

ELAV TEADUS 32

# AINE SALADUSED



A- 7963

E L A V T E A D U S

EESTI KIRJANDUSE SELTSI

POPÜLAARTEADUSLIK SEERIA

TARTUS 1934 (№ 8) № 32

AINE SALADUSED

UUSI AVASTUSI AATOMITE

JA MOLEKULIDE MAAILMAS

AINE SALADUSED

29 JONST




SIR WILLIAM BRAGG

NOBELI AUHINNA OMANIK

# AINE SALADUSED

UUSI AVASTUSI AATOMITE  
JA MOLEKULIDE MAAILMAS

REDIGEERINUD



39 JOONIST

EESTI KIRJANDUSE SELTSI KIRJASTUS  
TARTU, 1934

N

TOIMETUS: [REDACTED] — TEGEV TOIMETAJA,  
D. PALGI — VASTUTAV TOIMETAJA, [REDACTED],  
[REDACTED], [REDACTED]



A-7963<sup>5529</sup>

## I.

### Aatomid, millest koosnevad kehad.

Ligi 2000 aasta eest kirjutas kuulus ladina luuletaja Lucretius traktaadi *De rerum natura* — „Asjade loomusest“. Selles väljendas ta vaateid, et õhk, vesi, muld ja kõik kehad Maa peal koosnevad määratu suurest hulgast kehakestest ehk korpuskulidest, mis alatiselt kiiresti liiguvad ja on nii väikesed, et nad pole nähtavad silmale. Selle oletusega oleksid seletatavad kõikide materiaalsete kehade omadused.

Lucretius ise pole oma luuletistes esitatud vaadete autor ega põhjendaja, ta ainult pani kirja selle kooli õpetused, mille tõelisuses ta oli veendunud. Sellele õpetusele tekkis teisest küljest vastuväitena teine vaade: ka kõige terasemal asjade sisemuse vaatlemisel kunagi ei õnnestu näha selles mingit struktuuri ehk ehitust. Kui jagada anum as olev vesi üksikuteks tilkadeks, need omakord jälle üksikuteks piiskadeks ja nii edasi, siis on ka pisim veepiisk omaduste poolest sama mis vesi anum as.

Lucretiuse järgi oleks võimalik saada sellisel jagamisel lõpuks iseseisvaid kehakesi, enam mittejagata- vaid aatomeid. Sõna aatom tähendas esialgses mõttes „jagamatu“.

Need kaks vaadet erinevad teineteisest määratu palju. Ühe järgi pole mingit mõtet uurida keha sise-

must, sest sellega ei saavutata midagi; teise järgi olevad keha üldomadused aatomeist, millest koosneb keha. Sel puhul oleks muidugi kasulik uurida, milline ehitus on aatomeil. Uurimustest on selgunud, et viimane vaade on palju tõenäosem esimesest.

Igatahes Lucretiusel polnud mingit aimu ega kujutlust sellest aatomiteooriast, mis praegusel ajal tunnustatud. Ta ei mõelnudki sellele, et on olemas mitut liiki aatomeid, samuti ka, et kõik ühe ja sama liigi aatomid on üksteisega sarnased. Viimane vaade on võrdlemisi uus: seda väljendas esimesena XIX sajandi algul John Dalton. Tänu sellele said võimalikuks suured edusammud keemias, samuti ka teiste teaduste aladel, mis kuidagi seotud keemiaga. On kerge mõista, et siis aatomite uurimine hoopis lihtsamaks muutub, kui on tegemist piiratud arvu isendite (indiviidide) liikidega, mitte aga lõputu hulga indiviidide liikidega.

Kui oleksime sunnitud tunnustama näit. vasetükis arvutat hulka mitmesuguseid indiviide, neid üksteisest eristama ja uurima, siis viiks see meid meeletele. Ent avastades, et vasetükki moodustavad aatomid on vaid ühte liiki ja et üldse kogu maailmas on olemas mitte palju aatomite liike, võime täie lootusega uurida nende omadusi ja määrata seadusi, mille järgi nad ühinevad. Aatomeid võib võrrelda kirjatähtedega, millest võib moodustada sõnu mitmel viisil. Nagu tähed nii ka aatomid ühinevad rühmadeks, mida nimetatakse molekulideks, kusjuures see ühinemine võib toimuda lõputa hulgas vahekordades. Sama analoogiat võib arendada veelgi. Nagu sõnad ühinevad lauseiks ja mõtteiks, nii moodustavad molekulid omakord kõige meid ümbritseva elutu ja elava looduse kõige oma mitmekesisusega.

Lucretius'e teorial puudus see oluline alusmõte, mis oleks võinud teha teda arenemisvõimeliseks. See-tõttu ta närtsis peagi. Sõna „aatom“ tarvitati vaid väikeste kehade nimetusena ilma lähema sisuta.

Loodust võime kujutleda kui ehitusmeistrit, kes valmistab kõik asjad, mis meid ümbritsevad, piiratud arvust aatomite liikidest, nagu majaehitajameister ehitab maju kividest, palkidest, laudadest, klaasruutudest jne. Aatomite liike on olemas ainult mõni üle 90, ja osa nendestki tarvitab loodus üksnes harva. Kas pole imestusväärne, et kõik kehad maakeral ja maailmas, niipalju kui meil teada, koosnevad nii vähestest elementidest? Maailm on mitmekesine, ja ometi Maa ja kõik asjad sellel, vesi, õhk ja pilved ning kõik, mis neis liigub, ka meie keha kõigi oma liikmete ja organitega, Päike, Kuu ja kõik tähed — üldse iga üksik asi koosneb väikesest arvust aatomiliikidest? Sellele võiks vastata: anna ehitusmeistrile telliskive, lupja ja veel, mis sinna juurde kuulub, siis on ka tema võimeline ehitama piiramatu mitmekesisusega ehitisi, mispärast ei võiks seda siis Loodus? Kuid seejuures peab arvestama seda, et ükski ehitusmeister ei alga tööd enne, kui ta pole valmistanud vastavad plaanid ega ole andnud töölistele kätte nende ülesanded. Ka ehituse kestel kontrollib ta nende tegevust plaanide järgi. Seevastu Loodus on paigutanud oma plaanid aatomitesse, varustades neid saladustega ja jõududega, sest ainult neis peitub see, millest kasvab maailma mitmekesisus.

Meie küsimus on, kuidas on need aatomid ehitatud? Kas omavad nad kindla kuju ja suuruse?

Samas Kuningliku Asutise (*Royal Institution*'i) kuuldesaalis, kus on peetud siin esinevad loengud, pidas lord Kelvin mitu loengut aatomitest ja nimelt

nende suurusest. Väga teravamõttelistel kaalutlustel jõudis ta tulemuseni, mida nüüd võime täpsemalt kontrollida. Nähtub, et ta oli imestamisväärset lähedal tõele.

Tõsi, oli raske öelda, kui suur on üks või teine aatom, kuid kergem, kui palju üks kahest aatomist on suurem. Nii võib ligikaudselt võrrelda kaaliumi ja süsiniku suhtelist suurust sel teel, kui määrata võrdsete ruumaladega tahke kaaliumi ja teemandi kaalud. Kaalium on kergem veest ja teemant on  $3\frac{1}{2}$  korda raskem. Keemiast teame, et kaaliumiaatom on kolm korda raskem teemandiaatomist. Kui oletada seejuures, et mõlemal juhul on aatomite paigutus üks ja sama (mis tõeliselt on õige ainult ligikaudselt), siis peame sellest järeldama, et kaaliumiaatomid on suuremad süsinikuaatomitest teemandis.

Aatomi tõelise suuruse ligikaudne määramine on palju raskem ülesanne. Kelvin arvutas aatomite suuruse nelja meetodi järgi, saades seejuures umbes võrdsed tulemused: tavalise materia aatomite ja molekulide läbimõõt on umbes üks kümnemiljondik kuni üks sajamiljondik sentimeetrit. Uute uurimuste järgi on süsinikuaatomi läbimõõt teemandis  $1,54 \cdot 10^{-8}$  cm<sup>1)</sup> ja kaaliumiaatomi läbimõõt  $4,5 \cdot 10^{-8}$  cm. Nii oli Kelvini arvutus ligikaudu õige.

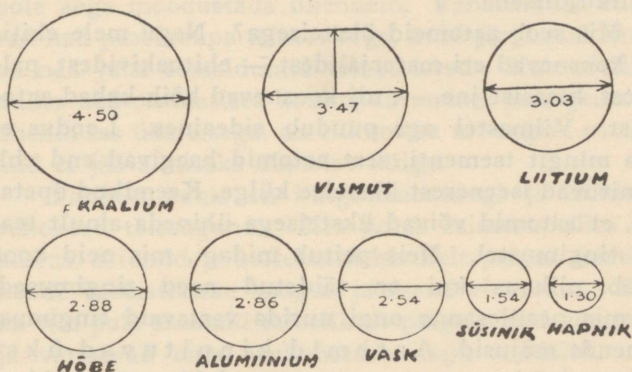
Joonisel 1 on kujutatud mõnede aatomite läbimõõdud. Joonisel märgitud arvud tähendavad kahe naaberaatomi keskuste kaugust sajamiljondikes sentimeetris. Aatomite suurusest oleme saanud seega teatava aimu. Nüüd tekib küsimus nende kuju kohta.

Keemikud, kelle uurimisalaks on otseselt aatomiteühendid, on harva huvitatud olnud aatomite kujust.

---

1)  $10^{-8} = \frac{1}{100\,000\,000}$

Selle põhjuseks pole mitte seik<sup>1)</sup>, et keemiliselt aatomite kujul pole tähtsust, vaid asjaolu, et vanemad meetodid ei võimaldanud seda määrata. Ühes suhtes on siiski keemikule tähtis aatomite ruumiline kuju. Aatomid ühendeis peavad olema paigutatud kindla



Joon. 1. Sagedamini esinevate aatomite läbimõõdud sajamiljon-dikes cm-eis.

korra järgi ja sellest korraldusest olenevad aatomite-ühendi omadused. Eriti on see tähtis orgaaniliste ühendite juures.

Uuemad meetodid võimaldavad, nagu me allpool näeme, palju täpsemalt määrata aatomite paigutusi ühendeis, mida ongi tehtud. Et saada paremat kujutlust neist ühendeist, seks oleme sunnitud valmistama vastavad mudelid, sest joonistest pabereil ei jätku. Aatomid kujutletakse seejuures kuulikujulistena, ja osutub, et pea kõik uuemal ajal avastatud tõsiolud lasevad end seega rahuldavalt seletada. See tähendab, et aatom, mida ümbritsevad omataolised aatomid, on

<sup>1)</sup> Seik—asjaolu.

kõigist neist ühel ja samal kaugusel. Ja tegelikult see ongi nii. Siiski esinevad ka erandjuhtumid, nagu puhtas vismutikristallis, kus igal aatomil on kuus naaberaatomit, millest kolm on lähemal kui ülejäänud kolm. Sel juhtumil pole enam õige aatomit kujutada kuulikujulisena.

Mis seob aatomeid üksteisega? Nagu meie ehitised koosnevad eri materjalidest — ehituskividest, palkidest, klaasist jne. —, nii koosnevad kõik kehad aatomeist. Viimastel aga puudub sideaines. Loodus ei vaja mingit tsementi, sest aatomid haagivad end ehk kinnituvad iseenesest üksteise külge. Keemikud õpetavad, et aatomid võivad üksteisega ühineda ainult teatud tingimustel. Neis peitub midagi, mis neid koos hoiab, niikaua kui on täidetud need tingimused. Keemia peaülesanne ongi uurida vastavaid tingimusi ja nende mõjusid. Aatomid kinnituvad üksteise külge nagu vastupidi-märgilise elektrilaenguga laetud kehakesed ja vastupidise nimetusega magnetipoolused. Pole kahtlust, et siin elekter, samuti ka magnetism etendavad tähtsat osa. Mil viisil nad mõjuvad, pole meile päris tundmata, kuid veel rohkem kui tõmbetungide loomusest teame ühinemisreegleist.

Tekib küsimus: Kui aatomeis peituvad niisugused tungid, miks ei ühine nad siis kõik ühiseks kogumiks, üheks tahkeks massiks? Miks on olemas ka vedelikud ja gaasid, ning miks on olemas aatomid, mis üldse ei ühine naaber-aatomitega? Miks ei lange kogu maailm kokku üheks tahkeks massiks? Maa ei lange Päikese peale seepärast, et ta liigub ümber Päikese, õigemini, et mõlemad massid liiguvad teineteise ümber. Nii on siin siis liikumine, mis neid teineteisest eemale hoiab; kui lähemalt vaadelda, siis selgub, et liikumine

ongi see, mis mõjub vastupidiselt aatomeid üheks suureks massiks ühendavale külgetõmbetungile, olles seega tähtsaks teguriks kogu maailmas. Eriti tähtis on liikumine gaasides. Gaasides liiguvad gaasiosakesed nii suure kiirusega, et neil pole aega moodustada ühendeid. Vahetevahel kohtavad nad paarikaupa teineteisega, kuid järgmisel hetkel on nad juba eemaldunud teineteisest. Ka vedelikes, milles nad on alatises kokkupuutumises ja sagedamini ühenduses üksteisega, on liikumine nii tugev, et aatomid ei jää alatiseks üksteise külge.

Tahkeis kehis on külgetõmbetungi ja liikumise vahekord teissugune. Siin hoiab esimene, olles ülekaalus, aatomid ja molekulid kindlalt paigal, mistõttu nende vastastikune kaugus ja asend ei muutu. Kuid ka siin pole aatomid täiuslikult paigal; nad võnguvad ja värisevad oma asukohtades nagu raudsild, mida mööda kihutab rong.

Raske on kujutleda, et kehas, mis meile näib täiesti liikumata paigal olevat, nagu laud, paberileht, vesi veeklaasis, ometi selle aatomid on alatises liikumises. Siiski sai see tõde teatavaks mõtlejale juba ammu. Nii seletas inglise füüsik B. Hooke juba XVII sajandil: Mis on vedelikkude põhjuseks? See ei ole muud midagi kui kiire ja tugev materiaalsete osakeste liikumine. Liikumise tõttu on side osakeste vahel lõtv, mille tagajärjel nad vabalt võivad muuta oma asukohta ja kaaslasi, moodustades seega vedeliku. Seda tahaksin selgitada paari võrdlusega.

Asetame liivaga täidetud kausi kiiresti edasi-tagasi liikuvale alusele, näit. pealmisele liikuvale veskikivile või alusele, mida tugevasti raputatakse, siis muutub liiv, nagu näitab katse, surnud massi olekust tõsiseks vedelikuks. Teinud sõrmega liivasse augu, täitub vii-

mane kohe ja liiva pind muutub tasaseks. Seejuures pole võimalik hoida liiva sees kerget keha, näit. korki, sest niipea kui see lahti lasta, tõuseb ta liiva peale. Seevastu vajub liivale paigutatud tinatükk kohe kausi põhja. Kui teha kausi külglise väike auk, siis voolab liiv selle kaudu kausist välja, kuni liiva pind on ühekõrgusel auguga. Pole ühtegi vedeliku omadust, mida ei saa sama katsega demonstreerida. Ja seda kõike võimaldab anuma tugev liikumine, mis paneb liiva tantsivasse, kiiresti hüppavasse olekusse, mistõttu ükski raske keha ei saa jääda ta pinnale seisma, vaid langeb silmapilkselt kausi põhja, seevastu aga liiva põhjas olevad kerged kehad, nagu tselluloidist muna, tõusevad kiiresti liiva pinnale.

Tänapäev teame, et ka see, mida me nimetame soojuseks, pole midagi muud kui aatomite ja molekulide liikumine. Mida kiiremini seejuures aatomid liiguvad ehk võnguvad, seda kuumem on keha. Kui soojendame oma käsi tulepaistel, siis sellega paneme aatomid, millest koosnevad meie käed, kiiremini liikuma, keha jahutades aga vähendame nende liikumist. Temperatuuri, mille puhul aatomid jäävad täiesti seisma, nimetatakse temperatuuri absoluutseks nullpunktiks, temperatuur allpool seda pole enam mõeldav. Absoluutne nullpunkt on temperatuur —  $273^{\circ}\text{C}$  ehk  $273^{\circ}\text{C}$  külma.

Nagu eelpool tähendatud, radioaktiivsuse ja röntgeni- ehk X-kiirte kujul on leiutatud uued võimsad vahendid aatomite uurimiseks, millega on peenendatud meie uurimisvõimet 10 000 korrani. Juba mikroskoobiga on saavutatud palju, kuid väikseim ese, mis ta nähtavaks teeb, koosneb ometi mitmest miljardist aatomist. Mikroskoobi läätse polnud võimalik enam täiendada, mikroskoobitehnika oli jõudnud

viimse piirini. Raskus seisab selles, et valgus on laineliikumine ja ükski valguslaine ei võimalda näha eset, mis pole igas sihis suurem kui valguse lainepikkus. Seega oli tarvis uut valgust, valgust, mille lainepikkus on lühem. Seks osutuvad kohaseks röntgenikiired. Samal ajal näitas meile radioaktiivsus, mis võib korda saata aatom, kui anda talle suur kiirus. Seetõttu võime nüüd näha üksikut aatomit, kuigi mitte otseselt, vaid kaudselt, samuti tajuda seda, mis ta teeb.

Kujutlege raadiumiaatomit sarnasena kui üht teie ees olevat kuuli. Raadiumiaatom kuulub suurimate ja raskeimate aatomite hulka. Aine, mis koosneb sellistest aatomitest, on metall nagu raud ja kuld. Iseenesest pole ta millegagi silmatorkav, niikaua kui ta jääb raadiumiaatomiks, kuid põhjusel, mida ei tunne keegi, saabub hetk, millal ta plahvatab. Seejuures paisatakse üks osa tast eemale nagu kuul relvast; samal ajal saab teine osa vastupidise tõuke nagu relvigi. Ülejäänud osa pole enam raadiumiaatom, vaid pisut väiksem, sootu teiste omadustega aatom. Mis varem oli raadium, on nüüd uus aine. Tõeliselt on uus aine gaas; väljapaisatud osa — projektiil — on heeliumiaatom. Füüsikas nimetatakse seda sageli  $\alpha$  (alfa) kiireks ehk  $\alpha$ -osakeseks. Heeliumiaatom on vesiniku järel kergeim aatom.

Keegi ei tea, mis põhjustas plahvatuse ehk eksplosiooni, samuti ei tea keegi, kuidas kiirendada või takistada aatomit selles. Raadiumiaatomi plahvatuse tõenäosus ei olene sellest, kas ta on paigutatud kuuma ahju või vedelasse õhku, mille temperatuur on umbes  $190^{\circ}$  külma. See tõsiasi tuleb veel selgemini nähtavale, kui teame, et raadiumiaatomi plahvatuse hetke ei mõjusta ta ühinemine teiste aatomitega. Ühine-

mine molekulideks avaldab mõju aatomi väliskestasse, kuid plahvatuse põhjus peitub aatomituumas.

Alkeemikud otsisid asjata vahendeid ja meetodeid muunda üht aatomit teiseks ja nimelt tina kullaks. Raadiumis esineb transmutatsioon, kui tarvitada siinkohal seda vana nimetust, selline, nagu sellest unistasid alkeemikud. Kuid täpselt pole see muundumine siiski sama, mida püüdsid saavutada alkeemikud kahel põhjusel. Esiteks on see inimese tahtest sõltumatu ja selliseid nähteid on üldse vähe. Teiseks ei muuda see transmutatsioon raadiumi kunagi kullaks. Gaas, millest moodustuvad raadiumiaatomid, kui viimastest välja paiskuvad heeliumiaatomid, omab väga lühikese eluea. Keskmiselt püsib selline aatom vähem kui neli päeva, kuna raadiumiaatom ise püsib ligi 2000 aastat. Nii järgnevad mitmesuguste ajavahemikkude järele plahvatused, kuni lõpuks tekib tina, mitte kuld. Esimest raadiumi lagunemisprodukti, gaasilist keha, nimetas ta avastaja E. Rutherford raadiumi-emanatsiooniks.

Veel peame märkima seda, mis saab kuulist, kui see relvatorust lahkub. Ta liigub kiirusega, mis polnud varem mõeldavgi materiaalsete kehade juures. Heeliumiaatom algab oma teekonda kiirusega umbes 15 000 km/sek. ning võiks ühe minuti kestel jõuda Kuuni ja tagasi, kui ta alal hoiaks oma kiiruse, kuid vaatamata sellele ei lenda ta juhtumil, kui ta läbib materiat, kuigi kaugele. Isegi õhku läbides jääb ta seisma, kui ta on jõudnud läbi käia 7—8 cm. Üldiselt levib ta sirgjooneliselt, mida võib näha katsest, ja see on asjaolu, millele tuleb pöörata tähelepanu. Esimesest silmapilgust pole mitte selge, mispärast ta levimistee on sirge. Relvakuuli tee on sirge, kui ta läbib puud või õhku. Kuid see ei luba end võrrelda

aatomiga. Kuul on raske tinamass, mitu tuhat korda raskem igast molekulist, millega kuul kokku põrkab puud läbides, — siis paiskab ta need takistused lihtsalt kõrvale. Seevastu on heeliumiaatom väiksem ja kergem kui hapniku- ja lämmastikuaatomid, millest peamiselt koosneb õhk. Nüüd võtkem teine võrdlus. Oletades, et piljardilaual on kuule, kujutleme neid molekulidena. Et võrdlus oleks õigem, peaksime neid hoidma alatiselt liikvel, kuid see pole antud juhtumil tarvilik. Tõukame ühe kuuli ühelt laua äärelt teisele ja paneme tähele, mis toimub siis, kui kuuli teel on ees teine kuul, kusjuures on ükskõik, kas see teine kuul liigub või seisab paigal. Meie kuul põrkab kokku ühega neist ja kaldub seetõttu kõrvale, siis põrkab kokku mõne teisega ja kaldub uuesti kõrvale, — nii siis pole ta liikumissuund enam see mis algul. Tarvitades kõike jõudu kuuli tõukamisel, me ei saavutaks midagi paremat: kokkupõrgete mõjul muutub kuulile antud liikumissuund ikkagi. Sirgjoonelist liikumist me ei suuda kuulile anda hoolimata kuuli kiirusest.

Viimane mudel on palju õigem kui esimene: ta näitab meile, miks heeliumiaatom jääb viimaks seisma. Et ta levimistee on sirge, siis peab ta kokku põrkama paljude molekulidega ja neid on aatomi teel palju rohkem kui piljardikuule kirjeldatud mudelis. Võib arvutada, kui palju hapniku- ja lämmastikumolekule on 7 cm pikkusel joonel. See arv tõuseb igal juhtumil sadade tuhandeteni. Ometi suutis heeliumiaatom sirgjooneliselt läbi minna sellest suurest hulgast molekulidest, millest iga üksik on raskem heeliumiaatomist. Kuidas oli see võimalik? Ainult ühe seletuse võime anda sellele nähtele. Me peame oletama, et heeliumiaatom lihtsalt läbis ta teel ettetulnud molekulid.

See näib olevat esialgu uskumatu, kuid teist seletust sellele nähtele ei leidu, liiati seletub sellega veel palju teisi nähteid. Seda peame iseoma silmaga nägema.

Aparaadi, mille abil võime nähtavaks teha heeliumiaatomi liikumistee, võlgname C. T. R. Wilson'ile. Wilsoni katse on minu arvates huvitavamaid katseid kogu teadusmaailmas. See võimaldab meil näha üksikute heeliumiaatomite tõelisi teid, millest igäüks algab oma liikumist kiirusega umbes 15 000 km/sek. ja lõpetab selle, kui ta on läbinud umbes 7-cm õhukihi.

Aparaadi tähtsam osa on messingist silindrikujuline ja klaaskaanega varustatud karp, mille põhja võib tõsta ja alla lasta, nii et karbi sügavust võib muuta. Sellele lisandub veel komplitseeritud mehhanism ratastega, kangikestega jt., mis võimaldab tarvilikul momendil karbipõhja järsku alla lasta. Niisugusel põhja allavajutamisel jaheneb õhk karbis paisumise tõttu. Karbi sisemise seina külge on kinnitatud mikroskoopiline tükk raadiumi. Igal hetkel lagunevad mõned selle raadiumi aatomid, kusjuures lagunemisel tekkinud heeliumiaatomid paisatakse välja, millest mõned liiguvad sirgjooneliselt karbi sees edasi. Karbi suurus on küllaldane seks, et aatomid jõuavad selles lõpetada oma õhutee. Raadiumi keskmine eluiga on nii suur, et pool sellest raadiumist on veel järel, kui aparaat on seisnud 2000 aastat, kuigi igal sekundil lagunes 10, 20 või 100 aatomit.

Õhk karbis hoitakse niiske, et jahtumisel tas tekiks udu. Udu sadestub kergemini tahkete kehade pindadele, kui et moodustada õhus hõljuvaid, iseseisvaid veepiisku. On õhus olemas väikesi tolmuükemekeksi, siis on need udupiiskade tuumadeks; seetõttu tekib udu sageli mittepuitas õhus. Esijoones on niisugusteks tuumadeks just need aatomid, mida läbisid

heeliumiaatomid. Neile sadestub niiskus meelsamini. Sellel läbimisel killustub aatom möödaminevalt, väike osa rebitakse tast lahti. Lahtirebitud osa on elektron. Viimane on negatiivse elektri laenguga, kuna aatom, millest lahti rebiti elektron, omandab seejuures positiivse laengu. Varem või hiljem liitub see elektron ühe naaberaatomiga ja nii tekib kahesuguseid elektriliselt laetud aatomeid ehk ioone, positiivse ja negatiivse laenguga, kus varem polnud ühtki laetud aatomit. Need elektriliselt laetud aatomid tõmbavad niiskust külge, ja nendele sadestunud aurust tekib kerge mini udupiisku kui ükskõik millisel teisel kehal. Kui nüüd heeliumiaatom läbib sirgjoonelisel gaasi, tekitades seejuures suure hulga laetud aatomeid oma teel, ning samal ajal hõrendatakse õhku karbis, siis tekib aatomi liikumise teel udujoon ehk -tee. Kui valgustada karbis olevat õhku, siis paistavad need udujooned heledate sirgjoontena karbi tumeda seina kohal. Nad püsivad mõne sekundi, siis kustuvad aeglaselt. Kohe pärast heeliumiaatomi läbimist on need heledad jooned teravad ja selged, sest et laetud aatomid pole jõudnud lahkuda sellelt joonelt. Lühikese aja kestel muutub tähendatud udutee ionide liikumise tõttu laiaks ja segaseks.

