

LOFY.01.070 Loodusteadusliku mõtlemisviisi kujundamine koolifüüsikas (3 EAP)

1. Sissejuhatus	1
I. Teoreetilised alused	3
2. Mõtlemisviisid	3
3. Teaduslik mõtlemisviis	4
4. Loodusteaduslik mõtlemisviis koolifüüsikas	5
5. Füüsika kasutamine teistes loodusainetes	6
II. Praktilised rakendused	6
6. Optika	6
7. Mehaanika	15
8. Elekter ja magnetism	29
9. Soojusõpetus	40
10. Aatom ja selle tuum	46
11. Laboritööd	51
Kirjandus	53
Eksamiküsimuste teemad	53

1. Sissejuhatus

Üldteada on fakt, et täppis- ja loodusteaduste populaarsus langeb nii Eestis kui ka mujal maailmas. Koos sellega kahaneb ka õpilaste huvi vastavate õppeainete vastu. Pidevalt on vähendatud loodusainetele ettenähtud õppetundide arvu Eesti koolis. See aga muudab füüsikaõppe formaalseks, sest lühema ajaga tuleb rohkem ära õppida.

Üha tugevamat konkurentsi pakuvad loodusteadustele ka **parateadused**, mida kaubanduslikel kaalutlustel propageerib massikommunikatsioon (astroloogianurgad päevalehtedes, horoskoopide ettelugemine riigiraadios ja eratelevisioonis, selgelt nägijate tuleproovid televisioonis, jne.). Irratsionaalsed¹ õpetused kasutavad loodusteaduslikke mõisteid (näiteks *energia* või *väli*) ja teevad seda palju emotsionaalsemalt kui loodusteadused ise. Samade mõistete ratsionaalne käsitlemine jääb seetõttu paljudele õpilastele kuivaks ja eluvõõraks.

Loodusteaduste õpetamist raskendav faktor on ilmselt ka noorte üha tugevam orienteeritus kiirele rikkaks saamisele. Isegi kui õpilane jääb uskuma, et ka loodusteaduste vallas omandatud teadmistel on turuväärtus, mõistab ta ometigi, et kiiret rikastumist need ei tööta.

Ülalkirjeldatud nähtused aitavad kokkuvõtlikult kaasa koolifüüsika **võõrandumisele**, mis tähendab, et inimese loodu muutub võõraks inimesele endale.

Koolifüüsika võõrandumine on aktuaalne ka mujal Euroopas ja Ameerikas.

Üheks koolifüüsika võõrandumise põhjuseks on kindlasti **õpimotivatsiooni** vähenemine. Õpilased ei saa aru, miks nad peavad füüsikat õppima ja õpetaja ei oska neile seda selgitada.

¹ *Rationalis* – ld keeles *mõistuslik*, irratsionaalne – mõistusega mittehaaratav

Suurendamaks õpimotivatsiooni, kasutavad paljud õpetajad mitmesuguseid **aktiiv- ja konstruktiivõppe meetodeid**, kuna traditsiooniline õpetamine olevat ennast ammendanud. Kuigi on ka vastupidiseid arvamusi, näiteks Suurbritannia haridusametkondade juhid näevad väljapääsu kujunenud olukorrast, mis ei puuduta ainult füüsikat, just tagasipöördumises vanade traditsiooniliste õppemeetodite juurde.

Meie püstitatud hüpoteesi järgi seisneb võõrandumise oluline põhjus **mõtlemisviisis**, mida Eesti koolifüüsika kujundab. Praegune füüsikaõpe Eesti koolis vastab teadusliku mõtlemise teisele faasile, kus kasutatakse füüsikaseadusi põhiliselt nende kvantitatiivsel, rangelt matemaatilisel kujul. Sellise õpetamise eesmärgiks on kujundada õpilastel **täppisteaduslik mõtlemisviis**. Paraku on selline mõtlemine enamikule õpilastele arusaamatu ning raskesti mõistetav, sest reeglina jäetakse vahele teadusliku mõtlemise esimene faas, mis tugineb visualisatsioonidele, analoogiatele ja kvalitatiivsetele seostele. Teadusliku mõtlemise korral on selle faasi läbimine aga tingimata tarvilik. Meie nimetame sellist mõtlemisviisi **loodusteaduslikuks mõtlemisviisiks**.

Selline füüsikaõppele lähenemine pole midagi erakordset. Füüsikaseaduste tundmist ja kasutamist kvalitatiivsel tasemel nõuab näiteks **USA haridusstandardi** baasil töötav **Everyday Learning Corporation** oma keskkooli loodusteadusi käsitlevas kursuses. Eelnimetatud kursuse õppe-eesmärkide kohaselt peab õpilane näiteks teadma, et gravitatsioonijõud on tõmbejõud kahe teatud massiga keha vahel, jõu suurus on võrdeline massidega ning väheneb kiiresti kehadevahelise kauguse suurenedes. Kuid gravitatsiooniseaduse valemit ei pea teadma.

Kvalitatiivse faasi olulisust füüsikaõppes on rõhutanud mitmed tunnustatud füüsikadidaktikud nagu USA professor **A. Arons** ja Soome professor **K. Kurki-Suonio**.

Aronsi üks teese on "Enne mõiste, siis termin!" Äraseletatult tähendab see, et uute mõistete sissetoomist ei tohi alustada definitsioonist. Algul tuleb katsete, näidete, demodega luua uuest mõistest ettekujutus ja lõpetada käsitlus defineerimise ja ühikute sissetoomisega.

Kurki – Suoniolle kuulub lause: "Kes ei oska füüsikat õpetada ilma valemitega, ei oska üldse füüsikat õpetada!" See ei tähenda valemite eitamist, kuid rõhutab seoste olemusliku mõistmise eelistamist formaalsetele matemaatilistele avaldistele.

Väga ilusasti võtab kokku nähtuste kvalitatiivse kirjeldamise Nobeli füüsikapreemia laureaat **Richard Feynman**: "Teaduse arenedes tahame teada saada midagi rohkemat, kui lihtsalt valemit. Alguses me vaatleme nähtust, siis saame mõõtmiste abil arvud ja lõpuks leiame seaduse, mis seob neid arve. Kuid teaduse suurus seisneb selles, et me suudame leida ka arutluse, milles ilmneb seaduse olemus."

Käesolev kursus ongi pühendatud koolifüüsika kvalitatiivsele küljele ja sellega kujundatavale **loodusteaduslikule mõtlemisviisile (LTMV)**.

Kursuse konkreetseks eesmärgiks on anda ülevaade loodusteaduslikust mõtlemisviisist ja selle kasutamisevõimalustest füüsika õpetamisel nii põhikoolis kui gümnaasiumis.

Käesolev konspekt koosneb kahest osast. Esimeses osas antakse ülevaade mõtlemisviisidest ja põhjendatakse LTMV vajalikkust koolifüüsikas. Teises osas näidatakse, kuidas **põhikooli füüsikaõppes** saaks kasutada LTMV printsiipe.

Materjali esitamisel on järgitud põhikooli füüsikakursust, mille ainekava on vastu võetud 2011.a.

Kuna tegemist pole süstemaatilise füüsikakursusega, siis pole pööratud suurt tähelepanu valemitele ja ühikutele, sest neid leiab igast füüsika õpikust. Ei ole ka kõiki mõisteid seletatud, sest materjali esitus eeldab õppijalt füüsikateadmisi vähemalt kursuse *LoTe.01.091 Füüsikaline maailmapilt* tasemel.

Konspekti LTMV teoreetilise osa aluseks on suuresti H. Voolaiu hoitud ETF grandi *Eesti kooliõpilase loodusteadusliku mõtlemisviisi kujundamine füüsika ulatuslikumal seostamisel teiste loodusainetega* tulemused, mis saadi aastail 1999 - 2001.

Täiendavat materjali, eriti praktilise õppetöö jaoks leiab Eesti füüsika portaalist: www.fyysika.ee/opik/

1. Teoreetilised alused

2. Mõtlemisviisid

Mõtlemisviise võib piiritleda eelkõige indiviidi tegutsemismotiivide või eesmärkide põhjal, laskumata mõtlemispsühholoogia üksikasjadesse. Siin ja edaspidi mõistame **mõtlemisviisi** all indiviidile omast info töötlemise meetodit ning **meetodi** all korrastatud tegevust mingi eesmärgi saavutamiseks. Mõtlemisviise võib jaotada kolmeks: **teaduslik, mütoloogiline ja pragmaatiline**². Loomulikult ei esine ükski mõtlemisviis tegelikkuses puhtal kujul ja reaalsete õpilaste mõtlemisviis on enamasti eklektiline segu neist kolmest.

Teaduslikku mõtlemisviisi on defineeritud mitmeti ja ühest definitsiooni pole õnnestunud leida. Meie nimetame teaduslikuks mõtlemisviisi, mille korral *info töötlemine tugineb teaduse meetodile eesmärgiga luua põhjuslike seoste süsteem*. Seda süsteemi rakendatakse loodusnähtuste seletamisel ja uute teadmiste saamisel. Teaduse meetodi olulisteks tunnusteks on: eelnevast kogemusest lähtuv küsimuse püstitus (probleem), võimalik vastusevariant (hüpotees), hüpoteesi eksperimentaalne, vaatluslik, vms. kontroll ja järelduse tegemine hüpoteesi õigsuse kohta. Teaduslik mõtlemisviis eeldab **looduse** kirjeldamise, seletamise ja ennustamise võimalikkust teatava piirini ja katsetele tugineva põhjendatud usu tekkimist loodusseaduste vääramatusse. Teaduslikule mõtlemisviisile on omane teadmine, et loodusnähtusi pole põhimõtteliselt võimalik lõpuni mõista.

Mütoloogilise mõtlemisviisi korral *tugineb info töötlemine eksperimentaalselt (teaduslikult) põhjendamata usule eesmärgiga luua seoste süsteem, mille elemendid ei pea olema põhjuslikult seotud*. Seda süsteemi rakendatakse uute teadmiste saamisel. Mütoloogilise mõtlemisviisi kohaselt võib sündmuste käik maailmas alluda mingitele

² H. Voolaid, K. Tarkpea, O. Krikmann, A. Luik, E. Pärtel, J. Susi, M. Seeba, U. Tamm, K. Timpmann, E. Öpik. *Loodusteaduslik mõtlemisviis koolifüüsikas*. EFS aastaraamat 1999, 99 – 108, Tartu, 2000

kõrgematele jõududele, mis ei pruugi toimida kindlatele reeglite kohaselt. Infot nende kohta võib saada vastavate jõududega suhtlevatelt autoriteetidelt, kaasa arvatud meediumid, astroloogid ja imearstid. Mütoloogiline mõtlemisviis on sageli inimkeskem ja emotsionaalsem kui teaduslik. Sellega on seletatav ka tema laialdane levik teadusega mitte kokku puutuvate inimeste hulgas.

Pragmaatilise mõtlemisviisi korral *toimub info töötlemine vaid indiviidi isikliku heaolu tagamise nimel, seadmata eesmärgiks ulatuslikemate põhjuslike seoste otsimist*. Piltlikult öeldes huvitab pragmaatikut vaid see, milliste aktsiate hind lähiajal tõuseb. Ta ei tunne huvi põhjuste vastu, mis tingivad ühtede aktsiate hinna tõusu ja teiste hinna langemist. Pragmaatilise mõtlemisviisi kohaselt on süvaseoste otsimine kasutu ajaraiskamine ("... oskate küll seda füüsikat või keemiat, aga palka saate ikkagi vähe"). Pragmaatiline mõtlemisviis ei tegele teadmiste süsteemi loomisega, vaid keskendub taktikalistele eesmärkidele ja peab üldiste, sealhulgas looduse seaduspärasustega tegelemist kasutuks.

3. Teaduslik mõtlemisviis

Piirdume oma arutlustes ainult **loodusteadustes** kasutatava mõtlemisviisiga. Loodusteadustes kasutatavat mõtlemisviisi võib jagada kaheks: täppisteaduslikuks ja loodusteaduslikuks³.

Loodusteaduslik mõtlemisviis (LTMV) on teadusliku mõtlemisviisi liik, mille korral argumentatsiooniks kasutatakse peamiselt eksperimentaalse päritoluga **kvalitatiivseid** (suurem-väiksem) kirjeldusi, seletusi ja ennustusi. Teoreetilised konstruktsioonid on põhiliselt fenomenoloogilised, nähtuste kirjeldamisele tuginevad.

Täppisteaduslik mõtlemisviis (TTMV) on teadusliku mõtlemisviisi liik, mille korral argumentatsiooniks kasutatakse lisaks fenomenoloogiale ka matemaatikale ja loogikale tuginevaid (teoreetilisi) **kvantitatiivseid** (valemi või võrrandina esitatavaid) kirjeldusi, seletusi ja ennustusi. Teoreetilised konstruktsioonid võivad olla **aksiomaatilis-deduktiivsed**.

Sellisel võib jõuda absurdsete tulemusteni. Vaatame näiteks, milliseid valemeid on võimalik üsna lihtsalt konstrueerida. Mehaanika kursusest teame, et töö $A = Fs$. Elektrikursusest teame, et pinge ja töö on ka omavahel seotud: $A = qU$. Ohmi seaduse kohaselt $U = IR$. Eelnevast saame, et voolutugevus $I = Fs / qR$. Aga mida selle valemiga peale hakata? Millist reaalsust see kirjeldab? Millisest jõust käib jutt, mis on teepikkuseks? Sellest võime järeldada, et mitte iga füüsikaliselt korrektne valem ei pruugi kirjeldada tegelikkust.

Esitatud määratlused võivad pealiskaudsel vaatlusel tunduda eksperimendi ja teooria vastandamisena. Tegelikult siin mingit vastandlikkust ei ole. Loodusteadustes ja ka nende õpetamisel kasutatakse pidevalt mõlemat lähenemisviisi, kusjuures LTMV rakendamine on iseloomulik uuritava nähtusega tutvumise algetapil. Kõrgemal tasemel suureneb üha TTMV osa. Kui aga nähtuste seletamisel on **formaliseerimine** (mudelite rakendamine) toimunud liiga kiiresti ja valemeid kasutatakse enne nende mõtte teadvustamist tavakeeles, siis tekivad materjali mõistmisel probleemid, mis olulisel määral pärsivad õpimotivatsiooni ja kahandavad õppeprotsessi efektiivsust.

³ Viimane termin on meie poolt kasutusele võetud 1999.a. ja ei pruugi olla üldtunnustatud.

3.1. Täppisteaduslik mõtlemisviis

TTMV kujundab õppuris veendumuse, et täppis- või tehnikateadustes on kõik täpne. Kui midagi on vaja määrata, tuleb leida valem, mis kindlasti on olemas, panna sellesse lähteandmed, mis samuti kusagil leiduvad, ja kui arvutamisel viga ei teki, siis tulemus on õige ning vaidlustamisele ei kuulu, kuigi ka mõõtemääramatuse hindamine on osa TTMV-st. Paraku on valemid tuletatud ideaalsete objektide ja olukordade jaoks, aga neid rakendatakse reaalsetes olukordades. Sellepärast ei lange arvutatud tulemused sageli kokku mõõdetud tulemustega ja see vähendab oluliselt usku täppisteaduslikku meetodisse.

TTMV kujundamine on olnud eesmärgiks ka Eesti koolifüüsikale. Sellest annavad tunnistust põhikooli ja gümnaasiumi füüsikakursustes esitatavad nõuded õpitulemuste kohta. Põhikooli 53-st seosest nõutakse 21 teadmist matemaatilisel kujul ja gümnaasiumi põhikursustes 73-st seosest 63-l juhul (2012.a. andmed).

3.2. Loodusteaduslik mõtlemisviis

LTMV kasutab uute nähtuste seletamiseks palju analoogiaid tuntud nähtustega ja piltlikke kujundeid. Kasutatakse ka teadmisi, st. teadmisi, mida ei osata täpselt sõnastada, kuid millest tegevuses juhendatakse. Näiteks teavad kõik, et rasked asjad kukuvad lahti lastult maha. Seda teadmist võib mitmete nähtuste seletamisel kasutada, rääkimata sõnagi gravitatsioonist.

LTMV võib vaadelda kui TTMV eelastet. On kindlaks tehtud, et kvalitatiivsed, kujundlikud mudelid, mis eelnevad kvantitatiivsetele, matemaatilistele mudelitele, soodustavad nähtustest arusaamist. Ka füüsikast tõsiselt huvitatud õpilased, kes tahavad ja suudavad jõuda TTMV-ni, vajavad samuti lihtsat ettekujutust nähtustest, mehaanilist piltlikku mudelit, mille alusel kujundada abstraktsemaid mudeleid.

