

JAAN PAAVER

MIKRO- JA MEGAMAAILMA FÜÜSIKA

**FÜÜSIKA ÕPIK
GÜMNAASIUMILE**

Õpik vastab gümnaasiumi riiklikule õppekavale.

Jaan Paaver.

Mikro- ja megamaailma füüsika

Veebiõpik <http://õpik.füüsika.ee>

Retsenseerinud: Henn Voolaid, Katrin Laas

Keeletoimetajad: Piret Pöldver, Maarja Valk

Tehniline toimetaja: Lauri Kaldamäe

Pildid joonistas: Urmas Nemvalts

Arvutigraafika: Nils Austa

Küljendaja: Atko Remmel

Toimetaja: Kaido Reivelt

Illustratsioonid: Nils Austa, Urmas Nemvalts, Jaan Paaver,
<http://images.nationalgeographic.com>, [wikipedia commons](http://wikipedia.com),
<http://www.universaltimer.com>, <http://m.njit.edu>, <http://www.aip.org>,
<http://pixanews.com>, <http://gallery.icecube.wisc.edu>, <http://www.eurastro.de>,
<http://www.scientificonline.com>, <http://www.muuseum.ut.ee>, <http://javed22.blogspot.com>,
<http://www.sevengrainsofsand.com>, <http://astro.wsu.edu>, <http://astro.unl.edu>,
<http://pachamamatrust.org>, <http://antidot2012.blogspot.com>,
<http://people.highline.edu>, <http://s2.hubimg.com>, <http://www.wired.com>,
<http://star.arm.ac.uk>, <http://map.gsfc.nasa.gov>, <http://www.buzzle.com>,
<http://i.dailymail.co.uk>, <http://www.nobelprize.org>, <http://www.fyysika.ee>

ISBN: 978-9949-9539-1-2

© Kirjastus Maurus, Eesti Füüsika Selts ja Jaan Paaver, 2014

www.kirjastusmaurus.ee

Kõik õigused käesolevale väljaandele on seadusega kaitstud. Ilma autoriõiguse omaniku kirjaliku loata pole lubatud ühtki selle väljaande osa paljundada ei mehaaniliselt ega muul viisil.

SISUKORD

1. AINE EHITUSE ALUSED

1.1. Molekulid. Tahkis	6
1.2. Gaas ja vedelik	12
1.3. Õhuniiskus	17
1.4. Kastepunkt. Ilm ja kliima	20
1.5. Ilmaennustus	23
1.6. Hügromeeter	25
1.7. Pindpinevus	28
1.8. Tilk ja mull	32
1.9. Faasidiagramm	36

2. MIKROMAAILMA FÜÜSIKA

2.1. Aatom	44
2.2. Kvantmehaanika	49
2.3. Elektronide difraktsioon	57
2.4. Määramatusseos	63
2.5. Aatomituum	66
2.6. Tuumareaktsioon	71
2.7. Tuumarelv	75
2.8. Tuumaenergeetika	82
2.9. Radioaktiivsus ja kiirgus	92

3. MEGAMAAILMA FÜÜSIKA

3.1. Astronoomia	108
3.2. Taevas	112
3.3. Tähtkujud taevakaartidel	114
3.4. Taevamehaanikast	117
3.5. Kalender ja kell	119
3.6. Päikesesüsteem	121
3.7. Päikesesüsteemi väikekehad	126

3.8. Kosmoselennud ja -uuringud	129
3.9. Päike ja teised tähed	133
3.10. Galaktikad ja Universum	136

LISAD

Valemid	145
Konstandid	146
Aineloend	147

AINE

1

AINE E HITUSE ALUSED

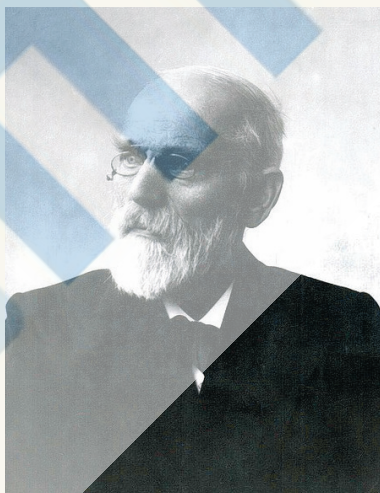
A ntoine Lavoisier tegi 1772. aastal hirmkalli eksperimen-
di. Ta koondas päikesekiired hapniku keskkonda pai-
gutatud teemandile ja põletas selle ära. Selle reaktsiooni
ainsaks saaduseks oli süsihappegaas. 18. sajandi lõpuaas-
tateks oli katset nii palju korratud ja täiustatud, et Smithson
Tennant võis teatada tavalise söe ja teemandi keemilisest
samasusest. Põlemisel andsid võrdse söe, tahma, grafiidi
ja teemandi kogused võrdse mahu süsihappegaasi. Vaadates
või katsudes korraga briljanti ja söetükki, tundus nende kee-
milise identsuse idee äärmiselt kahtlane. Ometi leppisid teadlased
pikapeale tõsiasjaga, et teemant ei sisalda lisaks süsinikule mingeid tundmatuid ele-
mente. Sellega oli lahti tee kunstteemantide tootmiseks. Kohe selle kallale asutigi ja
vähem kui saja aasta pärast andsid esimesed leiutajad teda, et grafiiti on võimalik
muuta teemandiks mitmel erineval moel. Kahjuks korduskatsed ei õnnestunud ja te-
histeemantide tegeliku tootmiseni kulus veel aastakümneid. Lisaks teemantide toot-
mise tehnoloogiale kuuluvad 20. sajandi saavutuste hulka süsiniku teisendid, mille
olemasolust ja tootmise võimalusest ei osatud unistadagi: fullereenid, süsiniknanoto-
rud, grafeen jt. Millised on need aine ehituse saladused, mis tuli teadlastel lahendada,
enne kui teemandikaevandamise kõrvale tekkis teemanditootmine ja süsinikmater-
jalide nanotehnoloogia?



1.1. Molekulid. Tahkis

Aine kolm olekut – tahke, vedel ja gaasiline – on tuttavad meile kõigile. Kuumutamisel muutuvad tahked ained vedelaks, edasisel kuumutamisel lähevad keema ja aurustuvad. Üldiselt see nii ongi, aga isegi igapäevaste loodusnähtuste jälgimisel võib märgata teatud kõrvalekaldumist sellest lihtsast reeglist. Vesi, lihtne, aga väga eriline aine, käitub selles mõttes väga viisakalt. Tavapärasel temperatuuridel esineb vesi tõesti kolmes olekus. Temperatuuri tõusu järjekorras: jää, vesi ja veeaur. Jääd ja vedelat vett teame kõik hästi, auruga on veidi keerulisem. Kuna veeaur on nähtamatu, st vaatlemisel õhuga täiesti sarnane, siis me kipume aurustumisega kaasnevat udu (väikeseid veepiisku) tihti veeauruks nimetama. See pole küll terminoloogiliselt ega sisuliselt õige, aga „kus udu, seal auru”, nii et teatud seos on siin olemas. Üks kõrvalekalle lihtsast kolme oleku mudelist on see, et vesi aurustub ka ilma keemiseta. Kui veeklaas lauale jätta, on see olenevalt tingimustest mõne päeva või mõne nädalaga tühi. Vähe sellest, jää võib ka ilma vedelaks muutumata „ära aurata”. Kui märg pesu talvekülma nööriks riputada, siis kuivab see tuule käes ära vaatamata sellele, et algul kõvaks külmub. Seda nähtust nimetatakse **sublimeerumiseks**. Jääkristallide sublimeerumine ei ole küll nii igapäevane nähtus kui vedela vee aurustumine, aga hea tahtmise juures täiesti märgatav ja mõõdetav. Paistab, et isegi lihtsate ainete korral tekib küsimusi. Kes on näinud vedelat süsihappegaasi või gaasilist süsinikku? Miks on ainete sulamis- ja keemistemperatuurid nii erinevad?

