

L. Wikip.

Aine aggregat-
oleentest.

A-15247.

A

A - 15247.

Aine aggregaat-olekutest.

Prof. L. Wilip.

Vanal hallil ajal olid olemas teist laadi lihtained ehk elemendid, mis nüüdse aja lihtainetest kaugelt lahku lähevad, aga siiski tähtsat aimu annavad meie harilikust füüsikast ja keemiast: need olid muld, vesi, õhk ja tuli.

Meil on siin silmade ees kolm aine aggregaat-olekut: kindel, vedel ja gaasiline, nagu meil tänapäevani füüsikas ja keemias aine muutmiste juures päevakorral on, kus neljandana tähtis muutmisteabinõu — tuli (soojus) silma paistab.

Nende nelja kaastegevusel tehti keemias tähtsaid sammusid edasi meie tänaste lihtainete ülesleidmisel ja nende muutmistel liitaineteks. Elekter tuli pärast tähtsa agendina juurde.

Allpool olgu jutt üldiselt aine aggregaat-olekutest, nagu meie seda tänini mõistame kindlas, vedelas ja gaasisarnases olekus.

Siinjuures olgu tähendatud, et uuemal ajal ka juba räägitakse elektronide gaasist, nagu seda astrofüüsikud päevakera kõrgemas piirkonnas oletavad, mis muidugi meie harilikust gaasisarnasest olekust koguni lahku läheb.

Meie kompimismeel avaldab meile kõige pealt keha aggregaat-olekut.

Keha, mis meie survele iseäralikku vastupanekut üles näitab, on kindel, mis hõlpsasti taganeb, vedel ja mille ainult suure kiirusega lennates vastutõrjumist leiame avaldamas, gaasisarnane. Muidugi on igal pool vaheliikmeid olemas, kus aine kindlale ega vedelale, niisamuti ka vedelale ega gaasisarnasele olekule täpsalt ei vasta.

Missuguses olekus aine iganes olgu, ikka on võimalik olnud kujutella, et ta koosneb väikestest osakestest, mis üksteisest suuresti erinevad, osakeste eneste ulatustega võrreldes, ja mida me molekuliteks hüüame. Sama väikesed kui aatomid on ka need ainekübemed, nii et neid mingisugune suurendav klaas ehk mikroskoop ei suuda näidata.

Ühe süsihappendi CO_2 molekuli läbimõõt ei ole suurem kui üks sadamiljondik sentimeetrit.

Kõik need molekulid oma üldises kogus on liikumises. Iga aatom, kui molekuli osa, kujutab ju iseeneses kogu planeetide-süsteemi, kusjuures elektronid aatomi südame ümber nagu planeetidid päikese ümber pöörlevad ning oma korrapäraseid ringi ja ellipsi teesid käivad.

Need liikuvad süsteemid on molekulis ühendatud ühte rühma ja kogu see rühm korraldab nagu täiskogu igal keha olekul mittekorrapäraseid liikumisi ehk võnkumisi.

See molekulite võnkumine ongi, mis meis soojusetunnet ära-

tab. Me ütleme: keha soojuseaste avaldub molekulite kineetilise energia läbi. Mida kiiremini molekulid võnguvad, seda soema tunneme keha olevat.

Siin tekib küsimus: kui molekulid nii mitmesuguste kiirustega võnguvad, miks nad üksteisest siis hoopis lahu ei lenda?

Molekulite vahel toetseb siin iseäraline külgetõmbe-tung ehk kohesioon, mis igaühele säärasele aatomiterühmale kindla keha olekul naabrimolekulite mõju all teatud tasakaalu-koha annab. Sellest järgneb visa järeleandmine kindlate kehade juures vägivallatarvitamise korral. Lõdvemaks on need sidemed muutunud aine vedelas olekus ja veel kaduv-väikeseks gaaside juures.

Aine vabal pinnal võib asjalugu küll teiseks muutuda. Tuleb ette, et nendest molekulitest, mis aine pinnal asuvad, osa niisuguse kiiruse omandab, et ta pinnalt eemale lendab, sest et seal vabal küljel teiste molekulite mõju puudub. Sellel korral lahkuib siis muist molekulid oma peakehast. On võimalik niisugustel juhtudel saavutatud mõju tähele panna. Keha pind jahtub, sellepärast et kõige kiiremad osad, mis kõige suuremat soojuse mõju ehk kineetilist energiat avaldavad, eemaldusid, nagu seda kõige hõlpsamini vedeliku pinna jahtumisel tähele võib panna. Siin on meil siis auramisnähtusega tegemist.

Võib küsida, kas võimalik ei ole mõelda säärast korda, kus molekulid üldse enam ei liigu?

Molekulite võnkumine väheneb ühtelugu temperatuuri alaneemisega ja peab kaduma ainult kõige madalama temperatuuri ehk nõndanimetatud absoluutse nulli ehk -273° C puhul, mis ideaalset piirisuurust tähendab ja milleni meil ilalgi võimalik ei ole sammuda, sellepärast et see suurus puhtast teooriast on järeldatud, ükski aine aga täpsalt selle teooria tingimusele ei vasta.

Siiski oletame, et me mõnd ainet -273° Cst peale hakkame soendama; siis jäägu ta hulgaks ajaks kindlasse olekusse; sealjuures kasvab ühtelugu ta molekulite kineetiline energia, ehk ta molekulid hakkavad kiiremini võnkuma, ta soeneb, aga ei lagune oma kindlast olekust.