LTMV füüsikas oleme mõnikord nimetanud ka valemiteta füüsikaks. See ei tähenda, et LTMV oleks põhimõtteliselt valemite vaenulik. Vastupidi, seoste meeldejätmisel on valemid väga ratsionaalsed. Aga valemi "väliskuju" mäletamine pole piisav, kui sellega ei kaasne suutlikkus sõnastada valemi mõtet emakeeles. Valem pole tegelikkuse peegeldus, vaid kasutatava mudeli matemaatiline kirjeldus. Seega võib öelda, et LTMV ei ole mitte valemite vastu, vaid arvamuse vastu nagu füüsikas oleks valemid ja nende teisendamine kõige tähtsam.

4. Loodusteaduslik mõtlemisviis koolifüüsikas

LTMV kujundamisel on oluline inimese veendumus, et loodus ja loodusteadused on kaks ise asja. Kõik loodusteadused on inimlooming, mis on tehtud inimeste poolt ja nende jaoks, et saada vastuseid küsimustele looduse kohta.

Loodusteaduslikku mõtlemisviisi võiks nimetada ka **kujundlikuks lähenemiseks** füüsikaprobleemidele. Abstraktne ja meeltega vahetult mitte tajutav nähtus seostatakse millegi käegakatsutavaga, näiteks elektrivool veevooluga, elektromagnetvõnkumine pendli võnkumisega või valguslaine veepinnal leviva lainega. Kui TTMV püüab jõuda uuritavat nähtust kirjeldava valemieni, siis LTMV põhieesmärgiks on mõttekujundi (konstrukti) loomine uuritavast nähtusest. LTMV **ei välista** valemite kasutamist füüsikaõppes (mida oponendid meile sageli ette on heitnud). Valem on aga kohane alles siis, kui nähtuse olemus on n-ö. "näppude abil" selgeks tehtud. Tuleb teadvustada, et **valem pole tegelikkuse peegeldus**, vaid kasutatava mudeli matemaatiline kirjeldus.

Füüsika, mida mõnedes käsitlustes loodusteaduseks ei peetagi, on loodusteadusliku ja täppisteadusliku mõtlemisviisi vahekorra kujundamisel erilises seisundis. Mis mõttes? Selles mõttes, et füüsikas saab kasutada täies ilus nii kvalitatiivset (LTMV) kui kvantitatiivset (TTMV) käsitlust. Kuid alati peab kvantitatiivsele käsitlusele **eelnema** kvalitatiivne, sest muidu osutub üleminek täppisteaduslikule käsitlusele ilma loodusteadusliku etapi läbimiseta suuremale osale õpilastest üle jõu käivaks ja **võib põhjustada loobumist teaduslikust mõtlemisviisist üldse**.

LTMV vajalikkus tuleneb ka asjaolust, et õpilaste matemaatika-alaste oskustega pole kaugeltki kõik korras. Seda näitavad kujukalt matemaatika riigieksamitulemused. Õpilased ei tohiks ju füüsika mõistmisest ilma jääda põhjusel, et füüsikas on kõik matematiseeritud. Kui aga matemaatiline formuleering lisada füüsikanähtuse seletusele alles siis, kui piltlik ettekujutus nähtusest on juba olemas, peaksid õpilased paremini mõistma ka matemaatika rolli tegelikkuse kvantitatiivsel kirjeldamisel.

Kokkuvõtteks võib öelda, et LTMV võiks olla koolifüüsikas normiks, milleni peaksid jõudma kõik õpilased. Loomulikult jääb koolifüüsika sel juhul ka edaspidi tegelema täppisteadusliku mõtlemisviisi kujundamisega, kuid ainult neil õpilastel, kes ilmutavad vastavat huvi ja suutlikkust.

Kui ülaltoodud ideed on haridusüldsusele vastuvõetavad, siis tuleb vastavad muudatused teha ka füüsika riiklikus ainekavas.

5. Füüsika kasutamine teistes loodusainetes

Selgitamaks, kui palju ja milliseid füüsikateadmisi ning -oskusi kasutavad teised Eesti koolis õpetatavad loodusained, analüüsisime bioloogia, geograafia ja keemia riiklikke ainekavasid ja neile vastavaid õpikuid.

Tegime kindlaks õpikuis kasutatavad **mõisted, seadused ja rakendused**, mis on seotud otseselt või kaudselt füüsikaga. Bioloogias leidsime neid 111, geograafias 78 ja keemias 72 (2008.a. andmed). Nendest ainult keemiakursuses kasutati üht füüsikast teadaolevat valemit ($\rho = m / V$). Ülejäänud juhtudel kasutati kvalitatiivseid seoseid suuruste vahel või fenomenoloogilisi ettekujutusi füüsikalise suuruse või mõiste kohta.

Siit nähtub, et loodusainetes kasutatakse valdavalt füüsika **seaduste ja valemite** asemel füüsikaliste suuruste vahelisi **põhjuslikke seoseid** a' la: x suurenedes y väheneb. Sellist füüsikakasutust paraku koolifüüsika ei õpeta ja see süvendab õpilaste veendumust, et füüsikaga pole väljaspool füüsikakabinetti suurt midagi teha.

Ehk kasutades eelpool sissetoodud terminoloogiat võib öelda: **füüsikatunnis õpetatakse TTMV-d, aga mujal läheb vaja LTMV-d**.

II. Praktilised rakendused

6. Optika

Valguse sirgjooneline levimine

Valguse levimist kirjeldatakse **valguskiirte** abil. Need on valgusenergia levimise teed. Valguskiir on puhtas keskkonnas nähtamatu, kuid sogases keskkonnas on nähtav.

Ülesanne tuua näiteid nähtamatutest ja nähtavatest valguskiirtest.

Ühtlases keskkonnas levib valgus sirgjooneliselt. Füüsika keeles öeldakse, et keskkond peab olema homogeenne ja isotroopne.

Homogeenne keskkond ongi ühtlane keskkond, st igal pool on keskkonna keemiline koostis, tihedus, temperatuur, jne. ühesugused.

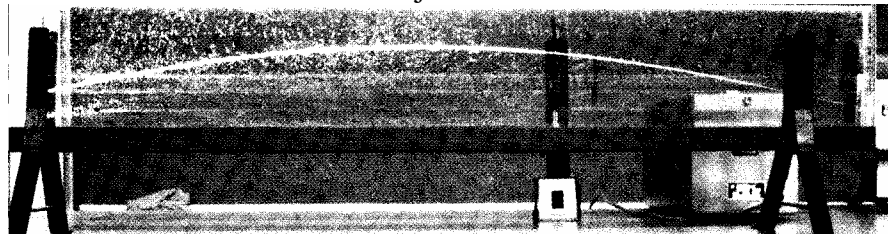
Isotroopne keskkond on selline, kus kõik seda kirjeldavad füüsikalised suurused (näiteks valguse kiirus, soojusjuhtivus, jne.) on ühesugused igas suunas selles kehas.

Kui see nii ei ole, siis on keskkond **anisotroopne**. Sellised on mõned kristallid.

Keskkonna omaduste sõltuvust liikumissuunast saab näidata klassis liikudes: pingiridade vahel saab liikuda kiiremini kui risti pingiridadega.

Katse Laserikiire liikumine puhtas vees, kus on kiire nähtavaks tegemiseks natuke piima lahustatud ja laserikiire liikumine soolveevannis, kus soola kontsentratsioon on kõrgustpidi erinev.

Teise katse tulemus on esitatud joonisel 6.1.



Joonis 6.1. Laserikiire kõverdumine erineva kontsentratsiooniga soolalahuses.

Vanni alumises osas on suurema kontsentratsiooniga soolalahus, kus valguse kiirus on väiksem kui kõrgemal asuvates väiksema soola kontsentratsiooniga piirkondades. Kiire kõverdumise põhjus seisneb valguse murdumise olenevuses lahuse kontsentratsioonist. Täpsemat seletust ei saa enne anda, kui on läbi võetud valguse murdumine ja täielik peegeldumine.

Aga võibolla levib sirgjooneliselt ainult laserikiir, kui keskkond on ühtlane? Tuleks seda tõestada ka tavalise valguse korral. Väga levinud tõestuseks peetakse kehast tekkivaid teravate servadega varje, kui kasutada punktvalgusallikat.

Kuid terava servaga varje võib saada ka siis, kui valgus ei levi sirgjooneliselt (vt. Joonist 6.2.)!



Joonis 6.2. Varju tekkimine valguse sirgjoonelise leviku korral (a) ja kõverjoonelise leviku korral (b). S – valgusallikas, K – keha, V- vari ekraanil.

Probleem. Kuidas kontrollida, kumb variant on õige?

Liitvalgus, värvused

Valgeks valguseks nimetatakse Päikeselt tulevat valgust ehk päikesevalgust, mis sisaldab kõikvõimalikke värvilisi valgusi. Sageli öeldakse päikesevalguse asemel päevavalgus, mille all mõistame valgust, mis tuleb päevasel ajal nii selgest taevast kui läbi pilvede. Tinglikult võib valgeks pidada ka hõõglambi valgust, kuigi selles on punast ja kollast valgust rohkem kui päevavalguses. Paremini sarnaneb päevavalgusele säästupirni valgus.

Kõiki värvusi on võimalik saada, kui liita erinevas vahekorras kahte või kolme põhivärvust. Värvuste liitmiseks tuleb erinevat värvi valgused näiteks juhtida valgel taustal ühte kohta. **Põhivärvused on punane (R), roheline (G) ja sinine (B)**. Neid värvusi kasutatakse ka televiisori või arvuti ekraanil värvilise pildi tekitamiseks.

Televiisori või arvuti kuvari ekraan on kaetud põhivärvusi kiirgavate täpikestega (pikslitega) mille heledust saab muuta. Pikslid asuvad ekraanil üksteisele nii lähedal, et meie silm ei suuda neid eristada ja nende valgused liituvad meie silmas iseenesest. Värvuste liitmist ei tohi segi ajada värvide liitmise ehk segamisega. Kui segada punast, rohelist ja sinist värvi, saame tulemuseks mingi tumeda värvi, pruunikas-musta.

Valge valguse komponente saab nähtavaks teha, kui lasta valget valgust valgele ekraanile läbi erinevat värvi valgusfiltrite (värviliste klaaside). Siis näeme ekraanil just seda värvi valgust, millist värvust laseb filter läbi: punase klaasi korral punast valgust ja sinise klaasi korral sinist valgust

Kehade värvus oleneb sellest, mis värvi valgusi keha peegeldab (hajutab). Kui keha ei peegelda ühtki värvi valgust, siis on ta must. Kui aga peegeldab kõiki värvusi, on ta valge.

Katse erinevat värvi kehade valgustamine eri värvi valgustega.

Valguse peegeldumine

See on valguse tagasipöördumine kahe keskkonna lahutuspinnalt sinna keskkonda, kust valgus tuli. Selle seaduspärasustega tutvumiseks teeme mõned katsed.

KATSED

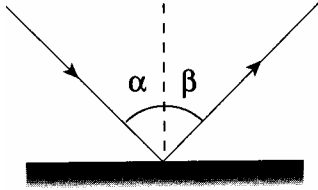
Valguse peegeldumine. Laseme tasapeeglile laserikiire ja näitame, kuidas peegli kallutamise abil saab nihutada peegeldunud valguse laiku ekraanil.

Valguse hajumine. Asendame eelmises katses peegli valge paberiga ja otsime peegeldunud laserikiirt, aga seda enam pole, kuigi peegeldunud valguse kuma on ekraanil olemas

Peegeldusseaduse uurimine optilise kettaga. Mõõdame langemis- ja peegeldumisenurki ja võrdleme neid.

Katsetulemuste mõistmiseks peame teadma, mis toimub valguskiirtega peegeldumisel.

Peegeldumisel kehtib **peegeldumise seadus**: peegeldumisel on langemisenurk ja peegeldumisenurk võrdsed. Tavaliselt lisatakse ka, et langev kiir, peegelduv kiir ja langemispunkti tõmmatud pinna ristsirge on kõik ühes tasandis.

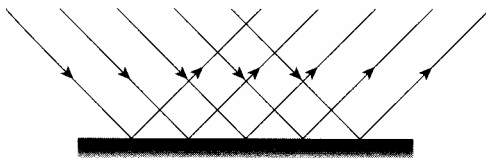


Joonis 6.3. Valguse peegeldumine. Langemisnurk - α , murdumisnurk β .

Kui pind, kuhu valgus langeb, on sile, siis kehtib peegeldumisseadus ka kiirte kimbu jaoks, kus kiired on omavahel paralleelsed. Sellist siledat pinda nimetatakse **peegelpinnaks**. Kui peegelpind on tasand, siis on tegemist **tasapeegli**ga.

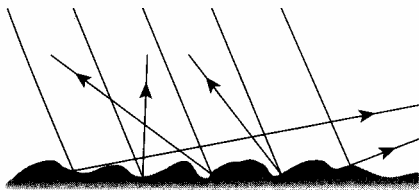
Pinda võib siledaks lugeda, kui pinna konaruste mõõtmed on väiksemad kui valguse lainepikkus. See tähendab, et pinnal ei või olla muhkusid ja lohke, mille sügavus on suurem kui ca 100 nm ehk kümnetuhandik millimeetrit.

Aga alati ei pea sile peegel olema nii väikeste konarustega. Vaadake või TV paraboolantenne, mis peegeldavad raadiolaineid. Need pole sugugi väga siledad. Aga ka seal on konarused ikkagi palju väiksemad antennile langevate lektromagnetlainete lainepikkusest, mis on detsimeetri suurusjärgus.



Joonis 6.4. Paralleelse kiirtekimbu peegeldumine siledalt pinnalt

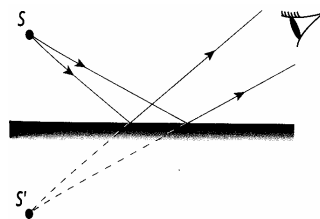
Kui pind, kuhu valgus langeb ei ole sile või kiirtekimp ei ole paralleelne, siis ei teki korrapärast peegeldust. Iga kiir peegeldub ise suunas ja sellise olukorra kohta öeldakse, et **valgus hajub** laiali. See tähendab, et valguskiired levivad pärast peegeldumist kõikvõimalikes suundades. Kõik pinnad peale peegelpindade hajutavad valgust. Tänu valguse hajumisele meid ümbritsevatelt kehadelt me neid näeme.



Joonis 6.5. Paralleelse kiirtekimbu hajumine ebatasaselt pinnalt.

Kujutise asukoha leidmine

Tasapeegel annab esemest näiva kujutise, st. et meile näib, nagu lähtuksid valguskiired peegli tagant. Kujutis on sama suur kui ese ja selle kaugus peeglist on sama suur kui eseme kaugus peeglist.



Joonis 6.6. Punktvalgusallika S kujutise S' asukoha leidmine

Probleem tõestada teoreetiliselt, et kujutis tasapeeglis on peegli taga samal kaugusel kui on esemest peegliini. Kuidas seda katseliselt kontrollida.

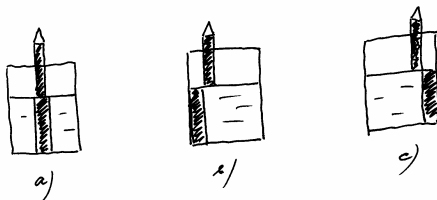
Probleem Vaatame ennast peeglist ja pilgutame üht silma. Peegelpildis pilgub samapoolne silm. Võtame nüüd kaks peeglit ja asetame nad nurgeti kokku nii, et nurk peeglite vahel on 90° . Kui nüüd üht silma pilgutada, siis peegelpildis pilgub kõrvalolev silm. Kuidas nähtust seletada?

Demonstratsioon “Jänesekast”.

Valguse murdumine

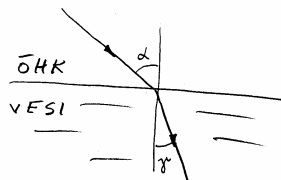
Kui valguskiir läheb ühest keskkonnast teise, siis kiire suund muutub. Sellist nähtust nimetatakse valguse **murdumiseks**.

Valguse murdumist saab vaadelda, kui suunata laserikiir õhust vette. Selleks, et kiir oleks nähtav, peaks õhk olema suitsune ja vesi natuke sogane, näiteks piimane. Paneme tähele, et valgus muudab ainult siis levimissuunda, kui kiir ei lange veepinnale risti. Kui kiir langeb veepinnale risti, siis ta levib edasi suunda muutmata. Murdumistähtust saab vaadelda ka ilma laserita. Võtame pooleliitrilise purgi ja täidame poolenisti veega ning sorkame sinna sisse pliitasi. Olenevalt selle asukohast, näeme erinevaid pilte, mis on tingitud just valguse murdumisest.



Joonis 6.6. Pliiats ja selle kujutis veega poolenisti täidetud purgis.

Valguse murdumist selgitab järgmine joonis.