Aine oleku ja ülemineku ühest olekust teise määravad suures osas molekulaarjõud. Nagu me teame, hoiavad aatomeid molekulides **keemilised sidemed**. Aatomitevaheliste sidemete pikkused ja nendevahelised nurgad molekulis panevad olulises osas paika aine keemilised ja füüsikalised omadused. Keemilised sidemed, mida põhjustab laetud osakeste vaheline elektromagnetiline vastastikmõju, on üsna tugevad. Lisaks toimib aatomite ja molekulide vahel veel teisi, palju nõrgemaid jõude.



Hollandi füüsikateoreetiku, Amsterdami ülikooli esimese füüsikaprofessori **Johannes Diderik van der Waalsi** (1837-1923) põhihuvi oli suunatud termodünaamikale. Tema nime kannavad peale jõudude veel reaalgaase kirjeldav van der Waalsi võrrand (Nobeli preemia 1910), mitmest molekulist koosnevad, molekulidevaheliste jõududega seotud van der Waalsi molekulid ja aatomite mõõtmeid kirjeldavad van der Waalsi raadiused. Eraldi väärib mainimist tema kapillaarsuse (ptk 1.7.) termodünaamiline teooria 1893. aastast, mis tekitas vaidlusi, sest molekulide ja soojusliikumise olemasolu ei olnud selleks ajaks veel üldiselt tunnustatud.

Van der Waalsi jõud ja vesinikside

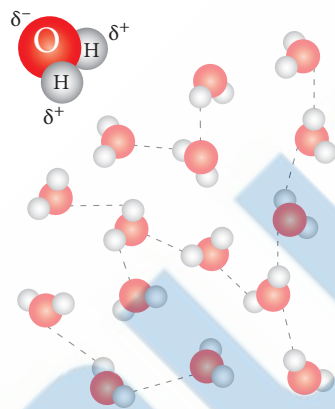
Molekulid kipuvad omavahel tõmbuma, kui nad üksteisele piisavalt lähedale satuvad. Tõmbumise põhjuseks on molekulide **polaarsus**. Aatomid on küll tervikuna elektriliselt neutraalsed, aga molekuli moodustades ei jaga nad elektrone ühtlaselt. Seepärast on paljud molekulid polaarsed, ühest kohast positiivse, teisest negatiivse laenguga (joonis 1.1.1.). Isegi molekulides, kus laengud on jagatud ühtlaselt, võivad elektronid ajutiselt ümber paikneda. Sellest tekib molekulide **ajutine polariseerumine**. Sama molekuli erinevate aatomite juures indutseeruvad erinimelised laengud, mille kaudu molekulid üksteist mõjutavad. Neid molekulidevahelisi, suhteliselt nõrku mõjusid nimetatakse **van der Waalsi jõududeks**.

Vesinikside. Ühendites, kus vesinik on seotud hapniku, lämmastiku või fluoriga (rühmad -OH, -NH ja -FH), on vesinikul positiivne osalaeng ja sideme teisel poolel negatiivne osalaeng. Selliste molekulide vesinikule kontsentreerunud positiivne laeng moodustab täiendavaid sidemeid teiste molekulide negatiivselt laetud aatomitega. Neid sidemeid kutsutakse vesiniksidemeteks. Vesiniksidemed võivad tekkida molekulide vahel. Näiteks moodustavad

vee molekulid omavahel palju vesiniksidemeid, mis ongi suures osas vee väga eriliste omaduste põhjuseks. Vesiniksidemed võivad tekkida ka suurte molekulide sees, hoides biomolekule vajalikul viisil kokkupakituna. Vesiniksidemed on piisavalt tugevad, et molekulid üksteisega seotuna hoida, samas piisavalt nõrgad, et elukeskkonna tavapärastel temperatuuridel katkeda. Sel moel on vesiniksidemed bionähtustes väga olulised. Vesiniksidet võib vaadelda kui teatud vahepealset nähtust molekulaarjõudude ja keemilise sideme vahel.

Faasid

Aine kogust (üht tükki ainet), mis on kogu tervikuna samade füüsikaliste omadustega, nimetatakse faasiks. Vaatleme näiteks klaasitäit vett jääkuubikutega. Kuigi jää ja vesi on keemiliselt sama aine, on nende füüsikalised omadused ilmselt erinevad. Jää ja vesi on omakorda klaasis. Jääkuubikutega vees on: A) jääkuubikud, tahke faas; B) vesi, vedel faas, C) klaas, teine tahke faas, D) kui see kõik asub õhus, tuleb juurde veel gaasiline faas. Kõikide faaside vahel on piirpinnad, kus õhukeses kihis toimuvad pinnanähtused. Selge, et vee ja jää pinnakihi toimub sulamine, vee ja õhu piirpinnal aurustumine. Samas võib jää ja vee piirpinnal toimuda hoopis tahkumine, kui temperatuur on piisavalt madal. Vee ja õhu piirpinnal võib toimuda lisaks aurustumisele ka



Joonis 1.1.1. Vee molekuli kuju (O-H sidemete vaheline nurk 104°) tingib molekuli polaarsuse. Piltlikult võiks öelda, et elektronid hoiavad rohkem hapniku kui vesiniku poole. Tervikuna neutraalses aatomis on seepärast vesinikud positiivse (δ^+) ja hapnik negatiivse osalaenguga (δ^-). Nende erinimeliste piirkondade vahelise tõmbumise tõttu moodustuvad vesiniksidemed (tähistatud kriipsjoonega). Vedelas vees ei ole vesiniksidemed kuigi püsivad, nad katkevad pidevalt ja tekivad uued. Osa molekulid, igal ajahetkel erinevad, on sel moel omavahel seotud.

kondenseerumine ja gaaside lahustumine. Ka klaasi ja vee või klaasi ja õhu piirpinnal toimuvad teatud nähtused. Näiteks lahustuvad mõned klaasi komponendid vähesel määral vees. Kui vesi ei ole päris puhas, adsorbeeruvad lahustunud ained klaasile.

Kõigis neis näidetes on faasidevaheline piirpind ühtlasi erinevas olekus ainete piirpinnaks. Kuid esineb ka seda, et erinevad faasid moodustuvad samast ainest samas olekus. Kõige tuntum mitme tahke faasiga aine on süsinik, seda eelkõige tänu oma kahe loodusliku teisendi, grafiidi ja teemandi täiesti erinevatele füüsikalistele omadustele (ptk 1.9.). Veelgi lisavad süsinikule kuulsust kunstlikult loodud teisendid (uued faasid), fullereen, grafeen jt.

Tahkete faaside eripära on kuju. Tahked kehad avaldavad vastupanu deformatsioonile, vedelikud ja gaasid seda ei tee. Samas on vedelatel ja tahketel faasidel ka ühiseid omadusi, näiteks kindel ruumala, mida ei ole jälle gaasidel. Seepärast kannavad tahked ja vedelad faasid ühist nimetust, **kondensaine**. Gaaside ja vedelike ühine omadus, kindla kuju puudumine, tingib nende voolavuse. Seepärast on nende ühine nimetus **voolis**. Esineb ained ja ainete segusid, kus selline lihtne sildistamine ei tööta kuigi hästi. Näiteks väga viskoossed vedelikud ja puisteained kipuvad tihti käituma kuidagi vahepealselt.

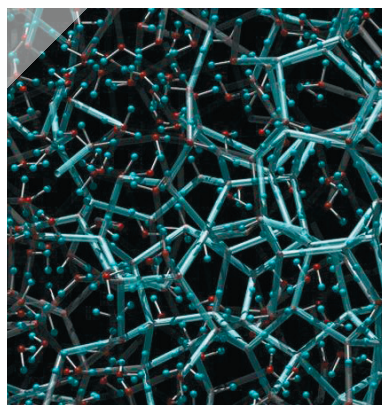
Aatomid, keemilised sidemed ja molekulide struktuur määravad ainete omadusi. Samas on paljud nähtused ja protsessid, mis ainetega toimuvad (olekute muutused, lahustumine, osmoos, pindpinevus), juhitud molekulaarjõududest. Molekulaarnähtuse hulgas on erilisel kohal see, mis toimub faaside piirpinnal, aine või faasi pinnakihi. Tuntuimad pinnanähtused on märgamine ja kapillaarsus, mis seostuvad vee ja teiste vedelike pinnakihi erilise omaduse, pindpinevusega (ptk 1.7.).