Tuleb silmapilk, millel soendamise tagajärjel enam mingisugust temperatuuri muutumist ei võida tähele panna. Juurdelisatud soojusehulgad lähevad nagu kuhugi kaduma. Sealjuures on aga võimalik tähele panna, et keha oma olekut hakkab muutma, ta laguneb ehk sulab. Me võime tähele panna, et meie soojus ära tarvitub selleks, et molekulite vahel endiseid kohesioonisidemeid lõdvendada. Temperatuur jääb püsima, kuni kõik molekulid oma kindlast kinnipidamisest on järele annud.

Keha viiakse niiviisi vedelasse olekusse, millest teda soojuse tagasivõtmise ehk jahutamise läbi jälle endisse kindlasse olekusse

tagasi võib muuta. Me tähendame siin teiste sõnadega varjatud sulamissoojuse tarvitamist.

Kuidas vedelas olekus molekulid liiguvad, on üks keerulise-
maist küsimusist. Siiski võib oletada, et siin võnkumiste kõrval
ka pöörlemine ja üksteisest mööda lendamine aset võtab, nagu
seda Brown'i liikumise nähtuses nõndanimetatud ultramikroskoobi
abil võiks oletada.

Aine juures vedelas olekus on võimalik sagedasti tähele panna,
et välispoolne pind jahedamaks läheb (eeter, piiritus, bensiin, vesi
jne.), kui vedeliku enese temperatuur seespool on. Seal on meil
tegemist eespool-tähendatud nähtusega, kus kiiremini liikuvad mo-
lekulid pinnast niivõrt kaugele satuvad, et nad enam enese ema-
vedelikku tagasi ei pööra ning jahtumine areneb seda kiiremini,
mida tühjem on ümbruses ruum, õhus hariliku rõhu korral aegla-
semalt kui hõreda gaasi puhul ehk koguni tühjuses, mis ongi aru-
saadav, sest et viimasel korral molekulid vabamalt eemale võivad
lennata. Meil on viisiks saanud öelda: vedelik aurab ära ehk muu-
tub auruks.

Kui me seda nähtust enestele kujutleme absoluutses tühjuses
korda läinud olevat, siis tekib meile endises tühjas ruumis säärane
aine aggregaat-olek, mida me gaasisarnaseks võime nimetada. Olgu
tähendatud, et kohe vahet peame tegema gaasisarnase ja tõelise
gaasilise oleku vahel, millele pärastpoole parema tähenduse leiame.
Muidugi on meil elus kõige lähemini kokkupuutumist gaasidiga ja
peaasjalikult on meil just gaasid elutingimuseks meie hingamisel.

Ehk küll sellel aine olekul rohkem sarnasust on vedela olekuga,
siiski lähevad ta omadused teisest küljest kaugelt lahku nii kind-
late kui vedelate kehade omadustest. Nemad ei omanda mingi-
sugust omapärast kuju; neid sisaldav kinnise ruumi kuju on ka
nende kujuks. Nende maht muutub samuti kui kinnise anuma maht.
Neid on võimalik välimise rõhu muutmise läbi mistahtesuguse
mahu peale koondada, ehk jälle isegi lõpmatu suure mahuna
välja venitada. Õhutühjas ruumis, kus neil liikuvail molekulitel
mingisugust rõhku ega piiri ei ole, lendavad nad üksteisest eemale,
just vastuoksa aine hariliku omadusega, kus aine ainesse niiviisi
mõjub, et Newton'i gravitatsiooniseaduse järele osakesed üksteis-
esse külgetõmbavat jõudu peaksid avaldama.

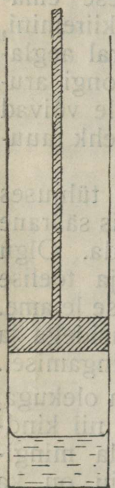
Kinnisesse ruumi gaasi asetades on võimalik tähele panna,
et ta seinu laiali püüab suruda. Gaasimolekulid liiguvad, põrka-
vad vastu seinu ja sealt tagasi ning niiviisi tekib lõpmatu suure
hulga pisikeste hoopide tagajärjel surve anuma seinte peale. Gaasi-
sarnasel kehal on siis iseäraline omadus, mida ta pinevuseks nime-
tatakse, ükskõik, kas meil tegemist on puhta gaasiga või auruga.
Siin tekib küsimus, missugune on siis auru ja gaasi vahekord?
Me tähendasime juba, et keha kindlast olekust vedelaks muutmisel

soojust tarvis läheb, niisamuti ka, et auramisega vedeliku pind jahtub.

Sellest on arusaadav, et meil siin on tegemist nähtustega, milles soojus tähtsat osa mängib. Mida kõrgem on temperatuur, seda kiiremini liiguvad vedeliku molekulid ja seda tugevamini kipuvad pinnal olevad jaokesed eemale, seda kiiremini tekib auramine, seda suuremaks kasvab auru põnevus ehk rõhk.

Kellele ei ole tuntud auru tegevus hariliku veekeemise puhul meie padades, mis kergemate kaantega on kaetud? Seal näeme, kuidas kaas auru rõhu läbi tõuseb. Siinjuures tähendame, et veeaur läbipaistev on ja meil teda ennast võimalik ei ole silmaga näha.

Mida mõnikord eksikombel auruks hüütakse, on juba koondatud aur ehk udu, nagu ta paja kaane vahelt nähtavale tuleb.



1. joon.

Võtame nüüd arvesse mõnd silindrisarnast ruumi (1. joon.), mida me pimeda kannu abil kindla temperatuuri juures oma tahtmist mööda võime vähendada ja suurendada. Asetame sinna sisse osa vedelikku, siis kipuvad molekulid sellest vedelikust ülejäänud ruumi, suure kiirusega liikudes, ja see rändamine vedelikust vabasse õõnsusse kestab seni edasi, kuni vedeliku pinnal ja mujal ruumis olevail molekulil kujuneb ühesugune keskmine kiirus.