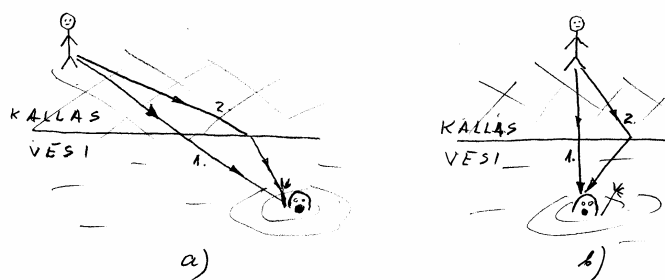


Joonis 6.7. Valguse murdumine. Langemisnurk - α , murdumisnurk - γ .

Kui kiir läheb hõredamast keskkonnast tihedamasse, siis on murdumisnurk väiksem langemisnurgast. Kui aga üleminek toimub tihedamast keskkonnast hõredamasse, siis on murdumisnurk suurem langemisnurgast. Näiteks vesi on tihedam keskkond kui õhk (tihedus on suurem).

Valgus levib alati teed mööda, mille läbimiseks kulub **minimaalne aeg**. See on looduse omapära. Kui keskkond muutub, peab valgus muutma oma levimisteed, sest valguse kiirus on erinevus erinevates keskkondades erinev.

Õeldut aitab mõista paremini näide sellest, kuidas jõuda kiiremini uppujat päästma.



Joonis 6.8. Uppuja päästmine kahel juhul kui tuleb joosta kaldajoonega kaldu (a) või risti (b)

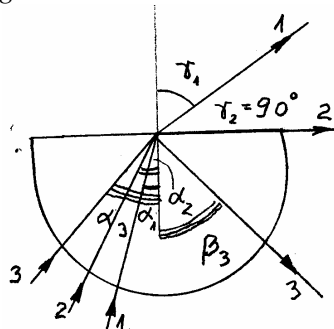
Kuna päästja jookseb kiiremini kui ujub, siis juhul a) ei ole sirge tee (1.) uppujani kõige kiirem tee. Ilmselt tuleks vähendada ujumise teed jooksutee pikenedes arvel ja valida trajektoor 2. Kui päästja saab joosta uppujani risti kaldajoonega (b), siis on otsetee (1.) kiirem kõikidest tesitest variantidest, näiteks 2.

Samal põhjusel muudab valgus kahe keskkonna lahtuspääsile kaldu langedes suunda, aga risti langedes ei muuda.

Täielik peegeldumine

Teatavatel tingimustel võib valgus kahe keskkonna lahtuspinnalt täielikult tagasi peegelduda. See võib juhtuda siis, kui valgus läheb tihedamast keskkonnast hõredamasse. Sel juhul on murdumisnurk suurem kui langemisnurk. Alates mingi langemisnurga väärtusest peaks murdumisnurk saama suuremaks kui 90° . Kuna see pole võimalik, peegeldub valgus esimesse keskkonda tagasi.

Katse Kasutage klaasist poolsilindrit ja juhime läbi selle laserikiire nagu joonise näidatud. Kui kiir jõuab klaasi ja õhu lahtuspinnani, siis ta murdub ja ka osaliselt peegeldub. Joonisel pole näidatud kiirte 1 ja 2 korral klaasilindrisse peegeldunud kiiri, mis tegelikult on isegi nähtavad.



Joonis 6.9. Valguse läbimine klaasist poolsilindrist, mis asub õhus.

Kiire 1 murdumisnurk γ_1 suurem kui langemisnurk α_1 , sest klaas on tihedam aine kui õhk. Kiire 2 korral on langemisnurk α_2 selline, et murdumisnurk $\gamma_2 = 90^\circ$. Sellist langemisnurka nimetatakse **täieliku peegeldumise piirnurgaks**.

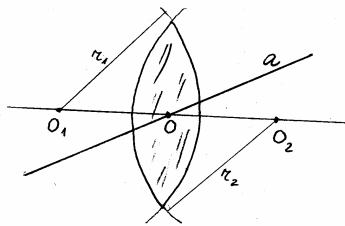
Kiire 3 korral on langemisnurk α_3 suurem kui α_2 ja nüüd ei saa valgus enam murduda teise keskkonda, sest murdumisnurk üle 90° on võimatu. Sellepärast peegeldub valgus tagasi esimesse keskkonda nii, et peegeldumisnurk β_3 on võrdne langemisnurgaga α_3 . Katse korral tuleb tähele panna peegeldunud kiire heleduse tõusu, kui murdunud kiir kaob. See on kaudselt tõestuseks, et kogu valgus peegeldub nüüd tagasi. Sellepärast nimetataksegi nähtust **täielikuks peegeldumiseks**. Peegeldumise täielikkuse tõsisemaks kontrollimiseks tuleks mõõta valguskiirte intensiivsusi.

Valguse täielikku peegeldumist kasutatakse palju. Tänapäeval on üks levinumaid kasutusalasid optiline side valgusjuhtide kaudu. Valgusjuhiks on peenike, mõne kümnendiku millimeetrilise läbimõõduga fiiberkiud, mis on valmistatud kvartsklaasist (SiO_2). Selles levib valguskiir siseseintelt peegeldudes kiu ühest otsast teiseni.

Katse laserikiir läbi valgusjuhi ja valguse levimine piki veejuga.

Läätsed

Lääts⁴ on mingi läbipaistev keha, mille pindadeks on kahe kerapinna osad. Sirget, mis läbib nende kerade keskpunkte nimetatakse läätsse **optiliseks peateljeks**. Kõik teised sirged, mis läbivad läätsse keskpunkti on **optilised teljed**.



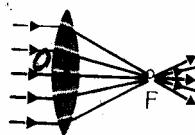
Joonis 6.10. Lääts ja selle optilised teljed. O_1 ja O_2 – läätsse pindu moodustavate kerade keskpunktid, r_1 ja r_2 – nende pindade raadiused, O_1OO_2 – läätsse optiline peatelg, a – läätsse üks optiline telg.

Läätsi liigitatakse kumer- ja nõgusläätsedeks. **Kumerläätsed** on keskelt paksemad kui äärest ja nende tähiseks on \uparrow . **Nõgusläätsed** on keskelt õhemad kui äärest ja nende

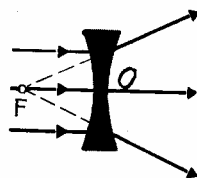
tähiseks on \downarrow . Läätsesid kasutatakse kiirte koondamiseks või hajutamises. Nad võivad tekitada esemest nii näivaid kui tõelisi kujutisi.

Tõelist kujutist saab ekraanile projitseerida, **näivat kujutist** ei saa.

Läätsi kirjeldatakse **fookuskauguse** f abil, milleks on kaugus läätsse keskpunkti selle punktini, kus lõikuvad läätsse läbinud kiired OF (koondava läätsse korral)

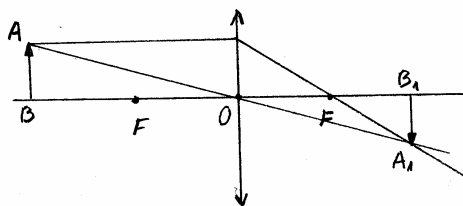


või kiirte pikendused (hajutava läätsse korral).

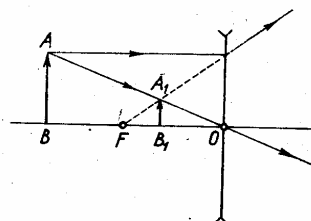


Kehtib seos $D = 1/f$, kus suurust D nimetatakse läätsse **optiliseks tugevuseks**. Selle mõõtühikuks on 1 dioptria (dpt), mis on sellise läätsse optiline tugevus, mille fookuskaugus on 1 meeter. Kumerläätsse optilist tugevust peetakse positiivseks suuruseks, nõgusläätsse oma negatiivseks.

⁴ Lääts on nime saanud taime *harilik lääts* (*Lens culinaris*) vilja kuju järgi.



Joonis 6.11. Kumerlääts tekitab esemest AB tõelise kujutise A_1B_1 .



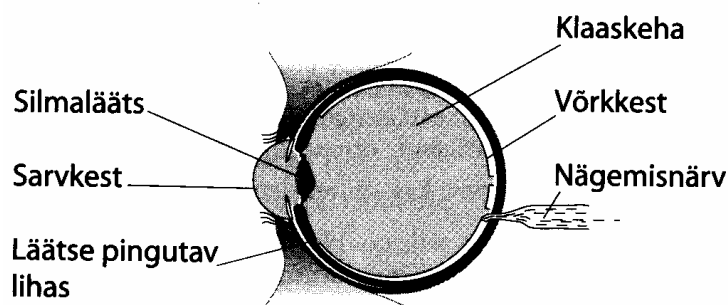
Joonis 6.12. Nõguslääts tekitab esemest AB näiva kujutise A_1B_1 .

Katsed Antud on üks kumerlääts ja üks nõguslääts ning valgusallikas, läätselõhaja, joonlaud ning ekraan.

- Teeme kindlaks, kumb kahest läätselõhast koondab, kumb hajutab valgust.
- Teeme kindlaks, kas nii koondava kui hajutava läätselõhaga on võimalik saada esemest ümberpööratud kujutist. Kas kujutisel on ära vahetatud ülemine ja alumine pool, vasak ja parem pool või mõlemad pooled?
- Määrame koondava läätselõhaga fookuskauguse kauge valgusallika ja joonlaua abil. Teeme kindlaks, kas läätselõhast on kaks fookust ja kas mõlemad fookuskaugused on võrdsed? Leiame läätselõhaga optilise tugevuse.
- Teeme kindlaks, kudas tekitavad läätselõhast näiva kujutise.
- Katame poole läätselõhast paberiga kinni ja vaatame, mis juhtub kujutisega.

Silm

Füüsika jaoks on silm optiline süsteem, mis koosneb mitmetest osadest. Kujutise tekitamise seisukohalt on olulisim silmalääts, mis normaalse silma korral tekitab esemest kujutise silma võrkkestale.



Silma lihased muudavad silmaläätselõhast kumerust ja see võimaldab näha nii lähedasi kui kauged esemeid. Seda silma omadust nimetatakse **akkommodatsiooniks**. Kõige paremini näeb normaalne täiskasvanud inimese silm esemeid, mis on silmaläätselõhast 25 cm kaugusel. Seda kaugust nimetatakse **parima nägemise kauguseks**.

Inimesel on üks silm **juhtsilma**: meie nägemistaju on määratud juhtsilmas tekkiva kujutisega, teine silm tekitab ruumilisuse efekti.

Katse Juhtsilma leidmine.

Vaatame kahe silmaga ja sihime sõrmega mingit kauget eset. Kui kordamööda silmi kinni pigistada, siis ühel juhul jääb sõrm eseme kohale, teisel juhul hüppab sõrm esemest kõrvale. Silm, millega vaadates sõrm jääb eseme kohale on juhtsilma.

Kui kujutis langeb kohale, kust nägemisnärv silmast välja läheb, ei teki kujutist, sest seal pole retseptoreid. See on nn. **pimetäpp**.

Katse Pimetäpi leidmine

Vaatame ühe silmaga kaugusse ja nihutame väljasirutatud käes olevat pliiatsit otse eest küljele. Mingis kohas kujutis kaob. Siis satubki kujutis pimetäpile.

Enamuse infost saab inimene silmade abil. Kuid ometi on olukordi, kus võime näha midagi sellist, mis pole tegelikkusega kooskõlas. Selle kinnituseks teeme mõne katse.

Katse

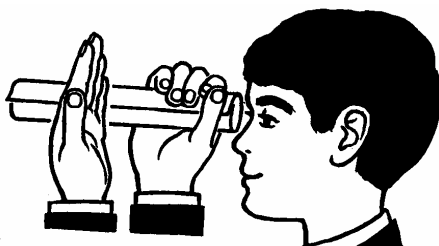
Võtame kaks pliiatsit otsapidi teine teise kätte ja hoiame neid nii, et üks oleks teise taga. Pliiatsite vahele jätame paarkümmend sentimeetrit ja vaatame neid kahe silmaga. Kui me teravustame pilgu kaugemale pliiatsile, siis paistab lähem pliiats kahekordselt ja vastupidi, vaadates teraselt lähemat pliiatsit näeme kaugemat kahekordselt. Kui pliiatseid vaadata ühe silmaga, siis sellist nähust ei esine.

Katse

Asetame parema ja vasaku käe nimetissõrmed vastakuti silmade kõrgusele 15 – 20 cm kaugusele silmadest. Sõrmeotste vahele jätame umbes 1 cm vahe ja vaatame sõrmede vahel kaugusse. Siis näeme, et sõrmede vahel hõljub üks lühike sõrmejupp, küüüned mõlemas otsas. Kui üks silm kinni pigistada, siis illusioon kaob.

Katse

Keerame paberist mõnesentimeetrilise läbimõõduga 30 – 40 cm pikkuse toru. Paneme toru ühe silma ette. Toru kõrvale asetame avatud peopesa või raamatu. Kui vaadata mõlema silmaga samaaegselt kaugusesse näeme, et meie peopessa (või raamatusse) tekib auk, läbi mille on kõik selgelt näha.



Küsimusi

1. Päikesepaistelise ilmaga on väljas olevatel kehadel varjud, aga pilves ilmaga mitte. Miks?
2. Mis värvi on lumi?
3. Kas värvilised kehad on alati värvilised?
4. Mis värvi paistab punase pliiatsiga valgele paberile kirjutatud tekst vaadatuna läbi sinise klaasi?
5. Miks paistavad suvel selge ilmaga järved sinised, pilves ilmaga aga hallid?
6. Kas on võimalik näha sügava kaevu põhjas Päikese peegeldust?
7. Millise langemisnurga korral on peegeldunud ja langenud kiir omavahel risti?
8. Millisel tingimusel võib tasapeegel anda tõelise kujutise?
9. Kuidas kontrollida, kas tasapeegel annab esemest sellega sama suure kujutise?

10. Kuidas Ahhaa peegellabürindis teed leida?
11. Kui lähened peeglile kiirusega 1 m/s, kui suure kiirusega läheneb sulle kujutis peeglis.
12. Kas valgus saab minna ühest keskkonnast teise nii, et levimissuund ei muutu?
13. Miks silledavad vees olevad õhumullid päikesevalguses?
14. Mille poolest erineb täielik peegeldus tavalisest peegeldusest?
15. Miks optilise peateljega paralleelsed kiired koonduvad läätse fookuses?
16. Millistel tingimustel kumerläätis hajutab valgust ja nõgusläätis koondab?
17. Näivat kujutist ei saa projekteerida ekraanile. Kuid kas seda saab fotografeerida?
18. Kes näeb vee all ilma maskita ujudes paremini, kas lühinägija või kaugnägija?
19. Kas silma võrkkestale tekib vaadatavast esemest päripidine või überpööratud kujutis?

Tarkusi

- Ühtlases keskkonnas levib valgus sirgjooneliselt
- Valge valgus on liitvalgus, mis sisaldab kõik nähtavaid värvilisi valgusi
- Keha on seda värvi, mis värvi valgust ta peegeldab (hajutab)
- Ebakorrapärasest peegeldumist nimetatakse hajumiseks
- Langemis- ja murdumisnurki mõõdetakse pinna ristsirge (normaali) suhtes
- Tasapeeglis asub kujutis peegli taga ja on alati näiv.
- Valgus levib teed mööda, mille läbimiseks kuluv aeg on minimaalne
- Üleminekul tihedamast keskkonnast hõredamasse võib valgus täielikult peegelduda.
- Kumerläätis võib anda nii tõelisi kui näivaid kujutisi.
- Nõgusläätis annab ainult näivaid kujutisi.
- Läätse fookuskauguse pöördväärtus on läätse optiline tugevus: $D = 1/f$.

7. Mehaanika

Liikumine

Kuidas me aru saame, et keha liigub? Selle järgi, et alguses on keha ühes kohas, natukese aja pärast teises kohas. Füüsikas öeldakse, et **liikumine on keha asukoha muutumine**.

Kas võib ka nii juhtuda, et kehad liiguvad, aga nagu ei liigu ka? Keeruline küsimus. Aga kujutame ette, et jalutame sõbraga. Kas me liigume? Jah! Aga samal ajal on mul temaga juttu ajada sama hea kui paigal seistes. Võin talle ka kommi pakkuda ja ta saab selle rahulikult kätte. Katsu sa aga autoga mööda sõitvale sõbrale kommi pakkuda! Ei tule midagi välja.

Jalutamisel me seisame sõbraga teineteise suhtes paigal, aga liigume Maa suhtes. Sellepärast öeldaksegi, et **liikumine on suhteline**.

