J. Kents.
2855

MINERALOOGIA ÕPPERAAMAT



J. KARK

2855
J. Kents.

MINERALOOGIA ÕPPERAAMAT

RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU 1940

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

EB 57
3294
ENSV Teaduste Akadeemia
Keskraamatukogu

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 käsitellakse naaberteadustes, näiteks: valguse nähtused ja erikaalu määramine, mida käsitellakse füüsikas; mineraalide analüüs (käsitellakse keemias), üldisem keemilise tasakaalu õpetus kui mineraalide tekkimise õpetuse alus (käsitellakse 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 tulevastele praktilistele mäemeestele — on ära jäetud 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. Geisteinskunde. 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 õppija peab mõõdapääsematult 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 tarvitatavad) mineraalide nimed ühes eestikeelsete vastetega.

Tallinn, aprill 1940.

J. Kark.

Sisukord.

Lk.

Saatesõna 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 peegelpindadega 51

Pöördteljed ja nendega risti olevad ning paralleelsed peegelpinnad 52

Lk.

Kahesuguste telgede kombinatsioonid ilma peegelpindadeta 53
Kolmiktelgede lisandamine eelmistele kombinatsioonidele 56
Kristallograafilised süsteemid 59
Meroeedria 61
Kombinatsioonid 64
Kristallograafilised arvutused 65
Reeglipärased kristallide liitumised 68
Paralleelsed kokkukasvamised 68
Kaksikud 68
Heterogeensed kokkukasvamised 70
Iseärasused kristallide välimuses 70
Kristallide esinemiskohad 71
Amorfsed mineraalid 72

VIII ptk. Mineraalide optilised omadused 74

Polariseeritud valgus 74
Polarisatsioonimikroskoop 79
Interferentsi nähtused optiliselt anisotroopseis kristalles 80
Õhikud (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

IX ptk. Muud füüsikalised omadused 102

Kõvadus 102
Mohs'i astrik 104
Lõhevus 105
Murdepind 106
Termilised 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

I klass. **Elemendid** 137

1. sugukond: Metalloidid 137

2. „ Habrasmetallid 140

3. „ Taotavad metallid 141

II klass. **Hapnikuvabad ühendid S, As, Sb, Bi, Se ja Te-ga** . . 146

1. sugukond: Habrasmetallide sulfiidid 146

2. „ Taotavate metallide sulfiidid . . . 148

3. „ Sulfosoolad 159

III klass. **Oksüüdid, hüdroksüüdid** 164

1. sugukond: Happelise iseloomuga oksüüdid . . . 164

2. „ Aluselise iseloomuga oksüüdid . . . 174

3. „ Poolteist-oksüüdid ja nende hüdraadid . 175

4. „ Aluminaadid ja ferriidid 180

IV klass. **Haloidsoolad** 184

1. sugukond: Lihtsad kloriidid ja fluoriidid . . . 184

2. „ Cl ja F kaksiksoolad 187

V klass. **Boraadid, karbonaadid** 188

1. sugukond: Boraadid 188

2. „ Süsihappesoolad 189

VI klass. **Sulfaadid, kromaadid, molübdaadid, volframaadid** . . 197

1. sugukond: Veeta sulfaadid 197

2. „ Sulfaadid kristallveega 199

3. „ Kromaadid 202

4. „ Volframaadid ja molübdaadid . . . 203

VII klass. **Nitraadid, fosfaadid ja teised 5. keemilise rühma hapete ühendid** 205

VIII klass. **Silikaadid** 209

1. sugukond: Üksikud SiO_4 tetraeedrid 211

2. „ Kaksiktetraeedrid $(Si_2O_7)^{-6}$ 221

3. „ Kuuikrõngad $(Si_6O_{18})^{-12}$ 222

Lk.

4. sugukond: SiO_4 tetraeedrid lõpmatuis ahelais . . 223
5. „ SiO_4 „ „ tasapinnalistes võrkudes (lehtedes) 230
6. „ SiO_4 tetraeedrid kolmemõõtmelistes võredes 239

IX klass. Orgaanilised ühendid 250

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 homogeensed 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 ehteasjadena juba igivanal ajal (vrd. kivi-, pronksi- ja rauaaega), 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 maakoores (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 $^1/_{14}$-ga, siis raud, kaltsium, naatrium, kaalium ja magneesium igaüks 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 ebaühtlaselt, nagu nähtub tabelist.

Tabel 1.

Elementide sagedus kaaluprotsentides.

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

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 mateeria 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 igaüks 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 $^1/_{10}$ 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.

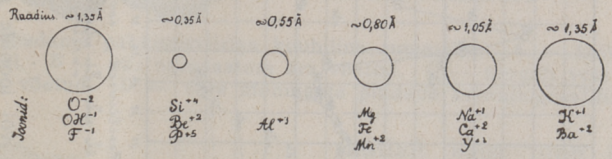
Säärased oleksid siis algmaterjalid, milledest ehituvad elementide aatomid ja neist omakorda mineraalid. Jõud, mis neid materjale koos hoiavad, on samad, mis üldiselt keemilistes ühen-

dites esile tulevad: elektromagnetiline külgetõmme ja eemaletõuge. Harilikud elementide aatomid on neutraalsed, sest positiivsete ja negatiivsete elektriühikute arv on neis tasakaalus. Välise energia mõjul aatomid sageli ioniseeruvad, kaotades mõne elektroni või omandades mõne väljastpoolt. Need ± ioonid peavad grupeeruma ja grupeeruvadki elektriliste seaduste järgi keemilisteks ühenditeks, kusjuures grupeerumine toimub nõnda, nagu see vastab antud ümbruskonna tingimustele (ioonide kontsentratsioon, temperatuur, rõhumine).

IV peatükk.

Aatomite agregaadid.

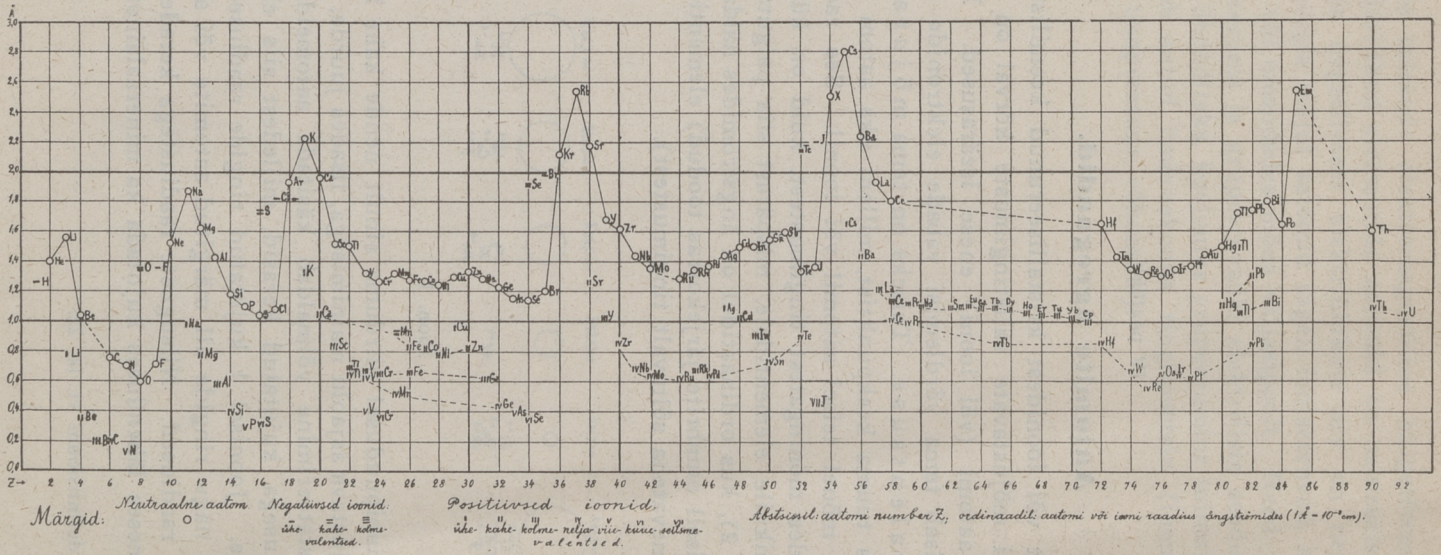
Aatomitest või ioonidest kristalliseerunud keemiliste ühendite struktuuri mõjustavate välistingimuste kõrval on muidugi mõõtuandvad aatomi (või iooni) enese iseärasused. Esimeses järjekorras seisab tema võrdlemisi vabade elektronide arv, mis määrab tema v a l e n t s u s e. Teiseks on tema m õ j u r a a d i u s. See on kaugus tuuma keskpunktist, milleni üks aatom või ioon laseb ligineda mõnel teisel aatomil või ioonil. See raadius on muutuv, olenedes mõningatest tingimustest, kuid on küllalt iseloomustav üksikuile elementidele, mispärast siia paigutame diagrammi (joon. 2), kus ordinaatidel on ångströmides näidatud mõningate (abstsissil numbrite järjekorras toodud) elementide mõjuraadiused (erinevatena sõltuvalt tingimustest).



Joon. 1.

Peame ruumipuudusel piirduma ainult nende kahe kristalli[1] struktuuri mõjustava asjaolu mainimisega, lisades juurde, et mõjuraadiuste konstateerimine võimaldab käsitada aatomeid (ioone) kui mõjuraadiusega kujutatud kerasid, milledest siis ehitatakse kristallide aine. Joonisel 1 kujutatud ringide raadiused suhtuvad umbes nii nagu ringide all märgitud aatomite või anioonide või katioonide raadiused. Niisuguste raadiustega keradest ehitatuna võib esimeses lähenduses kujutada ka mineraalainet.

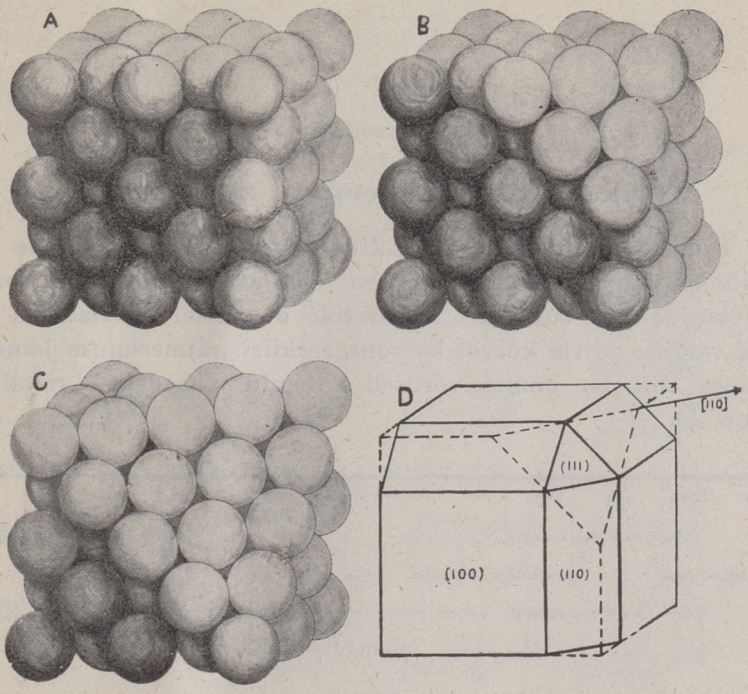
[1] Kristalli definitsiooni vt. lk. 22.



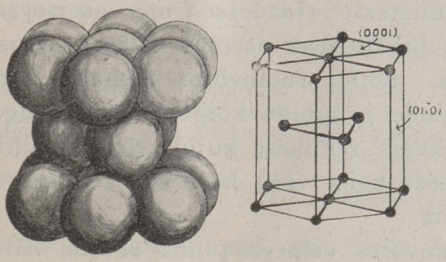
Joon. 2.

Aatomite või ioonide raadiuste olenevus elementide numbritest.

Kõige lihtsam juhtum on, kui on tegemist üheainsa aatomiliigiga. Jättes tähele panemata valentsuse ja muud asjaolud, kujutleme, et puistame sääraseid kerakesi kasti. Nad asetuvad teatavas 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.



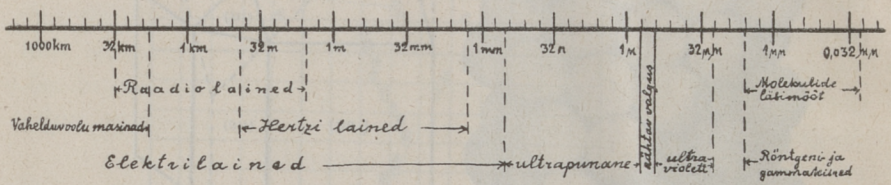
Joon. 4.

küllalt kaua ning kui aegajalt kontrollida kerade asetust, siis selgub, et sagedamini korduvad võimalikult tiheda kerade pakkimisega süsteemid.* Kaks tihedama pakkimisviisiga asetust on kristallide 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 käsitluse 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).



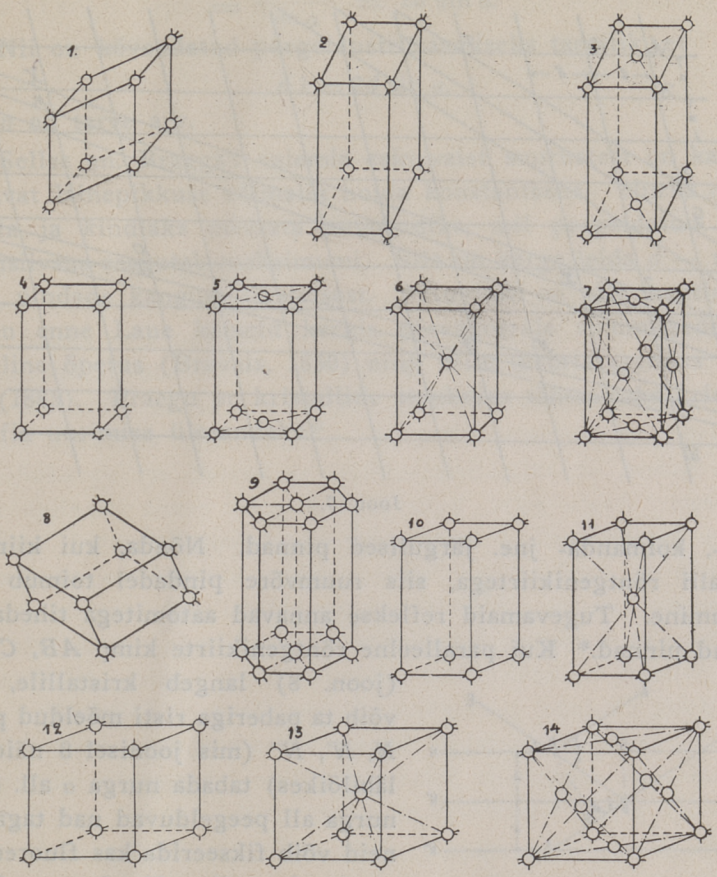
Joon. 5.

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 r u u m v õ r e. 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 igaühest 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. Sääraseist üksteisest teataval kindlal kaugusel asetsevaist pindadest koosneks kogu ruumvõre. Ruumvõre nurkades (A, C, ...) asetsevad aatomid või nende grupid. Suunas AB on nende vahede pikkus

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

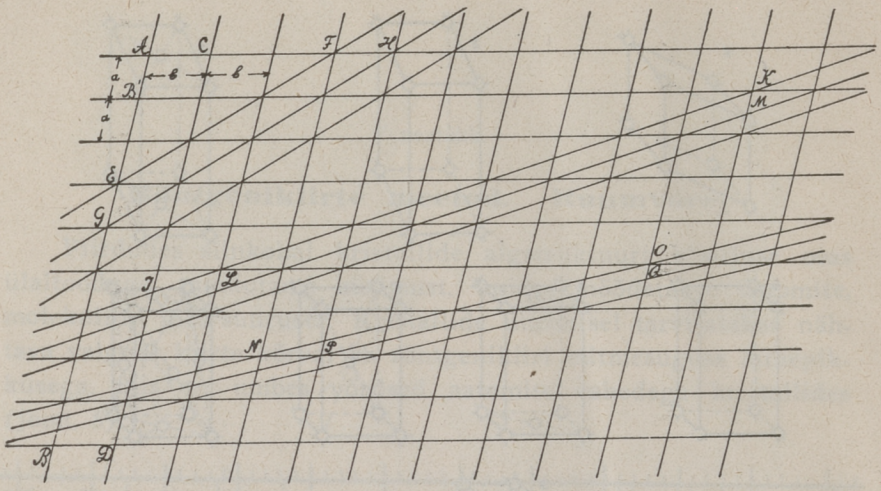
*Kui joon. 7 sirged *AB* || *CD* jne. ning *AH* || *BD* jne. arendada püstpindadeks, mis läbiksid meie ruumvõre kõik joonisega 7 pa-



Joon. 6. Bravais' ruumvõre rakukesed. *1* — trikliinne, *2* — lihtmonokliinne, *3* — baasiskesendatud monokliinne, *4* — lihtrombiline, *5* — baasiskesendatud rombiline, *6* — ruumkesendatud rombiline, *7* — tahkkesendatud rombiline, *8* — romboeedriline, *9* — heksagoonne, *10* — liht-tetragoonne, *11* — ruumkesendatud tetragoonne, *12* — lihtkuubiline, *13* — ruumkesendatud kuubiline, *14* — tahkkesendatud kuubiline.

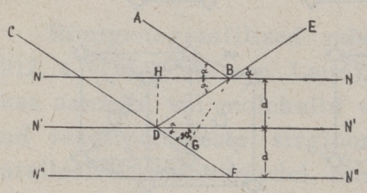
ralleelsed kihtpinnad, siis oleks kõigil nimetatud püst- kui ka horisontaalpindadel, joon. 7 kaasa arvatud, aatomid asetatud suurema tihedusega kui igasugustel teistel võimalikkudel pindadel selles võres. Nõnda näeme joonisel 7, et aatomite tihedus *AB*-l on suurem kui *EF* || *GH* jne., ning edasi, *IK* || *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 välistungidele tunduvamalt 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* ... (joon. 8) langeb kristallile, siis võib ta paberiga risti mõeldud pindu *N*, *N'*, *N''* (mis joonisel 8 näidatud läbilõikes) tabada nurga α 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 kohtuvate lainete faasid on samad, s. o. kui nende käigu vahe moodustab lainepikkusest λ 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-



Joon. 8.

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

$$BD - DG = BD - BD \cos 2\alpha = \frac{d}{\sin \alpha} (1 - \cos 2\alpha) =$$

$$= \frac{2d \sin^2 \alpha}{\sin \alpha} = 2d \sin \alpha.$$

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 α 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 looduslikkude 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 struktuurgi.

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-

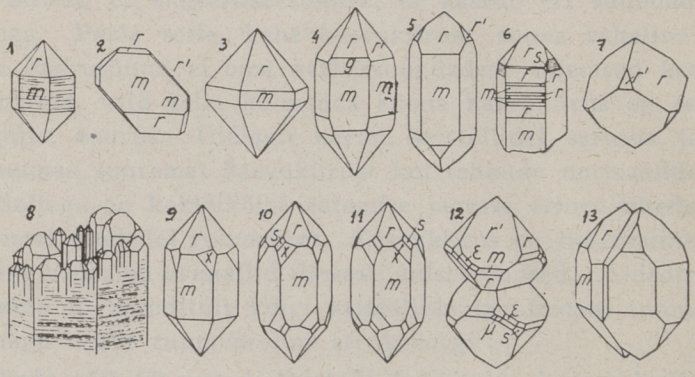
line, nende erilisest struktuurist tingitud ja neid iseloomustav piirdepindade-t a h k u d e kompleks, mis võimaldab ka mineraale määrata. Sellepärast on tähtis seda kristallikuju tunda. Kristallide ja kristalliseerunud olekute uurimisega tegeleb k r i s t a l l o g r a a f i a. Sellepärast on mineraloogile tähtis see kristallograafia osa, mis kirjeldab geomeetriliste meetoditega kristallide välimust ja ehitust. Meie tutvume kristallograafiaga järgnevalt seevõrra, kuivõrra see on vajalik mineraalide määramisel.

VII peatükk.

Geomeetriline kristallograafia.

Serv- ja tippnurkade konstantsuse seadus.

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



Joon. 9.

Tavaliselt toimub niisugune nurkade mõõtmine erilistel, teodoliidi põhimõttel konstrueeritud optilistel nurgamõõtjatel — goniomeetritel; 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 prismat, mille mõlemasse otsa on asetatud ühesugused kuusnurksed püramiidid, umbes nagu nr. 1 ja 3 joonisel 9. Kuid tahkude arenemine looduses

on olnud ebaühtlane — 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 $AB \parallel CD \ldots$, $AH \parallel BD \ldots$ 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 paralleelsesse 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 keskpaigast erinevad ja seetõttu ka tahkude kuju ja suurus erinevad. Nii esineb sageli kuubi asemel püstkülik, kuid siiski mitte kunagi kaldnurkne rööptahuk — paralleelepipeed, sest nurgad on püsivad püsivate välistingimuste puhul (t^0, p).

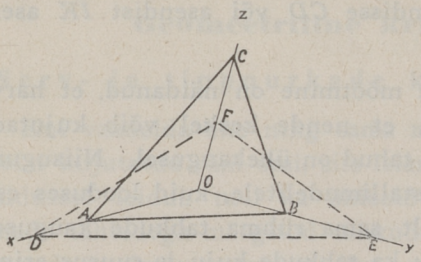
Arusaadav, et juhul, kui teatavate tahkude rühmade vahel nurgad on konstantsed, siis on nad seda ka servade vahel — ka mõõtmised tõestavad seda. See ruumvõrest teoreetiliselt tuletatav ja empiiriliselt tõestatud kristallide kuju omadus kannab serv- ja tippnurkade konstantsuse seaduse nimetust *(N. Steno 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 koordinaattelgi 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.



Joon. 10.

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 $AB \parallel CD \ldots$, $AH \parallel BD \ldots$ 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. r a t s i o n a a l s u s e ehk kristallograafia p õ h i s e a d u s. Sirglõigud, mida lõikavad koordinaattelgedel kõik kristallis esinevad tahud, on iga üksiku telje jaoks ratsionaalseis ja pealegi väikeste arvudega väljendatavais 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 $p = \frac{1}{2}$.

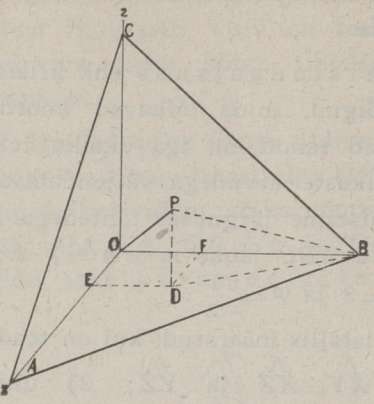
Nõnda oleks tahkude asend kristallis määratud, kui on teada: 1) koordinaatteljestiku nurgad: $\overset{\frown}{XY}$, $\overset{\frown}{XZ}$ ja $\overset{\frown}{YZ}$; 2) ühiktahu parameetrite pikkus ja 3) antud tahu parameetrite vahekorrad ühiktahu parameetritega telgede järgi. Kuid nagu eespool seletatud, 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. Hauy poolt 1780. a. Täieliku rakenduse kristallograafias leidis see seadus F. Neumann'i poolt 1823. a.

Tahkude sümbolid.

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 W e i s s ' i s ü m b o l i nime. *Olgu siin mainitud, et just Ch. S. Weiss esmakordselt (1804) toob kristallograafiasse telgede mõiste.*

Selles sümbolis 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)

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

ja kolmnurgast PBD (täisnurkne D juures)

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

Ja viimaks kolmnurgast DFB (täisnurkne F juures)

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

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 geomeetria 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 arvudega, mis on proportsionaalsed siintoodud x, y ja z-ga ja pöördvahekorras Weissi parameetritega. Milleri tahusümboliks on lihtsalt kolm arvu — h, k, l, paigutatud ümmarsulgudesse, nii et nad järjekorras vastavad: x — ehk esimesele teljele, y — ehk teisele ja z — ehk kolmandale teljele. Kui Weiss'i (parameetriline) sümbol on $ma : b : nc$, siis vastav Milleri (indeksite) sümbol on (hkl). Ühiktahu parameetreid Miller ei märgi, sest nad on mineraali konstandid ega mõjusta tahkude sümboleid. m ja n on h, k ja l-ga seotud valemitega:

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

ümberpöördult:

$$h = \frac{l}{m}, \quad k = 1, \quad l = \frac{l}{n}.$$

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

Nii Weissi kui ka Milleri sümboleis esinevad arvud võivad olla positiivsed või negatiivsed, olenedes sellest, kas sümboliga 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 — oletusel, et koordinaattelgede positiivsed suunad moodustavad ees-, parem- ja ülempoolse oktandi.

Parameetrid võivad olla lõpmata suured, kui tahk on paralleelne mõne teljega; niisugusel juhul esineb Weissi sümbolis märk ∞. 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 korraga haarata tervet tahkude kompleksi, mis kuulub ühele kristallivormile, siis asetatakse temasse kuuluva üksiktahu indeksid loogelistesse sulgudesse { }. Punktid indeksite vahel, nagu $\{h\,.\,h\,.\,2h\,.\,l\}$, tähendavad, et indeksid võivad olla rohkem kui ühekohalised arvud.

Kristallide kujutamine.

Harilik kristallide kujutamisviis 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.).

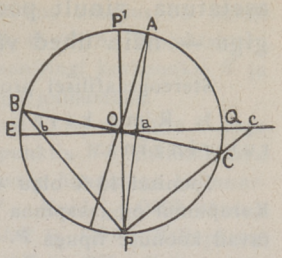
Kui nõnda on valmistatud kristallist kaks, tarbe korral kolm ortogonaalset projektsiooni kahele või kolmele ristiolevale tasapinnale, võib kujutava geomeetria eeskirjade järgi graafiliselt leida temas esinevate või kujuteldavate nurkade, pikkuste jne. tõelised suurused. Kuid selleks otstarbeks, samuti 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.

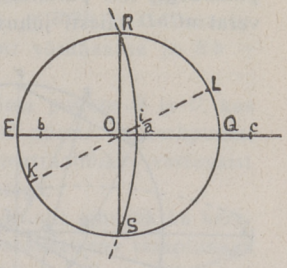
Eespool selgus, et kristallides ei ole tähtis, kui kaugel kristalli keskpunktist asetseb tahk; tähtsad on nurgad, mis tahk moodustab teiste tahkudega, nende seas ka koordinaatpindadega. Neid nurki võib aga kujutada ka siis, kui kõik kristallis esinevad tahud nihutada kokku nii, et nad, jäädes paralleelseiks 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 joonisepinnaga 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 pikkus *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 *SaiR*. 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.



Joon. 12A.



Joon. 12B.

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. Ümberpöördult kannab kaar *SaiR* sirge *OB* gnomostereograafilise projektsiooni nimetust.

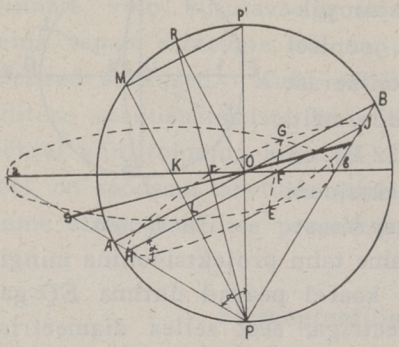
Punktid, mis vaatluspunktist vaadates asetsevad teisele poole ekvaatorit jääval poolkeral, projekteeruvad põhiringi sees. Punktid, mis asetsevad samal poolkeral, kus asetseb vaatluspunkt, projekteeruvad väljapoole põhiringi, ja mida lähemal nad asetsevad vaatluspunktile, seda kaugemal nad projekteeruvad (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

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

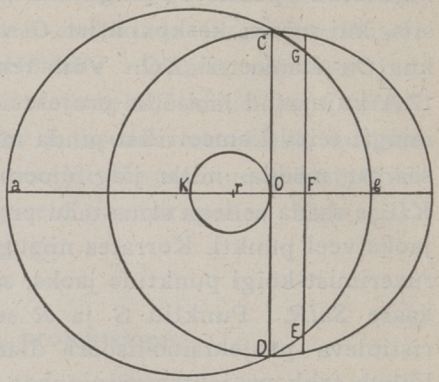
Stereograafilisel projektsioonil on mõned tähtsad omadused.

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

Joonisel 13 A olgu AOB paberiga ristioleva, 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 ring is $HgIEH$, sest paralleelsed lõiked annavad koonuse pinnal sarnaseid kõverjooni.

Ringi üheks omaduseks on see, et mõnest ringi punktist diameetrile langetatud ristsirge lõik on keskvõrdne diameetri osadega: $HF : EF = EF : FI$ või $\overline{EF}^2 = HF \,.\, FI$. Vaadeldes kolmnurki aFH ja IFB leiame, et nad on sarnased, sest peale tippnurkade 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

$$Fb \,.\, aF = FI \,.\, HF$$

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

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

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

EF on keskvõrdne selle poolitaja osade vahel. Säärane omadus on ainult ringil. Sellega on teoreem tõestatud ja ühtlasi 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) punktist 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: $\angle KPb = \frac{1}{2}\angle OPb + \angle OPk = \angle OPb + \angle KOL = \angle OPb + \angle BOb = \angle OBP + \angle BOb$; $\angle KbP = \angle OBP + \angle BOb$ (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 ühte projektsiooniga. Nüüd näeme, et keskpunkti K kaugus punktist P (ja temale samasuguses kera diametraallõikes 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 $\overset{\frown}{MR} = \overset{\frown}{RP'}$ ja $\overset{\frown}{AR} = \overset{\frown}{RB}$ (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.

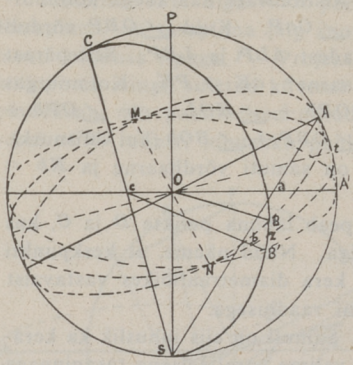
Oletame, et läbi keskpunkti O on tõmmatud tasapind, mis on risti projekteeriva koonuse teljega; olgu tema jälg joonisel 13A sirge OS. Siis kujuneb siin 2 paari võrdseid (kui ristis haaradega) nurki $aOS = rPO$ ja $SOA = LPr$. Kuid nurgad P juures on võrdsed kui võrdseile kaartele toetuvad piirdenurgad,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

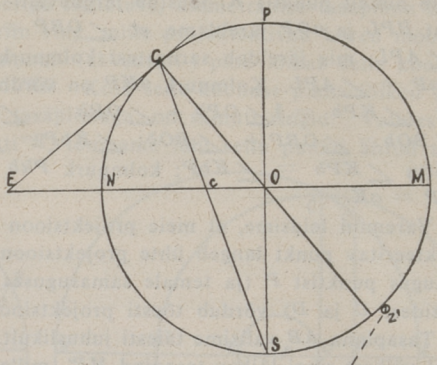
Tasapinnad, mis on risti projektsioonipinnaga (sisaldavad polaartelge), projekteeruvad sirgetena — projektsioonisõõri diameetritena, s. o. ringi kaartena, mille keskpunkt on lõpmatuses.

2. Nurgad projektsioonis esinevad oma õiges suuruses.

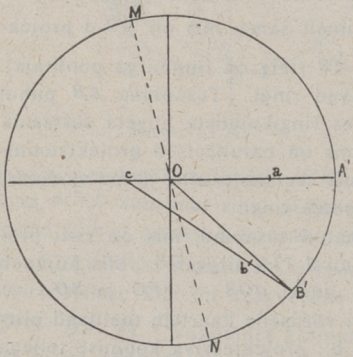
A. Nurgad sirgete vahel. Olgu OA ja OB (joon. 14) kaks sirget; $NB'A'$ — projektsioonipind. Olgu sirgete OA ja OB-ga määratud tasapind $NBAM$ ja tema projekteeriva koonuse telg SC. Läbi telje ja punktide A ja B tõmbame tasapinnad $CAA'S$ ja $CBB'S$. Need tasapinnad lõikavad projektsioonipinda sirgetel cA' ja cB', milledel 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

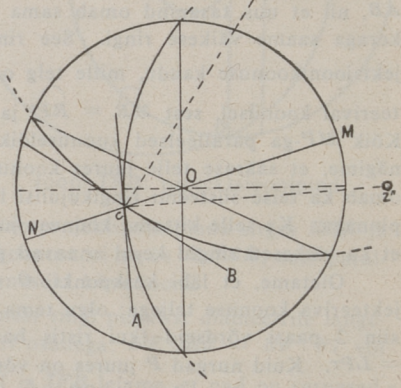
Nat ja NtA', mis täisnurksed p. t juures ja on võrdsed. Järelikult on võrdsed ka kaared NB ja NB'. Siit järeldub, et nende kaarte vahed on ka võrdsed: $BA = B'A'$, s. o. sama kaar, mis jääb kerapinnal sirgete vahele, jääb ka projektsiooniringil sirgete vahele, mis ühendavad sirgeid sisaldava pinna gnomostereograafilist 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 lõikumispunktis 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 tõmmatud kaarte ristumispunktis. Muidugi moodustavad sama nurga ka punktis c ristuvad vastavate projektsioonikaarte raadiused $z'c'$ ja $z''c$.

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 geograafilise pikkusega) ehk asimuudi ja polaarkauguse järgi. Harilikult arvatakse pikkust projektsiooni põhiringi paremalt vasemale poole suunatud diameetri paremast otsast üle alumise ringipoole 360°-ni. Polaarkaugus arvatakse projektsioonipinnale püstitatud ristdiameetri vaatluspunktile vastupidisest otsast 90°-ni. Need mõõtmed 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 v ö ö. Nii on kristallil mõne vöö esinemise tunnuseks 1) kas nende stereograafiliste projektsioonide toetumine ühe ning sama projektsiooni põhiringi diameetrile 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.

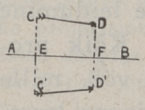
Looduses esineb kujundeid, millede üksikud osad on omavahel sarnased — samamõõtmelised. Nii on loomariigis harilik nähtus, et loomakeha koosneb kahest poolest — paremast ja vasakust; üks pool oleks nagu teise kujutis peeglis, mis asetatud looma dorsoventraalsele keskpinnale. Mõned teised kujundid jälle, 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 kahesugune: 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 tähtis koht.

Sümmeetriaelemendid.

Sümmeetriaõpetus on osa geomeetriast, mille on välja arendanud 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 tõsiasjadena.

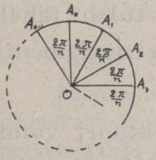
Peegelpind. Kiirteoptikast teame, et paberipinnaga risti mõeldud peegli AB (joon. 16) ees olev ese CD annab näiva kujutise $C'D'$, kusjuures $CE = C'E$ ja $DF = D'F$, kui E ja F on punktide C ja D vastavad projektsioonid peeglipinnal. Kui kristallis on võimalik kujutella tasapinda, mis jagab kristalli 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.

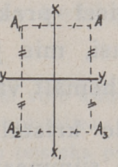
Sümmeetriatelg. Punktis O (joon. 17) lõikugu paberipind temaga ristioleva sirgjoonega. Kui seda sirgjoont ümbritsevas ruumis on mõne eseme (kristalli) osad A, A_1, A_2, ... A_n paigutatud nii, et nende osade vastavad punktid asetsevad sirgjoonega ristiolevatel pindadel niisama kaugel sirgjoonest ja nõnda, et $\angle AOA_1 = \angle A_1OA_2 = \ldots \angle A_nOA$, siis kannab niisugune sirgjoon n-kordse sümmeetriatelje nimetust, sest kujund, pöördudes selle telje ümber, on ühe ringi (360°) kestel n korda täpselt samas seisundis kõigi oma osade suhtes, nagu ta oli alguses. Arv n võib olla iga täisarv 2-st lõpmatuseni (viimasel juhul kera või sõõri sümmeetria). Väikesimaks pöördenurgaks, mille juures samasugused elemendid kattuvad, on $\frac{360^0}{n}$, kus n on terve arv. Kui oletada vastupidi, s. t. et väikesim pöördenurk α ei mahu täit korda ringisse, peame saama (joon. 18) algnurga AOB ja viimase terve α-suuruse nurga COD vahel nurga DOA, mis on väiksem kui α, mis aga eitab oletust, et α on väikesim pöördenurk (joonisel on O paberiga ristiasetseva telje jälg).



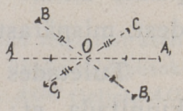
Joon. 17.



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°-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° 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... 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 korraga ainult üht punkti peegeldada võiv peegel, mispärast vahel seda punkti nimetatakse ka peegelduspunktiks.

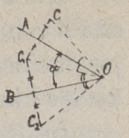
Kruvitelg. Mehaanikas tõestatakse, et keha iga koha muutmist (liikumist) võib kujutella toimunuks kruvijoont pidi: pöördega ümber mingi telje koos nihkumisega telje suunas. Seesugune üldine liikumisviis, kus pööretele on määratud teatavad 360°-st erinevad nurgasuurused ja nihetele ruumvõrede algrakukeste mõõtmed, võimaldab samuti kristallide struktuuri samasuguseid elemente viia algasendiga võrdsesse asendisse. Seepärast loetakse ka neid kruviliigutusi sümmeetrilisteks. Eespool-vaadeldud liht-sümmeetriaelemendid 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 liht-sümmeetriaelementidest, 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 α all lõikuva ja järgemööda peegelduva kahe peegelpinna OA ja OB olemasolust järeldub, et peegelpindade lõikumissirge on sümmeetriatelg, mille väikesim pöördenurk on 2α.

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 geomeetrilistest omadustest nähtub,



Joon. 21.

$$OC_2 = OC$$

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 ümberpöördult iga samu elemente kattumisele viiv α^0-ne pööre sümmeetriatelje ümber võib asenduda 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 α ja β, võib asendada ühe teljega OC, mis lõikub antud telgedega punktis O ja mille suund määratakse sfäärilisest kolmnurgast ABC, mille külg AB võrdub nurgaga antud telgede vahel ja nurk $A = \frac{\alpha}{2}$ ja $B = \frac{\beta}{2}$. Uue telje väikesim pöördenurk on $2ACB$.

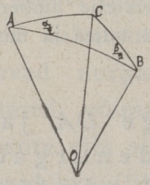
Eelmise teoreemi pöördteoreemi põhjal võib kumbagi antud telgedest asendada kahe peegelpinnaga, mis lõikuvad antud teljes. Valime üheks niisuguseks peegelpinnaks tasapinna OAB; sel juhul on teisteks pindadeks AOC (teljele AO) ja COB (teljele OB). Need kolm pinda asendavad antud telgi. Kuid pinna AOB 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 otsese 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.

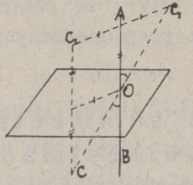
Antud on kaksik-pöördpeegeltelg AB (joon. 23) ja tema peegelpind. Punktile C vastab punkt C_2, mis saadakse peegeldades C-d esiti C_1 ja siis pöörates teda telje AB ümber 180^0 võrra. Joonisest nähtub, et $C_2O = OC$ ja need sirglõigud moodustavad ühe sirge. See ongi sümmeetriakeskpunkti nõue. *Kahekordne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

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

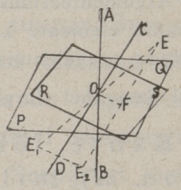
Olgu (joon. 24) AB antud kaksik-pöördpeegeltelg, PQ tema peegelpind, O — nende ristumispunkt, mis eelmise teoreemi põhjal on ka sümmeetriakeskpunkt. Valides vabalt mingi sirgjoone CD, mis läbib punkti O, ja temale ristiasetseva peegelpinna RS, leiame, et kehas vabalt valitud punktile E leidub (sümmeetriakeskpunkti 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° võrra.