Sellega on siis auruks muutmise protsess lõppenud ja seda vedelikust tühja ruumi nimetatakse auruga küllastatuks. Võime auru mahule tühja ruumi juurde lisada, kannu välja tõmmates, siis muutub tingimus ses suhtes, et ka vedelikust lahutatud molekulid sinna kipuvad, kusjuures uus osa vedelikku auruks muutub, kuni endiselt kõik küllastatud auruga on täidetud. Nii on võimalik järkjärgult mahu suurendamisega edasi sammuda ja ühtelugu väheneb vedeliku hulk, mis auruks muutub, kuni viimase tilga kadumiseni. Siis võime öelda, et kõik ruum on teatud temperatuuri juures küllastatud auruga täidetud.

Siin oleks meil juba täieline gaasisarnane olek saavutatud.

Suurendame nüüd mahtu edasi, siis tekib juba veel gaasisarnasem olek; mida suuremaks mahu teeme, seda rohkem ligineb aur omaduste poolest harilikkudele gaasidele. Me nimetame säärast olekut mitteküllastatud auruks.

Kui me mitteküllastatud auru mahtu ümberpöörduvalt jälle endiste suurusteni hakkame vähendada, siis näeme jälle asjalugu, et aurust just endiste hulkadena vedelikku tekib. Nii muutub siis mitteküllastatud aur küllastatuks ning küllastatud aurust saab jälle vedelik. Seda vedelikuks muutmist on võimalik isegi edasi kor-

raldada, kuni viimne küllastatud auru jäänus vedelikuks on muutunud.

Siis jääb meil kahe asemel üks ainus faas järele, nagu ka öeldakse, nimelt vedelik küllastatud auru ja vedeliku asemele.

Kui me nüüd seda kannu peale rõhu suurendamise abil edasi püüame koondada, siis torkub silma tähtis omadus, mille poolest gaasisarnane olek vedelikust erineb: maht ei vähene rõhu suurendamisel enam kuigi palju; see tähendab, et vedelikud ei lase ennast kuigi palju kokku suruda. Iseäralik lugu on aga rõhuga sel korral, kui mõlemad faasid koos on olemas, see on küllastatud auru korral. Seal ei ole meil võimalik mahu vähendamise puhul mingisugust rõhu suurenemist tähele panna; öeldakse, küllastatud auru rõhk on jäädav suurus teatud temperatuuri juures ja ei olene mahust.

Kui me säärast küllastatud auru piirkonda madalama temperatuuri juures eespool-kirjeldatud viisil järele katsume, siis leiame, et vedeliku täismaht selle mahuga võrreldes, kus kõik vedelik küllastatud auruks muutunud, on väike.

Temperatuuri tõstmisega kasvab ühtelugu küllastatud auru rõhk, sest et molekulid kiiremini liikuma hakkavad. Sealjuures ligineb vedeliku maht ühtlasi küllastatud auru omale. Kui vedeliku ja küllastatud auru täismahtudel on väike vahe, siis on selge, et ka nende tihedused üksteisele liginevad. Sellest võib näha, et mõlemad faasid, see on vedelik ja küllastatud auru, kaunis ühetaoliseks on muutunud, mis lubab oletada, et võib saavutada säärane temperatuur, milles vedeliku maht sama suur on, kui küllastatud auru oma; see tähendab: küllastatud auru ja vedeliku vahel ei ole enam mingisugust vahet.

Seda aine olekut nimetatakse aine kriitiliseks olekuks, ja neid äärmisi andmeid, mil säärane lugu päevakorraks tuleb, kriitiliseks andmeiks; see on, kriitiline temperatuur, kriitiline rõhk (küllastatud auru rõhk, kus küllastatud auru maht võrdne vedeliku kõige suurema mahuga), kriitiline maht ja tihedus.

Sellel aine olekul on säärane omadus, et mingisuguse aine juures mingil tingimusel pisut kõrgema temperatuuri puhul võimalik ei ole kuidagi viisi vedeliku pinda ehk vahet vedeliku ja küllastatud auru vahel nähtavaks teha.

Igal ainel on need suurused õige täpsalt kindlad ja iseloomustavad ainet.

Siin võib küsida, missuguses olekus on aine pealpool kriitilist temperatuuri? Ehk kas sai äkitselt pärast kriitilist temperatuuri küllastatud aurust ja vedelikust gaas?

See on teaduses olnud kaunis vana tükisimus, mida katseiliselt ja teoreetiliselt on püütud lahendada. Kõik katsed ja oletused selle küsimuse kohta on vahest väga naiivse iseloomu omandanud,

nii et erapooletus pealtvaatajas tõepoolest ehk kahtlust äratav, kas seal teadusliste katsetega nalja ei tehta. Aga siiski annavad nad sellest tunnistust, kui keeruline on lahti saada kõige väiksemastki tõendusest, mille endised ajad ja autorid lausena üles seadnud. See tõendus lausub: aine on pealpool kriitilist temperatuuri ainult veel gaasilises olekus. Siin oleks nagu äkki küllastatud aur puhtaks gaasiks muutunud, sellepärast et mingil tingimusel ei ole võimalik vedeliku pinda nähtavaks teha.

Selle vastu käib teine sama vana oletus: kriitiline temperatuur eitähenda vahet vedela ja gaasilise oleku vahel, vaid vedel olek kestab pealpool kriitilist temperatuuri ühes gaasioludega segamini edasi. Tõepoolest on ju katsed selles küsimuses suurte raskustega seotud, sest et nad kõige suuremat tähelepanu temperatuuri jäädavuse suhtes nõuavad ja hädaohtlikud on plahvatuste pärast. Siiski ei kohku teaduse tegelased mingisuguse hädaohu eest tagasi ja korraldavad isegi tuhandete atmosfääride rõhkude juures aine kohta kõiksuguseid uurimusi.