*** *Tooge näiteid liikumise suhtelisusest.*

Aga miks me ikka sõbra suhtes ei liikunud? Sellepärast, et me liikusime koos, ühesuguse kiirusega.

Kasutatakse kaht kiiruse mõistet: keskmise- ja hetkkiirus.

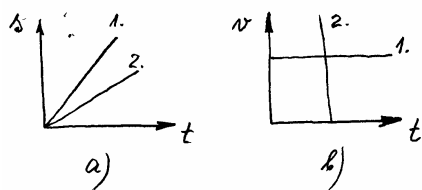
Keskmine kiirus on võrdne läbitud teepikkuse ja kogu liikumisaja jagatisega. Aja hulka loetakse ka peatusteks kulunud aeg.

Kui on teada keskmine kiirus ja liikumise aeg, saame arvutada läbitud tee pikkuse: $s = vt$. Kui on teada teepikkus ja kiirus, saame arvutada liikumise aja: $t = s/v$. Neid valemeid saab kasutada ka siis, kui liikumine toimub jääva kiirusega.

Tegelikult võib olla liikumise kiirus igal hetkel erinev. Sellist kiirust, mida keha omab antud hetkel või antud trajektoori punktis, nimetatakse **hetkkiiruseks**. Ühtlase kiirusega liikumisel, kui pole seisakuid, pole ka vahet keskmisel- ja hetkkiirusel. Aga kui liikumine pole ühtlane, st et ühesuguste ajavahemike jooksul läbitakse erinevad teepikkused, on tegemist muutuva liikumisega.

Probleem Kuidas leida teepikkust, kui kiirus muutub?

Liikumist kirjeldatakse mitmesuguste graafikutega. Mida võib öelda järgmistel graafikutel esitatud liikumiste kohta?



Jõud

Looduses kehtib **seadus**, mille kohaselt iga keha püsib paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt seni, kuni talle ei mõju jõud või kui mõjuvate jõudude summa on null. Jõudude nullsumma kohta öeldakse ka, et **resultantjõud** on võrdne nulliga või **mõjuvad jõud** on **kompenseerunud** ehk **kompenseerivad üksteist**. Kompenseerima tähendab eesti keeles *tasakaalustama*.

Näiteks kui ma hoian käes portfelli, siis on tasakaalustatud ehk kompenseeritud portfellile mõjuv raskusjõud ning minu lihaste jõud ning portfell püsib paigal. Kui ma portelli lahti lasen, kukub see maha, sest nüüd pole enam jõud tasakaalus.

Liikuva keha kiiruse või paigaloleku jäävuse **nähtust** nimetatakse **inertsiks** (*inertia* ld. k. *loidus, laiskus*).

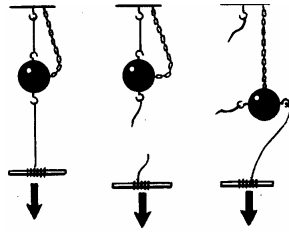
Sageli aetakse inertsiga segamini inertsusega, aga seda ei tohi teha, sest inerts on nähtus, aga **inertsus** keha **omadus**.

Inertsus on kõikide kehade omadus, mis seisneb selles, et keha kiiruse muutmiseks antud suuruse võrra peab teda mõjutama mingi jõuga teatud aja jooksul. Mida suurem on see aeg, seda inertssem on keha. Inertsuse mõõduks on keha mass.

Selleks, et muuta keha liikumisolekut, tuleb sellele rakendada jõudu. Mida suurema massiga keha on, seda inertssem ta on, seda suuremat jõudu on vaja rakendada selle liikumapanemiseks või kiiruse muutmiseks.

Katse Õrna eseme löömine haamriga läbi raske eseme.

Probleem. Peene niidi otsa on riputatud raske kera. Kera külge on altpoolt kinnitatud teine samasugune niit. Kui alumisest niidist järsku tõmmata, kumb niit siis katkeb: kas alumine või ülemine niit? Aga kui tõmmata alumisest niidist aeglaselt, kumb niit siis katkeb?



Jõudude liigid

Jõu avaldumiseks peab olema vähemalt kaks keha: üks mis avaldab jõudu ja teine millele jõud mõjub. Jõud on ühe keha võime muuta teise liikumist või kuju. Meie käsitleme raskusjõudu, elastsusjõudu ja hõõrdejõudu.

Raskusjõud on jõud, millega Maa tõmbab enda poole temal asuvaid kehi. Seda nähtust nimetatakse **gravitatsiooniks**. Miks esineb selline tõmbumine? Täielikku seletust nähtusele veel pole. Tõmbumist seletatakse gravitatsioonivälja toimega, kuid gravitatsioonivälja vahendajaid, gravitatsioonikvante (gravitone) pole katsetes suudetud avastada.

Raskusjõu suurus leitakse valemist $F_r = mg$, kus F_r on raskusjõud, m keha mass ja g on võrdetegur, mis seob jõu ja massi. Maa peal on g väärtus $9,8 \text{ N/kg} \approx 10 \text{ N/kg}$. Raskusjõud on alati suunatud Maa keskpunkti poole.

Tavakeeles öeldakse raskusjõu asemel **kaal**, kuid füüsika keeles on need erinevad mõisted. Kaaluks peetakse füüsikas jõudu, millega keha mõjub oma alusele või riputusvahendile (oleneb kas keha toetub millelelgi või ripub).

Kaalu ja raskusjõu erinevust saab näidata lihtsa katsega.

Katse vedru otsas rippuva keha kaalu kadumine vabal langemisel

Miks katses vabaks lastud vedru kokku tõmbus? Kas nüüd enam ei mõjunud vedru otsas olevale kehale raskusjõudu? Mõjus ikka. Aga nüüd sai vedru koos kehaga kaasa liikuda ja ei veninud enam välja. Tundub, et keha kaal kadus ära, sest riputusvahendile enam jõudu ei mõjunud! Ja nii ongi. Kõik vabalt langevad kehad on **kaaluta olekus**. Täpsustuseks tuleb öelda, et **vaba langemine** on liikumine raskusjõu toimel õhutihedas ruumis. Raskete kehade langemist õhus võib ka lugeda vabaks langemiseks, sest nende korral on õhu takistusjõud võrreledes raskusjõuga tühine.

Katse Langemiskiiruse olenevus keha suurusest ja massist: raamat ja paberileht (võrdne suurus, erinev mass).

Elastsusjõud

Kui me vedru venitame või kokku surume, siis tunneme, et miski takistab seda. Kui me vedru lahti laseme, võtab see esialgse pikkuse tagasi. Ka lössi litsunud tennispall võtab oma kuju tagasi, kui see vabaks lasta. Seda jõudu, mis keha esialgse kuju taastab, nimetatakse **elastsusjõuks** F_e .

Me teame, et ained koosnevad molekulidest ja molekulid hoiavad kindlat vahekaugust üksteisega. Kui neid üksteisele liiga lähedale suruda, siis nad hakkavad eemale tõukuma. Kui neid aga üksteisest liiga kaugele venitada, siis nad hakkavad tõmbuma. Sellist olukorda võib iseloomustada järjekorras seisvate inimestega. Kui naaber sulle liiga lähedale trügib, siis lükkad teda eemale. Kui aga eesmine naaber liiga kaugele läheb, lähed talle järele, et keegi vahele ei tuleks.

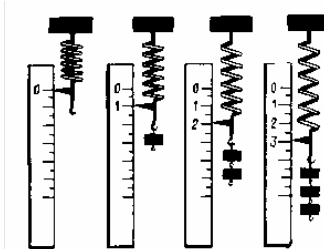
*** *Tooge näiteid kehadest, mis pärast venitamist oma kuju tagasi võtavad.*

Mida rohkem me vedru venitame, seda tugevat vastupanu see osutab. Öeldakse, et elastsusjõud on seda suurem, mida suurem on **deformatsioon**. Füüsikas nimetatakse keha mõõtmete muutmist deformatsiooniks.

Katse Statiivil rippuva vedru või kummipaela otsa riputatakse järjest suuremaid raskusi ja vedru või pael venib rohkem välja.

Kuidas me teame, et suurema väljavenimise korral on ka elastsusjõud suurem? See on selge, et venitav raskusjõud suurenes, aga kuidas me saame sellest teha järelduse elastsusjõu kohta?

Jõu mõõtmiseks kasutatakse elastsusjõudu. Seda riista, millega jõudu mõõdetakse, nimetatakse **dünamomeetriks**. Dünamomeeter tähendabki eesti keeles jõumõõtjat: kr. *dynamis* – jõud ja *metreo* – mõõdan). Dünamomeeter koosneb vedrust, mille otsas on konks ja osuti ning skaalast, mille abil saab mõõta vedru pikenemist.



Joonis 7.1. Dünamomeetri näit on seda suurem, mida suurem on kehale mõjuv raskusjõud (kaal).

Kuidas dünamomeetriga mõõdetakse? Keha, millele mõjuvat jõudu mõõdetakse, kinnitatakse konksu külge. Osuti näitab skaalal jõu suurust.

Hõõrdumine

Lükkame mingit keha laual, see libiseb natuke ja jääb siis seisma. Kui lükkame sama keha näiteks siledal jääl, siis libiseb see palju paremini. Kuid liivapaberil ei libise üldse. Sama võime märgata talvistel tänavatel: jää on libe, kuid kui on liiva visatud, siis ei ole.

Mis takistab kehade libisemist? See on **hõõrdumine**. Hõõrdumine tekib sellepärast, et kokkupuutuvad pinnad on krobelised ja need haakuvad üksteise taha ning takistavad liikumist. Seda jõudu, mis takistab ühe keha liikumist teisega kokku puutudes, nimetatakse **hõõrdejõuks** F_H . Hõõrdejõud oleneb sellest, millised on **kokkupuutuvad pinnad** ja kuidas toimub liikumine. Veeremisel on hõõrdejõud alati palju väiksem kui libisemisel. Kuid igal juhul on hõõrdejõud seda suurem, mida suurem on keha **raskusjõud**.

Ka paigalseisvaile kehadele mõjub hõõrdejõud, muidu hakkaks kehad iga väiksemagi müksu korral liikuma.

Katse Dünamomeetriga vedada üht keha erinevatel aluspindadel ja ka rullikutel. Pöörata tähelepanu sellele, et liikuma hakkamisel dünamomeetri näit väheneb!

Ka **õhutakistus** on tegelikult hõõrdejõud, mis ilmneb keha ja õhu kokkupuutel. Õhutakistus oleneb keha pindalast. Mida suurem on keha pindala (risti liikumise suunaga), seda rohkem õhumolekule jääb kehale ette ja nende eest lükkamiseks on vaja jõudu.

Katse Paberileht ja käärdatud paberileht (erinev suurus, võrdne mass);

Õhutaksitus oleneb keha liikumise kiirusest: mida kiiremini keha liigub, seda suurem on õhutaksitus. Kui see nii ei oleks, saaks iga autoga vabalt 500 km/h sõita.

Rõhk

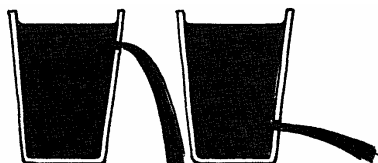
Rõhuks nimetatakse pinnäühikule mõjuvat pinnaga ristsuunalist jõudu:

$$p = \frac{F}{S};$$

kus p on rõhk, F on jõud ja S pinna suurus, millele jõud mõjub. Rõhu ühikuks on 1 N/m^2 , mida nimetatakse **paskaliks (Pa)**.

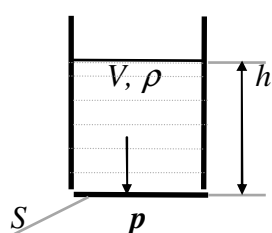
Rõhu mõistest parema ettekujutuse saamiseks alustame jälle **katsest**: võtame teritatud pliiaatsi ja surume seda ühesuguse jõuga ükskord vastu paberit teritatud otsaga, teine kord aga teritamata otsaga. Esimesel juhul läheb pliiaatsi ots paberist läbi, teisel juhul ei lähe. Öeldakse, et esimesel juhul on rõhk suurem, sest pindala, millele jõud mõjus on väiksem. Aga ikkagi, miks väiksema pinna korral paber katki läks? Sellepärast, et siis tuli lõhkuda sidemeid palju vähema arvu paberikiudude vahel kui teisel juhul.

Rõhk vedelikus on tingitud vedeliku kaalust. Iga vedeliku kiht rõhub enda all olevat vedeliku kihti ja mida sügavamal vedelikus oleme, seda suuremat rõhku vedelik avaldab. Seda saab kontrollida **katsega**. Teeme kahte ühesugusesse veeanumasse ühesuurused augud: ühele põhja lähedale, teisele ülemisse ossa. Selgub, et põhjalähedasest august pritsib vesi kaugemale, sest seal on rõhumisjõud ja ka rõhk suuremad.



Joonis 7.2. Sügavamal vedelikus on rõhk suurem.

Tuletame valemi rõhu arvutamiseks vedelikus. Antud on anum, milles oleva vedeliku ruumala on V , anuma põhja pindala on S , vedeliku pinna kaugus põhjast (vedelikusamba kõrgus) on h ja vedeliku tihedus on ρ .



$$F = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g;$$

$$S = \frac{V}{h};$$

$$p = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{V/h} = \rho \cdot g \cdot h .$$

Selleks, et leida anuma põhjale mõjuvat kogurõhku, tuleb liita ka välisõhu rõhk p_0 :
 $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h .$

Katsetest selgub, et looduses kehtib seadus: vedelikud ja gaasid annavad rõhku edasi kõikides suundades ühtviisi. Seda seadust nimetatakse **Pascali seaduseks**.

Katse Pascali pritsi või õhupalliga.

Kuidas seletada asjaolu, et vedelikud ja gaasid annavad rõhku edasi igas suunas, aga tahked kehad mitte? Näiteks kui panna silindrilisse klaasi täpselt sinna mahtuv kolb ja seda ülalt suruda, siis puruneb ainult klaasi põhi, mitte sein.

Põhjus on molekulide soojusliikumises. Tahkes kehas on see piiratud ja molekulid paiknevad kindlal viisil ning omavad minimaalset võimalust nihkumiseks. Aga nii gaasis kui vedelikus saavad molekulid suhteliselt vabalt liikuda ja see ajabki jõu mõjumise suuna segamini.

Vedelik mõjub temas olevatele kehadele.

Alustame *katses*: Vedru otsa riputatud keha, näiteks kivi sukeldatakse vette. Selle tulemusena vedru lüheneb. Miks?

*** Püüdkе katses seletada.

Ilmselt peab vees kivile mõjuma mingi jõud, mis on suunatud ülespoole. Seda jõudu nimetatakse **üleslükkejõuks**. Üleslükkejõudu saab ka ise lihtsalt tajuda, kui püüda näiteks tühja pange põhi ees vette suruda.

Kuidas see jõud tekib?

Seletame seda mõttelise katse abil. Kujutame ette, et vees olev kivi muutuks veeks. Kas siis “veest kivi” vajuks põhja? Ei vajuks. Järelikult päris kivi kaalust see osa, mida kaalub tema ruumalale vastav vesi ei kisu kivi põhja. Seega võib öelda, et kivile mõjuv raskusjõud on vees selle osa võrra väiksem.

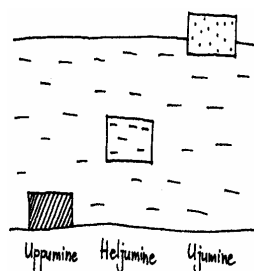
Kui anum täita ääretasa mingi vedelikuga ja sinna sukeldada mõni keha, siis keha poolt anumast väljatõrjutud (üle ääre voolanud) vedeliku kaalu võrra muutubki keha vedelikus kergemaks. Seda väljendab **Archimedese seadus**: iga vedelikku asetatud keha muutub niipalju kergemaks, kuipalju kaalub tema poolt väljatõrjutud vedelik. Väljatõrjutud vedeliku kaal on seda suurem, mida suurem on vedelikus asuva **keha** (või selle osa) **ruumala** ja mida suurem on **vedeliku tihedus**.

Üleslükkejõud $F_{\text{ü}}$ avaldub matemaatiliselt valemina $F_{\text{ü}} = \rho g V$, kus ρ on vedeliku tihedus, g raskuskiirendus ja V keha vedelikus oleva osa ruumala.

Kui keha tihedus on väiksem kui vedeliku tihedus, siis keha ujub vedeliku pinnal. Ujumine füüsikas ei tähenda vees edasiliikumist, vaid vedeliku pinnal püsimist. Näiteks korgitükk ujub vees.

Kui keha tihedus on suurem kui vedeliku tihedus, siis keha upub, st vajub põhja. Näiteks kivi vajub vees põhja.

Kui keha ja vedeliku tihedused on võrdsed, siis keha ei uju ega upu, vaid heljub. Näiteks kala vees.