Joon. 22.



Joon. 23.



Joon. 24.

Lihtne 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 sümmeetriaelemendid.

Oletused kristallide ruumvõrelisest ehitusest eeldavad kristallaine 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 rombid 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-ühevääreseid kaksiktelgi. Kolmiktelje märgiks olgu △, neliktelje märgiks □ ja nelik-pöördpeegeltelje märgiks ▱; kuuiktelg olgu ⬡ ja kuuik-pöördpeegeltelg ⧋. Peegelpindu märgime kahekordse joonega — kas sirge või kaare näol, olenedes sellest, kuidas pind projektsioonis esineb. Sümmeetriakeseid tähistatakse vahel tähega *C* projektsiooni keskel, kuid vajadust selleks ei ole, kui selle sümmeetriaelemendi olemasolu järeldub sunduslikult teiste sümmeetriaelementide kombinatsioonist.

Kõigi kristalliklasside tuletamisega tegelesid juba Hessel 1830 ja Bravais 1849. Projektsioonide abil ning ratsionaliteediseaduse alusel lahendas probleemi lihtsustatud kujul Gadolin 1871. Tema eeskujule järgnevad hilisemad ja ka käesolev õpperaamat.

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, p e d i o n i, 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 (*0kl*) (punkt 2), paralleelne II-teljega on II asendi pedion (*h0l*) (p. 3) ja paralleelne III teljega — III asendi pedion (*hk0*) (p. 4). Pedionid, mis on korraga 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 ($CaS_2O_4 . 2H_2O$, hüposulfiidi analoog) ja kaalibikromaat ($K_2Cr_2O_7$).

Pinakoidne klass. On olemas sümmeetriakeskpunkt. Selles klassis iga tahk omab teist samasugust paralleelset (vastas-) tahku, Selline kombinatsioon kahest paralleelsest tasapinnast kannab nimetust p i n a k o i d („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 {*0kl*}, p. 3 — II asendi pinakoid {*h0l*}, p. 4 — III asendi pinakoid {*hk0*}, p. 5 — I pinakoid, p. 6 — II pinakoid, p. 7 — III pinakoid. Punktidega on märgitud ü h e l 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.

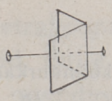
Ainsad sümmeetriateljed. Üksainus k a k s i k - s ü m m e e t r i a t e l g nõuab, et igale üldises asendis antud tahule vastaks samasugune teine, mis ühtib esimesega, kui teda pöörata ümber

kaksiktelje 180° 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.

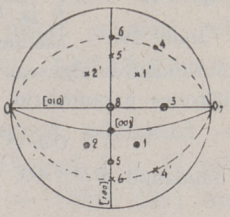
Nõue, et iga tahupaari lõikumissirged asetseksid risti kaksikteljega, põhjustab täisnurkade (90°) esinemise kristallis — ühes pindadest, milles lamab ka kaksiktelg. Selle pinnaga risti olevas pinnas moodustavad aga kristalli servad kaldnurki kaksikteljega. Seepärast valitakse niisugusel juhul ka koordinaattelgedeks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



Joon. 26.



Joon. 27.



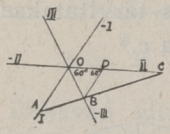
Joon. 28.

Pööramisel kaksiktelje ümber tekitatud üldise asendiga tahkudepaari nimetatakse s f e n o i d i k s (sfen = kiil) ja vastavat klassi — s f e n o i d s e k s k l a s s i k s.

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 120^0 nurgi; need 3 punkti määravad teljega ristioleva pinna. Kolmiktelg asetatakse püsti vaatleja 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 120^0 nurgi; püsttelg on neljas telg. Tahu sümbol selle teljestiku juures on (indeksid telgede järjekorras): (*hkil*), mis asendab Milleri sümbolit kolmik- või kuuiktelge 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 juurdetulnud 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 à 60^0), 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:

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

või

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

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

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

tipus lõikuvast tahust: (*hkī*), (*ihk̄l*) ja (*kih̄l*) ja mis vastavalt vasakpoolsele või parempoolsele, ülemisele või alumisele seisangule annab 8 erijuhtu. I asendi püramiidid, sümboliga {*h0h̄l*} (2), on ka 4 sümboli rühmaga, samuti II asendi püramiidid — {*h . h . 2h̄ . l*} (3). Kui tahud on paralleelsed kolmikteljega, saame kolmnurksed prismad: III asendi prisma — {*hkī0*} (4), I asendi prisma — {*10ī0*} (5), II asendi prisma — {*11ī0*} (6). Tahk, mis asetseb risti kolmikteljega, on üksik — pedion või baas (põhipind) — alumine ja ülemine — {*0001*}. Klassi nimetus: trigoon-püramiidne. Mineraalriigis esindajaid pole; kunstlikest üks sool: $Na_2J_2O_8 . 6H_2O$.

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

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 — {*h0l*} (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 seatinamaak).

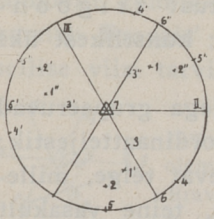
Kui on tegemist nelik-pöördpeegelteljega, siis väheneb sunduslikkude punktide arv selle teljega risti asetatud tasapinnas kahele. Need punktid määravad telge läbiva ja temaga risti asetseva sirge, mis peale peegeldust ja 90° pööret võtab endisega ristis asendi. Nii jääb koordinaatteljestik samaks nagu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

Üldvorm {*hkl*} (1, joon. 32) omab nimetust tetragoon-bisfenoid (kaksikkiil), ta koosneb neljast tahust: (*hkl*), (*k̄hl*), (*hk̄l̄*) ja (*kh̄l̄*) ning on III asendis. Eelmise klassi I ja II asendi püramiidid asenduvad ka vastavate bisfenoididega (2, 3), kuid pris-

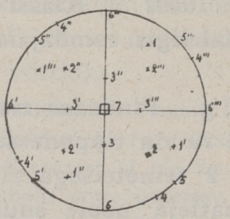
mad (4, 5, 6) jäävad samasugusteks nagu eelmisel klassil. Esineb ka baas (pinakoid) (7). Klassi nimetus: tetragoon-bisfenoidne.

Selle klassi mineraale ei tunta.

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



Joon. 30.



Joon. 31.



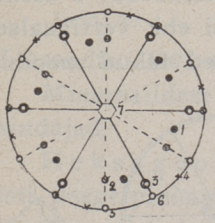
Joon. 32.

Üldvorm: III asendi heksagoonsed püramiidid — $\{hkil\}$ (1, joon. 33), mis koosnevad kuuest tahust. Erikujud: I asendi heksagoonsed püramiidid — $\{h0\bar{h}l\}$ (2) ja II asendi heksagoonsed püramiidid — $\{h.h.2\bar{h}.l\}$ (3); edasi samanimelised prismad — $\{hki0\}$ (4), $\{10\bar{1}0\}$ (5) ja $\{11\bar{2}0\}$ (6); lõpuks ühe tahuna baas — $\{0001\}$.

Mineraalidest kuulub siia nefeliin.

Oleme loendanud kõik üheainsa pöördteljega sümmeetriaklassid. Nende üldine omadus on polaarsus, s. t. neisse klassidesse kuuluvad vormid erinevad indeksites samas kristallis sümmeetriatelje otste järgi. Samuti puudub neis klassides sümmeetriakeskpunkt. Kõnesolevates klassides ühel ning samal poolusel on võimalikud numbriliselt võrdsete sümbolitega tahud, mis omavahel erinevad nagu vasak ja parem käsi. Vasak- ja parempoolsed kristallid ei kattu mingil pööramisel üksteisega. Kattumine on võimalik ainult peegeldumise teel. Nõnda parempoolse kristalli peegelkuju kattub samade indeksitega vasempoolse kristalliga ja vastupidi. Vasem- ja parempoolsete kristallikujude esinemist nimetatakse enantiomorfismiks. Selle üheks eelduseks on sümmeetriakeskpunkti puudumine. Ka mitme sümmeetriateljega kristallide seas, nagu allpool näha, on enantiomorfseid klasse.

Üksainus kolmiktelg ja sümmeetriakeskpunkt. Kui kuuiktelg on ainult p ö ö r d p e e g e l t e l g (kolmiktelg + sümmeetriakeskpunkt), siis saame r o m b o e e d r i l i s e klassi. Teljestikuks on Bravais' oma, kuigi mõningail juhtudel siin võetakse tarvitusele 3 telge, mis lõikavad pöördpeegeltelge võrdsete kaldnurkade all. Üldvorm on III asendi r o m b o e e d e r — $\{hk\bar{i}l\}$ (joonisel 34: 1, 1′, 1″ ülemistel ja 1_1, 1_2, 1_3 alumistel punktidel), mis omab nurgeti väljavenitatud või kokkulitsutud kuubi kuju, piiratud 6 ühesuuruse rombiga (väliselt nagu joon. 35). Erivormideks on I asendi romboeedrid — $\{h0\bar{h}l\}$ (2) ja II asendi romboeedrid —



Joon. 33.



Joon. 34.



Joon. 35.

$\{h\,.\,h\,.\,\bar{2}h\,.\,l\}$ (3) ja $\{2h\,.\,\bar{h}\,.\,\bar{h}\,.\,l\}$. Kui tahud on paralleelsed pöördpeegelteljega, saame III asendi heksagoonsed prismad — $\{hk\bar{i}0\}$ ja $\{k\bar{h}i\bar{0}\}$, I asendi heksagoonse prisma — $\{10\bar{1}0\}$ 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 d o o m a l i s e 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-

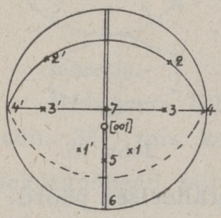
mad — {0kl} (3), II pinakoid — {010} (4); pedionid: II asendis — {h0l} (5), I — {100} (6) ja III — {001} (7).

Siia kuulub mineraalidest klinoedriit (Zn-Ca silikaat).

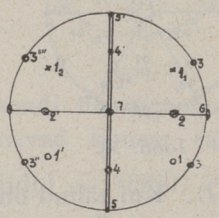
Peegelpinnad risti teljega. Lisandame nüüd igale pöördteljele ristioleva peegelpinna. Saame järgmised klassid:

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

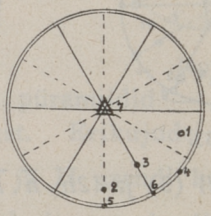
Üldvorm on neljast võrdsest tahust koosnev IV asendi prisma — {hkl} (1, joon. 37). Erivormidena esinevad: I asendi ehk „klino"-prismad — {0kl} (2) ja III asendi ehk vertikaalsed prismad — {hk0} (3). Pöördteljega paralleelsed tahud moodus-



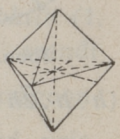
Joon. 36.



Joon. 37.



Joon. 38.



Joon. 39.

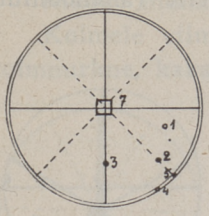
tavad üldjuhul II asendi pinakoidi — {h0l} (4); korraga kahe teljega paralleelsed on I (orto-) pinakoid — {100} (5), II (klino-) pinakoid — {010} (6) ja III (baas-) pinakoid — {001} (7).

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 — $\{hki\bar{l}\}$ (joon. 38 p. 1). Erivormidena esinevad: I asendi trigoonne bipüramiid — $\{h0h\bar{l}\}$ (2) ja II asendi trigoonne 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 mineraali. — 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 asendi {*hk0*} (4), I asendi {*110*} (5), II asendi {*100*} (6); baas {*001*} (7).



Joon. 40.

Mineraalidest kuuluvad siia šeeliidi ja skapoliidi gruppide esindajad.

Heksagoon-bipüramiidne klass. Kuuikpöördtelg risti peegelpinnaga. Teljestik nagu heksagoon-püramiidsel klassil. Samuti kahekordistub tahkude arv (välja arvatud prismadel) ja üldvormina esineb III asendi heksagoonne bipüramiid — {*hkīl*} (positiivne) (1, joon. 41) ja {*hk̄il*} (negatiivne). Erivormid on heksagoonsed bipüramiidid: I asendi — {*h0h̄l*} (2) ja II asendi — {*h . h . 2h̄ . l*} (3); heksagoonsed prismad: III asendi — {*hkī0*} (4), I asendi — {*10ī0*} (5) ja II asendi — {*11ī0*} (6); baas {*0001*} (7).

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

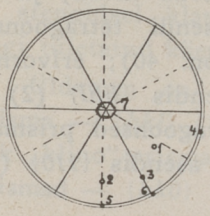
Näitena nimetame mineraalidest apatiiti.

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.

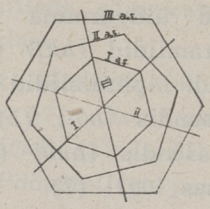
Üldvorm on rombiline püramiid — {*hkl*} (1). Kui tahk on paralleelne pöördteljega, saame III asendi rombilise prisma —

{*hk0*} (2), tahu paralleelsuse puhul I või II teljega — I või II asendi doomad — {*0kl*} (3) ja {*h0l*} (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).

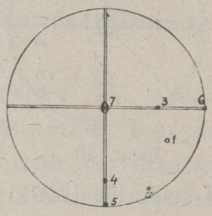
Mineraalidest olgu mainitud näitena struviit (ammooniummagneesiumfosfaat veega).



Joon. 41.



Joon. 42.



Joon. 43.

Kolmiktelg kolme peegelpinnaga annab ditrigoon-püramiidse klassi. Teljestik nagu kõigil kolmikteljega klassidel. Üldvorm: ditrigoonsed püramiidid — {*hkīl*} (1, joon. 44). Erivormid: I asendi trigoonsed püramiidid — {*h0l̄*} (2), II asendi heksagoonsed püramiidid — {*h . h . 2h̄ . l*} (3); ditrigoonsed prismad — {*hkī0*} (4), positiivsed ja negatiivsed; I asendi trigoonsed prismad — {*10l̄0*} (5), positiivsed ja negatiivsed; II asendi heksagoonne prisma — {*11l̄0*} (6) ja baas kahe pedioni näol — {*0001*} (7).

Mineraalidest olgu esitatud näitena turmaliin.

Neliktelg 4 teljes lõikuva peegelpinnaga annab ditetragoon-püramiidse klassi. Üldvorm: ditetragoonsed püramiidid — {*hkl*} (1, joon. 45). Esinevad veel: I asendi tetragoonsed püramiidid — {*hhl*} (2), II asendi tetragoonsed püramiidid — {*h0l*} (3), III asendi tetragoonsed prismad — {*hk0*} (4), I ja II asendi tetragoonsed prismad — {*110*} (5) ja {*100*} (6); baas (pedion) — {*001*} (7).

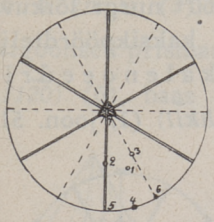
Sellise sümmeetriaga mineraali ei tunta.

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

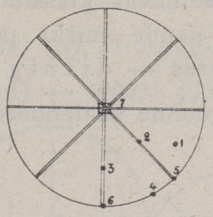
$\{hk\bar{i}l\}$ (1, joon. 46), heksagoonseid püramiide: I asendi — $\{h0\bar{h}l\}$ (2) ja II asendi — $\{h.h.2\bar{h}.l\}$ (3); heksagoonseid prismasid: III asendi — $\{hk\bar{i}0\}$ (4), I asendi — $\{10\bar{1}0\}$ (5), II asendi — $\{11\bar{2}0\}$ (6) ja baasi (pedioni) — $\{0001\}$ (7).

Näide: mineraal vurtsiit (ZnS).

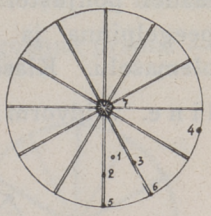
Kolmele viimasele klassile on antud nimetused: kaks korda kolmnurkne, kaks korda nelinurkne, kaks korda kuusnurkne, s. t.



Joon. 44.



Joon. 45.



Joon. 46.

et neisse klassidesse kuuluvail mineraalidel on üldvorm kuue-, kaheksa- ja kaheteistkümnekandiline. Esimene neist võib esineda ka reeglipärase 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 jällegi aatomi, mis peab järgmisest aatomist E olema niisama kaugel. Reeglipärases kuusnurgas on see nõue täidetud ja nõnda on selline kuusnurk kristallides võimalik.



Joon. 47.

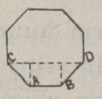
Reeglipärased kaheksanurk ja kaksteistnurk ei või esineda kristallides, sest näit. kaheksanurga puhul (joon. 48) AB-ga paralleelse diagonaali CD pikkus on $(1 + \sqrt{2}) \cdot AB$, nii et vahe C ja D vahel ei jagune AB-ga võrdseiks osadeks. Sama nähtus esineb ka reeglipärase kaksteistnurga puhul, kus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

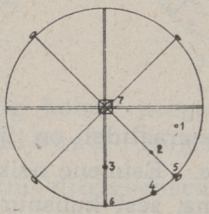
skalenoeedrilisel klassil. Üldine vorm on tetragoonne skalenoeeder — {*hkl*} (1, joon. 49; joon. 50). Teised vormid: tetragoonne bisfenoid — {*hhl*} (2), II asendi tetragoonne bipüramiid — {*h0l*} (3), ditetragoonsed prismad — {*hk0*} (4); tetragoonsed prismad: I asendi — {*110*} (5) ja II asendi — {*100*} (6); baas (pinakoid) {*001*} (7).

Näide: kalkopüriit.

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



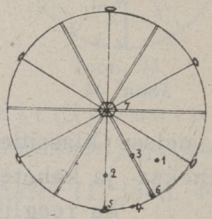
Joon. 48.



Joon. 49.



Joon. 50.



Joon. 51.

joon. 52 — positiivne) ja {$kh\bar{i}l$} (negatiivne). Erivormid: romboeeder (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 — {$hk\bar{i}0$} (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 hematiit.

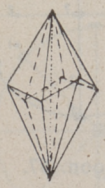
Pöördteljed ja nendega risti olevad ning paralleelsed peegelpinnad. Eelvaadeldud kahes viimases rühmas lisame igale klassile juurde veel ühe sümmeetriateljega risti oleva peegelpinna. Iga peegelpinna ristumisel ilmneb ka kaksikpöördtelg, nii et uutes sümmeetriaklassides — püramiidsete asemel bipüramiidseis — 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 — {*0kl*} (2), II asendi — {*h0l*} (3),

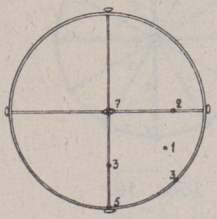
III asendi — {*hk0*} (4); pinakoidid: I — {*100*} (5), II — {*010*} (6) ja III — {*001*} (7).

Näiteid mineraalriigist: aragoniit, topaas.

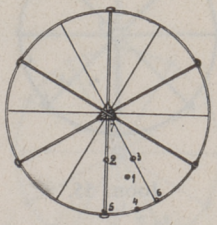
D i t r i g o o n - b i p ü r a m i i d n e klass. Võimalikud vormid, alates üldvormist: ditrigoonsed bipüramiidid — {*hkīl*} (1, joon. 54), positiivsed ja negatiivsed, I asendi trigoonsed bipüramiidid — {*h0h̄l*} (2) ja II asendi heksagoonsed bipüramiidid — {*h . h . 2h̄ . l*} (3), ditrigoonsed prismad — {*hkī0*} (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).

D i t e t r a g o o n - b i p ü r a m i i d n e 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).

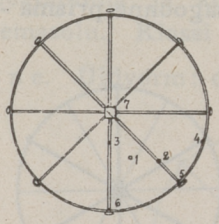
Näited: rutiil, kassiteriit.

D i h e k s a g o o n - b i p ü r a m i i d n e klass. Võimalikud vormid: diheksagoonsed bipüramiidid — {*hkīl*} (1, joon. 56); heksagoonsed bipüramiidid: I asendi — {*h0h̄l*} (2) ja II asendi — {*h . h . 2h̄ . l*} (3); diheksagoonsed prismad — {*hkī0*} (4); heksagoonsed prismad: I asendi — {*10$\bar{1}$0*} (5) ja II asendi — {*11$\bar{2}$0*} (6); baas (pinakoid — {*0001*} (7).

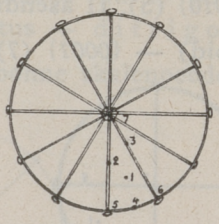
Näited: berüll ja grafiit.

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

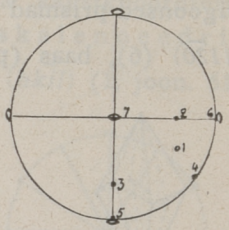
Kaksik- ja nelikteljed võivad paaristelgedega lõikuda ainult täisnurgi. Võttes ühe kaksikteljega risti teise kaksiktelje leiame varem-tõestatud teoreemi järgi, et risti nende kahega asetseb veel kolmas kaksiktelg. Saame r o m b - b i s f e n o i d s e klassi, mille üldkuju on rombiline bisfenoid — $\{hkl\}$ (1, joon. 57; joon. 58), mis esineb vasakul ja paremal enantiomorfsel kujul. Peale selle esinevad prismad: I asendi — $\{0kl\}$ (2), II asendi — $\{h0l\}$ (3) ja III asendi — $\{hk0\}$ (4); pinakoidid: I — $\{100\}$ (5), II — $\{010\}$ (6) ja III — $\{001\}$ (7).



Joon. 55.



Joon. 56.



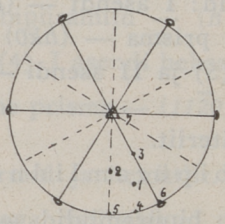
Joon. 57.

Näited: mõned vitriolid, mõrusool.

Kui kolmikteljele juurde lisada risti üks kaksiktelg, siis nõuab sümmeetria, et niisuguseid telgi oleks 3, mis lõikuvad üksteisega 60^0 nurgi. Klassi nimetus on t r i g o o n - t r a p e t s o e e d r i l i n e, sest üldvorm $\{hkil\}$ (1, joon. 59; joon. 60) kannab



Joon. 58.



Joon. 59.



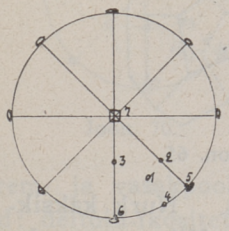
Joon. 60.

trigoonse trapetsoeedri nime (tema nelinurksed tahud tuletavad meelde trapetsit). Nad on positiivsed ja negatiivsed, parem- ja vasakpoolsed — enantiomorfsed. 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 trigoonsed bipüramiidid: $\{h\,.\,h\,.\,\overline{2h}\,.\,l\}$ (p. 3, parempoolne) ja $\{2h\,.\,\bar{h}\,.\,\bar{h}\,.\,l\}$

(vasakpoolne). Ditrigoonsed prismad, sümboliga $\{hk\bar{i}0\}$ (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.

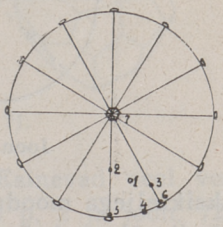
Neliktelg nõuab nelja temaga risti olevat ja omavahel 45° nurgi lõikuvat kaksiktelge. Klassi nimetatakse tetragoon-trapetsoeedriliseks (samuti trapetsit meenutavad nelinurksed tahud). Üldvorm: tetragoonne trapetsoeeder — $\{hkl\}$ (1, joon. 61; joon. 62 — vasakpoolne) ja $\{khl\}$ (parempoolne).



Joon. 61.



Joon. 62.



Joon. 63.

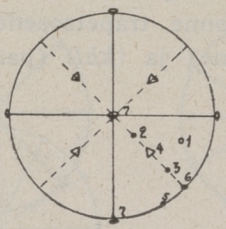
Esinevad veel: I asendi tetragoonsed bipüramiidid — $\{hhl\}$ (2), II asendi tetragoonsed bipüramiidid — $\{h0l\}$ (3), ditetragoonsed prismad — $\{hk0\}$ (4); I asendi tetragoonne prisma — $\{110\}$ (5); II asendi tetragoonne prisma — $\{100\}$ (6) ja baas (pinakoid) — $\{001\}$ (7).

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

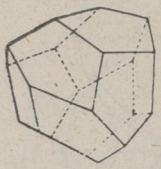
Kuuekordne telg nõuab kuut 30° nurgi lõikuvat kaksiktelge. Me saame heksagoon-trapetsoeedrilise klassi, nimetatud nõnda üldvormi heksagoonse trapetsoeedri järgi, mille sümbol $\{hk\bar{i}l\}$ (1, joon. 63). Esinevad parem- ja vasakpoolsed enantiomorfsed vormid. Peale selle esinevad veel heksagoonsed bipüramiidid: I asendi — $\{h0\bar{h}l\}$ (2) ja II asendi — $\{h\,.\,h\,.\,2\bar{h}\,.\,l\}$ (3); diheksagoonne prisma — $\{hk\bar{i}0\}$ (4); heksagoonsed 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 α-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 järeldub, et kolmiktelg võib olla ainult kolme üheväärse ristioleva



Joon. 64.

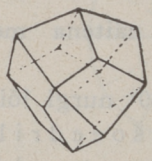


Joon. 65.

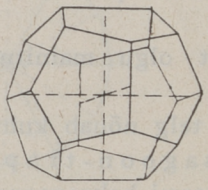
kaksikteljega moodustatud ruumnurga teljeks. Nurk kaksik- ja kolmiktelje vahel on sel puhul 54° 44′ 08″. Niisugune telgede kombinatsioon koosneks siis kolmest ristiolevast kaksikteljest ja neljast kolmikteljest, mis suunduvad ühesugusel kaugusel kaksiktelgedest. See sümmeetriaklass kannab tetraeedrilis-pentagoondodekaeedrilise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



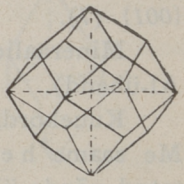
Joon. 66.



Joon. 67.



Joon. 68.

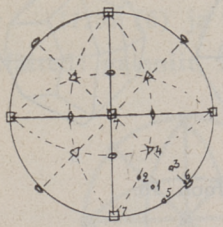


Joon. 69.

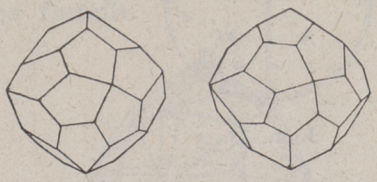
tetraeedrilised pentagoondodekaeedrid — {*hkl*} (1, joon. 64; joon. 65), positiivsed ja negatiivsed, parem- ja vasakpoolsed — enantiomorfsed. Erivormid: triakistetraeeder — {*hll*} (joon. 64 p. 2 ja joon. 66), deltoiddodekaeeder — {*kkl*} (joon. 64 p. 3 ja joon. 67), tetraeeder — {*111*} (4), pentagoondodekaeeder — {*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),



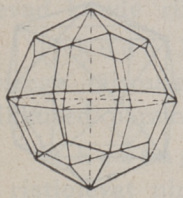
Joon. 70.



Joon. 71.

parem- ja vasakpoolne — enantiomorfsed. 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), rombdodekaeeder — {*110*} (6) ja kuup — {*100*} (7).

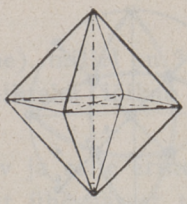
Näide: salmiaak.



Joon. 72.



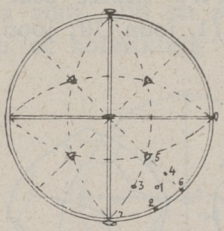
Joon. 73.



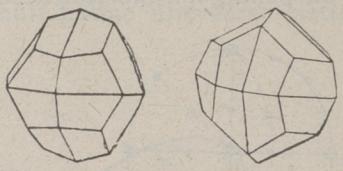
Joon. 74.

Teisi kombinatsioone ainult pöördtelgedest ei saa esineda. Lisame nüüd juurde kaht kaksiktelge sisaldava peegelpinna tetraeedrilis-pentagoondodekaeedrilises klassis. Selliseid peegelpindu ilmneb otsekohe 3 ning ühtlasi muutuvad kolmikteljed kuuikpöördpeegeltelgedeks — saame düakisdodekaeedrilise 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 pentagoondodekaeeder — {*hk0*} (2), mille tahud pole aga reeglipärased viisnurgad, sest siis peaks $h : k$ olema irratsionaalne; deltoidikositetraeeder — {*hll*} (3), triakisoktaeeder — {*kkl*} (4), oktaeeder — {*111*} (5), rombdodekaeeder — {*110*} ja kuup — {*100*} (7).



Joon. 75.

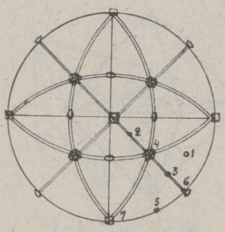


a b

Joon. 76.

Näited: püriit ja maarjas.

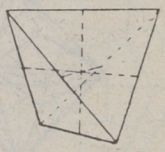
Peegelpindu võib tetraedrilis - pentagoondodekaedrilise klassi telgede kombinatsioonile lisandada ka nõnda, et nad poolitavad nurgad kaksiktelgedega määratud tasapindade vahel ja sellega ühes läbivad kolmiktelgi. Selliseid peegelpindu on 6. Klassi nimetatakse h e k s a k i s t e t r a e e d r i l i s e k s, sest üldvorm on heksakistetraeeder — {*hkl*} (positiivne) (negatiivset vt. 1, joon. 77; joon. 78). Teised vormid: triakistetraeeder — {*hll*} (2), posi-



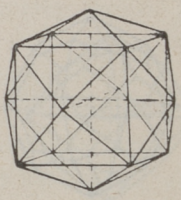
Joon. 77.



Joon. 78.



Joon. 79.



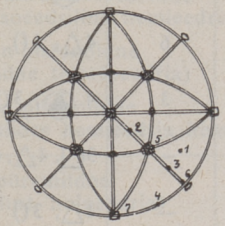
Joon. 80.

tiivne ja negatiivne, deltoiddodekaeeder — {*kkl*} (3), positiivne ja negatiivne, tetraeeder — {*111*}, positiivne ja negatiivne (4, joon. 70; joon. 79), tetrakisheksaeeder (püramiidne kuup) — {*hk0*} (5, joon. 77; joon. 80), rombdodekaeeder — {*110*}, kuup — {*100*} (7).

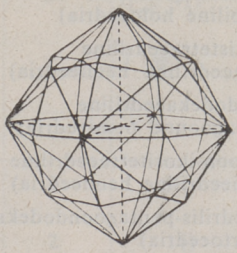
Näited: sfaleriit ja boratsiit.

Lisandades selle klassi sümmeetriaelementidele veel peegelpinnad, mis ühtivad kaksiktelgedega, saame heksakisoktaeedrilise klassi, milles kaksikteljed on lisandatud peegelpindade tagajärjel muutunud neliktelgedeks ja kolmikteljed kuuik-pöördpeegeltelgedeks. Üldvorm on heksakisoktaeeder — {*hkl*} (1, joon. 81; joon. 82). Esinevad ka: deltoidikositetraeeder (või lihtsalt ikositetraeeder või leutsitoeeder) — {*hll*} (2), kus $h > l$, triakisoktaeeder — {*hhl*} (3), kus samuti $h > l$, tetrakisheksaeeder — {*hk0*} (4), oktaeeder — {*111*} (5), rombdodekaeeder — {*110*} (6) ja kuup — {*100*} (7).

Näited: galeniit, kivisool ja fluoriit.



Joon. 81.



Joon. 82.

Kristallograafilised süsteemid. Teisi sümmeetriaelementide kombinatsioone 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 (isomeetriline, tesseraalne), millel on 3 üksteisega täisnurgi lõikuvat telge, milledel ühiktahk lõikab ühepikkused parameetrid ($a = b = c$);

2) heksagoonne, millel on üks erinev ja selle erinevaga 3 ristiolevat ning omavahel 60° nurgi lõikuvat ühevääarset telge;

3) tetragoonne, millel ühe erineva teljega on kaks ristiolevat ning omavahel 90° nurgi lõikuvat ühevääarset telge, milledel 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) t r i k l i i n n e, 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	Peegelpinnad	Teljed	Sümm.-keskpunkt + on — puudub
Kuubiline	Heksakisoktaedriline (kuubiline holoedria)	3+6	4⬡,3□,6()	+
	Heksakistetraedriline (tetraedriline hemieedria)	6	4△, 3()	—
	Düakisdodekaedriline (pentagoonne hemieedria)	3	4⬡, 3()	+
	Pentagoon-ikositetraedriline (plagieedriline hemieedria)	—	3□, 4△, 6()	—
	Tetraedrilis-pentagoondodekaedriline (tetartoeedria)	—	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-skalenoeedriline (romboeedriline hemieedria)	3	1⬡, 3()	+
	Ditrigoon-püramiidne (trigoonse hemieedria hemimorfism)	3	1△	—
	Heksagoon-bipüramiidne (püramiidne hemieedria)	1	1⬡	+
	Trigoon-bipüramiidne (trigoonne tetartoeedria)	1	1△	—
	Heksagoon-trapetsoeedriline (trapetsoeedriline hemieedria)	—	1⬡, 6()	—
	Trigoon-trapetsoeedriline (trapetsoeedriline tetartoeedria)	—	1△, 3()	—
	Heksagoon-püramiidne (püramiidse hemieedria hemimorfism)	—	1⬡	—
	Romboeedriline (romboeedriline tetartoeedria)	—	1⬡	+
	Trigoon-püramiidne (trigoonse tetartoeedria hemimorfism)	—	1△	—

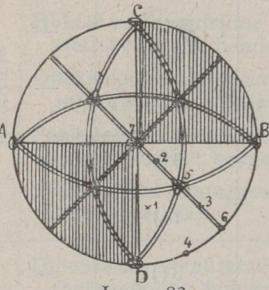
Süsteem	Klass	Peegel-pinnad	Teljed	Sümm.-keskpunkt + on — puudub
Tetragoonne	Ditetragoon-bipüramiidne (tetragoonne holoeedria)	1+2+2	1□, 4()	+
	Ditetragoon-püramiidne (holoeedria hemimorfism)	2+2	1□	—
	Tetragoon-skalenoeedriline (sfenoidne hemieedria)	2	1 , 2()	—
	Tetragoon-bipüramiidne (püramiidne hemieedria)	1	1□	+
	Tetragoon-trapetsoeedriline (trapetsoeedriline hemieedria)	—	1□, 4()	—
	Tetragoon-bisfenoidne (sfenoidne tetartoeedria)	—	1 	—
	Tetragoon-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 kristalliklasside lihtvorme võib tuletada ka väljudes vormidest, mis on omased vastava kristallisüsteemi kõige sümmeetrilisemale — holoeedrilisele (täistahulisele) klassile. Niisugust klasside tuletust, vastupidi ülaltoodud viisile, leiame paljudes kristallograafia raamatuis. Selle tuletusviisiga on seotud ka eriline klasside nomenklatuur, mida on kasulik tunda, eriti vanema erikirjanduse käsitlemisel (vt. tabelis nr. 2 sulgudes).

Lähteklassiks k u u b i l i s e s süsteemis on heksakisoktaeedriline 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 kaksiktelge; nelikteljed muutuvad kaksiktelgedeks ja kuuik-pöördpeegelteljed kolmiktelgedeks. Saame heksakistetraeedrilise klassi.

Kõik viimased muutused on alulnimetatud peegelpinna väljajätmise tulemused. Seepärast on küllaldane jälgida stereograafilisel projektsioonil (joon. 83) muutusi, mis tekivad sellest, et 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. Oktaeedri asemel saame tetraeedri. Klassi nimetatakse seetõttu ka hemieedriliseks (pooltahuliseks) ja öeldakse sel juhul tegemist olevat t e t r a e e d r i l i s e (ehk kaldtahulise) h e m i e e d r i a g a.



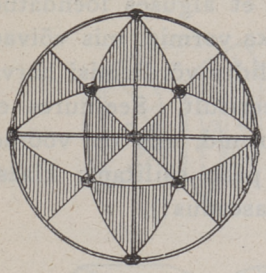
Joon. 83.

Kaotades holoeedrilise klassi ühe peegelpinna, mis ühendab koordinaattelge kolmikteljega, kaotame koos sellega ka kõik teised 5 samalaadilist peegelpinda. Koos nendega kaovad ka 6 kaksiktelge, kuna nelikteljed muutuvad kaksiktelgedeks, 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 pentagoondodekaeedri. Ka see klass kannab tuletusviisi kohaselt p e n t a g o o n s e (ehk rööptahulise) h e m i e e d r i a nimetust.

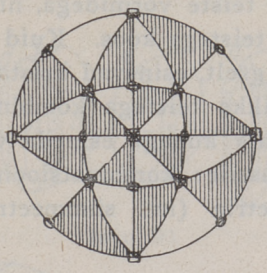
Jättes välja kõik heksakisoktaeedrilise klassi peegelpinnad säilitame ainult sümmeetriateljed, nimelt 3 neliktelge, 4 kolmiktelge ja 6 kaksiktelge, — saame pentagoonikositetraeedrilise klassi,

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*.

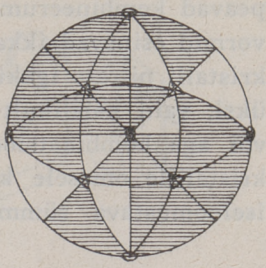
Üle minnes tetraeedrilis-pentagoondodekaeedrilise klassi juurde jätame ära ka 6 kaksiktelge, mis poolitavad nurki eelmise klassi neliktelgede vahel. Sel juhul kahaneb tahkude arv veelgi; tühjaks jäävad kõik joonisel 86 joonitatud pinnad ja antud tahu poolused ilmnevad ainult valgetel pindadel, mis moodustavad



Joon. 84.



Joon. 85.



Joon. 86.

ainult $\frac{1}{4}$ kogu projektsioonisõõrist. Öeldakse seepärast, et siin on tegemist (kuubilise) *tetartoeedriaga* (neljandiktahulisusega).

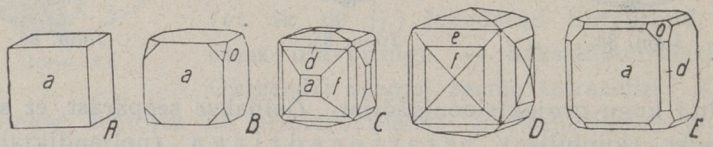
Sama tuletusviisi tarvitatakse ka teiste kristallisüsteemide puhul. Süsteemides, kus on üks eriline telg (heksagoonses ja tetragoonses), räägitakse *hemimorfismist* (poolekujulisusest), kui kaob peegelpind, mis asetseb risti peateljega, ja *hemieedriast*, kui kaovad peegelpinnad, mis sisaldavad peatelge.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

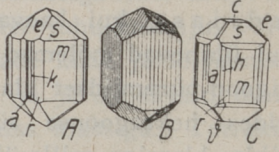
Kombinatsioonid. Eespool-vaadeldud kristallograafiliste klasside kirjelduses on antud iga klassi jaoks lihtvormid, mis tekivad, kui on antud üks tahk, mis siis kordub kristallis nii mitu korda, kui palju nõuab tema sümmeetriaelementide arv. Eriasendites — kui tahk on näit. risti peegelpinnaga või sümmeetriateljega — 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.

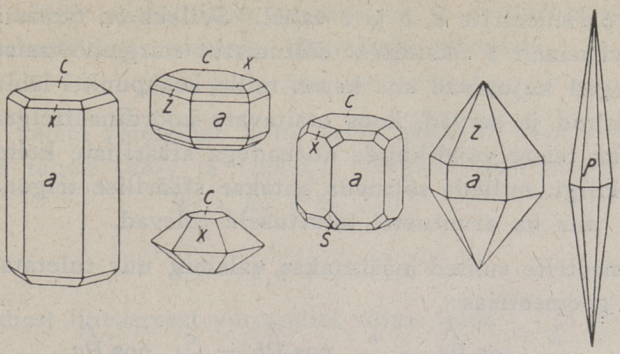
Kombinatsioonide näidetena toome joonisel 87 fluoriidi kristallid, mis kuuluvad kuubilise süsteemi heksakisoktaeedrilisse klassi. Märgitud tahud on: *a* (*100*), *d* (*110*), *o* (*111*), *f* (*310*), *e* (*210*).



