal	Mineraal	Erikaal	Mineraal
0,91	Ozokeriit	2,60	Nefeliin	3,07	Euklaas
0,98	Püropissiit	2,61	Albiit	3,10	Lepidoliit
1,07	Merivaik	2,62	Kaoliin	3,14	Turmaliin
1,15	Asfalt	2,62	Kordieriit	3,15	Granaat
1,3	Kivistüsi	2,62	Kaltsedon		(kuni 4,3)
1,5	Antratsiit	2,63	Eleoliit	3,15	Tremoliit
1,6	Karnalliit*	2,64	Oligoklaas	3,15	Fluuriit
1,68	Epsomiit	2,66	Aluniit	3,16	Spodumeen
1,71	Booraks	2,66	Räni	3,17	Turingiit
1,98	Sülviin	2,67	Andesiin	3,18	Andalusiit
2,00	Merivaht	2,70	Labrador	3,18	Brontsiit
2,07	Väävel	2,70	Skapoliit	3,20	Apatiit
2,10	Opaal	2,70	Steatiit	3,20	Dioptaas
2,12	Kabasiit	2,70	Talk	3,20	Enstatiit
2,12	Krüsoakoll	2,71	Kaltsiit	3,23	Sillimaniit
2,13	Kainiit	2,72	Kallaiit	3,25	Kroküdoofiit
2,14	Desmiin	2,72	Klinokloor	3,25	Pargasiit
2,16	Grafiit	2,72	Penniin	3,27	Diallaag
2,20	Heulandiit	2,73	Bütovniit	3,27	Forsteriit
2,20	Fillipsiit	2,75	Anortiit	3,29	Diopsiid
2,21	Vasevitriol	2,76	Vermikuliit	3,30	Otreliit
2,22	Krüsoitiil	2,77	Berüll	3,30	Küünekivi
2,23	Natroliid	2,80	Pürofülliit	3,30	Zoisiit
2,26	Analtsim	2,82	Flogopiit	3,33	Oliviin
2,26	Tšiili salpeeter	2,84	Paragoniit	3,37	Klinozoisiit
2,27	Sodaliit	2,85	Vollastoniit	3,39	Vesuviaan
2,30	Glaukoniit	2,85	Dolomiit	3,40	Augiit
2,30	Kristobaliit	2,85	Lepidoliit	3,40	Brontsiit
2,31	Tridümiit	2,88	Muskoviit	3,40	Jadeiit
2,32	Kips	2,90	Biotiit	3,40	Epidoot
2,32	Noseaan	2,92	Antofülliit	3,45	Auripigment
2,35	Apofülliit	2,94	Anhüdriit	3,45	Hemimorfiit
2,35	Kivisool	2,94	Aragoniit	3,45	Hüpersteen
2,42	Lasuriit	2,95	Boratsiit	3,46	Grossulaar
2,45	Haüiin	2,95	Datoliit	3,48	Titaniit
2,47	Leutsiit	2,98	Krüoliit	3,52	Teemant
2,55	Boksiit	2,98	Nefriit	3,52	Rodokrosiit
2,55	Garnieriit	2,99	Fenakiit	3,54	Rodoniit
2,56	Adulaar	3,00	Meliliit	3,55	Topaas
2,56	Mikrokliin	3,03	Margariit	3,56	Realgaar
2,56	Ortoklaas	3,03	Mulliit	3,62	Küaniit
2,57	Kiseriit	3,05	Aktinoliit	3,63	Hessoniit
2,57	Sanidiin	3,06	Magnesiit	3,65	Aleksandriit
2,57	Serpentiin	3,07	Tsinvaldiit	3,67	Periklaas

Erikaal	Mineraal	Erikaal	Mineraal	Erikaal	Mineraal
3,67	Krüsoberüll	4,61	Pürrotiin	6,05	Arseenopüriit
3,71	Stauoliit	4,65	Kovelliin	6,19	Kobaltiin
3,71	Strontiansiit	4,69	Tsirkoon	6,25	Stefaniit
3,72	Asuriit	4,70	Rutiil	6,30	Anglesiit
3,72	Püroop	4,75	Ilmeniit	6,42	Löllingiit (7,20)
3,80	Andradiit	4,75	Molübdeniit	6,51	Tserussiit
3,80	Limoniit	4,78	Brauniit	6,60	Kloantiit
3,80	Spinell	4,79	Pürolusiit	6,78	Smaltiin
	(3,55—4,10)	4,79	Tetraedriit	6,80	Püromorfiit
3,83	Demantoid	4,80	Pentlandiit	6,85	Vulfeniit
3,86	Sideriit	4,88	Markasiit	6,88	Vanadiniit
3,88	Anataas	4,96	Polianiit	6,95	Kassiteriit
3,96	Malahhiit	5,03	Püriit	7,08	Tantaliit
3,96	Tsölestiin	5,10	Hematiit	7,28	Argentiit
3,97	Brukiit	5,10	Monatsiit	7,35	Volframiit
3,98	Vurtsiit	5,15	Borniit	7,50	Galeniiit
4,00	Psilomelaan	5,15	Frankliniit	7,55	Raud
4,00	Ortiit	5,17	Magnetiit	7,58	Nikeliin
4,00	Sfaleriit	5,48	Milleriit	7,65	Kamatsiit
4,03	Korund	5,52	Volframiit	8,10	Avaruiit
4,04	Villemiit	5,55	Kerargüriit	8,10	Kinaver
4,15	Almandiin	5,55	Tsinkiit	8,85	Vask
4,20	Kalkopüriit	5,60	Prustiit	9,35	Uraniniit
4,24	Fajaliit	5,65	Kolumbiit	9,76	Vismut
4,30	Viteriit	5,68	Arseen	10,60	Höbe
4,30	Manganiit	5,7	Kalkosiin	10,60	Sperrüliit
4,37	Smitsoniit	5,80	Burnoniit	11,50	Pallaadium
4,45	Enargiit	5,81	Pürargüriit	14,26	Elektrum
4,45	Kromiit	6,00	Krokoiit	16,50	Plaatina
4,48	Barüüt	6,00	Kupriit	19,00	Kuld
4,57	Antimoniit	6,00	Seeliit	22,70	Iriidium

## Mineraalide nimestik kõvaduse järjekorras.

(Tabelis on eraldatud kõvaduse liigid 1 kuni 10 ja nende vahepealsed; kõikumine poole ühiku võrra alla- või ülespoole on jäetud tähele panemata. Mõnel üksikul mineraalil, millel kõvaduse kõikumine suur, on antud alam- ja ülempiir.)