Joonis 7.2. Kehade uppumine, heljumine ja ujumine.

Üleslükkejõu olenevust keha ruumalast saame kontrollida katseliselt.

Katse laseme plastiliini tüki vette ja see upub. Nüüd vormime samast plastiliinitükist laevukese ja see ei upu. Miks?

Põhjus on selles, et nüüd on keha ruumala suurem ja suurem on ka üleslükkejõud.

Uppumist või ujumist saab ka ennustada ja seda keha ning vedeliku tihedusi võrreldes. **Kui keha tihedus ρ_k on vedeliku tihedusest ρ_v väiksem, siis see keha ujub.**

See on otsene järeldus Archimedese seadusest.

$$\begin{aligned}
 P &< F_{\text{ü}}; \\
 mg &< \rho_v Vg; \\
 mg &= \rho_k Vg; \\
 \rho_k Vg &< \rho_v Vg; \\
 \rho_k &< \rho_v
 \end{aligned}$$

Tuletame meelde, et **tihedus** on füüsikaline suurus, mis näitab, kui suur on ühikulise ruumalaga keha mass. Valemina väljendub see nii: $\rho = m/V$, kus ρ on keha tihedus, m keha mass ja V keha ruumala.

Miks tuleb ruumalaühiku kohta tuleva massi leidmiseks mass ja jagada kogu ruumalaga? Selle mõttest saab hästi aru, kui tuua analoogia rahaga. Kui teile antakse hulga peale mingi summa raha ja te tahate, et igaüks saaks ühesuguse summa, siis mida teete? Jagate rahasumma inimeste arvuga. Nii leiate ühe inimese (inimühiku) kohta tuleva summa.

Probleem. Vedeliku rõhku anuma põhjale saab arvutada valemiga $p = \rho gh$, kus ρ on vedeliku tihedus, g raskuskiirendus ja h vedelikusamba kõrgus (vedeliku painna kaugus anuma põhjast). Kas sellist valemit võib kasutada, kui tahetakse määrata tahke keha rõhku alusele, võttes vedeliku tiheduse asemel tahke aine tiheduse ja vedelikusamba kõrguse asemel keha kõrguse?

Töö ja energia

Kuidas me aru saame, et tööd tehakse? Midagi muutub, aga muutuda saab ainult siis, kui **midagi liigub**. Kehade liikuma panemiseks on vaja rakendada kehale **jõudu**.

Liikumine tähendab ka seda, et keha asukoht muutub, keha läbib mingi **teepikkuse**.

Tehtud töö sõltub nii rakendatud jõu suuruselt kui läbitud teepikkusest. Mida suuremat jõudu tuleb rakendada, seda raskem töö on, seda rohkem tööd tuleb teha. Näiteks telliskivi tõstmine maast autokasti on väiksem töö kui tsemendikoti tõstmine, sest tellise korral tuleb ületada selle raskusjõud, mis on väiksem tsemendikotile mõjuvast raskusjõust.

Samuti oleneb tehtud töö läbitud teepikkusest: mida kaugemale tuleb tsemendikotti kärutada, seda raskem töö, seda rohkem on tarvis tööd teha.

Kokkuvõttes võib öelda, et tehtud töö on seda suurem, mida suuremat jõudu kasutatakse ja mida suurema teepikkuse keha jõu toimel läbib.

Seda tööd, mida tehakse kehade liigutamisel nimetatakse ka **mehaaniliseks tööks**.

Füüsikas öeldakse, et **TÖÖ = JÕUD x TEEPIKKUS**. Jõudu tähistatakse füüsikas tähega F ja teepikkust tähega s . Seega füüsika keeles on töö võrdne Fs ja tööd ennast tähistab füüsikas A . Nii et töö jaoks oleme saanud valemi $A = Fs$. Selles valemis on F ainult liikumissihiline jõud.

Kui jõu toimel midagi ei liigu, siis tööd ei tehata. Näiteks kui ma seisan paigal ja hoian palki õlal, siis ma tööd ei tee.

Tööd mõõdetakse džaulides: 1 **džaul** (J) on töö, mida teeb jõud 1 N 1 m pikkusel teel.

Inimesel on kogu aeg vaja mingeid töid teha. Selleks ta kasutab masinaid. Suur osa neist töötab elektriga või nagu peenemalt öeldakse: need kasutavad tööks elektrienergiat. Elektrienergia mõistega oleme nii harjunud, et ei mõtlegi, mida see tähendab. Teame, et igas kodus on elektrienergia arvesti ehk voolumõõtja, mille näidu eest tuleb iga kuu raha maksta.

Mida me elektrienergiaga teeme? Palju asju: valgustame tuba, vaatame televiisorit, peseme pesu, jne. Kas mõni nendest tegevustest on seotud mehaanilise tööga? Mainitust ainult pesupesemine, sest pesumasina trumli ringiajamiseks tuleb jõudu rakendada ja sellejuures liigub ka selles olev pesu.

Probleem. *Kui pesu trumlis ringliikumine arvestada ümber sirglikumiseks, siis kui pika tee pesu läbiks ühe pesu korral? Soovitus: hinnata trumli pöörlemiskiirust ja – aega ning trumli läbimõõtu. Tuleks ka arvestada, kas tsentrifugimist arvestada või mitte.*

Eelnevast võib järeldada, et energiat saab kasutada töö tegemiseks. **Energia** on füüsikaline suurus, mis iseloomustab keha võimet tööd teha ja seda nimetatakse ka **töövaruks**. Energia tähiseks füüsikas on E .

On ju tavakeeleski kasutusel mõiste *energiline inimene*. See on selline inimene, kes suudab palju tööd teha.

Järelikult on energia miski, mida saab muuta tööks. Ja vastupid: energia saamiseks tuleb teha tööd (näiteks elektrijaamades). Kui energiat saab muuta tööks ja vastupidi, siis mõõdetakse energiat samades ühikutes nagu töödki, st džaulides.

Energiaid on mitut liiki. Näiteks elektrienergia, mis paneb käima elektrimootorid, soojusenergia, mis tekib kütuse põlemisel, tuule energia, mis paneb purjeka liikuma, langeva vee energia, mis paneb tööle elektrigeneraatori (masina, mis hüdroelektrijaamas elektrit teeb) jne.

Neid energia liike, mida saab vahetult muuta mehaaniliseks tööks, nimetatakse **mehaaniliseks energiaks**.

Energia võib muunduda ühest liigist teiseks ja energiat saab salvestada. Näiteks akudes salvestatakse (hoitakse alles) elektrienergiat. Ja kui on vaja autot käivitada, siis tuleb selleks tööd teha, et ajada mootoris kolbe liikuma. Seda tööd saab teha akus oleva elektrienergia abil.

Inimesed kasutavad väga palju mehaanilist energiat. Näiteks suur osa elektrienergiast saadakse mehaanilise energia abil. Hüdroelektrijaamas on mehaanilise energia kandjaks tammilt langev vesi, tuulegeneraatorites aga puhuv tuul, mis panevad generaatorid pöörlema.

Mehaanilist energiat jagatakse kahte liiki. Üks on seotud keha liikumisega. Näiteks voolav vesi võib teha mehaanilist tööd – ajada vesiratast ringi. Aga ka püssikuul võib teha tööd – lõhkuda aknaklaasi. See pole küll kasulik töö, aga klaasi lõhkumiseks on jõudu vaja ja kuul liigub läbi klaasi. Liikumise seotud energiat nimetatakse füüsikas **kineetiliseks energiaks**. Selle tähiseks on E_k . Eesti keeles öeldakse kineetilise energia asemel ka **hoog**.

Teine energia liik on see, mida omavad paigalseisvad kehad. Sellist energiat nimetatakse **potentsiaalseks energiaks**, mille tähiseks on E_p . See energia muutub

töökse siis, kui keha saab hakata liikuma. Näiteks vinna tõmmatud vibu potentsiaalne energia saab teha tööd (panna noole lendama) alles siis, kui vibu on lahti lastud. Ka maapinnalt kõrgemale tõstetud kehal on potentsiaalne energia, mis vabaneb langema hakates. Sellist energiat kasutatakse näiteks tammiga ülespaisutatud vee korral, et selle abil käima panna elektrigeneraator või veskikivi.

Oluline erinevus nende energiatega vahel on selles, et kineetilist energiat võib omada ka üks keha, aga potentsiaalset energiat ühel kehal pole. See on vastastikmõju energia. Energia on suhteline. Potentsiaalse energia korral oleneb selle väärtus nullnivoost. Näiteks III korrusel oleva kivi energia maapinna suhtes on palju suurem energiast toa põranda suhtes.

Kineetilise energia korral oleneb väärtus taustkehast. Näiteks bussis sõitjal on energia maapinna suhtes, aga pole bussi suhtes. Kuid olgu kumma energiaga tegemist on, kehtib alati seos, mille kohaselt tehtud töö on võrdne energia vähenemisega ja vastupidi: keha energia suurenemine on võrdne tehtud tööga.

Kehtib seos: $A = \Delta E$, mis tähendab, et tööd tehakse energia arvel: niipalju kui energia muutub, saab ka tööd teha.

Kasulik oleks, kui me peaksime energia saamiseks vähem tööd tegema, kui pärast energialt tagasi saame. See oleks samasugune kasu nagu siis, kui paneksin hoiukarpi 1 euro, kuid pärast võtaksin välja juba 2 eurot. Paraku me teame, et nii ei juhtu.

Nii pole ka võimalik tõsta 100 kg massiga keha maast otse laua peale jõuga, mis vastab ainult 50 kg keha raskusjõule. Kuid sarnaseid võimalusi on inimesed püüdnud välja mõelda juba aastasadu: ikka tahetakse rohkem saada kui anda. Kuid alati on proovijaid tabanud ebaõnn. Tuleb välja, et kunagi pole võimalik saada rohkem tööd, kui kulus energia tekitamiseks.

See tähendab, et ei ole võimalik energiat juurde tekitada ja sellepärast öeldaksegi, et energiat ei teki juurde ega lähe kaotsi. Küll aga läheb energia üle ühest liigist teise. Seda seadust nimetatakse **energia jäävuse seaduseks**. Selle seaduse kehtimist on väga palju kontrollitud ja alati on see nii olnud. Miks selline seadus kehtib? Sellele ei oska keegi vastata. Maailm lihtsalt on selline.

Mehaanilise energia korral väljendub see seadus kujul:

$$E_k + E_p = \text{const.}$$

Mehaanilise energia jäävus kehtib isoleeritud ehk suletud süsteemis, st. juhul, kui ei esine mehaanilise energia muutumist soojuseks (näiteks puudub hõõre ja õhutakistus).

Kui mingis masinas tehakse energia arvel tööd, siis tuleb eristada kasulikku tööd A_k kogu tehtud tööst A . Kasulik töö on see töö, mille tegemiseks masin on ehitatud. Kuid kasulik töö on igas masinas väiksem kogu tehtud tööst, sest masin teeb ka tööd, mis pole inimesele kasulik, näiteks hõõrdejõudude ületamiseks. Masina kasulikkust kirjeldab suurus, mida nimetatakse **kasuteguriks η** ja mis näitab, kui suure osa kogutööst moodustab kasulik töö:

$$\eta = \frac{A_k}{A} \cdot 100\% .$$

Võimsus

Tööd võib teha erineva kiirusega. Mida kiiremini (lühema aja jooksul) töö tehtud saab, seda suurem on arendatud **võimsus**. Sellepärast nimetataksegi töö tegemise

kiirust võimsuseks. Täpsemalt keskmiseks võimsuseks, sest erinevatel ajavahemikel võib tehtud töö olla erinev.

Võimus on defineeritud kui ajaühikus tehtud töö:

$N = A/t$, kus N on võimsus, A töö ja t aeg.

Kui 1 s jooksul tehakse tööd 1 J, siis on võimsus 1 W (vatt). Selliseks võimsuseks on näiteks 100 g massiga keha tõstame 1 sekundi jooksul 1 m kõrgusele.

Mootorite võimsust mõõdetakse sageli ka **hobujõududes**: 1 hobujõud (hj) on võrdne võimsusega, mida tuleb rakendada, et tõsta keha massiga 75 kg 1 m kõrgusele 1 s jooksul. Seega 1 hj = 736 W.

Inglise keelt kõnelevates riikides kasutatav hobujõud (HP) on defineeritud pisut teisiti ja seega 1 HP = 746 W.

Koduprojekt

Hinnake oma maksimaalset võimsust. Vihje: selleks võib kasutada trepist tõusmist kõrgematele korrustele.

Võnkumine ja laine

Mis on **võnkumine**? See on korrapärane edasi-tagasi liikumine ühe punkti ümber piki kindlat trajektoori. Kui võnkumist nii defineerida, siis oleks ka ekspressbussi liikumine võnkumine.

***Probleem.** Ka ekspressbuss liigub korrapäraselt ümber liini keskpunkti edasi-tagasi piki kindlat trajektoori. Kas liinibuss võngub?*

Võnkumiste uurimiseks sobib hästi niitpendel: niidi otsas rippuv raske keha. Võnkumise perioodilisust kirjeldatakse ajaga, mis kulub võnkuval kehal ühe täisvõnke tegemiseks (liikumiseks “sinna ja tagasi”). Seda aega nimetatakse **perioodiks** ja selle pöördväärtust **sageduseks**. Siit järeldub, et perioodi mõõdetakse ajaühikutes, näiteks sekundites, aga sagedust ajaühiku pöördväärtustes, milleks on 1/s. Sellise ühiku nimetuseks on **herts (Hz)**, mis näitab ajaühikus sooritatud võngete arvu. Võnkumise ulatust kirjeldab **amplituud**, mis on võnkuva keha maksimaalne kaugus tasakaalusest. Vahepealseid kaugusi iseloomustavat suurust nimetatakse **hällbeks**. Kui võnkumiste amplituud ei muutu, siis öeldakse, et võnkumised **ei sumbu**. Tuleb kindlasti rõhutada, et hällve muutub kogu aeg, aga amplituud võib olla ka muutumatu (või selleks lugeda, kui sumbumine on väike).

Kui viime pendli tasakaalust välja ja laseme selle lahti, siis hakkab pendel võnkuma. Raskusjõud püüab pendlikeha viia Maa keskpunktile võimalikult lähedale, kus oleks selle potentsiaalne energia minimaalne. Selline olukord vastab pendli vertikaalsele asendile. Kuid sinna jõudes on pendlil suur kiirus ja ta kihutab inertsitõttu sellest asendist läbi ja tõuseb teisel pool peaaegu samale kõrgusele kui oli alguses. Pärast täpselt samale kõrgusele ta muidugi ei tõuse, sest õhutamise ületamiseks tuleb teha tööd ehk kulutada energiat. Mingi arvu võngete järel jääb pendel siiski vertikaalselt rippu ja seda asendit nimetatakse pendli **tasakaalu asendiks**.

Kui meil on kaks erineva pikkusega pendlit, siis pikema pendli võnkeperiood on suurem.

***Katse** kahe erineva pikkuse pendliga, muudame ka amplituudi ja pendlikeha massi.*

Lihtsa seletuse nähtusele annab asjaoluga, et pikemal pendlil tuleb läbida ühe perioodi jooksul pikem tee, mis võtab rohkem aega.

Võnkeperiood ei olenenud ka pendlikeha massist. Ei tea miks? Mõjub ju suurema massiga pendlikehale suurem raskusjõud, kui väikese massiga kehale. Miks suurem jõud ei pane pendlit kiiremini liikuma? Põhjus on sama, mis vabal langemiselgi: liikumapanev jõud on võrdeline keha massiga.

Võnkumised võivad toimuda nii kiiresti, et meie silm ei erista üksikuid asendeid. Nii võngub näiteks pillikeel. Sellist võnkumist saab teha nähtavaks riistaga, mida nimetatakse **stroboskoobiks**.

Katse Võnkuva pillikeele vaatamine stroboskoobi valguses.

Kui pendli asemel panna võnkuma mingi keskkonna osakesed, siis osakestevaheliste jõudude tõttu hakkavad võnkuma ka naaberosakesed, seejärel nende naaberosakesed ja nii levib võnkumine ruumis edasi. Võnkumiste levimine ruumis on **laine**.

Katse Sõrme võngutamise vees ja laine levimine veepinnal.

Lainet iseloomustatakse ka **sagedusega** f nagu võnkumisigi. Laine sagedus on võrdne seda põhjustava võnkumise sagedusega. Aega, mille jooksul võnkuv osake teeb ühe täisvõnke, nimetatakse **perioodiks** T .

Teepikkust, mille laine läbib ühe perioodi jooksul, nimetatakse **lainepikkuseks** λ . See on võrdne kahe samas võnkeolekus naaberpunkti vahelise kaugusega. Erinevalt võnkumisest saab lainet kirjeldada ka selle levimise **kiirusega**. Laine kiirus näitab, kui kaua võtab aega lainel ühe lainepikkuse võrra edasi liikumine.