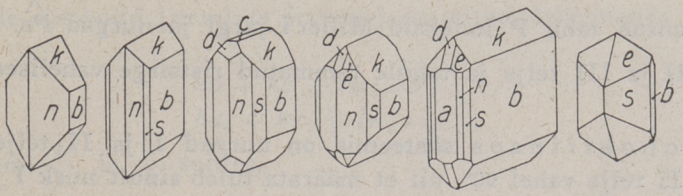
Joon. 88.

Joonisel 88 on kassiteriit (inglistinaoksüüd), mis kuulub ditetragoon-bipüramiidsesse klassi. Tahud: *a* (*100*), *c* (*001*), *e* (*101*), *m* (*110*), *s* (*111*), *h* (*210*), *r* (320), *ϑ* (*552*).

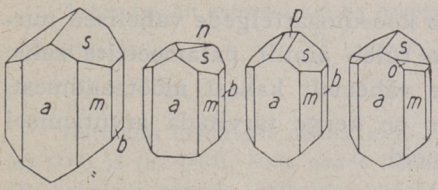
Joonisel 89 on esitatud püromorfiit heksagoon-bipüramiidsest klassist. Tahud: *a* ($10\bar{1}0$), *c* (*0001*), *x* ($10\bar{1}1$), *s* ($11\bar{2}1$), *z* ($20\bar{2}1$), *P* ($80\bar{8}1$).



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 mõõtmed ei mängi mineraali määramisel osa. Kõige väiksema sümmeetriaga trikliinsel mineraalidel tuleb määrata koordinaattelgede vahel 3 täisnurgast erinevat nurka, nimelt α — II ja III, β — I ja III ning γ — 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 koordinaattelgede vaheliste kui ka teiste vajalikkude nurkadega sfääriliste kolmnurkade nurki ja külgi, millede sõltuvus antakse sfäärilise trigonomeetria valemites, mis ka arvutustel tarvitusele tulevad.

Parameetrite suhted määratakse valemis, mis tuletatakse analüütilises geomeetrias:

$$\frac{a}{h} \cdot \cos \widehat{Pa} = \frac{b}{k} \cdot \cos \widehat{Pb} = \frac{c}{l} \cdot \cos \widehat{Pc},$$

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

M o n o k l i i n s e s süsteemis on nurgad I ja II telje ning III ja II telje vahel 90°, nii et määrata tuleb ainult nurk I ja III telje vahel (β) ja suhted $\frac{a}{b}$ ja $\frac{c}{b}$, milleks jätkub kolmest sõltumatust mõõtmisest.

R o m b i l i s e s süsteemis on koordinaattelgede vahelised nurgad $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ ja määrata tuleb ainult parameetrite suhe, seega 2 tundmatut, mis leitakse vähemalt kahest mõõteandmest. Selles ja järgmistes süsteemides on kerge tarvitada arvutamisel ka analüütilise geomeetria valemeid.

T e t r a g o o n s e s süsteemis, kus $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ ja $a = b$, on vaja määrata ainult suhe $\frac{c}{a} = \frac{c}{b}$, milleks jätkub ühest mõõtmisest, samuti nagu h e k s a g o o n s e s süsteemis, kus $\alpha = \beta = 90^0$, $\gamma = 120^0$ ja $a = b$.

K u u b i l i s e s süsteemis on $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ 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 vastavaist teoreemidest, vastama järgmisele valemile:

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

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

$$hu + kv + lw = 0$$

ja

$$h_1u + k_1u + l_1w = 0$$

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

Samuti võime ümberpöördult leida tahu (hkl) sümboli, mille servade sümbolid $[uvw]$ *ja* $[u_1v_1w_1]$ on antud, lahendades võrrandite

$$hu + kv + lw = 0$$
$$hu_1 + kv_1 + lw_1 = 0$$

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 tarvitatavam determinantide 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) $(\bar{1}11)$ ja (b) $(20\bar{1})$; leida nende lõikumisserva sümbol. Kirjutame teineteise alla kohakuti tahkude sümbolites esinevad indeksid, kummagi sümboli 2 korda:

$$\begin{matrix} \bar{1} & 1 & 1 & \bar{1} & 1 & 1 \\ & \searrow & \times & \searrow & & \\ 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 \end{matrix}$$

ja kujutame siis ridade vahel ristuvate nooltega märgitud korrutised, võttes otsitava serva esimese indeksi kujutamiseks vahe esimese noolteristi ülalt vasakult 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: $u = 1 \cdot 1 - \bar{1} \cdot 0 = 1$; $v = \bar{1} \cdot 2 - 1 \cdot 1 = \bar{3}$; $w = 1 \cdot 0 - 1 \cdot 2 = -2$. Otsitav sümbol on $[13\bar{2}]$.

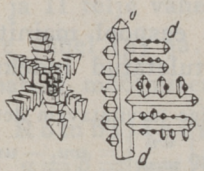
Kokkukõlas determinantide teooriaga ja eespool-tooduga võib veenduda, et kristallis iga kahe võimaliku tahu indeksite telgedejärgsest liitumusest saadud indeksid tähistavad kristallis võimalikku tahku. Kui on antud tahud (hkl) ja $(h_1k_1l_1)$, siis on võimalik ka tahk $(h + h_1 \cdot k + k_1 \cdot l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

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

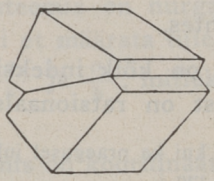
Reeglipärased kristallide liitumised.

Paralleelsed kokkukasvamised.

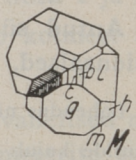
Kui mõnes mineraalieksemplaris esinevad eraldi üksikud osad täiesti paralleelsete samanimeliste telgede ja tasapindadega (näit. joonisel 9, nr. 8), siis tuleb kogu seda mineraali pidada ü h e k s kristalliks. See nõue jääb kehtima ka sageli esinevate mineraalikondistikkude suhtes, kus mineraalaines on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



Joon. 92.



Joon. 93.



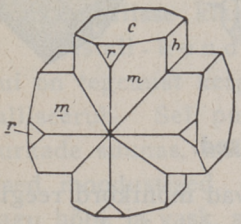
Joon. 94.

Kaksikud.

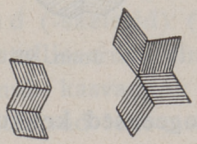
See nimi antakse kahe sama mineraali kristalliindiviidi koosesinemisele („kokkukasvamisele"), kui üks indiviid kattub teisega: 1) kas peegeldudes mõnes pinnas (nn. k a k s i k u p i n d), mis aga selle mineraali sümmeetriaklassis peegelpinnana ei esine, või 2) pöördudes ümber mingi kaksiktelje (k a k s i k u t e l g), 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 k a k s i k u s e a d u s e avaldamine.

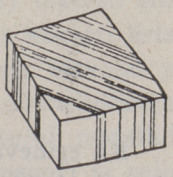
Kaksikute olemasolu on väga oluliseks mineraali tunnuseks. Nad puutuvad hästi silma, sest sageli on kaksik-indiviidide puute-

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 staurolliit: 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.

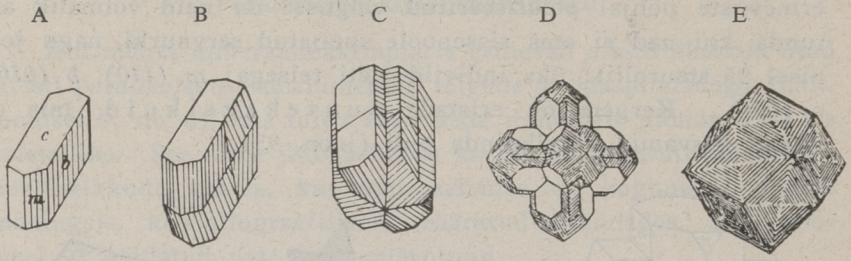
Sageli on kaksiku sümmeetria suurem kui ühe indiviidi oma, sest kaksiku pinna või telje võrra suureneb sümmeetriaelementide arv. Seejuures peavad aga mõlema indiviidi teljestikud olema paralleelses asendis.

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 polüsünteetiliste kaksikute nimetuse all. Sageli on sel puhul indiviidid õhukesed ja korduv kokkukasvamine väljendub ainult viirulises välispinnas [joonisel 97 kaltsiit, polüsünteetiline kaksik (01$\bar{1}$2) järgi].

Teisel juhul, kus kokkukasvamispind igal uuel kristallipaaril kindla nurga võrra pöördub, 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.

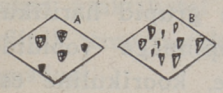
Ka erinevate mineraalide kristallid esinevad mõnikord reeglipäraselt kokkukasvanuna, juhul, kui nende ruumvõred on ligidalt sarnased. Selliseid juhtumeid on palju; neist on sagedamad: 1) sfaleriit (kuubiline) kalkopüriidiga (tetragoonne); kokkukasvamisel on viimase III telg paralleelne ühega sfaleriidi 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 (haabitusega, rüüga): ligikaudu ühesuguste mõõtmetega igas suunas — isomeetrilistena; ühes suunas väljaveninutena: prismalised, pulkjad, kiudjad, püramiidsed, nõeljad, tahveljad ja litterjad. Üks ning sama mineraal võib, olenedes tekketingimusist, 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 ütlema, 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. s ö ö v i t u s l o h k u d e g a, millede asetus ja kuju võimaldavad sageli kristalli õiget sümmeetriaklassi määramist. Näit. 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-skalenoeedrilisse klassi, kuna aga dolomiidi söövituslohud on asümmeetrilised ja viltu asetatud, mis sunnib teda arvama romboeedrilisse klassi, kus sümmeetriapinnad puuduvad.



Joon. 99.

Kristall-k o n d i s t i k u d (-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-, dendriidikujulised moodustised. Nii esinevad sageli sellisel kujul metallid, nagu hõbe ja vask, samuti soolad, nagu haliit (keedusool) ja galeniit, ka jää aknal ja veepinnal, jne.

K r i s t a l l i d e e s i n e m i s k o h a d.

Mõned kristallid asetsevad tihedalt ümbritsetuna kivimis, esinedes seal s i s s e k a s v a n u i n a. Teised asetsevad kivimite õõnsuste ja lõhede pinnal, ulatudes vabasse ruumi — neid nimetatakse p e a l e k a s v a n u i k s. 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 gruppidena, 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 kristallagregaate; 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 tunnistati rohkesti mineraale röntgenanalüüsi leiutamiseni. Röntgenikiirtega uurides nähti, et paljud amorfseiks arvatud aineist on kristalsed; ainult nende osakesed on harilikult väiksemad kui valguskiirte lainepikkus. Enamik amorfseid mineraale on tardunud ja ärakuivanud gelid — nad on alguses 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 energiavaeseim ja stabiilseim. 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 amorfsesse on võimatu ilma välisenergia juurdevooluta.

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

Kolloidset olekut kui kristalset olekut eitavat praegu enam ei tunnustata. Kuid vaatamata tõeliselt amorfsete olekute harulduse on amorfsete mineraalide eraldamine mineraloogias õigustatud 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 veepinnal. 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 (isotroopses) 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 isotroopses aines antud punktini nii, nagu liiguks ta mööda sirgjoont, mis ühendab valguse tekkepunkti antud punktiga; see on nn. v a l g u s e k i i r.

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-tõestatule ilma seda tõestamata.

Valguslainet iseloomustavaist suurusist mainime ainult: laine pikkus λ, 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 λ 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.

P o l a r i s e e r i t u d v a l g u s.

Isotroopses 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 ümberpöördult: valgus, võngetega BB_1 suunas, on polariseeritud AA_1 suunas; AA_1 koos kiire suunaga moodustab niisuguse valguse polarisatsioonipinna.



Joon. 101.



Joon. 102.

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

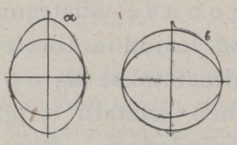
Katsed näitavad, et kuubilise kristallograafilise süsteemi kristallid, samuti kui amorfsed ained, on optiliselt isotroopsed, s. t. neis on valguse kiirus v ja temaga pöördvõrdeline murdumisindeks $n = \frac{c}{v}$ igas suunas ühesugused. Niisuguseis mineraales on ühest punktist leviva valguslaine front 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 ebaharilikuks (ekstraordinaarseks) kiireks.

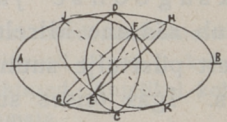
Kui määrata ebahariliku kiire murdumisindeks ε suunas, mis on risti peateljega, samuti ka indeks ω peatelje suunas, ja kui proportsionaalselt nende arvudega valitud telgedel kujutada ellips ja pöörata seda ellipsit ümber ω-telje, siis saame pöördellipsoidi, mida nimetatakse indikaatriksiks. Selle keha 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 α, β ja γ, 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°-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 ü h e kiirena, kuna kõigis teistes suundades valgus laguneb kaheks polariseeritud kiireks, võnkumistega risti teineteisega. Neid kaht eri suunda nimetatakse o p t i l i s t e k s t e l g e d e k s ja mineraale, mis neid omavad, o p t i l i s e l t k a h e t e l j e l i s t e k s.

Tuleb mainida, et indikaatriksi teljepikkused muutuvad valguse v ä r v u s e järgi. Alamates sümmeetriaklassides võivad ka eri värvuste jaoks konstrueeritud indikaatriksite teljed mitte kokku langeda.

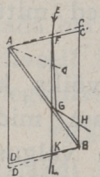
Kristallide optiliste omaduste iseloomustamiseks võiks ka konstrueerida mudeleid sellest pinnast, nn. lainepinnast, mida omab vastavas kristallis olevast valguspunktist leviva valguse front; tähendab, neis mudeleis tuleks algpunktist väljuvate kiirte pikkusele anda mõõtmed, mis on proportsionaalsed valguse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

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 sääraste 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 üheteljelise) kristallisüsteemi ditrigoon-skalenoeedrilises klassis; lõheneb kergesti romboeedri pindade järgi; optiline telg ühendab lõhenemisromboeedri tömptippe. Suurim lahkuminek hariliku ja ebahariliku kiire vahel esineb suunas, mis on risti selle teljega.

Nicol'i prismas, mis laialt tarvitusel, on kaltsiidist väljalöödud pikliku rööptahuka ristlõikel (joon. 105) serva BC' ja diagonaali AC vaheline nurk 71°. Lihvimise teel eemaldatakse kolmnurkse läbilõikega osad ACC' ja BDD' nii, et nurk CAB jääb 68°-seks, et valgus läbiks prismat $C'B$ suunas (mikroskoobi telje 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.

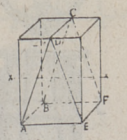


Joon. 105.

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 langenurkade erinevus kanada palsami pinna suhtes (ω 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.



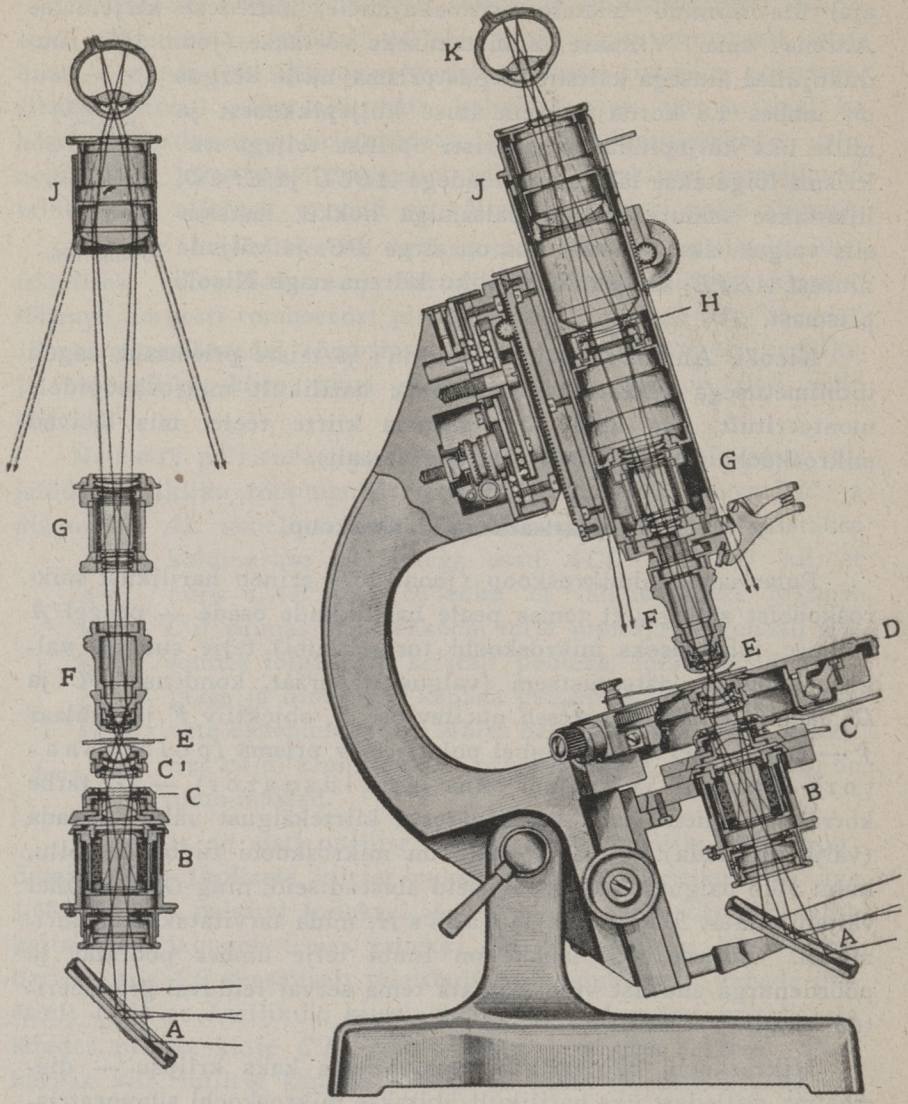
Joon. 106.

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 läätsesüsteem (valgustusaparaat, kondensor) *C* ja *C'*, lauake *D*, millel 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.

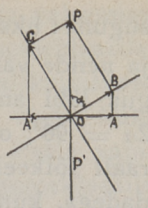


Joon. 107.

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 lõike suurima ja väikesima telje suunas. Kui nurk PP' ja OB vahel tähistada α-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 lõige 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 α 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 tekiks. Ristinikolitega (nagu lühidalt nimetatakse polarisaatori ja analüsaatori võnkepindade ristiolekut) oleks siis mikroskoobi vaateväli pime. Samuti on vaateväli pime ristinikolite puhul, kui $\alpha = 90^0$, s. o. kui mineraali lõikeellipsi 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 90^0 juures. Kui $2\alpha = 90^0$, on $\alpha = 45^0$, nii et suurim valgus oleks siis, kui mineraali lõikeellipsi teljed on asetatud 45^0 nurgi nikolite võnkepindadega, kuna valgus α 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) pööramisel 360^0 võrra valgus kustub 4 korda, vahepeal suurenedes ja olles kõige heledam siis, kui pööre võrdub 45^0-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 ristuvas suunas võnkuvaks kiireks, vaid kiirterühmadeks, kus igal lainepikkusel (värvusel) on erinev kiirus. Vastavalt peavad ka erinema kiiruste vahed igal värvusel kahes ristivõnkuvas kiires. Seepärast osutub mõne lainepikkuse amplituudide vahe $a - a_1$ analüsaatorisse sattudes võrdseks nulliga, mispärast s e e v ä r v u s kustub, kuna paistma jääb ainult ülejäänud värvuste segu — mineraal näib v ä r v i l i s e n a. Kui tarvitada hariliku valguse asemel ühevärvilist, siis värvus polarisatsioonimikroskoobis ei muutu, vaid ta mineraali pööramisel ainult heleneb, või tumeneb, kuni kustub.

Õhikud (lihvid).

Mineraalidest on suurem osa läbipaistvad, vähemalt õhukestes lehekestes — õ h i k u t e s 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 külg siledaks. Kui mineraal on läbipaistmatu, siis see pind poleeritakse, kuna vastaspind jäetakse puutumata. Läbipaistval mineraalil liimitakse

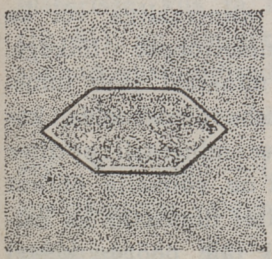
küllaldaselt siledaks lihvitud pind soojendatud kanada palsamiga (või uuemal ajal tarvitusele võetud kolloliidiga) esemeklaasile. Edasi lihvitakse samuti teine pind, nii et mineraalikelmekese paksus on umbes 0,02 mm. See viimasena valminud õhiku külg kaetakse kanada palsami abil õhukese kateklaasiga. 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 vedrudega.

Vaatlemine mikroskoobis.

Enamik mineraalide vaatlusi mikroskoobis teostatakse vähe (10—20 korda) suurendavate objektiividega, kusjuures valgustusaparaadist lülitatakse välja valgust ülemäära koondavad kondensorilääatsed, 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 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 vööks toimub



Joon. 109.

suurema murdenäitajaga mineraali poolel (joon. 109). Eriti on Becke joon märgatav, kui objektiiv mikromeeterkruviga täpsest 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 metoodite 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 lõike 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. s u l e t i s e d. 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.

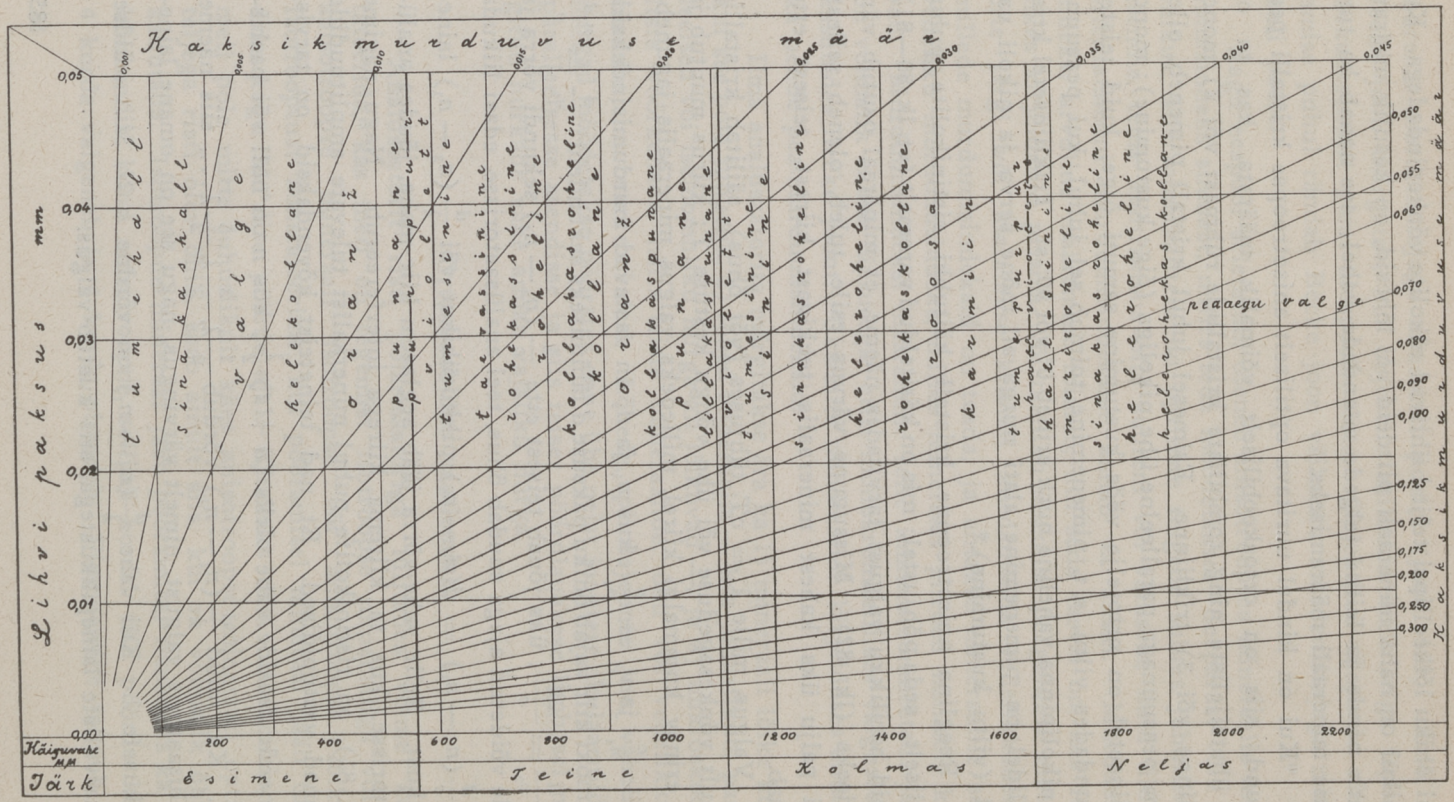
Analüsaatorit risti polarisaatoriga lülitades võime konstateerida, kas meil on tegemist isotroopse mineraaliga või ka anisotroopse mineraali isotroopse või anisotroopse lõikega. Isotroopsust konstateerime, kui pööramisel mineraal jääb tumedaks kogu 360°-lise pöörde ajal. Kindlaks teha ortoskoobis, kas 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 kallakasendis, 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 rombiliste 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 0^0 või 90^0-st. Trikliinsetel kristallidel on pimenemine alati nurga all mõne serva ja nikoli vahel (viltu kustumine).

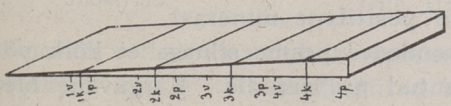
Reeglina anisotroopne kristall käitubki ristinikolite puhul selliselt, seda põhjustel, mis on käsiteldud varemalt (vt. lk. 80—81). Kuid harilikku valgust tarvitades näeme, et mineraal osutub värviliseks (lk. 82). Missugune värvus esile tuleb, oleneb sellest, kui palju üks kahest mineraalis tekkivast 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 $\frac{d}{\lambda}(n_2 - n_1)$ lainepikkust. 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 $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda \ldots$, siis näeme analüsaatoris valgust, nimelt värvingus, nagu see on omane lainepikkusele λ. Kui vahe $\frac{d}{\lambda}(n_2 - n_1)$ on võrdne $\lambda, 2\lambda, 3\lambda \ldots$, üldse täisarvuliste lainepikkustega, siis kustub valgus.


Kaksik murdumise määr
Likvi paksus mm
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
0,001
0,005
0,010
0,015
0,020
0,025
0,030
0,035
0,040
0,045
0,050
0,055
0,060
0,070
0,080
0,090
0,100
0,125
0,150
0,175
0,200
0,250
0,300
Kaksik murdumise määr
tühi
sinakashall
valge
helekollane
oranž
punane—punakas
tumepunane
tumeviinpunane
tumevaarikapunane
tumevaarikapunane
kollakaspunane
kollakasoranž
oranž
kollakasoranž
kollakasoranž
kollakaso

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 värvilisena ja värvus on heledam, kui mineraali optilise ellipsi teljed on asetunud nikolipindade suhtes 45° nurgi. Paralleelsete nikolite puhul on värvus täiendav värvusele ristinikolite puhul.

Kui muutub murdumisindeksite vahe $n_2 - n_1$ või, nagu öeldakse, k a k s i k m u r d u m i s e m ä ä r, siis esinevad sama õhikupaksuse d puhul ka teised värvused. Sama kaksikmurdumise määra puhul muutuvad nad õhiku paksusega. Värvused korduvad teatavas järjekorras; iga korduv seeria kannab j ä r j e nimetust. Esimene järg ulatub mustalt üle halli, valge, kollase, oranži ja punase kuni nn. t u n d l i k u p u r p u r i n i, mida iseloomustab see, et temas puuduvad silmale kõige heledamana tunduvad (kollakasrohelised) kiired: $\lambda = 5510$ Å. Teine järg ulatub sellest purpurist üle sinise, rohelise, oranži, punase ja tume-lillakaspunase sinakaslillani, millega algab kolmas järg. Ka seda üleminekut iseloomustab jällegi see, et siin 5510 Å 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 suurusest (põikjooned) ja õhiku paksusest (püstjooned).



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

Kõiki neid värvusjärke võib korraga näha, kui vaatlusobjektiks võtta anisotroopsest mineraalist (ränist, kipsist) valmistatud lame kiil (joon. 111). Sel juhul leidub iga eri värvuse jaoks mõnes kiilu lühema servaga paralleelses ribas säärane paksus, kus käiguvahe on λ, 2λ, 3λ 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° asendisse, nihutame analüsaatori all olevasse mikroskoobi tuubi pilusse räni kiilu, 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 kõrgemajärjelisteks, sest õhikus saadud käiguvahe suureneb kiilus veelgi. Pöörates õhikut 90° 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 kuju 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 oleneb 1) substantsist endast, s. t. kaksikmurdumise suurusest, 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

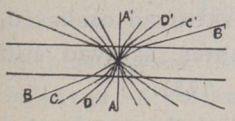
preparaati: üks peab olema risti optilise teljega, teine sellega paralleelne. Mõõtmist tuleb toimetada homogeenses valguses.*

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 ristinikolite 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. järge või kõrgenemist 2. järge, 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.

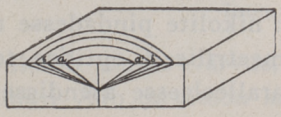
Konoskoobilised vaatlused.

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

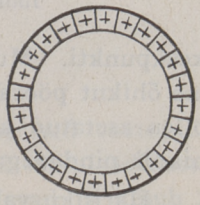
Lülitades mikroskoobi peegli ja lauakese vahele kondensorläätsed, mis muudavad valguskiirte kimbu järsk-kooniliselt koonduvaks, sunnime kiiri läbima õhikut põiki teljega, kus kiired jagunevad kaheks ja kiirte (joon. 112) teepikkused on sõõride kaupa



Joon. 112.



Joon. 113.



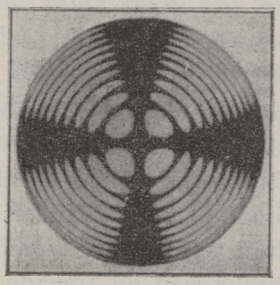
Joon. 114.

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

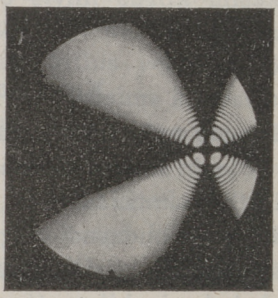
Olgu *AA'* optilise telje suund. Sellesuunalised kiired kustuvad analüsaatoris ja annavad keset vaatevälja musta täpi. Õhikut põiki läbivad kiired annavad sõõrikaupa (joon. 113) ühesuguse käiguvahega kiirtepaare. Kui vaatleme ühevärvilise valgusega, mille lainepikkus on λ, siis mingis teljele ligemas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

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

Iga senivaadeldud sõõriosakest (joon. 114) võib mineraalis vaadelda kui optilise teljega viltu väljalõigatud õhikut, milles harilik 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.

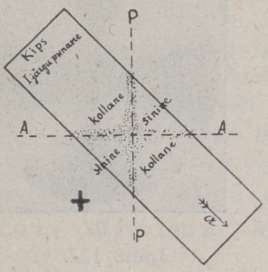
keskpunkti. Mustadest ribadest moodustuv rist püsib paigal, kui me õhikut pöörame: nikolite pindadesse uuesti sattuvad osakesed, olles asetatud sümmeetriliselt optilise telje suhtes, satuvad siin nikoli pindadega paralleelsesse asendisse (joon. 115).

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.

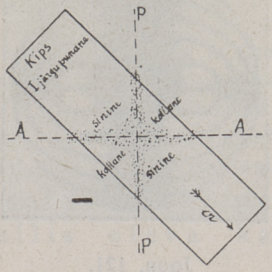
Kui konoskoobis vaadelda üheteljelisi mineraale, millede lõige pole täpselt risti optilise teljega, siis nihkuvad rist ja ringide keskpunkt vaatevälja serva poole (joon. 116); kui aga lõikepind moodustab optilise teljega veelgi teravama nurga, siis jääb vaateväljale ainult üks tume riba mõne ringiosaga.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

paralleelsed lõiked 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



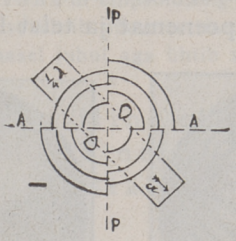
Joon. 117.



Joon. 118.



Joon. 119.

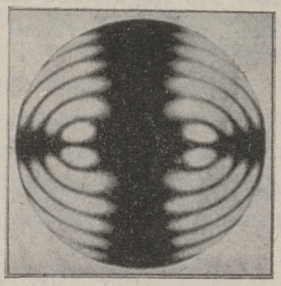


Joon. 120.

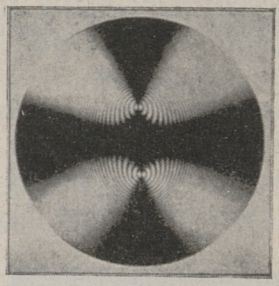
ja plaadikeses liituvad, ilmub sinine värvus, kus nad vastupidi mõjuvad — kollane. Samuti võib tarvitada ka $\frac{1}{4}\lambda$ vilkplaadikest; sel juhul positiivse mineraali puhul ringid laienevad ja ilmub 2 musta punkti seal, kuhu suundub plaadikese kiirema võnke pind (plaadikesel märgitud noolega ja tähega α). 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 väljumispunktidele, on ümbritsetud kõverjoontega —



Joon. 121.

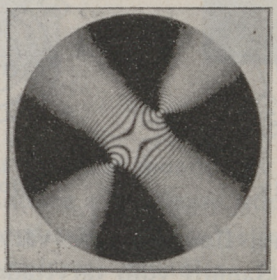


Joon. 122.

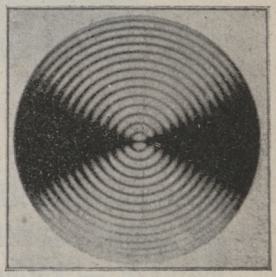
lemniskaatidega. Kui optiliste telgede tasapind ühtib mõne nikoli pinnaga, näeme veel kaht vaatevälja piiri poole laienevat musta riba — üht peenemat ja teist laiemat, mis moodustavad risti. Kui



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°.

Kui õhiku pind on optiliste telgede nurgapoolitaja suhtes viltu, ilmub teljepilt moonutatuna. Kui õhik on paksem, siis ilmub kõrgema järgu valge värvus, mispärast 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 pöördub ühes õhikuga, kuid vastupidises suunas.

Optilise ellipsoidi ja sümmeetriaelementide vahekord. Optiliste telgede nurk.

1. teoreem: Risti kolmik-, nelik- või kuuiktelje võib asetseda 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 ühevääärsed 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 väkesim 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.

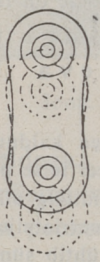
Ellipsoidi peateljed on ainsad, mispärast igaüks neist peab kas lamama peegelpinnas või olema temaga risti, sest muidu peegeldus annaks teise samasuguse telje, mis on võimatu. Kui aga kaks telge asetsevad peegelpinnas, on kolmas temaga risti — mida tõestabki teoreem.

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 värvingule eri ellipsoid, kuid nende kõigi teljed ühtivad.

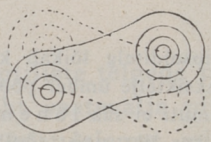
Kolmikteljeline ellipsoid on omane rombilisele, monokliinsele ja trikliinsele süsteemile. Rombilises süsteemis on kolm

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 tömbiks poolitajaks või kus koguni optiliste telgede pind mõne värvuse jaoks on risti teiste värvuste telgede pinnaga.

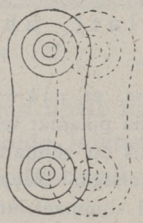
Monokliinses süsteemis on optiline ellipsoid seotud ainult üheainsa sümmeetriateljega (II koordinaattelg) või ristsirgega peegelpinnale; peegelpinnas (või üldse risti kaksikteljega) võivad siis kaks teist ellipsoiditelge asetseda täiesti vabalt. Kui optilistest telgedest ühtivad peegelpinnaga suurim ja väikesim, siis võib igal värvusel olla oma terav poolitaja, ja teljepilt oleks näit. sarnane joonisega 126 (v i l t u n e d i s p e r s i o o n). Kui suurim



Joon. 126.



Joon. 127.



Joon. 128.

või väikesim telg ühtib II teljega, siis on teljepilt kas säärane, nagu joonisel 127 (r i s t i s d i s p e r s i o o n), või säärane, nagu joonisel 128 (h o r i s o n t a a l n e d i s p e r s i o o n, kui II teljega ühtib tömp poolitaja).

Trikliinseis 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 märgiks on $r > v$, kui nurk punaste kiirte telgede vahel on suurem kui violettkiirtel, vastasel juhul $r < v$. Kuidas lugu on, nähtub konoskoobilisel teljepildil: kui teljepind asetseb 45° nurgi nikolipinnaga, 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 värvus tele.)

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 α, β ja γ 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 okulaarniitide-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 β 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 ristinikolite 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°, 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°, kollastele 21,7°, lilladele 32,8°. Kinaveril on need nurgad 15 korda suuremad. Hariliku 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; hariliku 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 trapetsoeedri tahu asendi järgi kas paremal või vasakul pool pea-romboeedri tahust. Kui asetada teineteise peale 2 ühepaksust räniõhikut, üks vasak- ja teine parempoolse pöördega, saame konoskoobis 4 spiraali, mis väljuvad ühest tumedast keskpunktist; spiraalide keerdumissuund näitab alumise (polarisaatorile lähema) räni 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 hariliku valgusega nn. opaak-illuminaatori abil, mis asetatakse objektiivi ja analüsaatori vahele ja mis mikroskoobi kõrval asetsevast valgusallikast juhib täispeegeldus-prisma abil valguse läbi objektiivi perpendikulaarselt õhikuga. Õhikult reflekteeritud valgus laseb määrata uuritavas 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 lõikeid, 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 *läbipaistvaiks servades*. Õhikus (umbes 0,02 mm paksuselt) on aga enamik mineraale läbipaistvad; mõned lasevad mõningaid kiiri läbi ainult veelgi õhema kihina.

Reflekteeritud valguse hulk oleneb mineraali murdumisindeksist ja absorptsiooni suurusest. Mida suuremad on mõlemad, seda rohkem valgust reflekteerub. Teemant peegeldab tagasi ∾ 20% risti tema pinnale langevaist kiirtest, räni ∾ 4%, vask (kollaseid kiiri) 73%, hõbe ∾ 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 oleneb 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, hematiidi ja limoniidi palad, kuid esimesel on kriips must, teisel pu-

nane, kolmandal kollakaspruun. Ehedad metallid annavad läikiva kriipsu.

Väärtuslikke näpunäiteid annab ka kriipsude proovimine hapetega ja leelistega, võimaldades teha järeldusi keemilise koostise kohta.

Pleokroism.

Anisotroopseis mineraalides on suundade järgi sageli erinevad mitte ainult murdumis-, vaid ka absorptsiooniindeksid. Seepärast 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 vahepealsetes suundades annavad segavärvusi, nii et nende suhtes on õige nimetus p l e o k r o i s m (paljuvärvilisus), millega tähistatakse seda nähtust. Üheteljelistel mineraalidel esineb dikroism, kaheteljelistel trikroism.