Mainime veel, et sõnal „faas“ on muidki tähendusi. Võnkumiste ja lainete, ka elektromagnetlainete, kirjeldamisel, astronoomias, meditsiinis, bioloogias ja materjalide töötlemisel on „faasil“ hoopis teised tähendused.

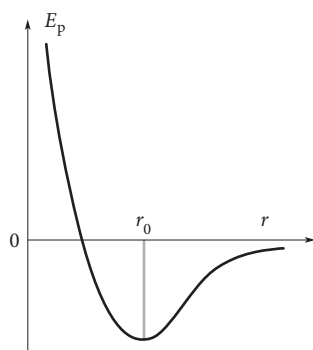
Sulamine ja tahkumine

Esmapilgul tundub sulamine olevat lihtne nähtus. Vaatame, kuidas jääkuubikud vees sulavad. Jää sulamistemperatuur ja vee tahkumistemperatuur (jäätumistemperatuur) on 0°C. Samuti on jäätükidega vee temperatuur null kraadi. Igapäevaselt tähendab see, et kui nullkraadine jäätükkidega vee-klaas jätta lauale tasapisi soojenema, siis nii kaua, kuni jääd veel on, ei lähe jäätükkide vahel olev vesi soojemaks. Soojushulk, mis soojast toaõhust vette ja jõesse üle kandub, kulub jää sulatamiseks, mitte vee soojendamiseks.

Tahkes olekus (näiteks kristallides) on molekulide (aatomite, ionide) asukohad üksteise suhtes määratud keemiliste sidemete pikkuste ja sideme-



Joonis 1.1.2. Molekule koos hoidvaid keemilisi sidemeid oleme harjunud kujutama jääkade pulgakestena. Selline lihtsustus on põhjendatud, sest annab aine struktuurist päris hea ettekujutuse, kuigi tegelikult sellist pilti (pulgadega ühendatud kerakesed) me kuidagi näha ei saa. See on ainult meie kujutus molekulide maailmast.



Joonis 1.1.3. Aatomitevahelise seose potentsiaalse energia sõltuvus aatomitevahelisest kaugusest. Sideme pikkuse ehk aatomitevahelise kauguse tahkises (r_0) määrab ära potentsiaalse energia (E_p) kõvera miinimum. Mõnikord armastavad füüsikud öelda, et aatomid „istuvad potentsiaaliaugus“. Ometi ei istu nad seal paigal, vaid püüavad soojusliikumise kineetilise energia arvel potentsiaaliaugust välja pääseda. Kõrgemal temperatuuril, st energilisema soojusliikumise korral see juhtubki. Molekulid lahkuvad kristallvõrest, tahkis sulab. Kui molekulid üksteisest päris vabaks pääsevad, oleme saanud gaasilise faasi. Vedela faasi tekkimisel jäävad molekulid keemilise sidemega veidi sarnasesse, aga palju nõrgemasse molekulaarjõudude lõksu.

te asenditega. Öeldakse, et selline tahkis on atomaarselt korrastatud struktuuriga. Samas on molekulidele iseloomulik pidev, korrapäratu, kaootiline, juhusliku loomuga liikumine, mida nimetatakse **soojusliikumiseks**. Nii ei ole ka tahkes olekus molekulid omal kohal päris paigal. Piltlikult võib seda kujutada kui aatomite juhuslikku rabelemist talle määratud koha ümber. Molekule ja kristallvõret joonistades või vastavaid mudeleid kokku pannes kujutatakse aatomeid ainult lihtsuse mõttes paigalseisvate kerakestena. Aatomitevahelise kauguse määrab siin ära potentsiaalse energia miinimumi printsiip. Aatomid asuvad üksteisest keskmiselt sellisel kaugusel, kus neil on „kasulik“ olla, kus nendevahelise seose energia on kõige väiksem (joonis 1.1.3).

Igapäeaelukogemustest on hästi teada, et sulatamiseks on vaja energiat kulutada, st ainet on vaja soojendada. Energia jäävuse seadus ütleb, et ainete tahkumisel peab sama suur kogus energiat eralduma. Näiteks 1 kg alumiiniumi sulatamisel tuleb kõigi aatomite potentsiaaliaugust (joonis 1.1.3.) väljatoomiseks teha kokku 321 kJ tööd. Seda kokkulepitut ainekoguse (ühikulise massi) sulatamiseks kuluvat soojushulka nimetatakse **sulamissoojuseks**. Kui sulaalumiinium vormi valatakse ja tahkuda lastakse, siis lähevad aatomid jälle oma minimaalse energiaga kohtadele tagasi (kaugus üksteisest r_0) ja sulatamiseks kulutatud soojushulk eraldub. Tahkumisel eralduvat soojust on võrreldes sulamiseks kuluvaga raskem märgata. Tundub üsna loogiline küsida, kas tõesti kinnikülmuv järv soojendab jääkristallide moodustumisel vabaneva energia arvel iseennast ja ilma. Kuigi see võib intuiitiivselt paista veidi kahtlane, siis just nii see ongi. Veekogud saavad külmuda ainult siis, kui õhk on piisavalt külm, et tahkumisel eralduv soojushulk vastu võtta ja ära kanda.

Selline sulamist kirjeldav molekulaarmudel on õige mitmetel lihtsatel juhtudel, aga tegelikult on palju aineid ja suur hulk nähtusi, kus sulamise ja tahkumise kirjeldamine on hoopis keerulisem.

Näiteid pole vaja kaugelt otsida. Mitmed ained esinevad ainult gaasi ja tahkisena. Süsihappegaas, nagu nimetuski ütleb, on tuntud enamasti gaasina. Tahket süsihappegaasi on võimalik valmistada nii süsihappelume kui kuiva jääna, aga vaevalt on keegi näinud



vedelat süsihappegaasi. Kuiv jää normaalrõhul ei sula, vaid muutub gaasiliseks ilma vahepealse vedela olekuta ehk sublimeerub (ptk 1.9.).

Segude (näiteks sulamite) sulamisel ja eriti tahkumisel sõltub palju komponentide vahekorra ja temperatuurimuutuse kiirusest. Metallide tehnoloogias on teadmised neist protsessidest väga olulised. Näitena meenutame, kuidas muudab raua tahkumist ja saadud materjali omadusi mõneprotsendiline süsinikusisaldus (teras, malm) või jahtumisrežiim (karastamine).

Kuigi üldiselt on sulamis- ja tahkumistemperatuur võrdsed, on võimalik ka vedelike allajahtumine. Näiteks puhta vee temperatuur võib langeda alla null kraadi, ilma et jääkristallid tekiksid. Paistab, et jäätumine ei „suuda otsustada”, kuhu tekib esimene kristallike. Sellise vedeliku paneb kiiresti tahkuma vähimgi häirimine, nt loksutamine või lisandid. Samamoodi võib aur alla jahtuda. See juhtub tihti veeauruga atmosfääris ja on oluline nähtus pilvede tekkimisel (ptk 1.4.).

Amorfsed ained

Kristalsetel ainetel on olemas kindel sulamistemperatuur. Aga on olemas hulk **amorfseid aineid**, mis muutuvad vedelikuks teatud temperatuurivahemikus ja ka

nende tahkumine ei sarnane sugugi vee jäätumisega. Näidetena väärivad eelkõige nimetamist pigi, vaha, termoplastilised polümeerid ja klaas.

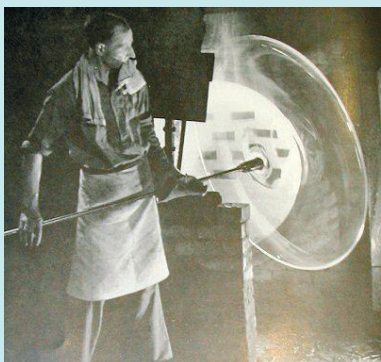
Klaas on nende hulgas nii eriline ja oluline, et sellele sarnaseid, molekulaarstruktuurilt korrastamata ja seepärast ka täpse sulamistemperatuurita aineid nimetatakse tihti **klaasideks**. Kuumutamisel muutuvad klaasid algul pehmeks ja temperatuuri tõusuga viskoossus väheneb, kuni saabub üsna tavalise vedeliku sarnane olek. Seepärast võib öelda, et klaasidel sulamistemperatuuri ei ole.