Võnkumised levivad keskkonnas sellepärast, et keskkonna molekulid on omavahel seotud. Mida tihedam on keskkond, seda lähemal on naabermolekulid, mis annavad võnkumisi edasi ja seda suurem on laine kiirus.

Kehtib seos: $c = \lambda f$.

Lained võivad omavahel liituda ja painduda tōkete taha. Neid nähtusi nimetatakse vastavalt **interferentsiks** ja **difraktsiooniks**.

Katse veelained lainevannis.

Heli

Heli on nähtus, mis on seotud nii võnkumiste kui lainetega.

Alustuseks täpsustame mõisteid **heli** ja **hääli**. Inimkõrvale kuuluvat heli nimetatakse hääleks. **Heli** on laiem mõiste, sisaldades ka inimesele kuulmatuid laineid: ultraheli ja infraheli. Inimene kuuleb helisid, mis jäävad sageduste vahemikku 20 Hz kuni 20 kHz. Loomulikult kuulevad erinevad inimesed veidi erinevalt.

Heli tekib mitmeti. Seda võib tekitada näiteks inimene, pillikeel, õlitamata uksehing, automootor. Kuid mis on nende nähtuste korral ühine, mis määrab ära heli tekkimise? Sellele küsimusele polegi lihtne vastata, sest heli me kuuleme, aga ei näe mis toimub. Sellepärast tuleks teha mingi selline **katse**, kus me teeme midagi niisugust, mille tulemusena tekib heli ja millel on üks kindel põhjus, mida me näeme.

Selliseks katseks on vaja ca 40 cm pikkust metalljoonlauda. Surume seda ühest otsast vastu lauda nii, et üle laua ääre jääks ca 30 cm joonlauda. Painutame teist otsa ning laseme selle lahti. Joonlaud hakkab võnkuma. Kordame katset, aga nüüd jätame üle laua ääre ca 10 cm joonlauast. Joonlaud hakkab jälle võnkuma, kuigi seda on juba raskem märgata, aga me kuuleme ka heli. Järelikult heli tekitab võnkumine või nagu ka öeldakse: võnkuv keha on **heli allikaks**.

Probleem. Miks me ei kuulnud 30 cm joonlaua võnkumisel heli?

Seda, et heli allikas on võnkuv keha saab näidata ka teise katsega.

Katse Paneme helihargi helisema ja lähendame talle nõõri otsas rippuva lauatenise palli. Pall pörkub hargist eemale. Kui helihark ei helise, siis sellist palli pörkumist pole.

Probleem Kuidas näidata, et heli on laine?

Heli üks tähtsamaid iseloomustajaid on heli kõrgus. Uurime, millest oleneb **heli kõrgus**. Selleks on meil kaks võimalust: kas muuta heli allika sagedust või amplituudi. Kordame katsed metalljoonlauaga. Hoiame joonlauri võnkumise osa pikkuse muutumatuna ja ükskord paneme selle võnkumise suure amplituudiga ja teinekord väikese amplituudiga. Mõlemal korral kuuleme ühesuguse kõrgusega heli. Järelikult heli kõrgus ei olene võnkumise amplituudist. Küll aga oleneb **heli valjus** heli allika võnkumise amplituudist.

Heli kõrgus olene sellest, kui pikk on võnkumise joonlauri osa. Pikem võnkumise keha tekitab madalamat heli.

Päikesesüsteem

Meie **Päikesesüsteem** asub galaktikas nimega Linnutee (ingl. k. Milky Way). Selle keskmises asub **Päike** mille ümber tiirlevad planeedid.

Päike tekkis umbes 6 miljardit aastat tagasi ja tema eluiga ennustatakse veel 4 – 5 miljardile aastale. Päike on hõõguv gaasikera massiga 10^{30} kg, mis on ca 300 000 korda Maa massist suurem. Päike on tüüpiline täht, nagu kõik öötaevas nähtavad tähed.

Päikesesüsteemi kuulub kaheksa **planeeti** (küllalt suurt, ümmargust, tahket või gaasilist, mitte valgust kiirgavat taevakeha). Päikesest poolt loetuna on need: Merkuur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter, Saturn, Uraan, Neptuun. Varem loeti planeetiks ka Pluutot, kuid 2006.a. arvati see planeetide hulgast välja.

Meie elame Päikesesüsteemi planeedil **Maa**, mis liigub peaaegu ringikujulisel orbiidil 150 miljoni kilomeetri kaugusel Päikesest. Maa keskmine temperatuur on +23 °C. Mõõdetult on Maa teiste planeetidega võrreldes väike, keemiliselt koostiselt "tugevasti metalliline" (raskemate elementide hulk ületab tunduvalt vesiniku ja heeliumi oma). Planeedina on Maa seisund absoluutselt stabiilne, ta võib selles olekus püsida kuitahes kaua. Ta on ümarik ja pöörleb ümber oma kujuteldava telje. Ühe täisringi ümber oma telje teeb Maa ühe ööpäevaga, ühe täisringi ümber Päikesest aga ühe aasta jooksul.

Päikesesüsteemi kuulub ka mõnituhat väikeplaneeti – asteroidi, sadakond perioodilist komeeti – "sabatähte", planeetide kaaslast, meteorset ainet – "tolmu". Teiste taevakehade mass kokku on tüüpiline võrreldes Päikesest massiga, moodustades sellest ca 0,3 protsenti.

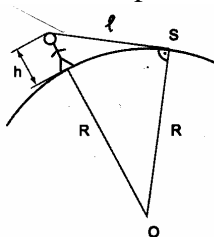
Kõike seda oleme kuulnud juba lapsest saadik. Aga kas me oskame vastata järgmistele **küsimustele**?

- 1) Mis on planeet?
 - 2) Kuidas me teame, et Maa on ümmargune?
 - 3) Kuidas tõestada, et Maa tiirleb ümber Päikesest, kui me ise näeme, et Päike liigub Maa kohal taevas?
 - 4) Kuidas me teame, et hommikul tõusev Päike on see sama, mis õhtul looja läks?
- Püüame leida neilegi **vastused**.

1) **Planeet** on defineeritud kui ümmargune taevakeha, mis tiirleb ümber Päikese ja ise valgust ei kiirga. **Tiirlemine** on liikumine ümber millegi kinnist teed pidi. Näiteks nööri otsas olev mudellennuk tiirleb ümber lennujuhi või vasar tiirleb hoovõtul ümber vasaraheitja. Sageli on tiirlemine korrapärane, see tähendab, et iga tiir tehakse ühesuguse aja jooksul.

2) Vanasti arvati, et Maa on tasane. Selle peale, et Maa ei ole tasane, tulid inimesed juba mitme tuhande aasta eest. Üheks tõestuseks on laeva ilmumine või kadumine silmapiiri taha. Ja kohe ongi uus küsimus: mis on silmapiir?

Silmapiir ehk horisont on näiline piir lagedal kohal, kus taevas ja maa paistavad kokku puutuvat. Silmapiiri kaugus on erinevatel inimestel erinev ja oleneb inimese pikkusest: pikemad näevad kaugemale. On välja arvatud, et kui inimese silm asub maapinnast 1,7 m kõrgusel, siis on silmapiir 4,5 km kaugusel.



Joonis 7.3. Silmapiir. S – silmapiir, R – Maa raadius, l – silmapiiri kaugus vaatlejast, h – vaatleja silmade kõrgus maapinnast.

Praeguseks on otsesed vaatlused kosmosest ja Kuult ümberlökkamatult tõestanud Maa kerakujulisuse. Maa on kera, mille ümbermõõt umbes 40 tuhat kilomeetrit ja läbimõõt 12 700 km.

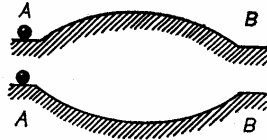
Maa ümber tiirleb Kuu, mis teeb ühe tiiru ümber Maa 28 ööpäevaga.

3) Maa tiirlemist ümber Päikese pole lihtne tõestada. Seda saab teha täpsete astronoomiliste vaatluste abil. Aga kas Maa pöörleb ümber oma telje päri- või vastupäeva? Sellele küsimusele vastamiseks võiks ette kujutada tiirutamist karusellil ja sellelt mingi seisav objekti, näiteks piletimüügi putka vaatamist. Iga ringi ajal ilmub putka vaatevälja ja mingi aja pärast jääb seljataha. Mõttele, mispidi liigub karussell ja mispidi näib putka liikuvat ning saad teada, kuidas Maa liigub ümber Päikese. Maa tiirlemiskiirus ümber Päikese on väga suur: 30 km/s.

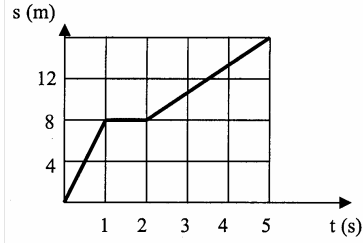
4) Palja silma järgi pole võimalik öelda, kas igal päeval on taevas üks ja sama Päike. Selleks tuleb teda vaadelda läbi erilise riista, mis ei lase tugeval valgusel silmi pimestada. Siis on näha Päikesel plekke, mis on iga päev ühesugused. Tõsi, pikema aja jooksul muutuvad ka plekid. **Ettevaatust!** Palja silmaga ei tohi Päikesesse vaadata. Veel ohtlikum on seda teha läbi pikksilma. Nii on pimedaksjäämine kindel.

Küsimusi

1. Kaks kuulikest alustasid samaaegselt ja võrdsete kiirustega liikumist joonisel näidatud pindu pidi. Loeme liikumise hõõrdevabaks. Kumb kuulike jõuab enne punkti B? Miks? Milline on kiiruste vahetegur punktis B?



2. Antud on keha poolt läbitud teepikkuse sõltuvus ajast.



Mida näitab horisontaalne lõik graafikul?

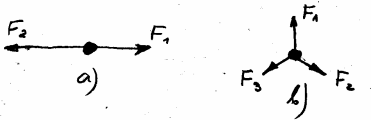
Kui suur ole keha kiirus v_1 1. sekundi jooksul?

Kui suur oli keha kiirus v_2 2. – 5. sekundil?

Kui suur oli kogu liikumise keskmine kiirus?

Kas kiiruste v_1 ja v_2 keskmine võrdub keskmise kiirusega v_k ?

3. Kas kehale mõjuvad jõud on kompenseerunud joonisel a) või b)?



4. Auto sõitis pool sõiduajast kiirusega 15 m/s ja teise poole kiirusega 25 m/s. Kui suur oli auto keskmine kiirus?
5. Potentsiaalne energia võib olla nii positiivne kui negatiivne. See oleneb kõrguse nullnivoo valikust. Kas ka kineetiline energia võib olla nii positiivne kui negatiivne? Miks?
6. Teisel korral on puusületäie potentsiaalne energia suurem kui esimesel korral. Kas teisel korral vabaneb puude põlemisel rohkem soojust?
7. Kas kiirusel on suund?
8. Kuidas aru saada, kas kiirus on muutumatu või pole?
9. Kas kehal on jõudu? Aga energiat?
10. Vabalt langeva keha kiirus suureneb pidevalt. Kas sellega koos suureneb ka keha energia?
11. Kas kivi tihedus on ühesugune järve kaldal ja 10 m sügavusel järve põhjas? Aga inimese tihedus?
12. Miks rauast laevad ära ei upu, kuigi raua tihedus on suurem kui vee tihedus?
13. Kas kelku on raskem vedada pika või lühikese nõoriga?
14. Kui tõsta 1 kg massiga keha 1 m kõrgusele, siis kui palju tööd tuleb teha? Kui aga kanda sama keha 1 m kaugusele, kui suur on siis tehtud töö?
15. Ülestõstetud pall ei pörku pärast allakukkumist enam algkõrguseni tagasi. Kuhu jääb osa potentsiaalsest energiast? Kas on võimalik leida, kui palju potentsiaalsest energiast muutub soojuseks?
16. Miks jääb võnkuma pandud niitpendel varsti seisma, aga kellapendel ei jää?
17. Kuidas mõõta pendli abil aega?
18. Kuidas oleneb heli kiirus temperatuurist?
19. Kas heli kiirus oleneb heliallika liikumisest kuulaja suhtes?
20. Merelained toovad rannale meres ujuvaid esemeid. Kas see on tingitud sellest, et lained kannavad vett koos ujuvate asjadega edasi?

21. Kas hääle levimiskiirus oleneb hääle kõrgusest?

Tarkused

- Muutuva kiiruse korral saab teepikkust leida keskmise kiiruse abil.
- Keha püüab alati säilitada oma liikumiskiirust. Seda nähtust nimetatakse inertsiks
- Keha kiiruse muutmiseks peab talle mõjuma jõud mingi aja jooksul. Sellist kehade omadust nimetatakse inertsuseks.
- Raskusjõud mõjub kehale, kaal aga keha alusele või riputusvahendile.
- Elastusjõud on seda suurem, mida suurem on deformatsioon.
- Hõõrdejõud oleneb hõõrduvatest pindadest ja on seda suurem, mida suurem on kehale mõjuv raskusjõud.
- Rõhku vedelikus ja gaasis antakse edasi igas suunas ühtviisi, aga tahkes kehas ainult jõe mõjumise suunas.
- Keha üleslükkejõud on seda suurem mida suurem on keha vedelikus oleva osa ruumala ja mida suurem on vedeliku tihedus.
- Keha ujub, kui selle tihedus on väiksem vedeliku tihedusest.
- Seisval kehal on ainult potentsiaalne energia, liikuval kehal aga nii potentsiaalne- kui kineetiline energia.
- Töö tegemisel keha energia väheneb samapalju, kui oli vaja talle energia andmiseks tööd teha.
- Mehaanilise energia jäävus kehtib ainult suletud süsteemis.
- Masina kasutegur näitab, kui suure osa kogu tööst moodustab kasulik töö.
- Laine ei kanna kaasa keskkonda
- Heli kõrgus on seda suurem, mida suurem on võnkesagedus.
- Heli valjus on seda suurem, mida suurem on võnkeamplituud.
- Aastaaegade vaheldumine on tingitud Maa tiirlemisest ümber Päikese.
- Öö ja päeva vaheldumine on tingitud Maa pöörlemisest ümber oma telje.

8. Elekter ja magnetism

Elektriseerumine

Arvatavasti olete kogenud, et mõnikord, kui kampsun kiiresti üle pea ära tõmmata, võib kuulda kergelt raginat ja pimedas näha ka väikesi valgussähvatusi. Need pole ka muud midagi kui väikesed välgid. Teinekord jälle kisub seelik hirmsasti jalgade vahele nagu häbeliku koera saba. Või kui oma hästi puhtaid juukseid kammida, siis need ei taha kammist enam lahti lasta. Kõik need nähtused on tingitud elektrist, täpsemalt **hõõrdeelektrist**.

Katse. Hõõrume täispuhutud õhupalli vastu oma kuivi juukseid ja lähendame selle laual olevatele paberitükikestele.

Näeme, et paberitükid hüppavad palli külge. Kui palli pole eelenevalt hõõrutud, siis sellist nähtust ei esine. Järelikult omandas õhupall hõõrumise käigus midagi, mida tal enne ei olnud. Seda midagit, mis põhjustab paberitükikeste külgetõmbumist, nimetatakse **elektrilaenguks**. Seda keha, millel on elektrilaeng, nimetatakse **elektriliselt laetud kehaks** ehk lihtsalt laetud kehaks.

Pärast õhupalli hõõrumist juuste vastu tõusevad juuksed püsti. Kui laetud õhupall lähendada juustele, siis need tõmbuvad palli poole. Sellest võib järeldada, et

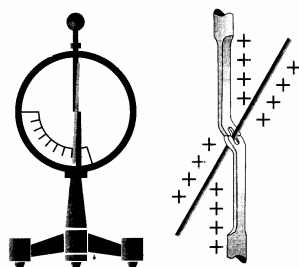
hõõrdumisel laaduvad mõlemad kehad ja vastandmärgiliste laengutega (siis esineb laetud kehade vahel tõmbumine).

Probleem Miks mõned kehad hõõrdumisel laaduvad, teised mitte?

Kõikides ainetes on nii positiivse kui negatiivse laenguga osakesi. Positiivse laenguga osakesed, prootonid on aatomi tuumas ja ei saa vabalt liikuda. Negatiivse laenguga osakesed, elektronid on aatomis või liiguvad aines vabalt ringi. Aatomis hoiab neid prootonite positiivse laengu külgetõmme. Laadimata kehas on alati ühepalju prootoneid ja neutroneid. Kuna nii prootoni kui elektroni laengute suurused on täpselt võrdsed, ainult vastandmärgilised, on ka keha kogulaeng sel juhul võrdne nulliga. Kui kehade kokkupuutel esimeselt kehalt läheb teisele üle elektrone, siis esimene keha laadub positiivselt ja teine negatiivselt. Kehade kokkupuutel ei saa prootonid minna ühelt kehalt teisele.