Üksteisele järgnevatel ekspansioonidel ehk paisumistel on näha, et kuigi heeliumiaatomite liikumisteed on suurel pikkusel sirged, nad sageli on teravalt murtud; eriti esineb see murdumine heeliumiaatomi liikumistee lõpul. Viimane tõsiasi on äärmiselt suure tähtsusega.

Nüüd peame järele mõtlema, kuidas tuleb muuta eespool-esitytavad aatomi kujutlust, et seletada seda nähet. Aatomid peavad seega olema nii ehitatud, et nad tavaliste kokkupõrgete puhul osutuvad seesugus-

teks, nagu omaks igaüks neist kindla ruumala, kuhu ei saa sisse tungida ükski teine aatom. Ehk kui nad on üksteisele väga lähedal, nagu tahkeis kehis, siis nende koguruumala on nii suur, et neile igaühele jätkub küllalt ruumi. Kui aga aatom tungib küllaldaselt suure kiirusega teise, siis läbib ta seda, nagu oleks ta läbinud kaitsemüüri. Seda võime seletada ainult oletusega, et aatom koosneb nagu päikesesüsteemgi keskkehast, mille ümber tiirlevad satelliidid ehk kaaslased. Aatomi keskmes asetseb elektriliselt positiivselt laetud keskkeha, nn. aatomituum; tema ümber tiirlevad elektronideks nimetatud kaaslased on negatiivselt laetud ja kõik ühesugused isekeskis. Tuuma positiivne elektrilaeng on nii suur, et ta hoiab tasakaalus kõikide elektronide negatiivset laengut.

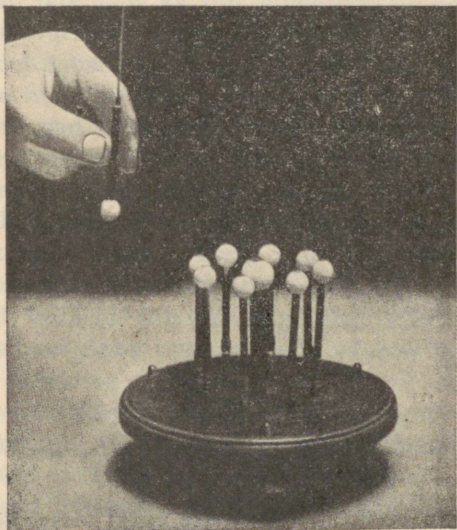
Kui esialgu kujutlesime aatomit kindla kuulina, siis näeme nüüd, et ta moodustab miniatuurse päikesesüsteemi. Nüüd taipamegi, kuidas on võimalik, et aatom võib läbida aatomi, nagu võime kujutleda, et kogu päikesesüsteem läbib teise samataolise, eeldades seejuures muidugi, et ükski ühe süsteemi liige ei pörka kokku teise süsteemi liikmega ja et läbimiskiirus on küllaldaselt suur. Viimane tingimus on eriti oluline, sest kui sissetungiv süsteem püsib paigal pikemat aega, siis kindlasti põhjustab süsteemide teineteise lähedal olek suuri häireid planeetide liikumises.

Tekib küsimus, kuidas seletada seda, et niisugune aatom võib end kaitsta võõraste aatomite sissetungimiste vastu.

See seletub, kui arvestada positiivsete ja negatiivsete elektrilaengute korraldust ehk paigutust aatomis. Igat aatomit ümbritseb otsekui elektroniidest koosnev mantel ehk kate. Põrkavad kaks aato-

mit kokku, siis puudutavad teineteist kõige enne tähendatud katted. Et aga ühenimelised elektrilaengud teineteist tõukavad, siis esineb ka siin tung, mis püüab neid aatomeid teineteisest eemale tõugata, teiste sõnadega, see tung takistab neid tungida teineteise sisse. Kindlasti pole see pilt täielik, vaid annab meile ainult ligikaudse kujutluse sellest, mis seal tõeliselt toimub.

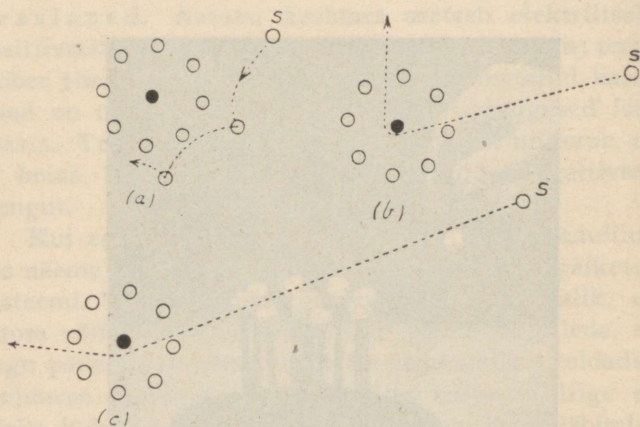
Katsume seda veel järgmise mudeli abil selgitada.



Joon. 2. Aatomimudel magnetipoolustest.

Joonisel 2 näeme kogu spiraalvedrude abil püsti asetatud magnetvarbu. Keskmise, suurema magneti põhjapoolus asetseb ülemisel otsal, teda ümbritsevate magnetite lõunapoolused on ülalpool. Mudel kujutab

aatomituuma ühes ümbritsevate elektronidega. Mude-  
 lis on elektronid tuumaga ühel ja samal tasapinnal,  
 mida ei ole aatomis, kuid käesoleval juhtumil pole  
 sellel tähtsust. Keskmise magneti kohal ripub pika  
 niidi otsas magnet, mille lõunapoolus on allpool. Niit  
 on parajasti nii pikk, et rippuv magnet ulatub püsti  
 olevate magnetiteni. Kui viia see pisut kõrvale kuni  
 S (3. joon. a), kuid mitte liiga kaugele, siis võngub



Joon. 3. Niidi otsas rippuva magneti liikumistee oleneb kiirusest.

ta magnetite poole, ometi mitte ringi sisse, lähenedes  
 neile kord ühelt, kord teiselt poolt. Täpselt samuti  
 püüaks elektron asjatult pääseda üle piirivalli, kui ta  
 kiirus pole seks küllaldane. Kui ühe magneti asemel  
 võnguks terve süsteem rippuvaid magneteid sama-  
 taolise süsteemi kohal, siis oleks tagajärg samasugune.  
 Siin on aatomite pilt, millisena meie neid kujutleme,  
 kuidas nad üksteisega kokku põrkavad ja siis uuesti

eemalduvad. Igaüks neist omab kindla ruumala, kuhu sissepääs teistele on takistatud.

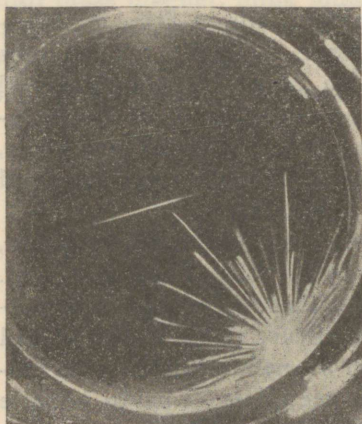
Kui viia rippuv magnet kaugele välja, siis võngub ta suure kiirusega tagasi, ja suure hoo tõttu võib ta paigalseisva magnetitesüsteemi sisse tungida.

On tema kiirus väga suur, siis ei esine ta liikumistees mingit olulist muutust (3. joonis, c); kui tema kiirus aga on väiksem, siis ta kaldub süsteemi läbimisel enam või vähem oma algsuunast kõrvale; ühtlasi muutub ka tema kiirus. Läbimisel kaotas ta osa oma hoost, mida võib järeldada ka spiraalvedrude otsa püstitatud magnetite värisemistest (3. joonis, b).

Mudel lubab ennustada, mis juhtub, kui aatomid, nagu me neid nüüd kujutleme, üksteisega kohtuvad. Liginevad nad üksteisele väikese kiirusega, siis pörkavad nad tagasi, suurema kiiruse puhul tungivad nad teineteise, ja mida suurem on nende kiirus, seda rohkem võib oodata, et nad seejuures ei kaldu kõrvale oma liikumissuunast. Kuid igal juhtumil on oodata siis kõrvalekaldumist liikumise esialgsest suunast, kui mõlemad tuumad tulevad teineteise lähedale. Mida väiksemad on need tuumad, seda vähem tõenäone on viimane juhtum.

Lugeja võib-olla taipab ise, et niisugused kõrvalekaldumised on näha 4. ja 5. joonisel. Heeliumiaatomi liikumistee on üldiselt sirge, kuid sageli esinevad selles üksikud nõksud, tavaliselt üks või kaks igal teel ja peamiselt nende lõpul. Seda lubab oodata juba asjaolu, et kiirus tee lõpul on väiksem. 4. joonisel on näha mitu niisugust nõksu, 5. joonisel üks seesugune tublisti suurendatult. Esialgu on meile võõras kujutus, et aatom nagu päikesesüsteemgi on suurelt osalt tühi, koosnedes tuumast ja elektronidest moodustunud kattest, mis võtavad enda alla sama palju

ruumi kui armee sõdureid maad. Sõdurid ei täida maad mitte, olles mees mehe küljes kinni, ühest piirist teiseni, ometigi kaitsevad nad maad võõra sõduri sissetungi vastu.



Joon. 4. Heeliumiaatomite teed (valged jooned mustal foonil).

Juurdelisatud pildid on paljude vaatluste ja fotograafiliste ülesvõtete tulemuseks. Nõksud kiirte teil leiduvad igal fotol, mis tehtud õhu paisumisel aparaadis. Kuid et head ülesvõtet saada, seks peab katset mitu ja mitu korda kordama. 5. joonisel on terasemal vaatlemisel näha viimase nõksu juures sõlmekujuline lisand, mis seletub sellega, et hapniku- või lämmastiku-aatom tõukas heeliumi-

aatomi kõrvale, kusjuures ta ise pörkas tagasi. Tema tee on väga lühike seepärast, et ta on mitu korda raskem kui aatom, millelt ta sai tõuke, seetõttu on ka tema kiirus väiksem.

Nüüd puudutame veel küsimust, mitu elektroni-kaaslast on igal aatomil.

Nagu me juba teame, on aatomis tuum positiivselt laetud. See laeng on sama suur kui tuuma ümbritsevate elektronide laengute summa. Seejuures on kõik elektronid, nagu varem öeldud, täpselt ühesugused. Ühe liigi (elemendi) aatomid erinevad teise liigi aatomeist elektronide

arvu poolest ja see arv määrab lõplikult viisi, kuidas suhtub aatom teistesse aatomitesse, teiste sõnadega, aatomi keemilised omadused. Nii sisaldab süsinikuaatom kuus elektroni ja tuuma positiivne

laeng on võrdne kõigi tähendatud kuue elektroni laengute summaga.

Iga kuut elektroni sisaldav aatom on süsinikuaatom, iga

teine süsinikuaatomi definitsioon on ülearune. Sa-

muti on seitsmeelektroni - aatom lämmastik, kaheksa-

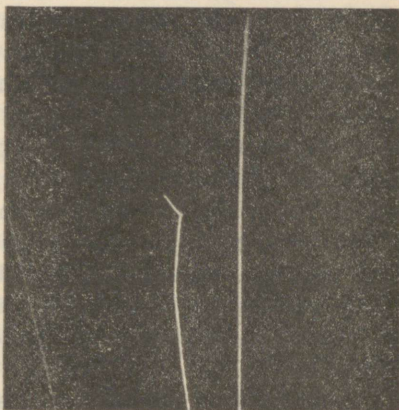
elektroni - aatom hapnik jne. Ü h e e

l e k t r o n i - a a t o m i s t —

vesinikust — kuni üheksakümne kaheelektroni-aatomini — uraanini — on kõik arvud esitatud looduses.

On imelik, et määratu suure mitmekesisuse looduses määravad nii lihtsad arvu-vahekorrad. Arvati ju varem, et eri aatomite liikide vahel peab olema sügavam erivus. Nüüd imestatakse, et sellel on nii lihtne põhjus. Aatomi loomuse määrab ta tuuma laeng, mis omakorda määrab aatomi kattes olevate elektronide arvu, ja on põhjust oletada, et need on korraldatud teatud reegli järgi. Et see nii on, näeme hiljem. Seda võib selgitada järgmise katsega.

Ping-pong-pallide abil paneme klaaskaussi vee-



Joon. 5. Heeliumiaatomite tee, tublisti suurendatult.

pinnale ujuma vertikaalsed magnetid. Kõikide magnetite samanimelised poolused asetsevad ülalpool, mistõttu nad tõukavad vastastikku üksteist kausi ääre poole. Kausi alla on paigutatud elektromagnet, mis neid tõmbab ja lähendab üksteisele. Kuidas nad seejuures asetuvad, oleneb esiteks nende tõmbest keskpunkti poole ja teiseks nende vastastikusest tõukest. Analoogiline olukord valitseb aatomis, kuid liiga kaugele analoogiaga minna ei tohi, sest peame arvestama, et aatomis esinevad teised tungid kui mudelis. Esi- algu piirdume tõsioluga, et magnetid asetuvad ringina ümber keskpunkti. Huvitav on näha, et kausi äärele viidud magnet liigub rahulikult tagasi oma õigele kohale ringis. Nagu selles mudelis nii ka aatomis asetuvad elektronid kontsentriliste katetena ehk rühmadena ümber keskse tuuma. Sellest pikemalt järgmises peatükis.

Nüüd võime paremini aru saada, mis toimub siis, kui heeliumiaatom läbides aatomi lööb viimasest killu — elektroni — lahti, andes seega aatomile omaduse tõmmata külge niiskususakesi. Kui aatom on kaotanud ühe elektroni, siis teise elektroni kaotusele avaldab ta suuremat vastupanu, veel enam aga kolmanda elektroni kaotusele. Oma liikumisteel heeliumiaatom puutub kokku ühe aatomiga teise järel ja lööb neist kaaslasi lahti. Nii vabanenud elektronid lähevad oma teed, kuid nende iseseisvus ei kesta kaua. Igaüks neist leiab pea aatomi, millega liitub. Aatom omandab elektroni kaotusega positiivse elektrilaengu, teine aatom, millega liitus vabanenud elektron, negatiivse laengu. Liikudes gaasis, võivad nad teineteisele läheneda, kokkupuutel annab viimane elektroni uuesti tagasi ning gaas muutub neutraalseks.

Veel ühele huvitavale katsele olgu juhitud tähele-

panu. Langevad heeliumiaatomid teatud aineile, siis tekitavad nad fluorestsentsvalgust.<sup>1)</sup> Lähemal vaatlemisel koosneb see valgus sähvatustest, mis tekivad iga üksiku aatomi pörkel. Mikroskoobi all on näha pilt, mis tekiks, kui loopida helkivasse merre kive. Niisugustest fluorestseeruvaist aineist on tähtsamad kuntsiit, villemiit, tsinksulfiid jt.

Raadiumi tegevus on nii siis võimaldanud meil pilku heita aatomi ehitusse. Sellel raadiumi lagunemisel me näeme tegevuses üksikuid aatomeid, mis võimaldavadki seda edu. Heeliumimürsu kiirus, mis ületab sada tuhat korda gaasiaatomi tavalise kiiruse, annab sellele üksikule aatomile jõu, mis teeb teda märgatavaks. Kui vaatleme udujoont, siis näeme selles üksiku aatomi toimet. Me näeme heeliumiaatomit tungimas hapnikuaatomisse ja teda uuesti väljumas aatomi teisel küljel ning märkame siis sellel kokkupörke jälgi.

Heeliumiaatom sarnaneb spiooniga, kes tungib võõrasse alasse ja toob sealt meile teateid.

## II.

### Gaaside põhiomadused.

Nüüd teame, et kõik kehad koosnevad umbes 90 mitmesugusest liigist aatomeist, millede peituvad kõik materiaalse maailma lõputu mitmekesisuse saladused. Igas aatomis on olemas positiivselt laetud tuum, mida ümbritsevad tiirlevad elektronid. Tuuma positiivne laeng on täisarv laengu-ühikuid, kui

---

<sup>1)</sup> Keha helendumine, kui talle langeb mingi kiirgus, näiteks X-kiired.

viimaseks võtta elektroni laeng, kuid vastupidise märgiga. Aatomis olevate elektronide arv on normaalseil tingimusil tasakaalus tuuma positiivse laenguga, seetõttu on aatom kogusummas elektriliselt neutraalne, s. o. laenguta. Positiivne ja negatiivne laeng vastastikku täiendavad (kompenseerivad) teineteist. Kas elektronid tiirlevad ümber tuuma nagu planeedid ümber Päikese või on need liikumised komplitseeritud, pole siinkohal tähtis. Sellest liikumisest teame juba mõndagi, kuid üldiselt on see küsimus raske. Järeldusi võime teha, ka ilma et teaksime, millised on need võimalikud liikumised. Üks järeldus on, et aatomid tavalistel tingimustel ei või tungida üksteisesse. Igaüks neist on ümbritsetud elektronidest koosnevast mantlist ehk kattedest. Kui kaks aatomit tuleb teineteise lähedale, siis tõukavad nad teineteist ja tõenäoliselt põhjustavad seda tõukamist just nende katted. Põrkavad aatomid küllaldase kiirusega kokku, siis murdub väline kaitsevall ja aatomid läbivad teineteise. Sellisel juhtumil võivad aatomid pärast läbimist teineteisest eemalduda ja edasi liikuda, nagu poleks olnud mingit kokkupõrget, kui mitte arvestada seda, et üks või ka mõlemad aatomid võisid kokkupõrkel kaotada ühe või kaks elektroni, milline kaotus aga pea tasandub uute elektronide asendamisega. Ainult kui mõlemad tuumad tulevad teineteisele väga lähedale, siis muutuvad nende liikumised, nagu muutuvad kokkupõrganud piljardipallide liikumised. Sellised muutused esinevad väga harva, millest järeldame, et aatomituum on väga väike võrreldes aatomi üldise suurusega. Niisugused aatomite vastastikused läbimised on just seepoolest tähtsad, et nad näitavad, kui tühi on ruum aatomi sisemuses ja miks võime võrrelda aatomit päikesesüsteemiga. Aatomi läbimõõt on

umbes mõni sajamiljondik sentimeetrit. Niisuguses tillukeses ruumis toimuvadki elektronide ja tuuma liikumised. Kergemate aatomite ruumala on pisut väiksem, raskemate aatomite ruumala suurem, kuid suurimad neist on umbes 3 kuni 4 korda suuremad vähimaist.

Nagu varem öeldud, on kõik aatomid alatiselt liikvel. Seejuures püsib kestav võitlus ühelt poolt tõmbetungi vahel, mis neid püüab üksteisele lähendada ja neid koos hoida, ning teiselt poolt alatise liikumise vahel, mis vastupidi neid üksteisest eemale viib. Tõmbetungi olelu, millel siin on suur tähtsus, ei näi hästi sobivat vastkirjeldatud aatomi struktuuri kujutlusega.

Varem ütlesime, et elektronidest moodustatud kate takistab aatomeid üksteisele lähenemast. Ometi valitsevad nende vahel ka tõmbetungid, mille loomusest teame tänapäev veel vähe. Me teame, mis toimub siis, kui kaks aatomit suure kiirusega teineteise vastu jooksevad, me teame, et nad siis teineteise läbivad. Keskmise kiiruse puhul aga põrkavad nad nagu piljardikuulid tagasi. Nüüd oleme sunnitud astuma veel sammu edasi ja oletama, et aatomid, kui nad üksteisele lähenevad väga aeglaselt, tõeliselt jäävad üksteise külge. Niisugusel puhul toimub nende korralduses midagi, mis pärast nad kinnituvadki üksteise külge. Kõik oleneb aatomi teatud struktuurist, ta välispind pole mitte ühtlane. Niipea kui anda aatomile aega end ümber korraldada või kui juba algul puutuvad kokku õiged kohad, muutub tõukumine tõmbumiseks. Hiljem õpime tundma veel mõned sellekohased huvitavad näited.

Nüüd tahame vaadelda juhtumeid, kus aatomite

vahel ei ole mõjumas tõmbetunge. Niisugusel juhtumil moodustab aatomite parv gaasi.

Seesuguseid juhtumeid on palju. Eriti on olemas teatud aatomid, mis peaaegu alati sellistena esinevad. Need on lihtained nr. 2, 10, 18, 36, 54, 86, see tähendab, et nende aatomite tuumade positiivsed laengud avaldatakse mainitud arvudega ja normaalseil tingimusil ümbritseb neid tuumi sama palju elektrone, et hoida tuuma laengut tasakaalus. Neil aatomeil puudub kalduvus üksteise külge kinnituda. Teise liigi aatomitega nad üldse ei ühine, teiste sõnades, nad ei moodusta ühtegi keemilist ühendit. Neid võiksime nimetada ka inertseiks. Isegi nende olelu oli kuni viimase ajani teadmata. Alles kui kadunud lord Rayleigh [1. rooli] määras eriti suure täpsusega mitmesugustest allikaist võetud lämmastiku erikaalu, seejuures leides, et lämmastiku erikaal, mis saadud õhu puhastamisel, erineb pisut lämmastiku-ühendeist saadud lämmastiku erikaalust, alles siis avastas ta, et see õhu ülejääk pole mitte puhas lämmastik, nagu seniajani arvatud. Tõeliselt sisaldab atmosfääriline õhk ühte niisugust inertset gaasi, see on nimelt nr. 18. aatom kaheksateistkümne positiivse elektrilaenguga tuumas. See gaas sai nimetuse „argon“ (laisk). Võibolla ei sobi see nimetus talle hästi, sest ta osakeste liikumiskiirus on võrdlemisi suur.

Heeliumiaatom, esimene selles reas, on identne selle heeliumiaatomiga, mida kiirgavad raadium ja teised radioaktiivsed kehad  $\alpha$ -kiirtena radioaktiivsel lagunemisel. Normaalseil tingimusil on tal kaks elektroni, kui ta aga paisatuna raadiumist lendab läbi materia, siis kaotab ta kergesti elektroni. Tuuma positiivne laeng jääb sel lennul mõjustamata, ja kui ta jääb seisma lennu lõpul, siis täiendab ta kiiresti end elektroni-

dega, sest vabu elektrone on alati igal pool liikumas. Seega läheb aatom üle sõltumatumasse olekusse, mis on talle iseloomulik. Võib olla, et kõik heelium on tekkinud radioaktiivsel lagunemisel. Igatahes leidub teda kohtades, kus niisugused nähtused on esinenud. Praegusel ajal produtseeritakse heeliumi suurel hulgal Ameerikas, kus ta allikais tõuseb mullidena ülesse. Heeliumi tarvitatakse juhitud õhulaevade täitegaasina, milleks ta on eriti kohane. Ta on kerge ja ta tõstejõud on pea sama suur kui vesinikul, ühe elektroniaatomiga gaasil. Gaasi tõstejõud ei olene gaasi tihedusest, vaid õhu ja gaasi tiheduste vahest. Vesiniku, heeliumi ja õhu tihedused suhtuvad kui 1:2:14,4, seevastu vesiniku ja heeliumi tõstejõud suhtuvad kui 13,4:12,4. Kuid heeliumi peamine esidus on selles, et ta pole süttiv, kuna vesinik on väga kergesti süttiv gaas; vesiniku ja hapniku segu plahvatab juba piskesest sädemest. Vesinikuga täidetud õhulaev viibib alatises plahvatuse hädaohus, seevastu heeliumi puhul pole seda karta, sest heelium ei ühine hapnikuga. Heeliumi nimetus on seotud ta avastamisega Päikesel. Üht heledat joont Päikese spektris ei saadud ühegi senituntud lihtaine ehk elemendi omaks pidada, mis pärast anti sellele tundmatule lihtainele nimetus „heelium, päikeseaine“; alles hiljem avastati heelium Maa peal.

Kümne-elektroni-element  $neoon$  — „uus“ — esineb harvemini kui argon. Neon leiab suurt kasutamist huumlampides, sest teda võib kergesti hõlendada panna elektrilisel purgel. Neonlampi, mida tarvitatakse peamiselt signaal- ja reklaamasjanduses, tunneme talle omasest kollakaspunasest valgusest.

Krüpton (36), „peidetud“, ja ksenoon (54), „võõras“, esinevad väga harva. Viimane selles

reas, normaalselt 84 elektroniga, on raskeim raadiumi lagunemisel tekkinud kild. See emanatsiooniks nimetatud gaas on radioaktiivne, ta keskmine eluiga on umbes kolm ja pool päeva.

Me ei tarvitse mitte arvata, et neid imelisi aatomeid ei saa üldse viia ühinemisele üksteisega. On võimalik neid kokku viia vedelikuks, kuid väga madala temperatuuri juures. Tavalisel temperatuuril on nad kõik gaasid. Heeliumi vedeldamine on Leidenis oleva Kamerlingh Onnes'e laboratooriumi üheks suuremaks saavutiseks. Olgu tähendatud ka, et Leidenis on nüüdisaegne maailma täiuslikem külmutuslaboratoorium.

On olemas mitut liiki teisi aatomeid, nende hulgas ka vesinik, lämmastik, hapnik, mis ühinevad kergesti väikesteks kogumiteks, molekulideks, millel siis samuti puudub kalduvus ühineda sama liigi molekulidega, sageli ka teise liiki kuuluvate molekulidega, nagu heeliumi- ja argoniaatomid. Kaks vesinikuaatomit ühinedes moodustavad väga püsiva, teiste molekulidega mitte ühineva molekuli, samuti ka kaks lämmastiku- ja kaks hapnikuaatomit. Need ained on tavalise temperatuuri juures gaasid. Vesiniku vedeldamine õnnestus esimesena sir James Dewar'il *Royal Institution*'i laboratooriumis.

Õhk koosneb peamiselt hapniku- ja lämmastiku-molekulide segust. Teised tuntuimad molekulid, mis tavalisil tingimusil moodustavad gaase, on vingugaas (CO), süsihapu gaas (CO<sub>2</sub>), metaan (CH<sub>4</sub>) jne. Kui kaks niisugust molekuli teineteisega kohtuvad kiirusega, mis vastab tavalisele temperatuurile, siis pörkavad nad tagasi nagu piljardikuulid, kaotamata seejuures oma iseseisvust ja sõltumatust. Milline tule-

mus on tähendatud sõltumatul olekul, selle üle katsume pisut järele mõelda.

Kujutleme kinnise anuma ja selles kogu aatomeid või molekule edasi-tagasi liikumas, tähendab harilikus keeles, gaasiga täidetud anuma. Need aatomid pörkavad vahetpidamata üksteisega kokku, samuti ka anumaseinte vastu; nad liiguvad samuti, nagu piljardilaual liikuma pandud kogu piljardikuule, kui nende liikumised oleksid hõõrdumiseta. Harilikul piljardilaual jäävad piljardikuulid varsti seisma, sest et kuulid ise ega ka laua servad pole täiuslikult vetruvad (elastsed); sellele lisanduvad kaotused hõõrdumisel, kui pallid veerevad mööda kalevit, mis pole täiuslikult sile. Ometi kestab kord alanud liikumine küllalt kaua, et pilti anda sellest, mis juhtuks siis, kui see liikumine vältaks lõpmata kaua.

