

FÜÜSIKA 9. KLASSILE.  
SOOJUSÕPETUS, ELEKTRIÕPETUS,  
TUUMAENERGIA

Õpik vastab riiklikule õppekavale.

Jaan Paaver, Erkki Tempel

FÜÜSIKA 9. KLASSILE

Füüsika õpik põhikoolile

Veebiõpik: <http://õpik.füüsika.ee>

Retsenseerinud Riina Murulaid, Virgi Roop

Toimetanud Kaido Reivelt

Küljendanud Heisi Väljak

Joonised teinud Nils Austa

Pildid joonistanud Urmas Nemvalts

Täname:

Dmitri Horoši, Madis Kiisk, Jaak Kikas, Taivo Jõgiaas, Siiri Suursoo, Aile Tamm,  
Kristel Uiboupin, Eero Uustalu, Tõnu Viik, Bruce Yeany.

Väljaandja: Maurus Kirjastus OÜ 2018

Tartu mnt 74, 10144 Tallinn

[www.kirjastusmaurus.ee](http://www.kirjastusmaurus.ee)

e-post: [tellimine@kirjastusmaurus.ee](mailto:tellimine@kirjastusmaurus.ee)

ISBN 978-9949-641-14-7

Autoriõigus: Eesti Füüsika Selts, Jaan Paaver, Erkki Tempel 2018

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

Jaan Paaver, Erkki Tempel

FÜÜSIKA 9. KLASSILE.  
SOOJUSÕPETUS, ELEKTRIÕPETUS,  
TUUMAENERGIA

# Sisukord

## **AINE EHITUSE MUDEL. SOOJUSLIIKUMINE**

Mis on aatom?	6
Aine olekud: tahke, vedel ja gaasiline	11
Aineosakesed, temperatuur, siseenergia	17
Soojuspaisumine	20
Temperatuuri mõõtmine ja temperatuuriskaalad	24

## **SOOJUSÜLEKANNE. KEHADE SOOJENEMINE JA JAHTUMINE**

Soojus liigub	26
Soojusülekanne liigid	29
Kehade soojenemine ja jahtumine	35
Soojus praktikas	41

## **AINE OLEKUTE MUUTUSED**

Sulamine ja tahkumine, sulamissoojus	49
Aurumine ja kondenseerumine, keemissoojus	54
Ainete olekute muutused praktikas	58

## **ELEKTRILINE VASTASTIKMÕJU**

Mis on elekter?	63
Elektrilaeng ja laetud keha	65
Elektriline vastastikmõju	68
Laengukandjad	76

## **ELEKTRIVOOL**

Elektrivool. Voolutugevus	80
Vooluallikad. Pinge	88
Vooluringid	93
Ohmi seadus. Takistus	99

## **ENERGIA**

Elektrienergia ja elektrivõrk	107
Elektrivoolu töö	113
Ohutus	119

## **MAGNETNÄHTUSED**

Magnetid	122
Elektromagnetid	129

## **TUUMAREAKTSIOONID, RADIOAKTIIVSUS**

Aatomi tuum	134
Tuumareaktsioonid. Tuuma seoseenergia	137
Ioniseeriv kiirgus.	
Looduslikud ja tehislikud ioniseeriva kiirguse allikad	140
Kerge te tuumade ühinemine. Päike	147
Tuumade lõustumine. Ahelreaktsioon	150
Aatomielektriijaam	151

## **LISAD**

Tähtsad tabelid	153
Aineloend	157

# Eessõna

Seda õpikut oli põnev teha. Sest kui hädavajalikud teemad, nagu soojusjuhtivus või elektrijõud, ära seletatud said, tuli pähe veel terve hulk konksuga küsimusi. Näiteks kuidas „töötab“ liim? Mis juhtub saiaga röstris? Kas kosmoses saab jalutada ka ilma skafandrita või külmub kohe ära? Kas vastab tõele internetist pärit väide, et termokaameraga saab eristada vihmapilvi? Mida mõõdab taevasse suunatud infrapuna-termomeeter? Kas oleks ise võimalik udukamber ehitada ja kosmilist kiirgust mõõta? Kuidas ikkagi on võimalik, et elektrijaamas tekitatud elektriväli paneb liikuma Tartus paiknevad elektronid? Kuidas töötab drooni mootor? Kui teha traadist ja magnetist kõlar, siis kas see kõlar töötab ka mikrofonina?

Kui need ja teised sellised küsimused siin õpikus ka vastust ei saa, siis ära märkimist leiavad nii mõnedki, mõnedest on tehtud lisalood. Sest õpiku sisuks olev füüsika annab meile keele, mis lubab neist asjust teaduspõhiselt rääkida.

Õpikus on ka palju viiteid arvutisimulatsioonidele. Mõned neist võivad esmatutvusel segadust tekitada. Aga pigem segadus, kui illusioon loodusest, kus kõik on lihtne ja selge.

Loodame, et ka teie rännak selles füüsikaõpikus saab olema meelikõitev.