Mikroskoobis võib pleokroismi jälgida väljalülitatud analüsaatori puhul, pöörates lauakest mineraaliga: iga 90° järel ilmub uus värvus. Eriline luup, nn. Haidingeri d i k r o s k o o p, võimaldab näha kaht värvust kõrvuti: vaadeldes niisuguse luubi läbi pleokroiitilist mineraali näeme luubi väikese ruudulise valguse sisselaske-ava kujutist kahekordselt, kumbki eri värvi. Luupi paigutatud kaltsiidikristall laseb mineraalilt tuleva valguse läbi kahe kiirena, hariliku ja ebaharilikuna, mis vastavad kahele eri-võnkesuunalisele, s. t. ka erivärvilisele kiirele mineraalis.

Pleokroism on tähtis tunnus nii mõnegi mineraali määramisel. Kaheteljelistest võib mainida rombilist kordieriiti, monokliinset biotiiti ja epidooti kui suure pleokroismiga mineraale; amfiboolide eristamine augiitidest on hõlpus esimeste tugevama pleokroismi tõttu. Ka mõningate kalliskivide määramine võimaldub pleokroismi vaatluste najal.

Pleokroismile lähedast nähtust kohtame värvuseta, läbipaistvate kristallide seas, eriti kaltsiidil ja dolomiidil. Et neis aineis erakorralise ja korralise kiire absorptsioon on erinev (ε puhul on ta väiksem), siis tuleb see ilmsiks ühe nikoliga vaatlemisel objekti tumenemise ja helenemise näol selle pööramisel 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, strontsianiiti 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.

Luminestsents — helendumine ilma kiiritamata — esineb kas soojendamise (termoluminestsents) — 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 (triboluminestsents), nagu vahel marmori, räni ja vilkkivi puhul.

Läige.

Läige oleneb mineraali valguse absorbeerimise võime, murdumisindeksi, 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 murdumisindeks on kõrge, võib tal olla teemandiläige (peale teemandi näitena osalt väävel ja püromorfiit). Mõni näib nagu õliga kaetud olevat (eleoliit); mõnel helgib pind vikerkaarevärvusis, nagu pärlmutril, — need omavad pärlmutriläiget, mida põhjustavad üliõhukesed paralleel-

sed kestakesed, millede vahel on õhk (näiteks kips). Kui mineraal on kiuline, võib ta omada s i i d i l ä i g e t, näiteks asbest. Läiget nimetatakse t u h m i k s, kui reflekteeruva valguse intensiivsus on väike.

Mineraalis väikeste osadena (litrikestena, kiududena) esinevad võõrkehad, samuti ka peened lõhed põhjustavad erilisi valgusreflekse, mida nimetatakse s i l l e r d a m i s e k s, mis seisab selles, et mineraal helgib metallitaoliselt vaatenurka muutes muutuva valgusega, näit. brontsiit. Kui mineraalis tema pööramisel nähtub nagu sädemeid, räägitakse aventuriseerimisest (mineraal aventuriin). Kui mineraalist helgib vaatenurga muutumisel mitmesuguseid vikerkaare värvitoone, siis on tegemist labradoriseerimisega (labradoor, 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 polüsünteetilistest 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 vilkplaadikese 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 vahekord asterismi puhul on teataval määral analoogiline röntgenikiirte interferentsiga kristallvõredes Laue menetluse puhul.*

IX peatükk.

Muud füüsikalised omadused.

*Optiliste omaduste arutamisel tuli ilmsiks seaduspärane vahekord 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 geomeetriliselt enantiomorfsed kristallid on ringpolarisatsioonist vabad. Grafiit väliselt kristalliseerub küll ditrigoonskalenoeedriliselt, kuid ta ruumvõre on kõrgema, diheksagoon-bipüramiidse sümmeetriaga. Need näited illustreerivad seadust, kuidas füüsikaline sümmeetria ületab geomeetrilist sümmeetriat.

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

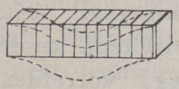
Kõrvuti vektoriaalsete omadustega on olemas ka rida skalaarseid (näiteks erikaal), kus anisotroopsus muidugi ei väljendu.*

Kõvadus.

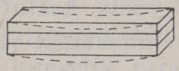
Osakeste seos mineraalis, mis nõuab suuremat või väiksemat jõudu, et osakeste asupaika üksteise suhtes muuta, määrab mineraali kõvaduse. Mehaanikas iseloomustatakse materjali vastupanu välistele jõududele tema elastsus- ja nihkemoodulitega. Viimaseid on määratud ka mineraalides. Mineraalides ilmneb aga nende 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.

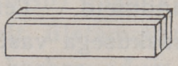
Säärane deformeerumine toimub kristallides nihetega mõningaid tasapindu pidi, millede side (aatomite asetus) naaberpindadega on selline, et see ei muutu, kui naaberpind nihkub pinnaga paralleelselt edasi mõne ruumvõre ühiku võrra. Seda nähtust nimetatakse translatsiooniks. Näitena toome jää. Vaiksel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



Joon. 129.



Joon. 130.



Joon. 131.

taalses asendis toetada otstega 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 kaksikasendisse. 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 terasnõel — 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 ebaühtlased. 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 (lihvib) enamikku teisi mineraale. Teemant on kriimustuskõvaduselt ületamatu; kõvaduse poolest ligineb talle kunstlik produkt karborundum (siliitsiumkarbiid), 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 sümmeetriale. 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 oktaeedri 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 konnakarpjas (kui ta kujutab kaunis tasast kumerat pinda, paralleelsete kõverate vallikestega), tasane, ebatasane, sile, haakjas (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.

Soojusejuhtivus 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 amorfsed) 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 $-4{,}2^{0}$). 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 induktsioon 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 koores: need mineraalid põhjustavad üldises maakera magnetiväljas kohalikke anomaaliaid, mis avastatakse eriliste magnetiliste aparaatidega.

Elektrilised omadused.

Mineraalide seas on elektrivoolu juhte ja ka isolaatoreid igasuguses gradatsioonis. Juhtide hulka kuuluvad mineraalid on enamikus metalse välimusega. Neile igaühele 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, milledel 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 pikenemine 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 potentsiaalist. Mõõtes viimast saame surve suuruse. Kõnesolevat omadust kasutatakse laialt tehnikas, näit. inditseeritakse nn. p i e s o r ä n i abil plahvatusmootorite kolvi tööd. Ümberpöördult — andes piesokvartsile vahelduvaid elektrilaenguid sunnime teda paisuma ja kokku tõmbuma, mis tema ümbruskonnas tekitab sama perioodiga võnkeid. Need võnked, näit. suurema sagedusega võnked kui kõlavõnked, on mitmeti tarvitusel. Piesoränil on oma võnkeperioodid, mis olenevad tema mõõtmeist; neist peab ta täpselt kinni, olgugi et teda ergutav elektrivool pole temaga ühtiv. Sellel võnkeperioodi täpsusel põhineb k v a r t s k e l l a tähtsus (täpseim ajamõõtja), samuti raadio-saatejaamade lainepikkuse reguleerimine.

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

E r i k a a l.

Mineraalid on erikaalu poolest väga mitmesugused. Alates mõnest maavahaliigist, millesse kuuluvad mineraalid on veest kergemad, ja lõpetades iriidiumiga, mille erikaal 22, võime mineraalid 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 peaainese kõrvalised lisandid muudavad erikaalu, mispärast erikaalu suurust võib määrata teatavais piirides, mõne mineraali suhtes isegi kaunis laiades. Erikaalu kõikumised tulenevad mõnikord ka mineraali poorsusest, mis ei lase täpselt määrata mineraalaine erikaalu i l m a 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, tuleb 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 piir, 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 ($HgJ_2 + KJ$) 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 (CH_2J_2). Kõrgeim erikaal 3,32. Lahjendatav eetri või bensooliga. Kallis.

4) Bromoform ($CHBr_3$), 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 algaineteleelementidele, milledest koosnevad mineraalid. Ülpris harva esinevad 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[1] kujul, ka mineraalide seas ülekaalus. Meile kättesaadava litosfääri 16 km paksune kiht koosneb oluliselt silikaatidest, ning selle koore keskmine koostis, ümber arvutatud oksüüdkomponentideks, annab kaaluprotsentides:

SiO_2 — 59,07, Al_2O_3 — 15, 22, Fe_2O_3 — 3,10, FeO — 3,71, CaO — 5,10, Na_2O — 3,71, MgO — 3,45, K_2O — 3,11, H_2O — 1,30, TiO_2 — 1,03, CO_2 — 0,35, P_2O_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%; aktsessoorseid mineraale 6%.

Silikaatide ja räni kõrval ei etenda sulfiidid suurt osa maakera koores, 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 gaasisarnasest olekust; 4) vedelikkude ja gaaside toimel teineteisele või tahkele

[1] SiO_2 sisaldavad mineraalid.

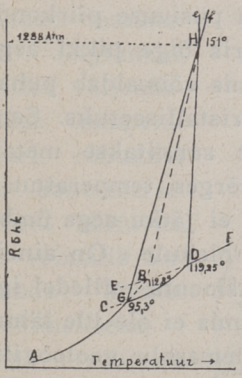
ainele. Sulas olekus ja vedelas ning gaasilises lahuses on aine osakesed vabad ega moodusta kindlaid ruumvõresid, vaid moodustavad üheainsa homogeense, liikuva faasi. Selles olekus püsib aine seni, kuni seda võimaldavad füüsikalised tingimused: temperatuur, rõhk, kontsentratsioon. Kui temperatuur, rõhk 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 $CaCO_3 = CO_2 + CaO$. Süsihapu lubi (tahke aine) annab süsihappegaasi CO_2 ja põletatud lupja 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 korraga 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 sunnitult. Kui aga katsuda hoida näit. temperatuuri konstantsena ja tõsta vabalt (piiramatult) rõhku, muutub süsteem niikaua, kuni kaob 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-

tikkudes. Seepärast, olgugi et meil maakera koores esineb tervelt 12 tähtsamat petrogeneetilist komponenti (vt. lk. 111), ainult umbes niisama paljust m i n e r a a l i d e hulgast koosneb see meie planeedi väliskoor.*

Kõik säärased mineraalide tekkeküsimused kuuluvad füüsikalise keemia ja petrograafia valda ega tule siin pikemalt arutusele. Et aga paremini mõista mõningaid tähtsaid mineraloogilisi nähtusi, vaatleme väävli (üks komponent) oleku muutumisi temperatuuri ja rõhu muutumisel, milleks tarvitame diagrammi joon. 132, kus abstsissil on temperatuur ja ordinaadil rõhk. Väävel esineb kahel mineraalina esineval kujul: rombilises, mis harilikus temperatuuris on püsiv, ja monokliinses, milliseks muutub rombiline 95,3° C t°-s; monokliinse püsivusintervall kestab sulamispunktini: 119,25°. Temperatuuri 95,3° nimetatakse muutepunktiks 1-atm. rõhu juures. Füüsikalises keemias tõestatakse, et: 1) ühtlastes tingimustes on aine püsiva kujundi aurupinevus madalam kui ebapüsiva oma ja 2) muutepunktis on mõlema kujundi aurupinevus võrdne. Seetõttu kanduksid diagrammile kõver *AGB* rombilise väävli aurupinevuse, kõver *CGD* monokliinse väävli aurupinevuse ja *EDF* sulaväävli aurupinevuse muutejoonena. Kõverate lõikepunktid on: *G* — muutepunkt, kus ühtmoodi püsivad nii rombiline kui ka monokliinne vorm, ja *D* — monokliinse väävli sulamispunkt. Kuid ka punkt *B* (112,8°) on sulamispunkt, nimelt rombilise väävli sulamispunkt. Kui rombilist väävlit kiiresti kuumutada, ei suuda ta 95,3° t°-s muutuda monokliinseks, vaid sulab ligi 7° madalamas t°-s, kui aeglasel soojendamisel, kus ta enne sulamist monokliinseks muutub.



Joon. 132.

Rombilise väävli erikaal on 2,07, monokliinsel — 1,96 ja sulaväävlil — 1,81: väävel p a i s u b temperatuuri tõusuga. Üldise seaduse põhjal, et kui mingit süsteemi väljastpoolt kuidagi mõjustatakse, siis tekib süsteemis vastupanu, mis mõjustusele vastu töötab, peame järeldama, et väävlil peavad nii muute- kui ka sulamispunkt nihkuma kõrgema temperatuuri poole, kui rõhk suureneb (aine püüab kauem säilitada tihedamat olekut). Muutereaktsiooni ja sulamissoojuste najal võib arvutada, et muutepunkti

temperatuuri tõus on suureneva rõhu mõjul kiirem kui sulamispunkti 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° C t°-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. erinevais 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 monotroopseks 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° 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 korralduda madalale temperatuurile omasele olekule. On aineid, mis esinevad mineraalidena mitmes modifikatsioonis, milledel igaühel peab olema oma püsivuspiirkond, kuid mis ei ole üle läinud kõige püsivamasse modifikatsiooni nende olemasolu geoloogilistel ajajärkudel.

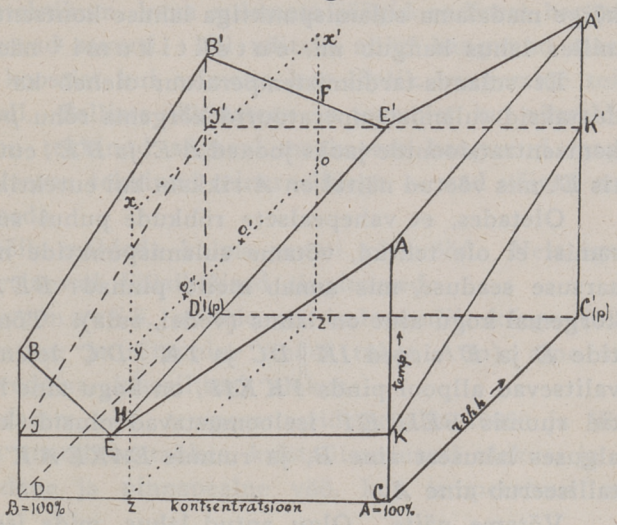
Klaas (mitte ainult tehislik, vaid ka loomulik) on kiiresti hangunud sulatis, mis aeglasel hangumisel oleks andnud mitmeid kristalliseerunud mineraale. Harilikul temperatuuril on selline amorfne „tahke lahus" teoreetiliselt ebastabiilne. Kuid kivimites on säilinud vulkaanilisi klaase, millede iga on sadu miljoneid aastaid, ilma et klaas oleks ümber kristalliseerunud. Sellised ülejahutusnähtused pole haruldased ja nad sunnivad ettevaatusele mõne mineraalileiu puhul, kui on vaja otsustada, milliseis füüsikalistes 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 tsentrumeist, mis tekivad klaasi massis suuremal või väiksemal arvul, jällegi olenedes 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 homogeenset ainet, mis koosneb vähemalt kahest komponendist juhuslikus ja muutuda võivas proportsioonis, mitte stöhhiomeetrilises vahekorras. Lahus võib olla tahke (näit. klaas), vedel (kas kõrge temperatuuri suland või lahustatud harilikus temperatuuris mõnes vedelikus) või gaasisarnane. 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 sõltuvus, 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 üheatmosfäärilisest 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 mõõdame 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. e u t e k t i k u m i[1] 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: $BE'A'AEBB'$, 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 $EAKE'A'K'$ 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

[1] *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 korraga 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. Hariliku 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 maakoores hangunud magmas, vulkaanide laavas tekkinud mineraalidega — nad võivad sageli suuresti erineda.

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

1) sügav magmavöö, millele on iseloomulik kõrge (üle 1000° C) temperatuur ja rõhumine (mõni tuhat Atm); aine on mittekristalses (vedelas, klaasilises) olekus;

2) pinnalähedasem vöö, temperatuuridega alla 1000° ja üle 100°, kus aine on enamikus tahkes, kristalliseerunud olekus, ja

3) pinnalähedane ja pinnapealne vöö, kus temperatuur on alla 100°.

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 määramatu 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 imbuvad välja magmast nii vedelikkude kui ka gaaside näol. Nähtust nimetatakse kontaktmetamorfoosiks.

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 dünamometamorfoosist.

Maapinnal toimub vee ja õhu, eriti aga organismide tegevuse mõjul mineraalides palju muutusi. Seda nähtust nimetatakse murenemiseks. Sellele protsessile võlgneme 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 muis vedelikes) mitmed ained: SiO_2, Fe_2O_3 jne., moodustades sole. Solis hõljuvad osakesed adsorbeerivad ahnelt igasuguseid aineid, mis koos nendega lahusesse satuvad. Kui need lisaained 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. SiO_2 — opaali, kolloidsed Fe-oksüüdid — limoniidi.

Sellised mineraalid esinevad amorfsetena — isotroopsetena, kuigi mõne osakesed röntgenikiirtega uurides osutuvad kristalseiks. Väliskujult on nad harilikult mugula-, kobara- või neerutaolised; vahel esinevad nad koorikute, mulla või pulbri näol. Osa neist muutub aja jooksul kristalseks; tõenduseks, et mineraal algupäralt oli kolloidne, jääb ainult iseloomustav kõverapinnaline väliskuju (näiteks püriit).

Lähem tutvumine kõigi nende mineraalide tekkimise üksikasjadega 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 maakera sisemuses ja geoloogilisi ajajärke.

XI peatükk.

Mineraalide keemilised omadused.

Harva esinevad mineraalid keemiliselt puhtatena, s. t. säärastena, et nende koostist võib väljendada täpse stöhhiomeetrilise formeliga. Neis on reeglipäraselt ikka mõnesuguseid lisaaineid, 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 tõenäosuse järgi. Olgu näit. ühe berülli analüüs andnud järgmised arvud: SiO_2 — 66,37%, Al_2O_3 — 19,26%, 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 Al_2O_3 ühikuna: 5,846, 1,000, 2,967, või ümmarguselt 6, 1, 3. Seepärast antaksegi berüllile järgmine valem: $6\,SiO_2 . Al_2O_3 . 3\,BeO$ või $Be_3Al_2Si_6O_{18}$.

On, ümberpöördult, 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 (Mg_2SiO_4)

ja fajaliit (Fe_2SiO_4), kuna harilik oliviin koosneb nii Mg- kui ka Fe-silikaadist väga muutuvas vahekorras.

Niisuguste, nii äärmiste kui ka segakristallide ruumvõred 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 ($CaCO_3$) kaltsiidina heksagoonses ja aragoniidina rombilises süsteemis; titaanoksüüd (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 dimorfsed, 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, β-räni — α-räni — tridümiit — kristobaliit; sfaleriit — vurtsiit jt.

*Pseudomorfoosid.

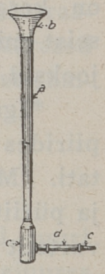
Polümorfism on tingitud mõningate kristall-olekute ebastabiilsusest ja võrede kohastumisvõimest muutunud välistingimustega.

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 götiit püriidi järgi (oksüüdid sulfiidi väliskujuga), serpentiin oliviini asemel, kaoliin päevakivide rüüs. Juhtub koguni, et peale mineraali kadumist jääb üle õõnsus, mis täitub hiljemini mehaanilise 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. Sääraste mikrometallurgia-ahjuna arendati juba ammugi välja jootetoru — riist, mille abil mineraali pisiproovidega tehakse reaktsioone kõrgeil temperatuuridel.


Joon. 134.

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

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 sealses 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 tingimusis raskesti (ortoklaas), mõnedel ümmarduvad pisut teravad servad (brontsiit), 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 leegi värvuse 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 strontsianiit helenduvad.

Reaktsioonid söel.

Appi võttes puusöetükki (paremad on kase-, lepa- või pärnasüsi) 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, $Na_2B_4O_7 . 10H_2O$) või fosforsoola [$HNa(NH_4)PO_4 . 4H_2O$] sulatises lahustuvad paljud ained ja annavad hangudes iseloomustava värvinguga ühendeid. Neid sulatisi valmistatakse järgmiselt. Umbes 0,3 mm paks plaatinatraat 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_4				Kuumutatult lahtises torus koos soodaga annab tinkpiirituse lõhna.
Antimon — Sb	Rohekassinine.	O. l-s[1] tekib proovi lähedal söel valge kate, mida leegiga võib eemale puhuda.	O. l-s kuumalt kollakas, külmalt valge. R. l-s alul Sb litrikesed, pikemal puhumisel helmes selgib.	Kuumutamisel õhu käes — tihe valge suits.
Arseen — As	Helesinine.	Küüslaugu lõhn. Kergesti metalliks redutseeruv. Valge, kergesti lenduv kate (sellepärast proovist eemal).		Lahtises torus annab valge lenduva As_2O_3 sublimaadi. 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 rohelise tulega.

[1] 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 $KHSO_4$-ga kuumutatult annab broomi auru.
Elavhõbe — Hg				Soodaga kinnises torus kuumutatult annab pisikeste tilgakestena Hg (hall kate torul).
Fluor — F				Koos $KHSO_4$-ga kinnises torus kuumutatult annab HF, mis klaasi söövitab; mõnikord tekib toru avausel 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.	
Inglistina — Sn		Sooda- ja söepulbriga kuumutatult annab tinaterakese. Valge kate, mittelenduv.		
Jood — J				Kinnises torus $KHSO_4$-ga kuumutatult annab lillat joodiauru, mis tärklist sinetab.
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				Vasehelmes fosforsoolas värvub kloori mõjul purpurpunaseks.
Koobalt — Co			Nii o. l-s kui ka r. l-s tumesinine.	
Kroom — Cr			O. l-s kuumalt kollakas või punakas, külmalt rohekaskollane; 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.	
Molübdeen — 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; pikema 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. Bituumsed 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 värvusetuid 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 kollakasroheliseks.	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 — taevassinine.	Soodaga annab Cu-kerakese.	O. l-s kuumalt roheline, külmalt sinine; r. l-s läbipaistmatu punane.	Lahus annab NH_4 lisandamisel sinise värvuse.
Vesi — H_2O				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. Kate kuumalt tumeoranž, külmalt helekollane, valge servaga.	O. l-s kuumalt kollane või oranž, külmalt värvusetu või piimakarva. R. l-s selgib pikemal puhumisel.	
Volfram — W			Booraksiga o. l-s kuumalt kollane, külmalt piimakarva; r. l-s tumekollane. Fosforsoolaga o. l-s värvusetu, r. l-s sinine.	
Väävel — S				Lahtises torus tekib SO_2, mis on lõhnast tunda. Soodaga kokkusulatatult ja veega niisutatult annab hõbeda pinnal pruuni või musta jälje.

Teised reaktsioonid.

Eelnimetatud reaktiividele lisaks on jootetoru kaasavaraks alati ka koobaltnitraadi [$Co(NO_3)_2 . 6H_2O$] 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 ($KHSO_4$), kaalisalpeeter ja inglistina 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 lenduvaid produkte.

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 reaktsioonide produkte. Produktides esinevad iseloomulikud kristallid määrati mineraloogiliste meetoditega.

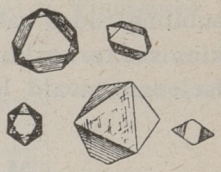
Keemikud arendasid asja edasi ja tõid õieti kogu oma kvalitatiivse analüüsi meetodid üle mikroskoobilauakesele, mis neil võimaldab vähese katsematerjali ja reaktiivide kuluga avastada ainete keemilist koostist. Sakslased nimetavad seda meetodit *Tupfmethode*, mis vabas tõlkes oleks „pisiniisutusviis".

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 mitterikkuvas happes lahustada.

Harilik töökord mikroanalüüsil on järgmine. Proov (terake, kild, pulber) lahustatakse uuriklaasil, portselantassikeses või plaatinalusikas, lahusest kantakse kapillaarpipetiga tilgakesed esemeklaasidele (või tarbe korral plaatinaplaadikestele), 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 reaktiivi. Kui õhik on katmata,

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

Mõningad iseloomustavad reaktsioonid toome määratavate ainete alfabeedilises järjekorras:



Joon. 135.

A l u m i i n i u m — Al. Lisades proovile haput tseesiumsulfaati ($CsHSO_4$) saame sademeis oktaeedri ja kuubi kombinatsioones tseesium-maarja kristalle (joon. 135).

A n t i m o n — Sb. Lisades terakese CsCl proovi lahusele saame kuuekülgsed anisotroopsed litrikesed $SbCl_3 . 3CsCl$ kristalle.

A r s e e n — As. Lämmastikhapus lahuses annab ammooniummolübdaat $[(NH_4)_2MoO_4]$ väga pisikesi kollaseid oktaeedreid — enamikus läbivaid kaksikuid — ammooniumarseenmolübdaati.

E l a v h õ b e — Hg. H_2SO_4 lahjas lahuses sadestuvad värvusetud rombilised Hg_2SO_4 kristallid, kui tegemist on ühevalentsete Hg ühenditega. Kahevalentsed annavad KJ lahusega punase kristalse sademe, mis kuumutamisel kollaseks muutub.

F o s f o r — P. Ammooniummolübdaat lämmastikhapus lahuses annab fosformolübdeenhappe ($H_3PO_4 . 12MoO_3 . 12H_2O$) kollaseid kuubilisi terakesi.

H õ b e — Ag. Soolhappes tekkinud AgCl sade lahustatakse ammoniaagis ja lastakse sealt aeglaselt kristalliseeruda — tekivad oktaeedrid ja kuupoktaeedrid AgCl.

I n g l i s t i n a — Sn. Kloortseesiumiga (CsCl) annab värvusetuid oktaeedrilisi tseesium-klorostannaadi (Cs_2SnCl_6) kristalle.

K a a l i u m — K. Plaatinakloriid annab oktaeedri-, kuubi- või rombdodekaeedri-kujulisi K_2PtCl_6-kristalle (joon. 136).

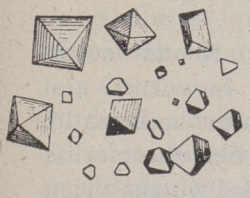
K a l t s i u m — Ca. Väävelhape annab monokliinseid kipsikristalle (joon. 137).

K u l d — Au. Inglistina (Sn) raasuke lahustatakse soolhappes (HCl); kulla toimel muutub lahus purpurseks (kolloidne kuld ja tina hüdroksüüd).

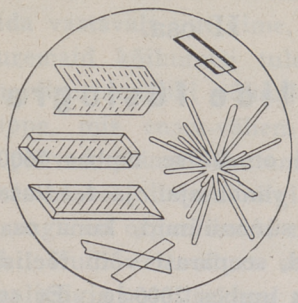
M a g n e e s i u m — Mg. Hapu naatriumfosfaat (Na_2HPO_4) ammoniakaalses Mg lahuses annab sademe $(NH_4)MgPO_4$, mis on rombiline, sageli puusärgikaane- või kirjaümbrikukujuline.

Naatrium — Na. Uranüülatsetaat [$UO_2(C_2H_3O_2)_2 . 2H_2O$] annab selged helekollakad tetraeedrid naatrium-uranüülatsetaadi soolast (joon. 138).

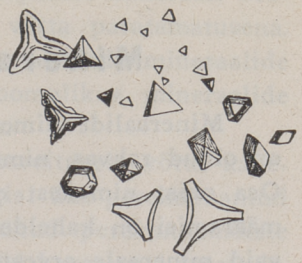
Raud — Fe. Kolmevalentsed ühendid (Fe_2O_3) annavad ferrotsüaankaaliumi [$K_4Fe(CN)_6$] kristalliga tumeda „berliini sinise" $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ sademe; kahevalentsed (FeO) — samasuguse sademe ferri-tsüaankaaliumiga: $K_3Fe(CN)_6$. Võib tarvitada



Joon. 136.



Joon. 137.



Joon. 138.

ka rodaan-ammooniumi [$(NH)_4CNS$] lahust, mis punaneb raua juuresolekul.

Seatina (plii) — Pb. 20% soolhape annab tinakloriidi ($PbCl_2$) rombilisi nõelu või kuusnurkseid tahvlikesi.

Tsink — Z. Elavhõbe-rodaniid $Hg(CNS)_2$ annab tsink-elavhõberodaniidi $Zn(CNS)_2 . 2Hg(CNS)_2$ 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 m i n e r a a l i l i i k. 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 koordinatsioonarvud; viimaste muutumisel tuleks ainele anda uus mineraalinimi. Lihtmodifikatsioonid, mis tähistatakse α, β, γ-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 mitteoluliselt 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 perekonnamõiste 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:

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

I klass.

Elemendid.

1. sugukond.

METALLOIDID.

Teemant. C (süsinik).

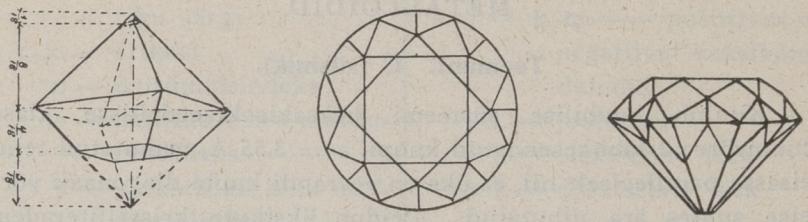
Kuulub kuubilise süsteemi heksakisoktaeedrilisse klassi. Ruumvõre: 2 tahkkesendatud kuupi, $a = 3{,}55$ Å, mahutatud teineteisesse paralleelselt nii, et üks on veerandi kuubi diagonaali võrra teise suhtes ära nihutatud. Leidub üksikute kristalliteradena, peamiselt oktaeedrikujulistena, kuid sageli on 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 korratult 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 CO_2-ks juba jootetoru ees. Mustad teemandid sisaldavad vahel kuni 4% kõrvalisi aineid. Õhu juurdepääsuta elektrikaarleegis kuumutatult muutub grafiidiks. Harilikes happeis ei lahustu.

Praegu on rikkaim teemantide leiukoht Lõuna-Aafrikas, kus neid saadakse nii primaarseist leiukohtadest tardkivimist (peridotiidi-taolisest ainest, mis täidab hiiglasuuri vertikaalseid vulkaanilisi lõõre) ja ka sekundaarseist setteladeemeist. Peamiselt setteladeemed on ka Brasiilia, India, Austraalia, Uurali mäestiku,

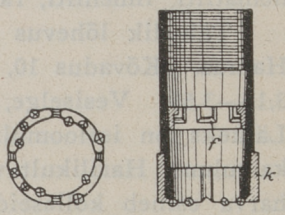


Joon. 139.

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

Vesiselged teemandid on lihvituina esmajärgulised ehtekalliskivid. Levinuim lihvimisviis on briljantlihv (joon. 139). Suurimate teemantide „elulood" ja praegused 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 lõikavad (hõõruvad) kivisse või metalli rõngaspilu, kuna krooni

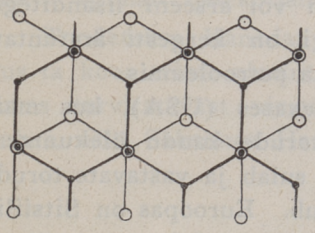


Joon. 140.

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 difraktsioonvõredele toimub samuti teemantidega. Pulbrina on teemant kõlblik kõige kõvemate materjalide (ka teemandi enese) lihvimiseks.

Grafiit. C.

Struktuuriliselt kuulub diheksagoon-bipüramiidsesse klassi, väliselt romboeedriliste 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; laialihõõrutult 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 määrdeõlidele ja pliiatsisüdamikeks.

Osa tehnikas tarvitatavat grafiiti valmistatakse elektriahjudes antratsiidist või naftakoksist.

Väävel. S.

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

Lõhevus vaevalt märgatav. Murd konnakarpjas või ebatasane. Väga habras; käesoojusest jätkub, et kristallid ebaühtlase 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. $\alpha = 1{,}960$, $\beta = 2{,}040$, $\gamma = 2{,}248$; $2V = 69^0\ 5'$ (kollase valguse jaoks). 95,3° t°-s muutub monokliinseks väävliks, mis sulab 119,25° t°-s. 270° t°-s hakkab hapniku manulusel põlema. Halb elektrijuhtivus: hõõrumisel elektriseerub negatiivselt.

Looduses sageli bituumeni, seleeni või arseeni lisanditega. Põledes annab SO_2, mille lõhna järgi on kergesti äratuntav. Lahustub väävelsüsinikus (CS_2), osalt ka petrooleumis.

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

2. sugukond.

HABRASMETALLID.

Arseen. As.

Ditrigoon-skalenoeedriline. Ruumvõre: kaks tahkkesendatud romboeedrit, poole küljepikkuse võrra teineteise suhtes ära nihutatud. Romboeedri küljepikkus 5,60 Å; nurk 84° 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-skalenoeedriline, isomorfne arseeni ja antimoniga. Ruumvõre sarnane arseeni omaga: romboeedrilisel rakukesel $a = 6{,}56$ Å, $\alpha = 87^0\,35'$; 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: $a = 4{,}070$ Å. 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 tolmuni.

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, kuldkollane.

Keemiliselt kas puhas kuld või sisaldab ka 2 ja rohkem % Ag (kui Ag on 30—75%, kannab eri nimetust — elektrum) —, Cu, Bi, vahel ka Pd või Rh. J.-t. ees sulab kergesti kerakeseks (puhta Au sulamispunkt 1062,4°). Lahustub HNO_3 + + HCl lahuses, samuti peene tolmuna KCN lahuses ja üldse lahustes, kus on vabu haloide; kolloidsena ka H_2O-s. Annab Hg-ga amalgaami.

Peaaegu kogu kullasaak saadakse eheda kullana. Oma väärisuse tõttu vabaneb ta kergesti ühenditest teiste elementidega ja sadestub metallina. Eriti on ta ühenduses hanguvatest magmadest väljapressitud kuumvete lahustest tekkinud mineraalisoontega, kus domineerib eriti räni. Need ränisooned moodustavadki 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. Töötatakse kasuga kohtades, kus Au-sisaldus ühes mineraalaine tonnis ei lange alla 1,3 g primaarseis varapaikades ja 0,1 g sekundaarseis varapaikades.

Teine tüüp kullaleiupaiku on sekundaarne, kus kuld sisaldub eluviaalses või alluviaalses materjalis: konglomeraatides, liivas jne. Säärastes leiukohtades jääb sageli ära esialgne kulda sisaldava kivimi purustamine, alustatakse pesemisega ja väljapestud kontsentraat, kui osutub tarvilikuks, purustatakse, et siis vastavas 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 keemiaaparaatide valmistamiseks ning keemilisteks reaktiivideks.

Hõbe. Ag.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre nagu kullal. $a = 4{,}078$ Å. Kristallid sagedamad kui kullal, kuid harilikult samuti moonutatud. Peamiselt ilma kristalli välimuseta, pesadena, katekirmena, ka pleki- ja kiukujuliselt, vahel ka ümmardatud mugulatena — kaalult kuni 750 kg; on registreeritud koguni 1760-kg leid.

Märgatav lõhevus puudub. Murd haakjas. Kergesti taotav ja venitatav. K. 2½—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, $a = 4{,}079$ Å. 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. 2½—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 happeis; ammoniaagi lisandamisel värvub lahus siniseks.

Leidub enamasti igal pool, kus esinevad Cu-maagid ja kus liiguvad orgaanilisi olluseid sisaldavad veed, eriti oksüdatsiooni- ja tsementatsioonivööde piiril. Suurimad massid leiduvad Keewenaw' poolsaarel P.-Ameerika Superiori järvel, kus rõhuvas enamikus 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.

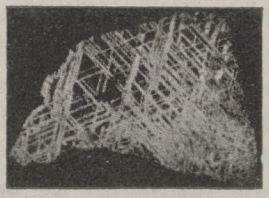
Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre ruumkeskendatud kuup, $a = 2{,}87$ Å. Looduses väliskujult määratavaid kristalle ei esine. Esineb teraliselt, soomuseliselt ja mugulaliselt.

Kunstlikes kristalles märgata täiuslik lõhevus {*100*} järgi. Murd konkslik. Taotav. K. 4—5. E.-k. 7,8. Metalliläige, terashall; pealt sageli must. Mõjustab magnetit.

Taandunud oma ühenditest metallurgilisi protsesse järeleaimavates oludes; sulamagma sattumisel söeladememetesse. Seepärast sisaldab ka sageli tsementiiti — Fe_3C.

Nikli ja raua sulam (nikkelraud) näib samuti otseselt magmast välja kristalliseeruvat (Ni : Fe vahel 2 : 1 kuni 3 : 1). Säärane mineraal esineb a v a r u i i d i nime all Uus-Meremaal jõesetteis.

Nikkelraud esineb ka m e t e o o r s e rauana, mis satub maakerale maailmaruumist. Raudmeteoriidid sisaldavad 6—12% niklit. Lihvitud ja kergelt happega söövitatud meteoorraua pind näitab nn. Widmanstädteni jooni (joon. 142): need on meteoori läbivate ja oktaeedri pindade järgi orienteeritud niklivaeste lamellide jäljed. Niisugust niklivaest rauda meteoriidis nimetatakse k a m a t s i i d i k s. Sageli on need lamellid mõlemalt poolt kaetud niklirikkast t ä n i i d i s t koosnevate kestadega. Lamellide vahed on täidetud p l e s s i i d i g a — peenelt kokkukasvanud kamatsiidi ja täniidi seguga.



Joon. 142.

Plaatina. Pt.

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

Murd konkslik. 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, $a : b : c = 1{,}440 : 1 : 0{,}973$; $\beta = 66^0\ 5'$. Kristallid prismataolise välimusega või nõeljad.

Lõhevus kaunis hea pindadel {*010*} ja {*210*}. Murd konnakarpjas. K. 1½—2. E.-k. 3,5—3,6.

Värvus punane (tumeroosa). Kriips oranž. Tasapindadel teemandiläige, murdepinnal rasvaläige. Päikesevalguse mõjul muutub kollaseks auripigmendipulbriks. K.-m. —; $\alpha = 2{,}46$, $\gamma = 2{,}61$; $2V \sim 40^0$; kustumise põiksus 11^0.

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_2S_3.

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

Väga täiuslik lõhevus ja pärlmutriläige {*010*} peal. Lõhendliistukesed painduvad. Laastuna noaga lõigatav. K. 1½—2. E.-k. 3,4—3,5.

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

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 mittetäiuslik lõhevus {*100*} ja {*110*} järgi. Õhukesed liistukesed painduvad. K. 2. E.-k. 4,6—4,7. Tugev metalliläige, kuid pind kattub tuhmi, vahel värvilise, vahel musta kihiga. Tinahall. Kriips tume-tinahall. Läbipaistmatu. Murdumisindeksid (mõõdetud 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 tootjaiks on Hiina (Sikuanšan Kiangsi provintsis), Alžeeria, Magurka, Kremnitz end. Tšehhoslovakkias, Auvergne Prantsusmaal, Korsika ja Sardiinia, Oporto Portugalis.

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

Molübdeniit. MoS_2.

Heksagoon-bipüramiidne. Ruumvõre tüüpiliselt kihiline: $a = 3{,}15$ Å, $c = 12{,}30$ Å. 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—1½. E.-k. 4,7—4,8. Tugev metalliläige, tinahall, pisut lillakas. Kriips tumehall. Hästi õhukeseks hõõrutult määrdunud sibulroheline.

J.-t. ees ei sula, leegi värvib kollakasroheliseks, annab söel valge katte; lahtises torus eraldub SO_2 ning tekib helekollane 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. Molübdeeni-ühendid on tähtsad värvi- ja keemiatööstuses.

Välimuselt sarnane on grafiit.

2. sugukond.

TAOTAVATE METALLIDE SULFIIDID.

Sfaleriit. ZnS.

Heksakistetraeedriline. Ruumvõre: Zn tahkkesendatud kuup, milles S tahkkesendatud kuup on igas mõõtmes ¼ kuubikülje võrra edasi nihutatud. $a = 5{,}39$ Å. Kristallid harva hästi mõõdetavad, kuid esineb palju vorme. Esinevussageduse järjekorras: {*110*}, {*311*} ja {$3\bar{1}1$} (joon. 143); {*211*} ja {$2\bar{1}1$}; {*100*}; {*111*} ja —{$1\bar{1}1$}. Enamasti kaksikud {*111*} või {*211*} järgi; ka polüsünteetilised (joon. 144).