Esimese oletuse südikad pooldajad on olnud hollandlased ja teise, vastase — belglased, kuna viimased kõige tõenäolisemale teooriale põhja on pannud, katseliste puuduste pärast aga küllalt mõjukalt täielikku teaduslist tunnistust ei ole leidnud.

Nõutakse just katselist tõendust, mis kindlasti näitaks, et pärast vedelikupinna kadumist veel kuskil võimalik on püsiva temperatuuri juures vedeliku osakesi silmale nähtavaks teha.

Kui pärast vedeliku ja auru vahe ehk meniski kadumist üldises mahus on olemas vedeliku olluseid, peaksid nad raskemad olema kui gaasi omad, ja meie maakera gravitatsiooni mõju all, nagu meil ainult võimalik on katseid korraldada, peaksid vedelad osad maakera keskpaiga poole või anuma alumisse ossa koonduma.

Selle üle katseliselt otsustada on kaunis raske ülesanne, sest et soendamisviisi siinjuures mõõduandev on, soendamine aga enamasti niiviisi ette võetakse, et soojuse mõju all raskemad kübemed konvektsiooni ehk sisemiste tõusuvoolude läbi alt ülespoole kanduvad, nii et sedaviisi kaunis ühtlane aine olek võib tekkida. Nii sõltub siis asjaolu selgitamine suurel määral eksperimentaatori osavusest, kas ta saab ühtlase või jälle kihilise oleku.

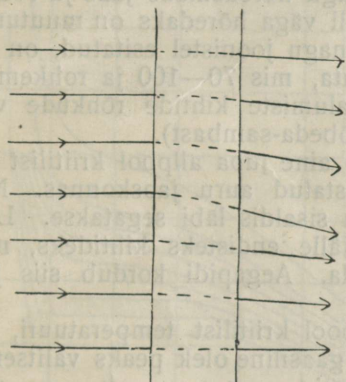
Võib tõendada, et kuskil teaduses katseliselt kapriisimat nähtust ette ei tule, kui seal, kus soojuse juhtivus ja kiirgus igal silmapilgul kaasa räägivad.

Mis aine sisemiste olude tundmisest oleks öelda, on see, et kõige peenemad on optilised abinõud, mis igas läbipaistvas aines sisemiste olude kohta mõõduandvaid juhtnööre pakuvad.

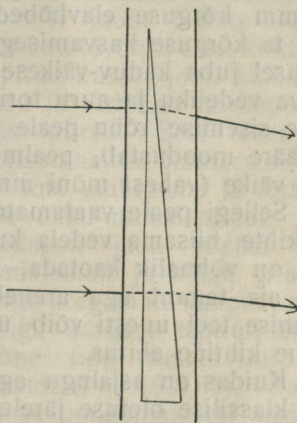
On ju teada, et võimalik peaks olema isegi maakera liikumist (30 km 1 sek.) vaikiva valguse-etri kohta kindlaks teha, seda lii-

kumist valguse kiirusega (300 000 km 1 sek.) võrreldes, mille tagajärjestusest oletati, et säärast eetrit ei ole.

Ka nendes küsimustes on siis just valgusekiir, mis nõnda-öelda lubab käega katsuda, mis ainega maakera gravitatsiooni mõju all pärast kriitilist olekut sünnib, ehk jälle sisemiste molekulite olukorda nagu silmnähtavale toob. Olgu meil 2. joonisel toru, mille sisse on asetatud järelekatsutav aine, nii valitud mahuga, et kriitilise temperatuuri juures vedeliku ja küllastatud auru mahud parajasti üksteisega võrduvad. Kui nüüd aine gravitatsiooni kaastegevusel ennast niiviisi seab, et tihedamad kihid ühtlaselt allpool on asumas, siis võime kergemate kihtide asemele mõelda kitsamad vedelikutulbad, ainult alumiste kihtide tihedusega. Nii tekib meil säärane vedelikusammas, mille keskmine osa kujutleb prisma (joo-



2. joon.



3. joon.

nise pind ta läbilõige), kus murdumisnurk asub kuskil väljaspool toru. Nurga suurus muutub nii, kuidas muutub tihedus sügavusega. Jääb tihedus püsima, oleks meil tegemist nagu tasase kujuga.

Kui siis säärase toru külje peale horisontaalse kitsa pilu läbi juhime valgusekiire, siis murdub see kiirtekimp õigest sihist allapoole, kusjuures pilu kuju võib laieneda ja isegi segaseks minna, mis sellest oleneb, kui kiiresti allapoole tihedus kuskil kasvab. Seda nähtust nimetatakse refraktsiooniks ja vaadeldakse ka õhu juures, kus kihtide tagajärjel samuti tekib valgusekiire kõrvalekalduvus (astronoomiline refraktsioon). Nii võib meil valgusekiir aine peidetud iseloomu avaldada.

Et kvantitatiivseid andmeid võimaldada, sellel juhul, kui kihid ühtlaseks seguvad, võib appi võtta kitsas klaasprisma, mis toru sisse asetatakse, nagu 3. joon. näitab, kus siis mõõdetud kõrvale-

kaldumisnurga alusel võib järeldada, kuidas küllastatud auru või vedelikuga pealpool kriitilist temperatuuri kummagi seguga on lugu.