Autorid

# Aine ehituse mudel.

## Soojusliikumine

### Mis on aatom?

### Kaasaegne ettekujutus aatomist



*Üks tähtsamaid asju, mida inimesed universumi kohta on teada saanud, on see, et kõik asjad on tehtud aatomitest.*

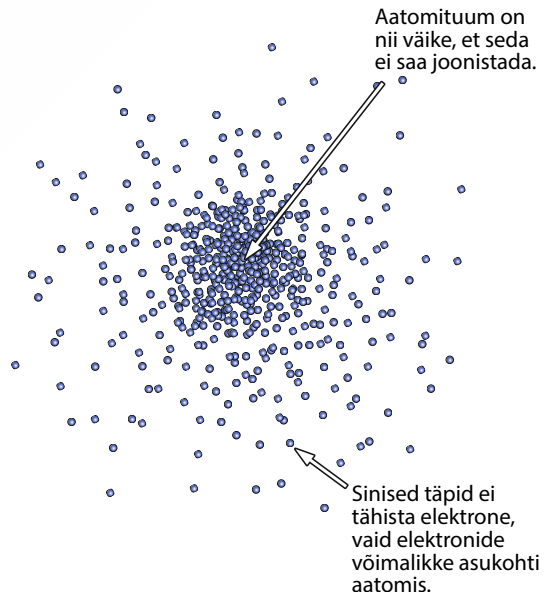
Selles kursuses õpime lähemalt tundma nähtusi, mis on iga-päevakogemusest juba tuttavad. Näiteks on kõik tundnud, et tassi sang läheb tasapisi kuumaks, kui tass täita kuuma teega (sellistest nähtustest räägib **soojustõpetus**). Tuttav on ka see, et elekter toob tuppä valguse ning paneb käima paljud kodu-masinad (kõikvõimalikud **elektrinähtused**).

Juba 7. klassi loodusõpetuses olete õppinud, et kõik kehad koosnevad aatomitest ja molekulidest. 8. klassi keemias õppi-site tundma keemilisi reaktsioone.

Selles füüsikakursuses saate teada, kuidas on kehade sise-ehitusega seotud nende soojuslikud ja elektrilised omadused. Kuid kõigepealt räägime veel kord aatomitest ja molekulidest, kuna füüsika ja füüsikud tunnevad mikromaailma kõige paremini.

Milline on kaasaegne ettekujutus aatomi ehitusest? Prae-guseks on paljud eksperimendid tõestanud, et aatomituum koosneb positiivselt laetud **prootonitest** ja laenguta **neut-ronitest**, nende ühine nimetus on **nukleonid**. Prootonil ja neutronil on praktiliselt sama mass, mis vesiniku aatomituu-mal, ning prootonid ja neutronid moodustavad suurema osa aatomi massist.

*Aatomituum on kujuteldamatult väike, aga selles on koos peaaegu kogu aato-mi mass. Elektronid on väga väikesed ja kerged. Nad asuvad küll aatomis teatud tuuma ümbritsevas piirkonnades, aga võivad ka aatomis ja aatomite vahel liikuda. Samas ei luba kvantmehaanika seadused mõõta üheaegselt elektroni asukohta ja kiirust. Järelikult ei ole elektronil olemas ka trajektoori. Parim, mida saab teha, on määrata elektroni asukoht mingil ajahetkel, teadmata samal ajal midagi tema kiirusest. Selliselt tekib kujutlus elektronpilvest.*



Loomulikult on aatomites ja molekulides ka **elektronid**. Aga seda „olemist“ ei tohiks ette kujutada kui elektronide liikumist mööda mistahes trajektoori, olgu see siis ringjoon või siksak – kaasaegne füüsika ütleb, et elektronil ei saa olla trajektoori. Pigem kujuta seda ette pilvena – **elektronpilvena**.

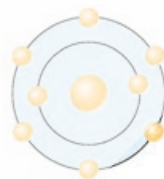
**Elektronpilv on füüsikaline mudel, mis illustreerib seda, et ei ole võimalik teada täpselt, kus asub elektron, aga teada on, et ta asub kusagil selle pilve sees. Suurem tõenäosus on leida elektron sealt, kus on pilve tihedamad piirkonnad.** Elektroni trajektoorist ei saa rääkida, sest kvantmehaanika seaduste järgi ei ole võimalik mõõta üheaegselt elektroni asukohta ja kiirust.

Elektronpilve kujutise tekkimist saab uurida arvutisimulatsioonis. Pilve kujutis tekib, kui mõõta palju kordi elektroni asukohta.

Ainult vesiniku aatomi elektronpilv saab olla kerakujuline. Suurema aatommassiga aatomite, samuti molekulide elektronpilved on suuremad ja teistsuguse kujuga. Siiski, **aatomite ja molekulide füüsikaliselt korrektne kujutamine tähendab alati aatomituuma või tuumade asukoha tähistamist ja elektronpilve kujutamist.**



*Selles simulatsioonis on näha, kuidas palju kordi elektroni asukohta mõõtes (punased täpid) tekib elektronpilve kujutis.*

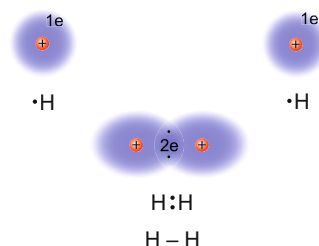


**Aatomi mudelite areng**  
*Teadlaste ettekujutus aatomitest on läbi käinud pika ja õpetliku arengutee.*

## Kuidas kujutada aatomeid ja molekule?

Loodusainetes räägitakse harva üksikutest aatomitest. Keemias ja bioloogias on olulised ikkagi mitmest aatomist koosnevad molekulid. Mis saab elektronidest molekulides?