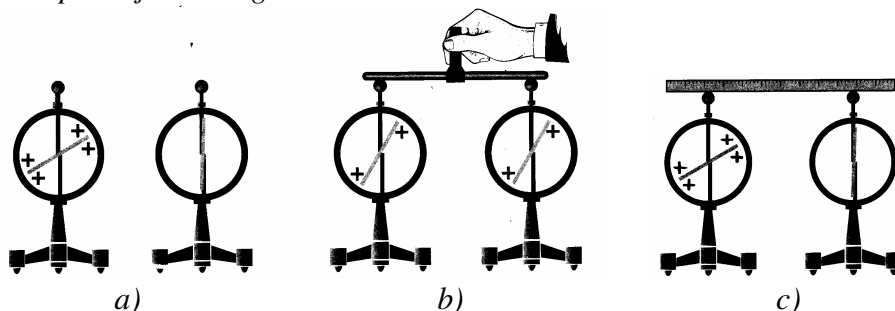
Kas me nägime oma katsetes elektrilaenguid ja nende liikumist? EI NÄINUD. Tulemused on meie **järeldused** katsetest. Need on omavahel kooskõlas ja palju kordi kontrollitud.

Miks kasutatakse elektrijuhtmetena metaaltraate, aga mitte näiteks plastmassist paelu? Sellele küsimusele oskavad vist kõik vastata: sellepärast, et plastmass ei juhi elektrit, aga metall juhib. Mida see tähendab? Seda on juba keerulisem ilma katseteta seletada. Katsetes kasutame riista, mida nimetatakse **elektroskoobiks** ja mis lubab kindlaks teha, kas keha on laetud või ei. Elektroskoobi töö põhineb samanimeliste laengute tõukumisel. Riista põhiosaks on metallist varras koos osutiga. Varda ots on toodud riista korpusest välja ning selle puudutamisel laetud kehaga laaduvad nii varras kui osuti ühenimeliste laengutega. Selle tulemusena osuti otsad tõukuvad vardast eemale. Mida rohkem on osuti kõrvale kaldunud, seda suurem laeng on.



Joonis 8.1. Laadimata elektroskoop (vasakul) ja osuti kõrvalekalle elektroskoobi laadimisel (paremal).

Katse. Ühendame laetud ja laadimata elektroskoobi üks kord metallpulgaga ja teine kord puust joonlauuga.



Joonis 8.2. Laetud ja laadimata elektroskoop (a), elektroskoobid on ühendatud metallpulgaga (b), elektroskoobid on ühendatud puitjoonlauaga (c).

Näeme, et metallpulga korral läheb laeng ühelt elektroskoobilt teisele, puitjoonlaua korral ei lähe. Ilmselt on ainetel erinevad elektrilised omadused. Metall juhtis elektrilaengu ühelt elektroskoobilt teisele, puit ei juhtinud. Siit võib teha järelduse, et ühed ained juhivad elektrit, teised mitte. Esimesi nimetataksegi **juhtideks** (näiteks metallid, soolane vesi, ioniseeritud õhk), teisi nimetatakse **mittejuhtideks** ehk **isolaatoriteks** (näiteks puit, destilleeritud vesi, ioniseerimata õhk).

Erinevad omadused tulenevad ainete ehitusest.

Juhtides on palju vabu laengukandjaid (elektrone, ioone). Vabadeks nimetatakse selliseid laetud osakesi, mis saavad elektriväljas elektrijõu mõjul liikuda. Näiteks 1 cm³ metalli sisaldab ca 10²³ ...10²⁴ vaba elektroni. Need saavad liikuda ühelt kehalt teisele ja põhjustada teise keha laadumise.

Isolaatorites (dielektrikutes) on aga vabu laengukandjaid võrreldes näiteks metallidega väga vähe. Erinevused võivad olla suuremad kui 10¹⁵ korda. Kuid selliseid aineid, kus üldse pole vabu laengukandjaid, ei ole olemas.

Juhtideks on kõik ained, kus on laetud osakesi, mis saavad vabalt liikuda. Nendeks on lisaks metallidele ka mõned vedelikud, näiteks **elektrolüütide**⁵ **vesilahused**, inimese kehavedelikud. Ka õhk võib elektrit juhtida, kui selles on laetud osakesi (ioonid, elektronid).

Isolaatoriteks on kõik ained, kus on väga vähe vabu laengukandjaid. Nendeks on näiteks plastmassid, mineraalid, ka puhas vesi.

Elektrinähtuse looduses ja tehnikas

Välg. Kui joonvälgu pikkus on ca 1 km, siis pinge maa ja pilve vahel peab välgu tekkimiseks olema ca 10⁹ V. Välgu kanalis on voolutugevus 10³ A, kestus 0,1 s, nende andmete järgi saab välgus eralduva energia välja arvutada.

Välgukanali läbimõõt on ca 1m. Õhk kuumeneb välgukanalis kuni hõõgumiseni ja paisub välgkiirelt. Lisaks toimub vee elektrolüüs ja paukgaasi tekkimine mis ka plahvatab ja tulemuseks on vali heli. Kõik see toimub mõne kümnendiku sekundi jooksul.

Eelnevat kokku võttes võiks välguga kaasneda pauk, aga mitte müristamine, mis kestab mitu sekundit.

Müristamise tekkepõhjus on selles, et välg on pikk, heli jõuab välgu erinevatest kohtades meieni erinevatel ajahetkedel. Heli kestust pikendab ka heli peegeldumine pilvedelt ja maapinnalt.

Elektrikalad. On kalu, kes kasutavad elektrivälja suhtlemiseks, aga ka enesekaitseks ja saagi püüdmiseks. Elektriangerjas on kuni paari meetri pikkune ja 40 kg raskune kala Lõuna Ameerikas, kes tekitab enesekaitseks pinget kuni 600 V. Voolu võib saada kuni 1 A. Elektrikalu on veelgi, näiteks Vahemeres ja Atlandi ookeanis elektrirai (3 kg, 200 V) ja Aafrikas elektrisäga (10 kg, 400 V).

Neil on tavaliselt sabaosas elektrit tootvad rakud, mis on omavahel järjestikku ühendatud ja nii liituvad rakkude poolt tekitatud pinged.

⁵ Elektrolüüt on aine, mis vees laguneb erimärgilisteks ioonideks.

Staatiline elekter on tööstuses nii kasulik kui kahjulik. Näiteks elektrostaatilisel aerosool- või pulbervärvimisel laetakse pihustatud värviosakesed elektriliselt, mistõttu nad tõukuvad üksteisest ja jaotuvad düüsist väljumisel ühtlaselt. Värvitav pind laetakse vastasmärgilise laenguga või maandatakse, mille tagajärjel laetud värviosakesed tõmbuvad pinnale ja moodustavad ühtlase kihi. Selline meetod on palju efektiivsem kui suruõhuga värvimine, sest tagab ühtlasema kihi ja suurendab katmise efektiivsust. Lisaks saavad raskesti ligipääsetavad kohad kergemini kaetud. Pulbervärvimise korral kuumutatakse seejärel pulbriga kaetud pinda ja pulber muutub tugevaks plastikuks.

Kuid staatiline elekter võib tekitada tööstuses ka suuri raskusi. Näiteks trükiprotsessis elektriseerub paber seda rullidelt maha kerides ja tükeldades. Elektriseeritud paberipögnad kleepuvad üksteise külge ja on raskelt eemaldatavad paberipakist. Samuti võivad nad kleepuda trükisilindri külge. Selle tõttu võib paber isegi rebeneda. Eriti raske on aga selliste elektriseeritud paberipögnate täpne asetus vastuvõtulaual. Sarnased probleemid on ka tekstiilitööstuses. Tööstuses võideldakse staatilise elektriga kas õhu niisutamise ja ioniseerimise või materjali maandamise abil.

Elektrivool⁶

Vool tähendab tavakeeles, millegi kindlasuunalist ja pidevat liikumist. Näiteks vesi voolab jões. Kui räägitakse elektrivoolust metallis, kas siis võib öelda, et elekter voolab juhtmes? Võib küll, kui elektri all silmas pidada vabu elektrilaenguid. Me juba teame, et **vabadeks laengukandjateks** võivad olla kas elektronid või vedelikus olevad ioonid. Seega võib öelda, et elektrivool on vabade laengukandjate voolamine ehk **suunatud liikumine**. Edaspidi käsitleme põhiliselt vabade elektronide liikumist metallis.

Aga mis paneb elektrilaengud juhtmes liikuma? Vesi jões voolab kõrgemalt madalamale ja seda sunnib tegema raskusjõud. Kuna laengud juhtmes liiguvad, siis peab ka neile mõjuma mingi jõud. Nimetame seda laenguid liikumapanevat jõudu **elektrijõuks**, mille põhjuseks on juhis olev **elektriväli**. Nagu gravitatsiooniväli tekitab raskusjõu, nii tekitab elektriväli elektrijõu. Kuidas see täpsemalt toimub, seda me praegu ei käsitle.

Elektrijõudu tekitatakse vastavate seadmetega, mida nimetatakse **vooluallikateks**.

Selleks võib olla näiteks taskulambi patarei, auto aku või elektrigeneraator elektrijaamas. Vooluallikas tekitab elektrijõu oma pinge abil

Elektrijõudu tekitab vooluallikas. Vooluallikat iseloomustab **pinge**, mis tekitab elektrijõudu.

Pinge on füüsikaline suurus, mille ühikuks on 1 volt (V). On erinevate pingetega vooluallikaid. Taskulambipatarei pinge on 1,5 V, auto akul 12 V, elektrijaama generaatori pinge on 220 V. Selline pinge on meie seinakontaktides ka. Kuid on veel palju kõrgemaid pingeid. Näiteks kõrgepinge liinides võib pinge olla sadu tuhandeid volte. Välgu korra paneb elektrilaengud liikuma pinge pilve ja maa vahel, mis võib olla tuhandeid miljoneid volte. Madalad pinged on ohutud, näiteks taskulambipatarei klemme ja aku klemme võib katsuda palja käega, aga juba seinakontakti ei tohi minna niisama torkima, võib saada korraliku elektrilöögi, mis võib ka surmaga lõppeda. Rääkimata välgust.

⁶ Meie räägime ainult kindlasuunalisest voolust ehk **alalisvoolust**.

Kuidas elektronid juhtmes liiguvad? Liiguvad kõik juhtmes olevad vabad elektronid, sest elektrijõud mõjub kõigile elektrilaenguga kehadele. Seega liigub kogu elektronide hulk juhtmes elektrijõu mõjul kindlas suunas. Lisaks sellele võtavad elektronid osa ka soojusliikumisest. Selle tulemusena põrkuvad nad omavahel ja ioonidega ning nende trajektoor on murdjooneline.

Seega elektronid liiguvad juhtmes elektrivoolu korral nii kindlas suunas kui ka läbisegi kõikides suundades.

Kuidas seda ette kujutada? Olukord on sarnane sellega, mis toimub suviti Emajões. Siis on seal ujujaid, kes ujuvad juhuslikes suundades, kuid samal ajal liiguvad kõik koos jõeveega Võrtsjärvest Peipsi poole. Ka siin võtavad ujujad osa korraga kahest liikumisest: kaootilisest ja suunatud.

Elektrivoolu iseloomustab **voolutugevus**, mis on analoogiline vee voolu tugevusega jões. Veevoolu tugevus on seda suurem, mida rohkem vett ajaühikus jõe ristlõikest läbi läheb ehk mida kiiremini vesi voolab. Elektrivoolu korral on voolutugevus suurus, mis näitab ajaühikus juhtme ristlõiget läbinud laengu hulka. See on seda suurem, mida suurem on laengukandjate triivikiirus (suunatud liikumise kiirus). Aga see on elektrijõust, mis omakorda on määratud pingega. Mida suurem on pinge juhi otstel, seda suurem on voolutugevus.

***Küsimus** Kui suur on elektronide suunatud liikumise kiirus ehk triivikiirus?*

Seda saab välja arvutada, kasutades valemit $I = enSv$, kus I on voolutugevus, e elektroni laeng, S juhtme ristlõike pindala ja v elektronide triivikiirus. Kui juhe on 1 mm läbimõõduga ja voolu tugevus on 1 amper ning juhe on vasest, siis on triivikiirus umbes 0,1 mm/s.

Kui triivikiirus nii väike on, kuidas siis mingit märgatavat voolu saab? Ei jõua ju ära oodata, millal vajalik laengu hulk juhtme ristlõikest läbi läheb. Asja päästab see, et vabu elektrone on juhtmes palju. Näiteks selles eespool mainitud vaskjuhtmes on 1mm pikkuse kohta keskmiselt 10^{20} vaba elektroni.

Nagu näha, on voolutugevus ka sellest, millisest materjalist on elektrijuhe valmistatud. Paremad on need juhtmed, kus on rohkem vabu elektrone. Selles mõttes oleks kõige parem kasutada hõbedast juhtmeid, kus on väga palju vabu elektrone.

Kuid siis oleks juhtmed väga kallid ja neid varastataks kogu aeg. Sellepärast kasutatakse teisi metalle. Väga hea juht on näiteks vask, aga ka see on kaunis kallis. Tänapäeval kasutatakse elektrijuhtmetena põhiliselt alumiiniumist traate.

Materjalide elektrijuhtivust iseloomustab füüsikaline suurus, mida nimetatakse **takistuseks**. Seda mõõdetakse oomides, ühikuks on 1 oom (1Ω). Juhi takistus on 1 oom, kui pinge 1 volt tekitab juhis voolutugevuse 1 amper. Saadud tulemus on otsene järeldus **Ohmi seadusest**: voolutugevus juhis on võrdeline juhile rakendatud pingega ja pöördvõrdeline juhi takistusega. Seda seadust kirjeldab valem, mis seob nimetatud suurused omavahel:

$$I = U/R.$$

***Katse** Ohmi seaduse demonstratsioon.*

Kokkuvõtvalt võib öelda, et juhid avaldavad elektrivoolule takistust, ei lase laengukandjatel vabalt suunatult liikuda (kas kulgeda või võnkuda). Juhi **takistus** R on juhi ristlõike pindalast S , pikkusest l ja materjalist. Takistuse sõltuvus kõikidest juhi parameetritest on järgmine:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Takistuse mehaaniliseks analoogiks on tunnel rahvavoolu teel. Kui tunnel on kitsas ja pikk, siis on liikumine tugevalt takistatud (suur takistus) ja inimeste arv, kes pääsevad ühes sekundis läbi tunneli ("inimvoolu tugevus") on väike. Kui tunnel on lai ja lühike (takistus väike), siis on läbi tunneli pääsev inimeste arv suur. Elektrivoolu korral on samuti voolutugevus pöördvõrdeline takistusega $I \sim R^{-1}$.

Takistuse olenevust materjalist kirjeldab **eritakistus** ρ , mille väärtus oleneb peamiselt vabade elektronide kontsentratsioonist ja vaba tee pikkusest. Vaba tee pikkus on vahemaa, mille elektron läbib ilma ioonidega või omavahel põrkumata. See teepikkus oleneb elektroni kiirusest, aga ka metalli ioonide mõõtmest ja nende võnkumisest. Kuna elektronide kiirus ja ioonide võnkeamplituud kasvavad temperatuuri tõustes, siis vaba tee pikkus väheneb ja see viib eritakistuse kasvule. Ja temperatuuri langus põhjustab iga juhi eritakistuse vähenemist. Piisavalt madalal temperatuuril muutub metallide eritakistus nulliks ja saabub olek, mida nimetatakse **ülijuhtivaks**.

Katse voolutugevuse sõltuvus pingest ja takistusest

Kui me tahame teada, kui suur vool või pinge vooluringis on, tuleb kasutada mõõteriistu. Aga need ei tohi olukorda muuta, muidu me ei saa ikka teada, milline on tegelik olukord. See esitab mõõteriistadele oma nõudmised.

Ampermeeter lülitatakse vooluringi voolutugevuse mõõtmiseks ja sellepärast peavad kõik voolu tekitavad elektronid temast läbi minema. Ampermeeter lülitatakse vooluringi tarvitiga jadamisi. Ampermeeter ei tohi takistada elektronide liikumist ja sellepärast on tema takistus väike.

Voltmeeter lülitatakse vooluringi pinge mõõtmiseks, mis määrab ära elektrijõu suuruse. Voltmeeter lülitatakse tarvitiga rööpselt. Voltmeestrist ei või suurt voolu läbi minna, sest see muudaks pinget tarvitil. Sellepärast on voltmeetril suur takistus.