Tuleb siiski märkida, et on mitmeid omadusi (soojuspaisumine, erisoojus), mis klaasi sulatamisel muutuvad palju järsemalt kui viskoossus. Temperatuuri, mille juures mingi füüsikaline omadus järsult muutub, nimetatakse **siirdetemperatuuriks**.

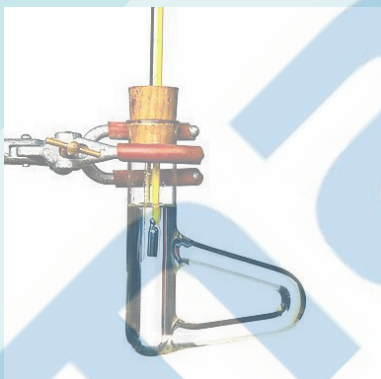
Olek ei pea siirdetemperatuuril järsult muutuma. Nagu me kõik klaasi näite vabal teame, on amorfsed materjalid siirdetemperatuurist oluliselt madalamal temperatuuril vägagi kristalsete ainete sarnased. Külma ilmaga võib pigi haamriga kildudeks lüüa, kuigi kuumal suvepäeval kipub ta laiali valguma. Mitmed igapäevastel temperatuuridel elastsed või plastilised ained muutuvad külma käes ootamatult hapraks. Näiteid võib leida nii igapäevaelust kui kosmosetehnikast.



Klaas — tahke või vedel? Klaasi amorfsete omaduste tõestuseks kirjeldatakse tihti väga vanade aknaklaaside alumise serva paksemaks vajumist. Kuna klaasil on omadusi, mis lubavad teda pidada mitte kristalseks aineks, vaid väga suure viskoossusega vedelikuks, siis sadade aastatega võiksid aknaklaasid tasapisi allapoole voolata ja alt paksemaks muutuda. Tegelikult ei ole selle nähtuse esinemise kohta selgeid tõendeid. Vanad aknaklaasid on tõepoolest enamasti alt paksemad. Samas ei ole kusagil märgatud raamidest väljavajumist ja muid nähtusi, mis peaksid ilmnema viskoosse vedeliku valgumisel. Miks on siis



Joonis 1.1.4. Kroonklaasi valmistamine. Peaaegu vedelast klaasist puhutud pudeli põhi on lahti lõigatud ja kiire pöörlemise tulemusel venib ikka veel poolpehme klaas üha suuremaks, tasasemaks ja õhemaks kettaks. Tehnoloogia ja klaasisordi nimi tulevad sellest, et pudelist siledaks kettaks venimisel on toorik vahepeal kroonikujuline. Saadud ketas lõigatakse pärast ettevaatlikku jahutamist tahvliteks.



Joonis 1.1.5. Lihtne sulamistemperatuuri määramise seade. Elavhõbetermomeetri reservuaari külge on kinnitatud peenikeses klaasist torukeses ($d \approx 1$ mm) peenestatud aine. Termomeeter on pannakse õliga täidetud anumasse, Thiele katseklaasi, mida gaasipõletiga aeglaselt kuumutatakse. Sulamistemperatuuri vaadatakse hetkel, kui aineproov muutub läbipaistvaks, st vedelaks.

keskaegsed kirikuakende klaasid alumisest servast paksemad?

Erinevad klaasisordid on erineva keemilise koostisega ja nende füüsikalised omadused on erinevad. Klaasi pehmenemise temperatuurivahemik on sorditi erinev. Kuumuskindlad sordid ja optiline klaas on selles mõttes sarnasemad kristallidega, akna- ja pudeliklaas käitub laiemas temperatuurivahemikus viskoosse vedelikuna. Tootmise ja klaasikunsti, eriti klaasipuhumise jaoks on see omadus oluline. Näiteks kroonklaasi meetodi etappideks olid suure anuma puhumine, lahtilõikamine ja selle klaaskettaks vormimine (joonis 1.1.4.). Seejuures on hea, kui klaas püsib laiemas temperatuurivahemikus pehme ja vormitav. Saadakse üsna suured klaaskettad, mis on paratamatult keskelt paksemad kui servast. Nende tahvlikeks lõikamisel saadud aknaklaasi üks serv või nurk jääb paksem. Tuleb tunnistada, et me ei tea, miks ehitajad paigaldasid klaasi alati või vähemalt valdavalt paksema servaga allapoole, aga on üsna selge, et just nii nad tegid. Ka kõigis muudes kohtades peale akende, kus vana klaasi on leitud, ei ole märgata voolamisega sarnanevat deformatsiooni. Näiteks maa seest või varemete alt välja kaevatud klaasesemed ei ole sajanditega kuidagi pinna- se või kivide survele järgi andnud. Klaas on igapäevase õhutemperatuuri juures ikkagi lihtsalt tahke aine.

Sulamistemperatuuri määramine. Sulamistemperatuuri määramiseks on mõistlik võtta võimalikult väike ainekogus (peenikeses torus, õhukese kihina) ja lasta temperatuuril aeglaselt tõusta, jälgides samal ajal ümbritseva keskkonna temperatuuri. Sulamise hetke on kerge märgata, muutus on selgelt näha. Samuti on võimalik mitmesuguste anduritega registreerida aine optiliste või soojuslike omaduste muutust sulamise hetkel ja salvestada samal hetkel temperatuurinäit.

Kokkuvõtteks

Aine olekud ja olekumuutused on määratud keemiliste sidemete ja molekulaarjõudude iseloomuga.

Sulamissoojus on ühikulise ainekoguse sulamistemperatuuril sulatamiseks kuluv soojushulk. Sama ainekoguse tahkumisel eraldub seesama soojushulk.

Ainekogust, mis on tervikuna ühesuguste füüsikaliste ja keemiliste omadustega, nimetatakse faasiks. Aine erinevad olekud on erinevad faasid. Erinevad faasid on ka

ühes süsteemis olevad erinevad ained, kui nad ei segune. Ühe aine erinevate omadustega teisendid on samuti eri faasid. Kui ained täielikult segunevad või lahustuvad, on saadud segu üks faas.

ÜLESANDED

- 1) Jääkuubikud tekivad külmkapis. Kirjelda võimalikult täpselt, mis toimub vee molekulidega ja millised energia muundumised ühest liigist teise seejuures aset leiavad?
- 2) Tüki vaha või küünlajupi saab kuumas vees üles sulatada. Koosta eksperimendi plaan vaha või mõne muu kergesti sulava aine sulamissoojuse määramiseks.

1.2. Gaas ja vedelik

Kõik me oleme kunagi oodanud, et vesi kannus keema läheks. Teame, et temperatuuri tõusuga kaasneb kõigepealt kiirem aurustumine, molekulid hakkavad veepinnalt üha rohkem lahkuma. Muidugi aurustub veidike ka külm vesi – kuna molekulide soojusliikumise kiirused on erinevad, siis leidub alati osakesi, millel on juhuslikult piisavalt liikumisenergiat, et pinnakihist välja pääseda. Vee all, pinnast kaugemal võib samuti olla lahkumiseks piisavalt kiireid molekule. Kui neid on vähe, siis nad välja ei pääse, sest kaotavad aeglaseimate molekulidega pörkudes kiiruse.