Säärased abinõud näivad nagu liiga peened olevat ülesande selgitamiseks, kus temperatuuri muutlikkuse vastu niipalju on võitlemist, et see vaev seda ära ei tasuks. Siiski peab tõendama, et see ainus täpiline abinõu on, mis selgitab, kui väga tarvilik oleks, et me just selles teaduse-peatükis tõenäolisemaid andmeid koguksime, kui seda senini harilikult mõned tabelid kriitiliste suuruste kohta pakuvad.

Mida on nüüd näidanud säärased vaatlused kõige jäädavamate temperatuuride korral?

Ei ole imeks panna, kui meie atmosfääri sees kihid püsivad, sest siin on maakoore ligidal ligikaudu 1 terve atmosfääri ehk 760 mm kõrguse elavhõbeda-tulba rõhu all kõige tihedam õhk, kuna ta kõrguse kasvamisega ühtelugu hõredamaks jääb ja 100 km kõrgusel juba kaduv-väikese rõhu all väga hõredaks on muutunud. Palava vedeliku ja auru toru sees, nagu joonistel esitatud, on aga üldise sisemise rõhu peale vaatamata, mis 70—100 ja rohkem atmosfääre moodustab, pealmiste ja alumiste kihtide rõhkude vahe väga väike (vahest mõni mm elavhõbeda-sambast).

Sellegi peale vaatamata näitab aine juba allpool kriitilist olekut kihte, niisama vedela kui küllastatud auru jaoskonnas. Neid kihte on võimalik kaotada, kui toru sisaldis läbi segatakse. Lühikese aja tagant aga areneb aine jälle endisteks kihtideks, mida segamise teel uuesti võib ühtlustada. Aegapidi kordub siis jälle endine kihtide ehitus.

Kuidas on asjalugu aga pealpool kriitilist temperatuuri, kus juba klassilise oletuse järele täielik gaasiline olek peaks valitsema?

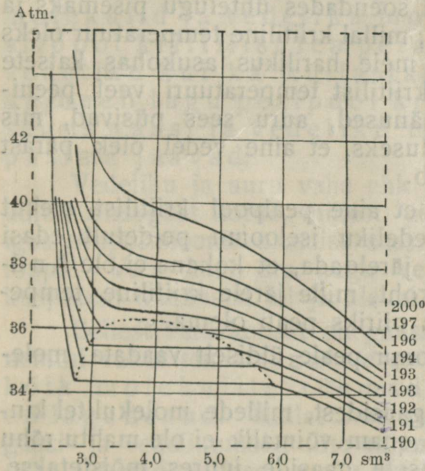
Siin tõendatakse, aine pidada ühtlane olema, sealjuures ainult tähtsuseta väikese kihilise olekuga, nagu see lühikese gaasisamba juures gravitatsiooni mõju all oleks mõeldav. Valgusekiire läbikäik näitab aga koguni teissugust asjalugu, isegi veel kaugel pealpool kriitilist olekut. Kriitilist temperatuuri on võimalik isegi tuhandikkude kraadide täpsusega määrata, kiir avaldab aga koguni veel 5° ja rohkem pealpool seda temperatuuri, et täpsa kriitilise mahu piirides toru alumisse otsa koondub kaunis ühtlane tihedam osa, pealepoole aga hõredam, kusjuures kihid keskaigas järsumalt muutuvad. Meil on siis siin toru alumises otsas nõndanimetatud „üle kriitilise“ vedelikuga tegemist. Kui soendamist ettevaatamata korraldatakse, siis on muidugi võimalik allpool soemaid voolusid äratada, mis kihid kaunis aegsasti segamini veavad, nagu harilikult juhtub vedelikkude soendamisel, kuna soenemine alt algab ja vedelikus konvektsioonivoolusid äratav, mis varssi sisu ühtlustavad.

Sellest on arusaadav, et sel korral, kui silmaga enam vede-

liku pinda ei ole näha, iialgi õigust ei ole oletada, et aine oma vedela oleku täieliselt oleks võinud gaasiliseks muuta.

See vana klassiline lause on tõepoolest juba ammu oma aluse kaotanud, aga iseäralistel põhjustel on tal poolehoidjaid rohkesti olnud sellepärast, et teda teoreetiliselt väga hõlpsasti ja ümmarguselt võimalik oli tõestada. Lihtne aine-oleku võrrand, mis ennast väga ilusasti ja usutavalt lubas seletada, täitis siin oma ülesannet, kus ainet nagu sunniti matemaatilise valemi järele elama, selle peale vaatamata, et teooria nii mõnigi kord loodusnähtusi vaatab koguni teiste prillide läbi, kui puhas katse tõestab.

Vedela oleku üle pealpool kriitilist temperatuuri annavad veel tõendust isegi aine oleku kõverjooned, mida katseliselt ehitatakse, nõndanimetatud isotermid.



4. joon.

4. joon. esitab säärase isotermidevõrgu eetri kohta, kus täpitud kumer joon küllastatud auru ja vedeliku üheskoos olemist piirab. Seal tähendavad horisontaalsed ulatused aine ühe grammi mahtu sm^3 ja vertikaalsed rõhku atmosfäärides. Kõige madalam joon vastab kõige madalamale ja kõige pealmine kõige kõrgemale temperatuurile. Kõige kõrgem täpitud kumera joone tipp vastab kriitilisele olekule ($t = 193^{\circ},61$). Paneme tähele horisontaalset sirgjoonelist osa. See vastab sellele aine olekule, kus vedelik ja küllastatud aur üheskoos silmnähtavalt olemas olid. Aga

säärane horisontaalne vahe jääb veel püsima kõverjoontes pealpool kriitilist temperatuuri, kus silm enam mingit vahet vedeliku ja auru vahel ei näe.