Keemias oled juba õppinud **liitaineid ehk keemilisi ühendeid**. Sa tead, et **kovalentne side** on ühiste elektronpaaride abil tekkinud side ja **iooniline side** on siis, kui vastasmärgilised ioonid tõmbuvad. Loomulikult saab keemiliste sidemete tekkimist ka füüsika keeles selgitada ja just füüsika on teadus, mis tungib sügavamale aine ehituse seaduspärasustesse, andes muuhulgas ka keemiale selle tööriistad. Selles kursuses me puudutame mikromaailma füüsikat vaid riivamisi, jättes seega kõrvale ka kvantarvutid, teleportatsiooni, Universumi tekkimise jms küsimused. Ütleme lihtsalt, et kovalentse side-



*Kovalentse sideme tekkimine kahe vesiniku aatomi vahel.*

me moodustab (väliskihi) elektronide elektronpilv, mis haarab mõlemaid sidemes osalevaid aatomeid. Ja rõhutame, et tegelikult ei saa rääkida elektronide liikumisest ümber mõlema aatomi, sest elektronidel ei ole trajektoori, neid võib lihtsalt ühest või teisest kohast suurema tõenäosusega leida. Mikromaailma seadused võivad esmatutvusel veidrad tunduda.

Kuidas siis ikkagi joonistada molekuli?

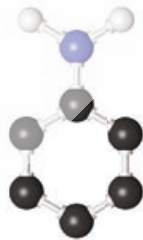
Igasugust pilve, nii ka elektronpilve on keeruline joonistada – kuhu joonistada pilve piir? Sest pilv on erinevates kohtades erineva tihedusega, tihti keskel tihedam, servadest hõredam. Lahendus on välja valida mingi konkreetne pilve tiheduse väärtus ja joonistada pilve piir mööda seda. Nii tehakse ka elektronpilvedega.

Vaatame seda protsessi ühe keerukama molekuli elektronpilve näitel. Ja võrdleme saadud pilte teada-tuntud molekuli-  
de mudelitega.

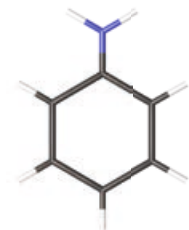
*Joonisel on kujutatud tsükloheksüülamiini elektronpilve kuju, kus pilve serv on määratud erinevate elektronpilve tihedustega. Parempoolses veerus on kujutatud sama molekuli erinevaid mudeleid. Võrrelge neid kahte veergu.*



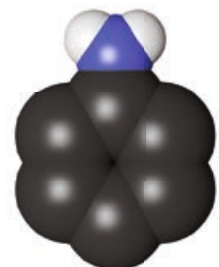
Tihe elektronpilv on aatomituumade lähedal. Kui paneme pilve piiri üsna suurele pilve tihedusele, saame sellise pildi. Parempoolsel joonisel näete tuttavat molekulimudelit, mis on sellega üsna sarnane.



Elektronpilve piir, mis on seatud keskmisele pilve tihedusele. Parempoolsel joonisel näete veel üht tuttavat molekulimudelit, mis on sellega üsna sarnane.



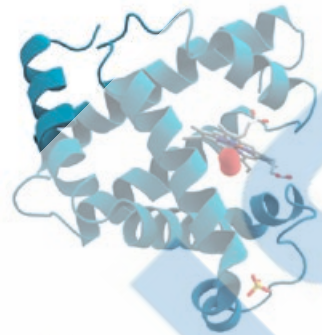
Kui valime elektronpilve piiriks üsna väikse pilve tiheduse, siis saame sellise pildi. Ka niisuguseid molekulide mudeleid olete te arvatavasti juba näinud.





Bioloogilised molekulid on tihti väga mahukad ja keerukad. Nende struktuuri joonistamisel jäetakse üksikud aatomid tähistamata, koos sellega jäetakse tähistamata ka elektronpilved.

Selles õpikus keskendutakse aine füüsikalistele omadustele. Tasub meeles pidada, et kuigi füüsika, keemia ja bioloogia keel on vahel erinev, on nende uurimisobjekti ehk loodust kirjeldavad seadused universaalsed. Üritame seda järgnevalt näidete abil ka esile tuua.



*Müoglobiin on hapnikku siduv valk (füüsikud ütlevad selle kohta molekul), mida leidub lihastes. Spiraalsed moodustised on  $\alpha$ -heeliksid, mis koosnevad hapniku, lämmastiku, vesiniku ja süsiniku aatomitest. Selliste molekulide elektronpilve joonistamine on päris keeruline ülesanne.*

## Kaasaegne ettekujutus valgusest

8. klassis õpetati, et valgus on valgusallika poolt kiiratud elektromagnetlaineline, mille levimist saab kirjeldada kiirteoptika seaduspärasustega. Me ei uurinud, mis toimub näiteks siis, kui valgus neeldub ekraanis või valgusfiltris.

Kaasaegses ettekujutuses on valgus kvanditud, st valgus koosneb valguse osakestest. **Valguse osakesi (kvante) kutsutakse footoniteks.**

Valguse vastastikmõjus ainega antakse energiat ja impulssi üle footonite kaupa.

Igale footonile vastab ka kindel energia. Kui footoni sagedus on  $f$  ja lainepikkus  $\lambda$ , siis on footoni energia  $E$  määratud valemiga

$$E = h f,$$

kus  $h$  ( $= 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ) on Plancki konstant.

Footoni energiast (seega ka valguse lainepikkusest) sõltub, milliseid protsesse selline footon saab esile kutsuda. Footonite energiat mõõdetakse tavaliselt elektronvoltides (eV). 1 eV on väga väike energia, võrdues  $1,6 \cdot 10^{-19}$  džauliga.

## KOKKUVÕTE

### **Kaasaegne ettekujutus aatomist**

Aatomituum koosneb positiivselt laetud prootonitest ja laenguta neutronitest, nende ühine nimetus on nukleonid. Aatomituuma ümber on elektron, mida kujutatakse elektronpilvena.