- Kõvadus 1: grafiit, kaoliniit, ozokeriit, talk.
- „ 1—2: asfalt, auripigment, boksiit, karnalliit, kips, kovel-  
liin, molübdeniit, pürofülliit, realgaar, tšiilisal-  
peeter, turingiit, väävel.
- „ 2: antimoniit, argentiit, glaukoniit, haliit, kerargüriit,  
klinokloor, penniin, pürolusiit, šamosiit, sülviiin.
- „ 2—3: anglesiit, biotiit, booraks, epsomiit, flogopiit, ga-  
leniit, hõbe, kalkosiin, kinaver, krokoiit, krüoliit,  
kuld, lepidoliit, merivaht, merivaik, muskoviit,  
prustiit, pürargüriit, stefaniit, tsinvaldiit, vase-  
vitriol, vask, vismut.
- „ 3: borniit, burnoniit, garnieriit, kainiit, kaltsiit, krü-  
sokoll, mulliit, vanadiniit, vulfeniit.
- „ 3—4: aluniit, anhüdriit, aragoniit, arseen, asuriit, ba-  
rüüt, brokantiit, kupriit, desmiin, dolomiit, enar-  
giit, heulandiit, kalkopüriit, kiseriit, malahhiit,  
milleriit, pentlandiit, püromorfiit, serpentiin, sfa-  
leriit, strontsianiit, tetraedriit, tsölestiin, viteriit,  
vurtsiit, tserussiit.
- „ 4: fluoriit, küaniit, magnetpüriit, manganiit, marga-  
riit, rodokrosiit, uraniniit.
- „ 4—5: apofülliit, kabasiit, magnesiit, plaatina, raud, si-  
deriit, šeeleit, tsinkiit, vollastoniit.
- „ 5: apatiit, dioptaas, hemimorfiit, kloantiit, limoniit,  
löllingiit, smaltiin, smitsoniit, sodaliit.
- „ 5—6: aktinoliit, amfibool, analtsim, anataas, antofülliit,  
arsenopüriit, brontsiit, brukiit, diopsiid, enstatiit,  
hüpersteen, ilmeniit, kallaiit, kobaltiin, kromiit,  
lasuriit, leutsiit, magnetiit, meliliit, monatsiit, nat-  
roliit, nefeliin, nikeliin, ortiit, psilomelaan, skapo-  
liit, titaniit, villemiit, volframiit.

- Kõvadus 6: augiit, kolumbiit, mikrokliin, opaal, ortoklaas, pürolusiit, rodoniit, spodumeen, tantaliit, uraniniit, zoiisiit.
- „ 6—7: albiit, anortiit, brauniit, epidoot, frankliniit, jadeiit, kassiteriit, kloritoid, kristobaliit, markasiit, oliiviin, polianiit, püriit, rutiil, sillimaniit, sperrüliit, tridümiit, vesuviaan.
- „ 7: boratsiit, granaat, küaniit, räni.
- „ 7—8: andalusiit, berüll, datoliit, euklaas, fenakiit, kordieriit, stauoliit, turmaliin, tsirkoon.
- „ 8: spinell, topaas.
- „ 8—9: krüsoberüll.
- „ 9: korund.
- „ 10: teemant.

## Mineraalid kristallograafiliste klasside järgi.

### Kuubiline süsteem.

Heksakisoktaeedriline klass: analtsim, argentiit, borniit, fluoriit, frankliniit, galeniit, granaat, haliit, hõbe, kalkosiin, kerargüriit, kromiit, kuld, magnetiit, pentlandiit, plaatina, raud, spinell, sülviiin, teemant, uraniniit, vask.

Heksakistetraeedriline klass: boratsiit, lasuriit, sfaleriit, sodaliit, tetraedriit.

Düakisdodekaeedriline klass: kloantiit, leutsiit, püriit, smaltiin, sperrüliit.

Pentagoon-ikositetraeedriline klass: kupriit.

Tetraedriliis-pentagoondodekaeedriline klass: kobaltiin.

### Heksagoonne süsteem.

Diheksagoon-bipüramiidne klass: berüll, grafiit, kovelliin, nikeliin.

Diheksagoon-püramiidne klass: magnetpüriit, tsinkiit, vurtsiit.

Ditriagoon-skalenoedriline klass: aluniit, arseen, hematiit, kaltsiit, korund, rodokrosiit, sideriit, smitsoniit, tšiili salpeeter, vismut.

Ditriagoon-püramiidne klass: milleriit, prustiit, pürargüriit, turmaliin.

Heksagoon-bipüramiidne klass: apatiit, molübdeniit, püromorfiit, vanadiniit.

Trigoon-trapetsoeedriline klass: kinaver, räni.

Heksagoon-püramiidne klass: nefeliin.

Romboedriline klass: kabasiit, dioptas, dolomiit, fenakiit, ilmeniit, magnesiit, villemiit.

### Tetragoonne süsteem.

Ditetragoon-bipüramiidne klass: anataas, apofülliit, brauniit, kasiteriit, kristobaliit, polianiit, rutiil, tsirkoon, vesuviaan.

Tetragoon-skalenoedriline klass: kalkopüriit, meliliit.

Tetragoon-bipüramiidne klass:  $\beta$ -argentiit, skapoliit.

Tetragoon-püramiidne klass: šeeliit, vulfeniit.

## Rombiline süsteem.

Bipüramiidne klass: andalusiit, anglesiit, anhüdriit, antimoniit, antofülliid, aragoniit, arseenopüriit, barüüt, boratsiit, brokantiit, bronsiit, brukiit, burnoniit, enargiit, enstatiit, hüpersteen,  $\beta$ -kalkosiin, karnalliit, kolumbiit, kordieriit, krüsoberüll, leutsiit, limoniit, löllingiit, manganiit, markasiit, mulliit, natroliit, oliviin, pürofülliid, sillimaniit, stauroliit, strontsianiit, tantaliit, topaas, tridümiit, tserussiit, tsoisiit, tsölestiin, viteriit, väävel.

Püramiidne klass: hemimorfiit, stefaniit.

Bisfenoidne klass: epsomiit.

## Monokliinne süsteem.

Prismaline klass: aktinoliit, amfibool, augiit, auripigment, asuriit, biotiit, booraks, kloritoid, datoliit, desmiin, diopsiid, epidoot, euklaas, flogopiit, heulandiit, jadeiit, kainiit, kiseriit, kips, klinokloor, krokoiit, krüoliit, lepidoliit, malahhiit, margariit, monatsiit, muskoviit, ortiit, ortoklaas, penniin, realgaar, serpentiin, spodumeen, talk, titaniit, volframiit, tsinvaldiit.