Esimene küsimus, mis siin kerkib, on, kuidas mõjub raskustung aatomite liikumisse meie kinnises anumal. Kas nad ei pea kõik langema anuma põhja? Miks täidab gaas anuma ülemist osa samaselt anuma alumise osaga? Vastus on: Jaa, raskustung avaldab siin oma täit mõju, kuid see mõju on liiga väike, et olla märgatav. Kui aga võtta aatomeilt kõik soojus, s. o. kõik liikumine, nii et nad seisma jääksid, oletades seejuures, et nende vahel puuduvad tõmbe-tingid, siis peaksid kõik aatomid „surnuina“ anuma põhja langema.

Nüüd anname neile pisut soojust juurde: aatomid hakkavad üles-alla tantsima nagu täiuslikult elastsed kuulid täiuslikult elastsel põrandal. Kui soojenemine on üks tuhandik Celsius'e kraadi, siis hüppavad nad kuni 30 cm kõrgusele. Edasisel soojenemisel hüppavad nad kuni anuma kaaneni, oletades seejuures, et nende arv pole suur, mispärast nad üksteisega ei

kohtu. Tavalise temperatuuri juures on nende kiirus juba nii suur — umbes 2000 m sekundis —, et raskustung muudab vähe nende kiirust, millega nad üles-alla liiguvad, seetõttu on neid igal hetkel ühepalju anuma ülemisel ja alumisel poolel. Kui nende arv on ühesuurune õhumolekulide hulgaga anumas tavalisil tingimusil, põrkavad nad üksteisega sagedamini kokku kui anuma seinaga. Õhus on keskmine teepikkus kahe teineteisele järgneva molekuli kokkupõrke vahel ainult üks kümnetuhandik millimeetrit.

Kui gaasiaatomid või -molekulid vahetpidamata anuma seinu pommitavad, siis peab see avalduma anumast väljapoole suunatud rõhumisena, — me ütleme, et gaas avaldab anuma seintele rõhumist. Asetame piljardilauale vabalt mingi ribakujulise vöö ja paneme pallid liikuma, siis nihkub vöö pallide tõugete toimele edasi. Kahekordse piljardipallide arvu puhul kahekordistuks ka rõhk. See on üldtuntud gaasiseadus, et gaasirõhk on võrdeline gaasi tihedusega, kui kõik jääb endiseks. Rõhk vöole suureneks, kui anda pallidele suurem kiirus; samuti suureneb gaasirõhk ka temperatuuri tõusuga. Nüüd lükkame järsku vaba vöö veerevaile pallidele vastu; võime näha, et sealjuures pallide kiirus suureneb. Sama juhtub ka gaasiosakestega, ühte anuma seina tõugates sissepoole; kui näit. suruda pumbakolb silindris sügavamale, siis aatomite liikumine kiireneb. Teiste sõnadega, temperatuur tõuseb. On teada, et jalgratta pump läheb pumpamisel kuumaks. Ka vastupidine nähe pole tundmata. Tõmbame piljardilaual vaba vöö tagasi samal ajal, kui pallid järele liikudes ta vastu põrkavad, siis muutub pallide kiirus vähemaks. Kes kriketit mängib, see teab, et palli kinnipüüdmiseks on tarvis tõmmata käsi tagasi, niipea kui pall käsi puudutab, sest tagasitõmbuvad

käed vähendavad pikkamööda palli kiirust. Kui hoida käed paigal, siis pörkab pall kindlasti tagasi. Vastav nähe gaasi juures on gaasi jahtumine paisumisel. Ühte selle nähte rakendamist nägime Wilsoni aparaadi juures, kus järskune niiske õhuga täidetud ruumi suurendamine tekitab jahtumise, mille tulemusena sadestus aur uduna heeliumiaatomi liikumisteel. See ekspansioon ehk paisumine peab toimuma teataval määral kiiresti, et soojus ei jõuaks voolata väljastpoolt aparaati.

Suurte atmosfääri õhumasside paisumine põhjustab sageli vihma- ja lumesaju. See paisumine esineb siis, kui tuul kannab suured niisked õhumassid madalama rõhu aladele, kus siis õhk paisudes jahtub, mis põhjustabki veeauru tihenemise.

Piljard võimaldab veel teisigi gaasi omadusi selgitada. Ma segan nüüd harilikkude piljardipallide hulka kergeid ping-pong-palle ja panen kogu selle parve veerema. Kohe näeme, et ping-pong-pallid omandavad suurema kiiruse kui teised. Samasugune nähe esineb gaasis, mis sisaldab kahte liiki aatomeid — kergeid ja raskeid. Kerged aatomid omandavad alatisel liikumise vahetamisel suurema keskmise kiiruse kui rasked aatomid. Vesiniku ja hapniku segus liiguvad esimese molekulid keskmiselt neli korda kiiremini kui viimase omad. Vastavad arvutused näitavad, et mitmeist gaasidest koosnevas segus omavad kõik aatomid võrdse keskmise liikumisenergia. Kergemad omavad vastavalt puuduvale kaalule suurema kiiruse. Ka mittesegatud gaaside kohta, mis asetsevad iseanumais, kehtib sama reegel, eeldades muidugi seejuures, et mõlemate temperatuurid on võrdsed. Kahes erilises anumas olevate aatomite vahel ei või toimuda otseselt energiavahetust ja -tasandumist, küll aga võib

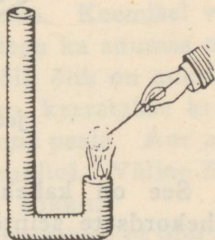
see toimuda mitmesuguste kehade kaudu, mis neid aatomeid üksteisest eraldavad, nagu anuma seinad, laud, millel anumad asetsevad, või õhk. Aatomi liikumisel määrab temperatuur lõplikult aatomite keskmise kiiruse.

Olgu gaasi sisaldava anuma seinas väike auk. Igakord kui aatom või molekul satub augusse, lendab ta anumast välja ega tule iial enam tagasi. Enesest mõista, et kerge gaas voolab kiiremini välja kui raske, sest et kerge gaasi aatomid liiguvad anumas kiiremini edasi-tagasi ja igal sekundil suurem hulk neist satub augu kohta. Seda nähet, difusiooni, kasustatakse sageli kahe gaasi eraldamiseks teineteisest, kui muud vahendid seda enam ei võimalda. Näit. Rayleigh ja Ramsay eraldasid sel viisil argoni lämmastikust ja nimelt segust, mis saadi õhust, kui sellest olid kõrvaldatud kõik teised gaasid. Segu juhiti reast peenikesist savitorudest läbi, seejuures lämmastik tungis rutem läbi toruseinte urvete (pooride) kui argon. Argoniaatom on 40 korda raskem vesinikuaatomist, lämmastikuaatom aga ainult 28 korda; seepärast tungib lämmastik kiiremini läbi urbsete (poorsete) savi-seinte kui argon ning gaas on pärast läbiminekut torudest rikkam argonist kui enne torudesse minekut.

Ühe gaasi difusioon teisesse on sama liiki nähe, sest vahesid gaasiaatomite ehk -molekulide vahel võib võrrelda urvetega savitoru seintes. Difusioon on väga aeglane toiming hoolimata aatomite kiirest liikumisest; selle põhjuseks on sagedased kokkupõrked aatomite vahel. Sageli arvatakse, et gaas difundeerub teise gaasi kiiresti kogemuste põhjal, nagu see, et valgustusgaasi lõhna on kohe tunda toas igal pool, kui gaasikraan jätta lahti. Põhjuseks on siin rohkem kon-

vektsoonvoolud<sup>1)</sup> kui difusioon: valgustusgaas voolab tuppä joana läbi toaõhu. Eriti hästi võib seda jälgida põlevast sigaretist tõusva suitsusamba juures. Difusioon toimub küll ka suitsusamba ja puhta õhu vahel, kuid difusioon on liiga aeglane, seepärast jäävad suitsusamba kontuurid pikemaks ajaks teravaiks. Sama toimub, kui soojendada tuba sooja õhuga. Soojus levib siis toas konvektsioonvoolude kaudu. Konvektsioon on siin mõjuvam kui soojusejuhtivus.

Soojade gaasimasside liikumine külmades gaasimassides allub loomulikult raskustungi seadusele: kergem keha, kui ta mitte koost ei lagune, tõuseb kõrgemale. Sigaretisuits tõuseb üles seepärast, et õhk hõõguva otsa kohal on soojem ning kergem; selle asemele voolab igast küljest külmem õhk. Igaüks teab, mil viisil tekib tõmme korstnas; kuid vististi pole huvituseta Faraday tuntud katset panna veel kord selgitama seda nähet. Traadi ots on varustatud piirituses immutatud puuvillaga, mis süüdatakse põlema ja mida hoitakse siis U-kujulise toru lühema haru lah-tise otsa kohal, nagu näha 6. joonisel. Selle järel puhutakse leegisse ülalt alla nii, et põlenud gaasid ja soe õhk voolaksid U-toru lühemasse harusse ja tõuseksid pikema haru kaudu üles. Kui lõpetada puhumine, siis põleb leek samas suunas edasi, s. o. leegi suund on allapoole. See liikumine põhineb loomulikult sellel, et sooja õhu sammas pikemas harus on



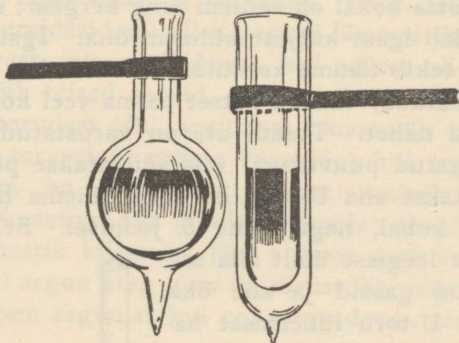
Joon. 6. Faraday katse.

<sup>1)</sup> Konvektsioon — soojuse levimine näiteks õhu- või veevoolude kaudu. Konvektsioonvoolud — õhu- või veevoolud, mis soojust laiali kannavad.

kergem kui sama kõrgusega välise õhu sammas. Ka vastupidine nähe võib esineda; kui näit. kolde kohal olev õhk on külmem välisest õhust, siis voolab suitsune õhk tuppa.

Rohkem soojusejuhtivusega sarnaneb gaasi soojenemine anuma seinte kaudu. Kui molekulid edasi-tagasi-liikumisel satuvad vastu anuma seinu, siis omandavad molekulid tahke keha osakeste vibratsiooni kulul suurema kiiruse, nagu saab tugeva tõuke võnkuvalt helihargilt niidi otsa riputatud kuul.

Sir James Dewar leiutas erilise vaakumpudeli (termopudeli) vedela õhu hoidmiseks.



Joon. 7. Vaakuumpudel.

See on kahekordsete seintega klaaspudel, mille kahekordsete seinte vahelt on välja pumbatud kõik õhk. Nii ei jää üle ühtegi molekuli, mis kannaks energiat väliselt seinalt sisemisele seinale. Ei soojusejuhtivuse ega konvektsiooni teel pääse soojus välisest õhust vedelasse õhku. Kuid soojus levib ka kiirgusena, ja et seda takistada, on õhutühja klaasmantli

sisemine välispind hõbetatud. Seetõttu on vedela õhu isolatsioon välisest õhust pea täiuslik.

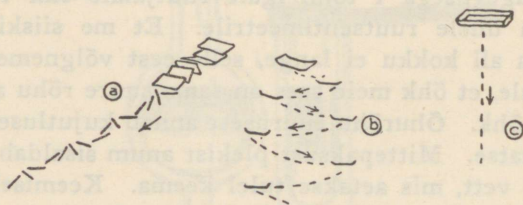
Täielik aatomite ja molekulide sõltumatus üksteisest võimaldab gaaside vaba jagatavuse. Kui löigata noaga tahket keha, siis peab tarvitama teatud jõudu, et molekulide üksteisest lahti rebida, ent gaasis on need ühendavad tungid märgatamatud.

Liikudes läbi õhu, peab keha ületama küll teatud takistuse, kuid seda ainult siis, kui ta paneb seejuures liikuma õhumassid, millega seotud energiakaod. Gaasid on loomulikult kerged, seetõttu nende liikumapanemiseks tarvilik energia hulk ongi väike. Õhu kerge kaal ja takistus, mis ta meile avaldab liikumisel õhus, paneb sageli unustama, kui tugevasti rõhub õhk maapinnale ja kui suur on mõnes suuremas ruumis, näit. suures saalis oleva õhu kaal. Õhk rõhub meie kehale tugevusega 1 tonn igale ruutjalale ehk 1 kilogramm ühele ruutsentimeetrile. Et me siiski selle koorma all kokku ei lange, selle eest võlgname tänu asjaolule, et õhk meie sees on sama suure rõhu all kui väline õhk. Õhurõhu suurusest annab kujutluse järgmine katse. Mittepaksust plekist anum sisaldab algul natuke vett, mis aetakse tulel keema. Keemisel voolab aur anumast välja ja ühes sellega ka anumast olev õhk. Oodatakse, kuni peaaegu kõik õhk on anumast välja tõrjutud, siis võetakse anum, keeratakse kraan kinni ja kallatakse külma vett anuma peale. Aur anumast tiheneb ja rõhk väheneb ligi nullini. Väline õhurõhk pigistab plekkanuma täiesti kokku.

Arvestades õhu raskust, pole imestada, et õhu kiiresti liikumapanemiseks on tarvis tugevat jõudu ja et õhk siis, kui ta kiiresti liigub, avaldab ise tugevat rõhku kõigele, mis leidub ta teel. Igaüks tunneb tuulerõhku ja teab, millist purustamistööd võib teha

torm. Nii tõmbab lennuki pöörlev propeller õhumasse suure kiirusega tahapoole, kusjuures tekkinud vastumõju tung annab lennukile vastava kiiruse. Lendamisel tahab lennuk nagu lindki alatiselt langeda ja ta all olevaid õhumasse kõrvale suruda. Et neid õhumasse panna liikuma, seks on tarvilik tung, ja selle tungi vastumõju avaldub lennukile üleslükkena. Kui lennukil poleks ettepoole suunatud liikumist, siis hakkaks õhk ta all ühes lennukiga langema, kuid kiirel liikumisel libiseb ta vahetpidamata uute õhumasside peale, mis pole veel hakanud langema. Lihtne katse valgustab seda küsimust.

Tükk paberit, näit. suurusega  $75 \times 25$  mm, lastakse käest lahti, kusjuures ta hakkab langema põrandale. Vajudes ta pöörleb ühtepuhku ja langeb mööda kalla-  
kut teed põrandale. Paberilehe esiserv libiseb kogu



Joon. 8. a) Langeva paberilehe üksteisele järgnevad asendid.  
 b) Paberileht, mille ääred pisut ülespoole pööratud, langeb siksakiliselt.  
 c) Paberileht, mille ääred tublisti ülespoole pööratud, langeb püstjoones.

aja uute õhumasside peale, mis veel ei lange, seevastu lehe tagapool asetseb õhu peal, mis juba on hakanud langema, ja leht pöördub, nagu näha 8. joonisel, kuni ta jälle hakkab edasi libisema. Kuid nüüd on eespool juba see äär, mis varem oli tagapool.

Et paber langemisel pöörleb, see oleneb ta lihtsast kujust. Lind, lennuk liiguvad rahuliselt, elegant-selt mööda kõverat, seejuures pole tiiva ehitus (konstruktsioon) lihtne, nagu teab iga lennukiehitaja. Täpne aeroplaani kaju pole mitte tasapind, vaid palju keerukam. Lind libiseb tiibadel, kuid lööb nendega ka alla — nendeks kaheks otstarbeks on tiivad imehästi kohandatud. Tiib koosneb suurest hulgast ventiilidest, mis avanevad, kui tiib tõuseb, ja sulguvad tiiva vajudes; kui lind tõstab tiiba, nihkuvad suled üksteisest eemale ja õhk pääseb neist läbi; kui lind aga tiivaga alla lööb, nihkuvad suled uuesti kokku ja õhk ei pääse neist enam läbi. Nähtavasti tekib sellise tiivaehituse tõttu üleslüke õhus paljalt tiibade lehvitamisel, arvestamata tiibade erilisi liikumisi. Tõuge ülesse tekib tiiva paindumisel kindla esiserva ümber, nagu näha lendava kajaka kahest joonisest (9. joon.). Need on võetud päikesepais-



**LÖÖK ÜLESSE**



**LÖÖK ALLA**

Joon. 9. Lendav kajakas.

tel: kui tiib tõuseb, siis painduvad tagumised osad allapoole, nii et võib näha pealmist heledat külge; tiiva alla vajudes on, ümberpöördult, näha alumine tumedam külge. Ka peame oletama, et rahulikult väljasirutatud tiibade puhul on juba olemas üleslüke, kui

õhuvoolus esinevad väikesed keeristetaolised liikumised. Väga võimalik, et lindude imestamisväärne libisemislend, mis võib kesta kilomeetreid ilma igasuguse nähtava jõukulutuseta, põhineb samal nähtel.

Ilusa näite õhudünaamika seaduste kohta annab palli kõrvalekaldumine sirgjooneliselt teelt, kui ta pöörleb oma telje ümber. Eriti hästi võib seda nähtust jälgida golfipalli liikumisel. Kui golfipall liikudes pöörleb, siis ei lenda ta mitte sirgjooneliselt selles suunas, mis oli talle löögiga antud, vaid kaldub kõrvale. Paremale poole kaldub ta sel korral, kui mängija poolt vaadates ta alumine pind pöörleb vasemalt paremale poole. Lendava palli ees tekib tihe õhupadi, sest lühikese aja tõttu ei jõua õhk eest ära voolata. Kui pall seejuures pöörleb, siis liigub vasem pool edasi lennu suunas, parem pool tagasi (vasem ja parem mängija poolt vaadatuna). Sellest nähtub, et vasemale poole ette tekib hõõrdumise tõttu tihedam õhupadi, mis pärast palli kaldub paremale poole. Seda asjaolu arvestavad head golfimängijad. Sama nähtust võib tähele panna ka tennispalli liikumisel.



Joon. 10.  
Pöörleva golfipalli liikumistee.

Kõik siin kirjeldatud gaaside omadused seletuvad, nagu nägime, hüpoteesiga, et mõnesse liiki kuuluvail aatomeil on väga vähe kalduvust ühineda teiste aatomitega samast või teisest liigist: neid aatomeid nimetasime inertseiks. Teised jälle, nagu vesinik ja hapnik, on ise küll väga ühinemisvõimelised, kuid neil on suur kalduvus moodustada inertseid molekule. Õhk on inertsete aatomite ja molekulide mehaaniline segu: need on hapnikumolekulid ( $O_2$ ), mis koosnevad ka-

hest hapnikuaatomist, lämmastikumolekulid ( $N_2$ ), samuti kaheaatomsed, mõned süsihapu gaasi molekulid ( $CO_2$ ), millest igäüks koosneb ühest süsiniku- ja kahest hapnikuaatomist, mõned mitteühinevad argoni-aatomid ja tõenäoselt veel mõnede teiste gaaside jäljed. Nad kõik moodustavad gaase, sest neil puudub kalduvus ühinemiseks. Nende sõltumatus koos liikumisega laseb mõista nende igakülgsel käitumist.

Nüüd seame endile küsimuse: Kuidas sobivad need aatomite omadused aatomiehitise kujutlusega, mida oleme eespool kirjeldanud? Kuidas on ühendatav niisugune päikese- ja planeetidesüsteemiga sarnane kujutus kirjeldatud aatomite kalduvusega ühineda või mitte ühineda, molekulide moodustamisega jne. Täit vastust sellele küsimusele andes peaksime terve keemia, niipalju kui me seda teame, läbi arutama, mida loomulikult siin teha pole võimalik. Kuid on olemas teatud lihtsad reeglid, mis pole küll seletatavad ja milles on sageli lünki, kuid mis on tarvilikud seks, et tõsiolusid üksteisega siduda. Tuletame meelde inertsete aatomite numbraid: 2, 10, 18, 36, 54, 86. Mis seejuures meile silma torkab, on omapärane vahekord nende arvude vahel. Moodustame neist üksteisele järgnevad diferentsid (see on vahed 8 ja 10, 10 ja 18 vahel jne.), siis saame 2, 8, 8, 18, 18, 32. Need arvud on arvude 1, 2, 3 ja 4 kahekordsed ruudud. Eespool oli öeldud, et mitmesuguste aatomiteliikide erivused olenevad arvude erivusest. Seejuures jätsime toomata igas aatomis olevate elektronide arvu katselise ja teoreetilise tõestuse; need on seks liiga keerukad, kuid tulemused on lihtsad ning küllaldased. Aatomis olevate elektronide arv ehk õigem arv, millega avaldatakse tuuma positiivne laeng, — kui ühikuks võtta elektroni laeng —, on ülisuure tähtsusega, seepärast

tuleb arvata, et ka need arvu-vahekorrad aatomite numbrite vahedes peavad midagi tähendama. See tõenäosus suureneb, kui vaatleme asja teisest küljest.

Keemikud avastasid juba ammu, et mitmete aatomiliikide vahel on olemas teatud analoogiad, ja on neid analoogiaid põhjalikult uurinud. Antud juhul on otstarbekohane neid avastusi avaldada arvulistes vahekordades. Toome siin mõned neist.

Alates heeliumiga kirjutame kaheksa üksteisele järgnevat lihtainet (aatomiliiki); nende alla kirjutame kaheksa järgmist, alates neoniga; nende alla jälle kirjutame kaheksa järgmist alates argoniga, kuni nr-ni 20.

Heelium	Liitium	Berüllium	Boor	Süsinik	Lämmastik	Hapnik	Fluor
2	3	4	5	6	7	8	9
Neon	Naatrium	Magnees.	Alum.	Räni	Vosvor	Väävel	Kloor
10	11	12	13	14	15	16	17
Argon	Kaalium	Kaltsium	jne.				
18	19	20					

Mis siia oleme kirjutanud, on osa „perioodilisest süsteemist“. Perioodiline süsteem on nii korraldatud, et aatomid heelium, neon ja argon, mis üksteisega sarnanevad keemilise inertsuse poolest, asetsevad üksteise all. Veel nähtub, et liitium, naatrium ja kaalium, mis ka sugulased omadusilt, samuti järgmise püstreana on üksteise all, ja see tähelepanuväärne sugulus kordub iga püstrea juures. Nimetus perioodne süsteem juba ise on selle asjaolu kirjeldus.

On täiesti põhjendatud oletus, et aatomite omadused, mis avalduvad aatomi käitumises teiste aatomite suhtes, põhinevad ta elektronide korral-

d u s e s ehk paigutuses ja et väliselektronid, mis esimestena kokku puutuvad teiste aatomitega, etendavad seejuures tähtsamat osa. Nii on liitiumi, naatriumi ja kaaliumi käitumised tõenäoselt seepärast sarnased, et kõikide nende väliselektronide kombinatsioonid on sarnased, samuti ka süsinik ja räni, fluor ja kloor jne.

Neil kaalutlusil on püstitatud järgmine hüpotees. Me oletame, et heeliumi mõlemad elektronid on korraldatud s ü m m e e t r i l i s e l t mõlemal pool aatomituuma. Edasi oletame, et kõikide järgmiste kaks elektroni on korraldatud samal viisil kui heeliumielektronid, teised järgmised elektronid moodustavad uue välisrühma või katte. Seega on liitiumil kaks heeliumielektroni, ja kolmas moodustab välise rühma esimese elektroni. Berülliumil on kaks välisrühma elektroni, booril kolm, süsinikul neli, lämmastikul viis, hapnikul kuus, fluoril seitse. Nüüd järgneb neon kaheksaga. On põhjendatud oletus, et seega väliskatet moodustava rühma elektronide arv on täis ja et sellest alates järgnevais aatomeis juurdetulnud elektronid moodustavad u u e r ü h m a. Nii on naatriumil nagu liitiumil üks elektron välist katet moodustavas rühmas, magneesiumil on neid kaks nagu berülliumil jne. Klooril puudub nagu fluorilgi üks elektron välise kaheksa-rühma kattes, seevastu on argonil nagu neonil kõik kaheksa kohta täidetud. Kaaliumiaatomis algab neljas rühm; kaltsiumil on selles uues rühmas kaks elektroni jne. Selle viimase täisrühma moodustavad mitte kaheksa, vaid kaheksateistkümmend elektroni, nagu õpetab keemia. Kõrgemate aatomite puhul muutub jälginine raskemaks, mispärast me seda küsimust pikemalt ei käsitle.

See hüpotees seletab, miks ühes ja samas püstreas olevate liikmete omadused on sarnased. Nüüd küsime,

miks olenevad aine eriomadused väliskatet moodustavate elektronide arvust, mis on üks ja sama ühe püstrea liikmete juures. Sellele küsimusele võime anda järgmise vastuse.

Määratu suurest hulgast keemia tõdedest aatomite omaduste kohta ühendeid moodustada, teistel tingimustel jälle ühendeid lõhkuda ja uusi moodustada järgnevad mitmed juhised (reeglid), mis otseselt näivad olevat seotud välist katet (rühma) moodustavate elektronide arvuga. Esiteks on aatomeil olemas püüe täita elektronidega mittetäieliku rühma tühje kohti. Kui näit. oleks klooril üks elektron väliskattes rohkem, siis oleks see rühm täielik selles mõttes, et ta enam ei suurene, kui minna perioodilises süsteemis aatomilt aatomile. See tõttu on kloor nii-öelda puuduva elektroni jahil, ta kisub seda suure jõuga teistelt aatomitelt, mis seda küllalt kindlalt ei hoiu. Küll läheb seejuures elektrilaengute tasakaal aatomites kaduma, sest võõras elektron annab aatomile negatiivse laengu. Kloori jõud elektrone teistelt aatomitelt ära kiskuda ja nende ühendeid otsitava elektroni tagaajamisel lõhkuda teeb kloorist kange mürgi.

Väävlil on kaks tühikut täita, tema käitumine teiste aatomite suhtes on analoogilisel viisil sellest asjaolust tingitud.

Seevastu liitiumi, naatriumi ja kaaliumi väliskattes on ainult üks elektron. See elektron on aatomiga nõrgalt seotud ja kui talle läheneb klooriaatom, mis januneb elektroni järgi, siis läheb see üksik elektron klooriaatomisse üle. Selle ülemineku tulemuseks on mõlemate aatomite välisrühmade täielikkus: kloor on siis väliselt sarnane argoniga, ja kui teiseks aatomiks oli naatrium, siis sarnaneb see neoniga. Mõle-

mad aatomid on nüüd elektriliselt laetud, kloor negatiivselt ja naatrium positiivselt. Seetõttu tõmbuvad mõlemad aatomid vastastikku, moodustades koos keedusoola molekuli.