Kui keegi küsib, mispärast säärane sirgjooneline osa on olemas, siis võime vastata: Sest et sel korral vedelik ja küllastatud aur koos olid.

Kui edasi neid kõverjooni ka pealpool kriitilist temperatuuri silmas pidada, võib sellest aina järeldada: et seal ka seesugune horisontaalne vahe olemas on, peab see tähendama vedeliku ja küllastatud auru koos esinemist. On võimatu teisiti otsustada. Sellest näeme siis, et optilisel vaatlusviisil on olemas teine tähtis abiline, mis ka sama vanale klassilisele oletusele vastu räägib.

Tuletame siin meelde, et me oleme sunnitud oma katseid

korraldama maakera gravitatsiooni mõju all. Oma vedeliku pinda näeme me ainult selle gravitatsiooni mõju all. Oleks see mõju 100 korda suurem, siis oleks meil pealpool kriitilist temperatuuri üle kriitilise vedeliku ja auru vahe palju teravam. Kui me endid oma vedeliku- ja aurutoruga kujutleksime olevat kuskil maailma-ruumis, kus me mingist gravitatsiooni mõjust ei oleneks, seal areneksid meie katsed koguni teist viisi. Vedelik omandaks küllastatud aurus kas ümmarguste tilkade kuju, ehk, mis ka on võimalik, mahu muutumisega ei tekiks mingisugust vahet vedeliku ja auru vahel, nii et küllastatud auru koht ülepea vedelikutilku ei avaldaks. Iseäranis võiks seda loota, kui vedelik ilma mingisuguste õhujäänusteta oleks valmistatud. Vedelik veniks siis nagu elastne kummi-pael auruks. Kuigi meil igatahes vedelikutilgad tekiks, siis jääksid nad kriitilise mahu juures soendades ühtelugu pisemaks ja meil ei oleks võimalik vahet teha, millal kriitiline temperatuur oleks saavutatud. Samuti on võimalik meie harilikus asukohas katsete puhul tähele panna, et pealpool kriitilist temperatuuri veel peenikesed raasukesed, nagu tilga jäänused, auru sees püsivad, mis samuti on veel kolmandaks tõenduseks, et aine vedel olek pärast kriitilist temperatuuri edasi kestab.

Nii on siis katseliselt selge, et aine pealpool kriitilist olekut oma endist küllastatud auru ja vedeliku iseloomu peidetult edasi näitab, millest ainult võimalik on järeldada, et kohane ei ole Andrews-van der Waals'i seisukoht, mille järele kriitiline temperatuur vedeliku ja gaasilise oleku piiriks peab olema.

Kuidas tuleb siis aine iseloomu peale üldiselt vaadata molekulaarteooria seisukohalt?

Nõndanimetatud reaalistest gaasidest, millede molekulitel kindel maht peab olema, millest üle enam võimalik ei ole mahtu rõhu läbi vähendada, nagu seda ideaalsete gaaside juures mõistetakse, teame meie, et nende seas mitmesuguseid ette tuleb, ühe-aatomiliste, kahe-aatomiliste jne. molekulitega, selle peale vaatamata, kas gaas iseenesest kujutab liht- või lihtainet, nagu katsete ja seaduste alusel võimalik on järeldada. On meil aga tegemist aine kindla ja vedela olekuga, kuidas on siis lugu molekulitega nendes olekutes? Kas koosneb siin aine samuti lihtsaist molekuleist, (1-, 2-, 3-aatomilistest jne.), nagu reaalistest gaasidest juures?

Siin oleme jõudnud piirini, millest üle isegi meie uudse aja teadus oma kõige innukama edasipüüdmisega ei ole suutnud sammuda.

Võib ainult oletada, et molekulid kindlas ja vedelas olekus veel ise omavahel kokku liituvad. Säärast kokkuliitumist nimetatakse molekulite assotsiatsiooniks ehk polimerisatsiooniks. Kas siin peaks kindlas olekus molekulite jaadav arv rühmas püsima jääma, kui aine temperatuuri ja rõhu tingimused

muutuvad, on väga kahtlane. On isegi loomulikum kujutella, et rühmade suurus igal tingimusel mitmesugune võib olla ja mitte säärane jäädav, nagu aatomite ühendus molekulis eneses. Aimata võib ainult, et madalama temperatuuriga üldiselt suuremad rühmad ehk kompleksid ette tulevad. Pisut ligemale jõuame säärase kujutlusega, kui me kriitilise temperatuuri piirkonda arvesse võtame. Aurused võrdleme madalamate rõhkude juures õhuga või vesinikuga ja määrame tiheduse, mille alusel aine molekulaarkaalu võimalik on kätte saada. Kõrgemate rõhkude puhul, nagu kriitilise oleku piirkonnas, ei lähe see enam korda. Sellest paistabki välja, et auru molekulite sisemine ehitus juba on muutunud.

Nii lausub siis ka teine oletus aine kohta pealpool kriitilist temperatuuri: On kaht jagu molekuleid olemas, gaasi molekulid ja vedeliku molekulid. Need püsivad juba allpool kriitilist temperatuuri üksteise kõrval, nii vedeliku kui ka küllastatud auru sees, ja samuti kujuneb lugu pealpool kriitilist temperatuuri, kus segus gaasi ja vedeliku molekulid üksteise kõrval püsima jäävad.

Vedeliku ja auru vahe ehk meniski kadumine tähendab siis ainult niisugust korda, millest peale vedeliku ja gaasi molekulid igas proportsioonis üksteise sees lahustuvad, mitte aga vedela oleku lõppu. Vahe kaob ära, nagu vee peale asetatud piirituse vahe, kusjuures tihedused all ja üleval võivad erineda.