### **Elektronpilv**

Elektronpilv on füüsikaline mudel, mis illustreerib seda, et ei ole võimalik teada täpselt, kus asub elektron, aga teada on, et ta asub kusagil selle pilve sees. Suurem tõenäosus on leida elektroni sealt, kus on pilve tihedamad piirkonnad. Elektroni trajektoori ei saa rääkida, sest kvantmehaanika seaduste järgi ei ole võimalik mõõta üheaegselt elektroni asukohta ja kiirust.

### **Keemiline side**

Keemiline side on püsiv tõmbejõud aatomite, ionide või molekulide vahel ja see teeb võimalikuks keemiliste ühendite moodustumise.

## HARJUTUSÜLESANDED

1. Aatomite ja molekulide joonistamisel jäetakse enamasti elektronpilv kujutamata. Nimeta kaks põhjust, miks.
2. Tuumaosakesi nimetatakse nukleonideks. Genfis asub maailma suurim osakeste kiirendi. See kiirendi kannab nimetust LHC (Large Hadron Collider), mis tõlkes tähendab Suur Hadronite Põrguti. Mis osakesed on hadronid ning mille poolest need erinevad nukleonidest? Vastuse leidmiseks kasuta interneti abi.

# Aine olekud: tahke, vedel ja gaasiline

## Tuletame meelde

Soojusõpetuses nimetatakse **kehadeks** kõiki meid ümbritsevaid objekte ehk asju.

Me juba teame, et **kõik kehad koosnevad kas ühest ainest või on nad ainete segud. Ained omakorda koosnevad aineosakestest. Aineosakesteks võivad olla nii molekulid, ioonid kui ka aatomid, sõltuvalt sellest, millise ainega on tegemist.** Molekulidest koosneb näiteks vesi. Ka õhk koosneb molekulidest, aga see on mitme aine segu. Keedusool ning söögisooda aga koosnevad ioonidest. Tuntumateks aatomitest koosnevateks aineteks on grafiit ja teemant.

Ained võivad esineda kolmes olekus: **tahke, vedel ja gaasiline.**

Järgnevalt uurime lähemalt, kuidas aineosakesed erinevates aine olekutes paiknevad ning üksteist mõjutavad.

## Tahkis – aine tahkes olekus

**Tahkes aines paiknevad aineosakesed üksteisele väga lähedal.** Kristallilistes ainetes paiknevad aineosakesed ka korrapäraselt. Näiteks soolakristallis on iga naatriumi ioon ( $\text{Na}^+$ ) ümbritsetud kuue kloori iooniga ( $\text{Cl}^-$ ) ning iga kloori ioon on ümbritsetud kuue naatriumi iooniga. Samal ajal klaasides ja polümeerides, mis on ju ka tahked ained, ei paikne aatomid korrapäraselt.

**Kõik aineosakesed mõjutavad üksteist – aineosakeste vahel esinevad tõmbe- ja tõukejõud.** Selliseid jõude aitab mõista see, kui kujutame ette, et aineosakeste vahele on kinnitatud vedrud. Kui lükkame kuule üksteisele lähemale, tekib vedrus tõukejõud, mis lükkab kuulid üksteisest eemale. Kui venitame kuule üksteisest eemale, tekib vedrus tõmbejõud, mis tõmbab kuulid üksteisele lähemale. Aineosakeste vastastikmõju annab aineosakestele **potentsiaalse energia** üsna samamoodi, nagu kõikidel kehal on Maa gravitatsioonijõu tõttu potentsiaalne energia.

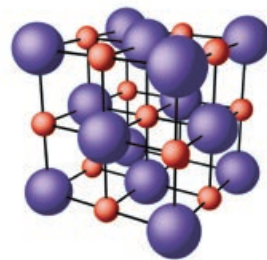


Molekulid, ioonid ja aatomid

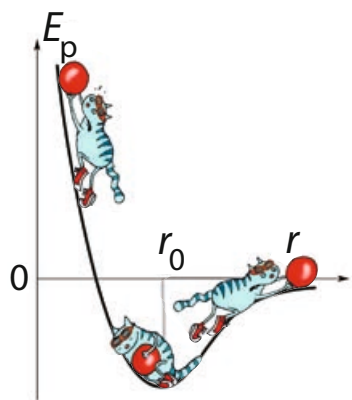


### Aga mis on puit?

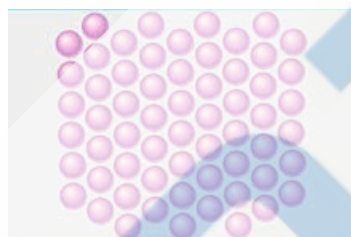
*Komposiitmaterjale ehk komposiite valmistatakse, kombineerides omavahel kaks või enam materjali, millel on sageli väga erinevad omadused. Nii tehes saadakse enamasti uus unikaalsete omadustega materjal.*



*Soolakristalli kuulumudel. Sinisega on tähistatud kloori, punasega naatriumi ioonid.*



Aatomite vastastikmõju potentsiaalse energia sõltuvus aatomitevahelisest kaugusest. Sideme pikkuse ehk aatomitevahelise kauguse tahkises ( $r_0$ ) määrab ära potentsiaalse energia ( $E_p$ ) kõvera miinimum.



Tahkes aines on aineosakesed praktiliselt paigal, võnkudes vaid oma asukoha ümber.

Milline salapärane jõud aineosakeste vahel mõjub? Soola-kristallis ju pisikesi vedrusid ei ole?