Naatrium on pehme, metalse läikega valge metall. Nagu allpool näeme, on metalse oleku tunnuseks see, et iga aatom omab üht või kaht kergesti vabanevat elektroni. Praegukirjeldatud juhtumil ühines valge metall mürgise gaasiga läbipaistvaks soolakristalliks. Seejuures toimus suur muutus aine omadusis, aga see ei tohiks meid panna imestama, kui meelde tuletada, kui palju erineb elektronide korraldus molekuli välispinnal mitteühinenud aatomite juures. See elektronide korraldus määrab lõplikult aatomi või molekuli karakteri. Näiteid seda liiki ühendite tekkimiste kohta võib tuua väga palju. Siin vaatleme veel ühte juhtumit, mis on pisut keerukam, nimelt kaltsiumfluoriidi, kristallina tuntud sulapao nimetuse all. Siin ühinevad kaks fluoriaatomit, mil igaühel puudub üks elektron, kaltsiumiaatomiga, mille välisrühmas on ainult kaks elektroni; iga fluoriaatom tõmbab ühe neist väliselektronidest oma süsteemi. Nii moodustub kolmeaatomne molekul  $\text{CaF}_2$ .

Peale kirjeldatud menetluse, elektronide andmise ja võtmise on olemas veel teine viis väliselektronide arvu täiendamiseks: aatomid jagavad omavahel elektronid ära, kusjuures ilmselt ühiseid elektrone võib vaadelda kuuluvaina nende molekulide struktuuri, nagu kaks naabermaja võivad omada ühise tule müüri. Vesinikuaatomil on üks elektron. Kui need aatomid ühinevad kahekaupa ja igaüks neist toob kaasa ühe elektroni, siis omavad nad kokku kaks elektroni nagu heeliumgi — ning vesinikumolekul ongi moodustatud. Kaks hapnikuaatomit ühi-

nedes moodustavad hapnikumolekuli  $O_2$ , kusjuures iga aatom on ümbritsetud kaheksast elektronist, millest neli on ühised. Teemandis on, nagu veel allpool näeme, iga süsinikuaatom ümbritsetud neljast teisest süsinikuaatomist, iga viimasega omab ta ühiselt kaks elektroni, nii et iga aatomit ümbritseb kaheksast elektronist koosnev väliskate. Sel viisil moodustatud ühendid on tavalisest väga kindlad ja nende molekulid püsivad. Ometi on permanentseimad (püsivaimad) just need gaasid, mis juba loomu poolest omavad täielikke väliskatteid: heelium, argon, neon jt. Seetõttu ongi need täiuslikumad gaasid.

### III.

## Vedelikkude põhiomadused.

Erivus gaasi ja vedeliku vahel seisab selles, et esimeses liiguvad aatomid ja molekulid iseseisvaina edasitagasi, kuna vedelikus on nad üksteisega kogu aja kokkupuutes, kuigi vahetavad järjest kaaslasi. Liikumise ja külgetõmbetungide võistluses pole nüüd liikumine enam pärisisand: külgetõmbetungid on juba küllalt nii tugevad, et hoida niipalju molekule omavahel kokkupuutes, et need moodustavad nähtava välispinnaga ja kindla ruumalaga vedeliku. Kuid ka külgetõmbetungide valitsus pole täielik: vedelikkude juures toimub vahetpidamata protsess, mida nimetame aurustumiseks. Kujutlege veenõu tühjas ruumis. Vee-molekulid on kõik liikvel — võnguvad, pöörlevad, tunglevad ja vahetavad kogu aja kaaslasi. Kuid nende liikuvus pole küllaldane selleks, et see neid üksteisest täiesti eraldaks, välja arvatud välispinnal, kus valitse-

vad erilised tingimused. Seal tuleb ette molekulide väljumist: mõned välismolekulid saavad nimelt tõuke, mis on küllalt tugev selleks, et murda nende sidet alumiste molekulidega, ja nii nad lipsavad minema. Kui see sünniks vee sees olevate molekulidega, siis püüaksid teised neid kinni, kuid pinnal on tee vaba.

Ruumi, kus asetseb veeanum, koguneb niiviisi järjest suurem hulk veemolekule, mis lendlevad iseseisvalt ringi nagu gaas. Kui aga ruum on piiratud, siis mahub sinna ka ainult piiratud hulk molekule, sest saabub aeg, kus ruumis olevate vabade molekulide hulk on juba nii suur, et nad riivavad veepinda ja neid liitub siis veega sama palju, kui palju teisi veest lahkub. Ruum on siis küllastatud veeauruga. See võib sündida enne anuma tühjenemist; kui aga ruum on lahtine ja veeaur saab levida, siis aurustub kogu anum aja jooksul tühjaks.

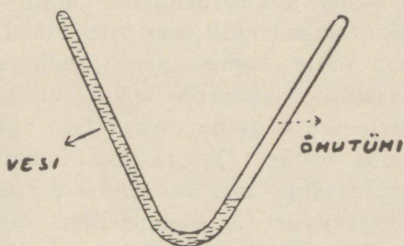
Need veepinnalt lahkuvad molekulid on varustatud igatahes tugevama energiaga võrreldes keskmise molekulienergiaga, kuid osa sellest energiast kulutavad nad oma lahtikiskumiseks kaaslasist. Niiviisi väheneb selle keskmine energiahulk aurustumise ajal järjest, või teiste sõnadega: vesi muutub ikka jahedamaks. See nähe on meile kõigile hästi tuntud. Hõljutades niiskeid käsi, tunneme jahedust: kasustame sel juhul pisut liialdatud viisil sama abinõu, mida tarvitab looduski meie keha jahutamiseks paraja temperatuurini. Meie keha kasustab oma hüveks aurumolekulide poolt äraviidavat üleaurust energiat. Jahutust võib suurendada veelgi seesuguse vedeliku kasustamisega, mis aurustub kiiremini kui vesi. Nii tarvitasid näit. arstid omal ajal kohaliku külmetuse tekitamiseks eetripriitsmeid. Kuumades ja kuivades maades jahutatakse joogivett sel teel, et pannakse vesi koredasse

kotti, mis riputatakse päikesevarju tuule kätte. Ja mida kuivem ning kuumem on tuul, seda parem. Vesi imbub seal koti urvete (pooride) kaudu välja ja aurustub kiiresti tuule käes, muutes järelejääva vee jahedamaks. Eriti kiire on aurustumine õhutühjas ruumis, sest seal pole väliseid takistusi molekulide väljumisele vedeliku pinnalt. Kui väljastpoolt soojust juurde ei pääse, on niisuguse kiire aurustumise tulemuseks varsti järelejääva vee jäätumine. Kui aga vedelik keeb, siis on temperatuur tõstetud nii kõrgele, et lahukuvate molekulide hulk ja nende kiirus on küllaldane selleks, et aurumist takistavat õhku massiliselt eemale tõugata veepinnalt ja niiviisi teed murda aurumisele. Siin ei tõukle enam üksikud molekulid läbi hulga välja, vaid terved parved lahkuvad veest. Keemise nähe erineb väliselt väga palju aurustumisest, mistõttu sageli unustatakse, et on oluline sarnasus aurumise (auru tekkimine keemisel) ja aurustumise (aeglane auru tekkimine vedeliku pinnal) vahel. Temperatuur, mille juures vedelik keeb, oleneb rõhust, mida peavad ületama molekulid. Kõrgel mäetipul, kus õhk hõredam ja rõhk seepärast väiksem, keeb vesi mitme kraadi võrra jahedamana kui mäe jalal.

Vedeliku aurumiseks vajalik soojus on tolle energia mõõt, mis on tarvilik molekulide üksteisest eraldumiseks. See energia peab olema väga suur. Tuletagem ainult meelde, kui suurt hulka soojust vajab vee auruks muutmine ja milline jõud on aurul. Kuid vedelikumolekulide vastastikused tõmbetungid avalduvad ilmselt igas rippuvas tilgaski. Molekulid hoiavad seal üksteise küljest kinni nagu mesilaspere mõne oksa külge rippuma jäädes. Seosed, millega ülemised molekulid on kinnitunud selle pinna külge, millel ripub tilk, kannavad kogu tilga raskust. Seda

lihtsat näidet võib veel edasi arendada katseks, kus molekulide tõmbetungid avalduvad veelgi mõjukamalt.

Võtame painutatud klaastoru, mis sisaldab vett, aga mitte õhku. Üks haru on täidetud täielikult veega. Kallutame seda toru nii, et vesi täidaks lõpuni ühe haru, teist haru aga osaliselt (11. joonis). Siis kannavad kogu pikemas harus oleva vee ülekaalu ülemise otsa molekulid, mis hoiavad kinni toru pinnast ja mille küljest omakorda hoiavad kinni teised mole-

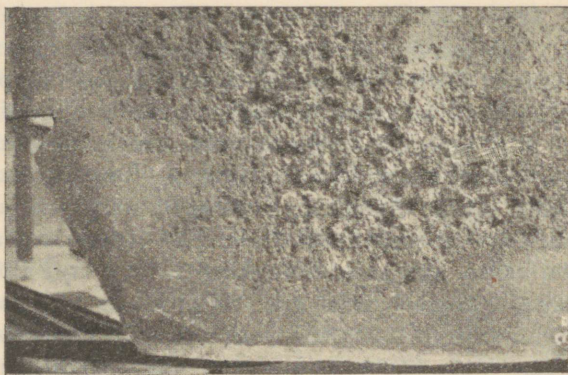


Joon. 11. Vesihaamer.

kulid. Nii saame veetilga, mis on umbes 30 cm pikk! Nii pikka tilka ei saa rippuma panna sõrme otsast, sest vesi valgub laiali, muutes oma kuju. Kui aga selle kujumuutmise ära hoiame klaastoruga, siis paistab molekulaarsete tungide suurus eriti hästi silma. Raudkangi venitades mõistame kohe, kui tugevad on rauamolekulide tõmbetungid. Samal ajal võiksime aga arvata, et veemassi on üsna hõlpus venitada, kuid see pole nii. Hõlpus on küll muuta vee kuju, kuid mitte molekulide kihte üksteisest lahku kiskuda. Vett on tõeliselt sama raske venitada kui kokku surudagi.

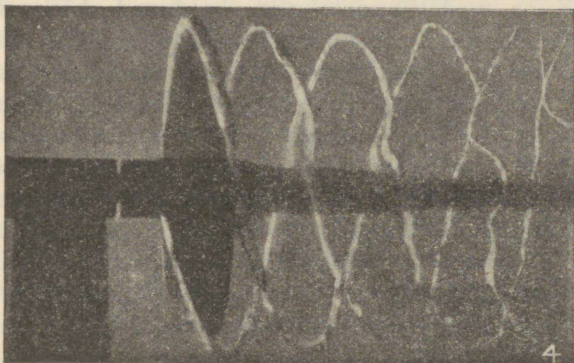
Siin võiksime pisut kõrvale kalduda oma arutluste peasihist, et tähele panna üht huvitavat nähet, mis avaldub sellesama painutatud toru käsitlemisel. Kui kõigutame seda toru nii, et vesi voolab edasi-tagasi ja põrkab tugevasti toru otste vastu, siis kuuleme löögi häält, nagu taoksid kaks kõva asja vastamisi. Seda lööki tunneb ka toru hoidev käsi. Mõnigi kord on toodud seda nähet veehaamri näitena. Tema seletus on üsna lihtne. Torus pole õhku ja vesi lööb toru otste vastu otsekui tahke keha ja ta mõju ongi selline, sest ta on sama kokkusurumatu nagu tahke keha. Kõvasti kõigutamisel võib vesi toru otsad katki lüüa.

Huvitava näite samasugusest nähtest pakkusid viimaseil aastail laevapropellerite kulumised eriti kiiresti pöörlevate kruvide otsas. See nähe, nn. korrosioon, ilmus esimest korda, kui hakati tarvitama Parsoni auruturbiine, mis suurendasid tugevasti kruvide pöörlemiskiirust ja ühes sellega laevade liikumiskiirust. Propelleri tiivad hakkasid hävima, nende pinda tekkis hulk väikesi augukesi (12. joonis). Sele-



Joon. 12. Tugevasti erodeeritud laevapropelleri tiiva pind.

tus põhineb nähtel, et laev liikus nii ruttu ja kruvi pöörles nii kiiresti, et vesi ei jõudnud täielikult täita tühikuid, mida jätsid propelleri tiivad enda järel. 13. joonis kujutab neid tühikuid. Nad sarnanevad spiraalidega; 13. joonisel võime eraldada iga propelleritiiva poolt tekitatud spiraali.



Joon. 13. Propelleri pöörlemisel tekkinud tühikute fotod. Propelleril on kolm tiiba, millest igaüks on tekitanud kravikägukujulise tühiku vees.

Ümbritseva veerõhu mõjul need tühikud langevad kokku; kuna aga neis pole õhku, siis põrkavad tühiku seinad nii kõvasti üksteise vastu nagu meie katsetorus olev vesi toru seina vastu. Kuna osa propelleritiivast samal ajal moodustas osa tühiku seinast, siis tabas veehoop ka teda. Ja see hoop oli nii tugev, et lõi välja metallitükke. Selle nähte selgitus nõudis palju tööd. Kuid nüüd valmistatakse propellereid eriti vastupidavast korrosioonivabast sulamist, ja samuti on muudetud nende kuju otstarbekohasemaks.

Propelleri pöörlemisest tekkivate tühikute kokku-

langemine teeb vees tugevat müra, nii et laeva tulekut võib kaugemale kuulda eriliste veealuste hääle-vastuvõtjate abil.

Vee elastsusepuuduse lõbusamat näidet on aga igauks läbi elanud siis, kui ta kustki kõrgemast kohast vette sukeldudes pole just libedalt sisse libisenud, vaid sageli on saanud veelt üsna valusa hoobi.

Kuna vedelikumolekulid hoiduvad kõik ühise külgetõmbetungi mõjul kokku, siis omandab vedelik alati, kui välistingimused lubavad, kera ehk kuuli kuju. Eriti selgesti oleme näinud seda elavhõbedast. Kui teda pillata lauale, siis murdub ta ümmargusteks tilkadeks, mis veerevad ringi, nagu oleksid nad kõvad kuulid. Vesi teeks sedasama, kui ta ei märgaks lauda. Kuid mõnikord käitub ka vesi samuti, näit. kui kukub vett tolmusele pinnale, mida ta ei märga. Allpool vaatleme lähemalt, mis see märgamine õieti on. Vedeliku kerratõmbumise püüde juures tuleb arvestada lisaks ka gravitatsiooni- ehk raskustungi. Väikesed elavhõbeda tilgad paistavad täiesti ümmarikena, kuid suuremad kogud sarnanevad rohkem jämedate, ümmaraääreliste ketastega, sest nende raskus surub neid laiemale laua vastu.

Kui tahame näha kerademoodustumist molekulide eneste omavahelise tõmbe tungide mõjul, siis peame igatahes katsuma ära hoida niihästi märgamise kui ka raskustungi mõjusid. Elavhõbeda väikesed tilgad on siin parimaks näiteks. Teise hea näite pakub tinahaavlite valmistamine. Sula tina lastakse teatud kõrgusest langeda veepaaki. Langedes võtab tina ümmarikude tilkade kuju nagu vihm ja tarretub sellisena vees.

Võib-olla näib see vastuolus olevat eelpool nõutud tingimustega, sest raskustung pole ju siin ära hoitud.

Tõsi küll, kuid tilgad on siiski selgelt kerakujulised. Siin peame täiendama esialgset tingimuste asetamist ses mõttes, et raskustungi rikkuv mõju on ainult kaudne, ta takistab kerade kujunemist ainult siis, kui talle tekib vastupanu. Suurte elavhõbedatilkade lamesummine pole tingitud mitte otseselt raskustungist, vaid laua vasturõhumisest, mis mõjub vastassuunaliselt raskustungile. Tinatilkad langevad aga vabalt vette, kus nende kuju jäädvustub.

Et selgitada kuulide tekkimist molekulide enestetungide mõjul, korraldame vastava katse. Võtame ühe tumeda vedeliku, orto-toluidiini, mis ei segune veega või, teisiti öeldes, mida vesi ei märga ja mille tihedus on nii suur, et ta hõljub vabalt puhtas vees, mis kihina asetseb soolase vee peal. Ümbritsev vesi kannab seda vedelikukuuli igalt poolt ühtlaselt: ta ei toetu mitte ainult ühele punktile nagu kõval pinnal asetsev elavhõbedatilk. Nii ei avalda selle katse juures mõju märgamine ja raskustung, ja, nagu näeme, kujuneb suur kerakujuline tilk, mille läbimõõt võib olla mitu cm. Kui teda torgata klaaspulgaga, siis omandab ta selle järel aeglaselt jälle endise kuju, või ta puruneb vähe- mais keradeks pärast kõikumist mitmesuguste kujude vahel. Kui aga pulka ettevaatlikult suruda kera vastu, siis teeb ta kera pinnale nõo või augukese. Siin toluidiin, püüdes moodustada kerakujulist tilka, kohaneb nii hästi kui võimalik olukorraga. Sama pilti võime näha, kui asetada tahke keha, näit. raudkuul, elavhõbeda pinnale: tekib samuti nõgu. Kuuli ümbruses omandab elavhõbeda pind erilise kuju, mida võib kergesti järele katsuda. Sama piirjoont näeme elavhõbeda pinnal ka tole anuma seina vastas, milles ta asetseb. Teisiti on aga lugu siis, kui vedelik märgab eset, mis temal ujub, või tole anuma seina, milles ta asub. Näit.

puhta klaasnõu sees puhas vesi surub end tihedalt seinast vastu. On ilmne, et siin esineb külgetõmbetung vee ja klaasi vahel.

Vedelikutilk, mis püüab tõmbuda kerasse, näib olevat nagu mingi veniva kotikese sees. Tõepoolest ongi nii, et elavhõbeda välispinna aatomid ei asetse mitte täiesti samus tingimuses kui seesmised, sest nad on ju ühelt poolt vabad, ja ses mõttes võime kõnelda elavhõbeda väliskelmest. Nii siis on see ainult eritingimustes asumine, mitte tegelik erinemine. Sellegipärast kasustame väliskelme mõistet, kuna see hõlbustab pisut selgitust. Kõneleme selle kelme kokkutõmbumis- ja venimisvõimest.

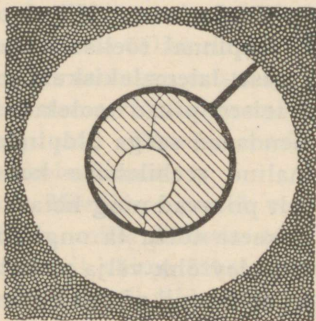
Mõnikord esineb vedelikel siiski ka tõeline väliskelme, mille koostis erib sisemisest vedelikust. Sel juhul võime tähele panna mitmesuguseid huvitavaid kaasnähteid. Üks tuttavam sellekohane näide on seebimullid. Paneme vette pisut seepi ja kohe võime lüüa seda seebist vett vahule või puhkuda mulideks. Mis osa etendab selle nähte juures seep? Vastust tuleb otsida seebimolekuli omadustes. Tal on õige iseäralik kuju: ta on mitu korda laiupest pikem ja koosneb süsinikuaatomite ahelikust, mida kogu pikuses narmastena piiravad vesinikuaatomid. Aheliku üks ots lõpeb kolme vesinikuaatomi kimbuga ja teine ots hapniku- ja naatriumiaatomite rühmaga. Esimene kimp,  $\text{CH}_3$ , on väga isekas, ta külgetõmbetung teiste aatomite ja molekulide suhtes on väike. Kuid teine,  $\text{CO}_2\text{Na}$  rühm on hoopis seltslikum: ta püüab järjest liituda teistega ja eriti tugev on tal püüd ühineda vee-molekulidega. Seepärast seep lahustubki vees. Kuna aga ainult üks seebimolekuli ots on nii agar ja teine ots ning küljed hoopis tagasihoidlikumad, siis jäävadki seebimolekulid vette sattudes välispinnale. Nii tekib

veepinnale tõeline kelme, mis koosneb nii-öelda otsapidi püsti seisvaist seebimolekulidest. Nende molekulide üks ots juurdub vees, teine aga sirutub õhku. Nad seisavad külge külge kõrval nagu kõrred viljaväljal, kuid nad pole siiski nii vabad kui kõrred. Nad on ka külgepidi omavahel seotud, sest niiviisi kõrvuti seistes nende vahel mõjub külgetõmbetung. Allpool võime näha sama nähet teistes tingimustes. Nii moodustavad siis seebimolekulid veepinnal tõelise katte. Seda linikut võib venitada, sest laiemalekiskumisel ilmuvad alumisest vedelikust teised pikad molekulid, mis asuvad teiste hulka ja laiendavad seega üldpinda.

Seebimull on õhukeseseinaline seebilahuse kerapind, mida väljast- ja seestpoolt piiravad ning hoiavad koos seebikelmed. Nende kelmete tõttu ta ongi nii vastupidav. Niipea aga kui seesolev õhk välja pääseb, vajub ta kokku. Arvestades, et seebimull püüab kokku tõmbuda ja et väliskihi moodustavad seejuures pikad ahelmolekulid, on ilmne, et pikad seebimolekulid püüavad võimalikult tihedalt veemolekulidega ühte hoida. Seebimulli kokkutõmbumiskalduvust võiks selgitada veel ühe lihtsa katsega. Traatrõngas pistetakse seebilahusesse. Väljatõstmisel kannab ta enda sees seebiketmet. Kelmes ujub ühtlasi peenest puuvillakiust rõngake, mis oli kinnitatud traatrõngale enne lahusesse panekut. Kui kuuma nõelaotsaga torgata läbi puuvillrõnga sees oleva kelme, siis muutub puuvillrõngas otsekohe täisringiks, nagu näha 14. joonisel, sest tema ümber olev kelme saab teda nüüd välja venitada. See näitab, et kogu kelme on pingul ja püüab kokku tõmbuda.

Üks huvitav seebimulli iseloomujoon on tema vastumeelsus ühineda teise mulliga. Kui puhuda üks mull rõngale ja võtta teine mull ning lüüa teda nii

kõvasti vastu esimest, et võiks arvata neid juba purunevat, siis näeme ometi, et mullid põrkavad teineteisest nagu kummipallid eemale. Põhjus on nähtavasti selles, et, nagu juba tähendasime, väliskesta pealmise kihi moodustavad need molekuliotsad, mis ei liitu kergesti ühegi teisega.

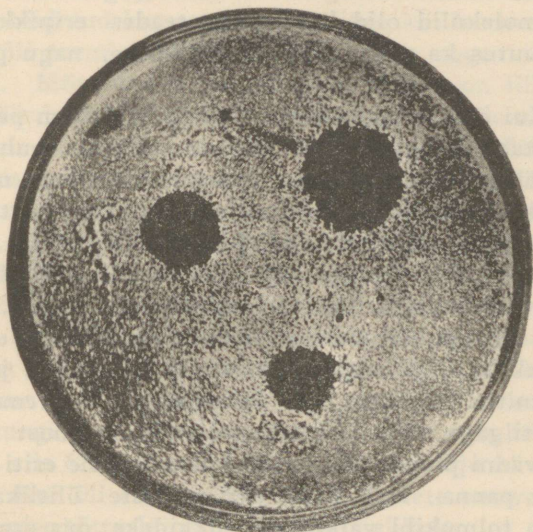


Joon. 14. Traatrõnga keskel on peenikesest niidist rõngake. Kui nõelaotsaga torgata läbi niidirõngakese sees oleva kelme, siis muutub niidirõngas kohe täisringiks.

Ka vedelikkude vahutamist põhjustab sageli seesuguste molekulide olemasolu, millel on omadus moodustada samasuguseid välispinna kelmeid. Kui ojale korjub vahtu, on tegu mitmete saponiinide ja teiste selletaoliste molekulidega, mis on samuti ahelataolised ja leiduvad paljudes taimedes ja puudes. Samuti peetakse merekaldale kuhjuva vahu põhjuseks samasuguseid molekule, mis tekivad meretaimes.

Viimaseil aastail on teadus suuri edusamme teinud selliste ahelataoliste molekulide kuju tundmaõppimises. Eriti õpetlikud on olnud katsed veepinnale lastud õlidega. Vaatleme mõnda neist katseist, et taibata nende mõjude efektsust. Võtame täiesti puhta veepinna (eriti vaba olgu see rasvaineist). Puistame nüüd veele õhukese kihi talkpulbrit või midagi muud selletaolist. Siis võtame terava

otsaga klaaspulga või nõela ja torkame ta õlisse. Pühkides selle järel peaaegu kogu õli ära, pistame kergelt määratud nõelaotsa vette. Otsekohe tekib nõela ümber ring (15. joonis). Pikad molekulid asetuvad siin üksteise kõrvale veepinnale nagu eelpoolgi, kuid seebimullil tulid nad seestpoolt, siin paneme nad aga väl-



Joon. 15. Väikesed õlilgad veepinnal, millele puistatud talkpulbrit.

jastpoolt veele. Iga molekul ruttab oma aktiivse otsaga vette juurduma ja seisab püsti, nagu oleks ta mõni veetaim. Lõpuks omandavad kõik molekulid oma koha ja veepinda katab õhuke, ühe molekuli paksune kiht. Selle paksus on umbes üks miljondik millimeetrit. Arvestades veele lastud õli kaalu — see on äärmiselt raske ülesanne selle väiksuse tõttu — ja kae-

tud ala, on võimalik määrata tolle kelme paksus. Viimasel ajal on kasustatud selliseks määramiseks ka üht uut meetodit, mis põhineb röntgeni- ehk X-kiirte tarvitamisel. Varasemad mõõtmised põhjustasid arvamise, et kihi paksus oli selline, nagu võib oodata ühe molekuli paksuse juures. Seda oletust kinnitas oluliselt asjaolu, et kui veele asetati mitmesuguseid aineid, mille molekulid olid keemikute teades eripikkused, siis muutus ka paksus koos pikkusega, nagu pidigi olema.