Aurustumisel pöördub osa molekule pidevalt õhust vette tagasi. Selle tulemusena on veepinna kohal õhk püsivalt niiske, st sisaldab veidi veeauru (ptk 1.3.). Temperatuuri tõusuga saavad vee molekulid hoogu juurde ja hakkavad üha enam veepinnalt lahkuma. Kuid see pole veel keemine. Keemistemperatuuril on kiireid molekule juba nii palju, et intensiivne aurustumine algab kogu vedelikus, mitte ainult pinnal. Tekivad aurumullid, mis kiiresti pinnale tõusevad, vesi on keema läinud. Kuni vett kannus veel on, temperatuur ei tõuse, selles mõttes on keemine sarnane sulamisega (ptk 1.1). Mõnikord, kui puhast vett



Joonis 1.2.1. Mikrolaineahjus kuumutatud vesi võib terves mahus korraga keema minna, kui seda loksutada või sinna midagi sisse puistata. Kogu nõus tekib palju aurumulle ja keev vedelik pritsib laiali, mis võib olla üsna ohtlik.

kuumutatakse väga ühtlaselt, ilma segamata (näiteks mikrolaineahjus), võib temperatuur tõusta veidi üle keemistemperatuuri ilma aurumullide tekkimiseta. Kui sellist ülekuumutatud vedelikku veidi liigutada, algab keemine väga äkki. Pliidil ülekuumutatud vett teha ei saa, sest alt soojendamine põhjustab konveksiooni, mis segab vett pidevalt, ja mullid hakkavad tasapisi tekkima nõu kuumal põhjal.

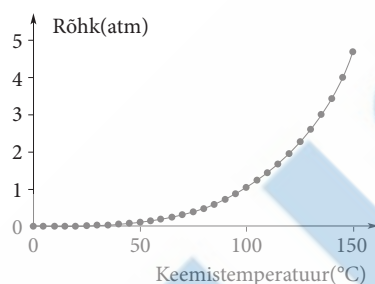
Vee keemistemperatuur valiti juba väga ammu



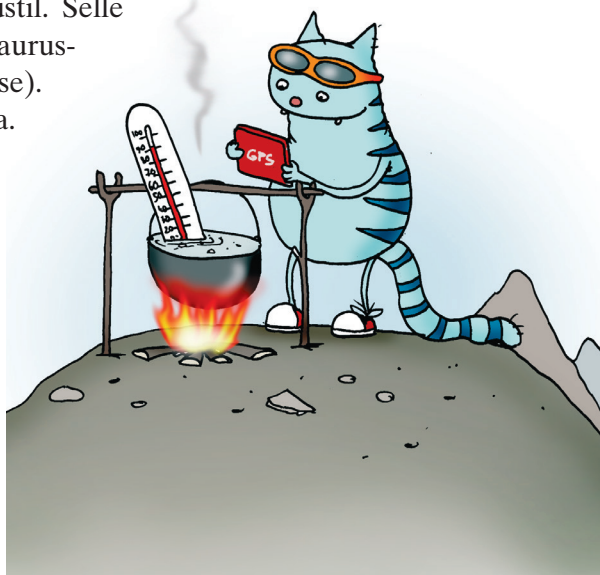
meie igapäevaselt kasutatava praktilise temperatuuriskaala (Celsiuse skaala) üheks aluseks, kindlaks punktiks. Arvatavasti just seepärast teavad kõik, et vesi keeb 100°C juures. Tegelikult sõltub vee keemistemperatuur üsna palju välisrõhust. Keemisel tekivad mullid saavad „ennast täis puhuda” ainult siis, kui aururõhk ületab välisrõhu. Teekannus on väliseks veele mõjuvaks rõhuks õhurõhk. See on küll veidi muutuv, aga igapäevasel teeketmisel ei pruugi keemistemperatuuri muutuse pärast muretseda. Mägedes, kus õhurõhk on oluliselt väiksem, tuleb toiduvalmistamisel arvestada, et vesi keeb madalamal temperatuuril. 6000-meetristele mägedele tõustes peavad alpinistid laagris toitu valmistades arvestama umbes 80°C juures keeva veega. Tõsiasi, et puhta vee keemistemperatuur lahtises anumal on otseselt seotud õhurõhuga ning selle kaudu ka päris rahuldavalt kõrgusega merepinnast (ja ka sügavusega allpool merepinda), kasutasid vanasti maadeavastajad ja loodusuurijad kõrguse määramiseks.

Keemistemperatuur. Siiani on jutuks olnud ainult vee keemine. Sobivatel tingimustel keevad ja moodustavad seejuures auru kõik ained, kui nad just kuumutamisel ei lagune. Keemistemperatuur ja selle sõltuvus rõhust on aine olulised füüsikalised omadused. Keemistemperatuuri atmosfäärirõhul on lihtne määrata. Seda muidugi juhul, kui aine üldse atmosfäärirõhul vedelas olekus esineb (ptk 1.9.). Kui vedelik keeb, st aurumullid tekivad ühtlaselt kogu nõus ja termomeeter näitab püsivalt ühte temperatuuri, siis ongi tegemist keemistemperatuuriga. Sulamistemperatuuri määramine on selles mõttes keerulisem, et alati peab kasutama hästi väikest ainekogust (ptk 1.1.).

Segude ja lahuste keemisel on olukord keerulisem. Lahuste keemistemperatuur on kõrgem kui puhtal lahustil. Selle põhjuseks on, et paljud lahustunud ained ei osale aurustumisel, ei lähe üle gaasilisse faasi (aurumullidesse). Lendumatu lahustunud aine aururõhku ei tekita. Keemiseks vajaliku välisrõhuga võrdse aururõhu saavutamiseks tuleb lahust kuumutada veidi kõrgemale temperatuurile. Lahuste keemistemperatuuri erinevus lahustite omast on huvitav nähtus. On selgunud, et keemistemperatuuri muutus sõltub ainult lahustunud osakeste kontsentratsioonist. Ei ole oluline, milline aine on lahustunud ja kas osakesed on ioonid, aatomid või molekulid.



Joonis 1.2.2. Keedunõus kaitseventiiliga kõrgendatud rõhku hoides on võimalik keeta vett kõrgemal temperatuuril kui 100°C . Survemahutis (autoklaavis) kaheatmosfäärilise rõhu all keeb vesi umbes 120°C juures. Sellist kõrgel rõhul ja temperatuuril keetmist kasutatakse steriliseerimiseks ja materjalide töötlemiseks.



Kas keeta makarone soolases või magedas vees? Leidub päris palju kokandusnõuandeid, kus soovitatakse kindlasti lisada soola keeduvee, mitte hiljem valmistoidule. Väidetavalt tõstab soola lisamine keemistemperatuuri nii palju, et makaronid keevad kiiremini pehmeks. Jätame maitse-eelistused kõrvale ja küsime, kas keemistemperatuuri tõusust võib oodatud kasu olla?

Lahuste keemistemperatuuri tõus (ΔT) sõltub lahuse molaalsusest (m), lahusti omadusi kirjeldavast ebullioskoopilisest konstandist (K_b) ja isotoonilisest kordajast (i).

$$\Delta T = K_b m i$$

Kui keeduveele lisada ühe liitri kohta 2 teelusikatäit soola (12 g), siis on saadud lahuse molaalsus 0,2 mol/kg. Vee ebullioskoopiline konstant on 0,512 K·kg·mol⁻¹. Isotooniline kordaja kirjeldab aine lahustumisel tekkivate ionide arvu, keedusoola korral $i = 2$.

$$\Delta T = 0,5 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}} 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{kg}} 2 = 0,2 \text{K} = 0,2^\circ\text{C}$$

Soola lisamisest saadav keemistemperatuuri tõus on tühine, toidu valmistamise kiirust see ei mõjuta. Samas on muidugi võimalik, et mingid muud kaalutlused, maitse-eelistused, traditsioonid vms põhjendavad keedusoola koguse ja lisamise aja.

Lahustunud aineks on siin keedusool, mille sulamistemperatuur on 801°C ja keemistemperatuur 1413°C. Kuna vesi ja ka soolvesi keevad palju madalamal temperatuuril, kui keedusool sulab, siis võib öelda, et lahustatud on tahke aine. Täpsemalt, lahustunud aine oleks lahuse keemise temperatuuril tahke. See ei pruugi alati nii olla, näiteks vedelikud võivad lahustuda üksteises ja gaasid võivad lahustuda vedelikes. Isegi tahkes aines võib lahustuda gaas või vedelik.