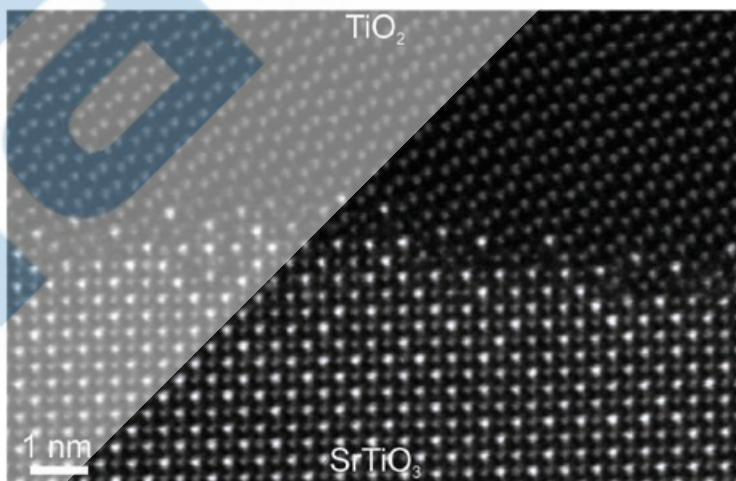
**Naatriumi ja kloori ionide vahel mõjuv tõmbejõud on elektrijõud**, millest räägime täpsemalt selle õpiku teises osas ja mida keemias nimetatakse iooniliseks sidemeks.

Tõukejõudu põhjustab keeluprintsiip – kaks aineosakest ei saa korraga ühes ja samas kohas olla. Nii tekib aatomite vahel tõukejõud kohe, kui aatomi koosseisus olevate elektronide elektronpilved kokku puutuvad.

**Tahkes aines võnguvad aineosakesed tõmbe- ja tõukejõudude tasakaalupunkti ümber.** Aineosakeste liikumine tähendab, et neil on lisaks tõukumise-tõmbumise potentsiaalsele energiale olemas ka **kineetiline energia**. Sellist võnkumist saab uurida arvutisimulatsioonide abil.

Tahkistes on aineosakeste kineetiline energia palju väiksem osakeste vahel mõjuvate tõmbejõudude potentsiaalsest energiast – kui see oleks vastupidi, siis lendaks tahkis laiali.

Tänapäeval suudavad teadlased üksikute aatomite ja molekulide asukohti määrata.



Pildil on kahe materjali,  $\text{TiO}_2$  ja  $\text{SrTiO}_3$ , lahutuspinna ristlõige, nagu seda on võimalik „näha“ elektronmikroskoobis (täpsemalt läbivas elektronmikroskoobis, veel täpsemalt on tegemist HAADF-HRSTEM kujutisega). Selgesti on näha üksikud molekulid mõlema materjali koosseisus. Samuti see, kuidas kahe materjali kokkupuutepind on ei ole päris sile ja et mõned  $\text{SrTiO}_3$  molekulid on sisenenud  $\text{TiO}_2$  kihti.

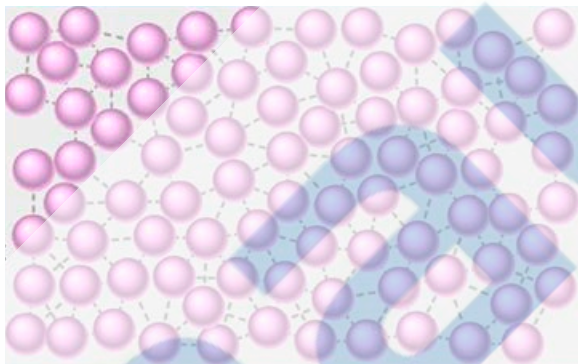
# Vedelik

**Vedelikud tunneme ära selle järgi, et nad voolavad.** Pole võimalik valmistada vedelikest esemeid, kuna nad ei säilita oma kuju. Kallates vedeliku anumasse, võtab vedelik anuma kuju, sest gravitatsioonijõud tõmbab vedelikku maapinna poole.

Kui vedelik seisab liikumatult anumas, siis selle aineosakesed enamasti võnguvad ühe koha peal – samamoodi on see ka tahkes aines. **Aga erinevalt tahkest ainest on vedelikes aineosakesed võimelised ka liikuma** – aeg-ajalt nad pääsevad naaberosakeste vahelt läbi.

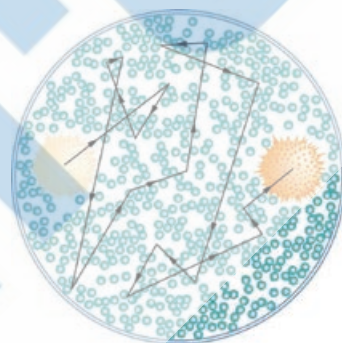
**Vedelikes on aineosakeste kineetiline energia ligikaudu sama suur, nagu on osakeste vahel mõjuvate tõmbejõudude potentsiaalne energia.**

Aineosakeste liikumist vedelikes saab uurida arvutisimulatsioonide abil.



*Umbes sellises ulatuses liiguvad aatomid ja molekulid vedelikes. Võrdle seda tahkistega, jälgides üksiku aatomi liikumist.*

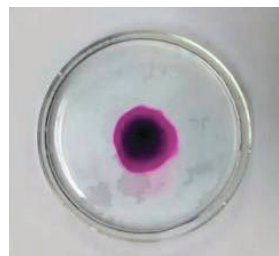
Vedelike aineosakeste liikumise simulatsioonist (küllap ka igapäevakogemustest) peaks selge olema, et ilma segamata võtab kahe vedeliku segunemine omajagu aega. Siiski segunevad vedelikud ka siis, kui nad on paigal. Näiteks kui pane me vee sisse mõne tera kaaliumpermanganaati (vees lahustuv lilla aine) ja jätame selle mõneks tunniks seisma, siis muutub vesi ühtlaselt lillaks ka siis, kui me seda ei sega. Sellist **ainete iseeneslikku segunemist nimetatakse difusiooniks**. Vedelikes esinev difusioon on väga oluline taimedele, kuna just difusiooni kaudu saavad taimed omale vajalikke toitaineid.