Kui õlitilk on küllalt väike ja kattetolm peenelt ja ühetaoliselt puistatud, siis on tolmust puhastuv koht täpse ringi kujuline. Torgates veepinda mõnes teises kohas, moodustub uus ring. Iga ring on täiesti iseseisev ega mõju teistele. See tõendab, et iga tilga tegevus piirdub üksnes selle pinnaga, kus õli laiub: ta ei avalda mingit üldmõju vedeliku üldkogule. Nii-sugust õlitilga käitumist on oodata, kui oletada, et õli-kihi paksus võib langeda ainult teatud piirini, ja siis enam mitte. Suurem tilk katab ainult suurema ala. Mõne tilgaga võib kiiresti puhastada tolmust kogu suure vanni pinna. Õli levikukiirust võime eriti hästi tähele panna, kui üksikute väikeste õlitilkadega lõhume tolmu kihi väikesteks tükkideks, mis saartena seisavad õli vahel. Kui nüüd ühe sellise saarekese lähedusse lasta uus väike õlitilk, siis näeme, kui kiiresti see saar liigub.

Samasugused tõuked põhjustavad veepinnale lastud kampriosakeste elavat liikumist. Kamper lahustub vees ja tema lahus levib mööda veepinda kelmena. Kampritükk ise aga põrkab tagasi, nagu suurtükk saab tagasilöögi tulistamisel. Nii võib panna kerge paadikese veel ilusasti purjetama, kui kinnitada tema pära külge kampritükk, mis puudutaks vett. Huvitav on

aga näha, kuis terve hulk kampripaadikesi järsku peatub, kui veele on kallatud pisut õli. Õlikelme katab ühe hetkega kogu veepinna ega lase lahustunud kampril seal enam tormata.

Kõik oleme kuulnud lainetuse vaigistamisest õli kallamisega merele. Seda nähet võime tähele panna lähemalt, kui tugeva puhumisega tekitame lainetuse veega täidetud katseanumas. Niipea kui laseme mõne tilga õli tormi keskkoha, vaikib see nagu nõiduse mõjul. Mõne hetke pärast, kui õlikate on liikunud teise äärde, lainetus algab aga uuesti. Võime oletada, et tuule hammas ei hakka õlitatud veele. Õlikelme pealmise osa moodustavad, nagu teame, pikkade ahelmolekulide mitteaktiivsed otsad, ja on väga hästi võimalik, et õhumolekulid põrkavad nende siledalt pinnalt eemale. Karedat pinda ajaksid õhumolekulide tõuked edasi (kareda pinnana on mõeldud niisugune pind, kus välismolekulide vahed on suurusejärgu poolest võrdsed õhumolekulide vahedega). Kuna aga õlikelme pind on väga sile ega kaldu liituma ühegi pealetungiva molekuliga, siis ei saa õhk teda tõugata. Seega siis õli rahustab lainetust tuule mõju hävitamisega. Kui õli edasi püsib, kaob lainete omavahelise hõõrumise tõttu lainetus lõpuks täielikult.

Nüüd tuleme uuesti pindade „märgamise küsimuse“ juurde. Teame, et vesi teeb märjaks puhta klaasipinna, kuid ei suuda märjaks teha näit. rasvaga määndunud pinda, koguni kui rasvakiht on paljale silmale nähtamatu. Veemolekulid ei ühine nimelt mingil tingimusel rasvamolekulidega. See ei üllata meid, sest teame juba, et vähemasti mõnedel juhtudel need pikk-molekulid, mis moodustavad rasvu ja õlisid, jätavad välispinnale oma mitteaktiivsed otsad, millel puudub külgetõmbavus veemolekulide kohta. Nii korjub

rasvasele pinnale pillatud vesi tilkadeks, nagu lauale pillatud elavhõbegi. Ja me võime õlitatud nõela asetada ettevaatlikult veepinnale, ilma et ta vajuks põhja. Ta moodustab ainult väikese nõo veepinnal, justkui oleks vee pind nahk, mis annab veidi järele nõela raskusele. Veelgi rabavam on aga vasksõela ujumine vee peal. Sõel pistetakse sula vahasse, raputatakse siis, et augud jääksid vabaks, ja lastakse ära kuivada. Veele panduna ujub ta uhkesti ja võib kanda koguni tublit koormat.

Kui kallata soodavett puhtasse, siledasse klaasi, siis ilmub pinnale ainult üsna vähe mulle; kui aga klaasi pind on määrdunud või kare, siis võime näha terveid mullijugašid tõusmas veest. Üks ilus vana katse viinamarjaga teeb kujukamaks seda nähet. Vesi ei niisuta viinamarja ja nii langeb see soodaveeklaasi panemisel põhja, kus korjab enda ümber suure hulga mulle. Varsti katavad mullid teda üleni ja tõstavad ta oma kergusega pinnale. Viinamari on ainult õige vähe veest raskem ega nõua siis kuigi suurt tungi enda tõstmiseks. Kuid veepinnal mullid lõhkevad õhuga kokku puutudes ja varsti langeb viinamari uuesti põhja, kus hakkab jälle koguma enda külge mulle, mis ta lõpuks üles viivad ja uuesti maha jäta-  
vad. See tants kestab mitu minutit, kuni soodavesi on „surnud“. Kui aga viinamarja asemel panna samasse klaasi hoolikalt puhtaks pestud klaasmuna, siis jääb see põhja, ilma et korjaks ühtki mulli enda ümber. Rasvaga määrdunud klaaspärl aga korjab gaasimulle.

Selle nähte mõistmiseks olgu öeldud, et soodavees on lahustunud süsihaput gaasi, mille osakesed püüavad loomulikult koonduda ja mulle moodustada. Mullide moodustamiseks peavad nad aga suutma rohkemal arvul kohtuda ja selleks vett eemale tõrjuda. Kuid

veemolekulid hoiavad kõvasti üksteisest kinni ega lase end laiali tõugata. Seepärast ei näegi me kunagi mullide kujunemist vee keskel. Äärtel aga, kus klaas on puhas, liibuvad veemolekulid klaasi külge koguni kõvemini kui omavahel. Nii ei saa ka siin tekkida mullisid. Teine lugu on aga siis, kui klaasi pind on rasvane ja veemolekulid ei hoiu end õieti klaasi külge, vaid on pigemini ainult rõhutatud selle vastu nende taga oleva vee survele. Sel juhul leiavad gaasimullid ruumi ja kasustavad seda kiireks kasvamiseks. Kui mullid on kusagil juba kasvanud, siis on kergem eemale tõugata ümbritsevat vett.

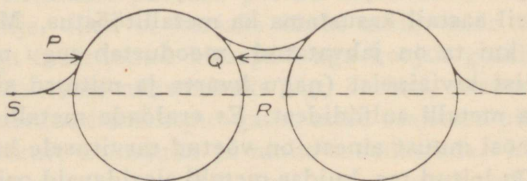
Viimast nähet võib selgitada eriti järgmine katse seebimullidega. Kaks erisuurust mulli on puhutud T-kujulise klaastoru kahte otsa. Kui nüüd avada mulle ühendava klaastoru kraan, siis puhub väike mull suure välja ja kaob. Soodavees klaasi seina või viinamarja küljes külge külje kõrval asuvaist mullidest püüavad suuremad väikesi endasse võtta ja kõiki ühendada.

Väikesed mullide joad, mida näeme vahel tõusvat mõnest klaasi pinnas olevast punktist, on põhjustatud mingist klaasi veast — nukist või urust, mille najal mulle moodustub, kui ta on saavutanud juba teatud suuruse.

Seda kehade omadust vee all koguda enda ümber mulle ja nende najal tõusta veepinnale, on hakanud viimaseil aastail kasutama ka metallitööstus. Metallimuld, kui ta on jahvatatud, moodustab segu mitmesuguseist kiviaineist (nagu kvarts ja mitmed silikaadid) ja metalli sulfiididest. Et eraldada metalli sisaldavaid osi muust ainest, on võetud tarvitusele huvitav võte. On leitud tee, kuidas metalli sisaldavaid osi katta õhukese õlikihiga, jättes samal ajal kiviosakesed endi-

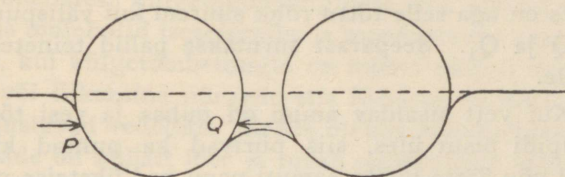
selt puhtaks. Siis lastakse kogu muld mingi vahu sisse. Kõigi metalli sisaldavate osakeste külge koguvad nüüd õhumullikesed, mistõttu nad muutuvad kergeks ja tõusevad üles paksu vahukihi sisse. Ülejäänud muld jääb paagi põhja ja nii eraldatakse mõlemad ained kerge vaevaga.

Edasi aitab kujukamaks teha neid põhimõtteid järgmine katse. Teame, et vesi tõuseb üles mööda puhta klaasnõu seinu, milles ta asetseb. Molekulid liibuvad klaasi külge ja justkui ronivad üksteise õlul üles. Kui pistame kaks klaasplaati külge külje vastas vette, siis tõuseb vesi nende vahel kõrgemale kui väljaspool. Sel juhtumil aitavad üht seina pidi üles ronivad molekulid teist klaasseina pidi ronivaid. Seda nähet nimetatakse kapillaarsuseks, sest see esineb kõige ilmekamalt jõhv- ehk kapillaartorukestes. Peenis torudes tõuseb vesi suurde kõrgusse. Torus, mille läbimõõt 1 mm, tõuseb vesi umbes 3 cm. Huvitav on veel üks tähelepanek, mis on sellesama põhinähte tulemus. Kui paneme väikese õõnsa klaaspalli veepinnale ujuma, siis tõuseb vesi tema külgi mööda üles. Kui kaks ujuvat palli asetada teineteise lähedusse, siis hakkavad nad, päris lähestikku (umbes ühe cm kaugusse) jõudes, ise teineteise poole tungima ja liiguvad lõpuks üsna kiiresti kokku. Seda nähet selgitab 16. joonis. Veepinnal ujub kaks klaaspalli.



Joon. 16. Kaks õõnesklaaspalli veepinnal ujumas.

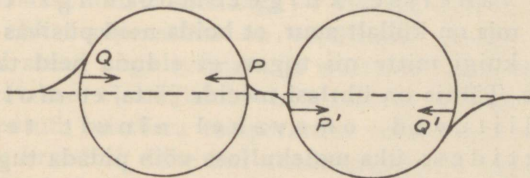
Q juures on rõhumine väiksem kui punktiiriga märgitud tasapinnal, sest Q asetseb kõrgemal tasemel vees. Punktiirjoone tasemel valitseb atmosfäärirõhk, sest see on harilik vee tasapind. Punkt P juures aval-



Joon. 17. Kaks rasvaga kaetud õõnesklaaspalli veepinnal ujumas.

dub sama atmosfäärirõhk, mis on suurem Q juures mõjuvast rõhust, ja nii surutaksegi mõlemad pallid kahelt poolt kokku.

Kui vette on pandud kaks parafiinpalli või parafiiniga ülevõõbatud klaaspalli, siis ka need tõmbuvad



Joon. 18. Vasemat palli märgab vesi, parem on rasvaga kaetud, mispärast vesi seda ei märga.  $P > Q$  ja  $P' > Q'$ .

Pallid tõukavad teineteist.

kokku, kuid see tegevus on mõnesti erinev. Nemad moodustavad veepinda nõo, kuid ka siin jääb pallide vahele nõrgem rõhk ja pallid surutakse seepärast

kokku. Kuid puhas rasvavaba klaaspall ja parafinipall ei lase end teineteise ligi, sest üks märgub vees, teine aga mitte. Vasakul kujutatud (18. joonis) puhta palli ümber tõuseb vesi üles, parempoolse ümber vajub aga eemale. Pallide vahes asetsevate punktide  $P$  ja  $P_1$  juures on aga selle tõttu rõhk suurem kui välispunktides  $Q$  ja  $Q_1$ . Seepärast surutakse pallid teineteisest eemale.

Kui vett sisaldav anum on puhas ja vesi tõuseb seinupidi pisut üles, siis pürivad ka puhtad klaaspallid nõu äärte poole, samuti nagu nad üksteise poole tungivad. Samal ajal hoiduvad aga parafinipallid nõu külgedest eemale. Kui nüüd nõu ettevaatlikult täita veega nii kaugemale, et ta ähvardab juba üle voolata ja veeäär ei kaardu enam külgepidi üles, vaid kaardub nõu ääre poole alla, siis eemalduvad puhtad pallid keskele ja parafinipallid tulevad äärele ning jäävad sinna.

Kõik need seigad, mida siin vaatlesime, iseloomustavad üht põhitingimust, millest oleneb vedelikkude moodustumine, nimelt aatomite ja molekulide vahelise külgetõmbetungi tugevus, mis on küllalt suur, et hoida neid püsivas ühenduses, kuigi mitte nii tugev, et siduda neid tahkeks kehaks. Tähtis on ühtlasi meelde jätta, et molekulid liituvad omavahel ainult teatud punktides; üks molekuliosa võib pidada tugevasti kinni teise molekuli teatud osast, kuid teissuguse asetuse juures samad molekulid võivad avaldada ainult väga nõrka või mitte mingisugust liitumispuuet.

## Kristallide põhiomadused. Teemant.

Nägime, et kui liikumine on tugevam molekulide omavahelistest külgetõmbetungidest, siis jäävad aatomid ja molekulid iseseisvaks ja moodustavad gaasi; ja edasi, kui külgetõmbetungid on mõnel määral tugevamad või liikumine nõrgem, siis liituvad molekulid ja moodustavad vedeliku. Selles olekus molekulidevaheline side on küllalt lõtv ja lubab molekulidel vahetada hõlpsasti oma asukohta ning kaaslasi. Nüüd jääb meil üle vaadelda viimast olekut, kus külgetõmbetungidel on täielik ülekaal. Molekulide vahel on sidemeid rohkem ja nad on tugevamad: iga molekul on seotud oma naabrite külge rohkem kui ühest kohast, nii et ta on kinnitatud oma kohale. Sel viisil tekib tahke keha.

Molekulid erivad üksteisest väga palju oma kuju ja nende mõjude poolest, mida nad avaldavad üksteisele. Kui need külgetõmbetungid on tugevad, siis on tarvis tugevat liikumist, et nad ei seoks molekule tahkeks kehaks: teiste sõnadega — vastava aine sulamispunkt ehk temperatuur on võrdlemisi kõrge. See-sugused ained nagu teemant ja wolfram (aine, millest valmistatakse elektrilambi hõõgniidid) on nii tugevasti seotud, mistõttu temperatuur tuleb tõsta mitme tuhande kraadini, enne kui nende molekulid hakkavad lõdvendama oma rühti. Või püsib ainult normaaltemperatuurini tahkes olekus; veelgi nõrgemini on seotud aga näit. hapnik, samuti ka vesinik, mis muutu-  
tuvad tahkeks (kõvaks) alles õige madala temperatuuri juures.

Edasi tuleb meeles pidada veel seda, et molekuli ei või kujutleda mingi ebamäärase kehana, vaid et tal on üsna kindel kuju. Seejuures liituvad molekulid

üksteisega nii, nagu oleksid igäühel neist ainult teatud kinnituspunktid, ja liitumine toimubki ainult siis, kui need punktid satuvad kokku. Seda liitumistegevust ei saa võrrelda õieti mitte hariliku külgetõmbetegevusega, mis valitseb kahe vastandlikult elektriliselt laetud keha vahel, vaid pigemini mõne mehaanilise ehituse kahe osa kokkuneetimisega, näit. raudsilla osade liitumisega. Nagu viimase juures osad peavad langema täpselt oma kohale, et saaks kinnistuspolte sisse panna, samuti püüavad ka tahke keha molekulid asetuda teineteise suhtes nii, et ühe kinnituspunktid kohtaksid teise vastavaid osi, et võimaldada sel teel liitumist. Seejuures võivad molekulid ühineda veel mitmel eri viisil ja nii võib samadest molekulidest kujuneda väga erinevaid struktuure ehk ehitisi; näiteks moodustavad väävel, räni jt. ained mitmesuguseid struktuure. Sageli juhtub, et ühe temperatuuri juures tekib üks liitumisviis, teissuguse juures aga sellest hoopis erinev.

Tahke keha, mis tekib niisugusel molekulide liitumisel, on seesmiselt muidugi „hõre“. Võime võrrelda teda sillaga, mis on koostatud mitmesuguseist raudlattidest ja plaatidest. Kogu see ehitis on õõnes, sest ta koosneb osadest, mis on kinnitatud üksteise külge ainult mõnest üksikust kohast.

Enamik orgaanilisi aineid, nagu naftaliin, samuti ka tahked parafinid on just niisuguse keeruka ehitusega ja see ehituse sisemine õõnsus annabki neile vähese tiheduse. Need orgaanilised ained aga, mis on palju raskemad veest, peavad ehituselt olema lihtsamad, sest seesugusel puhul võtavad aatomid molekulis vähem ruumi. See on võimalik eriti siis, kui molekulis on ainult vähe aatomeid. Nii sisaldab näit. rubiinimolekul  $Al_2O_3$  viis aatomit, rauapüriidimolekul

$\text{FeS}_2$  ainult kolm aatomit, veelgi tihedamad ja suurema erikaaluga on aga üheaatomiliste molekulidega ained, kus aatom ja molekul tähendavad õieti ühte ja sama, nagu kulla ja raua juures. Siin on aatomite pake väga tihe, mistõttu on aine võrdlemisi raske, s. o. suure erikaaluga.

See lõpmatu mitmekesisus, mis valitseb tahkete kehade omadusis, on nii siis õieti ainult selle ääretu mitmekesisuse väljendus, mis valitseb aatomite ja molekulide liitumisviisides ja nende sidemete tugevuses. Et mõista neid aineid endid põhjalikult, peame järelikult tundma aatomite ja molekulide paigutust ehk paketi nende tahkes olekus ja nende tungide omadusi, mis hoiavad molekule koos.

Röntgeni- ehk X-kiirte avastamine on andnud siin uueaegsele teadusele vahendi, mis lubab jälgida väga kaugemale tahkete kehade koostist ja vaadelda üksikasjaliselt nende ehituse peenusi. Oleme senigi jõudnud juba üsna kaugemale selgituses, miks ühel teatud aatomeist koosneval ainel on just seesugune tihedus, kõvadus või elastsus, miks ta just nii reageerib elektrile, magnetile või soojusele jne. Uued uurimisvahendid süvendavad meie teadmisi sel alal kahtlemata veel palju. Uus mõõtmisviis on eriti kohane tahkete kehade ehituse uurimiseks. Ta põhineb röntgenikiirte kasutamisel kristalse ehituse määramisel.

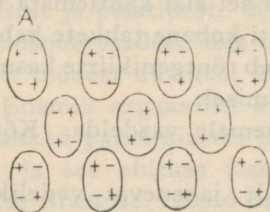
Katsume seda pisut lähemalt vaadelda. Kõigepealt algame kristallidega.

Kujutlegem üht aeglaselt jahenevat vedelikku, mis jõuab sellele jahedusastmele, kus soojuse liikumine on juba nii nõrk, et molekulid või aatomid hakkavad kinnituma üksteise külge. Nad asetuvad külge külje kõrvale nii, et nende külgetõmbepunktid satuksid võimalikult kohakuti. Võime kujutleda kaht mole-

kuli, mis on ühte punkti pidi teineteisega juba seotud, kuid keerlevad veel järjest väheneva liikumiskiirusega teineteise ümber, kuni lõpuks tekib, võib-olla üsna juhuslikult, teine side. Siis võib järgneda kähku ka kolmas side, mis kinnitab neid mõne naabriga, ja nii nad ongi paigale pandud. Sel viisil asetuvad jahe-  
nevas vedelikus ikka uued ja uued molekulid juba kinni jäänud molekulide külge ja tahke keha kasvab.

Kuid tahke aine võib kujuneda ka lahusest, kus vastav aine on lahustatud. Lahus aurustub ja molekulid hakkavad kohtuma ikka sagedamini ning see soodustab nende liitumist. Kui vedelik on täiesti kadunud, siis on järelejäänud aine muutunud tahkeks kehaks. Ka siin selles lahuses ringi liikuvad molekulid liituvad juba ühinenud rühmadega ning alles siis, kui nad üht ja teist viisi asetudes ja ümber asetudes on sattunud õigeile kohtadele, nad kinnistuvad lõplikult.

On arusaadav, et sellistes tingimustes kokkuasetumise tulemuseks on reeglipärane molekulide paigutus. Võtame näit. niisuguse lameda keha, nagu on kujutatud joon. 19, ja oletame, et tal on neli külge-



Joon. 19. Kehade paigutus, mis kannavad positiivseid ja negatiivseid elektrilaenguid.

tõmbekeskust, kaks positiivset ja kaks negatiivset, säärases paigutuses, nagu joonisel näha. Kui asetada seesugused kehad lamedal pinnal niiviisi kokku, et ikka ainult negatiivsed ja positiivsed keskused, mis

üksteist ligi tõmbavad, oleksid lähestikku, siis saame paratamatult reeglipärase paigutuse, umbes sellise, nagu joonisel kujutatud.

Ka loodus teotseb ilmsesti samal viisil: molekulid asetsevad kindlas rivikorras üksteise kõrval. See reeglipärane paigutus on põhjaneva tähtsusega. Tahket keha, milles molekulid on paigutatud kindla korra järgi, me nimetamegi kristalliks. Teda äärestab terve hulk sageli väga siledaid tasapindu, mis annavad talle veetleva sädeluse. Siin on loodus näidanud, kuidas ta paigutab molekule, kui talle jäetakse täielik tegevusvabadus. Kristalli põhimustri tuumaks on ainult kaks või kolm molekuli, ja kui see algkristall on täielik, siis sisaldab ta juba kõik omadused, mis on kogu kristallil, sest viimane pole muud midagi kui ainult selle algraku mitmekordistumine. Kristalli kaudu võime niiviisi siis vaadata looduse algelisimate struktuurideni, tema põhimoodustisteni. Kuid ka siin näevad meie silmad ainult väga tugevate prillide läbi, milleks on teadusele X-kiired.

Aine ehituses võime seega eristada kolm astet: üksikaatomi, nagu see esineb heelium-gaasis; molekuli, mida uurivad keemikud; ja algkristalli, mida võime uurida X-kiirte abil. Et selgitada nende omavahelist erivust, võtame abiks näite. Ütleme, et meil on räni- ja hapniku aatomid. Need võivad moodustada omakord ränihapendi molekuli  $\text{SiO}_2$ , mis sisaldab, teatud asetusel muidugi, ühe ühiku räni ja kaks hapnikuühikut. Lõpuks saame kvartsi algkristalli, mis koosneb kolmest ränihapendi molekulist. Kvartsikristall sisaldab lugematu hulga selliseid algrakke, millest igäühel on kvartsi omadused, samal ajal aga puuduvad need omadused üksikul ränihapendi molekulil.

Nüüd võiks küsida, et kui molekulide loomulik asetumine on korrapärane, miks pole siis kõik kehad kristallikujulised. Sellele võime vastata kõigepealt, et suur täiuslik kristall võib kasvada ainult ühest algkristallist. Raske on öelda, mis just peatab kahe või kolme esimese molekuli liikumise jahenevas vedelikus ja liidab nad algmeks, mille külge hakkavad kinnituma teised molekulid. Võib-olla on see ainult juhusliku kohtamise tulemus, võib-olla on aga aluseks ka üsna väike võõraine osake, või mõni ebakorrapärasus anuma seinas. Kui vedelikus on palju algkristalle, siis kasvab sealt loomulikult ka suur hulk kristalle, mis ei ühine enam. Nii saaksime lõpmatu hulga nähtamata pisikesi kristallikesi, mitte aga tervik-kristalli. Silmale esineb nende kristallikeste üldhulk täiesti korrapäratu kindla kehana. Suure täiskristalli tekkimiseks peavad järelikult tingimused olema sellised, et molekulid liituksid ainult vähese hulga keskuste ümber. Pealegi peab nende kristallide kasvamine minema aeglaselt ja rahulikult, et iga molekul saaks aega korralikult asetuda oma kohale. Ühtlasi peab aga molekulide liikumine olema küllaldane, et molekulid suudaksid asetuda õigetele kohtadele, s. t. ka temperatuur ei tohi langeda liiga kiiresti ega liiga madalale. Kristallide kasvatamisel tuleb kõike seda arvestada.

Need kasvutingimused selgitavad, miks kristallid esinevad võrdlemisi harva, kuid ühtlasi peame meeles pidama sedagi, et paljud kehad on koostiselt ja iseloomult väga keerukad, koosnedes paljudest aineist, millest igaühel on oma loomupärane kuju. Kuid X-kiired on meile näidanud, et kristallid ei ole siiski nii haruldased, nagu kaldume arvama, jaa, et isegi niisugustel juhtudel, kus me ei märka õieti mingit kristalliseerumist, on loodus püüdnud anda korrapäraseid

paigutusi. Looduse korralduste korrapärasus avaldub muidugi selgeimalt nähtavais kristallides, kuid on avastatud ka mujal.

Nüüd vaatleme pisut lähemalt röntgeni- ehk X-kiiri ja katsume esialgu üsna üldiselt selgitada, miks just need kiired on võimelised meile siinkohal abi andma.

X-kiired on õieti üks valguse eriliik. Harilikust valgusest erivad nad oma lainepikkuselt. Tavalise valguse (päikese-, elektri-, küünlavalguse) lainepikkus kõigub väga kitsastes piirides. Kõige pikema laine pikkus on umbes üks tuhandik millimeetrit, kõige lühema oma ligikaudu pool sellest <sup>1)</sup>. See ulatus vastab hästi otstarbele, milleks neid kasustame. Tuletagem siinkohal meelde, et kui me üht asja näeme, siis see tähendab, et silm võtab vastu muudatusi, mida see asi põhjustas valguseallikast (Päikeselt, lambist) tulnud valguses. Pikaajase praktika järele on meie silmad ja ajud omandanud imestletava osavuse selliste muudatuste vastuvõtmises ja läbiseedimises. Kuid see osavus ei tähenda enam midagi, kui vaadeldav ese on liiga väike. Meie abitus ei tule siin mitte ainult sellest, et väike ese tekitab ainult üsna nõrga muutuse valguses, vaid siin on veel teine ja peenem põhjus: nimelt muutub selle mõju enda *i s e l o o m*, kui eseme mõõdet on umbes võrdsed valguse lainepikkusega või on koguni väiksemad.