Vedelikud, gaasid ja aur

Mõned vedelikud segunevad suvalistes vahekorades, näiteks vesi ja etanool. Teised ained moodustavad ühte nõusse valamisel selge piirpinna, näiteks vesi ja bensiin. Täpsemalt uurides selgub siiski, et piirpinnaga eraldatud vedelikud on mõlemad lahused. Bensiini ja vee näites on pealmises kihis bensiin, milles on lahustunud veidi vett ja allpool vesi, milles natuke bensiini. Kui segus on mitu piisavalt erinevat temperatuuril keevat vedelikku, võib nende eraldamiseks või puhastamiseks üritada madalaima keemistemperatuuriga aine välja keeta. Seda meetodit nimetatakse **destilleerimiseks**. Lahustunud gaasid lahkuvad vedelikust muidugi ammu enne keemistemperatuurini jõudmist. Destillatsioon on oluline keemiatööstuse protsess ja just seepärast palju uuritud, teoreetiliselt ja tehnoloogiliselt hästi läbitöötatud. Vaatamata sellele peab ütlema, et vedelike eraldumine keemisel pole kõigis variantides sugugi lihtne nähtus.

Oleme kasutanud segamini mõisteid aur ja gaas. Tegelikult on muidugi iga gaas millegi aur. Näiteks väga madalal temperatuuril ja kõrgel rõhul gaasid veelduvad. Tavatingimustel veeldatud gaasid keevad. Lämmastik on meie atmosfääri põhigaas,



teda on õhus kõige rohkem ja me räägime lämmastikust kui gaasist. Samas oleks täiesti korrektne ja teatud juhtudel isegi mõistlik rääkida vedela lämmastiku aurust.

Ained, mida me igapäevaselt nimetame tahketeks (metallid, soolad) sulavad siiski kõrgel temperatuuril, keevad ja aurustuvad. Gaasi ja auru mõisted on tavakeeles seotud sellega, mis olekus ainetega me igapäevaelus ja tehnikas kokku puutume. Näiteks halogeenid lihtainetena: räägime ja kirjutame nagu oleks kloor alati gaas, broom vedelik ja jood kristall. Seepärast on tavatingimustes juttu broomi ja joodi aurudest, aga samas kloorist kui gaasist.

Aine kolm olekut on küll selgelt erinevad, aga neil on paariti mõningaid sarnaseid omadusi. Gaaside ja vedelike ühiseks omaduseks on voolamine ja ainekoguse kindla kuju puudumine, nende ühine nimetus on **voolis**. Tahkised ja vedelikud on kindla tihedusega olekud, tihedus sõltub temperatuurist ja rõhust suhteliselt vähe. Tahkes ja vedelas olekus lahustuvad ained üksteises enamasti kindlates vahekordades, seepärast saame rääkida küllastunud lahustest, eutektilistest sulamitest ja aseptroopsetest segudest. Tahkiste ja vedelike ühine nimetus on kondensaine. Kuid just gaasiline olek on mõnes mõttes üsna eriline.

Reaalgaasi mudel

Gaasid segunevad kõigis vahekordades. Gaaside tihedus sõltub rõhust ja temperatuurist väga palju, nad on kokkusurutavad ja paisuvad. Ligilähedaselt on gaasi tihedus võrdeline rõhuga ja pöördvõrdeline absoluutse temperatuuriga. Täpselt kehtib see ideaalgaasi korral, aga mitte kõik gaasid ei allu piisavalt hästi ideaalse gaasi mudelile. Meenutame, et ideaalgaasi mudel on rakendatav hõredatele gaasidele (molekulide mõõtmed on võrreldes molekulidevahelise kaugusega tühised), kus molekulid üksteist ei mõjuta (va omavahelised elastsed põrked).

Reaalsed gaasid võivad seega erineda ideaalgaasi mudelist kahel põhjusel:

A) Rõhk. Molekulaarjõud, mida ideaalgaasi mudelis ei arvestata, sest molekulid on üksteisest kaugel, hakkavad kõrgemal rõhul ja madalamal temperatuuril siiski mõjuma. Rõhk anuma seinale koosneb mikrotasandil üksikute molekuli-



Joonis 1.2.3. Õli ja vesi lahustuvad üksteises väga vähe. Õli tihedus on väiksem kui vee, seepärast on õlikiht peal, vesi all. Samamoodi supipotis, rasvatilgad ujuvad supi peal. Muud lahustund ained jaotuvad kahe kihi vahel vastavalt sellele, kui hästi nad lahustuvad ühes või teises vedelikus. See võimaldab näiteks õlist ja kütustest mõningaid lisandeid välja pesta.



Joonis 1.2.4. Vedel lämmastik keeb. Kulbitäis veeldatud lämmastikku on anumast välja valatud ja keeb keemistemperatuuril. Lämmastiku keemistemperatuur on -196°C (77 K), mis tähendab, et toatemperatuuril olev nõu on tema jaoks „väga kuum küttekeha“. Udu, mis keevat lämmastikku ümbritseb, tekib õhus leiduva veeauru kondenseerumisest (ptk 1.3.).

de elastsetest põrgetest. Ideaalse gaasi molekulid just nii anuma seinale rõhuvadki. Reaalses gaasis on pörke momendil gaasi molekuli ees anuma sein, aga „selja tagant” mõjutavad teda teised gaasi molekulid. Mida tihedamalt molekulide ja mida polaarsemad molekulid, seda suurem on mõju.

B) Ruumala. Ideaalgaasi mudel eeldab, et molekulid on punktmassid, st mõõtmata. Sel juhul oleks kogu gaasi ruumala gaasi molekulide liikumiseks vaba. Reaalses gaasis võtavad molekulid ise ka ruumi, mida suuremad molekulid ja mida rohkem molekule ruumalaühikus, seda enam.

Reaalseid gaase kirjeldavad ebatavalistes oludes (kondenseerumistemperatuuri lähedal, väga kõrgel rõhul) mitmed reaalgasid mudelid, kus klassikalisele gaasi olekuvõrrandile lisanduvad vajalikud täiendused.

Milline gaas on kõige ideaalsem? Ideaalse gaasi mudelile vastab kõige täpsemalt gaas, mille molekul on kõige väiksem, ei ole polaarne ja peaaegu ei polariseeru ka ajutiselt. See on heelium, mille molekul koosneb ühest pisikesest aatomist. Ka vesiniku molekul on väike, aga koosneb kahest aatomist, mis võimaldab õige veidi suuremate molekulaarjõudude teket.

Uurime ühte konkreetset reaalgasid näidet. Millistel tingimustel ja kuivõrd kaldub lämmastik ideaalgaasi mudelist kõrvale?

Meenutame, et ideaalse gaasi olekuvõrrand seob gaasi koguse (n), rõhu (p), ruumala (V) ja temperatuuri (T) gaasi olekuvõrrandisse. $R = 8314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}$ (universaalne gaasikonstant).

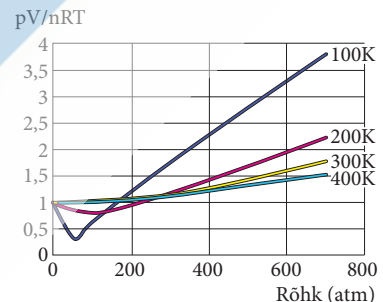
$$pV = nRT \quad \text{ja} \quad \frac{pV}{nRT} = 1$$

Saadud jagatis on võrdne ühega, kuni gaas käitub vastavalt ideaalgaasi mudelile. Kui uurida reaalse lämmastiku kokkusurumist või paisumist erinevatel temperatuuridel, siis tuleb välja mitu erinevust.

Joonis 1.2.5. ei ole tegelikult tehtud gaaside ruumala, rõhu ja temperatuuri mõõtmise järgi, vaid kajastab üht enamlevinud reaalgasid kirjeldust, van der Waalsi (ptk 1.1.) võrrandit:

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

Võrreldes ideaalgaasi lihtsa võrrandiga, võime siin märgata „parandusi” Konstant „ a ” kirjeldab molekulide vahelisi mõjusid ja „ b ” molekulide ruumala.