Doomaline klass: kaoliniit.

## Trikliinne süsteem.

Pinakoidne klass: albiit, anortiit, kallaiit, küaniit, mikrokliin, rodoniit, vasevitriol, vollaioniit.

## Mineraalide saksakeelne nimestik.

Achroit — akroiid	Arsenkies — arseenopüriit
Adular — adulaar	Arsensilberblende — prustiit
Agalmatolith — agalmatoliit	Asbest — asbest
Ägirin — ägiriin	Asphalt — asfalt
Akmit — akmiit	Augit — augiit
Aktinolith — aktinoliit	Auripigment — auripigment
Alabaster — alabaster	Aventurin — aventuriin
Alaunstein — aluniit	Azurit — asuriit
Albit — albiit	
Alexandrit — aleksandriit	Baryt — barüüt
Allanit — allaniit	Bauxit, Beauxit — boksiit
Almandin — almandiin	Bergkristall — mäekristall
Alunit — aluniit	Bergleder — mäenahk
Alumogel — boksiit	Bernstein — merivaik
Amethyst — ametüst	Beryll — berüll
Amiant — amiant	Bittersalz — epsomiit, mõrusool
Amphibol — amfibool	Bitterspat — magnesiit, dolomiit
Analcim — analtsim	Blätterzeolith — heulandiit
Anatas — anataas	Bleiglanz — galeniit
Andalusit — andalusiit	Blende — sfaleriit
Andesin — andesiin	Bolus — boolus
Anglesit — anglesiit	Boracit — boratsiit
Anhydrit — anhüdiit	Borax — booraks
Anorthit — anortiit	Bornit — borniit
Antophyllit — antofülliid	Bort — bort
Anthracit — antratsiit	Bournonit — burnoniit
Antigorit — antigoriit	Brauneisenerz — limoniit
Antimonglanz, Antimonit — antimoniit	Braunit — brauniit
Antimonsilberblende — pürargüriit	Braunspat — dolomiit
Apatit — apatiit	Brochantit — brokantiit
Aplom — aploom	Bronzit — brontsiit
Apophyllit — apofülliid	Brookit — brukiit
Aquamarin — akvamariin	Buntkupferkies — borniit
Aragonit — aragoniit	Byssolith — aktinoliit
Arfvedsonit — arfvedsoniit	Bytownit — bütovniit
Argentit — argentiit	
Arsen — arseen	Calamin — hemimorfiit, kalamiin
Arseneisen, Arsenikalkies — löllingiit	Calcit — kaltsiit
	Carbonado — carbonado

Carnallit — karnalliit  
 Carneol — karneool  
 Cerussit — tserussiit  
 Chabasit — kabasiit  
 Chalcedon — kaltsedon  
 Chalkanthit — kalkantiit  
 Chalkopyrit — kalkopüriit  
 Chalkosin — kalkosiin  
 Chamosit — šamosiit  
 Chessylith — asuriit  
 Chiastolith — kiastoliit  
 Chilesalpeter — tšiili salpeeter  
 Chloanthit — kloantiit  
 Chlorit — kloriit  
 Chloritoid — kloritoid  
 Chlorkalium — sülviiin  
 Chlornatrium — kivisool  
 Chlorsilber — kerargüriit  
 Chromeisenerz, Chromit — kromiit  
 Chrysoberyll — krüsoberüll  
 Crysokoll — krüsokoll  
 Chrysolith — krüsoliit  
 Chrysopras — krüsopraas  
 Chrysotil — krüsotiil  
 Cinnabarit — kinaver  
 Cölestin — tsölestiin  
 Columbit — kolumbiit  
 Cordierit — kordieriit  
 Covellin — kovelliin  
 Cristobalit — kristobaliit  
 Cuprit — kupriit  
 Cymophan — krüsoberüll  
  
 Datolith — datoliit  
 Demantoid — demantoid  
 Diallag — diallaag  
 Diamant — teemant  
 Dichroit — dikroiit  
 Dickit — dikiiit  
 Diopsid — diopsiid  
 Dioptas — dioptaas  
 Disthen — disteen  
 Dolomit — dolomiit  
  
 Eisen — raud  
 Eisenglanz — hematiit  
 Eisenkies — püriit  
 Eisennickelkies — pentlandiit  
 Eisenspat — sideriit

Eläioiith — eleoliit  
 Elektrum — elektrum  
 Enargit — enargiit  
 Enstatit — enstatiit  
 Epidot — epidoot  
 Epsomit — epsomiit  
 Euklas — euklaas  
  
 Fahlerz — tuhm-maak  
 Faserkiesel — sillimaniit  
 Feldspat — päevakivi (põldpagu)  
 Fibrolith — sillimaniit  
 Fluorit, Flussspat — fluoriit  
 Franklinit — frankliniit  
  
 Galenit — galeniit  
 Garnierit — garnieriit  
 Gehlenit — geleniit  
 Gelbbleierz — vulfeniit  
 Gips — kips  
 Glanzkobalt — kobaltiin  
 Glaukonit — glaukoniit  
 Glimmer — vilk  
 Gold — kuld  
 Grammatit — tremoliit  
 Granat — granaat  
 Graphit — grafiit  
 Graubraunstein — pürolusiit  
 Grauspiessglanz — antimoniit  
 Grorolith — waad  
 Grossular — grossulaar  
  
 Halit — kivisool  
 Hauyn — häüiin  
 Heliotrop — heliotroop  
 Hemimorphit — hemimorfiit  
 Hessonit — hessonit  
 Heulandit — heulandiit  
 Hiddenit — hideniit  
 Himbeerspat — rodokrosiit  
 Hornblende — küünekivi  
 Hornsilber — kerargüriit  
 Hyalit — hüaliit  
 Hyazinth — hüatsint  
 Hypersthen — hüpersteen  
  
 Ichtyophthalm — ihtüoftalm  
 Idokras — idokraas  
 Ilmenit — ilmeniit  
 Indigolith — indigoliit