Et mõista seda seadust, võtame abiks analoogilise seisundi kõigile tuttavast ümbrusest. Kujutlegem end jalutavat mererannal ja vaatlevat randuvaid laineid. Viimaks jõuame kohale, kus märkame järsku lainete nõrgenemist, ja kui uurime põhjust, siis näeme ulgumerel kari, mis varjab meie lahte. Siin on tegu optilise (valguselise) varju paralleelse nähtega: kauge torm, mis ajas laineid meie randa, oleks Päike, rand oleks valgustatav maa ja kari on nagu pilv, mis heidab varju. Optiline vari laseb meil avastada pilve olemasolu, samuti kui lainetuse raugemine lubab oletada kari olemasolu. Kuid oluline on siin, et kari mõõdet oleksid suuremad laine omadest. Kui me kari asemele paneksime näit. merepõhja löödud vaia, mis ulatuks üle veepinna, siis oleks selle mõju liiga väike, seetõttu märgatamatu. Isegi siis, kui me lööksime sel kombel suure hulga vaiu merepõhja, nii et nende kogumõju võrduks kari mõjuga, ei ütleks nende vari midagi iga üksiku vaia kohta. Vaia läbimõõt on

---

<sup>1)</sup> Pikemalt vt. V. K o e r n, *Kaugenägemine, pilditelegraaf ja kaugekino*. El. Teadus nr. 30, 1934.

liiga väike lainepikkusega võrreldes, et muuta laine iseloomu kuigi püsivalt; laine rullub kahelt poolt mööda, liitub jälle ja sellega piirdubki kogu vaia mõju. Kui aga meri oleks vaikne ja ainult üsna nõrk virvendus libiseks ühes kohas üle veepinna, siis võib iga vai heita varju, mis püsib vähemalt pisutki aega. See tuleb sellest, et virvenduse lainepikkus on väiksem kui vaia läbimõõt ja seega iga vai annab oma varju.

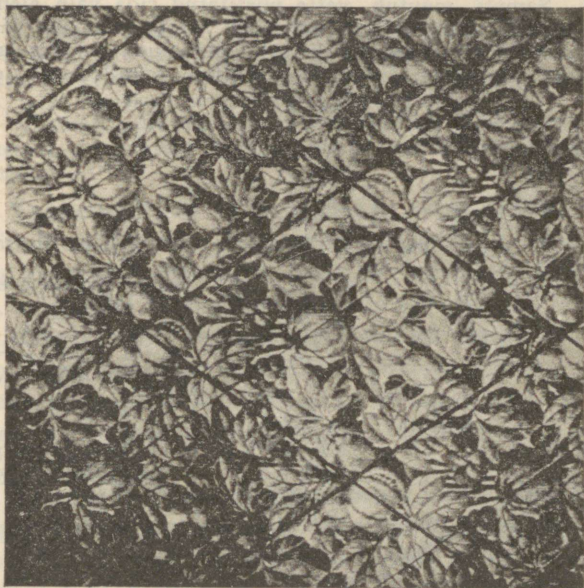
Nii ei avalda valguselainest vähemad molekulidki mingit nähtavat mõju valguselaineile. Siin ei aita ka suurendusaparaadid, nagu mikroskoobid, sest põhjus pole mitte meie nägemise piirides, vaid asjade eneste võimetuses nägemist lubada. Edasi aitavad meid ainult X-kiired, mille lainepikkus on umbes kümme tuhat korda väiksem tavalise valguse omast. Kui aparaatide abil saame silma vastuvõtlikkust suurendada nende pisilainete vastuvõtmiseks, siis võimaldavad need kiired tungida kümme tuhat korda pisemate ehitisteni. See viib meid juba aatomite ja molekulide riiki, mille mõõted kõiguvad ühe kümnemiljondiku cm ümber, mis on ka X-kiirte pikkuse määr. Kui kõnelda üsna üldjoonelisel, siis X-kiired teritavad meie nägemist kümme tuhat korda ja lubavad meil n. ö. „näha“ aatomeid ja molekule. Eeltoodud võrdlust kasustades peaksime ütleva, et molekulid ja aatomid on merre pandud vaiad, X-kiired aga veel väiksemad või sama pikad lained, mille liikumissuunda vaiad muudavad, s. t. molekulid murravad X-kiiri.

Vaatleme nüüd X-kiirte osa kristallide tundmaõppimises, kirjeldades siingi seisukorda kõige üldisemais joontes. Kuigi üksikmolekul võib mõjustada X-kiiri, on ta mõju üksikult ometi liiga väike. Kuid kristallis esineb õnneks määratu hulk molekule korrapärases asetuses ning nii võib juhtuda, et X-kiirte kimbu langemisel kristallile nende paljude molekulide mõju ühineb ja muutub seega tajutavaks. Võtke selgituseks jälle võrdlus. Kui näit. üksik sõdur teeb täagistatud püssiga harjutusi, siis võib valgusehelk, mis peegeldub täagilt, oma väiksuse tõttu paari kilomeetri taha märgatamatuks jääda. Kui aga suur rühm sõdureid korrapärases rivis teeb samu liigutusi, siis on nende üksikhelkide kogu kergesti nähtav. X-kiirte väiksus võimaldab seega igal molekulil mõju avaldada, kristalli korrapärane ehitus ühendab aga nende mõjud tajutavaks tervikuks.

Nüüd katsume selgitada, mil viisil on võimalik määrata röntgenikiirte abil kristallide ehitust, olgugi et see küsimus on pisut raskepärane.

Nägime, et aatomid ja molekulid on kristallis paigutatud kindla korra järgi, samuti õppisime tundma selle põh-

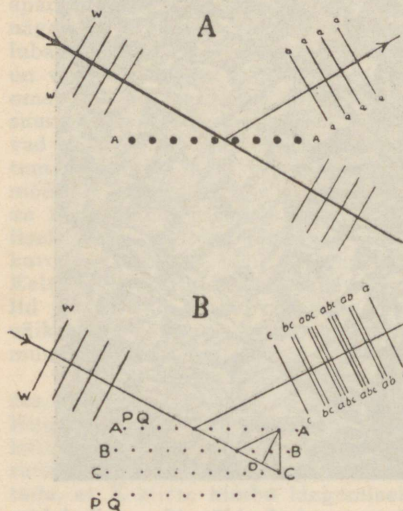
just. Vaadeldes seinale kleebitud tapetit, võime näha, et selle mustri üksikasjad korduvad (20. joonis). Ühendades mustri mingid kindlad detailid joontega, tekib nn. tasapinnaline võre. Sel võrel on üks ja sama kuju, vaatamata mis-



Joon. 20. Tapeti muster.

suguse mustri detaili seejuures märkisime. Kristallüksuste (algkristallide) ruumiline korraldus sarnaneb tapeti mustriüksuste tasapinnalise korraldusega, ainult kristalli juures on meil tegemist ruumilise võrega. Igat ruumivõre raku piiravad paarikaupa paralleelsed tasapinnad. Raku servapikkus võib olla mitmesugune, samuti ka nurgad; reeglipärasem kuju on kuup. Iga rakk sisaldab ühe mustriüksuse, ta on seega algkristall, elementaarrakk, milles peituvad kõik kristalli omadused. Raku kuju ja suurust võib kergesti määrata X-kiirte meetodi abil, raskemini määratavad aga on molekulide asendid raku.

Langegu X-kiirte kimp kristallile. 21. joonisel on langevate kiirte lainerinne märgitud paralleelsete joontena. Kui need lained langevad nüüd kristalli aatomirühmade reale, mis joonisel märgitud punktidena, siis igast rühmast väljuvad samasugused lained, samal ajal kui esialgne laine levib. Samuti muutub vette püstitatud rida vaiu elementaar- ehk pisilainete allikaiks, kui neist laine üle läheb. Teatud kaugusel reast AA liituvad pisilained ühiseks lainerindeks, mis samuti joonisel märgitud paralleelsete joon-



Joon. 21.

Röntgenikiirte peegeldumine.

A—A, B—B, C—C,  
P—P, Q—Q, võre  
tasapinnad.

a—a, b—b, c—c, peegeldunud lained.

tena. Nähtus sarnaneb hääle peegeldumisega postide real, kus pealaine levib endises suunas, kusjuures aga tekib ka peegeldunud hääl.

Rühma rea AA taga asetsegu teine täpselt samasugune rida BB. Ka sellel real peegeldudes nõrgeneb laine, kusjuures tekib peegeldunud lainerind bb. Sellele järgneb rida CC, mis annab cc jne. Üldiselt ei ühti aa, bb, cc jne., mistõttu pole peegeldunud kiirgus märgatav. Ainult kui kiirguse lainepikkus, võre tasapindade kaugus AA ja BB ning langeva kiirguse kaldenurk võre tasapinnale on üksteisega kohandatud, tekib märgatav peegeldumine. Kuna kaldenurk on mõõdetav ja harilikult kristallanalüüsi puhul tarvitav kiirguse lainepikkus on teada, siis võib sel teel määrata võre

tasapindade kauguse. Silmale on peegeldunud valgus igal juhul nähtamatu, kuid mõjub fotoplaadile; samuti võib seda ka teisel teel nähtavaks teha, mida aga ruumipuudus siin ei luba pikemalt selgitada. Kristallide uurimiseks konstrueeritud aparati nimetatakse röntgenikiirte spektromeetrikiks.

Kristalli tihedus on katseliselt kergesti määratav, ja sellest võib siis arvutada elementaarrakus oleva aine hulga. Et aga teada on ka molekulaarkaal, siis saab kergesti arvutada, mitu molekuli sisaldab elementaarrakk.

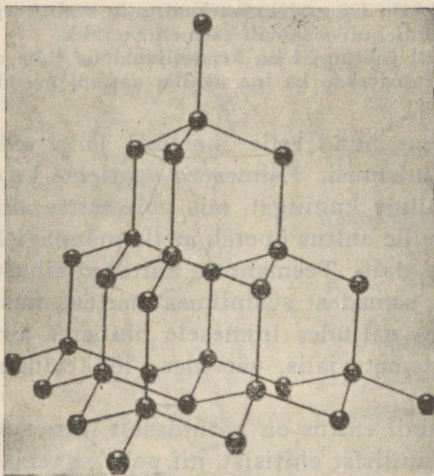
Üksikuil juhtumeil on kristallianalüüs juba nii kaugele arenenud, et teatakse ka iga üksiku aatomi asendit elementaarrakus.

Vaatleme nüüd selle meetodi järgi saadud uute uurimiste tulemusi. Esimesena vaatleme teemanti, seda kristallide kuningat, mis pole mitte ainult kallis ehe, vaid mille ehitus õpetab meile mõndagi ka keemia põhitõdede alalt. Teemant on ehitatud ainult üht liiki aatomitest, samadest süsinikuaatomitest, mis on põhiaineks väga paljudes inimesele olulistes ainetes, toitudes, küttematerjalis, värvides, lõhkeaineis ja meie enda kehas.

Teemandi ehitus on haruldaselt lihtne, kuid nagu kõigist ruumilisist ehitist, nii pole ka tema ehitusest esialgu just väga hõlpus aru saada. Oleme niivõrd harjunud pinnaliste joonistega, et ruumilised kujutlused teevad meile raskusi.

Pisut süvenedes joon. 22 toodud teemandi ehitusmudelis, võiksime seda siiski mõista. Mustad kuulid kujutavad süsinikuaatomite asukohta; nende kuju ja suurus ei vasta seejuures tõelistele aatomitele, mille täpne kuju on meile alles tundmatu. Iga süsinikuaatom asetseb nelja teise aatomi külgetõmbe keskmes. Kõik need neli asetsevad nelinurkse püramiidi ehk tetraeedri nurkades ja esimene süsinikuaatom on loomulikult neist kõigist samas kauguses. Meil on põhjust arvata, et aatomitevahelised sidemed on siin väga

tugevad ja et kogu ehitises valitseb õieti üht liiki side. See äärmine lihtsus ja korrapärasus ongi kahtlemata põhjuseks, miks teemant kuulub kõige kõvemate ainete hulka. Kui teda rõhuda näit. ükskõik millise teise kristalli vastu, siis annavad järele ikka



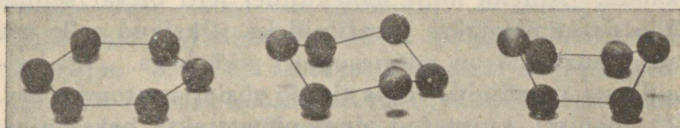
Joon. 22. Teemandi mudel.

nende teiste aatomid, mitte aga teemandi omad. Teemandi pealispind on murdepind, mis on nagu siledaks tahatud. Toodud joonisel on see murdepind paralleelne laupinnale, millel mudel seisab. Mudelil võime näha üldse neli sellist pinda, milledest igaüks on paralleelne teiste neljatahuliste püramiidide alustahkudele. Võime mudelit nii ümber pöörata, et ta jääks seisma ükskõik millisele teisele tahule — ta on igas asendis ikka samasugune. Kahe naaberaatomi keskkoha vahe on 1,54 Ängströmi ühikut. See ühik on ise üks

sajamiljondik sentimeetrit. On loomulik, et just need alustahud on teemandi murdepinnaks, sest nad lõikavad otse läbi püstloodis ühendusjooni, mis seovad rõhtsaid kihte. Igat kihti võib aga vaadelda kui voldilist võrku, mille silmad on kuusnurksed. Ja kogu kristalli tuleb võtta kui kihtide kogu, kus iga kiht on paralleelne igale tetraeedri tahule, aga mitte ainult sellele tahule, millel mudel meie joonisel juhuslikult seisab.

Kirjeldatud murdepinna olemasolu on suureks abiks teemandi lõikajaile, kes kasustavad lõikamisel just neid kohti teemandis.

Vaadeldes teemandi ehitust, kohtame ikka jälle süsinikuaatomite paigutust kuusnurkse, heksagonaalse ringi kujul. Kui võtaksime ühe sellise ringi mudelist välja, siis saaksime 23. joon., 2 toodud kujundi, mis

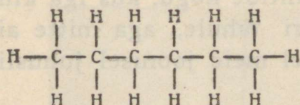


Joon. 23. Bensoolringi mõeldavad kujud. Vasemalt 1 — tasane, nurk  $120^\circ$ . 2 ja 3 — mittetasane, nurk  $109^\circ 28'$ . Vesinikuaatomid pole kujutatud.

ülalt vaadates on korrapärane kuusnurk, kuid mitte tasapinnaline, lame ring, vaid korrapäraselt tõusev ja langev.

Keemias on sellisel kuuest süsinikuaatomist koosneval ringil eriti tähtis koht. Keegi pole küll seda ringi näinud, sest selleks on ta liiga väike, kuid keemikud on suutnud tema olemasolu tõendada väga peente ja huvitavate põhjendustega. Viimaseid võime

jälgida meiegi. Juba läinud sajandi keskel teati, et leidub molekule, mille kondikava moodustab süsiniku- aatomite rida või ahel ja et nende süsinikuaatomitega võisid liituda vesinikuaatomid, kuid ainult nii, et ühegi süsinikuaatomi külge ei kuhjunud üle nelja



Joon. 24.

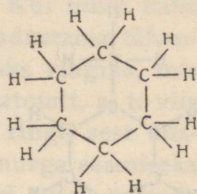
Heksaan  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ .

teise aatomi, sest süsinikuaatom suudab ühenduses olla ainult nelja naabriga, olgu seks naabriks siis teine süsinikuaatom või mõni muu. Keemik ütleb, et neljaga on süsinikuaatom küllastatud. Kuue süsinikuaatomiga, mis asetseksid ridastikku, nagu näha juurdelisatud joonisel, võiks seega siis liituda 14 vesinikuaatomit. See teoreetiline oletus tõestuski katsete kaudu. Aineid, mille molekulidel leiti olevat selline koostis, nimetatakse parafiinideks. Üksikud selle rea süsinikuahelad on mitmesuguse pikkusega. Iga eriaine ses parafiinide liigis tingib süsinikuaatomite arv. 24. joonisel kujutatud ainet nimetatakse heksaaniks. Heksaanis on kuus süsinikuaatomit, mis on ühenduses 14 vesinikuaatomiga.

Edasi on aga leitud aine, mille süsinikuaatomite arv on nagu heksaanilgi kuus ja vesinikuaatomite hulk samuti kuus. Seda ainet, mille leiutas M. Faraday 1825. a., tunneme nüüd bensooli nime all. Selle aine juures on võimalik küll vesinikuaatomite arvu tõsta 12-le, aga mitte enamale, ning siis omandab ta pea-aegu heksaani omadused, kuid ta ei muutu siiski täiesti heksaaniks, sest ta ehitus jääb ikkagi erinevaks, kuna tal on 2 vesinikuaatomit vähem. See asjaolu andis palju peamurdmist, kuni Kekulé 1867. a. lahend

das kogu küsimuse oletusega, et bensoolimolekuli põhikavandiks pole mitte kuue süsinikuaatomi ahel, vaid nende ring. 24. joon. kujutatud ahelast võime teha sellise ringi, kui heidame ära kahel pool otsas asuvad vesinikuaatomid ja painutame süsinikkude ahelat nii kaugele, kuni otsad kohtuvad. Siis saame

25. joon. toodud konstruktsiooni, kus iga süsinikuaatomiga on liidetud kaks vesinikuaatomit. Siin on süsinikuaatomid ka lõplikult küllastatud, sest igaüks on ühenduses kahe omasuguse ja kahe vesinikuaatomiga. Seda ainet nimetatakse keemias heksahüdrobensooliks. Bensoolil endal on ainult üks vesinikuaatom igas kuusnurga nurgas.

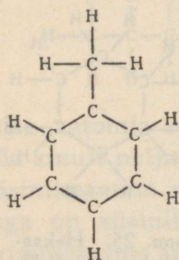


Joon. 25. Heksa-  
hüdrobensool  $C_6H_{12}$ .

Süsinikuahel ja süsinikuring on orgaanilise keemia kahe suure osa sümbolid. Ahelmolekule ei leidu ainult parafinides, vaid ka rasvades, õlides, seepides jm. Ring on aluseks tuhandeile tuntud molekulidele, millest koosnevad näit. värvained ja lõhkeained, arstimid nagu kiniin ja sahhariin ning palju teisi.

Suletud heksagonaalse ringi mõiste annab lihtsa seletuse paljudele tähtsaile keemilistele tähelepanekuile. Toome ühe näite siin. Bensoolimolekul koosneb kuusnurksest süsinikuaatomite ringist, igal nurgal üks vesinikuaatom. Igal süsinikuaatomil on selles molekulis ainult 3 naabrit; ta võib võtta veel ühe aatomi või aatomirühma, seega kokku kuus aatomit, ja niipalju liitubki temaga tegelikult. Bensoolimolekul võib püsida ka ilma nendeta. Keemikud on tähele pannud, et bensoolimolekulist võib ära võtta ühe või rohkem vesinikuaatomeid, asendada neid teiste aato-

mittega või aatomirühmadega. Nii näit. üht äraantud vesinikuaatomit võib asendada hoopis uus aatomirühm, mis koosneb ühest süsinikust ja sellega liitunud kolmest vesinikust (26. joon.). Seesugust rühma kutsutakse metüülrühmaks. Uus molekul, mis tekkis selle rühma liitumisest bensoolimolekuliga, on juba uue



Joon. 26. Toluool  
 $C_7H_8$ .

aine, nimelt toluooli molekul. Selles uues molekulis võib aga tekkida veelgi uusi muutusi. Võime mõne teise vesiniku asendada näit. broomiaatomiga. Jällegi oleme saanud uue aine: broomtoluooli. Põhikavaks on aga ikka kuus ringina paigutatud süsinikku. Broomtoluool võib aga veel esineda kolmel kujul ja igakord on saadava aine omadused pisut erinevad, kuigi molekuli koostis jääb endiseks. Kuidas seda seletada?

Ringi mõiste annab siin selge vastuse. Suletud kuusnurga puhul on võimalik ju ainult kolmel viisil asendada üht vesinikuaatomit broomiaatomiga. Broomiaatom võib asuda kas kohe metüülrühma naabrusse või üle ühe või üle kahe vesiniku. Igal erijuhul on nüüd molekuli koostis küll sama, kuid ta kuju erinev, ja see tingib ka kogu aine iseloomu muutuse. Selliseid näiteid võiks tuua hulgana, kuid juba senisestki peaks olema selge aatomite paigutuse tähtsus molekulis. Paljas molekulikuju muutus võib muuta kogu molekuli iseloomu.

Kuuest süsinikuaatomist koosnev ringikujuline molekul on üldse üks sagedasemaid ringikujuliste molekulide hulgas. Teda on nähtavasti kõige hõlpsam moodustada ja ühtlasi on ta kõige tugevama ehitusega. Tähdendasime juba, et teemandi, mis on grafiidi kõrval

ainus üksnes süsinikuaatomitest koosnev kristall, moodustavad ainult kuusnurksed süsinikuringid. Kogu teemandi ehituspõhimõte seisab ju selles, et iga süsinikuaatomit peab ümbritsema neli teist süsinikku, mis on asetatud sümmeetriliselt tema ümber. Kaks joont, mis ühendavad süsinikuaatomit ta kahe naabriga, moodustavad nurga, mis on  $109^{\circ} 28'$ . Kui nüüd kahe süsinikuaatomi ühendusjoon peab moodustama tähen- datud nurga, siis ongi kõige lühemaks ringiks, mis otsastikku jõuab — kuusnurk. Viis aatomit, s. t. viis nurka moodustavad peaaegu juba ringi, sest viis- nurga nurga suurus on  $108^{\circ}$ .  $109^{\circ} 28'$  nurga saamiseks peab olema aga kuus aatomit ja need tuleb asetada lainelisel kujul, nagu näha 23. joonisel. Lameda ringi puhul oleks nurk  $120^{\circ}$ .

Et selgitada veel lähemalt teemandi olemust, võrd- leme teda ühe teise ainega, mis koosneb samuti ainult süsinikuaatomeist. See aine on grafiit, mida tarvi- tame pliiatsiterana. Ta on teemandist palju kergem. Kui teemandi tihedus on 3,52, siis grafiidi oma on 2,30. On ilmne, et grafiidi puhul peab esinema teissugune aatomite paigutus, mille tõttu nende vahed on suure- mad. X-kiired näitavad meile, et see laienemine on võt- nud maad ainult ühes suunas. Ka grafiit on ehitatud kihtidena nagu teemant. Vaadates ülalt grafiidikihti, näeme samuti kuusnurkset võrku; liiati on kuusnurga küljed täpselt sama pikad kui teemandil. Kuid üksi- kute kihtide vahe on palju suurenenud ja see ongi grafiidi teinud nii palju kergemaks. Uusimad katsed on peale selle tõestanud, et grafiidikihid on tasanda- tud, nii et igat süsinikku ümbritseb siin kolm teist süsinikku samal tasapinnal. Nii pole siis kihis endas sidemed sugugi nõrgenenud, küll aga kihtide vahel. Seepärast libisevad grafiidikihid väga kergesti üks-

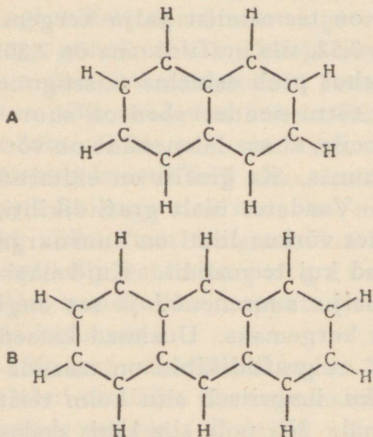
teisest lahti, kuid samal ajal on iga kiht tervikuna kaljukindel. Need mõlemad tingimused teevadki grafiidist hea joonistusabinõu: ta libiseb hästi, jättes jäljed järele, kuid ta kihid ei pudene seejuures siiski pulbriks. On huvitav, et üksainus muudatus molekuli ehituses on muutnud kõige kõvema aine üheks parimaks määrdeaineks, mida omame.

Tõenduseks, et ringimolekuli teooria vastab tõsiasi-  
 ajule, võiksime tuua veel paar seika, mis näitavad  
 ühtlasi, kuidas neid ringe saab mõõta. See on võim-  
 alik kahe kristalli, naftaliini ja antratseeni võrd-  
 luse teel.

Naftaliin on üldtuntud aine ja suure tähtsusega  
 värvitööstuses, kus teda kasustatakse kunstliku indigo-  
 sinise valmistamiseks, antratseeni aga alisariini toot-  
 miseks. Üldiselt tunneme naftaliini muidugi valge  
 ainaena, mis kaitseb riideid koide vastu. Kui naftaliin

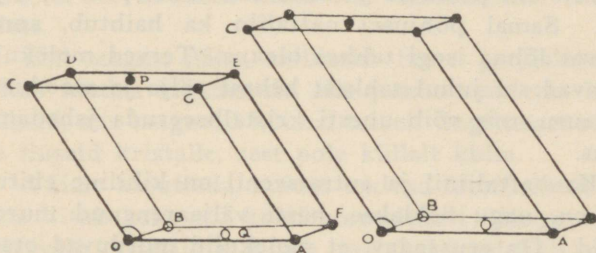
eetris ära lahustada  
 ja lahusel lasta aeg-  
 laselt aurustuda, siis  
 saame korrapärsed  
 naftaliinikristallid.

Keemikud on  
 leidnud, et naftaliin  
 koosneb kahekordsest  
 benseooliringist, nagu  
 näitab 27. joon. A,  
 antratseen aga koos-  
 neb kolmekordsest  
 ringist (27. joon., B).  
 X-kiirte abil on või-  
 dud ühtlasi kindlaks  
 teha, et nende ainete



Joon. 27. Naftaliin  $C_{10}H_8$  (A) ja  
 antratseen  $C_{14}H_{10}$  (B).

ehituselemendid koosnevad kahest sellisest molekulist. Selle üksuse kuju, mis sisaldab neid molekule, on toodud joon. 28. Mõõdud on antud joonise all. Kui nüüd neid mõlemaid omavahel võrrelda, siis näeme, et laiuselt OA ja paksuselt OB on nad peaaegu ühesuurused, vahe on aga kõrguses OC. Loomulik järeldus sellest on, et kahe- ja kolmekordsed ringid asuvad



Joon. 28. Naftaliini ja antratseeni elementaarrakud võrdses mõõtkavas.

	OA	OB	OC	
Naftaliin	8,34	6,05	8,69	Ångströmi ühikut
Antratseen	8,58	6,02	11,18	” ”

paralleelselt joonele OC ja et 11,18 ja 8,69 vahe — 2,49 moodustab selle kolmanda ringi mõõdu, mis antratseenil on rohkem. Teemandi ringilaiuseks on X-kiirtega mõõtmisel saadud 2,50. Nii langevad tulemused peaaegu täpselt kokku. Võime siis uuesti ja seda kindlamini väita, et ringil on kindel kuju ja peaaegu püsiv suurus.

Orgaanilised molekulid esinevad meile eelvaadeldu põhjal kerge, kuid kindla võrgustikuna, mis omaette hoiab kõvasti ühte, kuid on nõrgalt seotud oma naabritega kristallis. Orgaanilised ained ongi enamasti alati kerged, mitte palju raskemad veest. Asjaolu, et

naftaliini tihedus on ainult 1,15, näitab ta ehituse hõredust. Isegi teemant on täis urgusid nagu käsn. Kui need urud täita uute süsinikuaatomitega, siis kahekordistuks teemandi tihedus, sest iga urg on just nii suur, et vastu võtta üht süsinikuaatomit, ja neid urgusid on sama palju kui aatomeid teemandis.