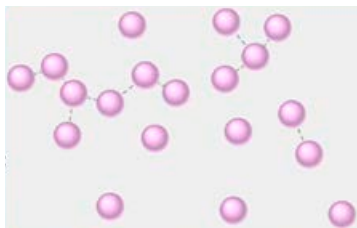
## Browni liikumine

*Kuidas me teame, et aineosakesed tõepoolest liiguvad korrapäratult? Selleks võib uurida Browni liikumist. Kõigile kättesaadav eksperiment asub siin.*

Loe edasi:



*Kaaliumpermanganaat lahustub ja toimub difusioon.*



*Nii võib ette kujutada aineosakeste liikumist gaasis.*



*Selle katse alguses ühendatakse õhu ja broomi aurudega (pruun gaas) täidetud klaasanumad. Katses on näha, kuidas broomi aurud difundeeruvad õhku.*



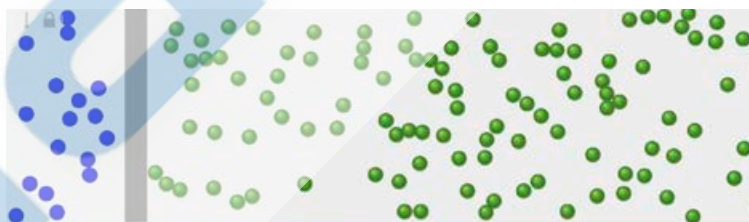
## Gaas

**Gaasid erinevad vedelikest ja tahkistest selle poolest, et gaasides on aineosakesed üksteisest väga kaugel** – keskmine vahemaa kahe aineosakese vahel gaasis on sadu kordi suurem nende osakeste raadiusest. Seetõttu on ka osakestevahelised jõud väikesed ja nende liikumine vabam.

Gaasides liiguvad aineosakesed sirgjooneliselt ning korrapäratult. Aineosakesed muudavad suunda ainult siis, kui nad teise osakesega kokku põrkavad.

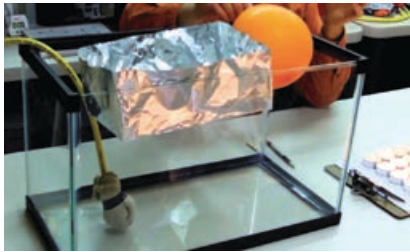
**Gaasides on aineosakeste kineetiline energia palju suurem osakeste vahel mõjuvate tõmbejõudude potentsiaalsest energiast.**

Üllataval kombel on gaaside ja vedelike mehaanilised omadused sarnased. Seetõttu on neil olemas ka ühine nimi – voolised (ingl *fluids*). Näiteks difusioon ei esine ainult vedelikes, vaid isegi tugevamalt gaasides. Kui avada klassiruumi ühes otsas tugeva lõhnaga aine pudel, siis on mõne aja pärast tunda seda lõhna ka klassi teises otsas. Kui siin alapeatükis esitatud simulatsioone võrrelda, peaks selle põhjus selge olema: kuna gaasides on aineosakeste vaba tee pikkus oluliselt suurem, siis jõuavad nad ka kaugemale.

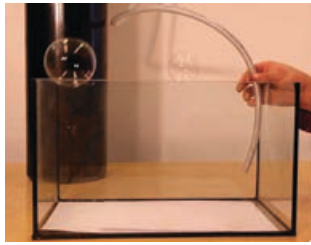


*Simulatsioon näitab, kuidas kahe gaasi molekulid üksteisega segunevad.*

Katseliselt saab demonstreerida, et õhust raskemad (st õhust keskmiselt suurema molaarmassiga) gaasid täidavad anumaid samamoodi nagu vedelikud. Raske gaasina võime kasutada näiteks süsinikdioksiidi või eriti rasket gaasi, mille nimi on väävelheksafloriid.



*Laevuke ujub raske gaasi, väävelheksafloriidiga täidetud akvaariumis. Kui seda gaasi laevukesse valada, siis laevuke upub.*



*Seebimullid ujuvad süsinikdioksiidiga täidetud akvaariumis.*

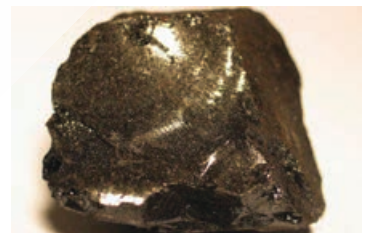
Difusioon vähendab tasapisi raskete gaaside hulka lahtistes anumates.

## Teistsugused ained

Kõik ained ei ole ainult kas tahked, vedelad või gaasilised.

Näiteks mõned ained küll voolavad, aga väga aeglaselt. Neid nimetatakse **amorfseteks aineteks** või tahketeks vedelikeks. Amorfsete ainete voolamise kiirus sõltub temperatuurist, madalal temperatuuril on nende voolavus väga väike. Amorfne aine on näiteks pigi – kui justkui tahke pigi tükk jätta pikaks ajaks lauale, siis see vajub seal laiali nagu vedelik.

On olemas veelgi veidramaid aineid, näiteks müüakse mänguasjade kauplustes nn tarka plastiliini. Tark plastiliin käitub aeglasel deformatsioonil viskoosse vedelikuna, kiirel deformatsioonil elastse tahke kehana. Sellepärast on targast plastiliinist palli võimalik nii pörgatada kui ka plastiliinina vormida.



*Pigi*



*Tark plastiliin*



## KOKKUVÕTE

### Aineosakeste vastastikmõju energia

Aineosakeste vahel esinevad tõmbejõud annavad aineosakesele vastastikmõju potentsiaalse energia.