Joonis 1.2.5. Lämmastik kui reaalgas. Ideaalgaasi mudeli järgi käituvat gaasi graafikul oleksid kõik kõverad üheskoos horisontaalsed sirged, vastates tingimusele $pV/nRT = 1$. Kõrvalekaldeid viitavad ideaalse mudeli piiratusel. Näeme, et madalal rõhul ja kõrgel temperatuuril käitub lämmastik ideaalse gaasina. Rõhu suurenemisel lööb reaalgasid iseloom üha enam välja. Rõhud graafikul on väga suured. Võrdluseks olgu märgitud, et õhu rõhk autorehvides võib olla vaid mõni atmosfäär, sukeldumisballoonides on rõhk tavaliselt kuni 200 atmosfääri. Samuti ilmnevad suured erinevused madalal temperatuuril. Võib märgata, et madal temperatuur kisub graafikut allapoole, suur rõhk tõstab ülespoole.

Kokkuvõtteks

Keemine on vedeliku üleminek vedelast faasist gaasilisse, nii et aurustumine ei toimu mitte ainult vedeliku pinnalt, vaid kogu ruumalas tekkivate aurumullidena.

Tahkiste (tahkete kehade) eripära ilmneb deformeerimisel. Ainult tahkised avaldavad deformeerimisele vastupanu. Vedelike ja tahkiste ühine omadus on säilitada ruumala, mispärast neid nimetatakse kondensaineks.

Gaasid ja vedelikud erinevad küll kokkusurutavuse poolest, aga tänu kindla kuju puudumisele on mõlemad voolavad, sellest ka nende ühine nimetamine voolisteks.

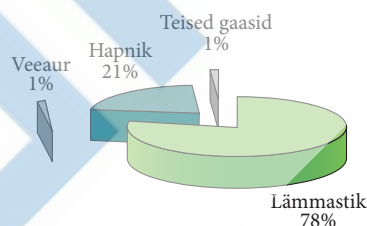
Paljud hõredad ja jahedad gaasid käituvad üsna täpselt ideaalse gaasi mudeli järgi, sest osakestevahelised jõud on väga nõrgad ja osakeste enda ruumala on võrreldes anuma ruumalaga väga väike. Reaalgaside korral tuleb molekulaarjõud ja molekuli ruumala arvesse võtta.

1.3. Õhuniiskus

Õhu komponentide mahuline vahetuskord on üsna püsiv. Kuiv õhk koosneb lämmastikust (78%), hapnikust (21%) ja veel umbes kümnest gaasist (kokku 1%). Selle viimase ühe protsendi hulgas on kõige rohkem argooni (0,93%), aga ka atmosfääri toimimise seisukohalt väga olulist süsinikdioksiidi ja metaani. Selline oleks kuiva atmosfääri koostis, aga meie igapäevane õhk sisaldab peale nimetatut alati veel väikeses koguses veeauru. Veeaur on ainus atmosfääri komponent, mille sisaldus õhus pidevalt muutub. Õhus olev veeauru kogus muutub nii ööpäeva jooksul kui ka aastaegade lõikes. Muutused on tihedalt seotud temperatuuriga ja omavad suurt tähtsust kliima kujunemisel. Kogu atmosfäärist on mahuliselt umbes 0,4% veeaur. Maapinna lähedal on veeauru õhus tavaliselt 1-4%. Veeauru sisaldust õhus nimetatakse õhuniiskuseks.

Soojal suvepäeval (õhutemperatuur 25°C) võib ühes kuupmeetris õhus olla näiteks 15 g vett. Veeauru sisaldust õhus võib arvuliselt väljendada mitmel moel, massi, ruumala või rõhu kaudu. Kõige lihtsam ongi märkida ühes kuupmeetris õhus sisalduva vee mass. Seda nimetatakse **absoluutseks õhuniiskuseks** (a) või **veeauru tiheduseks**. Grammi kuupmeetri kohta ongi tiheduse ühik, õhu tihedus on näiteks 1,29 kg/m³ ehk 1290 g/m³.

Niisiis, kirjeldataval suvepäeval võib näiteks olla õhu absoluutne niiskus



Joonis 1.3.1. Mis muutub, kui õhk ei ole kuiv? Õhu koostise diagrammile tuleb lisada veel üks väike lõik. Teised diagrammi osad ja protsendid siis muidugi muutuvad veidi. Lõigu suurus oleneb kindla koha kliimast ja sellest, milline on parasjagu ilm. Oluline on ka temperatuur ja see, kust puhuvad tuuled, aga üldiselt on lisatav lõik väike. Parasvöötme kliimas suvisel ajal keskmiselt ilusa ilmaga võiks see lõik olla umbes üks protsent. Nii et vett on õhus vähe. Ometi on atmosfääri veeaur oluline osa meie tervise, kliima, ilmaennustuse, viljasaagi, suvepuhkuse jms seisukohalt vaadates.

$$a = 15 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Samadel tingimustel (õhurõhk ja temperatuur) võib absoluutne niiskus olla väiksem, aga ka veidi suurem, kuid üle 23 g/m^3 see olla ei saa, kui temperatuur ei tõuse. Kui õhk muutub näiteks veekogudest aurustumise tõttu järjest niiskemaks, siis ühel hetkel tekib küllastunud veeaur. Küllastus tähendab seda, et nii palju, kui molekulile läheb üle gaasi faasi, läheb neid ka tagasi vedeliku faasi. Normaalsel atmosfäärirõhul 25°C juures ei saa veeauru tihedus olla suurem kui 23 g/m^3 . Seda nimetatakse **küllastunud veeauru tiheduseks** (A). Kui vesi veekogude pinnalt, vihmapiiskadelt või taimede lehtedelt aurustub, siis absoluutne niiskus kasvab, aga ei ületa tavaliselt küllastatud auru tihedust. See tähendab, et maksimaalne absoluutne niiskus samadel tingimustel on

$$A_{25^\circ\text{C}} = 23 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}.$$

Küllastumine sõltub temperatuurist, igal õhutemperatuuril on oma küllastunud auru tihedus, mis on laboratoorselt määratud (ptk 1.6.) ja mida võib vaadata vastavast tabelist. Kõrgemal temperatuuril on küllastunud auru tihedused suuremad. Väga kuum ja märja ilmaga (37°C) võiks ühes kuupmeetris õhus olla isegi 44 g veeauru, aga tihtipeale on kuumad ilmad pigem kuivad ja küllastus saabub hoopis temperatuuri langemise tõttu. Enamasti on õhus veeauru küllastusest vähem, aga välitingimustes võib õhuniiskus küllatuseni tõusta näiteks vihmase ilmaga või veepinnalt aurustumise tulemusena. Kuigi väike vihmaseadu ei pruugi küllastuse saabumiseks piisavalt auru lisada, on siiski kindel, kestva saju ja uduga on õhu absoluutne niiskus maksimaalne võimalik.

Kuidas veeaur õhus püsib?

Õhu veesisaldust kirjeldatakse mõnikord nii, nagu imaks õhk endasse vett või hoiaks kõrgemal temperatuuril tänu soojusliikumisele rohkem veeauru kinni. See pole õige ettekujutus.

On tõepoolest ahvatlevalt lihtne kirjeldada õhuniiskust, eriti küllastumist, nagu hoiaksid õhu gaaside molekulid vee molekulide (veeauru) õhus justkui üksteisele palli pörgatades. Kuna kõrgemal temperatuuril on soojusliikumine intensiivsem, siis tundub loogiline, et kiiresti liiguvad lämmastiku ja hapniku molekulid nügivad vee molekulide enam, ei lase neil kokku saada ja piiskadeks kondenseeruda. Tegelikult see nii ei ole.

Browni liikumise kirjeldused, eriti arvutimudelid, on meile siin karuteene teinud. Kipume mõtlema, et nii nagu vee molekulid pörgatavad ringi väikseid tahkeid kehakesi, nii ka molekulid poksivad üksteist. Tegelikult on vee molekulid õhu põhiliste koostisosade molekulidest väiksemad ja neid on õhus väga vähe. Ka lämmastikku ja hapnikku on tegelikult üsna vähe, st molekulid on gaasis päris hõredalt ja tühja ruumi jääb palju. Toatemperatuuril on õhu molekulide vahelised keskmised kaugused umbes 10 korda suuremad molekulide mõõtmetest ja keskmine molekuli liikumiskiirus umbes 600 m/s.