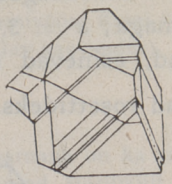
Esineb ka teraliste ja plaatjate massidena, ka tihedana. Koorikuline ja peenekiuline maksamaak koosneb vahelduvaist vurtsiidi ja sfaleriidi kihtidest või on nende segu.

Lõhevus täiuslik {*110*} järgi. Täiesti tihe omab konnakarpjat murdepinda. Habras. K. 3½—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 luminestseerub; kuumutamisel avaldab polaarset elektrit.



Joon. 143.


Joon. 144.

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

Tähtsaim tsingimaak. Esineb peamiselt koos seatinamineraalidega. 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 paekive läbivais kaltsiidisoontes, koos püriidiga.

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

Vurtsiit. ZnS.

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

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.

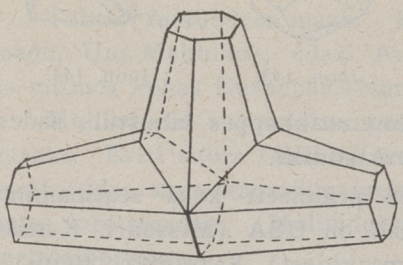
Keemiliselt nagu sfaleriit.

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

koosneb Fe, Ni, Co ja Mn monosulfiididest, arseniididest ja antimoniididest. Tähtsamad neist on neli allpool-kirjeldatut. Ühisteks omadusteks on neil metalliläige, läbipaistmatus, hele värvus, haprus ja keskmine kõvadus.

Magnetpüriit (pürrotiin). FeS.

Diheksagoon-bipüramiidne. Ruumvõre sarnaneb vurtsiidi omaga; $a = 3{,}43$ Å, $c = 5{,}68$ Å, $a : c = 1 : 1{,}66$. 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 analüüsidest vastab $Fe_{11}S_{12}$-le. Sageli näitavad analüüsid 2—3%, koguni 5—7% niklit. Seda põhjustab enamasti pentlandiidi lisand. Kinnises torus vähene sadestus. Lahustub happeis, eraldades H_2S 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), Bodenmaisis (Baieris).

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

Pentlandiit. (Fe, Ni)S.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre keeruline; $a = 10{,}03$ Å. Ei esine väliskujult väljaarenenud kristallidena, vaid ebakujuliste teradena magnetpüriidis.

Lõhevus selge $\{111\}$ järgi. Habras. K. 3½—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: $\alpha = 116^0$, $a = 5{,}64$ Å. 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. 3½. E.-k. 5,3. Valgevasekarva. Kriips rohekasmust.

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

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

Nikeliin. NiAs.

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

Lõhevus ebatäiuslik $\{10\bar{1}0\}$ ja $\{0001\}$ järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. K. 5½. E.-k. 7,3—7,7. Hele-vaskpunane; murenedes kattub tuhmi pruuni või halli kattega; sageli kaetud rohelise annabergiidiga ($Ni_3As_2O_8 . 8H_2O$). Kriips pruunikasmust.

As võib osalt asenduda 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 niklimaakidega Saksi ja Tšehhi Erzgebirges, Kanadas (Cobalt City), Argentiinas La Rioja rajoonis koos Cu- ja Pb-mineraalidega. Otsitav niklimaak.

Püriidi-markasiidi bisulfiidide rühm.

Rühm on isodimorfne: kuubilise ja rombilise reaga. Aluseliseks 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.

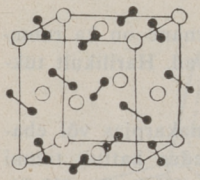
Püriit. FeS_2.

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

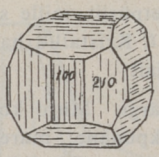
annab nn. mineraalse ikosaeedri (joon. 148), ja {*321*} ning {*421*}. Kaksikud {*110*} järgi. Joonisel 149 kujutatud nn. „raudristi"-kaksikud esinevad sageli. Triibud tahkudel tõendavad, et püriit ei kuulu heksakisoktaeedrilisse klassi.

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.



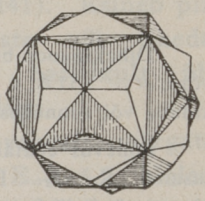
Joon. 146.



Joon. 147.



Joon. 148.



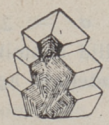
Joon. 149.

Lisanditena esinevad Ni, Co, Cu, Zn, Ag, Au ja As, milledest 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 sublimeerub S. Lahustub lämmastikhappes, kuid soolhappes mitte.

Leidub kõikjal ja on tekkinud ning tekib väga mitmesugustes oludes. Eesti lubja-, liiva- ja kiltkivid on rohkesti temaga impregneeritud; erikihina leidub ta ordoviitsiumi obolus- ja diktüonemakihtide 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_2, mida tarvitatakse väävelhappe ja väävelhapu ammooniumi valmistamiseks ning tselluloosivabrikutes sulfitlahuseks. Põletamisjäänuseid tarvitatakse koos teiste maakidega raua sulatamiseks; põletamata püriit selleks ei kõlba.

Markasiit. FeS_2.

Romb-bipüramiidne. Ruumvõre mõõtmed: $a = 6{,}75$, $b = 4{,}45$ ja $c = 5{,}42$ Å; 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—6½. 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 FeS_2 võis kristalliseeruda madalates temperatuurides hapust lahusest. Mõned esialgu markasiidiks arvatud mineraalid osutusid pärast püriidiks, millega koos tõeline markasiit sageli esineb. 400° t°-s muutub püriidiks. Esineb ka Eestis, kuid õige harva.

Koos püriidiga tarvitatakse samaks otstarbeks kui püriiti.

Arseenopüriit. 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 druuside ja gruppidena, 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. 5½—6. E.-k. 5,9—6,2. Inglistiina-valgest 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; isomorfselt 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.

Löllingiit. $FeAs_2$.

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, pulkjate ja nõeljate 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). 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. 5½. E.-k. 6,0—6,4. Hõbevalge, osalt punakas; harilikult punakashalli kirmekesega ja vahel kaetud punase erütriini ($CO_3As_2O_8 . 8H_2O$) kattega. Kriips hallikasmust.

Harilikult sisaldab ka rauda — kuni 12%, mis osalt põhjustatud kokkukasvamisest püriidiga või magnetpüriidiga. Ei anna kinnises torus As-peeglit. 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. $CoAs_2$ kuni $CoAs_3$.

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. Inglistina-valge kuni terashall, osalt tumehalli kattega; murenemisel kattub erütriidiga. Kriips hallikasmust.

Esineb isomorfselt igas vahekorras segunenuna kloantiidiga ja ka arseenoferriidiga ($FeAs_{2-3}$). J.-t. ees As lõhn ja magnetiline kerake; kinnises torus halvasti nähtav As-peegel (selgem siis, kui palju Ni). Lämmastikhappes lahustub punaka värviga.

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

Kloantiit. $NiAs_2$ kuni $NiAs_3$.

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

Leiukohad samad kui smaltiinil.

Sperriliit. $PtAs_2$.

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

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

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

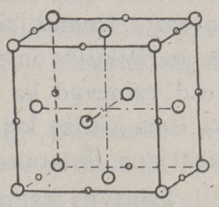
Toodetakse: Transvaalis (Bushweld, Tweefontein) ja Kanadas (Sudbury Ontario maakonnas), kus ta annab umbes $\frac{1}{3}$ kogu maailma plaatinatoodangust.

Galeniidi-argentiidi-kalkosiini rühm.

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

Galeniit (seatinaläige). PbS.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre: tahkkesendatud Pb kuup, $a = 5{,}93$ Å, 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 leiukohtades. Esinevad {100}, {111}, ka {110} ja {221}, {211}, {331}. Tahud on mõnikord kõverad või murtud. Kaksikud (111) järgi sagedad, 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 isomorfselt 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 $PbSO_4$; lahusest HCl sadestab valge $PbCl_2$, mis kuuma vee lisandamisel jälle lahustub.

Leidub peaaegu kõikjal, ka Eestis Adavere lademe lubjakivis ja dolomiidis kuni kümneid kilogramme kaaluvate kamakatena 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 raadioaparaatides.

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

Argentiit (hõbeläige). Ag_2S.

Alla 179°C romb-bipüramiidne; kõrgemas temperatuuris kuubiline, ruumvõrega, kus S-aatomid moodustavad tahkkesendatud kuubi, mille kaheksandikkude keskpaigas on igaühes 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 kiulisena, okkalisena, hambulisena, plaatjana, kootuna ja pulbritaolisena.

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), Peruus, Tšiilis ja Saksi ning Tšehhi Erzgebirges. Tähtis hõbedamaak.

Kalkosiin (vaseläige). Cu_2S.

Nagu argentiit, nii on ka kalkosiin dimorfne: alla 91°C on ta (kui esineb puhtal kujul!) romb-bipüramiidne, telgede suhtega 0,582 : 1 : 0,907; kõrgemal temperatuuril aga kuubiline (heksakisoktaeedriline). Samaks jääb siis, kui temas tahke lahusena võtab osa CuS (mineraal kovelliini näol eraldi eksisteeriv), mis kuubilise Cu_2S muudab stabiilseks harilikkude maapinna-temperatuuride intervallis.

Rombiline liik esineb kõige sagedamini, kuid kristallide välimus ligineb heksagoonsele sümmeetriale: {*110*} nurk on 119° 35′; esinevad veel {*010*}, {*001*}, {*111*}, {*113*} jne. On ka kaksikuid — mitme seaduse järgi. Kuid palju sagedamini leidub ilma kristallograafiliste välisvormideta suurtes tihedais massides konnakarpja murdepinnaga või jälle üliõhukeste katetena teistel maakidel, esineb ka muldjana.

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

K. 2½—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 rohelise 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 lehekesed painduvad. K. 1½—2. E.-k. 4,7. Sinakasmust, värskelt indigosinine. Kriips must, pisut läikiv. Õige õhukesed lehekesed 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 koorikukirmetena või muldja kattena peaaegu kõigis vasemaakide leiukohtades.

Kinaver (tsinnabariit). HgS.

Trigoon-trapetsoeedriline. $a : c = 1 : 1{,}145$. Ruumvõre sarnaneb galeniidi deformeeritud võrega. Kristallid harvad, paksude plaadikestena või kuupjate romboeedritena, milledel 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—2½. 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 lisandamisel 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.

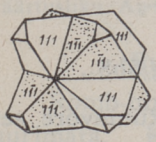
SULFOSOOLAD.

(1. ja 2. sugukonna mineraalolluste segud).

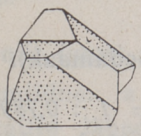
Ruumvõred enamikul veel uurimata, kuid on põhjust oletada, et nendes ühe ning sama elemendi aatomid asetsevad kaht erinevat moodi.

Kalkopüriit (vasepüriit). $CuFeS_2$.

Tetragoon-skalenoeedriline. $a : c = 1 : 0{,}985$. Ruumvõre sarnaneb väga sfaleriidi omaga; $a = 5{,}27$, $c = 10{,}38$ Å. Kristallid väikesed, halvasti välja kujunenud; enamikus esinevad kaksikud {*100*} järgi (joon. 152) või spinelliseaduse {*111*} järgi (joon. 153); {*111*} tahud on harilikult tuhmid, kuna {$1\bar{1}1$} 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 jumega; 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. Ümberpöördult muutuvad viimased vahetevahel kalkopüriidiks. Seepärast esineb ka palju pseudomorfoose kas kalkopüriidi järgi või on kalkopüriit see, mis võõral kujul esineb.

Borniit (kirju vasemaak). Cu_5FeS_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 Cu_3FeS_3 kuni Cu_9FeS_6, kusjuures Cu kõikus 55—69% vahel. Tõlgendatakse neid valemeid kui teiste vase- ja rauasulfiidide segu, näit.: $CuFeS_2 . Cu_2S$ kuni $CuFeS_2 . 4Cu_2S$ või $Fe_2S_3 . 3Cu_2S$ kuni $Fe_2S_3 . 5Cu_2S$. Sageli sisaldab Ag. — J.-t. ees sulab halliks magnetiliseks kerakeseks; kanges 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). Ag_3SbS_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 seaduse järgi. — Ka tükiliselt, kattena ja dendriitidena kivimite mõrades.

Lõhevus selge $\{10\bar{1}1\}$ järgi. Murd konnakarpjas või killuline. Mõõdukalt habras. K. 2½—3. E.-k. 5,8. Metalli- 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: Koloraados, Nevadas ja Arizonas; ka Freiburgis Saksimaal ja Pribramis end. Tšehhoslovakkias. Tähtis hõbedamaak.

Prustiit (helepunane hõbedamaak). Ag_3AsS_3.

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

K. samuti 2½—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). Ag_5SbS_4.

Romb-püramiidne. $a : b : c = 0{,}629 : 1 : 0{,}685$. Kristallid meenutavad heksagoonseid, on prismalised või tahveljad, sageli rosettidena grupeerunud; palju vorme. Kaksikud sagedad {110} järgi, ka kolmikutena ja üldse mitmekordistatult.

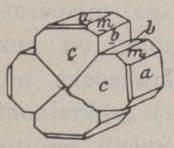
Lõhevus selguseta. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras, kuid pehme. K. 2½, e.-k. 6,2—6,3. Metalliläige; tinahall kuni raudmust; kattub tuhmi musta kattega. Kriips läikiv must.

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 Sb_2O_3.

Leidub koos teiste Ag-mineraalidega nende leiukohtades ja moodustab väärtusliku Ag-maagi.

Burnoniit (must antimonimaak). $PbCuSbS_3$.

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.

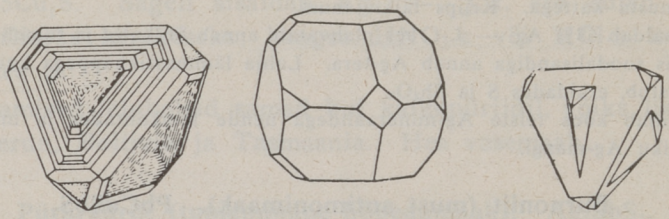
$2PbS \cdot Cu_2S \cdot Sb_2S_3$. Sisaldab 42,5% Pb, 13% Cu. — J.-t. ees sulab kergesti mustaks kerakeseks, annab söel Pb-katte; ülejääk annab sooda lisandamisel Cu-terakese.

Tähtis Pb- ja Cu-maak. Toodetakse Mehhikos, Tšiilis, Boliivias, Peruus, Cornwallis (Inglismaal), mitmes kohas Saksamaal, Ungaris ja end. Tšehhoslovakkias.

Tetraedriit (tuhmmaak). Cu_3SbS_3.

Heksakistetraeedriline. Ruumvõre laseb end tuletada sfaleriidi ruumvõrest. $a = 10{,}35$ Å. Kristallid enamikus tetraeedrilise välimusega, harvemini romb-dodekaeedrilised või kuubilised (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 konnakarpjas 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 laialihõõrutult punakaspruuniks.



Joon. 155.

Alguses antud keemiline valem on Cu-Sb tuhmmaagi (tetraedriidi, kitsas mõttes) oma. Kuid Cu võib osalt või täiesti asenduda Ag, Hg, Zn ja Fe-ga, Sb asendub As ja Bi-ga, mispärast neid jaotatakse mitmeks alaliigiks, milledest igaühel 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. Cu_3AsS_4.

Romb-bipüramiidne. $a : b : c = 0{,}869 : 1 : 0{,}831$. Ruumvõre väga sarnane heksagoonsega (vurtsiidi omaga): $a = 6{,}39$, $b = 7{,}43$, $c = 6{,}15$ Å. 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. 3½. E.-k. 4,4. Ebatäiuslik metalliläige; terashall kuni raudmust, lillakaspruuni jumega; kriips hallikasmust.

Keemiliselt $3Cu_2S \cdot As_2S_5$; 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.

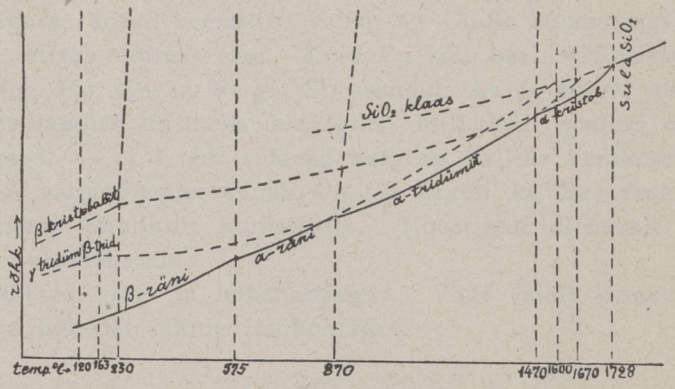
Hapnikuühendid, mis ei kanna soolade ilmet.

1. sugukond.

HAPPELISE ISELOOMUGA OKSÜÜDID.

Räni[1] rühm.

Siliitsiumdioksüüd (ränihappe anhüdriid) esineb mineraalina mitmel kujul: harilik (madala temperatuuri) räni (β-räni), madala temperatuuri β-tridümiit, β-kristobaliit ja räniklaas. Nende püsivuse temperatuuri-intervallid on näha joonisel 156. Seal mainitud kõrge temperatuuri modifikatsioonid α-räni, α-tridümiit ja

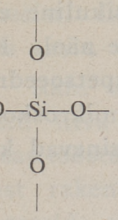


Joon. 156.

[1] Elemendi siliitsium nimetusena on meil laialt tarvitusel (ka koolides) „räni". Nii esineb keemilises nomenklatuuris rahvusvahelise siliitsiumi asemel räni, mis kõlaliselt on väga sarnane elemendi reenium nimetusega. Selle tagajärjel SiO_2 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.

α-kristobaliit ei lase endid püsivalt jahutada hariliku temperatuurini.

Kõigis mineraalides, kus esineb SiO_2, on siliitsiumiaatom ümbritsetud nelja hapniku-aatomiga, milledel igaühel jääb vabaks üks negatiivne valentsusühik:

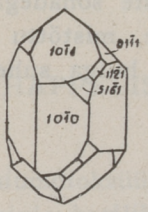


O aatomid asetsevad sel juhul tetraeedri tippudes, Si-aatom tetraeedri keskkohas. Seesugused $(SiO_4)^{-4}$ tetraeedrid ühinevad üksteisega mitmel moel, moodustades vastavaid ruumvõresid. Kui mineraal peale Si ja O muid aatomeid ei sisalda, on iga Si-aatom temas seoses nelja O-aatomiga ja iga O-aatom seoses kahe Si-aatomiga. Teiste sõnadega: iga O-aatom kuulub kahele $(SiO_4)^{-4}$ tetraeedrile, mistõttu piiramatu tetraeedrite arvu puhul Si- ja O-aatomite hulga suhe on 1 : 2, vastavalt valemile SiO_2.

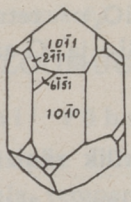
Harilik räni. SiO_2.

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 $\{2\bar{1}11\}$ (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

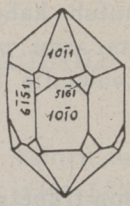
positiivse romboeedri tahud ühtivad negatiivse romboeedri tahkudega (joonisel 9: nr. 9 ja 11 — parempoolsete, 10 — pahempoolsete kaksikud); 2) brasiilia seaduse järgi, kusjuures kaksikpinnaks on ($11\bar{2}0$) ja parempoolne indiviid ühineb vasakpoolsega nii, et nende positiivse (järelikult ka negatiivse) 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 konnakarpjas 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 SiO_2, kuid harilik räni on segatud paljude teiste mineraalidega. Happeist lahustab teda ainult H_2F_2; KOH mõjub vähe. $KHSO_4$-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 koores 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 rakendusaladest võiks nimetada: optilised riistad, piesokvartsid, ehte- ja iluasjad erivärvinguga ränist. Esiajaloolisel (kiviajal) oli räni (tulekivi = kaltsedon) tolleaegse 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 — morioon iks.

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 rohelise aktinoliidi nõelakesi sisaldava praasemi ja sillerdavate vilgulitrikeste 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 lasevad, kutsutakse ühise nimega kaltsedoniks. Mikroskoobilisel uuringul võib nende seas eristada ka optiliselt negatiivseid, kuna harilik räni on positiivne.

Kaltsedon kitsamas mõttes on valgust läbilaskev sinakashalli, kollakat või piimjat värvi neerja või kobarja pealispinnaga; esineb ka stalaktiitidena ja õõnsusi täitva ainena tardkivimites. Eestis leidub kaltsedoni mugulatena Jõhvi lademes Põõsaspea neemel rohkesti.

Punast (lihakarva) kaltsedoni nimetatakse karneooliks, rohelist (Ni-sooladega värvitud) — krüsopraasiks. Ahhaat koosneb väga õhukestest mitmevärvilistest kaltsedonikihikestest; 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 sardoonüksiga. Olgu tähendatud, et müügil on palju kunstlikult värvitud ahhaate ja oonükseid. Ka tuleräni kuulub kaltsedonide 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 plasmat heliotroobiks. Sarvkivi on samast liigist, kuid ta on segatud opaaliga. See segu esineb sageli organismide jäänuste kivistusmaterjalina, näit. puutüved on sageli nõnda kivistunud.

Tridümiit. SiO_2.

Madala temperatuuri β-tridümiit on romb-bipüramiidne, kuid harva esinevad pisikesed kristallid on heksagoonse välimusega, mis jäänud alla 130°C jahutatud kõrge temperatuuri α-tridümiidist, mis on diheksagoon-bipüramiidne. Kristallid kujutavad kuuekülgseid tahvlikesi, milledel 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 purskekivimites, kus täidab nende poore, sageli mikroskoobiliselt. Avastatud ka ühes meteoriidis. Kunstliku sünnitisena põhjustab halvasti jahutatud klaasi soganemise.

Kristobaliit. SiO_2.

Madala temperatuuri β-kristobaliit on ditetragoon-bipüramiidne, milliseks ta muutub, kui jahutada kuubilises süsteemis kristalliseeruvat α-kristobaliiti alla 180°. Piimvalged kristallid esinevad {*111*} näol; harva lisanduvad ka {*100*} tahud. Korduvad liistjad kaksikud {*111*} järgi on harilikud. Tridümiidist tekib ta 1470° t°-s, ränist pikemaajalisel kuumutamisel juba 1200° t°-s. Sulab 1710° (mõningail andmeil 1713° või 1728°) t°-s. E.-k. 2,32.

Leidub purskekivimite õõnsustes. Kunstliku sünnitisena mõningais klaasisortides, samuti dinas-telliskivides nende põletamise ajal.

Opaal. $SiO_2 + nH_2O$.

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. 5½—6½ (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 leelislahuseis lahustub. Sageli segamini kaltsedoniga, milleks muutub vee kaotamisel. Eristatakse järgmisi teisendeid.

K a l l i s o p a a l — valge või sinakashall; mikroskoopiliste mõrakeste tõttu helgib vikerkaarevärvides. Esimese klassi kalliskivi. Toodetakse praegu peamiselt Austraalias. T u l i o p a a l — punane, oranž, läbipaistev. H ü a l i i t — vesiselge, kobarjas. H a r i l i k o p a a l on väga sagedane mineraal; kollakasvalge, pruun, roheline, punane jne.; läbipaistev kuni läbipaistmatuni. Ni-sooladega roheliseks värvunult kannab nime p r a s o p a a l. Osaliselt kaltsedoniks muutunud ja seepärast valget ja läbipaistmatut opaali nimetatakse ka k a š o l o n g i k s.

Vähemalt alguses toimub puu kivistumine SiO_2-ga ikka opaali näol, mis hiljemini võib muutuda kaltsedoniks. Samuti toimub ka SiO_2 sadestus kuumavee-allikates (geiserites). Opaalist on ka

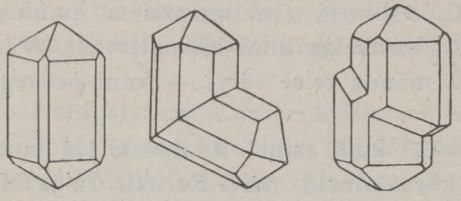
mikroskoopiliste algloomakeste — radiolaaride ja vetikate (diatomeede) — kestad. Nende kestade kuhjatised moodustavad eri kivimeid, näit. diatomiiti, mille lademeid leidub ka Eestis, Narva jõe alamjooksu mõlemal kaldal.

Rutiili rühma

kuuluvad ditetragoon-bipüramiidselt kristalliseeruvad TiO_2 ja SnO_2, olgugi et nad isomorfseid segusid ei anna.

Rutiil. 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—6½. E.-k. 4,2—4,3. Tahkudel teemandiläige, murdepinnal rasvaläige. Valgust läbilaskev kuni läbipaistmatuni. Punane pruunikani ja kollakani, ka must. Kriips kollakaspruun. $\omega = 2{,}616$, $\varepsilon = 2{,}903$ kollasele valgusele.

Sageli sisaldab ka Fe (kuni 30% Fe_2O_3) ja vanaadiumi. J.-t. ees ei sula; boorakshelmes Ti reaktsioon; happeis 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 $a = 3{,}7$, $c = 9{,}3$ Å, nii et rutiilist erineb. Leidub ainult kristallidena; esinevad {111} ja {001}, milledega vahel seltsivad {117}, {113} ja {115}.

Lõhevus täiuslik {111} järgi. Habras. K. 5½—6. E.-k. 3,8—3,9. Läige 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.

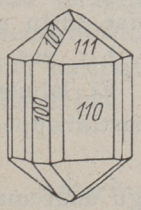
Romb-bipüramiidne. $a : b : c = 0{,}842 : 1 : 0{,}944$. Ruumvõre koosneb servipidi ketisarnaselt lülitatud oktaeedritest, millede keskel on Ti-aatom ja tippudes O-aatomid. Esineb ainult kristallidena. {100} on harilikult vertikaalsete viirudega; esineb {110}, {001}, {122}, {021} jm.

Lõhevus puudub. Habras. K. 5½—6. E.-k. 3,9—4,2. Läige 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, rohelisele ja sinisele — teises pinakoidis. Keemiliselt nagu rutiil.

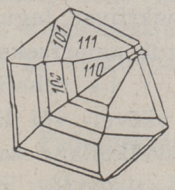
Leidub seal, kus anataaski, sageli viimasega kokkukasvanuna.

Kassiteriit (inglistinakivi). SnO_2.

Ditetragoon-bipüramiidne; $a : c = 1 : 0{,}672$. Ruumvõre nagu rutiilil; $a = 4{,}72$, $c = 3{,}17$ Å. 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 kampolpruun või pruunikasmust, kuid harukordadel ka värvitu või kollane, 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 poolsaar ja Sunda saared, eriti Banka ja Billiton. Siin on peamiselt sekundaarsed lademed. Järgmine on Boliivia, kus on primaarsed maagisooned. Väiksemal määral toodetakse Siiamis, Hiinas, Nigeerias ja Inglismaal (Cornwallis).

Inglistina toodang 1939. a. oli umbes 181 000 t. Tarvitatakse lehtraua (karra) katmiseks, jootetinana, pronksideks, amalgaamiks, trükitähtede valmistamiseks ja babbitmetallis. Tekstiiltööstuses 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 keskpaigas (fluoriittüüp). Kristalle leidub harva: {*100*}, {*111*} ja {*110*}. Harilikult ilma väliste kristallograafiliste vormideta tihedana ja kõverpinnaliselt kihilisena, neerja pinnaga, vahel ka muldjana.

Murd konnakarpjas. Habras. K. 4—6. E.-k. 9—9,7 kristallides; muutunud tükkides langenud 7-ni. Värskel pinnal pigi- või rasvaläige, muidu tuhm. Läbipaistmatu, väga harva õhukeselt pruunikalt läbipaistev. Pigimust roheka, pruunika või halli varjundiga. Kriips tumeroheline, pruunikas või hallikasmust.

Uraniniit sisaldab harilikult ka Th, Ce, La, It ja teisi haruldasi 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_2-tüübilised mangaanoksüüdid.

MnO_2 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) rombilise pürolusiidina. Raske üksteisest eristada; ka röntgenikiirtega uurimised ei ole seni selgust toonud.

Polianiit. MnO_2.

Kristallograafiliselt sarnaneb rutiiliga, kui otsustada kristallide järgi, mida leitud ainult end. Tšehhoslovakkias, Blatnos. Mujal ilma kristalse välimuseta. 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_2.

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-terashall, mõnikord sinakas. Kriips must.

Sisaldab mõnikord kuni 2% vett; alati palju kõrvalisi lisandeid. J.-t. ees ei sula; eraldab O; boorakshelmes sinakaslilla. Soolhappest 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% lisandiks terasele; peale selle tarvitatakse tema ühendeid paljudes keemiatööstustes, klaasimassis kõrvaldab ta FeO rohelist värvingut; tarvitatakse ka elektripatareide valmistamisel ja õlivärvides sikatiivina.

Psilomelaan. $MnO_2 . nH_2O$.

Amorfne või vähemalt krüptokristalne. Välimus tüüpiline kolloidsest olekust settinud ainele. Väga harva metalliläige, enamikus 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. $MnO_2 . nH_2O$.

Nii nimetatakse pehmeid ja muredaid 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; $a = 3{,}24$, $c = 5{,}18$ Å. 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. 4½—5. E.-k. 5,4—5,7. Teemandiläige, valgust läbilaskev. Kunstlikud kristallid on kas värvita, rohekaskollased või mesipruunid, 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 happeis.

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-tetraeedri. $a = 4{,}257$ Å. Kristalles esinevad $\{111\}$, $\{110\}$ ja $\{100\}$. Teraline, tihe, kiuline.

Lõhevus selge {*111*} järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Habras. K. 3½—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 happeis 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 ($Fe_2O_3 . nH_2O$) moodustab ta nn. t e l l i s k i v i m a a g i.

3. sugukond.

POOLTEIST-OKSÜÜDID JA NENDE HÜDRAADID.

K o r u n d i r ü h m.

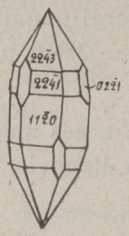
Siia kuuluvad ditrigoon-skalenoeedrilistest korund (Al_2O_3, $a : c = 1 : 1{,}363$) ja hematiit (Fe_2O_3, $a : c = 1 : 1{,}366$) ning romboeedrilistest ilmeniit ($FeTiO_3$, $a : c = 1 : 1{,}385$). Kõrge kõvadusega.

Korund. Al_2O_3.

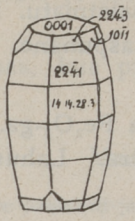
Ruumvõre meenutab galeniidi kuupi, mis ühe diagonaali suunas romboeedriks venitatud ja kus üks element — kas Pb või S — asendatud Al_2O_3 molekuliga. Romboeedri serva pikkus 5,12 Å, nurk 55° 17′. Heksagoonselt: $a = 4{,}75$, $c = 12{,}98$ Å. Kristallid kas kivimisse sisse kasvanud või pinnapealsed, sageli õige suured. Nad on prismakujulised, terava bipüramiidi (joon. 164), tahvli või romboeedri 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 vöödiliselt; mõned eksemplarid näitavad peatelje suunas vaadatuna tähekujulist kiirgamist, mis tingitud võõrkehade sisaldusest. Tumedavärvilised on pleokroiitilised. $\omega = 1{,}769$, $\varepsilon = 1{,}761$.



Joon. 164.



Joon. 165.

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 tarvitatavad — punane rubiin ja sinine safiir; kui viimane on valkjas, nimetatakse teda leukosafiiriks; rohekad kivid kannavad hommikumaa smaragdi, lillad — hommikumaa ametüsti ja kollased hommikumaa topaasi nime;

2) harilik korund — sogasevärvilised kristallid;

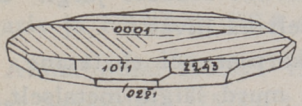
3) smirgel — teraline korundi, magnetiidi, hematiidi ja räni segu.

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.

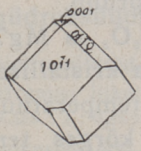
Sulatades paukgaasitules või elekterahjus Al_2O_3 tolmu saadakse materjal, mis oma peaomadustelt ei erine korundist, on vaid puhtam, olles ilma lisanditeta. Lisandades tarviliku osa Cr-, Fe-, Ti-, V- või Co-oksüüde saadakse igasugu värvilist materjali, mis lihvituna on koguni ilusamad loomulikest rubiinest ja safiirest. Nii valmistatakse kalliskive kaaluga kuni 200 karaadini (sünteetilised rubiinid, safiirid jm.).

Hematiit (punane rauamaak). Fe_2O_3.

Ruumvõre sarnaneb korundi omaga: romboeedri serv 5,43 Å, nurk 54° 58′. Kristallid kas õhukesed või pakstahveljad (joon. 166), kusjuures tahvlikesed koonduvad mõnikord rosettideks (joon. 167, nn. „raudroos"), või püramiidsed või romboeedrilised (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. 6½. E.-k. 5,2—5,3. Kristallidel metalliläige, muidu harilikult tuhm. Läbipaistmatu, ainult väga õhukesed lehekesed lasevad läbi punaseid kiiri; viimaste $\omega = 2{,}949$, $\varepsilon = 2{,}725$. Terashall 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 happeis.

Eristatakse välimuse järgi kristalseid, suureteriseid ja plaatjaid metalliläikega agregaate, mida nimetatakse *raualäikeks*, ja tihedaid, kiulisi ja muldjaid tuhme, mida tuntakse *punase rauamaagi* (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). $FeTiO_3$.

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 konnakarpjas 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.

$FeTiO_3$-le on harilikult lisandunud Fe_2O_3 ja $MgTiO_3$ kui ka $MnTiO_3$. Mõned neist mineraalest on välja kristalliseerunud algsulatisest jahtumise ajal, sest madalamais temperatuurides ei ole need ained piiramatult segatavad, nagu kõrges temperatuuris. J.-t. ees ei sula; happeis lahustub visalt; $KHSO_4$-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). $3Mn_2O_3 . MnSiO_3$.

Ditetragoon-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.

*Alumiiniumoksüüdid veega.

Tuntakse kahte (mõlemad kristalliseerunud) mineraali: diaspoori ($Al_2O_3 . H_2O$) ja hüdrargiliiti ($Al_2O_3 . 3H_2O$), mis puhtalt esinevad harva.*

Boksiit. $Al_2O_3 . nH_2O$.

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 Fe_2O_3 ja SiO_2.

On alumiiniumimaak, kui sisaldab mitte alla 40% Al_2O_3 ja mitte üle 25% Fe_2O_3 ning 3% 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 ($Fe_2O_3 . nH_2O$) 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 radiaalkiulisena, 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 Fe_2O_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 rannikuil) ja Uurali mägedes. USA-s on limoniiti laialt Alabama, Virginia, 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. $Mn_2O_3 . H_2O$.

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 indiviidid asetsevad kas radiaalselt või sasitult (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 laseb läbi punast valgust, millele $\alpha = 2{,}25$, $\gamma = 2{,}53$. Murenedes läheb üle pürolusiidiks.

Vabaneb veest ainult üle 200° kuumutamisel. J.-t. ees Mn reaktsioon; HCl-st eraldab kloori.

Kaunis harva leitav, sest mureneb ruttu pürolusiidiks.

4. sugukond.

ALUMINAADID JA FERRIIDID.

Siia kuuluvad ühendid, millede koostist võib tähistada valemiga: $R^{II}O . R_2^{III}O_3$, 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.

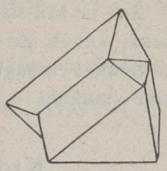
Isomorfne heksakisoktaeedriline rühm. Ruumvõre kaunis keeruline: O-aatomitest koosnevasse tahkkesendatud kuupi on paigutatud R^{II} tetraeedri ja R^{III} oktaeedri tsentrumi asendis. On palju segamineraale, kus ühed aatomid teisi ulatuslikult asendavad. Aluminaatspinellid on madalama erikaaluga, valgust läbilaskvad ja suure kõvadusega; ferriitspinellid on raskemad, metalliläikega, läbipaistmatud ja pisut väiksema kõvadusega. Kõigil lõhevus ebatäiuslik {111} järgi.

Spinell. $MgO . Al_2O_3$.

Ruumvõre $a = 8{,}10$ Å. Kristallides esinevad {111}, {110} ja {311}, harvem {100}. Kaksikud (111) järgi sagedad; kaksikupaari moodustavad indiviidid 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. Läbipaistev 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 — läbipaistev; tumepunast kallisspinelli nimetatakse rubiinspinelliks, helepunast — baleerubiiniks (balaisrubin), kollakat või oranži — rubitselliks, lillakat — almandiinspinelliks; 2) sinine spinell — sisaldab kuni 3,5% FeO; 3) klorospinell — roheline; sisaldab 9—15% Fe_2O_3 ja pisut Cu. Neid kalliskividena tarvitatavaid spinelle leidub Tseiloni saarel, Indias ja Siiamis, siniseid Rootsis ja USA-s, rohelisi Uurali mägedes.

Magnetiit (magnet-rauamaak). $FeO \cdot Fe_2O_3$.

Ruumvõre $a = 8{,}40$ Å. Kristallid harilikult {*111*}; esinevad ka {*110*}, {*100*}, {*211*} ja {*221*} ning mõned heksakisoktaeedrid. Kaksikud (*111*) järgi, ka korduvad kaksikud lamellaarsete indiviididega. Enamikus ilma välise kristallivormita, teralisena ja tihedana, ka koorikjalt ja lahtiste (liiva-)teradena.

Murd konnakarpjas. Habras. K. 5½. E.-k. 5—5,2. Läige 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 mikroskoopiliste ja kristallograafiliselt orienteeritud spinelli- või ilmeniidikristallikestena. 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). $FeO \cdot Cr_2O_3$.

Oktaeedrilised 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. Läige tõrva- ja metalliläike vahepealne. Läbipaistmatu. Raud- või pruunikasmust. Kriips tumepruun.

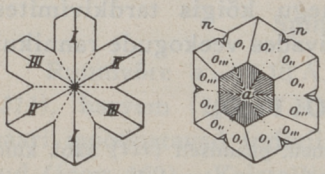
Sageli esinevad Mg ja Al, harilikult ka Zn ja Mn. Keskmiselt leidub 52—58% Cr_2O_3, 25—40% Fe_2O_3. J.-t. ees ei sula, muutub magnetiliseks. Booraksihelmes kuumalt Fe-reaktsioon, külmalt Cr-reaktsioon. Ei lahustu happeis.

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. $BeO \cdot Al_2O_3$.

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.



Joon. 170.

Lõhevus selge {010} järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 8½. E.-k. 3,5—3,8.

Klaasiläige. Läbipaistev. Roheline mitme varjundiga; tumedamad pleokroiitilised: *a*-telje suunas lillakaspunane, *b*-telje suunas oranž ja *c*-telje suunas smaragdroheline. Seetõttu näivad mõned krüsoberülli 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 $KHSO_4$-s.

Puhtavärvilisi tarvitatakse kalliskividena. Leitakse Uurali mägedes, Tseiloni 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 sülviin, haliit ja kerargüriit — kõik kuubilised ja vist ka heksakisoktaeedrilised. Ruumvõre nagu galeniidil; loenduse järjekorras $a = 6{,}27$, 5,63 ja 5,58 Å.

Sülviin (kloorkaalium, kaaliumkloriid). KCl.

Kristallid pesadena, {*100*}, kombineeritud vahel {*111*}-ga. Harilikult esineb teraliste või plaatjate agregaatidena.

Lõhevus täiuslik {*100*} järgi. Habras. K. 2. E.-k. 1,9—2. Klaasiläige. Vesiselge kuni sogaseni. $n = 1{,}490$. Ei absorbeeri infrapunaseid kiiri (diatermne). Maitse mõrukas.