### Tahke aine ehk tahkis

Aine on tahkes olekus, kui aineosakeste kineetiline energia on palju väiksem osakeste vahel mõjuvate tõmbejõudude potentsiaalsest energiast.

### Vedelik

Ained on vedelas olekus, kui aineosakeste kineetiline energia on ligikaudu sama suur, kui osakeste vahel mõjuv tõmbejõudude potentsiaalne energia.

### Gaas

Gaas on aine olek, kus aineosakeste kineetiline energia on palju suurem osakeste vahel mõjuvate tõmbejõudude potentsiaalsest energiast.

### Difusioon

Difusioon seisneb ühe aine molekulide tungimises teise aine molekulide vahele. Difusioon esineb, kui aine kontsentratsioon eri ruumipiirkondades on erinev.

## HARJUTUSÜLESANDED

1. Kui õpilasi kujutada aineosakestena, siis millises olekus ainega sarnaneb klassiruum tunni ajal?
2. Kujuta ette, et sul on ühes käes tennisepall ning teises käes piljardikuul. Mis juhtub nende kehadega, kui sa mõlemaid pigistad? Miks on nendega toimuvad muutused erinevad?
3. Õpilane asetab kangkaalule pealt lahtise süsihappegaasiga täidetud anuma ning tasakaalustas kangi. Miks ei ole kaal mõne aja pärast enam tasakaalus? Proovi seda katset ka ise korrata. Süsihappegaasi saad toota keemiliselt paekivi ja happe vahelisel reaktsioonil. Kui ise hakkama ei saa, siis küsi abi oma keemiaõpetajalt.
4. Kindlasti oled märganud, et kui kevadel plaanid esimest korda jalgrattaga sõitma minna, on jalgratta rehvid talvega tühjaks läinud. Miks rehvi seistes tühjeneb, kuigi see on terve?
5. Võta kaks klaasplaati (või peeglit) ning tee need veega märjaks. Aseta märjad klaasplaadid teineteise peale ning proovi neid seejärel eraldada. Mida märkad? Proovi sama ka kuivade klaasplaatidega. Miks kuivad ja märjad klaasplaadid käituvad erinevalt?
6. Kas siis, kui õpilased mängivad kehalise kasvatuse tunnis jalgpalli, sarnaneb nende liikumine väljakul Browni liikumisega? Põhjenda oma vastust.



# Aineosakesed, temperatuur, siseenergia

## Aineosakesed ja temperatuur

Kallame ühte klaasi 80-kraadist vett ning teise 20-kraadist vett. Lisame mõlemasse klaasi paar kristalli kaaliumpermanaati ja vaatleme nõusid mõne minuti jooksul.

Märkame, et soojemas vees on aine rohkem lahustunud ning suurem osa veest on värvunud lillakaks. Külmemas anumas on tekkinud lillakas lahus ainult klaasi alumisse ossa, kristallide ümber.

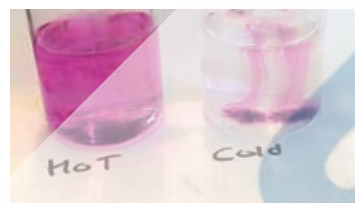
Vaatame nüüd uuesti juba tuttavat simulatsiooni gaaside segunemisest ja muudame sel korral ka temperatuuri. Kuidas sõltub difusiooni kiirus temperatuurist?



*Simulatsioonis saab uurida, kuidas sõltub difusiooni kiirus temperatuurist. Kas iga üksik molekul liigub igal ajahetkel ühesuguse kiirusega või see kiirus muutub?*

Simulatsioonis näeme, et **kõrgema temperatuuri juures liiguvad aineosakesed kiiremini**. Seetõttu nimetatakse aineosakeste korrapärast liikumist ka **soojusliikumiseks**. Kaudselt kinnitab seda seaduspärasust ka katse kaaliumpermanaadiga – nii simulatsioon kui ka katse näitavad, et **kõrgema temperatuuri juures toimub difusioon kiiremini**.

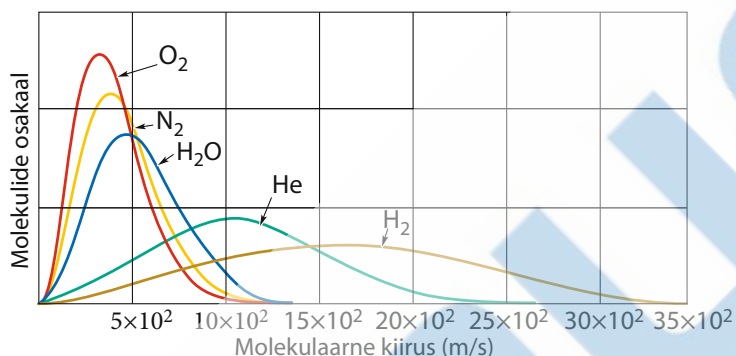
Uurides simulatsiooni, on ka lihtne näha, et **aineosakesed liiguvad soojusliikumises erineva kiirusega ja nende kiirus muutub pörgetes**. Ühel ajahetkel võivad olla ühed osakesed peaaegu paigal (siis kui pörkavad kokku mõne teise aineosakesega), teised liiguvad aeglasemalt, kolmandad päris kiiresti. Gaasides muutuvad toatemperatuuril osakeste



*Kui asetada mõned kaaliumpermanaadi terad sooja, teised külma vette, on näha, et soojas vees lahustuvad need kiiremini. Samuti toimub ka difusioon kiiremini.*



liikumiskiirused väga suurtes piirides, eri osakeste kiirus võib olla 100–1000 m/s, kuid enamiku osakeste liikumiskiirus jääb kuskil 400–500 m/s juurde.