Kui vaadata mõnda arvutimudelit, kus soojusliikumist visualiseeritakse, siis on molekulid enamasti kujutatud üsna suurelt, nad liiguvad väga aeglaselt ja kohtuvad liiga tihti. Näitlikkuse mõttes on see vajalik, sest 600 m/s liikuva molekuli kujutamine tühise kihitava täpikesena arvutiekraanil ei visualiseeriks midagi.

Küllastunud veeauru tihedus ei sõltu teiste gaaside juuresolekust. Vabalt veepinnalt auraks ka täiesti tühjas ruumis temperatuuril 25°C nii palju vett, et küllastunud auru tihedus

oleks ikka 23 g/m³. Kõrgemal temperatuuril rohkem, madalamal vähem. Lämmastiku molekulid ei takista molekulide lahkumist veepinnalt ega ka soosi seda.

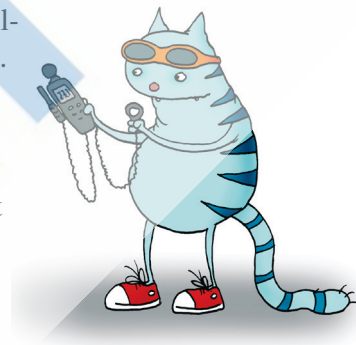
Tuleb meenutada, et vesi on teistest õhu gaasidest erinev. Lämmastik ja hapnik on maa-pealsete temperatuuride juures alati gaasid, aga vesi tuleb ette tahkes, vedelas ja gaasifaasis (ptk 1.1 ja 1.2.). Kui veepinnalt aurustub sama palju molekule, kui sinna tagasi kondenseerub, siis ongi tegemist küllastumisega. Madalal temperatuuril tekib samasugune tasakaal jää ja auru vahel. Lisaks sellele on vee molekulid polaarsed, mõjutavad üksteist teatud määral ja veeaur ei käitu seepärast päris ideaalse gaasina (ptk 1.2.).

Suhteline õhuniiskus. Kui on teada, et õhus on tõesti kuupmeetri kohta 15 g veeauru (a), aga nimetatud temperatuuril võiks olla kuni 23 g ($A_{25^{\circ}\text{C}}$), siis ei ole raske välja arvutada, millise osa (mitu %) võimalikust moodustab tegelik. Seda suhet väljendatakse peaaegu alati protsentides ja nimetatakse **suhteliseks (relatiivseks) õhuniiskuseks** (ϕ). Suhteline õhuniiskus on inimeste tervise ja enesetunde hindamise seisukohalt oluline näitaja. Ka ilmaennustuses on suhteline niiskus parem näitaja kui absoluutne.

$$\phi = \frac{a}{A_{t^{\circ}}} 100\%$$

Kui juba nimetatud arvud valemisse panna, siis tuleb välja, et meie näidispäeva suhteline õhuniiskus on

$$\phi = \frac{15 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{23 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} 100\% = 65,2\%$$



Mugav on, kui eluruumides on õhu suhteline niiskus parajalt keskmine. Nii liiga kuiv kui ka liiga niiske õhk on pikema aja jooksul tervisele kahjulikud. Näiteks kooliruumides peab vastavalt tervisekaitseõuetele õhuniiskus olema 30%–70%. Eluruumides peetakse siiski paremaks hoida niiskus vahemikus 40%–60%. Kahjuks on talvisel ajal köetud ruumides õhuniiskus tihti alla 30%, mis pole tervisele hea.

Tabel 1.3.1. Küllastunud õhuniiskus erinevatel temperatuuridel

Temperatuur [C°]	Küllastunud auru tihedus [g/m ³]	Temperatuur [C°]	Küllastunud auru tihedus [g/m ³]	Temperatuur [C°]	Küllastunud auru tihedus [g/m ³]
-10	2,36	15	12,83	95	505
0	4,85	20	17,3	96	523
5	6,8	25	23	97	541
10	9,4	30	30,4	98	560
11	10,01	37	44	99	579
12	10,66	40	51,1	100	598
13	11,35	60	130,5	101	618
14	12,07	80	293,8	200	7840

Kokkuvõtteks

Õhu koostises on peaaegu alati väike kogus veeauru. Veeauru mass ühes kuupmeetris õhus on õhu absoluutne niiskus ehk veeauru tihedus.

Kui õhus on veeauru nii palju kui üldse võimalik, on tegemist küllastusega. Küllastunud auru tihedus sõltub temperatuurist.

Suhteline niiskus on absoluutse niiskuse ja küllastunud auru tiheduse suhe ehk tegeliku veeauru sisalduse ja maksimaalse võimaliku sisalduse suhe kindlal temperatuuril. Seda suhet väljendatakse protsentides.

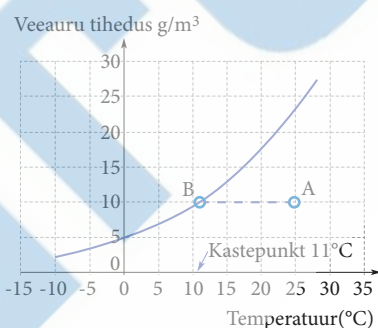
1.4. Kastepunkt. Ilm ja kliima

Selle, kui palju veeauru maksimaalselt õhus võib olla, määrab eelkõige temperatuur. Eelneva peatüki näites oli 25°C õhus 1 m³ kohta 15 g veeauru, mis on 65% küllastusest. Kui seesama õhk jahtub, siis jääb absoluutne niiskus samaks, ikka endiselt 15 g/m³. Aga suhteline niiskus enam sama ei ole, sest madalamal temperatuuril on küllastunud auru tihedus väiksem. Näiteks 20°C juures on küllastunud auru tihedus 17,3 g/m³. Suhteline niiskus on nüüd 86,7%. Ilmselt saabub temperatuuri edasisel langemisel olukord, kus küllastus ja tegelik auru tihedus on võrdsed. Suhteline niiskus on siis 100%.

Kui temperatuur veelgi langeb, siis tekib olukord, kus õhus peaks olema rohkem veeauru, kui seal antud temperatuuril saab olla. Ei ole midagi parata, osa veeaurust peab kondenseeruma vedelaks veeks. Looduses

kohtame me seda olukorda üsna tihti, tegemist on udu ja kastega. Temperatuuri, mille juures veeaur hakkab kondenseeruma, nimetatakse **kastepunktiks**.

Kastepunkti on väga lihtne märgata. Kui suveõhtul paljajalu murul käies tunnete, et varbad saavad märjaks, siis ongi temperatuur maapinnal langenud kastepunktini. Kui õnnestub sel hetkel määrata temperatuur maapinnal, siis see ongi kastepunkt. Kastepunkti kaudu kalibreeritakse tihti õhuniiskuse mõõteriistu, hügromeetreid (ptk 1.6.).



B	A
$t^{\circ}=11^{\circ}\text{C}$	$t^{\circ}=25^{\circ}\text{C}$
$a=10\text{g/m}^3$	$a=10\text{g/m}^3$
$\varphi=100\%$	$\varphi=43,5\%$

Joonis 1.4.1. sinise joonega on tähistatud küllastunud veeauru tiheduse temperatuurist sõltuvuse graafik, st veeauru absoluutse tiheduse väärtused, mis erinevate temperatuuride korral tähendavad suhtelist niiskust 100%. Punktis A on õhutemperatuur 25°C ja absoluutne õhuniiskus on 10 g/m³. Suhteline niiskus on sel juhul 43,5%. Temperatuuri langeses õhu absoluutne niiskus (õhu tegelik veesisaldus) ei muutu, küll aga suureneb suhteline niiskus. Punktis B on temperatuur 11°C, absoluutne õhuniiskus on endiselt 10 g/m³, aga suhteline niiskus on nüüd 100%. Edasisel jahtumisel osa veeaurust kondenseerub või härmatub. Õhu tegelik veeauru sisaldus väheneb seeläbi, aga suhteline jääb ikka 100%. Kui seesama õhk jahtuks näiteks 0°C, oleks 1 m³ veeauru juba alla 5 g, ja suhteline niiskus ikka 100%. Igast kuupmeetrist oleks kondenseerunud üle 5 g vett.