Jadeit — jadeiit	Manganspat — rodokrosiit
Jaspis — jaspis	Mangantongranat — spessartiin
Kainiit — kainiit	Markasiit — markasiit
Kaliglimmer — kaalivilk	Marmor — marmor
Kalkchromgranat — uvaroviit	Meerschaum — merivaht
Kalkeisengranat — andradiit	Melanglanz — stefaniit
Kalkglimmer — lubivilk	Melanit — melaniit
Kalkspat — kaltsiit	Melilith — meliliit
Kalktongranat — grossulaar	Mikroklin — mikrokliin
Kallait — kallaiit	Millerit — milleriit
Kaolin, Kaoliniit — kaoliniit	Mispickel — arseenopüriit
Kassiterit — kassiteriit	Molybdänglanz, Molybdänit — molübdeniit
Kieselgalmei — hemimorfiit	Monazit — monatsiit
Kieselkupfer, Kieselmalachit — krüsokoll	Mondstein — kuukivi
Kieselzinkerz — hemimorfiit	Morion — moorion
Kieserit — kiseriit	Mullit — mulliit
Kliinoklor — klinokloor	Muskovit — muskoviit
Klinozoisit — klinotsoisiit	Nakrit — nakriit
Kobaltglanz, Kobaltin — kobaltiin	Natrolith — natroliit
Korund — korund	Natronglimmer — paragoniit
Krokoit — krokoit	Natronmesotyp — natroliit
Kryolith — krüoliit	Natronsalpeter — tšiili salpeeter
Kunzit — kuntsiit	Nephelin — nefeliin
Kupfer — vask	Nephrit — nefriit
Kupferglanz — kalkosiin	Nickelin — nikeliin
Kupferindig, Kupferlasur — vaselasuur	Niobit — niobiit
Kupferkies — vasepüriit	Nosean — noseaan
Kupfervitriol — vasevitriol	Numeait — garnieriit
Kyanit — küaniit	Oligoklas — oligoklaas
Labrador — labradoriit	Olivin — oliviin
Lapislazuli, Lasurit, Lasurstein — lasuriit	Omphacit — omfatsiit
Lepidolith — lepidoliit	Onyx — oonüks
Leucit — leutsiit	Opal — opaal
Limonit — limoniit	Orthit — ortiit
Löllingit — löllingiit	Orthoklas — ortoklaas
Magnesiaeisenglimmer — biotiit	Ottrelith — otreliit
Magnesiatorgranat — püroop	Ozokerit — osokeriit
Magnesiit — magnesiit	Paragonit — paragoniit
Magneteisenerz — magnetiit	Pargasiit — pargasiit
Magnetit — magnetiit	Pechblende — uraniniit
Magnetkies — magnetpüriit	Pennin — penniin
Malachit — malahhiit	Pentlandit — pentlandiit
Malakolith — malakoliit	Peridot — peridoot
Manganit — manganiit	Perlglimmer — margariit
	Perthit — pertiit

- Phenakit — fenakiit  
 Phlogopit — flogopiit  
 Phosphorit — fosforiit  
 Pistazit — pistatsiit  
 Plagioklas — plagioklaas  
 Plasma — plasma  
 Platin — plaatina  
 Polianit — polianiit  
 Porzellanerde — kaoliin  
 Psilomelan — psilomelaan  
 Pyrargyrit — pürargüriit  
 Pyrit — püriit  
 Pyrolusit — pürolusiit  
 Pyromorphit — püromorfiit  
 Pyrop — püroop  
 Pyropissit — püropissiit  
 Pyrophyllit — pürofülliiit  
 Pyroxen — pürokseen  
 Pyrrhotin — pürrotiin  
  
 Quarz — räni  
  
 Rauchquarz — suitsuräni, -topaas  
 Rauschgelb — auripigment  
 Rauschrot, Realgar — realgaar  
 Reichardtit — epsomiit  
 Rhodochrosit — rodokrosiit  
 Rhodonit — rodoniit  
 Riebeckit — ribekiit  
 Rotbleierz — krokoit  
 Roteisenerz — hematiit  
 Rotgültigerz, dunkles — pürargüriit  
 Rotgültigerz, helles — prustiit  
 Rotkupfererz — kupriit  
 Rotnickelkies — nikeliin  
 Rotzinkerz — tsinkiit  
 Rubellit — rubelliit  
 Rubin — rubiin  
 Rutil — rutiil  
  
 Salit — diopsiid, saliit  
 Sanidin — sanidiin  
 Sapphir — safiir  
 Sardonyx — sardoönüks  
 Scheelit — šeeliit  
 Schörl — turmaliin  
 Schwefel — väävel  
 Schwefelkies — püriit  
 Schwerspat — barüüt  
  
 Selenit — kips  
 Sepiolith — merivaht  
 Sericit — seritsiit  
 Serpentin — serpentiin  
 Siderit — sideriit  
 Silber — hõbe  
 Silberglanz — argentiit  
 Silberhornerz — kerargüriit  
 Sillimanit — sillimaniit  
 Skapolith — skapoliit  
 Skolecit — natroliit  
 Smaltin — smaltiin  
 Smaragd — smaragd  
 Smirgel — smirgel  
 Smithsonit — smitsoniit  
 Sodalith — sodaliit  
 Spateisenstein — sideriit  
 Specularit — hematiit  
 Speiskobalt — smaltiin  
 Sperryolith — sperrüliit  
 Spessartin — spessartiin  
 Sphalerit — sfaleriit  
 Sphen — titaniit  
 Spinell — spinell  
 Spodumen — spodumeen  
 Sprödglasserz — stefaniit  
 Staurolith — stauoliit  
 Steatit — talk  
 Steinsalz — kivisool  
 Stephanit — stefaniit  
 Stibnit — stibniit  
 Stilbit — stilbiit  
 Strahlenblende — vurtsiit  
 Strahlstein — aktinoliit  
 Strontianit — strontsianiit  
 Succinit — merivaik, suktsiniit  
 Sylvin — sülviin  
  
 Tafelspat — vollastoniit  
 Talk — talk  
 Tantalit — tantaliit  
 Thuringit — turingiit  
 Tigerauge — tiigrisilm  
 Tinkal — tinkal  
 Titaneisen — ilmeniit  
 Titanit — titaniit  
 Topas — topaas  
 Tremolit — tremoliit

Tridymit — tridümiit  
Triphan — spodumeen  
Troostit — trustiit  
Tungstein — šeeliit  
Türkis — türkiis, kallaait  
Turmalin — turmaliin  
Turnerit — monatsiit  
  
Uraninit, Uranpecherz — uraniniit  
Uwarowit — uvaroviit  
  
Vanadinit — vanadiniit  
Vermiculit — biotiit  
Vesuvian — vesuviaan  
Vitriolbleierz — anglesiit  
  
Weichmanganerz — pürolusiit  
Weissbleierz — tserussiit  
Weissnickelkies — kloantiit  
Wernerit — skapoliit