Molekulidevaheliste sidemete nõrkus on orgaanilise kristalli pehmuse ja tema sulamishõlpsuse põhjuseks. Samal põhjusel naftaliin ka haihtub, annab tugevat lõhna isegi tahkes olekus. Terved molekulid lendavad sel juhul tahkest kehast välja ja moodustavad auru, mis võib uuesti kristalliseeruda jahedamas kohas.

Ka naftaliinil ja antratseenil on kihiline ehitus; neil on, nagu öeldakse, hästi väljaarenenud murdekohad. On arusaadav, et molekulid murduvad otstel hõlpsamini üksteisest lahti kui külgedel. Igas kihis seisavad molekulid peaaegu püsti, nagu vili, mis kooldub tuules.

Eelpoolkorraldatud vaatlused tõid meid siis järgmiste üldiste järeldusteni: bensooliring on tõeline materiaalne ese, millel on kindel kuju ja kindlad mõõted ja mis esineb kristallides ainult väikeste muudatustega vormis.

## V.

### Jää ja lumi.

Veega puutume kokku igapäevases elus igal sammul, ta on meile tarvilik tuhandetes viisides, seetõttu huvitavad meid kõik kujud, milles ta võib esineda. Ka teaduslikust seisukohast on huvitav uurida aine struktuuri ehk ehitust, mis koosneb nii lihtsaist molekulist,

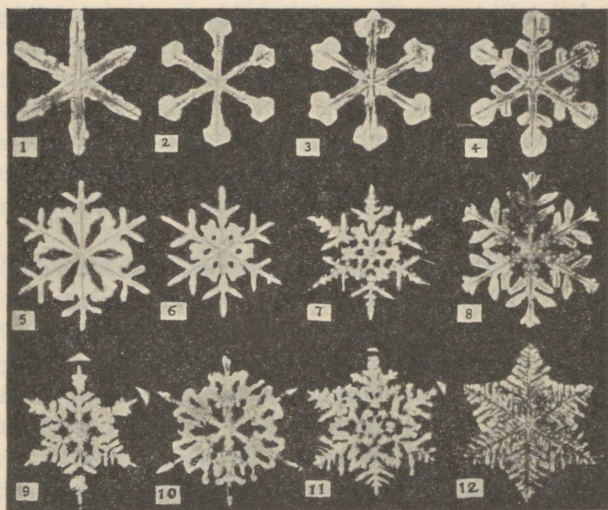
nagu seda on veemolekul  $H_2O$ , üks hapniku- ja kaks vesinikuaatomit. Igaüks tunneb ja on näinud talvel külmaga aknaklaasil kummalisi jäällilli, samuti on muidugi lähemalt vaadelnud ilusaid lumeräitsakaid ehk -helbeid. Mõlemal puhul on meil tegemist jää- ehk lumekristallidega. Kunstjää, mida saadavad müügile jäävabrikud, on pealtnäha ilma kristalse struktuurita, kuid ka see koosneb tillukesist nähtamatuist kristallidest.

Kui tahame näha, milliseid lume- ja jääkristalle ehitab loodus segamatult, siis peame vaatlema lumehelbeid, mis langevad külmal talvel. Inglismaal ei näe me ilusaid kristalle, sest pole küllalt külm.

Võime kujutleda, kuidas tekivad lumehelbed. Ülal õhus liitub kaks või kolm veemolekuli; langevale ja kasvavale kristallile liitub molekul molekuli järel, kuni lõpuks kuueharuline lumitähk maha langeb. Külma ilmaga võivad lumitähed edasi kasvada ja kristallid võivad moodustada väikesi täiuslikult lihvitud tasapindu, mis päikese paistel teemantidena läigivad. Esimesel tekkimisfaasil on lumekristall sageli väga pitsiline; kuus kiirt kasvab kristalli keskmest välja, neile igäühele kasvavad väikesed kiired paremale ja vasemale poole, neile omakord kasvavad külge uued kiired jne. Kõik kiired on üksteise külge kinnitatud  $60^\circ$  nurgi ja kõik see moodustab kuusnurkse lumitähke peenimast pitsist (29. joonis).

See sakiline kuju on omane kristallisatsiooni algstaadiumile ja tekib järsul ning kiirel jahtumisel. Kiired kasvavad keskmest alates, sest lähemad molekulid, mis valmis oleksid ehitiselega liituma, on juba ära tarvitatud. Sama nähe esineb ka teistel puhkudel kiire kristallisatsiooni juures; huvitav näide on raua kristallskelettide moodustumine raua jahtumisel sula-

tamistiiglis. Kui neid tahetakse saada, siis peab sula metalli õigel ajal välja valama, enne kui kristallid jõuavad täita neid tühikuid. Neid nimetatakse „dendriitideks“, sest nad tuletavad meelde puud tüvega,



Joon. 29. Lumeräitsakad (jääkristallid).

suurte okstega jne. Nurk, mille oksad üksteisega moodustavad rauakristallis, on täisnurk, mitte  $60^\circ$  nagu lumekristallis.

Kui lumitähel on aega kasvamiseks ja olemas küllaldane tagavara molekule, siis täituvad tühikud ja kristall omandab kuusnurkse tahvli kuju. Mõnikord tekivad need tahvlid juba kristallisatsiooni algul.

Imelikul viisil on need tahvlid sageli paarikaupa ühendatud kuuekandilise samba kaudu; üks neist

tahvlitest on seejuures tavaliselt suurem teisest ja kogu ehitis sarnaneb teelauaga.

Arvatakse, et need õhus hõljuvad sambad, tahvlid ja teelauad ongi kõrvalpäikese ja halo-nähete tekitajaks.

Jää, mis kristalliseerub väljas vaiksel veepinnal, moodustub samasugustest kujundeist kui lumekristallidki, ainult et need on kuuekandilised rõhtkujundid. Üldiselt pole neid seal teravalt näha, kuid Polaarmaade uurimisretkede kirjeldiste raamatuis võib näha piltidel jäätahvleid, mis on murdunud kuuekandilisteks sammasteks.

Lõunapolaaralade uurijate kirjutistes leidub eriti palju vihjeid selle kohta, et mageveekogude pealmistes kihtides jää on jaotatud kuuekandilisteks sammasteks, mis kõik asetuvad püsti. Piirikihte võib neis tunda õhumullide järgi.

Jääkristallide tekkimisel merevees tõrjutakse sool välja ja see sadestub kristallide vahel olevaisse pragudesse, sageli pressitakse ka välispinnale. Sammaste sisemus on pea soolavaba, ja kui välised kihid ära sulatati, võidi saada neist peaaegu head magevett. Kristallid olid nii läbipaistvad, et vaatlejad võisid näha nagu läbi torude põhja kaljusid.

Üht ilusat katse korraldust jää kristalse ehituse nähtavakstegemiseks kirjeldab Tyndall oma raamatus *Soojusest*.

Liistak läbipaistvat jääd asetatakse leeklambi ette ja paraja läätse abil tekitatakse jääliistaku pilt ekraanile. Leeklambi kiirguse mõjul hakkavad kristallid üksteisest lahti sulama, kusjuures see toimub ümberpööratud järjekorras võrreldes nende tekkimisega. Väikesed kuuekiirelised õõnsused tekivad ja kasvavad, need näevad välja nagu kuulehelised õied, teised õõnsused jälle on sõnajalalehtede kujulised. Pea näib kogu ekraan kaetud olevat nende jäälilledega. On olulise tähtsusega, et jää tekiks rahulikult; tõe-

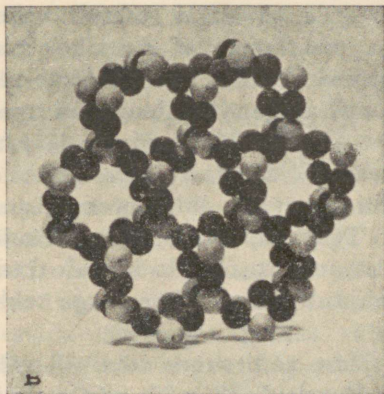
näoselt on veel üheks tingimuseks, et veepind kaotaks ühelt poolt ühtlaselt soojust, nagu see toimub tiigi veepinnal vaikse öökülmaga.

Jäälille keskmes on sageli näha väike tume plekk. Sellelegi küsimusele pööras Tyndall tähelepanu ja andis ka seletuse. Kui jää sulab jääpanga sisemuses, siis tekib selles tühik, sest sulamisel tekkinud vee ruumala on väiksem jää ruumalast, millest vesi tekkis. Võib-olla algul suure pinge tõttu täidab vesi sama ruumala mis jäägi, siis aga, kui tõmbetungid väga suureks muutuvad, kisub vesi end jääst lahti ja tõmbub kokku oma loomuliku ruumalani. Tekib tühik, mis mõjub nagu tilluke optiline lääts, mis hajutab talle langeva valguse. Tekkiv tume plekk näitab, et ükski valgus ei pääse sirgjooneliselt läbi tühiku.

Ka jäaliustikes võib tähele panna jäälilli; nad tekivad seal Päikese soojuse mõjul. Jäälillede asendi järgi võib määrata jääpanga esialgse asendi, sest jäälilled tekivad rõhtsas tasapinnas.

Nüüd vaatleme lähemalt jää kristalse ehituse analüüsi, nagu see on võimalikuks saanud röntgenikiirte rakendamisel. Loodame selle abil selgusele jõuda jää kristalse kuju ja teiste jääkristalli omaduste kohta. Mis seejuures päevavalgele tuleb, on teemandiga sarnanev struktuur: sama sümmeetriline nelja ühesuguse naabri korraldus ümber iga aatomi. Siin on hapnikuaatom, mis asetseb tetraeedri keskmes nelja teise hapnikuaatomiga neljas nurgas. Kuid on olemas ka väikesi erivusi struktuuris. Teemandis on süsinikuaatomid üksteisega kokkupuutes. Jääkristallis asetsevad veel vesinikuaatomid. Kui me kahe hapnikuaatomi vahele paigutame vesinikuaatomi, siis seega moodustame sümmeetrilise korralduse, kus aatomid on õiges vahekorras. Igal hapnikuaatomil on naabriks neli vesinikuaatomit, ja igal vesinikuaatomil

on naabriks kaks hapnikuaatomit, mis ütleb, et vesinikuaatomeid on kaks korda rohkem kui hapnikuaatomeid. Selle eeskirja järgi korraldatud mudel on näha 30. joonisel. Valged kuulid kujutavad hapnikuaatomeid, mustad vesinikuaatomeid. Seejuures ei tohi



Joon. 30.

Jääkristalli mudel. Valged kuulid kujutavad hapnikuaatomeid, mustad vesinikuaatomeid.

mitte unustada, et röntgenikiirte meetod ei võimalda hapniku- ja vesinikuaatomi suuruse määramist. Nende abil võib määrata kaugust hapniku- ja vesinikuaatomite keskpunktide vahel, mis on võrdne poole vesiniku- ja hapnikuaatomite läbimõõdu summaga. Võib-olla võtab hapnikuaatom kõik ruumi enda alla, vesinikuaatomile üldse ruumi jätmata, sest vesinikuaatom esineb siin palja tuumana, kuna elektron on üle antud hapnikuaatomile. Keegi ei või ütelda, kui suurtena peame neid kujutlema.

Tähelepanelikult vaadeldes jääkristalli mudelit, võime tema struktuurist välja lugeda mitmeidki meile tuntud jää omadusi. Kuusnurkne paigutus torakab kohe silma, ja mudeli hõredus on kindlasti ühen-

duses jää madala erikaaluga ning lume pitsilise kujuga. Jää ujub vee peal, seega tarvitavad veemolekulid, kui nad liituvad kristallideks, rohkem ruumi võrreldes veega. Mudelit võib loomulikult kokku suruda, nii et see vähem ruumi tarvitab. Midagi sellistaolist toimub siis, kui jää sulab rõhu all. Vana ja tuntud katse selgitab seda. Jääpank toetub kahele alusele; üle jääpanga on tõmmatud peenike traat, mille otstes ripuvad rasked kuulid. Traat hakkab aeglaselt jäässe vajuma, samal ajal aga tekib uus jää traadi peal. Kui lõpuks traat on jää läbistanud, on jääpank ikkagi terve. Nähtavasti rõhub traat jääpangas enda all oleva kristalse ehitise puruks, kusjuures vabaneb teatud hulk molekule. Teiste sõnadega, rõhu all sulab teatud hulk jääd veeks, mis traadi alt voolab traadi peale ja seal uuesti muutub jääks, täites seega tekkinud prao.

Puruks tambitud jääst võib suure rõhu all välja pressida igasuguseid kujundeid. Nii võib näit. valmistada jääpurust jääpeekri.

Tyndall korraldas hulga sarnaseid katseid oma jääliustikkude liikumise teooria tõestamiseks. Tyndall oli füüsik ja ühtlasi ka vaimustatud mägimatkaja; mõlemaina tundis ta suurt huvi jääliustikkude liikumiste vastu, mida ta mitmel viisil mõõtis.

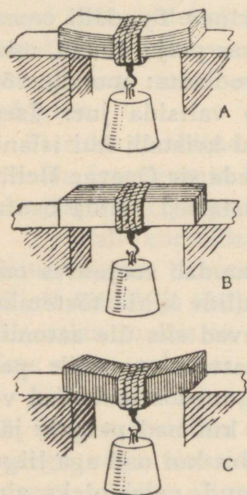
Jääliustikud langevad lumega kaetud mägedelt alla, libisevad mööda orgusid, voolavad tasandikkudel, peaaegu nagu oleksid nad vedelad. Nad sarnanevad suuresti püdela, siirupitaolise vedelikuga, sest nende liikumine on väga aeglane, mõnedel vaevalt mõni sentimeeter öö-päeva kestel, teiste juures aga mitu meetrit. Seejuures on huvitav ja imestust äratav liikumise majesteetlik rahu. On täiesti arusaamatu, kuidas niisugune kergesti murduv ja kristalne mass nagu jää

voolab jõena, järgnedes oru käänakuile, jäädes seejuures siiski terveks. Tyndalli aegu arutati üht jääliustikuteooriat, mille järgi liustiku sisemuses, neis kohtades, kus rõhk on suur, muutub jää veeks ja voolab sinna, kus rõhk on väiksem. Nii pidi jääliustik nõnda-öelda seal kokku tõmbuma, kus rõhk suur, ja uuesti paisuma jääks seal, kus rõhku ei ole. See seletus pole aga küllaldane, kui arvestada Arktise ja Antarktise jääliustikke, mis samuti voolavad, kuigi temperatuur on seal nii madal, et jää ei saa muutuda veeks ka suurima rõhu all.

Võib olla, et kristallide ehituse põhjalikumal vaatlemisel oleks võimalik anda sellele nähtusele teine seletus, mis, kuigi mitte palju erinev Tyndalli omast, siiski oleks tõenäosem. On olemas palju aineid, mida nagu liustikujäädki võib panna voolama: metalle võib pressida läbi augu, plekki võib valtsida jne. Isegi klaasi välispinda ja nii täiuslikku kristalli kui islandi pagu võib panna voolama, nagu seda sir George Beilby näitas. Kõik need ained on kristalsed, mida osutab ka röntgeno-spektrograafia.

Keha kohaneb rõhuga ja muudab seejuures oma kuju. Terved aatomite ja molekulide kihid tõstetakse hetkega oma kohtadelt ja jooksevad siis üle aatomite peade — olgu see võrdlus lubatud! —, mille peal nad asetsevad, ja võtavad endile uued seisukohad või jätkavad oma liikumist. Niipea kui nad paigale jäävad, on kristall jälle täiuslik, niipea kui nad aga liiguvad, on side nende vahel katkenud, nagu oleks aine muutunud vedelaks. Aineid nagu jää, mis sulamisel kokku tõmbuvad, võib kergesti voolama panna, kui kristalli kere rõhu all kokku langeb ja aatomid ning molekulid võtavad asendid, kus nad vähem ruumi tarvitavad. Kui tükk metalli painutada või anda rõhu-

misega talle teine kuju, siis libisevad kristallikihid. On arusaadav, et üksteisele järgnevad nihked võivad esile tuua mistahes suure kujumuutuse, sest et kihtide libisemine ja sulamine kujumuutmisel koos mõjuvad. Loomulikult tekkinud järve või tiigi jääkatte küljest lõigatakse tükk jääd ja asetatakse siis samas asendis, nagu ta oli tekkimise ajal, otsipidi kahele alusele. Keskkoha mingi raskusega koormamisel paindub ta nagu puulaudade kimp (31. joon. A). Kui jäätükk ümber pöörata ja asetada, nagu näha 31. joon. B, nii et varem rõhtsihis olnud kihid on püsti, siis paindub jäätükk vähe. Kui aga varem rõhtsihis olnud kihid



Joon. 31.

Kimp puulaudu asetatuina üksteise peale, nagu kujutatud joonisel (A), paindub koormise mõjul. Sama asetatuna kantidele (B) paindub palju vähem. Püdelale kleepainega kokkuliimitud puulaudade kimp annab järele koormise rõhule aeglaselt ja pidevalt (C).

nii on paigutatud, et nad on risti nende aluseid ühendava sirgega, siis muudab jäätükk palju oma kuju (31. joon. C). Rõhu all ja kohalisel sulamisel vabanevad mõned molekulid niipalju, et nad nagu vedeliku-

ojakesed liiguvad uutele kohtadele, kus nad pikema jututa liituvad jäästruktuuriga.

Seda nähtust võime aga vaadelda ka kui kihtide libisemist üksteise suhtes. On huvitav jälgida, kui kiiresti jäätükid kokku kasvavad. Kui kaks teataval määral tasapinnalist jäätükki teineteise peale asetada, mõne sekundi pärast alumisest jäätükist kinni hoides neid ümber pöörata, nii et varem pealmine jäätükk vabalt ripuks, siis pole karta selle mahakukkumist.

## VI.

### Metallid.

Inimsoo arengus on metallide kasustamine olnud üheks tähtsamaks edenemistingimuseks. Inimese esimene tutvus metallidega ulatub tagasi hämarasse esi-aega. Vististi kasustati esimesena v a s k e looduslikul kujul raske löögi- ja viskeabinõuna. Lõikevahendiks oli aga vask üksi liiga pehme. Alles hiljem, võib-olla juhuslikult, leiutati tina ja vase segu, mis andis hoopis kõvema aine — pronksi. Viimane saigi siis kõige kasustatavamaks aineks, algas pronksiaeg. Raud tuli veelgi hiljem. Viimase tulek avas aga päris metalli valitsusaja. Mõeldagu ainult, kui suur tähtsus on praegusaja elus metallidel, mõeldagu sellele tööstuse arengule, mida metallide kasustamine on võimaldanud, ja sellele põhjalikule muutusele, mida see aine on toonud niihästi iga üksiku kui kogu ühiskonna ellu.

Selle mõne tuhande aasta jooksul, kus inimene metalle tunneb, on ta kogunud määratu hulga kogemusi. Osa neist kogemustest on sõnastatud raamatuis, teine osa, mis puudutab sõnades väljendumatuid oma-

dusi, antakse näidete, tegeliku õpetuse kaudu põlvest põlve edasi.

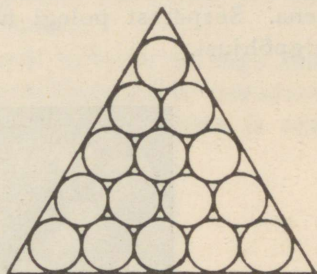
Uueaegse loodusteaduse edusammud lubavad aga siingi tungida asja tuumale palju lähemale. Tundes loodusevormide ehitusseadusi, võime öelda, et ka metallide omadused olenevad eeskätt üksikaatomite omadustest ja teisest küljest nende aatomite paigutusest kristallides, kuna metallid peamiselt on kristalse struktuuriga.

Siingi on meile suureks abiks X-kiired, mis võimaldavad ükskord kindlasti ja lõplikult selgitada metallide väga keerukat ja mitmekesiste omaduste tähendust ja põhjusi. Võimalik, et selleks kulub veel palju aega, kuid juba nüüd oleme leidnud seletuse nii mõnелеgi metalli omadusele. Need omadused olenevad metalli kristalsest ehitusest. Metall on kristalline. Vahel võib tema kristalle näha koguni palja silmaga, mikroskoop näitab neid veel paremini, kõige paremaks silmaks on aga siingi X-kiired oma terase pilguga.

Viimaste abil on võidud kindlaks teha, et metallide kristallid on harilikult väga lihtsad. Nii on näit. kulla-, hõbeda-, vase- ja alumiiniumiaatomid kokku paigutatud nagu pooleteise saja aasta eest asetati hunnikusse ümmargusi suurtükikuule, püramiiditaoliselt. Vaatleme seda ehitust pisut lähemalt.

Kujutlege, et asetame teatud hulga ümmargusi kuule kolmnurgaks kokku, nagu näidatud 32. joon., ja paneme neile kaitseks kolmnurkse raami ümber, nagu piljardimängu juures kuulid kokku kogutakse. Nüüd asetame sellele alusele teise pisut vähema kolmnurkse kihi jne., kuni saame panna veel ainult ühe kuuli. Seega oleme saanud kolmnurkse püramiidi. On ilmne, et sel viisil võib ümmargusi kuule kõige tihedamalt

kokku pakkida. Vaadates nüüd nende kihtide asendit üksteise peal, leiame, et ülemise, neljanda kihi kuulid on täpselt alumise kihi kuulide kohal. Seda nähet selgitab 33. joon. Ristidega on märgitud alumise kihi kuulide keskkohtad, ringidega järgmise kihi ja mustade punktidega kolmanda kihi keskkohtad. Neljanda kihi keskpunktid oleksid ristide, viienda omad ringide peal jne.



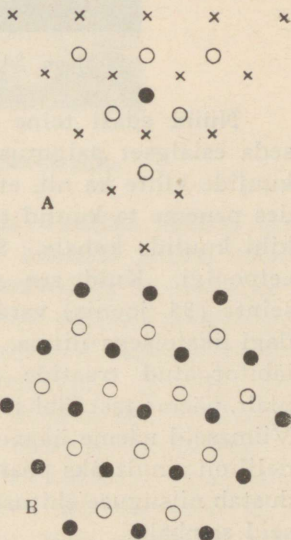
Joon. 32. Tihe kuulide pake kihina.

Kui nüüd kuulid asetsevad sellises korras, siis on võimalik nende üldkogust n.-ö. välja lõigata selliseid

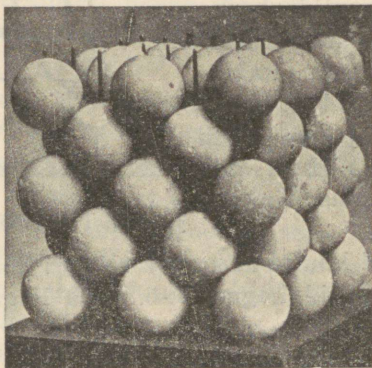
Joon. 33.

A. Kuubilise pakke skeem vaadatuna kuubi ühe diagonaali suunas. Ristid kujutavad alumise kihi kuulide keskkohhti, valged ringid järgmise kihi kuulide keskkohhti ja must täisring ülemise kihi kuuli keskkohhta.

B. Heksagonaalse pakke skeem (35. joon. vaadatuna ülalt). 19 musta täisringi kujutavad ülemise kihi kuulide keskkohhti, 12 valget ringi kujutavad järgmise kihi kuule. Kolmas kiht asetseb esimese kihi all, neljas teise all jne.



kuupe, nagu näeme 34. joonisel. Väga paljud kristallid koosnevadki selliselt kokkuliidetud aatomeist ja kasvavad kuupidena või kuubile väga lähedate kujunditena. Seepärast polegi ülearune tunda selle ehituse algpõhjust.

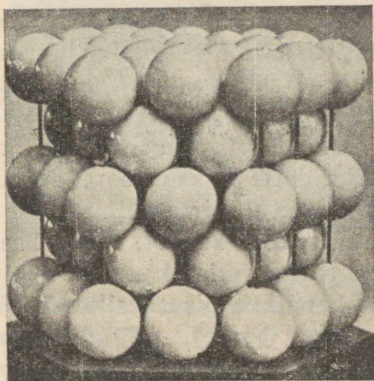


Joon. 34. Kuubiline pake.

Nüüd edasi teine kuulide paigutus. Me võime, seda esialgset paigutuse korda pisut muutes, asetada kuulide kihte ka nii, et kolmandat kihti teisele asetades paneme ta kuulid täpselt esimese (kõige alumise) kihi kuulide kohale. Saame sama tiheda pakke kui eelpoolgi. Kuid see ehitus seisab ülal ainult külgsseite (35. joonis) varal. Peame siis äärekuulid kuidagi üksteisega liitma. Mudelis teeme seda kuulidest läbitorgatud traatide abil. Vaadates seda mudelit ülalt, näeme tast läbi jooksvat kuuekülgseid tulleid. Viimaseid näeme üksnes ülalt, mis tõestab, et sel mudelil on ainult üks püstloodis telg. Loomulikult moodustab niisuguse ehitusega kristall ainuüksi kuusnurkseid sambaid.

Kuubi puhul võib aga kihtide asetust kujutleda neljal viisil. Igale kuubi diagonaalile on kihid risti ja kuna kuubil on neli diagonaali, siis on ka neli niisugust paralleelsete kihtide rühma.

Edasi on selgunud, et neil kihtidel on väga suur tähtsus tiheda pakkega metallikristallide omaduste suhtes. Kulda, hõbedat, vaske, alumiiniumi ja teisi



Joon. 35. Heksagonaalne pake.

sarnaseid metalle võib venitada traadiks, rullida lehtedeks ja tagudes anda neile ükskõik millise kuju. Nad on, nagu öeldakse, venitatavad ja taotavad, mis teebki neid nii kasulikeks. Neid omadusi kasustades võib teha igasuguseid vaase, kannusid, kette ja ehteid muidu nii vastupidavaist metallidest. X-kiirte abil peaksime võima selgitada veel lähemalt nende tähtsate omaduste põhjusi. Tahaksime teada ka kõvenemise ja teiste „külma töötuse“ juures esinevate muutuste sisemist tähendust. Ja edasi: mis on õieti pehmenemine ja pinge vähenemine, mida põhjustab kuu-

mus? Miks on kõik need omadused nii ilmsed just metalli juures, kuna nad ei esine näit. teemandi- või kvartsitaoliste kristallide juures?