Segatud harilikult vähese Na ja $MgCl_2$-ga, milledest viimane on hügroskoopne 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, anhüdriiti 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. Hügroskoopsete 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 metalset naatriumi. $n = 1{,}544$. Väga diatermne.

Peale kipsi, savi, bituumeni, $CaCl_2$, $MgCl_2$ jne. sisaldab sageli ka soolvett ja gaase, vahel ka naftat. J.-t. ees sulab (800° t°-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 lademeid 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 tarvitatakse soola sooda ja kõigi teiste naatriumisoolade valmistamiseks.

Kerargüriit (hõbeda sarvmaak; kloorhõbe, hõbekloriid). AgCl.

Kristallid koorikutel, halvasti kujunenud; harilikult esineb kooriku- ja purikataolisena ning dendriitidena.

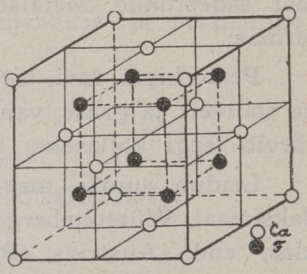
Lõhevus puudub. Painduv ja noaga lõigatav. K. 2. E.-k. 5,5—5,6. Täiesti värskelt värvitu, kuid õhu käes muutub halliks, kollaseks, pruuniks või ka mustaks. Värskel läige teemandi- ja rasvaläike vahepealne. Valgust läbilaskev. $n = 2{,}06$. Kriips läikiv.

Olles teiste hõbedamineraalide murenemissaaduseks sisaldab sageli viimaste jäänuseid, mõnes leiukohas ka Hg. J.-t. ees sulab kergesti ja aurub ära; söel annab kergesti Ag-tera. Lahustub happeis visalt, kergesti NH_4OH-s.

Leidub peaaegu kõigis hõbedakaevandustes ja võetakse seal väärtusliku lisandina teiste maakide hulka.

Fluoriit. CaF_2.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre (joon. 171): tahkkesendatud Ca-kuupi on paigutatud F-kuup nii, et iga F on iga Ca-kuubi kaheksandiku keskpaigas. $a = 5{,}45$ Å. 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. Esineb ka ilma välise kristallivormita jämedaterisest kuni täiesti tihedani, vahel vööditine, harva pulga- või mullataoline.



Joon. 171.

Lõhevus täiuslik {*111*} järgi. Habras. K. 4. E.-k. 3,1—3,2. Klaasiläige. Harva vesiselge, enamasti lillades ja rohekais toonides, vahel vööditiselt vaheldudes. Tumedad (kuni mustani) värvid võivad olla tekitatud radioaktiivsel toimel sadestunud metalse Ca poolt. Kollases valguses $n = 1{,}434$, mistõttu ta õhikus omab suurt negatiivset reljeefi. Värvide dispersioon väike. Fluorestseerub, eriti tumedavärvilised Cumberlandist (Inglismaal). Ei juhi elektrit.

J.-t. ees kargab tükkidena laiali ja fosforestseerub; ka killukestena raskesti sulav (sulamispunkt 1392°); kipsiga koos sulab helmeks, mis kuumalt on selge, külmalt sogane. Väävelhappe toimel eraldub HF.

Väga laia levikuga. Sulatamisahjudes tarvilik räbude vedeldamiseks, mistõttu toodetakse mitmel pool: Saksamaal (Harzis ja Tüüringis), Norras, end. Tšehhoslovakkias, USA-s (Illinoisi ja Kentucky osariigis) ja Siberis.

Peale sulatamisvahendiks tarvitamise kasutatakse ka opaalklaasi ja vaapade valmistamiseks. Vesiselgeid tarvitatakse optilisteks läätsedeks apokromaat-objektiivides.

Cl JA F KAKSIKSOOLAD.

Krüoliit. Na_3AlF_6.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 0{,}966 : 1 : 1{,}388$; $\beta = 89^0\,49'$. 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. 2½—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 Ivigtut'is Lääne-Gröönimaal. Aastatoodang umbes 20 000 t. Tarvitati alumiiniumi valmistamisel elektrolüütilise menetluse puhul; ka opaalklaasi valmistamisel.

Karnalliit. $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

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 hematiidilitrikeste sisalduse tõttu. K.-m. +. Fosforestseerub. Maitse mõrkjas nagu sülviinil; hügroskoopne.

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. $5MgO . MgCl_2 . 7B_2O_3$.

Harilikul temperatuuril romb-bipüramiidne; 265° t°-s muutub isotroopseks heksakistetraeedriliseks. Sissekasvanud kristallid, säilitanud kuubilise välimuse, sageli täpsed nagu mudelid: {100}, {110}, {111}, {$\bar{1}$11} (tuhmid tahud), {211} ja {531}. Mikroskoobi all ilmneb anisotroopsus, suure nurgaga optiliste telgede vahel. Ka tihedana, mugulatena ja soontena.

Lõhevus puudub. Murd konnakarpjas. 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° t°-s, kuid jahtumisel ilmub jälle.

Keemiline koostis seni täpselt määramata. Osa MgO võib asenduda FeO-ga (kuni 8%). J.-t. ees sulab valgeks helmeks, värvides leegi roheliseks; ka muud B-reaktsioonid. HCl lahustab.

Põhja-Saksamaa soolakaevandustes tehti temast booraksit. Leidub väiksemal määral ka teistes soolalademetes.

Booraks (tinkal). $Na_2B_4O_7 . 10H_2O$.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 1{,}099 : 1 : 0{,}563$; $\beta = 73° 25'$. Kristallid prismalised, milledes ülekaalus {100} ja {110}.

Lõhevus selge {100} järgi. Murd konnakarpjas. 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 metallioksüüde. 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.

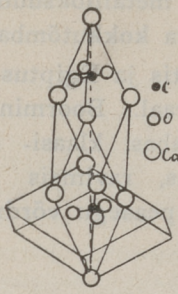
Kaltsiit (lubjapagu). $CaCO_3$.

Ditrigoon-skalenoeedriline; $a : c = 1 : 0{,}854$; romboeedri $\alpha = 101^0\,55'$. Ruumvõre nagu joon. 172; $a = 6{,}55$ Å, $\alpha = 46^0\,6'$. 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. ω — 1,6585, $\varepsilon = 1{,}4862$.

Sageli sisaldab, olgugi vähesel hulgal, isomorfselt Mg, Fe ja Mn, harvemini Zn, Ba, Sr ja Pb. Suurem Mg-sisaldus oleneb segunemisest dolomiidiga. Mehaaniliselt seguneb ka harilikult

limoniidi, hematiidi, sõe või räniliivaga. J.-t. ees ei sula, vaid muutub helendades põletatud lubjaks. Lahustub juba lahjades hapetes harilikus temperatuuris, energiliselt eraldades CO_2 mullikeste näol („kihiseb"). Toatemperatuuris lahustub ühes liitris vees 13 mg kaltsiiti, 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, lubjapaas. 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 (söelisand!). 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-, kalamarjatera-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. $MgCO_3$.

Romboeedriline; $a : c = 1 : 0{,}809$. 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° t°-s. Lahustub happeis 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). $ZnCO_3$.

Ditrigoon-skalenoeedriline; $a : c = 1 : 0{,}806$. Kristallid väikesed, koorikutel, mis on ilma välise kristallivormita. Harilikult esineb ainult põhiromboeeder, nurgaga 72° 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. Läbipaistev 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 tootmiskohad: Broken Hill Austraalias, Tsumeb Edela-Aafrikas, Tetiuhi Siberis, Joplin Missouri osariigis USA-s, Sileesias.

Sideriit (rauapagu). $FeCO_3$.

Ditrigoon-skalenoeedriline; $a : c = 1 : 0{,}819$. 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 mitteläbipaistvani. 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_2 ja muutub magnetiidiks. Lahustub ainult kuumas happes, eraldades CO_2.

Leidub end. Austrias (Erzberg), Inglismaal, Ungaris, mitmes kohas USA-s. Hea rauamaak; kui sisaldab Mn, siis sulatatakse otsekohe peegelmalmiks.

Rodokrosiit (mangaanpagu). $MnCO_3$.

Ditrigoon-skalenoeedriline; $a : c = 1 : 0{,}826$. 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 kooregа. $\omega = 1{,}814$, $\varepsilon = 1{,}596$.

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. $CaCO_3 . MgCO_3$.

Romboeedriline; $a : c = 1 : 0{,}832$. Ruumvõres, mis sarnaneb kaltsiidi omaga, on Ca aatom üle ühe asendatud Mg aatomiga; romboeedriliselt $a = 6{,}01$ Å, $\alpha = 47° 7'$. Kristallid peamiselt {$10\bar{1}1$} kujul, sageli aga painutatud (joon. 173), ka saduljalt (joon. 174); kaksikud (*0001*) järgi (joon. 175); esineb ka kaksiklamellaarsust ($02\bar{2}1$) järgi, kuid palju harvemini kui kaltsiidil. Teraline ja pulgaline, ka pulbriline.

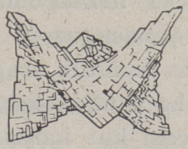
Lõhevus täiuslik {$10\bar{1}1$} järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 3½—4. E.-k. 2,85—2,95. Klaasiläige. Vesiselge kuni läbi-

paistvani. Värvitu, kuid lisanditega kollane, pruun, must. $\omega = 1{,}682$, $\varepsilon = 1{,}503$.

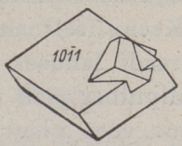
Puhtal moodustab $CaCO_3$ 54,35%, ülejäänu on $MgCO_3$, kuid need arvud kõiguvad, sest sageli on kaltsiiti rohkem ja vahel seltsib ka Fe, Mg ja Mn. J.-t. ees ei sula, kaotab CO_2. Külm lahja hape ei lahusta, kuid kuum teeb seda hästi.



Joon. 173.



Joon. 174.



Joon. 175.

Leidub sageli massiliselt, eriti settelademe is, 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).

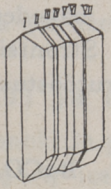
Siia kuuluvad romb-bipüramiidsed isomorfsed karbonaadid, milledest vaatleme aragoniiti, strontsianiiti, viteriiti ja tserussiiti.

Aragoniit. $CaCO_3$.

$a : b : c = 0{,}623 : 1 : 0{,}720$. 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 ilmega. Kiireliste, pulgaliste, kiuliste, purikaliste, haruliste agregaatidena, koorikutena ja ooliitidena.

Lõhevus {*010*} järgi ebaselge. Murd konnakarpjas. Habras. K. 3½—4. E.-k. 2,95. Klaasiläige. Läbipaistev kuni sogaseni. Värvitu, valge, helekollane, punakas, roheline, sinakas, hall, must. $\alpha = 1{,}530$, $\gamma = 1{,}686$.

Palju harvem kui $CaCO_3$ heksagoonne modifikatsioon — kaltsiit. Keemiliselt annab samasuguseid reaktsioone. Ainult koobaltnitraadi lahuses keetes muutub aragoniidipulber lillaks, kuna kaltsiidipulber jääb valgeks (kollakaks) (nn. Meigeni proov). Lahustuvus vees pisut suurem kui kaltsiidil. Kuumutamisel muutub 400° t°-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 $CaCO_3$ on enamjaolt aragoniit, samuti pärlide $CaCO_3$. Ka aurukatelde katlakivi sadestub aragoniidina.

Strontsianiit. $SrCO_3$.

$a : b : c = 0{,}609 : 1 : 0{,}724$. 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. 3½. 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 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. $BaCO_3$.

$a : b : c = 0{,}595 : 1 : 0{,}741$. 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. 3½. E.-k. 4,2—4,4. Klaasiläige, murdepinnal rasvaläige. Läbipaistev. Värvitu, valge, hall, kollakas.

J.-t. ees sulab kergesti; leek roheline. Lahustub ka külmades lahjades hapetes.

Leidub Inglismaal galeniidisoontes, suuremal määral Californias (El Portal). Tarvitatakse suhkrutööstuses, nagu strontsianiitigi, ning värvide ja vaapade valmistamisel.

Tserussiit (valge seatinamaak). $PbCO_3$.

$a : b : c = 0{,}610 : 1 : 0{,}723$. Kristallid kas üksikud või rühmades, ka pseudoheksagoonse välimusega: {111} ja {021}; esinevad ka {012}, {010}, {001} jt. Kaksikud väga sagedad {110} järgi, nagu viteriidil, kuid vahel ka tähekujulised. Neeru- ja pulgakujulisena, puhmastena, õhukese katte näol, pulbri- ja mullataolisena.

Lõhevus väga vähe märgatav {110} ja {021} järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 3—3½. E.-k. 6,4—6,6. Rasvane teemandiläige. 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 leiukohad on suurelt osalt juba lõpuni välja töötatud; on veel mitmes kohas USA-s ja Lõuna-Aafrikas. Eestis vähesel määral ühenduses galeniidiga (Pilistvere).

Malahhiidi ja asuriidi rühm.

Rühma kuuluvad monokliin-prismalised vase aluselised karbonaadid, kõvadusega 3½—4, iseloomulikkude värvidega.

Malahhiit. $CuCO_3 . Cu(OH)_2$.

Häid kristalle harva, on harilikult pikad, kiudjad ja nõeljad. Enamikus aga neeru-, kobara- ja purikataoline, „klaaspea"-taolise pinnaga, vöödiline, radiaalkiuline või tihe, ka muldjas. Sageli

pseudomorfoosides teiste Cu-mineraalide, kaltsiidi ja tserussiidi järgi.

Lõhevus hea {001} järgi. Murd konnakarpjas. Habras. E.-k. 3,9—4,1. Kristallidel klaasiläige, agregaatidel siidiläige või tuhm. Läbipaistev või ka mitte. Kristallid mustjasrohelised, agregaadid rohirohelised. Kriips heleroheline. Väga pleokroiitiline.

J.-t. ees sulab ja annab Cu-terakese. Kinnises torus annab vett ja mustub. Lahustub happeis 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). $2CuCO_3 . Cu(OH)_2$.

Kristallid kas sisse või peale kasvanud, väga tahurikkad, 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 konnakarpjas 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.

Sulfaadid, kromaadid, molübdaadid, volframaadid.

Ühiseks tunnuseks on tuletus happest H_2RO_4. Mitte-metalse välimusega mineraalid.

1. sugukond.

VEETA SULFAADID.

Barüüdi rühm.

Siia 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, harvemini 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—3½. E.-k. 3,9—4. Klaasi- või pärlmutriläige. 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 strontsianiiti.

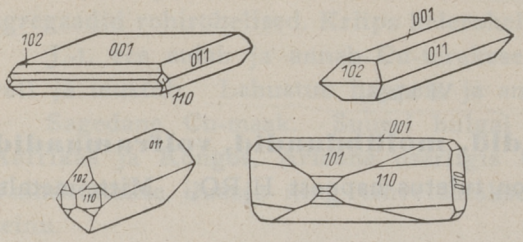
Barüüt (raskepagu). $BaSO_4$.

$a : b : c = 0{,}815 : 1 : 1{,}314$. 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, pärlmutriläikega; {010} järgi vähem täiuslik, klaasiläikega. Murd konnakarpjas. Mitte väga habras. K. 3—3½. E.-k. 4,3—4,6. Vesiselge kuni ainult läbi-

paistev. Värvitu, kuid ka valge ja mitut muud värvi. $\alpha = 1{,}636$, $\gamma = 1{,}648$; $2V = 36^0$; $r < v$.

Sageli sisaldab pisut Sr. J.-t. ees sulab visalt helmekeseks; leegi värvib kollakasroheliseks. Hapete suhtes nagu tsölestiin.



Joon. 179.

Sageli leiduv mineraal, eriti soontes ja sulfiidiliste maakide kaaslasena. Suuremal hulgal esineb Harzis Saksamaal, Cumberlandis Inglismaal, Ardêche'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 lühiprismalised või tahveljad ja püramiidjad. Esinevad {*110*}, {*011*}, {*102*}, {*001*}, {*122*} ja {*111*}. Koorikjalt galeniidil[1]; 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. $\alpha = 1{,}877$, $\gamma = 1{,}894$.

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 prismalised. Esinevad {*101*}, {*011*}, {*100*}, {*010*} ja {*001*}. Kaksiklamellaarsus (*101*) järgi sagedane. Kõige sagedamini aga teraline, plaatjas ja tihe, ka pulkjas ja kiuline.

---

[1] 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. $\alpha = 1{,}569$, $\gamma = 1{,}613$; $2V = 43^0$. Sageli bituumeniga segatud. J.-t. ees sulab visalt valgeks helmeks; booraksiga kuumalt selge, külmalt valge helmes. Peene pulbrina lahustub kanges väävelhappes. Niiske pulber ühineb aegamööda kahe veemolekuliga 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.

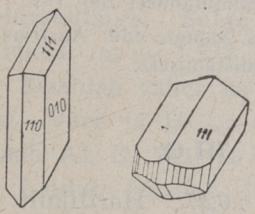
Tarvitatakse põlluväetiseks nagu kipsigi.

2. sugukond.

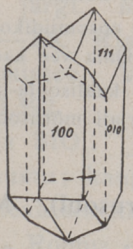
SULFAADID KRISTALLVEEGA.

Kips. $CaSO_4 . 2H_2O$.

Monokliin-prismaline. $a : b : c = 0{,}689 : 1 : 0{,}413$; $\beta = 81^0\,2'$. 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. „pääsukesesabad“) (joon. 181) ja ka (101) järgi. Ilma välise kristallivormita, esinedes plaatjana, kiulisena, soomuselisena, peeneterisena, tihedana ja muldjana. Vahel sisaldab boratsiidi-, kivisoola-, räni- ja väävlikristalle 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. 1½—2. E.-k. 2,3—2,4. Selge (seleniit) kuni läbipaistmatu. Värvitu, valge, harva ka mitut värvi. $\alpha = 1{,}521$, $\gamma = 1{,}530$; $2V = 61^0\,24'$. Halb soojusejuhtivus.

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 happeis lahustub visalt; keevas KOH lahuses lahustub täielikult.

$CaSO_4$ lahuseist kristalliseerub kas kips või anhüdriit, olenevalt lahuse temperatuurist ja lahuse kaaslastest. On laialdaste kihtidena soolalademete kaaslane; leidub savides ja mergleis, kus tekkinud FeS_2 lagunemisest saadud väävelhappe toimel kaltsiidisse; tekkinud ka PbS, ZnS jt. sulfiidide lagunemise tagajärjel.

Leidub väga paljudes kohtades, ka Eestis, Petserimaal. Peamine tarvitus: kuumutatuna krohvikipsiks, põletatuna estrichkipsiks; põlluväetiseks; lisandiks portlandtsemendile. Puhtast krohvikipsist valmistatakse ka kujusid, ilusamast kiulisest ja valgest peeneterisest kipsist (alabaster) nikerdatakse kujusid ja väiksemaid iluasju.

Kiseriit. $MgSO_4 . H_2O$.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 0{,}905 : 1 : 1{,}774$; $\beta = 88^0\,55'$. Kristallid harvad; harilikult peeneterisena.

Lõhevus selge {111} ja {113} järgi. K. 3½. E.-k. 2,57. Klaasiläige. Selge kuni sogaseni. Värvitu, valge või kollakas. $\alpha = 1{,}523$, $\gamma = 1{,}586$; $r > v$.

Hügroskoopne; kattub valge epsomiidikoorega; vähese veega taignaks tehtud pulber kõveneb nagu kips. Oma vee kaotab kuumutamisel 200° t°-s.

Esineb kihtidena Saksamaa kaalisoola-lademeis, samuti end. Austrias ja Poolas, ka Indias. Annab materjali mõrusoola valmistamiseks.

Epsomiit (mõrusool). $MgSO_4 . 7H_2O$.

Romb-bisfenoidne; $a : b : c = 0{,}99 : 1 : 0{,}57$. Harilikult kobarjate 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 hügroskoopne. 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 $7H_2O$-ga (rombilised ja monokliinsed) ja $5H_2O$-ga (trikliinsed). Neist vaatleme ainult vasevitrioli kui tähtsamat.

Vasevitriol (kalkantiit). $CuSO_4 . 5H_2O$.

Trikliinne. $a : b : c = 0{,}572 : 1 : 0{,}555$; $\alpha = 82^0\,5'$; $\beta = 107^0\,8'$; $\gamma = 102^0\,41'$. Mõõtmed saadud kunstlikelt kristallidelt, sest looduslikke leidub harva ja need on pisikesed. Harilikult esineb purika-, kooriku-, neeru- või pulbritaolisena; leidub ka kiulisena või teralisena.

Murd konnakarpjas. Habras. K. 2½. 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 vasemineraalide murenemise saadus. Suuremal hulgal säilib kohtades, kus on vähe sademeid, näit. Tšiili kõrbedes. Seal tarvitatakse koos teiste Cu-maakidega vase sulatamiseks.

Maarja rühm.

Aluniit (maarjas-kivi). $K_2O . 3Al_2O_3 . 4SO_3 . 6H_2O$.

Ditrigoon-skalenoeedriline; $a : c = 1 : 1{,}252$. Väikesed, õõntes esinevad kristallid on kuupjad, romboeedri nurgaga 89° 10'. Harilikult teraline, tihe või muldjas.

Lõhevus täiuslik {0001} järgi. Murd konnakarpjas või killuline. K. 3½—4. E.-k. 2,6—2,8. Klaasiläige, lõhenemispindadel pärlmutriläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, punakas või kollakas. $\omega = 1{,}572$, $\varepsilon = 1{,}592$.

Sisaldab vahel ka Na ja SiO_2. J.-t. ees praguneb, kuid ei sula. Vees ja HCl-s ei lahustu; kanges H_2SO_4 lahustub visalt. Annab Al, K, SO_2 ja H_2O 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. $CuSO_4 . 3Cu(OH)_2$.

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. 3½—4. E.-k. 3,9. Klaasiläige, lõhenemispindadel pärlmutriläige. 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 lademete 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, milledel 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 hügroskoopne.

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 peallamavatena. Ka ilma välise kristallivormita teradena kivimis või kelmekestena tema peal.

Lõhevus kaunis täiuslik {*110*} järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Pole habras. K. 2½—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 Luzoni saarel, Brasiilias.

VOLFRAMAADID JA MOLÜBDAADID.

Siia kuuluvad šeeliit ja vulfeniit — tetragoon-püramiidsed, ruumvõrega joon. 182, ja monokliin-prismaline volframiit.

Šeeliit. $CaWO_4$.

$a : c = 1 : 1{,}536$. 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. 4½—5. E.-k. 5,9—6,1. Rasvaläige. Läbipaistev. Harva värvitu, tavaliselt hallikas, kollakas või pruunikasvalge, harva roheline. $\omega = 1{,}920$, $\varepsilon = 1{,}936$.



Joon. 182.

Sageli sisaldab kuni 8% MoO_3; osa Ca on vahel asendatud Cu-ga. J.-t. ees sulab visalt; fosforsoolaga annab kuumalt rohelise, külmalt sinise helme. HCl eraldab $H_2WO_4 . H_2O$ (kollane sade), mis lahustub ammoniaagis; HCl lahus muutub siniseks, kui teda keeta Sn lisandiga.

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). $PbMoO_4$.

$a : c = 1 : 1{,}577$. Kristallid harilikult tahveljad, mis koonduvad kärgjatesse rühmadesse, harvemini püramiidjad või lühiprismalised. Leidub ka ilma välise kristallivormita tihedate, pesaliste, koorikuliste või auklikkude massidena.

Lõhevus kaunis selge {*111*} järgi. Murd konnakarpjas või ebatasane. Mitte väga habras. K. 3. E.-k. 6,7—6,9. Teemandi- või tõrvaläige. 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: happeis lahustuv.

Leidub paljudes Pb-maakide leiukohtades, nii Pribramis (Tšehhimaal), Karintias, Arizonas ja Kongos. On molübdeenimaak.

Volframiit. (Fe, Mn)WO_4.

$a : b : c = 0{,}830 : 1 : 0{,}868$; β 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 $FeWO_4$ (ferberiit) ja $MnWO_4$ (hübneriit) on haruldased; enamikus esinevad nende isomorfsed segud; ka lisanduvad vahel Ca, Nb ja Ta ning mõned haruldased muldelemendid. J.-t. ees sulab visalt magnetiliseks kerakeseks. Kange H_2SO_4-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; elektrihõõglampides on ta hõõgtraadiks, 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). $NaNO_3$.

Ditrigoon-skalenoeedriline; $a : c = 1 : 0{,}830$. Ruumvõre analoogiline kaltsiidi omaga. Esineb kristalsete teradena või nende kogumikena.

Lõhevus täiuslik $\{10\bar{1}1\}$ järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 1½—2. E.-k. 2,2—2,3. Klaasiläige. Läbipaistev. Värvitu või hallikas, kollakas, punakas. $\omega = 1{,}585$, $\varepsilon = 1{,}337$.

Alati segatud NaCl ja Na_2SO_4-ga. Lahustub kergesti vees ja on pisut hügroskoopne. 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 lämmastiku-ühenditeks.

Monatsiit. $CePO_4$.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 0{,}969 : 1 : 0{,}925$. $\beta = 76^0\,20'$. 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—5½. E.-k. 4,8—5,5. Tõrvaläige. Läbipaistev. Helekollasest 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% ThO_2). J.-t. ees väga visalt sulav; HCl-s lahustub peaaegu täielikult; väävelhappega niisutatult annab leegile rohelise 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.

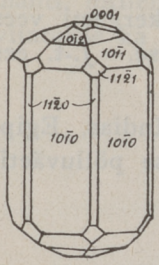
Apatiidi rühm.

Kuulub kloori ja fluori sisaldavate soolade hulka. Selle rühma liikmed kristalliseeruvad heksagoon-bipüramiidses klassis ja nende koostis tuletatakse kolmest ortofosfor-, ortoarseen- või ortovanaadiumhappe molekulist, kuna alustena esinevad viiekordselt kas Ca või Pb koos ühekordse Cl või F-ga.

Apatiit: kloorapatiit, $Ca_5Cl(PO_4)_3$, ja fluorapatiit, $Ca_5F(PO_4)_3$.

$a : c = 1 : 0{,}735$. Ruumvõre keeruline. Kristallid hiiglasuurtest kuni peenimate nõelteni. 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. ω (kollasele valgusele) = 1,646; ε = 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 SO_4, CO_3 ja eriti OH. J.-t. ees peaaegu sulamatu. Happeis lahustub kergesti; lahusest langeb ammooniummolübdaadiga välja kollase sademena.

Väga sagedane mineraal; olgugi enamikus mikroskoopilistes nõelkristallides, leidub ta peaaegu kõigis tardkivimeis, olles neis peamine fosforikandja.

Eristatakse kristalset apatiiti otseses mõttes, mille kogused on seotud tard- ja muutekivimitega, ja nn. f o s f o r i i t e, mis leiduvad seteladmeis. Esimesi toodetakse Koola poolsaarel (Hibina), 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-ordoviitsiumi 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 prismalised, 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 konnakarpjas või ebatasane. Habras. K. 3½—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 konnakarpjas. 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 asenduda 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-terasesortidele lisandiks.

Kallaiit (türkiis). $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 5H_2O$.

Trikliinne, kuid harilikult tihe ja kobarja ning neerja välimusega. Murd konnakarpjas. 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 $HTaO_3$ ja $HNbO_3$ 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 isomorfselt teineteisega segatuna, mistõttu vaatleme neid koos.

Kolumbiit (niobiit). $(FeMn)(NbO_3)_2$.

Tantaliit. $(FeMn)(TaO_3)_2$.

$a : b : c = 0{,}829 : 1 : 0{,}890$. Kristallid sisse kasvanud, prismalised või tahveljad. Kaksikud (*021*) järgi sagedad. Ka kogumikena ilma kristalse välimuseta.

Lõhevus selge {*100*} järgi, eriti kolumbiidil. Murd konnakarpjas. 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 elektrihõõglampide traadi materjal.

VIII klass.

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. SiO_2, mis puhtal kujul esineb ränina, millega eespool tutvusime, esineb neis ühendeis — 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 arvurikkama 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 Si^{+4} peitub tetraeedri keskel, mille moodustavad neli O^{-2} aatomit. See $(SiO_4)^{-4}$ tetraeeder ongi iga silikaadi peenstruktuuri aluseks. Need tetraeedrid võivad oma tippe pidi (O-aatomeid pidi, iga kaks tetraeedrit aga a i n u l t ühte tippu pidi!) ühineda reeglipäraselt suuremateks gruppideks. Nii saame näit. järgmisi gruppe:

1) Üksikud $(SiO_4)^{-4}$ tetraeedrid, kus suhe Si : O on 1 : 4 (joon. 184, kus näha ainult O-aatomid, mis varjavad pisikese Si aatomi).

2) Tetraeedrite paarid $(Si_2O_7)^{-6}$, kus suhe Si : O on 2 : 7 (joon. 185).

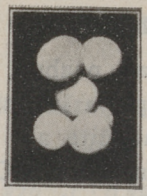
3) Tetraeedrite kolmikud $(Si_3O_9)^{-6}$, „ „ Si : O „ 1 : 3 (joon. 186).

4) Tetraeedrite nelikud $(Si_4O_{12})^{-8}$, „ „ Si : O „ 1 : 3 (joon. 187).

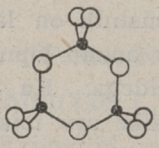
5) Tetraeedrite kuuikud $(Si_6O_{18})^{-12}$, „ „ Si : O „ 1 : 3 (joon. 188).



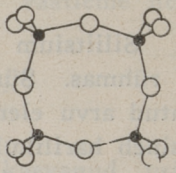
Joon. 184.



Joon. 185.



Joon. 186.

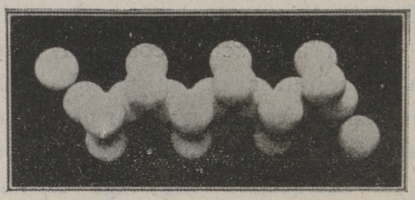


Joon. 187.

Senikirjeldatud juhud annavad lõplikke gruppe. Aga tetraeedrid ühinevad ka lõpmatuiks paelteks, pindadeks ja ruumilisteks kujunditeks. Nii esineb (pürokseenides) pael, nagu näidatud joon. 189, kus suhe samuti Si : O = 1 : 3 ja iga SiO_3 annab 2 vaba negatiivset valentsust, s. t. $(SiO_3)^{-2} \times 2 = (Si_2O_6)^{-4}$. Amfiboolides esineb pael joon. 190, mis on nagu kahest pürokseenipaelast kokku liidetud. Vilgud, talk jne. koosnevad tasapinnalis-



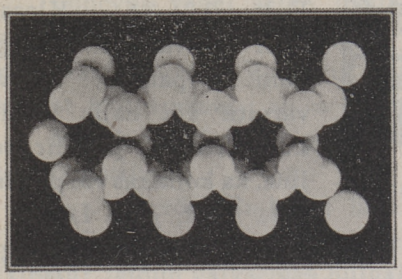
Joon. 188.



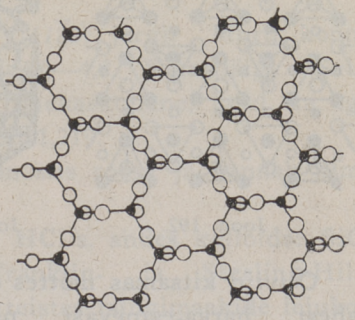
Joon. 189.

test võrkudest (joon. 191), kus Si : O = 2 : 5 ja grupp SiO_2 omab kahte negatiivset valentsust, s. t. $(Si_2O_5)^{-2}$. Lõppeks on tetraeedrite vahel võimalik ka r u u m i l i n e 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 võresse 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) pidi esineb reeglipäraselt täiuslik lõhevus.

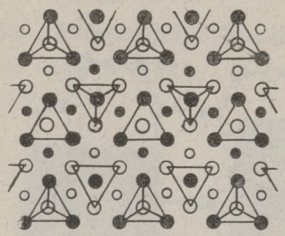
1. sugukond.

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 oliviin muutub serpentiiniks (joon. 193).



Joon. 192.



Joon. 193.

Lõhevus kaunis selge {010} järgi, ebatäiuslik {100} järgi. Murd konnakarpjas. Habras. K. 6½—7. E.-k. 3,2—3,6. Klaasikuni rasvaläige. Selge kuni läbipaistev. Harva värvitu või hall; harilikult oliiv- või pudeliroheline, ka kollakas või pruun. $\alpha = 1{,}661$, $\gamma = 1{,}697$.

Oliviin 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; happeis lahustub, kui sisaldab palju Fe-d.

Moodustab peaaegu ainuüksi tardkivimeid: peridotiite ja duniite; esineb sageli gabrodes, diabaasides, melafüürides ja basaltides; esineb ka kristallkiltkivides ja koguni lubjakivides ning dolomiitkivides, ka meteoriitides. Samuti tekib ta sageli kunstlikult metallurgilistes räbudes.

Selged krüsoliidid kuuluvad kalliskivide hulka; parimaid leitakse St. Johns'i saarel Punases meres. Oliviini sisaldavate kivimitega on mõnikord ühenduses plaatinalademed.

Fenakiidi rühm.

Siia kuuluvad romboeedrilised Be-, Zn- ja Cu-ühendid SiO_4 tetraeedriga, kus iga O on seotud kahe katiooniga. Siia kuuluvaist vaatleme fenakiiti, villemiiti, dioptaasi ja krüsokollat.

Fenakiit. Be_2SiO_4.

$a : c = 1 : 0{,}661$. Sageli vormirikkad kristallid on kas romboeedri- 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 {0112}.

Eriliselt märgatavat lõhevust ei ole. Murd konnakarpjas. K. 7½—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. 5½. E.-k. 4,0—4,2. Klaasiläige. Selge kuni läbipaistev. Värvitu, sageli rohekaskollane, kuid ka igasugust muud värvi. $\omega = 1{,}691$, $\varepsilon = 1{,}719$.

Mõnikord sisaldab palju Mn, on siis roosa ja kannab nimetust trustiit.

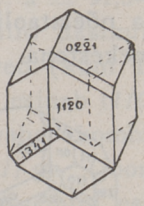
J.-t. ees söel Zn-kate; lahustub HCl-s, andes kolloidse SiO_2.

Tsingimaagina kaevatakse Franklin- ja Sterling-Hillis (USA); leidub väiksemal hulgal ka teistes tsingimaakide leiukohtades. Tarvitatav raadiodetektorina.

Dioptaas. $CuO . SiO_2 . H_2O$.

$a : c = 1 : 0{,}534$. Väikesed prismalised kristallid harilikult pesades: $\{11\bar{2}0\}$, $\{02\bar{2}1\}$ ja $\{1 . 15 . \bar{16} . 7\}$ (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. $\omega = 1{,}644—1{,}658$, $\varepsilon = 1{,}697—1{,}709$.



Joon. 194.

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, Peruus, Arizonas.

Krüsokolla (vaseroheline, ränimalahhiit). $CuO . SiO_2 . 2H_2O$.

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 leiukohtades, nii Uuralis, Siberis, Katangas (Aafrika), Tšiilis ja Mehhikos.

Tsoisiidi rühm.

Üldiselt Ca-, Al- ja Si-ühendid, kus Ca ja Al võib asenduda Fe, Mn, Ce ja Ti-ga ning osa võtta ka OH ja F.

Tsoisiit. $4CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$.

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.

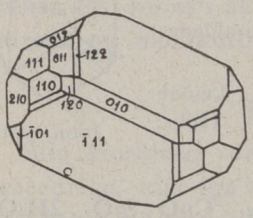
Lõhevus täiuslik {*010*} järgi. Murd ebatasane. K. 6. E.-k. 3,2—3,3. Klaasiläige, lõhenemispindadel ka pärlmutriläige. Sogane või läbipaistmatu. Harilikult tuhkhall, kuid ka kollakas, rohekas või pruunikas. $\alpha = 1{,}700$, $\gamma = 1{,}706$.

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 rauа- ja vasemaakide lademeis. Roosa tsoisiit kannab t u l i i d i nimetust ja leidub Norras, Rootsis ning Itaalias.

Epidoot. $4CaO \cdot 3(Al, Fe)_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 1{,}581 : 1 : 1{,}806$; $\beta = 64^0\,37'$. Väga vormirikas, alati [*010*] järgi pikaks venitatud — koguni nõeljani; näitena joon. 195. Kaksikud (*100*) järgi sagedad. Kiire- ja nõelataolised, vahel vihkudesse kogunenud agregaadid, ka kirmekestena.



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 pleokroiitiline.

Sisaldab 8—16% Fe_2O_3; mida vähem rauda, seda rohkem liginevad optilised omadused tsoisiidile, jäädes aga siiski monokliinseks. Niisuguseid rauavaeseid epidoote nimetatakse k l i n o t s o i s i i d i k s. Rauarikkaid ja tihedaid rohelisi nimetatakse p i s t a t s i i d i k s. J.-t. ees sulab kohevile muutudes mustaks, vahel magnetiliseks räbuks; põletatult lahustub HCl-s, eraldades 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). $4(Ca, Ce, Th)O \cdot 3(Al, Fe)_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 1{,}55 : 1 : 1{,}77$; $\beta = 64^0\,59'$. Kristallid tahveljad, harvad. Harilikult sissekasvanud teraliste või pulgaliste agregaatidena. Kaksikud {*100*} järgi.

Lõhevus vaevalt märgatav. Murd konnakarpjas kuni ebatasane. K. 5½. E.-k. 3—4,2. Rasvaläige. Läbipaistmatu. Pigimust, vahel pruunikas või hallikas; murenemiskoorik roostekarva või ka hallikasroheline. Kriips rohekashall või pruun. Õhikus 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.

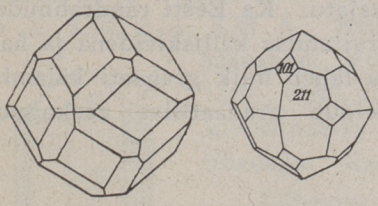
Esineb mitteolulise osana mõningais graniitides, süeniitides, dioriitides ja gneissides (Norras, Rootsis, Soomes, Uuralis, Kanadas ja USA-s).

Granaatide rühm.

Granaat. $M_3'' M_2''' (SiO_4)_3$,

kus M″ on kas Ca, Mg, Mn või Fe ja M‴ kas Al, Fe või Cr.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre õige keeruline; $a = 11{,}5$—$12{,}0$ Å; 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 konnakarpjas või killuline. Habras. K. 6½—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 SiO_2 geli.

Alaliigid: 1) grossulaar (Ca- ja Al-granaat), $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$ — värvitu, valge, heleroheline, punakaskollane, lillakaspunane (viimasel juhul nimetusega hessoniit);

2) andradiit või aploom (Ca- ja Fe-granaat), $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$ — harilikult pruun, kuid ka värvitu, roheline, must; selge-rohelise nimetuseks on demantoid ja seda lihvitakse kalliskivina; sametmust — melaniit — sisaldab alati ka Ti ja pisut Al_2O_3;

3) püroop (Mg- ja Al-granaat), $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ — veripunane, harva ka peaaegu must, kui sisaldab ka Fe; on otsitud kalliskivi;

4) almandiin (Fe- ja Al-granaat), $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ — punane, pruun, harva must; selgeid punaseid, eriti lillakaid tarvitatakse ka kalliskividena;

5) spessartiin (Mn- ja Al-granaat), $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ — kollane või punakaspruun; harilikult sisaldab ka Fe;

6) uvaroviit (Ca- ja Cr-granaat), $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$ — tumeroheline; kaunis haruldane.

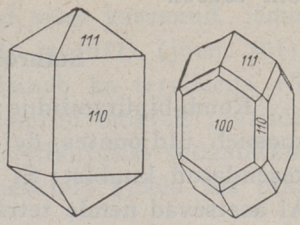
Granaate leidub paljudes tardkivimites, eriti aga moonekivimites: gneiss, vilkkilt. Eri liikide leiukohad on üle kogu maailma laiali, nii et nende loend on asjatu. Ka Eesti rändrahnudes võib neid sageli leida. — Peale tarvitamise kalliskividena ja halvemais taskukellades laagrikividena läheb hulk granaati käiamis- ja lihvimismaterjaliks. Eestis leidub granaatliiva veekogude rannikutel koos magnetiidiga.