Sellest vaatekohast on gaaside ja aurude vahel võimalik peenemini vahet teha: reaalne on säärane gaas, mille sees kõik molekulite rühmad lihtsateks molekuliteks on lagunened. Küllastatud aurus püsivad üksteise kõrval lihtsad gaasi- ja vedelikumolekulite rühmad. Küllastamata aurus lagunevad need rühmad ühtlaselt mahu suurenemisega vähemateks rühmadeks, isegi kuni lihtmolekuliteni, mispärast siis säärane aur ligikaudu nagu gaas allub hariliku gaasi seadustele. Niisamuti sisaldab ka vedelik oma molekulite kõrval puhtaid gaasimolekuleid.

Et pealpool kriitilist temperatuuri tõesti tegemist on säärase ühtlase edasilagunemisega, näitavad ka mõõtmised rõhu kasvamise kohta temperatuuriga.

On meil 1 gramm ainet pealpool kriitilist temperatuuri kinises ruumis rõhu all ja soendame me teda 1°C peale edasi, siis kasvab rõhk rohkem kui reaalse gaasi seaduse järele võiks oodata. See tähendab, et nähtus niiviisi areneb, nagu tuleks soendamisega kuskilt gaasi juurde ja see juurdetulnud gaas ei ole muud kui vedelikumolekulite rühmade lagunemise saadus.

Meil ei ole siis kaugel pealpool kriitilist temperatuuri kuskil õieti reaalselt gaasi olemas, vaid aine ligineb temperatuuri kasvamisega ühtelugu gaasilisele olekule.

ERDM...
1923

Seda kuju näitab ka iga isothermidevõrk, kus horisontaalse osa vahe temperatuuri kasvamisega püstemaks läheb.

On palju katseid olnud ideaalsete gaaside seaduse toetusel luua matemaatilist kuju, mis võimaldaks nähtuste tähtsaid suurusi üksteisega siduda, et lihtsate arvutuste alusel katsete saavutusi ette määrata. On püütud luua nõndanimetatud aineoleku võrrandit. Võib tähendada, et siin teadusline töötamine rohkem vaeva on näinud, ilma et korda oleks läinud midagi sarnast üles leida, mis nähtust lihtsal matemaatilisel kujul esitaks.

Teaduslikes kirjanduses leidub isegi kaugelt rohkem kui 50 aineoleku võrrandit, mis üles on seatud esimeses järjekorras gaasilise ja vedela oleku kohta, ilma et nad üldist kokkukõla kõigi ainetega pakuksid. Arusaadav, miks siin lihtsamad matemaatilised valemid ei või maksta, kui meelde tuletada viimast oletust molekulirühmade lagunemise kohta.

Astronoomias on mitmete kehade probleem keeruline lahendamata ülesanne. Siin näikse aineoleku võrrandi probleem veel keerulisem olevat. Juhime tähelepanu sellele, et kõik termiliste suuruste sõltumine temperatuurist ridadekujulistesse funktsioonidesse tuleb seada. Lineaarne sõltumine on ikka ligikaudne ja maksab ainult väikestes temperatuuripiirides. Aineoleku võrrandist tulevad mõõtmisele 3 suurust: rõhk, maht ja temperatuur. Mahu olenemine temperatuurist käib matemaatilisel kujul ridade alla, nii et lihtsat valemit võimalik ei ole leida. Nii peaks ka asjatu olema püüdmine katsuda tõeks teha, et üks või teine lihtne olekuvõrrand nähtust õigesti ette tähendaks.

Oleks isegi kohane ses küsimuses üles seada eriline lause, nagu neid teisi sarnaseid juba on olemas, mis avalikult tõendab: Ei ole võimalik aineoleku kohta lihtsat matemaatilist valemit leida, sest et meil kuskil selget gaasi, niisama ka selget vedeliku olekut ei leidu.

Tõepoolest on see probleem iseenesest üldise tähtsusega ja sisaldaks üht meie universumi tähtsaist üldseadustest. Vaatame asjalugu natuke üldisemast seisukohast.

Küsimine, kuidas on lugu vaba palava gaasiga maailma-ruumis, kus võõrast gravitatsiooni mõju ei ole?

Kui seal kujutleme tühja ruumi, kus muud ei oleks, kui kosmiline tolm, temperatuuri oletame aga palava gaasi oma olevat, — mis muidugi kohane ei ole, — siis mõjuks koondavalt aine alusomadus, mille järele jaokesed üksteist ligi tõmbavad, nagu seda tõestavad üksikud ainekogud, kus Newton'i masside algseadus maksev. Sellevastu teotseks aga aine gaasirõhk ja püüaks gaasi maailmaruumis laiali laotada ning isegi mahtu lõpmatu suureks muuta, kus kiirgav energia oma survega kaasa avitaks, nagu valguse rõhk sabagatähtede lagundamisel. Tuletame meelde, et see

nii korda läheks ainult sellel juhul, kui temperatuur oleks tõepoolest säärane jäädav, mis gaasilise aine põnevust ei alandaks. Nii viisi ei oleks võimalik, et suuremaid ainekogusid maailma-ruumis võiks tekkida. Auru rõhk kannaks tingimata kõik aine lõpmatu-seni laiali.

Me teame aga, et maailma tühja ruumi temperatuur madal on ja isegi absoluutselt nullist ehk -273°C palju järele ei anna. Siin on looduses eneses juba piiraja olemas, kes auru- ja gaasijao-keste lõpmata kaugele lendamisele tõkkeid teeb. Madal temperatuur muudab igaühe aine esiti vedelaks ja selle vedeliku pärast kindlaks kehaks, kusjuures auru ja gaasi põnevus kuni nullini alaneb ja järele jääb teotsema võitjana aineosakeste üksteisele ligine-mise võime, mille läbi siis kuskil tekib piir, kus äärmised jahtunud jaokesed seda kõvemini hoiduvad mingi koondava keskkoha poole, mida suurem on masside hulk vastavas piirkonnas.