*Molekulide (hapniku ja lämmastiku) kiiruste jaotus õhus 25 °C juures. Graafikuid tuleb mõista nii, et mida suurem on funktsiooni väärtus mingi konkreetse kiiruse juures, seda suurem osa molekulid liigub sellise kiirusega.*



## Temperatuur ja siseenergia

Mehaanikast teame, et mida suurem on keha kiirus, seda suurem on selle liikumise energia ehk kineetiline energia. Äsja saime teada, et mida suurem on osakeste liikumiskiirus, seda kõrgem on selle keha temperatuur. Seega võime öelda, et **mida kõrgem on keha temperatuur, seda suurem on aineosakeste kineetiline energia.**

**Aineosakeste kineetilise ja potentsiaalse energia summat nimetatakse keha siseenergiaks.** Kui aine olek ei muutu, suureneb temperatuuri tõustes keha siseenergia, st muutub aineosakeste kineetiline energia. Kui aine olek muutub, siis muutub nii aineosakeste potentsiaalne kui ka kineetiline energia.

Osakeste soojusliikumise muutumist temperatuuri kasvades saab uurida arvutisimulatsioonides.



*Kuidas muutub tahke aine osakeste soojusliikumine, kui aine temperatuuri tõsta?*

Selles arvutisimulatsioonis saad muuta aine temperatuuri ning aineosakeste omavahelise tõmbejõu suurust ja ise-loomu. Muuda neid parameetreid ja uuri, mis juhtub. Pane tähele, et simulatsioonis puudub gravitatsioon, mistõttu moodustab vedel aine tilga, mitte ei vaju alla.



## KOKKUVÕTE

### Soojusliikumine

Aineosakeste korrapäratud liikumist nimetatakse soojusliikumiseks.

### Aineosakesed ja temperatuur

Mida soojem on keha, seda suurem on aineosakeste kineetiline energia.

### Keha siseenergia

Aineosakeste kineetilise ja potentsiaalse energia summat nimetatakse keha siseenergiaks.

### Temperatuur ja siseenergia

Mida soojem on keha, seda suurem on aineosakeste kineetiline energia.

## HARJUTUSÜLESANDED

1. Kui lisada tee sisse suhkrut, lahustub see ära palju kiiremini, kui näiteks külma morssi valmistades. Miks?
2. Ostes kohvautomaadist kakaod, on see enamasti liiga kuum, et kohe juua. Kuidas saaks kakaod jahutada? Miks see tegevus kakaod jahutab?
3. Sa õppisid, et aineosakesed on pidevas liikumises. Mõttele välja katse, millega tõestad, et aineosakesed on pidevas liikumises.
4. Tükisuhkur lahustub tee sees palju aeglasemalt kui tavaline suhkur. Miks?
5. Suurde veega täidetud anumasse, milles olevat vett intensiivselt segati, asetati kaks kerakujulist suhkrutükki. Üks suhkrutükk oli teisest kaks korda suurema massiga, kuid mõlema massid olid väikesed võrreldes vedeliku kogumassiga. Väiksema tüki lahustumine võttis aega pool minutit. Kui kaua lahustus suurem tükk?

# Soojuspaisumine



Kui puhume õhupalli sooja toas täis ja läheme sellega talvel õue, märkame, et õhupall muutub väiksemaks. Tagasi tuppa minnes paisub õhupall jälle suureks. Miks?

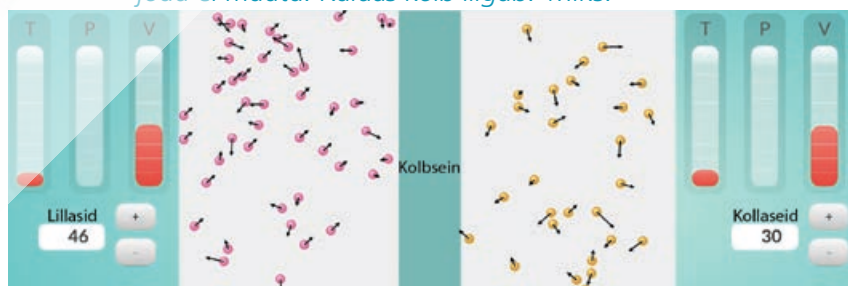
Me juba teame, et kui temperatuur tõuseb, kiireneb aatomite ja molekulide soojusliikumise kiirus. Mida suurem kiirus, seda tugevama „müksu“ annab aatom või molekul, kui ta vastu gaasi ümbritsevat kesta põrkab. Nii juhtubki, et õhupalli saab suuremaks „puhuda“ nii sinna õhku juurde puhudes (st aineosakesi lisades) kui ka temperatuuri tõstes.

**Nähtust, kus kehade suurus muutub temperatuuri muutumisel, nimetatakse füüsikas soojuspaisumiseks.** Gaaside soojuspaisumine toimub alati kindla seaduspära järgi – **gaasi ruumala muut on võrdeline temperatuuri muuduga.**

Ka soojuspaisumise põhjuseid saab uurida arvutisimulatsioonides.



*Selles simulatsioonis saab muuta anumaski oleva gaasi temperatuuri. Kolbile väljastpoolt mõjuvad jõud ei muutu. Kuidas kolb liigub? Miks?*



*Selles simulatsioonis on kaks ühise liikuva seinaga anumaski. Võimalik on muuta mõlemas anumaski olevate osakeste arvu, samuti nende temperatuuri. Uuri, kuidas muutub kummagi anuma ruumala.*