Willemit — villemiit  
Wiluit — vesuviaan  
Wismut — vismut  
Witherit — viteriit  
Wolframit — volframiit  
Wollastonit — vollastoniit  
Wulfenit — vulfeniit  
Würfelzeolith — kabasiit  
Wurtzit — wurtsiit  
  
Zeolith — zeoliit  
Zinkblende — sfaleriit  
Zinkit — tsinkiit  
Zinkspat — tsingipagu  
Zinnerz — kassiteriit  
Zinnober — kinaver  
Zinnstein — kassiteriit  
Zinnwaldit — tsinvaldiit  
Zirkon — tsirkoon  
Zoisit — zoisiit

## Mineraalide tähestikuline nimestik.

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| Adulaar, vt. ortoklaas                 | Arseenopüriit 153        |
| Agalmatoliit, vt. pürofülliit          | Asbest, vt. serpentiin   |
| Ahhaat, vt. räni                       | Asfalt 251               |
| Akmiit, vt. egiriit                    | Asuriit 196              |
| Aktinoliit 229                         | Augiit 226               |
| Akroiid, vt. turmaliin                 | Auripigment 146          |
| Akvamariin, vt. berüll                 | Avaruiit, vt. raud       |
| Alabaster, vt. kips                    | Aventuriin, vt. räni     |
| Albiit 241                             |                          |
| Aleksandriit, vt. krüsoberüll          | Baleerubiin, vt. spinell |
| Allaniit, vt. ortiid                   | Barüit 197               |
| Almandiin, vt. granaat                 | Benitoiid 222            |
| Aluniit 201                            | Berüll 222               |
| Amatsoniid, vt. mikrokliin             | Biotiid 233              |
| Ametüst, vt. räni                      | Bläkbänd, vt. sideriid   |
| Amfibool 228, 230                      | Boksiit 179              |
| Amiant, vt. aktinoliit                 | Boolus, vt. kaoliniit    |
| Analtsim 248                           | Booraks 188              |
| Anataas 171                            | Boratsiid 188            |
| Andalusiit 218, 219                    | Borniit 160              |
| Andesiin, vt. albiit                   | Bort, vt. teemant        |
| Andradiit, vt. granaat                 | Brauniit 178             |
| Anglesiit 198                          | Brokantiit 201           |
| Anhüdriit 198                          | Brontsiit 224            |
| Anortiid 242                           | Brukiit 171              |
| Antigoriit, vt. serpentiin             | Burnoniit 161            |
| Antimoniit 147                         | Bütovniit, vt. albiit    |
| Antimonimaak, must, vt. bur-<br>noniid | Carbonado, vt. teemant   |
| Antofülliid 229                        |                          |
| Antratsiid, vt. kivisüsi               | Datoliit 221             |
| Apatiit 206                            | Demantoid, vt. granaat   |
| Aploom, vt. granaat                    | Desmiin 247              |
| Apofülliid 238                         | Diallaag, vt. diopsiid   |
| Aragoniit 193                          | Diaspoor 178             |
| Arfvedsoniid, vt. amfibool             | Dikiit, vt. kaoliniit    |
| Argentiit 156                          | Dikroiid, vt. kordieriit |
| Arseen 140                             | Diopsiid 225             |

- Dioptaas 213  
 Disteen, vt. küaniit  
 Dolomiit 192  
 Egiriin, vt. augiit  
 Elektrum, vt. kuld  
 Eleoliit, vt. nefeliin  
 Enargiit 162  
 Enstatiit 224  
 Epidoot 214  
 Epsomiit 200  
 Euklaas 221  
 Fajaliit, vt. oliiviin  
 Fassaiit, vt. augiit  
 Fenakiit 212  
 Fibroliit, vt. sillimaniit  
 Fillipsiit, vt. desmiin  
 Flogopiit 233  
 Fluuriit 186  
 Forsteriit, vt. oliiviin  
 Fosforiit, vt. apatiit  
 Frankliniit 181  
 Galeniit 155  
 Garnieriit 237  
 Gedriit, vt. antofülliid  
 Glaukofaan, vt. amfibool  
 Glaukoniit 235  
 Grafiit 139  
 Granaat 215  
 Grossulaar, vt. granaat  
 Götiit 179  
 Haliit 185  
 Harmotoom, vt. desmiin  
 Haüiin, vt. sodaliit  
 Hele vilk, vt. muskoviit  
 Heliotroop, vt. räni  
 Hematiit 177  
 Hemimorfiit 221  
 Hessonniit, vt. granaat  
 Heulandiit 247  
 Hideniit, vt. spodumeen  
 Hõbe 142  
 Hõbedamaak, helepunane, vt.  
     prustiit  
     „ must, vt. stefaniit  
     „ tumepunane, vt.  
     pürargüriit  
 Hõbedasarvmaak, vt. kerargü-  
     riit  
 Hõbekloriid, vt. kerargüriit  
 Hõbeläige, vt. argentiit  
 Hüaliit, vt. opaal  
 Hüatsint, vt. tsirkoon  
 Hüdrargilliit 178  
 Hüpersteen 225  
 Idokraas, vt. vesuviaan  
 Ihtüoftalm, vt. apofülliid  
 Ilmeniit 178  
 Indigoliit, vt. turmaliin  
 Inglistinakivi, vt. kassiteriit  
 Islandi pagu, vt. kaltsiit  
 Jadeiit 227  
 Jaspis, vt. räni  
 Kaalipõldpagu, vt. ortoklaas  
 Kaaliumkloriid, vt. sülviiin  
 Kaalivilk, vt. muskoviit  
 Kabasiit 248  
 Kainiit 202  
 Kalamiin, vt. hemimorfiit  
 Kalasilm, vt. apofülliid  
 Kalkantiit, vt. vasevitriol  
 Kalkopüriit 159  
 Kalkosiin 157  
 Kallaiit 207  
 Kaltседон, vt. räni  
 Kaltsiit 189  
 Kaoliin, kaoliniit 235  
 Karnalliit 187  
 Karneool, vt. räni  
 Kassisilm, vt. räni  
 Kassiteriit 171  
 Kašolong, vt. opaal  
 Kerargüriit 185  
 Kiastoliit, vt. andalusiit  
 Kiirjaskivi, vt. aktinoliit  
 Kinaver 158  
 Kips 199  
 Kirju vasemaak, vt. borniit  
 Kiseriit 200  
 Kiudzeoliit, vt. natroliit  
 Kivisool, vt. haliit  
 Kivisüsi 253  
 Klinokloor 234