Tsirkoon. $ZrSiO_4$.

Ditetragoon-bipüramiidne; $a : c = 1 : 0{,}640$. Ruumvõre nagu rutiilil, kusjuures Zr-aatomid asetsevad tetragoonse prisma tippudes 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. 7½. 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 kå H_2O tungimist mineraali; niisugused alaliigid on tuntud m a l a k o o n i nime all. J.-t. ees ei sula; happeis ilma leelissooladega kokku sulatamata ei lahustu.

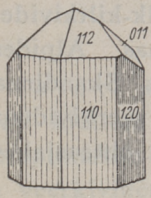


Joon. 197.

Kollakaspunaseid selgeid tsirkoone loetakse kalliskivideks h ü a t s i n d i nime all. Pisikristallides, mis sageli on ümbritsetud pleokroiitiliste ringidega, esineb tihti happelistes või keskmistes tardkivimites; pegmatiitides vahel mitme sentimeetri suuruste kristallidena. Nii leidub teda eleoliitsüeniitides Norras, Koola poolsaarel, Põhja-Karoliinas. Hüatsinte leitakse Tseiloni 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. $\alpha = 1{,}612$, $\gamma = 1{,}621$; $2V = 56^0\,39'$.

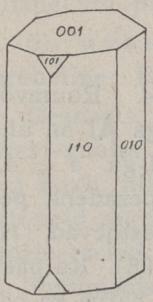
F ja OH vahekord on muutlik. J.-t. ees ei sula. Kõrgel kuumutamisel või fosforsoolas eraldub F. Väävelhape lahustab visalt ja osaliselt.

Pneumatolüütilise metamorfoosi tähtsamaid mineraale. Peale selle esineb koos tardkivimite vedelamate jääkide hangumisproduktidega, eriti inglistina leiukohtades. Ilusaid kalliskividena lihvitavaid kristalle leidub Uurali mägedes, Brasiilias ja Tseiloni saarel.

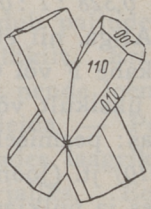
Stauroliit. $Fe(OH)_2 . 2Al_2SiO_5$.

Romb-bipüramiidne; $a : b : c = 0{,}473 : 1 : 0{,}682$. Ruumvõre koosneb üldjoontes deformeeritud O-aatomeist koosnevast tahkkesendatud 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 konnakarpjas või killuline. K. 7—7½. 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; happeis 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.

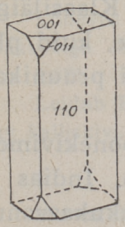
Andalusiidi, sillimaniidi ja küaniidi rühm.

Nende keemiline üldvalem on Al_2SiO_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° t°-s, andalusiit 1390° ja sillimaniit 1545° t°-s.

Andalusiit.

$a : b : c = 0{,}986 : 1 : 0{,}702$. Kristallid sisse kasvanud, jämedaprismalised, esinevad {*110*}, {*001*}, {*101*} ja {*011*} (joon. 201); pealt sageli kaetud vilgusoomustega. Esineb ka teralisena või kiireliste pulkadena. Mõned pulkjad kristallid omavad grafiidisisalduse tõttu tumedat, sageli läbilõikes ristikujulist südamikku; neid nimetatakse kiastoliidiks (õõneskivi) (joon. 202 pikk kristall tükkideks lõigatuna).



Joon. 201.

Lõhevus selge {*110*} järgi. Murd ebatasane. Habras. K. 7½. E.-k. 3,1—3,2. Klaasiläige, kuid ka tuhm. Harva selge; harilikult ainult läbipaistev. Rohekas- või punakashall; kui tumedamavärviline, siis pleokroiitiline. $\alpha = 1{,}632$, $\gamma = 1{,}643$.

Kalifornias (Inyo Range) murti andalusiiti sisaldavat kivi erilise portselani materjaliks. Ilusamaid eksemplare lihvitakse ja müüakse turmaliini pähe. Toodetakse muuseas: Andaluusias 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).

$a : b : c = 0{,}899 : 1 : 0{,}709$; $\alpha = 90^0\,55'$, $\beta = 101^0\,2'$, $\gamma = 105^0\,44{,}5'$. Sissekasvanud, joonlauataolised, murtud otstega kristallid, peamiselt {*100*}, mis kaetud ristkriipsudega ja sageli painutatud, edasi {*010*} ja {$1\bar{1}0$}, {*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—4½, 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. $\alpha = 1{,}717$, $\gamma = 1{,}729$; $2V = 82^0$.

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.

Mulliit. $3Al_2O_3 . 2SiO_2$.

Romb-bipüramiidne. Väga sarnane sillimaniidiga, kuid väiksema optilise murdumisega: $\alpha = 1{,}642$, $\gamma = 1{,}654$. 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. $6[Ca_3Al_2(SiO_4)_3] . Ca(OH)_2 . Mg(OH)_2$.

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*}, {$\bar{1}11$}, {*001*}, {*101*}, {*331*}, {*311*} ja {*210*}. Ka teraline, kiireline, sageli granaadiga kokku kasvanud, sarvkivitaoline.

Lõhevus ebatäiuslik {*100*} ja {*110*} järgi. Murd konnakarpjas või killuline. K. 6½. E.-k. 3,3—3,4. Klaasiläige. Harva selge, harilikult läbipaistev. Pruun, roheline, kollane, harva sinine või roosa. ω kõigub 1,70 ja 1,75 vahel, ε samuti; seepärast on mõni eksemplar +, mõni —.

Väga keeruline keemiline koostis, sest Ca võib asenduda 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 kontaktmetamorfseis, näit. Soomes, mitmes kohas Alpides, Vesuuvi laavas, Böömimaal (Eger), Norras, Vilui jõel Siberis, Mehhikos ja mitmes kohas USA-s. Ilusaid selgeid lihvitakse kalliskivideks, rohelised tihedad massid kõlbavad suuremaiks iluasjuks.

Euklaas. $HBeAlSiO_5$.

Monokliin-prismaline. Kristallid [*001*] järgi pikergused, tahurikkad püsttelje suunas.

Lõhevus väga täiuslik {*010*} järgi. Habras. K. 7½. 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 leiduv kalliskivi.

Datoliit. $HCaBSiO_5$.

Monokliin-prismaline. $a : b : c = 0{,}633 : 1 : 1{,}269$; $\beta = 89^0\,51'$. Kristallid pesadena, lühiprismalised, kuid ka pakstahveljad, vormirikkad. Esineb ka teralisena, tihedana, peenekiulisena.

Märgatavat lõhevust ei ole. Murd ebatasane. K. 5—5½. 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 roheliseks; sulab vahutades selgeks helmeks. HCl-s lahustub, andes SiO_2 geli.

Leidub aluseliste tardkivimite lõhedes ja soontes Šotimaal, Norras, Saksamaal, Itaalias ja mitmes kohas USA-s ning NSVL-s. Tihedaist portselanitaolistest liikidest valmistatakse iluasju.

2. sugukond.

KAKSIKTETRAEEDRID. $(Si_2O_7)^{-6}$.

Hemimorfiit (kalamiin). $H_2Zn_2SiO_5$.

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: $2ZnO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$, seejuures aga H_2O eraldub ainult punases hõõgtules. J.-t. ees ei sula; söel Zn-kate. HCl lahustab 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 $(Si_3O_9)^{-6}$. Benitoiit. $BaTiSi_6O_9$.**

Ditrigoon-bipüramiidne. Sinine, kõva (6,5), kalliskivina tarvitatud. Ainult üks leiukoht (St. Benito) Kalifornias.*

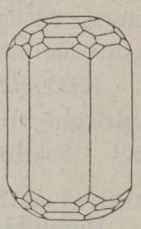
3. sugukond.

KUUIKRÕNGAD. $(Si_6O_{18})^{-12}$.

Berüll. $3BeO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$.

Diheksagoon-bipüramiidne. $a : c = 1 : 0{,}499$. Ruumvõres on üksteise peal kuuikrõngad (Si_6O_{18}), milledes 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 konnakarpjas või ebatasane. Habras. K. 7½—8. E.-k. 2,63—2,80. Selge, läbipaistev. Klaasiläige. Vesiselge, sageli roheka varjundiga; roheline, kollane, sinine või roosa. $\omega = 1{,}57$—$1{,}60$, $\varepsilon = 1{,}56$—$1{,}59$.



Joon. 203.

J.-t. ees sulavad visalt ainult õhukesed servad. Happeis ei lahustu.

Eristatakse kallis- ja harilikku berülli. Kallisberülli alaliikideks on:

1) s m a r a g d — kroomoksüüdiga tumeroheliseks värvunud selge mineraal;

2) a k v a m a r i i n — vesiselged, rohekad, sinakad või kollakad;

3) kuldberüll — kollane;

4) morganiit — roosa.

Neist on smaragd otsitud kalliskivi. Harilik berüll on sagedane pegmatiidisoontes, 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). $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$.

Romb-bipüramiidne. $a : b : c = 0{,}587 : 1 : 0{,}558$. Ruumvõre sarnaneb berülli omaga, kusjuures aga Si on veel rohkem asendatud Al-ga, mille tetraeedrid moodustavad ahelaid. Lühiprismalised, 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—7½. 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 H_2O. J.-t. ees sulavad (visalt) ainult õhukesed servad. Happeis ei lahustu.

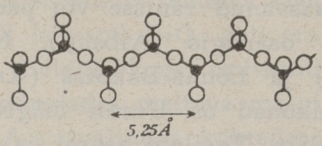
Mõningais gneissides oluline mineraal. Leidub ka mõnedes happelistes tardkivimites, võib olla neisse sattunud kiltkividest tekkinuna. Kontaktmetamorfseis kivimeis mikroskoopilised isendid sagedad. Leiukohad Soomes (Orijärvi), Norras, Rootsis, Hispaanias ja Tseiloni saarel. — Mõningad selged liigid annavad lihvitult kalliskive. Keemiliselt ebastabiilne kordieriit annab rohkesti pseudomorfoose.

4. sugukond.

SiO_4-TETRAEEDRID LÕPMATUIS AHELAIS.

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 iseloomustavad pürokseene. Ahelad on asetatud rööpselt vastavate mineraalide 3. teljega ja seotud mitmesuguste katioonide abil. Si võib osalt asenduda Al-ga, kusjuures nõnda ahelas tekkiv üleliigne vaba negatiivne valentsus kompenseeritakse ühtede elementide asendumisega teistega.



Joon. 204.

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 asenduda Al, Fe või Ti-ga. Ühtlane ruumvõre ehitus tingib ka ühtlase lõhenemissuuna, mis 3. teljega ristilõikes moodustab 87° 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. Kõvadus 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. $(Fe.Mg)SiO_3$.

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 — $Ca^{\cdot\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $K^{\cdot}$ ja $Mn^{\cdot\cdot}$ ja väiksemad — $Mg^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$, $Al^{\cdot\cdot\cdot}$ ja $Ti^{\cdot\cdot\cdot}$. 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. $CaMgSi_2O_6$.

$a : b : c = 1{,}092 : 1 : 0{,}589$; $\beta = 74^0\,10'$. 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. $\alpha = 1{,}650$, $\gamma = 1{,}681$.

Harilikult sisaldab Fe, vahel ka Mn, Na, Zn ja Cr. J.-t. ees sulab visalt; happeis ei lahustu.

Eristatakse järgmisi liike:

1) d i o p s i i d kitsamas mõttes — kristallidena esinevad läikivad rohelised (kuid ka värvita ja ka päris mustad) eksemplarid koos sääraste kristallide aluseks oleva teralise massiga;

2) m a l a k o l i i t (saliit) — ilma kristalse välimuseta sogane valge mass või ka roheline või pruun; esineb mõningais maagikogumikes (lubjakivis);

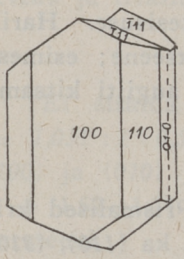
3) d i a l l a a g — väga täiusliku lagunevusega {*100*} järgi; alati sisaldab ka Al_2O_3 ja Fe_2O_3; rohekashall, pruunikasroheline või must; mõned diallaagiliigid sillerdavad nagu brontsiit;

4) k r o o m d i o p s i i d — sisaldab veidi Cr_2O_3; esineb oliviinis rohiroheliste teradena (Kapimaal teemantide kaaslane). Rohkesti Outokumpus Soomes.

Diopsiid esineb paljudes tard- ja moonekivimeis, samuti kontaktmetamorfseis lubjakivides ja dolomiitkivides.

Augiit. $nCa(Mg, Fe)Si_2O_6 . m(Al, Fe)_2O_3$.

$a : b : c = 1{,}092 : 1 : 0{,}589$; $\beta = 74^0\,10'$. Kristallid harilikult lühiprismalised (joon. 91) {*110*}, {*100*} ja {*010*}-ga, kuna prisma otstes esineb {$\bar{1}11$}. Lõige risti [*001*]-ga on kaheksanurkne. Kaksikud (*100*) järgi (joon. 205) ja ristuvad (*101*) järgi. Ka teralisena 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 läbipaistmatu. Väga harva peaaegu täiesti värvitu; roheline kuni pigimust, õhikus pruun või roheline. Kriips hallikasroheline. Pisut pleokroiitiline, kui sisaldab palju Fe. $\alpha \sim 1{,}71$, $\gamma \sim 1{,}73$, kuid arvud muutuvad, nii et mõned augiidid on positiivsed, mõned negatiivsed.

Sageli sisaldab Al ja Fe, ka Ti. J.-t. ees sulab mustaks klaasiseks kerakeseks, mis mõnikord on magnetiline. Happeis peaaegu lahustumatu.

Eristatakse liike:

1) h a r i l i k a u g i i t — must, vahel rohekas; esineb aluselistes tardkivimites (diabaas, melafüür, basalt jne.) ja mõningates moonekivimites;

2) b a s a l d i s e s i n e v a u g i i t, ka basalttufis; sageli vöödiline; kristallid värske välimusega;

3) f a s s a i i t — roheline; Fe-d vähem kui Al-i; on kontaktmineraal lubjakivides;

4) o m f a t s i i t — sarnane eelmisega, kuid leidub mõningais kristall-kiltkivides;

*5) ä g i r i i n (ja akmiit). $NaFeSi_2O_6$. Naatronaugiit, oluline mineraal alkaligraniitides ja alkalisüeniitides. $a : b : c =$

$= 1{,}1 : 1 : 0{,}601$; $\beta = 73^0\,11'$; lõhevus eriti hea. K. 6,5. E.-k. 3,5. Klaasiläige, rohekaspruun, õhikus roheline ning pleokroiitiline (ägiriin). Akmiit on ka õhikus pruun, kuid nõrgema pleokroismiga. Leidub Norras ja Portugalis.*

Võib esineda peaaegu kõigis kivimiliikides; laialt levinud üle maailma. Muutub mõnikord struktuurilt küünekiviks; selliseid muutunud augiite nimetatakse u r a l i i d i k s.

Jadeiit. $NaAlSi_2O_6$.

Esineb mikrokristalselt peenekiulise vildina või tiheda massina. Väga vintske. K. 6½. 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. $LiAlSi_2O_6$.

$a : b : c = 1{,}128 : 1 : 0{,}623$; $\beta = 69^0\,32'$. Harilikult plaatjas või laiakiireline; kristallid vahel mõni meeter pikad, auklikkude pindadega ja pikuti [*001*] soonelised.

Lagunevus (mitte lõhevus) {*100*} järgi. K. 6½—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.

K u n t s i i d i k s nimetatakse lillat või roosat selget spodumeeni, mida lihvitakse kalliskivina, samuti rohirohelist või kollast h i d e n i i t i.

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. $CaSiO_3$.

Tahveljad kristallid harvad, harilik esinemine liistuliste, leheliste või kiuliste massidena.

Lõhevus täiuslik {*100*} ja {*011*} järgi. K. 4½—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_2 geli. Leidub sageli metamorfsetes lubjakivides.

Rodoniit. $MnSiO_3$.

Kristallid väga harvad. Harilikult plaatjana, teralisena või tihedana.

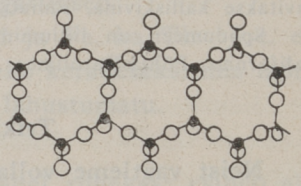
Lõhevus täiuslik {*110*} ja {*1$\bar{1}$0*} järgi. Vintske (kristallid haprad!). Murd konnakarpjas või ebatasane. K. 5½—6½. E.-k. 3,4—3,7. Klaasiläige. Selge, läbipaistev. Punane mitmesuguse varjundiga. Murenemisel tekivad temas mustad laigud või sooned. K.-m. väike ja vahelduv, nii et mõni rodoniit 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 tükikesed annavad materjali iluasjadeks; osa on Mn-maak.

Amfibooli (küünekivi laias mõttes) rühm.

Ruumvõre SiO_4 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 amfiboole 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 $(Mg, Fe)SiO_3$, millega teatavatel juhtudel seltsib ka Al; monokliinsete valem oleks rikkam nii kahe- kui ka enamvalentseist elementidest. — Rombilistest amfiboolidest tutvume ainult antofülliidiga.

Antofülliit. $7(Mg, Fe)O \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$.

Leidub pulgaliste ja kiuliste (asbestjate) massidena. K. 5½. 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 kivimites on sagedane ka Al_2O_3-sisaldusega teisend (gedriit).*

Aktinoliidi (kiirjaskivi) rühm.

Need amfiboolid ei sisalda Al_2O_3 ja Fe_2O_3. Monokliinprismalised.

Aktinoliit. $2CaO \cdot 5(Mg, Fe)O \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$.

$a : b : c = 0{,}541 : 1 : 0{,}293$; $\beta = 73^0\,58'$. Harilikult pulkjate või kiuliste massidena; kiud kas paralleelsed, kiirtena laienevad või läbisegi asetsevad; kui kristallid, siis harilikult liistjad. Korduvad kaksikud (*100*) järgi.

Lõhevus täiuslik {*110*} järgi. K. 5½—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 kloriitkiltkivides;

2) amiant (mäelina ehk amfiboolasbest); sageli pika- ja peenekiulised agregaadid, kiud painduvad, kuid on rabedamad kui serpentiin-asbestil; kui kiud on viltjalt läbi kasvanud, nimetatakse agregaati vahel mäenahaks ja mäekorgiks; leidub Alpides ja Põhja-Itaalias;

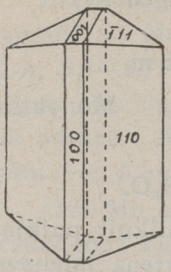
3) tremoliit on peaaegu ilma Fe-ta, mistõttu värvilt on valge, hall või pisut rohekas; esineb talk-kiltkivides ja serpentiinides; leidub peamiselt Šveitsis (Tessin) ja Edela-Aafrikas;

4) nefriit on väliselt tihe, kuid peentest aktinoliidikiududest vilditud vintske kivi, poolläbipaistev, rohekashall. Sarnaneb jadeiidiga, kuid ei sisalda Na ega Al. Kiviaegse inimese otsitud riistamaterjal. Leidub Aasias (Kuenlun, Baikal) ja Uus-Meremaal, vähesel määral ka Euroopas.

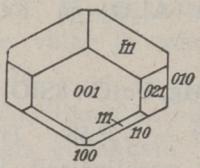
Harilik amfibool (küünekivi).

$Na_2O \cdot mCa(Mg, Fe)_3O_4 \cdot p(Al, Fe)_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot qH_2O$.

$a : b : c = 0{,}548 : 1 : 0{,}294$; $\beta = 75^0\,2'$. 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. β umb. 1,64. K.-m. —, välja arvatud pargasiit, mille k.-m. on +. $2V = 80^0$ kuni 85^0. Tugev pleokroism: sinakasrohelisest 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 p a r g a s i i t, mida leitakse Soomes seoses kontaktmetamorfse lubjakiviga; 2) b a s a l t k ü ü n e k i v i, mis sisaldab palju Fe; on sagedane nooremates purskekivimites; üldse on harilik amfibool väga sagedane mineraal, moodustades olulise või mitteolulise koosteosa nii tard- kui ka moonekivimeis; *3) a l k a l i a m f i b o o l i d — erinevad Na_2O sisalduselt. Tähtsamad on arfvedsoniit ja riebekiit alkaligraniitides ja süeniitides ning sinine glaukofaan metamorfseis kiltades.*

5. sugukond.

SiO_4-TETRAEEDRID LÕPMATUIS TASAPINNALISTES VÕRKUDES (LEHTEDES).

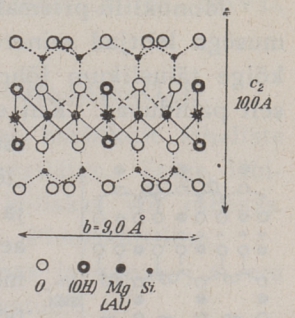
A. H e k s a g o o n s e d s i l m u s e d.

Vilk, kloriit, talk, kaoliin ja ka serpentiin omavad ruumvõresid, kus SiO_4 tetraeedrid esinevad seotuina tasapinnalistesse võrkudesse, nagu näitab joonis 191. Sääraste võrkude vabad valentsused on harilikult suunatud ühele poole, kus neid siis küllastavad 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. $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$.

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.



Joon. 209.

Lõhevus väga täiuslik {001} järgi. K. 1, pehme, lehekesed painduvad; tundub rasvasena. E.-k. 2,6—2,8. Rasva- või pärlmutriläige. Läbipaistev või läbipaistmatu. Värvitu, rohekas. $\alpha = 1{,}539$, $\gamma = 1{,}589$. $2V = 6—30^0$.

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 kanikerduskiviks, sest neist valmistatakse väikesi kujukesi, eriti Tiibetis ja Hiinas.

Leidub seoses kristalsete kiltkividega mitmes kohas Saksamaal, Šveitsis, Prantsusmaal, Rootsis, Uurali mägedes, Hiinas, Kanadas ja Transvaalis. Annab tulekindlat materjali mitmesuguseks otstarbeks; tarvitatakse kosmeetikas ja paberitööstuses lisandiks paberimassile.

Pürofülliit. $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$.

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. 1½. E.-k. 2,8. Pärlmutri- ja hõbedaläige (nagu üksteise peal asetsevatel klaasilehtedel). Läbipaistev. Valge, kollakas või rohekas. $\alpha = 1{,}552$, $\gamma = 1{,}600$.

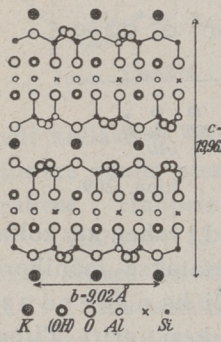
J.-t. ees ei sula, ainult lahustub lehekesteks. Vesi eraldub alles 730° t°-s. Väävelhappes lahustub visalt.

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 rombilise välimusega lehtjad mineraalid. Kõigil vilkudel on mineraalide seas kõige täiuslikum lõhevus {001} järgi; lõhendlehekesed on elastselt 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 pehmele 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). $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$.

$a : b : c = 0{,}577 : 1 : 2{,}217$; $\beta = 95° 5'$. Ruumvõres a = 5,18, b = 9,02, c = 20,04 Å. Esineb koorikuliselt, leheliselt, soomuseliselt 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. α = 1,556, γ = 1,593. I poolitaja peaaegu risti (001)-ga. $2V$ umb. 40°.

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 tarvitatav kõrges kuumuses olevaiks aknakesteks, kaitseprillideks ja elektriisolatsiooniks. Peamised tootmismaad: India (Bengaalia), USA (Põhja- ja Lõuna-Karoliina, Maryland, New York), Brasiilia, Argentiina, Kanada, Lõuna-Aafrika, Madagaskar, Hiina, NSVL, Jaapan, Korea ja Austraalia.

Flogopiit (magneesiavilk). $KMg_3(F, OH)_2[AlSi_3O_{10}]$.

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°. Pleokroiitiline.

Sisaldab 1—2% FeO; F on alati olemas ja annab j.-t. ees oma reaktsiooni. Keevas väävelhappes lahustub.

Leidub Soomes, Rootsis, Norras, Alpides, USA-s (New Yorki osariigis), Kanadas ja Tseilonil. Tarvitatakse samaks otstarbeks kui muskoviiti.

Biotiit (magneesiaraua vilk, must vilk).
$K(Mg, Fe)_3 . (OH)_2 . [(Al, Fe)Si_3O_{10}]$.

Vähe mõõdetavaid kristalle, nagu teistelgi vilkudel; harilikult lehekeste pakkidena.

K. 2½—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°-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 H_2SO_4 lahustab täielikult.

Kõige sagedamini leiduv vilk. On oluline koosteosa 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). $CaO . 2Al_2O_3 . 2SiO_2 . H_2O$.

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.

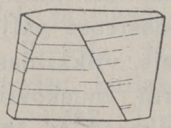
Leidub peaaegu kõigis smirgli leiukohtades (Naxos'e saar jne.), Tiroolis kloriitkiltkivis, Uuralis berülli leiukohas.

Margariit moodustab vahepealse lüli nn. habrasvilkude (kloritoiidide, millede üks esindaja on näit. otreliit) 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).

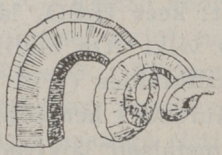
Kloriidi rühm.

Siia kuuluvad samuti lehtjad {*001*} järgi, monokliinprismalised mineraalid, kõvadusega harilikult 1½ ja 2½ 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°, teistel (leptokloriidid: šamosiit, turingiit) osaliselt juba madalamas temperatuuris.

Klinokloor. $5MgO . Al_2O_3 . 3SiO_2 . 4H_2O$.



Joon. 211.



Joon. 212.

Kristallid pesadena, heksagoonse välimusega, kas püramiidsed, romboeedrilised (joon. 211) või tahveljad; mõnikord kruvitaoliselt painutatud (joon. 212). Soomusjate massidena kloriitkiltkivides.

E.-k. 2,5—2,8. Pärlmutri- või klaasiläige. Läbipaistev. Tumeroheline. $\alpha = 1{,}59$, $\gamma = 1{,}60$. Pleokroiitiline.

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. $\alpha = 1{,}576$, $\gamma = 1{,}579$. $2V$ 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° 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° 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 tarvitatav.

Kaoliini rühm.

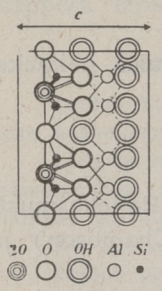
Alumosilikaadid veega, koostisega $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, kust vesi eraldub alles hõõgtemperatuuril.

Kaoliniit (kaoliin, portselansavi).

Monokliin-doomaline. $a : b : c = 0{,}635 : 1 : 1{,}793$; $\beta = 79° 48'$. 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 peenesoomuselised 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. $\alpha = 1{,}561$, $\gamma = 1{,}566$. 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, tekketemperatuurilt ja vee eraldamise soojuselt, mis on kaoliniidil 390—450°, dikiidil 510—575° ja nakriidil 600—650°.

Kõik need mineraalid on alumosilikaatide murenemise saadused. Võib arvata, et need saadused algstaadiumis olid kolloidses olekus, mis soodustas nende edasikandmist veevoolude poolt. Seetõttu leidub kaoliiniainet peaaegu kõigis setekivimeis, eriti aga savides, mis kujutavad kaoliini lademeid, segatud liiva, vilgu, orgaaniliste ja muude ainetega. Värvi 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 tarvitamisalad 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 kiulisena, lehtjana või soomuselisena. 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 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). $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$.

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.

Garnieriit $(Ni, Mg)O \cdot SiO_2 \cdot H_2O$.

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 niklimaagina.

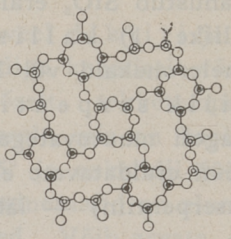
B. Tetragoonsed silmused.

Ruumvõrede lehti tetragoonsete silmustega omavad apofülliit ja meliliit. Apofülliidi ruumvõre lehe skeem on näidatud joonisel 214.

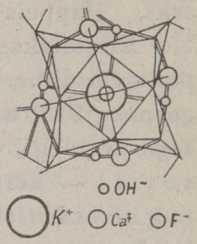
Apofülliit (ihtüoftalm, kalasilm). $KF \cdot Ca_4(Si_2O_5)_4 \cdot 8H_2O$.

Ditetragoon-bipüramiidne; $a : c = 1 : 1{,}251$. Ruumvõres (joon. 214 ja 215) on SiO_4 tetraeedrid ühendatud neljakaupa lehtedesse, mis vastavad {001}-le. $a = 9{,}0$; $c = 15{,}8$ Å. 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. 4½—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 kaheteljeline, vahel ühe ning sama kristalli osad + või —.



Joon. 214.



Joon. 215 (joon. 214 keskkoha üksikasjaline kujutis).

Alaline K- ja F-sisaldus sundis tunnustama ülaltoodud keerulist valemit. J.-t. ees laguneb lehekesteks, punsub ja sulab. Pulbrina lahustub soolhappes, eraldades SiO_2 gel'i.

Leidub basaltide, aga ka graniitide õõntes ja lõhedes Islandil ja Gröönimaa rannikusaartel, Saksis, Harzis, Tiroolis, Rootsis ja mitmes kohas USA-s.

Meliliit. $(Ca, Na)_2(Mg, Al)[(Si, Al)_2O_7]$.

Tetragoon-skalenoeedriline; $a : c = 1 : 0{,}46$. Kristallid väikesed; esinevad {001}, {100}, {110}, {310} ja {111}.

Lõhevus vahel selge {001} järgi. K. 5—5½. E.-k. 2,9—3,0. Klaasiläige. Selge, enamikus sogane. Värvitu; kollane, hall või pruun (meekarva). Optiliselt sageli anomaalsed interferentsvärvid ja vöödiline struktuur.

Väga muutlik keemiline koostis; varieerub kahe piirimineraali vahel: üks ilma Ca-ta ja teine ilma Mg-ta. J.-t. ees sulab visalt; HCl-s lahustub kergesti, eraldades SiO_2 geli.

On oluline koosteosa mõningais basaltides (Koloraado, Ida-Aafrika, Lõuna-Saksamaa). Kunstlikult tekib mõningates tsementides ja räbudes.

SiO_4 TETRAEEDRID KOLMEMÕÕTMELISTES 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 asenduda Al-ga. Mõningad elemendid või elementide rühmad, eriti suured anioonid OH, SO_4, CO_3, 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 isomorfselt 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.

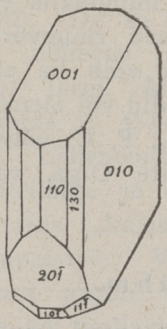
Ortoklaasi peetakse monokliinseks (prismaline klass), kuid sama keemilise koostisega esinev mikrokliin on trikliinne (pinakoidne klass); ab ja an segud, mis ühendatakse ühisesse plagioklaaside rühma, on samuti trikliinsed (pinakoidne klass).

Ortoklaas. $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$.

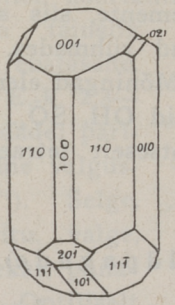
$a : b : c = 0{,}652 : 1 : 0{,}555$; $\beta = 63^0\,57'$. Ruumvõre ei ole veel täpselt määratud, kuid ühikrakukese mõõtmed on $a = 13{,}2$, $b = 13{,}1$, $c = 8{,}6$ Å. Esinevad $\{001\}$, $\{010\}$, $\{110\}$, $\{130\}$, $\{11\bar{1}\}$. $\{021\}$, $\{100\}$, $\{20\bar{1}\}$, $\{10\bar{1}\}$ ja $\{20\bar{3}\}$. 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.

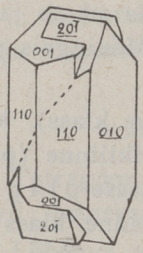


Joon. 217.

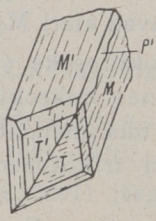
2) baveno kaksikud — kaksikpinnaks (*021*) (vt. joon. 219, kus *M* on {*010*}, *P* {*001*} ja *T* {*110*}; teisel komponendil märgiga); nad on alati [*100*] järgi pikergused;

3) manebahi-kaksikuil on kaksikpinnaks (*001*) (vt. joon. 220); ka need on [*100*] järgi pikergused.

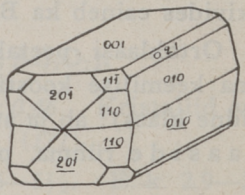
Lõhevus täiuslik {*001*} järgi, vähem täiuslik {*010*} järgi; mõnedel ilmnevad veel täiendavad lõhevussuunad. Murd kas ebatasane või killuline. Habras. K. 6. E.-k. 2,53—2,56. Vesiselge kuni täiesti sogane. {*001*}-l harilikult pärlmutriläige, muidu aga klaasiläige. Värvitu harva, harilikult valge, hall, punakas või rohekas. $\alpha = 1{,}519$, $\gamma = 1{,}525$; $2V = 0$ kuni 70^0.



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;

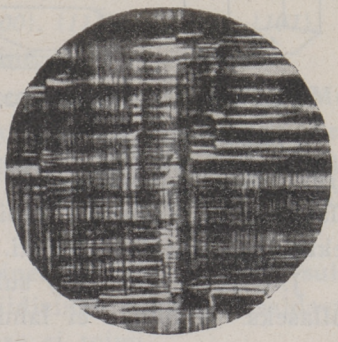
2) sanidiini — hall, hilisvulkaanilistes laavades esinev, tugeva klaasiläikega ja sageli lõhenenud pindadega; sanidiinis esineb ka Na_2O, kuid ta ei ole eraldunud albiidilamellide näol;

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 maakoores. Graniitide, süeniitide ja mõningate teiste tardkivimite oluline koosteosa; 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 mikroskoobi all selgub, et ta koosneb trikliinseist lamellidest, mis moodustavad korduvaid kaksikuid albiidi ja perikliini seaduse järgi (vt. allpool albiidi juures!), mispärast mikroskoopiline pilt ristinikolite all ilmub iseloomustava võrguna (joon. 221).



Joon. 221.

Lõhevus täiuslik {*001*} ja {*010*} järgi. K. 6. E.-k. 2,54—2,57. Läige, 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. $\alpha = 1{,}518$, $\beta = 1{,}525$; $2V = 83^0$.

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.

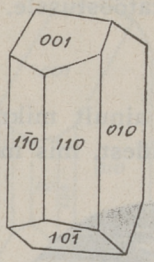
Albiit. $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$.

$a : b : c = 0{,}663 : 1 : 0{,}558$; $\alpha = 94^0\,3'$, $\beta = 116^0\,29'$, $\gamma = 88^0\,9'$. Kristallid tahveljad {*010*} järgi (joon. 222) või pikergused [*010*] järgi („perikliin") (joon. 223). Esineb ka tiheda, plaatja või teralise massina. Kaksikud sagedad:

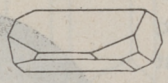
1) a l b i i d i seaduse järgi: kaksikpind on (*010*) (joon. 224); sageli korduv lamellaarselt;

2) p e r i k l i i n i s e a d u s — kaksiktelg on [*010*]; kokkukasvamine toimub kas (*001*) kaudu või pinna kaudu, mis baasiga moodustab 21° nurga (joon. 225). Albiidi kaksikud esinevad ka

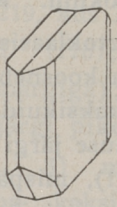
ortoklaasi puhul mainitud karlsbadi, baveno ja manebahi seaduse järgi, kuid sel juhul võib igaüht neist kahte seadusse jagunevaks tunnistada. Pole haruldane ka kahe kaksikuseaduse esinemine korraga, näit. albiidikaksikud võivad ühineda karlsbadi seaduse järgi.



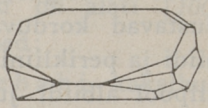
Joon. 222.



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° t°-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 purskekivimeis sagedane. — Kui an osa veelgi suureneb (kuni 1 ab 6 an), siis nimetatakse säärast päevakivi, kuigi ta labradoriidiga väga sarnaneb, b ü t o v n i i d i k s.

Anortiit. $CaO . Al_2O_3 . 2SiO_2$ (1ab 6an — 1an).

$a : b : c = 0{,}635 : 1 : 0{,}550$; $\alpha = 93^0\,13'$, $\beta = 115^0\,55'$, $\gamma = 91^0\,12'$. 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. $\alpha = 1{,}575$, $\gamma = 1{,}588$; $2V = 77^0$.

J.-t. ees sulab visalt. Happeis lahustub SiO_2 geli eraldamisega.

Väga aluseliste tardkivimite ja neist võrsunud moonekivimite osa. Ka metallurgiaräbudes sagedane.

Skapoliit m($CaCO_3$. 3an) . n(NaCl . 3ab).

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. ω muutub 1,539-st 1,596-ni; ε 1,537-st kuni 1,557-ni.

Cl-sisaldus kuni 4,2%; mõnes esineb ka SO_3. J.-t. ees sulab; leek kollane. HCl lahustab anortiidiainet rohkem sisaldavaid, kuna rohkem albiidiainet sisaldavaisse ei toimi.

Peaaegu puhtaid $CaCO_3$. 3an-skapoliite nimetatakse meioniidiks, puhtaid NaCl . 3ab-skapoliite — marialiidiks. Skapoliit tekib kuuma vee toimel põldpagudele, esineb metamorfseis lubjakivides ning tardkivimites Ca assimileerimise puhul.

Nefeliin (eleoliit). $NaAlSiO_4$.

Heksagoon-püramiidne; $a : c = 1 : 0{,}839$. Ruumvõre nagu α-tridümiidil, kus pooltes 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. 5½—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 SiO_2 geli. Pulber annab leelisese reaktsiooni.

Sogaseid, halle, punakaid või sinakaid liike, mis on eriti õlise läikega, nimetatakse eleoliidiks, kuna nefeliini nimetus kitsamas mõttes jääb selgeile, värskeile liikidele.

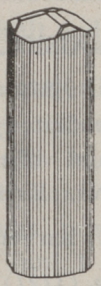
On oluline koosteosa paljudes süeniitides, fonoliitides ja basaltides. Nefeliinist loodetakse saada klaasi- ja nahaparkimistööstuse toormaterjali.

Turmaliin.

$M_{20}B_2Si_4O_{21}$ (M = K, Na, Li, Ca, Mg, Mn, Al, Fe; F; 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; välimust 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.



Joon. 226.



Joon. 227.

Lõhevus puudub. Murd konnakarpjas, ebatasane või killuline. Habras. K. 7—7½. E.-k. 3—3,2. Klaasiläige, murdepinnal ka pigiläige. Vesiselgest läbipaistmatuni. Värvitu (harva!), igasugustes värvides kuni pigimustani; sageli vöödiline või laiguline. $\omega = 1{,}639$ kuni 1,692, $\varepsilon = 1{,}620$ kuni 1,657. Tugev pleokroism; harilik kiir absorbeerub peaaegu täielikult. Tugev püroelektritsism.

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, pegmatiitide ja kontaktväljadega. Esineb ka kristall-kiltkivides ja inglistina leiukohtades. — Ilusavärvilisi selgeid turmaliine tarvitatakse kalliskividena; samuti tehakse heledavärvilistest polarisatsiooniriistu (turmaliin-tangid); pieso-turmaliinidena tarvitatakse raadio-saatejaamades laine stabilisaatoriteks.

Sodaliit. $3NaAlSiO_4 . NaCl$.

Heksakistetraeedriline. Ruumvõre sarnaneb α-kristobaliidi omaga. $a = 8{,}89$ Å. Kristallid väga harvad, peamiselt esineb $\{110\}$. Harilikult tihe ja plaatjas suuremate või väiksemate teradena.