Maailma-ruumi harilikkude kehade korral on meil tegemist mitmesuguste ainete segudega ja igal jaol on olemas oma auru-rõhk ja oma kindlad kriitilised andmed. Sellest võib juba aimata, kui keerulised nähtused taevakehade tekkimisel palavate aurude koondumisel ainetes allpool ja pealpool kriitilist temperatuuri võivad areneda, kus ühtedel see temperatuur madalam kui -250°C ja teistel üle 4000°C soojus ette tuleb (meie õhu gaasid ja metallid).

Nii on arusaadav, et meie maakera õhkkonna piiril meie hari-likud õhugaasid juba kindlas olekus, pisikeste jääkildude kujul, esinevad, nagu uuemal ajal lämmastikust tõendatakse.

Veel palju sügavamini ulatub kriitiliste nähtuste tegevus maa-ilma-ruumi kehade jahtumisel ja arenemisel.

Suure hulga aine koos olemisel on gravitatsiooni mõju, mis masse kuhugi keskkoha poole kisub, seda suurem, mida suuremate ja tihedamate massidega meil on tegemist. Rõhk, mida aine samba raskus aluse peale avaldab, kasvab sügavusega tsentrumi poole. Seestpoolt sellevastu teotsevad kõiksuguste ainete auru- ja gaasi-rõhud, mis nii mitmesugused on, nagu nende kriitilised tempera-tuurid ja rõhud.

Seal võivad pärast kindla koore tekkimist seespool kõva koore all välja areneda mitmesuguste tihedustega kihid, nii et isegi suure rõhu all olevatel sügavustel leidub hõredamaid aineid kui kindlast aineist koosnevas kooses eneses.

Nii on tänapäevani selgunud fakt, et meie maakera koosseis lihtne ei ole, kus tihedus sügavusega ühtlaselt kasvaks, nagu teoreetiliselt võiks järeldada. Meie planeet koosneb kihtidest, milledest tänini alles väikest osa on võidud määrata, ja nende seas leidub sage-dasti tihedamate all jälle hõredamaid mitmesugustes paksustes.

Nende küsimuste kohta annab uuemal ajal meie uudne tea-duseharu, seismomeetria, lähemaid vastuseid ja on juba oma

lühikese kestuse ja arenemise ajal näidanud, et nii mitmesuguste üksteisest lahkuminevate meetodite alusel määratud kihtide sügavused head kokkukõla annavad.

Siin tunneme jälle silmnähtavaid sidemeid, mis meie laboratooriumides käsitledavail uurimistel harilikult on maailma tähtsamate probleemidega.

Tuleb siin veel tähelepanu juhtida järgmise asjaolu peale.

Me teeme harilikult teravasti vahet aine kindla, vedela ja gaasilise oleku vahel. Me nägime juba, et mõnel tingimusel, nagu kriitilises aineolekus, võimalik ja kohane ei ole säärast vahet teha, nagu Andrews-van der Waals'i vaatekoht oletab. Vedel olek püsib ka pealpool kriitilist temperatuuri peidetult edasi.

On meil tegemist koondunud gaasidega ehk vedelikkudega suurte rõhkude all, siis näikse aine ülepea käituvat¹⁾ nagu kindel keha, kõrge temperatuuri peale vaatamata.

Tähtsat osa aine oleku kohta mängib siis tingimata rõhk, kus just sulamistemperatuur rõhust oleneb.

Meie laboratooriumides ettevõetavad katsed ei võimalda aparateid materjali vastupidamatuse pärast üle 20 000 atmosfääri sammuda, kus isegi kõige uuemal ajal alles üle 10 000 atm.† on jõutud. Siiski tõestavad katsed huvitavaid nähtusi aineoleku kohta suurte rõhkude puhul. Nii alaneb meie veesulamise-temperatuur rõhu kõrgendamisega, isegi kuni -22° C, millal aga rõhk juba on 2 200 atm. Sellest rõhust peale muutub vesi nagu teissuguseks, liitaineks, sest nüüd hakkab rõhu edasikõrgendamisega sulamistemperatuur tõusma, nagu teist jagu ainete juures, kus kohe harilikust rõhust peale sulamistemperatuur rõhu kasvamisega tõuseb. See olgu ainsaks näiteks selles suhtes, kuidas meil tõepoolest aine aggregaat-olekute peale tuleb vaadata. Meie vaatleme ainet enamasti oma 1 atmosfääri rõhu juures ja ütleme, et ta sulab 0° , 200° , 2000° jne. temperatuuri puhul.

Aga miljonid atmosfäärid rõhku tulevad looduses seespool meie maakera ette. Nii võib oletada, et säärase suurte rõhkude juures aine olek tingimata on kindla keha sarnane, kus isegi veel oleks mõeldav kõrge temperatuur, mille juures harilikkude rõhkude all aine ette tuleks gaasilises olekus. Maakera kindlat sisemist olekut tõendavad kõik seismilised vaatlused ja mõõtmised maakera täiskogu kuju muutumise kohta päeva ja kuu mõju all.

Siit näeme, kui võimetud sagedasti on meie kunstlikud abinõud meie aineoleku uurimise suhtes. Elekter võimaldab meile ometigi temperatuuri muutmiseks kuni 6000° C edasi saada, aga suurte rõhkude saavutamine on seotud ülepääsmata raskustega.

1) end üleval pidavat.

A
A-15247
V