- Klinozoisiit, vt. epidoot  
 Kloantiit 155  
 Kloorhõbe, vt. kerargüriit  
 Kloorkaalium, vt. sülviin  
 Kloornaatrium, vt. haliit  
 Kloriit 234  
 Kloritoid, vt. margariit  
 Kobaltiin 154  
 Kollane seatinamaak, vt. vul-  
 feniit  
 Kolumbiit 208  
 Kooballtäige, vt. kobaltiin  
 Kordieriit 223  
 Korund 175  
 Kovelliin 158  
 Kriit, vt. kaltsiit  
 Kristobaliit 169  
 Krokoiit 202  
 Kromiit 182  
 Kroom-rauamaak, vt. kromiit  
 Krüoliit 186  
 Krüsoberüll 182  
 Krüsokolla 213  
 Krüsoliit, vt. oliviin  
 Krüsopraas, vt. räni  
 Krüsotiil, vt. serpentiin  
 Kukersiit 253  
 Kuld 141  
 Kuntsiit, vt. spodumeen  
 Kupriit 174  
 Kuukivi, vt. ortoklaas  
 Kuupzeoliit, vt. kabasiit  
 Kvarts, vt. räni  
 Küaniit 218, 220  
 Küneekivi, vt. amfibool  
  
 Labradoriit, vt. albiit  
 Lapis lazuli, vt. lasuriit  
 Lasuriit 245  
 Lateriit, vt. boksiit  
 Lehtzeoliit, vt. heulandiit  
 Lepidoliit 234  
 Leukosafiir, vt. korund  
 Leutsiit 246  
 Limoniit 179  
 Lubivilk, vt. margariit  
 Lubjapagu, vt. kaltsiit  
 Löllingiit 154  
  
 Maapigi, vt. asfalt  
 Maarjaskivi, vt. aluniit  
 Maavaha, vt. osokeriit  
 Maaõli, vt. nafta  
 Magneesia-raudvilk, vt. biotiit  
 Magneesivilk, vt. flogopiit  
 Magnesiit 191  
 Magnetiit 181  
 Magnetpüriit 150  
 Magnetrauamaak, vt. magnetiit  
 Maksamaak, vt. sfaleriit  
 Malahhiit 195  
 Malakoliit, vt. diopsiid  
 Malakoon, vt. tsirkoon  
 Mangaanimaak, kõva, vt.  
 brauniit  
 Mangaanpagu, vt. rodokrosiit  
 Manganiit 180  
 Margariit 234  
 Marialiit, vt. skapoliit  
 Markasiit 153  
 Marmor, vt. kaltsiit  
 Martiit, vt. hematiit  
 Meioniit, vt. skapoliit  
 Melaniit, vt. granaat  
 Meliliit 238  
 Mergel, vt. kaltsiit  
 Merivaht 237  
 Merivaik 251  
 Meteeorne raud, vt. raud  
 Mikrokliin 241  
 Milleriit 151  
 Molübdeniit 148  
 Monatsiit 205  
 Morganiit, vt. berüll  
 Morioon, vt. räni  
 Mulliit 220  
 Muskoviit 232  
 Must vilk, vt. biotiit  
 Mõrusool, vt. epsomiit  
 Mäekork, vt. aktinoliit  
 Mäekristall, vt. räni  
 Mäelina, vt. aktinoliit  
 Mäenahk, vt. aktinoliit  
  
 Naatriumnitraat, vt. tšiiisal-  
 peeter  
 Nafta 250



- Serpentiin 236  
 Sfaleriit 148  
 Sfeen, vt. titaaniit  
 Sideriit 191  
 Sillimaniit 218, 219  
 Skapoliit 243  
 Skoletsiiit, vt. natroliit  
 Smaltiin 154  
 Smaragd, vt. berüll  
 Smirgel, vt. korund  
 Smitsoniit 191  
 Sodaliit 245  
 Sperrüliit 155  
 Spessartiin, vt. granaat  
 Spinell 180  
 Spodumeen 227  
 Stauroliit 218  
 Steatiit, vt. talk  
 Stefaniit 161  
 Stibniit, vt. antimoniit  
 Stilbiit, vt. heulandiit ja desmiin  
 Strontsianiit 194  
 Suitsutopaas, vt. räni  
 Suksiniit, vt. merivaik  
 Sulapagu, vt. fluoriit  
 Sülviin 184  
 Šamosiit 235  
 Šeeliit 203  
 Šörl, vt. turmaliin  
  
 Tahvelpagu, vt. vollastoniit  
 Talk 231  
 Teemant 137  
 Telliskivimaak, vt. kupriit  
 Tetraedriit 162  
 Tiigrisilm, vt. räni  
 Tinakivi, vt. kassiteriit  
 Tinkal, vt. booraks  
 Titaanraud, vt. ilmeniit  
 Titaaniit 249  
 Topaas 217  
 Tremoliit, vt. aktinoliit  
 Tridümiit 168  
 Troiliit, vt. magnetpüriit  
 Troostiit, vt. villemiid  
 Tserussiit 195  
  
 Tsingimaak, punane, vt. tsinkiit  
 Tsingipagu, vt. smitsoniit  
 Tsinkiit 174  
 Tsinnabariit, vt. kinaver  
 Tsinvaldiit 234  
 Tirkoon 216  
 Tsitriin, vt. räni  
 Tsoisiit 214  
 Tsölestiin 197  
 Tšiili salpeeter 205  
 Tuhm-maak, vt. tetraedriit  
 Tuliit, vt. tsoisiit  
 Turingiit 235  
 Turmaliin 244  
 Turvas 252  
 Türkiis, vt. kallaiit  
  
 Umbra, vt. kaoliniit  
 Uraanpigi, vt. uraniniit  
 Uraliit, vt. augiit  
 Uraniniit 172  
 Uvaroviit, vt. granaat  
  
 Vad 174  
 Vahasüsi, vt. püropissiit  
 Vanadiniit 207  
 Vaselasuur, vt. asuriit  
 Vaseläge, vt. kalkosiin  
 Vasemaak, punane, vt. kupriit  
 Vasepüriit, vt. kalkopüriit  
 Vaseroheline, vt. krüsokoll  
 Vasevitriol 201  
 Vask 143  
 Vesuviaan 220  
 Vihkzeoliit, vt. desmiin  
 Vilk 232—234  
 Villemiid 213  
 Vismut 141  
 Viteriit 194  
 Volframiit 204  
 Vollastoniit 227  
 Vulfeniit 203  
 Vurtsiit 149  
 Väävel 140  
  