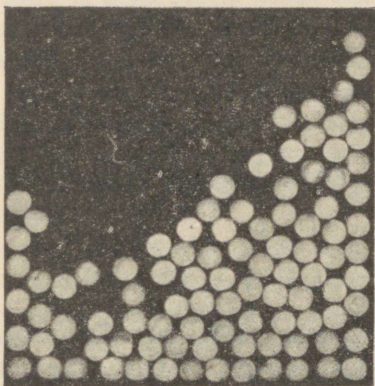
Meie praegused teadmised võimaldavad juba mõndagi vastata neile küsimusile, eriti mis puutub metalli järeleandmisse tõmbele ja muile surveile. Teame, et need on seotud kihtidega, milledest eelpool kõnelesime.

Metall koosneb väga harva ühest kristallist: ta on üldiselt võttes kristallide kogu, kusjuures need kristallid on suunatud väga mitmekesiselt, ühed ühele, teised teisele, kolmandad kolmandale poole jne. Mõnikord on need kristallid paljale silmale nähtavad, mõnikord tuleb abiks võtta mikroskoop, sagedamini võib neid avastada ainult X-kiirte abil.

Et selgitada seda küsimust, teeme haavlitega ühe katse. Paneme teatud hulga haavleid ühele kandikule ja laseme neil kandikut pisut kallutades ühele poole kokku joosta (36. joonis). Nüüd võime näha, et haavlid püüavad umbes samasuguselt rühmituda nagu kuulid joon. 32. Kuid enamasti ei korraldu nad siiski mitte ühesuguselt, vaid moodustavad omaette kujunenud rühmi, mis ei liitu omavahel mitte täiesti korrapäraselt. Samasugune on metalliaatomite paigutus, või teisiti öeldes, metalli kristalliseerumine esineb rühmade viisi. Rühmad ise on suuruselt mitmesugused ja nende omavahelised sidemed ebakorrapärased. Samal ajal on aga võidud tähele panna, et rühmadevahelised sidemed ei tarvitse seepärast veel nõrgemad olla aatomite omavahelisist sidemeist igas rühmas. Miks see on nii, on raske öelda, sest meie teadmised aatomite sidemete kohta on alles puudulikud.

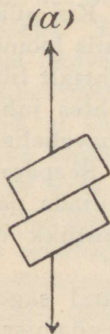
Nii võime siis põhjendatult oletada, et metallitükk koosneb suurest hulgast suurtest ja väikestest

kristallidest. Kui võtame nüüd ühe üksiku kristalli ja katsume teda painutada, siis leiame igakord, et ta



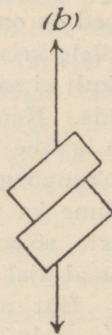
Joon. 36. Haavlid lamedal kandikul. On tekkinud tiheda pakkega rühmad, nende vahel mittereeglipärased tühikud.

annab lõpuks järele ainult tasapinnalise libisemise kaudu, s. t. üks tasapind libiseb üle teise paigalejääva pinna. Need pinnad on samad, millest eelpool kõne-

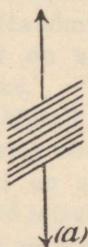


Joon. 37.

Kaks puuplokki on kleebitud teineteise külge nii, et nad võivad teineteise suhtes libiseda. Tõmbe mõjul muutub nende vastastikune asend a-st b-ni.



lesime, nad sisaldavad aatomeid 32. joon. antud korras. Üksikut metallikristalli ennast võime aga kujutleda sellise kihistisena, nagu näha 38. joon. Ta kujumuutust tõmbe mõjul selgitab sama joonis.



Joon. 38.

Kihtide libisemise skeem alumiiniumikristallis.



Kui tõmmata kristalli teatud suunas, siis tema kihid annavad tõmbele järele, libisedes üksteise üle edasi. Kuid see libisemine ei sünni mitte täpselt samas suunas, milles me tõmbasime, vaid kallakuga selle suuna poole, sest need kihid jäävad libisemisel ikkagi üksteisega ühendusse, samuti nagu kristallid ise omavahel ühenduse alal hoiavad, kui neid koos rõhutakse.

Nii oli lugu üksik-kristalliga. Harilik alumiiniumitükk aga koosneb ju paljudest kristallidest ja need on omakorda suunatud igaüks iseviisi. Kui nüüd sellele kristallide kogule tõmmet avaldada, siis loomulikult ei saa kristallipinnad enam niisama lihtsalt libiseda. Nende erinev asend tõuke suuna suhtes juhib ka igaühe libisemist isesuunda ja niiviisi omavaheliste kokkupõrgeteni, mis peatavad libisemise. Seepärast võime ka üksikut alumiiniumikristalli painutada paljaste sõrmedega, kuna suurem alumiiniumitükk on samal ajal märksa kõvem.

Ent miks muutub metall tagumise järel sageli kõvemaks? Ja mis toimub temaga kuumendamisel?

Katsume neile küsimusile vastata, tähele pannes seda, mis sünnib kullaga, kui teda taotakse leheks ja lõpuks kuumutatakse. Kullaleht on väga õhuke. Ta on koguni läbipaistev, kuid ta absorbeerib siiski osa talle langeva valguse spektrist, lastes läbi ainult roheka valguse. Peegeldub valguses on kuld aga teatavasti kollane. Huvitav on see, et kui ta on kuumutatud punase hõõgumiseni, siis muutub ta täiesti läbipaistvaks ja peegeldub valguses valgeks. Faraday arvas, et kuumutamisel õhuke kullaleht möraneb ja valgus tungib siis läbi nende lõhede.

X-kiirte abil on võidud nüüd kindlaks teha, et õhukeseks taotud kullaleht koosneb kuubilistest kullakristallidest, mille pealispinnad on kõigil paralleelsed lehe pinnale. Need kristallid pole muidugi täpsed kuubid, vaid täisnurksed plaadid, mille suurus on väga mitmekesine. Pealegi on need plaadid väga õhukesed: nende paksus on palju väiksem nende laiusel või pikkusest.

Kui seda lehte nüüd kuumutada punase hõõgumiseni, siis kuhjuvad need plaadid kuidagiviisi üksteise peale: nad koonduvad võib-olla hunnikuisse ja jätaavad seega kohati vahed üksteise vahel vabaks. Võib-olla see ongi kuumutatud kullalehe läbipaistvuse põhjuseks. Saladuseks on jäänud aga tema roheline värvus läbivaatamisel. Selge on, et tagumise tagajärjel kullakristallid on niiviisi üksteise kõrvale laiuli surutud, et nad asuvad lõpuks kõik ühe poolega kullalehe pinna poole. Kuumutamine hävitab aga uuesti selle korrapärase asetuse. Kui kuumutatud kullaleht panna kõva ja siledapinnalise pressi alla, siis omandab ta muidugi uuesti endise kuju, sest kõva surve ajab kullakristallid jällegi lamedaks ja üksteise kõrvale laiuli. Mõlemal juhul on kuld kristalse koostisega,

kuid taotud olekus on kristallid korrapärasemas asendis, kuumus aga lõhub selle ära. Sama olukorda võib tähele panna ka hõbeda ja vase juures.

Taotuna on metall teatavasti ka kõvem. Selle kõvaduse põhjus peitub samuti metallikristallide ümberasetuses, mil teel nad satuvad nähtavasti pingeolekusse. Kuumutus aga lõdvendab seda pinget, lõhkudes kristallide korrapärase asetuse. Kahjuks ei tea me siiski veel, miks see kõik nii on. Peame leppima esialgu alles pooliku edusammuga.

Nüüd edasi vaatleme veel teisi metalli iseäraldusi, millest on tähtsamad metalli soojuse- ja elektrijuhtivus. Me teame kõik, kui kiiresti soojus levib metallis, võime koguni öelda, et see omadus laseb meil metalli kõige paremini kindlaks määrata. Samuti teame, et elektrivoolu juhtmed valmistatakse metallist, eriti vasest.

Metalli elektrijuhtivuse selgitamisel peame tagasi minema üksikaatomite erivuste, nende põhiomaduste juurde, mis annavad küllalt rahuldava seletuse, kuigi ka metalli kristalne ehitus mõjub siin kaasa.

Metalliaatomitel leidub kindlate elektronide kõrval alati mõni elektron, mis on üsna nõrgalt seotud aatomiga. Naatriumil on näit. 11 elektroni, kaks neist seotud üsna tihedalt aatomituumaga, kaheksa järgmist moodustavad omakorda kindla süsteemi esimeste kahe ümber. Ülejäänud üheteistkümnes elektron kuulub aga veel kolmandasse, välisesse kattesesse ehk rühma. Magneesiumiaatomil on selliseid elektrone kaks, alumiiniumil kolm jne. See väline elektron pole kuigi kindlalt seotud aatomiga. Kui ta mõnel põhjusel ära näpsatakse, siis muutub kogu aatom n. n. ühinematuks, inertseks aatomiks „neoniks“, arvestamata

jättes seda, et ta elektroni kaotusega omandas positiivse elektrilaengu.

Alumiiniumikristall ongi selliste neonitaoliste aatomite kogu, kus aatomid on väga tihedalt kokku pakitud, kuid lahtistele väliselektronidele on jäetud õige suur liikumisvabadus kogu ehitise ulatuses. See pilt on kahtlemata alles puudulik; siin peab olema veel mõndagi, millest me praegu ei tea midagi, kuid teatud määral vastab ta niisugusenagi tõsioludele. Siit selgub ka pikemata, miks metallid on head elektrijuhid: seepärast et need negatiivselt laetud üksikelektronid võivad vabalt liikuda. Nüüd teame, et kui elektrivool läbib metalltraadi, siis moodustavad selle elektrivoolu just needsamad elektronid. Huvitav on aga see, et kuna nad on laetud negatiivselt, siis liiguvad nad vastupidi sellele suunale, milles harilikult arvatakse elektrivool minevat. Varem olid nimetused „elektrivool“, „elektri voolamine“ paljad sõnad ilma sisuta. Alles kõige uuemad uurimused on selgitanud, et siin tõeliselt esineb liikumine, kuid see liikumine toimub senioletatud suunale vastupidises suunas.

Seega ei või me ka elektripatareid või dünamot kujutleda mitte mingi elektrivalmistajana, vaid lihtsalt juba olemas olevate elektronide liikumapanijana vooluahelasse. Just samuti panevad masinad vabrikus hoorihmu ringlema teatud keskuste ümber, ega muutu nad seepärast veel rihmavalmistajaiks.

Kui metalli kuumutada, siis hakkavad tema elektronid kiiremini edasi-tagasi tantsima ja võivad end lahti kiskuda.

Nii voolavad elektronid katkestamata vooluna raadiolambi ehk elektronitoru hõõgniidilt välja, moodustades seega selles elektrivoolu.

Kuid kuuma metalli enda sees pole elektronide

liikumine mitte nii hõlpus kui külmas metallis. Kuumuse tõttu on ju kõik metalliaatomid liikuma pandud, nad põrkavad omavahel kokku ja liiguvad üksteisele teele ette, takistades seega muidugi elektronide liikumist.

Teatud määral peaksid need vabad elektronid kaasa aitama ka teisele metalli omadusele — tema soojusejuhtivusele. Ühe metallkangi kuuma otsa elektronid peavad ju osa oma suurest energiast edasi andma sama kangi külma otsa elektronidele.

Nii on siis need elektronid, mis teatud vabadusega võivad liikuda metalliaatomite vahel, oluliseks põhjuseks, miks metallid annavad hästi edasi nii sooja kui elektrit. Lugeja peab muidugi silmas pidama, et see pilt on üsna üldjooneline, et siin puuduvad mõnedki olulised asjaolud, kuna me neid veel ei tunne.

Pöördugem nüüd tagasi metallide taibumise küsimuse juurde ja vaadake, kas elektronide olemasolu ei aita ka siin midagi seletada. Metalliaatomeid võime kujutleda nüüd kuulidena, mis on laetud kõik positiivse elektriga ja asuvad tihedasti kokkupakitult üksteise kõrval. Võime arvata, et elektronid hoiavad neid koos, nagu tsement hoiab koos kive. Kõige tähtsam punkt on aga see, et siin pole aatomid üksteisega seotud, nagu seda nägime teemandi juures, et nad on omavahel jaotatud elektronid, s. o. omavad ühiseid elektrone, vaid et metalliaatomid tõukavad üksteist pigemini eemale, kuna nad on laetud positiivse elektri laenguga. Nad võivad vabalt nihkuda ja libiseda üksteisest üle, sest nad pole omavahel kindlates punktides kinnitatud, nagu olid teised kristallid. See asjaolu on igatahes kooskõlas eelpoolvaadeldud kristallikihtide libisemisega ja aitab seda tõendada.

Seni vaatlesime puhasm metallide omadusi ja kris-

talset ehitust. Tegelikus elus kohtame aga väga harva metalle puhtal kujul. Tarvitusel olevad metallid on enamasti kõik segud ehk sulamid, mille omadused erinevad tugevasti puhasmetallide omadusist. Selliseid sulameid on lugematu hulk ja igapäev leiutatakse ikka uusi juurde. Nende eriomadused lubavad neid kasutada igäüht iseotstarbeks ja rahuldada niiviisi uueaegse elu kõrgeid nõudeid. Katsume nüüd põhjendusi leida ka sulamite iseäraldustele selle najal, mida meespool üldiselt saime teada metallide ehitusest.

Väga sageli juhtub, et, ühele metallile teist metalli või isegi mitte-metalli lisades, suureneb saadava segu kõvadus tähelepandavalt. Puhasmetallid on üldiselt väga pehmed, sest nende kihid annavad kergesti libiseda. Esimene tähtsam sulam oli inimesele pronks — vase ja tina segu, mis on kaugelt kõvem kui kumbki neist metallidest üksikult. Terasa saamiseks lisatakse puhtale rauale väike protsent sütt. Edasi on terve rida vase- ja alumiiniumisulameid, mis on õige kõvad ja roostevabad, kuid ka väga rasked töödelda. Püssikuulide katmiseks tarvitatakse vase- ja niklisulamit, mis laseb end hõlpsasti vormida ja ei roosteta. Seda loendit võiks jätkata lehekülgede kaupa, ilma et tuleks puudust uutest sulamitest.

Nende omaduste selgitamiseks võtame järgmise lihtsa juhu. Väikese alumiiniumi-annuse lisamisega vasele saavutatakse oluline kõvaduse suurenemine. X-kiired näitavad, et vasekristallide struktuur (ehitus) on jäänud siin endiseks, ainult seal-teal on üks alumiiniumiaatom asunud vaseaatom asemele. Nagu teame, seisib kristalli nõrkus selles, et osa kristallist võis libiseda teatud tasapinda pidi teisest üle. Saadud sulamis pole aga see tasapind enam ühtlane, pole enam tasane: alumiiniumiaatomid muudavad teda ebahürtlaseks, moo-

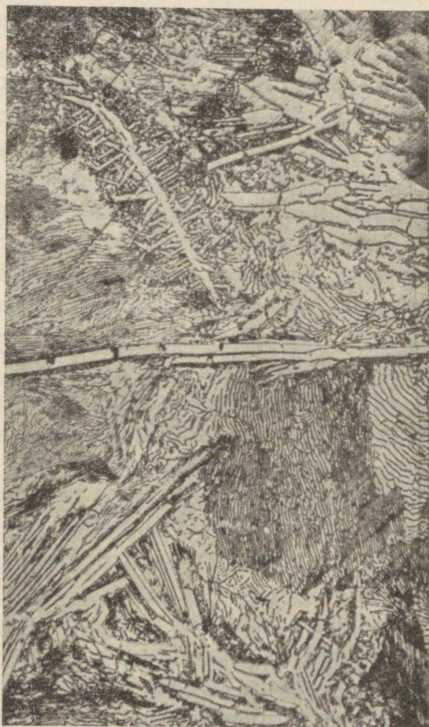
dustades tõkkeid. Võime oletada selle põhjal, et libisemine on raskendatud ja et see ongi kõvaduse suurenemise põhjuseks. Lisaks veel kinnitab seda oletust üks huvitav asjaolu. Alumiiniumiaatomid peavad suruma vasekristalli struktuuri kokku, sest vask ei võta neid vastu üle teatud arvu. Kui sulam sisaldab üle 10 protsendi alumiiniumi, siis näitavad X-kiired, et sel puhul vasekristallid on täielikult lagunened ja on tekkinud uus struktuur. Nii avaldavad siis alumiiniumikristallid vasekristallidele survet, ja see on täiesti kooskõlas kõvaduse suurenemisega.

Teisest küljest aga, kui lisada vasele niklit, siis astuvad lihtsalt nikliaatomid vaseatomite asemele, muidugi ainult teatud määran: nad libisevad vaseatomite asemele, ilma et avaldaksid mingit survet vasekristallile. Ja sel juhul, nagu võisime juba oodata, ei sünni mingit kõvaduse suurenemist. Viimane tekib ainult siis, kui kiilume vahele selliseid aatomeid, mis pingutavad, suruvad laiemale vasekristalli ja muudavad niiviisi tema pinnad ebahühtlasteks. Libisemine on seega tõkestatud ja metall on muutunud kõvaks ning paindumatuks.

Terase juures on tegu samasuguse nähtega. Siin põhjustavad kõvaduse suurenemise süsinikuaatomid, kuid nad ei asenda raua-aatomeid, vaid on surutud viimaste vahel leiduvaisse tühikuisse. On arusaadav, et selle kaudu rauakristall pressitakse laiemale ja ta korrapärane kihistus rikutakse, nii et tasapinnaline libisemine saab võimatuks. Kuid ka siin on muidugi piir juurdesegatava aine hulgale: rauasse võib segada ainult väikese protsendi sütt, ilma et raua lihtne struktuur häviks.

Raua ja terase puhul tõuseb ometi veel palju keerukamaid küsimusi. Tarvitseb ainult küsida, mis toi-

mub siis, kui rauasse lisada rohkem sütt, kui ta struktuur suudab vastu võtta, ja juba ongi uus probleem esile tõstetud. On leitud, et niisugusel korral tekib üsna



Joon. 39. Tsementiidikristallid. Pikad nõelad terasemassis on tsementiidikristallid.

uus kristall, mida nimetatakse tsementiidiks,  $\text{Fe}_3\text{C}$ . See koosneb molekulidest, mis sisaldavad igaüks kolm raua-aatomit ja ühe süsinikuaatomi. Need kristallid

on väga kõvad ja kujult nõelataolised (39. joon.). Kui nad esinevad rauas, siis on see palju kõvem hari-likust ja väga raske ümber töötada. Hea näite nende kristallide mõjust terasele pakuvad Damaskuse mõõ-  
gad, mis olid omal ajal väga kuulsad oma eeskujulik-  
kude omaduste poolest. Damaskuse terase pinnal  
näeme lainelist joonestust, mida on alati peetud nende  
ehtsuse tunnuseks. Mikroskoobi all vaadates osutub,  
et need jooned koosnevad määratust hulgast punkti-  
dest, mis moodustavad nagu mingi linnutee terase  
pinnal. Need punktid ongi pisikesed tsementiidikrist-  
tallid. Nagu öeldud, on sellist terast väga raske töö-  
delda. Ainult väga kuumana annab ta haamrilöökidele  
pisut järele, kaotab aga sellegi pehmuse, niipea kui on  
natuke jahenenud. Alles korduva kuumutamise ja ta-  
gumise järel muutub see teras painduvamaks, mis tuleb  
sellest, et tsementiidikristallid muudavad seesuguse  
surve tagajärjel oma kuju. Algupäraselt nõelakujuli-  
sed, muutuvad nad nüüd ümmarikeks. Nii saadi lõ-  
puks Damaskuse teras, mis on kõva ja painduv ühtlasi.

Terase puhul tohiksid meid huvitada veel käiamis-,  
teritamise- ja poleerimisprotsessid. Käiates laseme  
ränikivi kõvadel killukestel lõigata pisikesi vagusid  
noa terasse, s. t. eemaldame osa tera. Õlikiviga ülelih-  
vimine on aga hoopis teist laadi tegevus. Siin paneme  
tõepoolest terase voolama, lihvimise vaod tasaseks, tuues  
kõrgemalt kohtadelt terast õnarustesse. Siin on tegu  
arvatavasti sama nähtega, mis esines kullalehtede kuu-  
mutamisel. Õli hõlbustab terase libisemist ja lihvimise  
pinge tekitab kuumust, mis pehmendab tera.

Sulamid on harilikult palju halvemad elektrijuhid  
kui puhtad metallid. Võib-olla sellepärast, et kui  
võõrad aatomid on surutud puhta metalli struktuuri,  
mis muudab aatomite pinnad ebahetlaseks, siis on

elektronidel raskem tungida läbi metalli. Nende läbisurumiseks on tarvis siis enam energiat ja sulam ise muutub voolu läbimisel kuumemaks kui puhasmetall. Puhasmetallis suureneb aga, nagu eelpool öeldud, elektronide liikumise takistus temperatuuri tõusmisel. Võime oletada, et elektronidel on ägedalt liikuvaist aatomeist (kuumus paneb ju aatomid kiiremini liikuma oma koha ümber) raskem läbi pääseda. Sulamite juures temperatuuri tõus aga nii palju ei tähenda, seal on elektronide läbimine juba selletagi raskendatud, nii et see ei muuda enam kuigi märgatavalt seisundit.

Olgu veel tähendatud, et mõnikord metallid kristalliseeruvad rohkem kui ühel kujul. Raud on seks parim näide. Hariliku temperatuuri juures raua-aatomid korralduvad nii, et igal aatomil on kaheksa naabrit. Viimased asetsevad pisikese kuubi nurkades, mille keskkoha moodustab esimene aatom. Kuid see pole mitte kõige tihedam pakkeviis, nagu katsed näitavad. Kõige tihedama pakke annab ikkagi kuulihunnik, millest kõnelesime peatüki alguses. Seal on igal kuulil 12 naabrit: 6 asetseb ta enda kihis ta ümber ja 3 kummaski naaberkihis, ütleme ülal ja all. Selline on kulla, hõbeda, vase ja alumiiniumi pake.

On huvitav, et kirsspunase hõõgumiseni kuumutatud raua aatomid muudavad oma asendeid ja koonduvad tihedamaks pakkeks, samuks kuulikeste hunnikuiks, mida siin mainisime. Kõige hõlpsam on vaadelda seda nähet raudtraadi kuumutamisel ja uuestijahutamisel. Kui traat jahtudes jõuab kriitilise temperatuurini, kus aatomid loobuvad tihedamast pakkest, siis traat pikeneb pisut; vastava mehhanismi abil võib seda pikenemist kergesti nähtavaks teha. Tähelepanдав on seejuures aga veel üks asjaolu: sel ajal kui toimub

üleminek vanalt kujult uuele, vallandub teatud hulk energiat ja raud lööb järsku uuesti heledamaks. Kaemat aega on olnud see pikenemine ja helendumine uurimise all, kuid alles üsna viimasel ajal on leitud, et seda põhjustab aatomite üleminek ühelt kristallikujult teisele.

Need üksikud näited metalli omaduste ja tema kristalse ehituse vahekorra kohta, mis siin tõime, on ainult osake suurest ainealast, mis pole kaugeltki veel läbi uuritud ja ootab teadlasi, kes uute vahendite, X-kiirte abil tooksid päevavalgele seal peituvad saladused. Võimatu on ennustada, mida kõike seal ei avastata. Ühes võime siiski olla kindlad, et mida paremini tunneme oma aineid, seda paremini võime neid kasustada.

## Lõppsõna.

Käesoleva teose autor, sir William Henry Bragg (loe bräg), kuulub praegusaja kuulsamate füüsikute hulka. Ta sündis 1862. a. Valiti 1885. a. Adelaide'i (Lõuna-Austraalias) matemaatika- ja füüsikaprofessori; jäi sinna 1908. aastani. Seejärel oli Leeds'i ülikooli professor ja alates 1915. a. prof. Londonis, ühtlasi ka „Davy-Faraday Research Laboratory“ direktor. Kuulsuse tõid talle ta uurimused kristallide ehituse kohta. Rakendades seks röntgenikiiri, arendas Bragg täpse meetodi kristallide uurimiseks (Braggi pöörleva kristalli meetod). Nende uurimuste eest sai ta koos oma pojaga William Lawrence Bragg'iga, kellega ta töötas koos, 1915. a. Nobeli auhinna füüsikas.

Käesoleva teose moodustavad Bragg'i 6 rahvalikku loengut, peetud Londoni Kuninglikus Asutises (*Royal Institution*'is).

Kahjuks polnud võimalik seda teost täielikult eesti keelde tõlkida, mispärast tuli mitmed osad vahele jätta. Kärbitud on vähem tähtsad osad nagu katsete üksikasjalised kirjeldused, samuti on mõned osad lühendamise mõttes tõlkimise asemel ümber jutustatud. Ruumipuudusel jäi tõlkimata ka süsiniku ahelmolekule käsitlev osa. Loodetavasti need lühendused ja kärpimused käesoleva teose lugemist ei raskenda.

## Kirjandust.

- A. Haas*: Atomtheorie in elementarer Darstellung. Leipzig 1924.  
*W. Bragg*: A Introduction to crystals analysis. London 1928.  
*I. Perrin*: Les Atomes. Paris 1927.  
*Ch. Mauguin*: La structure des cristaux. Paris 1924.  
*A. Sommerfeld*: Atombau und Spektrallinien, Bd. I, 5 tr. Braunschweig 1932.  
*Th. Svedberg*: Die Existenz der Molekule. Leipzig 1912.

## Sisukord.

	Lk.
I. Aatomid, millest koosnevad kehad . . . . .	5
II. Gaaside põhiomadused . . . . .	25
III. Vedelikkude põhiomadused . . . . .	46
IV. Kristallide põhiomadused. Teemant . . . . .	65
V. Jää ja lumi . . . . .	84
VI. Metallid . . . . .	93

# BLAVA TEAHOUSE

## III. AASTAKOR (1911-1912)

See also the first published edition.

1. See also the first published edition. The first part of the book is devoted to the history of the tea trade in the Far East, and the second part to the present position of the industry.

### HIND 1 KROON

The first part of the book is devoted to the history of the tea trade in the Far East, and the second part to the present position of the industry.

### TEHISTINIMIKKO

1. Tehteen historia	1-10
2. Tehteen nykytila	11-20
3. Tehteen tulevaisuus	21-30
4. Tehteen merkitys	31-40
5. Tehteen kehitys	41-50
6. Tehteen vaikutus	51-60
7. Tehteen rooli	61-70
8. Tehteen tulevaisuus	71-80
9. Tehteen merkitys	81-90
10. Tehteen kehitys	91-100

### KÖLDE

The first part of the book is devoted to the history of the tea trade in the Far East, and the second part to the present position of the industry.