Lõhevus mitte väga selge $\{110\}$ järgi. Murd konnakarpjas 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 SiO_2 geli.

Sodaliidi rühma kuuluvad samuti heksakistetraeedriliselt kristalliseeruvad noseaan, milles kolm nefeliini molekuli on seotud naatriumsulfaadiga: $3NaAlSiO_4 . Na_2SO_4$, ja haüüin, kus lisand on kaltsiumsulfaat: $3NaAlSiO_4 . CaSO_4$. Nende mõlemate omadused peaaegu sarnanevad sodaliidi omadega, ainult nende leiukohad on harilikult erinevad. Üldse on selle rühma mineraalid koos nefeliini ja leutsiidiga „päevakivide asendajad" SiO_2-vaesemates tardkivimites.

Lasuriit (lapis lazuli). $3NaAlSiO_4 . Na_2S$.

Samuti heksakistetraeedriline nagu sodaliit, mille rühma ta kuulub. Kristallid väga harvad ja väikesed. Harilikult teralisena, sageli FeS_2-sisaldusega.

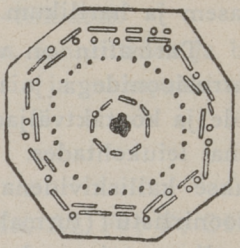
Lõhevus ebaselge $\{110\}$ järgi. Murd ebatasane. K. 5½. E.-k. 2,4. Klaasiläige. Läbipaistev, läbipaistmatu. Sinine ja hall. n umb. 1,5.

J.-t. ees sulab värvituks klaasiks. Happeis lahustub, eraldades H_2S ja SiO_2 geli.

Endistel aegadel andis värvainet — loomulikku ultramariini, nüüd tarvitatakse ainult ehteasjakesteks. Toodetakse Afganistanis (Badohšan), Siberis (Sljudjanka jõgi), Tšiilis (Ovalle) ja Kalifornias.

Leutsiit. $KAlSi_2O_6$.

Alla 600° C romb-bipüramiidne, kõrgemal temperatuuril düakisdodekaeedriline. Väline kuju vastabki alati viimasele sümmeetriaklassile ja leutsiit esineb peaaegu eranditult sissekasvanud deltoid-ikositetraeedritena {*211*} (leutsitoeedritena), olles aga madalas t°-s sisemise ehituse järgi rombiliste korduvate kaksikute agregaadiks.



Joon. 228.

Lõhevust ei ole märgata. Murd konnakarpjas. Habras. K. 5½—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 vöödiline asetus (joon. 228).

Võib sisaldada ka pisut Na, Rb ja Li. J.-t. ees ei sula. Happeis lahustub, kuid SiO_2 geli asemel räni sadestub pulbrina.

On sagedane mineraal aluselistes purskekivimites (basaldid, fonoliidid jne.). Itaalias saadakse temast kaaliväetist ja maarjast alumiiniumitööstusele.

Zeoliitide rühm.

Vett sisaldavad silikaadid, keemiliselt lähedased päevakividele või nende „asendajatele". Ruumvõred koosnevad SiO_4 tetraeedritest, mis enamikus ühendatud kruvitaoliselt keeratud lõputuisse paeltesse. Vett ja ka mõningaid leelismetalle võib (näit. kuumutamisega) 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.

Natroliit („kiudzeoliit"). $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$.

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—5½. E.-k. 2,2. Klaasiläige, kiulistel ka siidiläige. Selge kuni ainult läbipaistev. Värvitu, valge, hall, kollakas, punakas, ka punane. $\alpha = 1{,}480$, $\gamma = 1{,}493$; $2V = 63^0$.

J.-t. ees sulab keedes kergesti läbipaistvaks klaasiks. Happeis lahustub, eraldades SiO_2 geli. — Natroliidi rühma kuuluvad ka kõik mineraalid, mis kujutavad siinkirjeldatud naatrium - zeoliidi isomorfseid segusid kaltsium - zeoliidiga: $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 3H_2O$, mida nimetatakse skoletsiidiks. Viimane kuulub monokliin-prismalisse klassi; tema murdumisindeksid on: $\alpha = 1{,}512$, $\gamma = 1{,}519$; $2V = 36^0$; muus osas on tema ja ka vahepealsete segude omadused sarnased natroliidi omadega.

Heulandiit ehk lehtzeoliit (saksa autoritel stilbiit).

$(Ca, Na_2)O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 0{,}403 : 1 : 0{,}479$; $\beta = 63^0\,40'$. Ruumvõre puudulikult tuntud, kuid tal on sarnasust lehtjate pseudoheksagoonsete struktuuridega. Kristallid tahveljad {*010*} järgi. Harilikult lehtjate, plaatjate või koorikjate kogumikena.

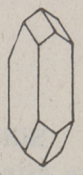
Lõhevus väga täiuslik {*010*} järgi. Murd ebatasane. Habras. K. 3½—4. E.-k. 2,2. Lõhenemispindadel pärlmutri-, mujal klaasiläige. Selge kuni läbipaistev. Värvitu, valge (hallikas, pruunikas), pruun. $\alpha = 1{,}498$, $\gamma = 1{,}505$.

Alati esineb ka Sr ja Na. J.-t. ees keeb ja sulab valgeks klaasiks. Happeis lahustub pulbritaolise SiO_2 jäägiga.

Desmiin ehk vihkzeoliit (inglise ja prantsuse autoritel stilbiit).

$(Na_2Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6H_2O$.

Monokliin-prismaline; $a : b : c = 0{,}762 : 1 : 1{,}194$; $\beta = 50^0\,50'$. Kristallid harilikult vihkjates kogumikes, omavad rombilist välimust, mis tingitud kaksikulisest ehitusest {*001*} järgi, kui kombineeruvad tahud {*110*}, {*010*} ja {*001*} (joon. 229).



Joon. 229.

Lõhevus täiuslik {*010*} järgi. Murd ebatasane. Habras. K. 3½—4. E.-k. 2,1—2,2. Lõhenemispindadel pärlmutri-, mujal klaasiläige. Selge, läbipaistev. Värvitu, valge, kollakas, harva punane. $\alpha = 1{,}494$, $\gamma = 1{,}500$; $2V = 33^0$.

CaO ja Na_2O vahekord kõigub 5 ja 6 vahel. J.-t. ees sulab visalt, ohtrasti punsudes. Happeis lahustub; SiO_2 eraldub limase pulbrina.

Väga sagedane zeoliit basaltide ja temasarnaste purskekivimite õõntes; leidub ka mõningais maagisoontes, eriti koos magnetiidiga.

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).

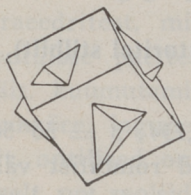
Analtsim. $NaAlSi_2O_6 . H_2O$.

Heksakisoktaeedriline. Ruumvõre puudulikult tuntud; $a = 13{,}7$ Å. 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. 5½. 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 SiO_2 geli.

Kabasiit (kuupzeoliit). $(Ca, Na_2)[2AlO_2 . 4SiO_2] . 6H_2O$.

Romboeedriline; $a : c = 1 : 1{,}086$. 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. 4½. 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 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 tähtsuseta. Nende esindajana vaatleme ainult titaniiti, mis neist on kõige levinum.

Titaniit (sfen). $CaTiSiO_5$.

Monokliin-prismaline. $a : b : c = 0{,}755 : 1 : 0{,}854$. $\beta = 60^0\ 17'$. Ruumvõre sarnaneb oliviinitaoliste silikaatide võrega. $a = 6{,}55$, $b = 8{,}70$, $c = 7{,}43$ Å. 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 konnakarpjas. 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°, punasele 34°. Mõned tumedamad pleokroiitilised.

Vahel on juurde segatud Fe, Y ja Ce. J.-t. ees ainult servades sulav. HCl ei lahusta, küll aga H_2SO_4.

Sagedane, kuid mitteoluline mineraal tard- kui ka moonekivimeis, eriti metamorfsetes lubjakivides. Värvilt ilusamad annavad kalliskive.

Orgaanilised ühendid.

Neist vaatleme ainult tähtsamaid, nimelt nafta, vaigu ja süte rühma.

Nafta (maaõli).

Mitmesuguste süsivesinikkude (C_nH_m) segud vedelal kujul. Eri leiukohtades on nafta omadused erinevad. Erinevus on tingitud oletatava algmaterjali mitmekesidusest 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_nH_{2n+2} ülekaaluga) või nafteenseid (süsivesinikud C_nH_{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 [1].

Kuumutamise teel eraldatakse naftast kerged õlid: bensiin, petrooleum; jääk annab kütteõli ja asfaltbituumeneid.

Ozokeriit (maavaha).

Ozokeriit on naftas lahustatud parafiinrea kõrgemate süsivesinikkude segu, mis vahataolise ainena 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°-s; lahustub bensoolis ja tärpentiinis. Leidub suurel hulgal Poolas, Rumeenias, Bakuus, Tšelekeni saarel (Kaspia meres) ja USA-s (Utah).

Püropissiit (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°-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

[1] 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, milledes siiski esinevad ka O, N ja S. Osa ainest lahustub orgaanilistes lahustites (bensool, väävelsüsinik jne.), osa ei lahustu.

Suurimad leiukohad on Trinidadi 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.

Mineraalsöed 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 vananemist soodustavad ka rõhu ja soojuse kõrgenemine söekihis. Vaatleme süsi, alates nooremaist.

Turvas.

Koosneb veel hästi eristatavaist taimeosadest, milledes 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 Saksamaal (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 kivisüsi ei kujuta mineraali, kuid väärib 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 suurendusel 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 $CaCO_3$-s sisalduv 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 pinnakate.

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 arhaikumis, kaua enne paleozoikumi algust.

Pealiskorra paleozoikumi setekivimid tekkisid kliimaoludega määratud temperatuurides, sündides oluliselt vees kas organismide (lubjakivid, põlevkivi, fosforiit) või keemiliste tegurite (kips) toimel. Peale selle esineb neis rohkesti ümbersettinud silikaatmineraale, mis on pärit kristalsetest kivimitest. Ordoviitsiumi 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 lõhedes peamiselt kaltsiit ja püriit. Sel viisil võime kõnelda hilisest madalatemperatuurilisest kaltsiidisoonte (tekkeliselt diaklaassoonte) 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 ($CaCO_3$ 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:

Mineraalide geneetiline klassifikatsioon / Litosfääri profiil ja ajaline astendus Eestis		Süngeneetiline järk		Epigeneetiline järk	
		allotigeenne aines	autigeenne aines		allotigeenne aines
Pinnakate		Kruusad, liivad, savid, rändkivid	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 rauaoksüüdid 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	? Adavere galeniit
	Ordoviitsium	Obolus-liiva räni, diktüoneemakilda saviaines jt.	Põlevkivi, obolus-fosforiit, glaukoniit, ooidid jt.	Sekundaarsed dolomiitkivid	
	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 toimel; sekundaarsed dolomiidid on ulatusliku metasomatoosi tulemus. Selle dolomiidistumise kõrvalharuks oli võibolla 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 kaaslasi 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, paemurdudes, 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 romboeedrilisi 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).

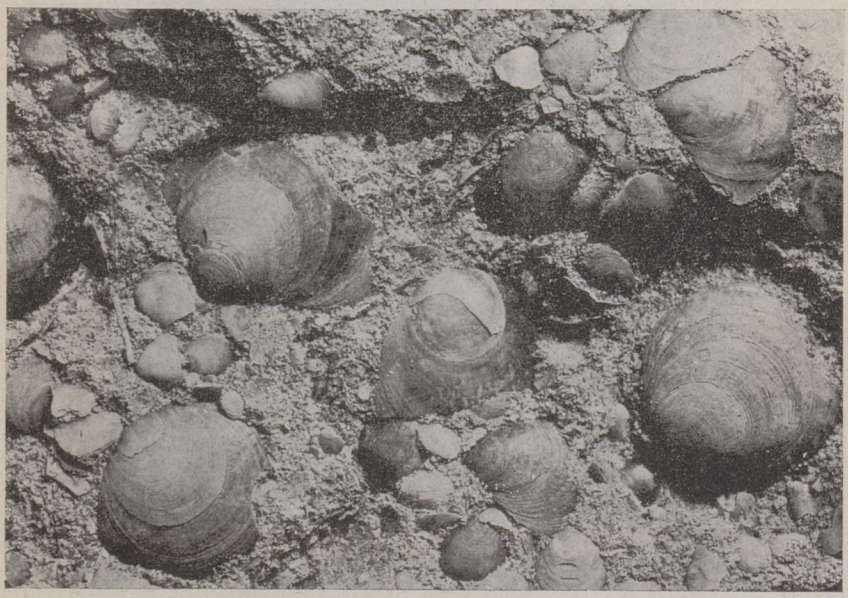
Guaanot, peamiselt tuvide oma, leidub vanades varemetes ja vanade majade pööningutel. Suurim hulk seda fosfaati toodeti mõne aasta eest Irboska varemetes.

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 % $CaCO_3$.

Galeniit. Ammusest ajast tuntud galeniidi leiukohti on Viljandimaal Pilistvere, 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 leidub jällegi Adavere lademe dolomiitkivides koos püriidiga. Peale selle leidub teda Tallinna ümbruses diaklaassoontes, kohati siluri lubjakivides Läänemaal ja mujal.

Glaukoniit. See roheline sedimentaarne autigeenne süngeneetiline meretekkeline kaali-magneesia-raua- (vilku meenutav) silikaat esineb terakestena kambriumi liivakivis, glaukoniitlubjakivis, eriti aga alamordoviitsiumi glaukoniitliivakivis. 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 pinnakattes, 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. Romboedrilised dolomiidikristallid. Adavere lade. Mineral.-laborat., Tartu.

Götiit ($Fe_2O_3 . H_2O$) 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 stalaktiitidena.

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 skalenoeedritest ja romboeedritest. Sageli on kristallid õõnsad ja muutunud sekundaarselt dolomiidiks. Nende pseudomorfooside kaltsiidilist algupära reedab skalenoeeder, 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 lademete 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. Ook-

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 markasiidikihiks, olgugi mittepõhjendatult. Tegelikult on markasiiti ainult kristallides leitud mõnel korral koos



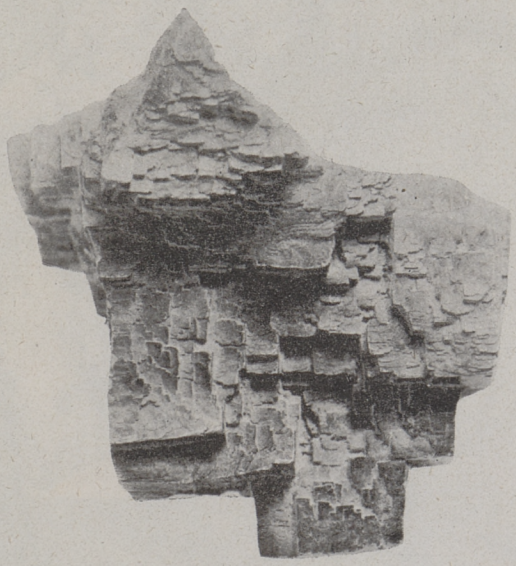
Joon. 237. Kvartsikristallide pesa õõnsas kivistises, Porkuni lade. Mineral.-laborat. Tartu.

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 kubooktaeeder. Püritoeeder 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% FeS_2, kuna muu osa on kvartsliiv ja obolus-fosfaat.



Joon. 238. Püriit, Saastamaa, 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 kivistisõõntes, 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.

T u l e k i v i (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 kaltsedoniks. 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. Värskelt valge, õhus siniseks muutuv muldjas vivianiit on sage turbas ning turbaga seotud gyttjas. Peale selle esineb ta obolus-fosforiidi murenemise saadusena kohati paekalda läheduses.

Peale loendatud mineraalide esineb meil veel harva 1) asfaltiiti siluri ja ordoviitsiumi lubjakivides ning põlevkivis, 2) kivisütt 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	Kivisüsi	2,62	Kaltsedon		(kuni 4,3)
1,5	Antratsiit	2,63	Eleoliit	3,15	Tremoliit
1,6	Karnalliit	2,64	Oligoklaas	3,15	Fluoriit
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	Krüsokoll	2,71	Kaltsiit	3,23	Sillimaniit
2,13	Kainiit	2,72	Kallaiit	3,25	Kroküdoliit
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	Krüsotiil	2,77	Berüll	3,30	Küünekivi
2,23	Natroliit	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	Stauroliit	4,65	Kovelliin	6,19	Kobaltiin
3,71	Strontsianiit	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	Galeniit
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	Hõbe
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	Šeeliit	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, kovelliin, molübdeniit, pürofülliit, realgaar, tšiilisalpeeter, turingiit, väävel.

„ 2: antimoniit, argentiit, glaukoniit, haliit, kerargüriit, klinokloor, penniin, pürolusiit, šamosiit, sülviin.

„ 2—3: anglesiit, biotiit, booraks, epsomiit, flogopiit, galeniit, hõbe, kalkosiin, kinaver, krokoiit, krüoliit, kuld, lepidoliit, merivaht, merivaik, muskoviit, prustiit, pürargüriit, stefaniit, tsinvaldiit, vasevitriol, vask, vismut.

„ 3: borniit, burnoniit, garnieriit, kainiit, kaltsiit, krüsokoll, mulliit, vanadiniit, vulfeniit.

„ 3—4: aluniit, anhüdriit, aragoniit, arseen, asuriit, barüüt, brokantiit, kupriit, desmiin, dolomiit, enargiit, heulandiit, kalkopüriit, kiseriit, malahhiit, milleriit, pentlandiit, püromorfiit, serpentiin, sfaleriit, strontsianiit, tetraedriit, tsölestiin, viteriit, vurtsiit, tserussiit.

„ 4: fluoriit, küaniit, magnetpüriit, manganiit, margariit, rodokrosiit, uraniniit.

„ 4—5: apofülliit, kabasiit, magnesiit, plaatina, raud, sideriit, šeeliit, tsinkiit, vollastoniit.

„ 5: apatiit, dioptaas, hemimorfiit, kloantiit, limoniit, löllingiit, smaltiin, smitsoniit, sodaliit.

„ 5—6: aktinoliit, amfibool, analtsim, anataas, antofülliit, arseenopüriit, brontsiit, brukiit, diopsiid, enstatiit, hüpersteen, ilmeniit, kallaiit, kobaltiin, kromiit, lasuriit, leutsiit, magnetiit, meliliit, monatsiit, natroliit, nefeliin, nikeliin, ortiit, psilomelaan, skapoliit, titaniit, villemiit, volframiit.

Kõvadus 6: augiit, kolumbiit, mikrokliin, opaal, ortoklaas, pürolusiit, rodoniit, spodumeen, tantaliit, uraniniit, zoisiit.

„ 6—7: albiit, anortiit, brauniit, epidoot, frankliniit, jadeiit, kassiteriit, kloritoid, kristobaliit, markasiit, oliviin, polianiit, püriit, rutiil, sillimaniit, sperrüliit, tridümiit, vesuviaan.

„ 7: boratsiit, granaat, küaniit, räni.

„ 7—8: andalusiit, berüll, datoliit, euklaas, fenakiit, kordieriit, stauroliit, 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, sülviin, teemant, uraniniit, vask.

Heksakistetraeedriline klass: boratsiit, lasuriit, sfaleriit, sodaliit, tetraedriit.

Düakisdodekaeedriline klass: kloantiit, leutsiit, püriit, smaltiin, sperrüliit.

Pentagoon-ikositetraeedriline klass: kupriit.

Tetraedrilis-pentagoondodekaeedriline klass: kobaltiin.

Heksagoonne süsteem.

Diheksagoon-bipüramiidne klass: berüll, grafiit, kovelliin, nikeliin.

Diheksagoon-püramiidne klass: magnetpüriit, tsinkiit, vurtsiit.

Ditrigoon-skalenoeedriline klass: aluniit, arseen, hematiit, kaltsiit, korund, rodokrosiit, sideriit, smitsoniit, tšiili salpeeter, vismut.

Ditrigoon-püramiidne klass: milleriit, prustiit, pürargüriit, turmaliin.

Heksagoon-bipüramiidne klass: apatiit, molübdeniit, püromorfiit, vanadiniit.

Trigoon-trapetsoeedriline klass: kinaver, räni.

Heksagoon-püramiidne klass: nefeliin.

Romboeedriline klass: kabasiit, dioptaas, dolomiit, fenakiit, ilmeniit, magnesiit, villemiit.

Tetragoonne süsteem.

Ditetragoon-bipüramiidne klass: anataas, apofülliit, brauniit, kassiteriit, kristobaliit, polianiit, rutiil, tsirkoon, vesuviaan.

Tetragoon-skalenoeedriline klass: kalkopüriit, melliliit.

Tetragoon-bipüramiidne klass: β-argentiit, skapoliit.

Tetragoon-püramiidne klass: šeeliit, vulfeniit.

Rombiline süsteem.

Bipüramiidne klass: andalusiit, anglesiit, anhüdriit, antimoniit, antofülliit, aragoniit, arseenopüriit, barüüt, boratsiit, brokantiit, brontsiit, brukiit, burnoniit, enargiit, enstatiit, hüpersteen, β-kalkosiin, karnalliit, kolumbiit, kordieriit, krüsoberüll, leutsiit, limoniit, löllingiit, manganiit, markasiit, mulliit, natroliit, oliviin, pürofülliit, 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, vollastoniit.

Mineraalide saksakeelne nimestik.

Achroit — akroiit
Adular — adulaar
Agalmatolith — agalmatoliit
Ägirin — ägiriin
Akmit — akmiit
Aktinolith — aktinoliit
Alabaster — alabaster
Alaunstein — aluniit
Albit — albiit
Alexandrit — aleksandriit
Allanit — allaniit
Almandin — almandiin
Alunit — aluniit
Alumogel — boksiit
Amethyst — ametüst
Amiant — amiant
Amphibol — amfibool
Analcim — analtsim
Anatas — anataas
Andalusit — andalusiit
Andesin — andesiin
Anglesit — anglesiit
Anhydrit — anhüdriit
Anorthit — anortiit
Antophyllit — antofülliit
Anthracit — antratsiit
Antigorit — antigoriit
Antimonglanz, Antimonit — antimoniit
Antimonsilberblende — pürargüriit
Apatit — apatiit
Aplom — aploom
Apophyllit — apofülliit
Aquamarin — akvamariin
Aragonit — aragoniit
Arfvedsonit — arfvedsoniit
Argentit — argentiit
Arsen — arseen
Arseneisen, Arsenikalkies — löllingiit
Arsenkies — arseenopüriit
Arsensilberblende — prustiit
Asbest — asbest
Asphalt — asfalt
Augit — augiit
Auripigment — auripigment
Aventurin — aventuriin
Azurit — asuriit

Baryt — barüüt
Bauxit, Beauxit — boksiit
Bergkristall — mäekristall
Bergleder — mäenahk
Bernstein — merivaik
Beryll — berüll
Bittersalz — epsomiit, mõrusool
Bitterspat — magnesiit, dolomiit
Blätterzeolith — heulandiit
Bleiglanz — galeniit
Blende — sfaleriit
Bolus — boolus
Boracit — boratsiit
Borax — booraks
Bornit — borniit
Bort — bort
Bournonit — burnoniit
Brauneisenerz — limoniit
Braunit — brauniit
Braunspat — dolomiit
Brochantit — brokantiit
Bronzit — brontsiit
Brookit — brukiit
Buntkupferkies — borniit
Byssolith — aktinoliit
Bytownit — bütovniit

Calamin — hemimorfiit, kalamiin
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 — sülviin
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 — dikiit
Diopsid — diopsiid
Dioptas — dioptaas
Disthen — disteen
Dolomit — dolomiit

Eisen — raud
Eisenglanz — hematiit
Eisenkies — püriit
Eisennickelkies — pentlandiit
Eisenspat — sideriit
Eläoliith — 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 — haüiin
Heliotrop — heliotroop
Hemimorphit — hemimorfiit
Hessonit — hessoniit
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
Jaspis — jaspis

Kainit — kainiit
Kaliglimmer — kaalivilk
Kalkchromgranat — uvaroviit
Kalkeisengranat — andradiit
Kalkglimmer — lubivilk
Kalkspat — kaltsiit
Kalktongranat — grossulaar
Kallait — kallaiit
Kaolin, Kaolinit — kaoliniit
Kassiterit — kassiteriit
Kieselgalmei — hemimorfiit
Kieselkupfer, Kieselmalachit — krüsokoll
Kieselzinkerz — hemimorfiit
Kieserit — kiseriit
Klinochlor — klinokloor
Klinozoisit — klinotsoisiit
Kobaltglanz, Kobaltin — kobaltiin
Korund — korund
Krokoit — krokoiit
Kryolith — krüoliit
Kunzit — kuntsiit
Kupfer — vask
Kupferglanz — kalkosiin
Kupferindig, Kupferlasur — vaselasuur
Kupferkies — vasepüriit
Kupfervitriol — vasevitriol
Kyanit — küaniit

Labrador — labradoriit
Lapislazuli, Lasurit, Lasurstein — lasuriit
Lepidolith — lepidoliit
Leucit — leutsiit
Limonit — limoniit
Löllingit — löllingiit

Magnesiaeisenglimmer — biotiit
Magnesiatongranat — püroop
Magnesit — magnesiit
Magneteisenerz — magnetiit
Magnetit — magnetiit
Magnetkies — magnetpüriit
Malachit — malahhiit
Malakolith — malakoliit
Manganit — manganiit
Manganspat — rodokrosiit
Mangantongranat — spessartiin
Markasit — markasiit
Marmor — marmor
Meerschaum — merivaht
Melanglanz — stefaniit
Melanit — melaniit
Melilith — meliliit
Mikroklin — mikrokliin
Millerit — milleriit
Mispickel — arseenopüriit
Molybdänglanz, Molybdänit — molübdeniit
Monazit — monatsiit
Mondstein — kuukivi
Morion — moorion
Mullit — mulliit
Muskovit — muskoviit

Nakrit — nakriit
Natrolith — natroliit
Natronglimmer — paragoniit
Natronmesotyp — natroliit
Natronsalpeter — tšiili salpeeter
Nephelin — nefeliin
Nephrit — nefriit
Nickelin — nikeliin
Niobit — niobiit
Nosean — noseaan
Numeait — garnieriit

Oligoklas — oligoklaas
Olivin — oliviin
Omphacit — omfatsiit
Onyx — oonüks
Opal — opaal
Orthit — ortiit
Orthoklas — ortoklaas
Ottrelith — otreliit
Ozokerit — osokeriit

Paragonit — paragoniit
Pargasit — pargasiit
Pechblende — uraniniit
Pennin — penniin
Pentlandit — pentlandiit
Peridot — peridoot
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 — pürofülliit
Pyroxen — pürokseen
Pyrrhotin — pürrotiin

Quarz — räni

Rauchquarz — suitsuräni, -topaas
Rauschgelb — auripigment
Rauschrot, Realgar — realgaar
Reichardtit — epsomiit
Rhodochrosit — rodokrosiit
Rhodonit — rodoniit
Riebeckit — ribekiit
Rotbleierz — krokoiit
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 — sardoonüks
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
Sperrylith — sperrüliit
Spessartin — spessartiin
Sphalerit — sfaleriit
Sphen — titaniit
Spinell — spinell
Spodumen — spodumeen
Sprödglaserz — stefaniit
Staurolith — stauroliit
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, kallaiit
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 — vurtsiit

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
Agalmatoliit, vt. pürofülliit
Ahhaat, vt. räni
Akmiit, vt. egiriin
Aktinoliit 229
Akroiit, vt. turmaliin
Akvamariin, vt. berüll
Alabaster, vt. kips
Albiit 241
Aleksandriit, vt. krüsoberüll
Allaniit, vt. ortiit
Almandiin, vt. granaat
Aluniit 201
Amatsoniit, vt. mikrokliin
Ametüst, vt. räni
Amfibool 228, 230
Amiant, vt. aktinoliit
Analtsim 248
Anataas 171
Andalusiit 218, 219
Andesiin, vt. albiit
Andradiit, vt. granaat
Anglesiit 198
Anhüdriit 198
Anortiit 242
Antigoriit, vt. serpentiin
Antimoniit 147
Antimonimaak, must, vt. burnoniit
Antofülliit 229
Antratsiit, vt. kivisüsi
Apatiit 206
Aploom, vt. granaat
Apofülliit 238
Aragoniit 193
Arfvedsoniit, vt. amfibool
Argentiit 156
Arseen 140
Arseenopüriit 153
Asbest, vt. serpentiin
Asfalt 251
Asuriit 196
Augiit 226
Auripigment 146
Avaruiit, vt. raud
Aventuriin, vt. räni

Baleerubiin, vt. spinell
Barüüt 197
Benitoiit 222
Berüll 222
Biotiit 233
Bläkbänd, vt. sideriit
Boksiit 179
Boolus, vt. kaoliniit
Booraks 188
Boratsiit 188
Borniit 160
Bort, vt. teemant
Brauniit 178
Brokantiit 201
Brontsiit 224
Brukiit 171
Burnoniit 161
Bütovniit, vt. albiit

Carbonado, vt. teemant

Datoliit 221
Demantoid, vt. granaat
Desmiin 247
Diallaag, vt. diopsiid
Diaspoor 178
Dikiit, vt. kaoliniit
Dikroiit, vt. kordieriit
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. oliviin
Fassaiit, vt. augiit
Fenakiit 212
Fibroliit, vt. sillimaniit
Fillipsiit, vt. desmiin
Flogopiit 233
Fluoriit 186
Forsteriit, vt. oliviin
Fosforiit, vt. apatiit
Frankliniit 181

Galeniit 155
Garnieriit 237
Gedriit, vt. antofülliit
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
Hessoniit, vt. granaat
Heulandiit 247
Hideniit, vt. spodumeen
Hõbe 142
Hõbedamaak, helepunane, vt. prustiit
„ must, vt. stefaniit
„ tumepunane, vt. pürargüriit
Hõbedasarvmaak, vt. kerargüriit
Hõbekloriid, vt. kerargüriit
Hõbeläige, vt. argentiit
Hüaliit, vt. opaal
Hüatsint, vt. tsirkoon
Hüdrargilliit 178
Hüpersteen 225

Idokraas, vt. vesuviaan
Ihtüoftalm, vt. apofülliit
Ilmeniit 178
Indigoliit, vt. turmaliin
Inglistinakivi, vt. kassiteriit
Islandi pagu, vt. kaltsiit

Jadeiit 227
Jaspis, vt. räni

Kaalipõldpagu, vt. ortoklaas
Kaaliumkloriid, vt. sülviin
Kaalivilk, vt. muskoviit
Kabasiit 248
Kainiit 202
Kalamiin, vt. hemimorfiit
Kalasilm, vt. apofülliit
Kalkantiit, vt. vasevitriol
Kalkopüriit 159
Kalkosiin 157
Kallaiit 207
Kaltsedon, 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. vulfeniit
Kolumbiit 208
Koobaltläige, 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
Küünekivi, 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
Magneesiavilk, 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
Meteoorne 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. tšiilisalpeeter
Nafta 250

Nakriit, vt. kaoliniit
Natroliit 246
Nefeliin 243
Nefriit, vt. aktinoliit
Nikeliin 151
Niobiit, vt. kolumbiit
Noseaan, vt. sodaliit
Nõel-rauamaak, vt. limoniit

Oligoklaas, vt. albiit
Oliviin 211
Omfatsiit, vt. augiit
Ooker, vt. limoniit
Ooliit, vt. kaltsiit
Oonüks, vt. räni
Opaal 169
Operment, vt. auripigment
Ortiit 215
Ortoklaas 239
Osokeriit 251
Otreliit, vt. margariit

Paragoniit, vt. muskoviit
Pargasiit, vt. amfibool
Peliit, vt. kaoliniit
Penniin 235
Pentlandiit 150
Peridoot, vt. oliviin
Pertiit, vt. ortoklaas
Piimräni, vt. räni
Pildikivi, vt. talk
Pistatsiit, vt. epidoot
Plaatina 145
Plagioklaas 239
Plasma, vt. räni
Pliiläige, vt. galeniit
Polianiit 173
Portselansavi, vt. kaoliniit
Potikivi, vt. talk
Praasem, vt. räni
Prasopaal, vt. opaal
Prustiit 161
Pruunsüsi 252
Psilomelaan 173
Punane rauamaak, vt. hematiit
Punane seatinamaak, vt. krokoiit
Puutina, vt. kassiteriit
Põldpagu, vt. päevakivi

Päevakivi 239—242
Pürargüriit 160
Püriit 151
Pürofülliit 231
Pürokseen 224—228
Pürolusiit 173
Püromorfiit 207
Püroop, vt. granaat
Püropissiit 251
Pürrotiin, vt. magnetpüriit

Raskepagu, vt. barüüt
Ratasmaak, vt. burnoniit
Rauamaak, punane, vt. hematiit
Rauapagu, vt. sideriit
Raud 144
Realgaar 146
Ribekiit, vt. amfibool
Rodokrosiit 192
Rodoniit 228
Roheline seatinamaak, vt. püromorfiit
Roosakvarts, vt. räni
Rubelliit, vt. turmaliin
Rubitsell, vt. spinell
Rubiin, vt. korund
Rubiinspinell, vt. spinell
Rutiil 170
Räni 164, 165
Ränimalahhiit, vt. krüsokoll

Safiir, vt. korund
Safiirräni, vt. räni
Sanidiin, vt. ortoklaas
Sardoonüks, vt. räni
Sarvkivi, vt. kaoliniit
Seatinaläige, vt. galeniit
Seatinamaak, punane, vt. krokoiit
„ kollane, vt. vulfeniit
„ roheline, vt. püromorfiit
„ valge, vt. tserussiit
Seatinavitriol, vt. anglesiit
Seleniit, vt. kips
Sepioliit, vt. merivaht
Seritsiit 232

Serpentiin 236
Sfaleriit 148
Sfeen, vt. titaniit
Sideriit 191
Sillimaniit 218, 219
Skapoliit 243
Skoletsiit, 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
Suktsiniit, 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
Titaniit 249
Topaas 217
Tremoliit, vt. aktinoliit
Tridümiit 168
Troiliit, vt. magnetpüriit
Troostiit, vt. villemiit
Tserussiit 195
Tsingimaak, punane, vt. tsinkiit
Tsingipagu, vt. smitsoniit
Tsinkiit 174
Tsinnabariit, vt. kinaver
Tsinvaldiit 234
Tsirkoon 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
Vaseläige, vt. kalkosiin
Vasemaak, punane, vt. kupriit
Vasepüriit, vt. kalkopüriit
Vaseroheline, vt. krüsokoll
Vasevitriol 201
Vask 143
Vesuviaan 220
Vihkzeoliit, vt. desmiin
Vilk 232—234
Villemiit 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
Aksonomeetriline 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
„ ristis 94
„ viltune 94
Ditetragoon-bipüramiidne klass 53, 61
Ditetragoonne bipüramiid 53
„ prisma 50, 52, 55
„ püramiid 50
„ skalenoeeder 52
Ditetragoon-püramiidne klass 50
Ditrigoon-bipüramiidne klass 53, 60
Ditrigoonne bipüramiid 50, 53
„ prisma 50, 53, 54
„ püramiid 50
„ skalenoeeder 52
Ditrigoon-püramiidne klass 50,60
„ -skalenoeedriline klass 52, 60
Dooma 47
Doomaline klass 47
Druus 72
Düakisdodekaeeder 57
Düakisdodekaeedriline klass 57, 60
Dünamometamorfoos 118

Ebaharilik kiir 75
Elektrilised omadused 108
Elektron 13
Elementide sagedus maakoores 12
Ellipsoid, optiline 76
Enantiomorfism 46
Erikaal 109
Erisoojus 107
Esimese järgu punase kipsplaadike 89
Eutektikum 115

Fluorestseerimine 100
Fosforestsents 100
„ , katood- 100
Fosforsoola helmes 124

Gibbs'i reegel 112
Gnomostereograafiline projektsioon 31
Goldschmidti reegel 112

Harilik kiir 75
Heksaeeder (kuup) 56, 57, 58, 59
Heksagoon-bipüramiidne klass 49, 60
„ -püramiidne klass 46, 60
„ -trapetsoeedriline klass 55, 60
Heksagoonne bipüramiid 49, 52, 53, 55
„ prisma 46, 49, 52, 53, 54, 55
„ püramiid 46
Heksagoonne süsteem 59
Heksagoonne trapetsoeeder 55
Heksakisoktaeeder 58
Heksakisoktaeedriline klass 58, 60
Heksakistetraeeder 58
Heksakistetraeedriline 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
„ polüsünteetilised 69
„ puute- 69
Kaksiku tasapind 68
„ telg 68
Katood-fosforestsents 100
Keemilised omadused 120
Kiil ränist 87, 88
Kipsplaadike, esimese järgu punase 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 kokkukasvamine 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
Kuuik-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
Läige 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 sümmeetriaelementide vahekord 93
Optiliselt kaheteljelised mineraalid 76
Optiliste telgede dispersioon 94
Ortoskoop 83, 84

Paisumine, termiline 107
Pakkimisviis, tihedam 17
Paralleelne kokkukasvamine 68
Parameetrid 26
Parameetrite ratsionaalsuse seadus 27
Pealekasvanud kristall 71
Pedion 41
Pedioniline klass 41
Peegelpind 36
Pentagoon-dodekaeeder 56, 57, 58
Pentagoon-ikositetraeeder 57
Pentagoon-ikositetraedriline klass 57, 60
Piesoelekter 108
Piesoräni 109
Pikkus, stereograafilises projektsioonis 35
Pinakoid 42
Pinakoidne klass 42, 61
Pleokroism 99
Polaarkaugus, stereograafilises projektsioonis 35
Polaarsed teljed 46
Polarisaator 79
Polarisatsioonimikroskoop 79, 80
Polariseeritud valgus 74
Polümorfism 121
Polüsünteetilised kaksikud 69
Prooton 13
Pseudomorfoosid 121
Puutekaksikud 69
Põhiring 31
Pöördpeegeltelg 37
„ kaksik- 41, 37, 39
„ kuuik- 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
Rombdodekaeeder 56, 57, 58, 59
Rombiline bisfenoid 54
„ prisma 49, 52, 54
„ püramiid 49
„ süsteem 59
Romboeeder 47, 52, 54
Romboeedriline 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, sümmeetriaelementide vaheline 38
Söövitusmärgid 71
Sümmeetria 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
Tetraeedriline pentagoon-dodekaeeder 56
Tetraeedrilis-pentagoondodekaeedriline klass 56, 60
Tetragoon-bipüramiidne klass 49, 61
„ -bisfenoidne klass 45, 61
„ -püramiidne klass 45, 61
„ -skalenoeedriline klass 51, 61
„ -trapetsoeedriline 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
Tetrakisheksaeeder 58, 59
Translatsioon 103
Trapetsoeeder 54
„ heksagoonne 55
„ tetragoonne 55
„ trigoonne 54
Triakisoktaeeder 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
„ -trapetsoeedriline klass 54, 60
Trikliinne süsteem 60
Trikroism 99

Valentsus 15
Valgus, polariseeritud 74
„ reflekteeritud 96
„ võnkumine 74
Valguse interferents kristallides 80
„ kiir 74
„ levimine kaheteljelisis kristalles 76, 91
„ levimine kuubilisis kristalles 75
„ levimine üheteljelisis kristalles 75, 89
Veerand λ vilk 89
Weissi sümbol 27
Vilk, $\frac{1}{4}\lambda$ 89
Viltu kustumine 85
Võimalikud sümmeetriaelemendid 41
Värvus, mineraalidel 97
Väävli dimorfism 113
Vöö, kristalli 35
Vööd, minerogeensed 117

Õhik 82
Õige kustumine 85

Ühiktahk 26

Eesti Teaduste Akadeemia Keskraamatukogu

2 DEC 1913

12.06.63.

EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU
1 0200 00183795 8