 Zeoliit 246

## Üldosa sisuregister.

- Aatomi struktuur 13  
 Ahrensi prisma 79  
 Aksonomeetiline projektsioon 30  
 Amorfne mineraal 72, 119  
 Analüsaator 79  
 Analüüs, mikrokeemiline 131  
 Ångström 13  
 Anomaaliad, optilised 97  
 Arvutused, kristallograafilised 65  
 Asterism 101  
 Astrik, Mohsi 104  
 „ Kobelli 123  
 Asümmeetriline klass 41, 61  
  
 Baas 50, 51, 52, 53, 55  
 Becke joon 83  
 Bertrand'i lääts 79  
 Binaarne lahus 115  
 Bisfenoid, rombiline 54  
 „ tetragoonne 45, 52  
 Biskviit 98  
 Boorakshelmes 124  
 Braggs'i valem 21  
 Bravais' rakukesed 19  
 Bravais' sümbol 44  
  
 Deltoid-dodekaeeder 56, 58  
 Deltoid-ikositetraeeder 57, 58, 59  
 Dikroism 99  
 Dikroskoop 99  
 Diheksagoon-bipüramiidne klass  
 53, 60  
 Diheksagoonne bipüramiid 53  
 „ prisma 50, 53  
 „ püramiid 50  
 Diheksagoon-püramiidne klass  
 50, 60  
 Dimorfism 121  
 „ väävli 113  
  
 Dispersioon, horisontaalne 94  
 „ optiliste telgede 94  
 „ ristic 94  
 „ viltune 94  
 Ditetragoon-bipüramiidne klass  
 53, 61  
 Ditetragoonne bipüramiid 53  
 „ prisma 50, 52, 55  
 „ püramiid 50  
 „ skalenoeder 52  
 Ditetragoon-püramiidne klass 50  
 Ditrigoon-bipüramiidne klass 53,  
 60  
 Ditrigoonne bipüramiid 50, 53  
 „ prisma 50, 53, 54  
 „ püramiid 50  
 „ skalenoeder 52  
 Ditrigoon-püramiidne klass 50, 60  
 „ -skalenoedriline klass  
 52, 60  
 Dooma 47  
 Doomaline klass 47  
 Druus 72  
 Düakisdodekaeeder 57  
 Düakisdodekaedriline klass 57,  
 60  
 Dünamometamorfoos 118  
 Ebaharilik kiir 75  
 Elektrilised omadused 108  
 Elektron 13  
 Elementide sagedus maakoos  
 12  
 Ellipsoid, optiline 76  
 Enantiomorfism 46  
 Erikaal 109  
 Erisoojus 107  
 Esimese järgu punase kipsplaa-  
 dike 89  
 Eutektikum 115

- Fluorestseerimine 100  
 Fosforestsents 100  
 „ , katood- 100  
 Fosforsoola helmes 124  
 Gibbs'i reegel 112  
 Gnomostereograafiline projekt-  
 sioon 31  
 Goldschmidti reegel 112  
 Harilik kiir 75  
 Heksaeder (kuup) 56, 57, 58, 59  
 Heksagoon-bipüramiidne klass  
 49, 60  
 „ -püramiidne klass 46,  
 60  
 „ -trapetsoedriline  
 klass 55, 60  
 Heksagoonne bipüramiid 49, 52,  
 53, 55  
 „ prisma 46, 49, 52,  
 53, 54, 55  
 „ püramiid 46  
 Heksagoonne süsteem 59  
 Heksagoonne trapetsoeder 55  
 Heksakisoktaeder 58  
 Heksakisoktaedriline klass  
 58, 60  
 Heksakistetraeder 58  
 Heksakistetraedriline klass  
 58, 60  
 Helendumine 100  
 Helmes, booraksi 124  
 „ fosforsoola 124  
 Heterogeenne süsteem 112  
 Heterogeensed kokkukasvamised  
 70  
 Homogeenne süsteem 112  
 Immersioonimeetod 88  
 Indeks 29  
 Indikaatriks 76  
 Interferents, valguse 80  
 Interferentsvärvide järjed 86, 87  
 Inversioonikese 39  
 Isomorfism 120  
 Jootetoru 122  
 „ reaktsioonid 124—130  
 Kaheteljelised mineraalid 76  
 Kaksikmurdumise määr 86, 87  
 Kaksik-sümmeetriatelg 41, 42  
 Kaksikud 68  
 „ läbikasvamis- 69  
 „ polüsünteesilised 69  
 „ puute- 69  
 Kaksiku tasapind 68  
 „ telg 68  
 Katood-fosforestsents 100  
 Keemilised omadused 120  
 Kiil ränist 87, 88  
 Kipsplaadike, esimese järgu pu-  
 nase 89  
 Kobell'i astrik 123  
 Kolloidne olek 118  
 Kolloidsed mineraalid 118  
 Kolmik-sümmeetriatelg 41, 44  
 Kombinatsioonid 64  
 Komplikatsioonireegel 68  
 Kondensor 79  
 Konoskoop 83, 89  
 Kontaktmetamorfoos 118  
 Kriips 98  
 Kristall 22  
 „ pealekasvanud 71  
 „ sissekasvanud 71  
 Kristallide esinemiskohad 71  
 „ haabitus 70  
 „ hari 72  
 „ kujutamine 30  
 „ paralleelne kokkukas-  
 vamine 68  
 Kristalli vöö 35  
 Kristallkondistikud 71  
 Kristallograafia 23  
 „ põhiseadus 27  
 Kristallograafilised arvutused 65  
 „ teljed 25  
 Kruvitelg 38  
 Kujutamine, kristallide 30  
 Kustumine, viltu 85  
 „ õige 85  
 Kuubiline süsteem 59  
 Kuuk-pöördpeegeltelg 41, 47  
 „ -sümmeetriatelg 41, 46  
 Kõvadus 102

- Lahus, binaarne 115  
 Lahused 115  
 Leegi värvus 123  
 Leek, oksüdeeriv 123  
 „ redutseeriv 123  
 Leutsitoeeder 57, 58, 59  
 Lihv 82  
 Liittelg 37  
 Litosfääri oksüüdne koostis 111  
 Luminestsents 100  
 Lõhevus 105  
 Läbikasvamiskaksikud 69  
 Läbipaistmatud mineraalid 96  
 Läge 100
- Maakoore koostis 12, 111  
 Magnetilised omadused 107  
 Mikrokeemiline analüüs 131  
 Miller'i sümbol 29  
 Mimeetilised kristallid 69  
 Mineraal 11  
 Mineraalide teke 111  
 Mineraali värvus 97  
 Mineralisaatorid 115  
 Mineralogeensed vööd 117  
 Mineraloogia jaotus 11  
 Mohs'i astrik 104  
 Monokliinne süsteem 59  
 Monokliin-prismaline klass 48  
 Murdepind 106  
 Murdumisindeks 84  
 Murenemine 118  
 Mõjuraadius, iooni, aatomi 15, 16
- Nelik-sümmeetriatelg 41, 45  
 Neutron 13  
 Nicol'i prisma 78  
 Nurkade konstantsuse seadus 25
- Oksüdeeriv leek 123  
 Oktaeeder 57, 58, 59  
 Ooidid 72  
 Opaak-illuminaator 96  
 Optiline telg 75  
 Optilised anomaaliad 97  
 „ omadused 74  
 Optilise ellipsoidi ja sümmeetria-  
 elementide vahekorid 93
- Optiliselt kaheteljelised mineraa-  
 lid 76  
 Optiliste telgede dispersioon 94  
 Ortoskoop 83, 84
- Paisumine, termiline 107  
 Pakkimisviis, tihedam 17  
 Paralleelne kokkukasvamine 68  
 Parameetrid 26  
 Parameetrite ratsionaalsuse sea-  
 dus 27  
 Pealekasvanud kristall 71  
 Pedion 41  
 Pedioniline klass 41  
 Peegelpind 36  
 Pentagon-dodekaeeder 56, 57, 58  
 Pentagon-ikositetraeeder 57  
 Pentagon-ikositetraeedriline  
 klass 57, 60  
 Piesoelekter 108  
 Piesoräni 109  
 Pikkus, stereograafilises pro-  
 jektsioonis 35  
 Pinakoid 42  
 Pinakoidne klass 42, 61  
 Pleokroism 99  
 Polaarkaugus, stereograafilises  
 projektsioonis 35  
 Polaarsed teljed 46  
 Polarisator 79  
 Polarisatsioonimikroskoop 79, 80  
 Polariseeritud valgus 74  
 Polümorfism 121  
 Polüsünteesilised kaksikud 69  
 Prooton 13  
 Pseudomorfoosid 121  
 Puutekaksikud 69  
 Põhiring 31  
 Pöördpeegeltelg 37  
 „ kaksik- 41, 37, 39  
 „ kuuk- 41, 37  
 „ nelik- 41, 37  
 Püramiidne kuup 58, 59  
 Püroelekter 108
- Ratsionaalsuse seadus 27  
 Reaktsioonid söel 124  
 Redutseeriv leek 123  
 Reflekteeritud valgus 96

- Ringpolarisatsioon 95  
 Romb-bipüramiidne klass 52, 61  
 Romb-bisfenoidne klass 54, 61  
 Rombdodekaeder 56, 57, 58, 59  
 Rombiline bisfenoid 54  
     „ prisma 49, 52, 54  
     „ püramiid 49  
     „ süsteem 59  
 Romboeeder 47, 52, 54  
 Romboedriline klass 47, 60  
 Romb-püramiidne klass 49, 61  
 Ruumvõre 18  
 Ränikiil 87, 88  
 Röntgenikiirte meetod 18  
  
 Sfenoid 43  
 Sfenoidne klass 43, 61  
 Sillerdamine 101  
 Sissekasvanud kristallid 71  
 Skalenoeeder  
     „ ditrigoonne 52  
     „ tetragoonne 51  
 Skleromeeter 104  
 Soojusjuhtivus 106  
 Steno seadus 25  
 Stereograafiline projektsioon 30  
 Sulavus 123  
 Suletised 84  
 Sõltuvus, sümmeτριαelementide vaheline 38  
 Söövitismärgid 71  
 Sümmetria 36  
     „ -elemendid 36, 40  
     „ -elementide sõltuvus 38  
     „ -kese 38, 39  
     „ -klassid 41, 60, 61  
     „ -seadus 64  
     „ -süsteemid 41  
     „ -telg 37  
 Süsteem, heterogeenne 112  
     „ homogeenne 112  
     „ kristallograafiline 59  
  
 Tahkude asend 25  
     „ sümbolid 27  
 Teke, mineraalide 111  
 Telgedevaheline nurk 65, 95  
 Teljed, kristallograafilised 25  
  
 Teljepilt, kaheteljelistel 92  
     „ üheteljelistel 90  
 Terav poolitaja 91  
 Termiline paisumine 107  
 Termilised omadused 106  
 Tetraeeder 56, 58  
 Tetraedriline pentagoon-dodekaeder 56  
 Tetraedrilis-pentagoondodekaedriline klass 56, 60  
 Tetragoon-bipüramiidne klass 49, 61  
     „ -bisfenoidne klass 45, 61  
     „ -püramiidne klass 45, 61  
     „ -skalenoeedriline klass 51, 61  
     „ -trapetsoedriline klass 55, 61  
 Tetragoonne bipüramiid 49, 52, 53, 55  
     „ bisfenoid 45, 52  
     „ prisma 45, 49, 53, 55  
     „ püramiid 45  
     „ skalenoeeder 51  
     „ süsteem 59  
     „ trapetsoeeder 55  
 Tetraakisheksaeeder 58, 59  
 Translatsioon 103  
 Trapetsoeeder 54  
     „ heksagoonne 55  
     „ tetragoonne 55  
     „ trigoonne 54  
 Triakisoktaeder 57, 58, 59  
 Triakistetraeeder 56, 58  
 Triboelekter 108  
 Triboluminestsents 100  
 Trigoonne bipüramiid 45, 53, 54  
     „ prisma 45, 48, 54  
     „ püramiid 45  
     „ trapetsoeeder 54  
 Trigoon-bipüramiidne klass 48, 60  
     „ -püramiidne klass 45, 60  
     „ -trapetsoedriline klass 54, 60  
 Trikliinne süsteem 60  
 Tri kroism 99

- Valentsus 15  
Valgus, polariseeritud 74  
„ reflekteeritud 96  
„ võnkumine 74  
Valguse interferents kristallides  
80  
„ kiir 74  
„ levimine kaheteljelisis  
kristalles 76, 91  
„ levimine kuubilisis kris-  
talles 75  
„ levimine üheteljelisis  
kristalles 75, 89  
Veerand  $\lambda$  vilk 89  
Weissi sümbol 27  
Vilk,  $\frac{1}{4} \lambda$  89  
Viltu kustumine 85  
Võimalikud sümmeetriaelemen-  
did 41  
Värvus, mineraalidel 97  
Väävli dimorfism 113  
Vöö, kristalli 35  
Vööd, minerogeensed 117  
Õhik 82  
Õige kustumine 85  
Ühiktahk 26
-

A-11754

III U

Hind 3 krooni.