Probleem Mis juhtub, kui lülitada ampermeeter rööbiti tarvitiga ja voltmeeter jadamisi?

Aga kui puuduvad mõõteriistad, kas siis on võimalik aru saada, kas juhis on elektrivool või ei? Ehk teisiti küsituna: milliseid toimeid elektrivool avaldab? Toimeid on 3 liiki.

Voolu soojuslik toime avaldub selles, et iga juht, milles on elektrivool soojeneb voolu toimele. Põhjuseks on juhis liikuvate elektronide põrked juhi aine ioonidega. Põrkel üleantud energia paneb iooni natuke kiiremini võnkuma ja see tõstab aine temperatuuri. Põrkunud elektron taastab oma liikumiskiiruse elektrijõu toimele.

Probleem Kas elektronid põrkuvad ka oma soojusliikumisel ioonidega? Ja kui põrkuvad, kas siis need põrked ka soojendavad juhti?

Voolu magnetiline toime avaldub selles, et kui vooluga juhtme lähedusse panna kompass, siis kompassi magnetnõel pöördu. Järelikult on vooluga juhtme ümber magnetväli.

Katse Juhtme lähedale pannakse magnetnõel või kompass. Voolu sisselülitamisel võtab magnetnõel uue asendi, voolu väljalülitamisel taastub esialgne asend.

Elektrivoolu magnetlist toimet seletatakse sellega, et liikuva elektrilaengu ümber on magnetväli, mis mõjutabki magnetnõela.

Voolu keemiline toime avaldub selles, et elektrivool eraldab juhust selle koostisosi. See osutub võimalikuks ainult vedelikes, sest seal on laengukandjateks erimärgilised ioonid. Need liiguvad elektrijõu toimele vastasmärgiliste elektrodide juurde.

Katse Mingi eletrolüüdi vesilahusesse on viidud elektrodid. Lahusest voolu läbijuhtimisel eralduvad elektrodidel erinevad ained.

Vooluring

Selleks, et elektrivoolu saaks kasutada, tuleb see juhtida läbi **vooluringi**. Selle koostisosad on: vooluallikas, tarviti, juhtmed, lüliti, aga ka elektrimõõteriistad.

Tarviti on mingi seade, kus elektrienergia muundub mingiks teiseks energialiigiks, näiteks mehaaniliseks või soojusenergiaks.

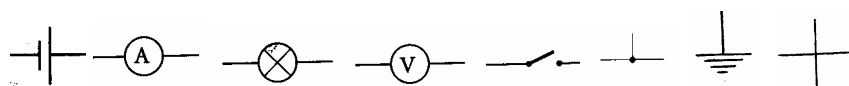
Juhtmed ühendavad erinevaid vooluringi osi (võimaldavad elektronidel liikuda).

Lüliti võimaldab tarvitit sisse ja välja lülitada.

Vooluringis võib olla mitu allikat, tarvitit ja lülitit.

Elektrimõõteriistad on vooluringis teada saamiseks pinge või voolutugevuse suurust.

Vooluringe kirjeldatakse **elektriskeemide** abil, kus reaalsete allikate, tarvitite ja muude vooluringi osade asemel kasutatakse nende tingmärke.

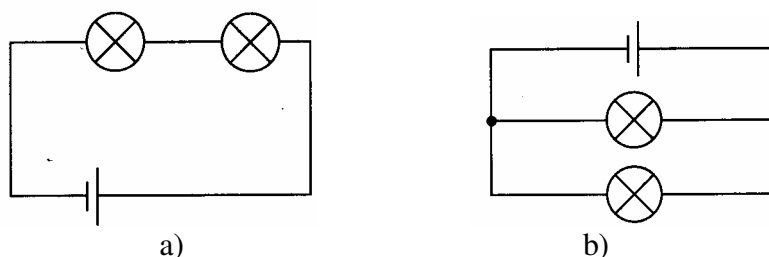


Joonis 8.3. Elektriskeemi tingmärke, alates vaskult: vooluallikas, ampermeeter, hõõglamp, voltmeeter, lüliti, juhtmete ühendus, maandus, juhtmete ristumine.

Tarviteid lülitatakse kas jadamisi (järjestikku) või rööpselt (paralleelselt). Joonisel 8.4. on näidatud kahe hõõglambi lülitusi.

Jadaühendus, kus kaks hõõglampi on lülitatud jadamisi. Sel juhul on voolutugevus kõigis tarvites ühesugune.

Rööpühendus, kus kaks hõõglampi on lülitatud rööpselt. Sel juhul on pinge kõigi rööpsete osade otstel ühesugune.



Joonis 8.4. Tarvitite jadaühendus (a) ja rööpühendus (b).

Ka vooluallikaid võib omavahel ühendada nii jadamisi kui rööpselt. Kui vooluallikad ühendada jadamisi, siis saadakse kõrgema pingega allikas kui on üksik allikas.

Rööpühenduse korral pinge ei muutu, kuid allikas lubab nüüd kasutada suuremaid voolutugevusi kui üksikult.

Neid põhjusi me ei käsitle.

Voolu töö ja võimsus

Milleks inimesel elektrit vaja on? Selleks, et oma elu kergemaks muuta: panna elekter tööd tegema. Tööd tuleb teha mingi mootori käitamiseks, toa valgustamiseks, pliidi

kütmiseks, arvuti või teleri tööks jne. On vist selge, et tööd tehakse siis, kui tarvitit (mootorit, lampi, vms.) läbib elektrivool

Me juba teame, et töö on füüsikas suurus, mida mõõdetakse rakendatud jõu ja läbitud teepikkuse korrutisega. Kas elektrivoolu tööd saab ka nii arvutada? Ega ei saa, sest kui elektrijõust, mis paneb laengud liikuma oleme küll rääkinud, aga mille teepikust tuleks arvestada? Kas juhtmete pikkust, kus laengud liiguvad? Ega vist. Teame, et tehtud töö eest tuleb alati maksta ja ka meie maksame kasutatud elektrienergia eest. Aga selle summa määrab ära voolumõõtja näit. Kunagi ei tule keegi mõõtma, kui pikad juhtmed meil korteris on.

Järelikult peab saama elektrivoolu tööd mõõta kuidagi teisiti. Osutub, et **elektrivoolu töö** A on võrdne voolutugevuse I , pinge U ja töötamise aja t korrutisega: $A = IUt$.

Gümnaasiumi füüsikas näidatakse, et ka see valem on tuletatav töö üldisest valemist, sellepärast võib öelda, et ka elektrivoolu tööd mõõdetakse džaulides. Voolu tööd kasutatakse kas soojusenergia saamiseks või mehaanilise liikumise tekitamiseks. Voolu töö avaldist saab teisendada vastavalt vajadusele Ohmi seaduse abil. Me võime töö avaldises asendada voolutugevuse $I = U/R$ ja saame töö arvutamiseks valemi

$A = \frac{U^2 t}{R}$. Töö valemit sellisel kujul on hea kasutada rööpühenduste korral, sest siis

on pinge jääv suurus.

Kui aga töö avaldises asendada pinge $U = IR$, saame töö valemi kujul $A = I^2 Rt$, mida on sobiv kasutada jadaühenduse korral, sest siis on voolutugevus jääv suurus.

Kui vooluringis on ainult liikumatud juhid, siis voolu toimet suureneb nende siseenergia, kusjuures kogu elektrivoolu energia läheb juhtide siseenergia tõstmiseks. Selle tulemusena hakkavad juhile olevad vabad elektronid kiiremini liikuma ning suureneb põrgete arv ionidega, mille tulemusena hakkavad need kiiremini võnkuma, mis viib juhi temperatuuri tõusule. Kui vooluringis pole hargnevaid osasid, siis juhile voolu poolt antav sisenergia on võrdne saadud soojushulgaga Q . Kehtib seos $Q = I^2 Rt$, millest on näha, et juhile antav soojushulk on seda suurem, mida suurem on voolutugevus ja juhi takistus. Juhi soojenemine ei kesta lõpmatuseni. Mingil temperatuuril saabub tasakaal juurdeantava soojuse ja soojusülekanal ümbritsevale keskkonnale ära antava soojuse vahel.

Sellisel töötavad näiteks elektrisoojendid, elektripliidid, tostrid, föönid. Ka hõõglambid töötavad samal põhimõttel, ainult seal on ümbritsevasse keskkonda üleantav soojushulk piiratud ja seetõttu tõuseb kütteniidi temperatuur nii kõrgele, et see hakkab hõõguma. Teiste elektrienergiat soojuseks muundavate seadmete korral tuleb jälgida, et oleks tagatud soojuse ülendmine ümbritsevale keskkonnale vältimaks seadme ülekuumenemist ja riknemist.

Küsimus *Kuidas on piiratud hõõglambis soojusenergia ülekandumine väliskeskkonda?*

Elektriseadmeid kirjeldav põhiparameeter on **võimsus**, mis näitab ajaühikus tehtud tööd. Igale elektripirnile on ju kirjutatud selle võimsus, nii on ka pliitide, külmikute, mootorite ja kõigi teiste elektriseadmetega. Ja kui on teada võimsus, siis on ju väga lihtne kasutusaja järgi teada saada tehtud töö, sest ka elektris kehtib juba mehaanikast tuntud seos töö, võimsuse ja aja vahel: $A = Nt$.

Kasutades juba toodud elektrivoolu töö valemit, saame ka võimsuse avaldada pinge ja voolutugevuse kaudu: $N = IU$. Kuna koduses majapidamises on pinge alati ühesugune (230 V), siis on võimsus määratud just voolutugevusega, aga ka vastupidi: mida suurema võimsusega seade, seda suuremat voolu ta tarbib.

Kuna võimsust mõõdetakse vattides, siis ongi elektris kasutusel teistsugune töö mõõtühik kui näiteks mehaanikas. Selleks on vattsekund. Kuid see on väga väike töö, sest selle tööga saab panna 100 W pirni põlema 0,01 sekundiks. Sellepärast kasutatakse praktikas elektrienergiat mõõtmiseks palju suuremat ühikut 1 kWh (üks kilovatt-tundi). See on töö, mille arvel saab 100 W pirn põleda 10 tundi.

Et korteri vooluvõrku mitte üle koormata, kasutatakse igas korteris elektrikaitsmeid ehk nagu vanasti öeldi – “kaitsekorke”. Mida tähendab “üle koormama”? See tähendab, et seintes olevatest juhtmetest läheb läbi nii tugev vool, mis ajab juhtmed nii kuumaks, et nende isolatsioon võib süttida ja põhjustada tuleõnnetuse. Selle kõige vältimiseks on alati elektrivõrkudes kaitsekorgid, mis lülitavad pinge välja kui tarbitav voolutugevus ületab ettenähtud piiri.

Kaitsekorkide nimetus on tänapäeval asendatud terminitega *liigvoolukaitse* ja *kaitselüli*.

Magnetism

Igal magneetunud kehal on kaks poolust, millest üht nimetatakse põhjapooluseks (tähis N, mōnikord ka +) ja teist lõunapooluseks (tähis S, mōnikord ka -).

Ühepooluselisi magneteid pole olemas. Samanimelised poolused tõukuvad ja erinimelised tõmbuvad. Mõjuv jõud on seda suurem, mida väiksem on kaugus magnetpooluste vahel. Jõud on tingitud **magnetväljast**.

See omadus on sarnane elektrilengute vahel mõjuvate jõududega.

Katse Ülimagnetite tõmbumise ja tõukumise tajumine neid käes hoides lähendades ja kaugendades teineteisest.

Magnetpooluste vahel mõjuvad jõud olenevad lisaks kaugusele ka keskkonnast, mis on nende vahel.

Katse Tõmbejõu olenevus kahe magneti vahel olevast ainest: ühesuguse magnetitevahelise kauguse korral panna magnetite vahele ühepaksused alumiiniumpleki-, raudpleki- ja papitükid.

Maa on ka üks suur püsिमagnet. Nagu eespool nägime, tekitab elektrivool enese ümber magnetvälja. Maa sees on palju vedelat metalli, mis seal ringi voolab. Kuna metallis on palju vabu elektrone, siis tekitab selline sulametalli voolamine elektrivoolu ja see omakorda magnetvälja. Kuna sulametalli on palju, siis on ka tekkiv vool tugev ja see tekitab ka märgatava tugevusega magnetvälja, mis tungib Maa seest välja.

Maa magnetväli võib magneetida selles pikka aega ühes asendis olnud raud-, teras- või malmesemeid.

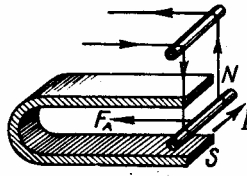
Katse radiaatori magneetumuse uurimine kompassiga.

Magnetväli mõjub mingi jõuga ka temas olevale vooluga juhtmele. Kui asetada juhe U-magneti pooluste vahele ja lasta juhtmest vool läbi, siis mõjub juhtmele jõud risti voolu suunaga. Juhe hakkab magnetväljas liikuma sellepärast, et magnetväli mõjub temas liikuvatele elektrilaengutele mingi jõuga. Kui laengutele mõjub jõud, siis juhtmes olevad laengud annavad selle jõu üle juhtmele, sest laengud ju juhust välja tulla ei saa. Ja kui juhe saab liikuda, siis ta liigubki.

Paigalseisvaile elektrilaenguile aga magnetväli mingit mõju ei avalda.

Katse Vooluga juhe magnetväljas.

Katse skeem on toodud joonisel 8.5.



Joonis 8.5. Vooluga juhtmele mõjub magnetväljas jõud.

Vooluga juhtme liikumine magnetväljas on tähelepanuväärne selle poolest, et seejuures muutub elektrienergia mehaaniliseks energiaks. Sellel nähtuse põhineb **elektrimootori** töö.

Kehtib ka pöördnähtus: kui juhet liigutada magnetväljas, siis tekib juhtmes elektrivool. Põhjus on ikka selles, et magnetväljas liikuvale laengule mõjub jõud. Kui juhe koos oma sees olevate vabade elektronidega liigub magnetväljas, siis ju laengud liiguvad magnetvälja suhtes. Elektronidele mõjuv jõud aga paneb nad juhtmes liikuma ja nii tekibki vool.

Sellel põhimõttel töötab **elektrivoolugeneraator**, mis muudab mehaanilist energiat elektrienergiaks.

Magnetnähtused looduses ja tehnikas.

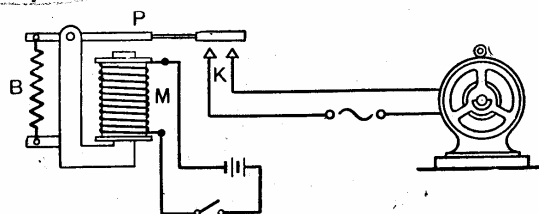
Loomade ja lindude orienteerumine Mitmed elusorganismid tunnetavad Maa magnetvälja ja kasutavad seda orienteerumiseks ning muudel otstarvetel. Näiteks tavaline toakärbes pidi alati istuma kehaga kas põhja - lõuna või ida – lääne suunas ($\pm 20^\circ$). Ja munev ematermit asetuvad ka alati piki Maa magnetmeridiaani suunda. Kalad ja linnud kasutavad Maa magnetvälja orienteerumiseks rännetel. Näiteks angerja reis tagasi sünnikohta, Sargasso merre toimub just Maa magnetvälja juhatusel.

Küsimus Kuidas uuritakse magnetvälja mõju loomadele?

Selleks tehakse katseid magnetväljas ja seejärel ruumis, mis on valmistatud magnetvälja varjestavast materjalist (ferromagnetikust) ja võrreldakse nende reaktsioone.

Magnetismi tehnilised rakendused: kompass, elektrimootor ja -generaator, elektrimõõteriistad, elektromagnetrelee, transformaator, elektromagnetkraana, helisalvestus, infosalvestus, kõlar, mikrofoni, meditsiin (magnetresonantstomograafia), pangakaardid, turvasüsteemid, jne.

Elektromagnetrelee



Joonis 8.6. Relee elektrimootori sisse- ja väljalülitamiseks. M- elektromagnet, P- raudplaadike, K – kontaktid, B - vedru

Küsimused

1. Head soojusjuhid on ka head elektrijuhid. Miks?
2. Miks kasutatakse hõõrdeelektri tekitamiseks isolaatoreid?
3. Mis tingimustel saab elektriseerida metalle?
4. Kas elektriseeritud kehas paikneb lisalaeng ühtlaselt üle keha või on see kuhugi koondunud?
5. Kas elektrienergia on oma olemuselt kineetiline või potentsiaalne energia?
6. Kumma juhi takistus on suurem: kas lühikesel ja jämedal või pikal ja peenikesel. Juhid on samast materjalist.
7. Soojusliikumises osalevate elektronide ümber peaks ka olema magnetväli. Miks magnetväljal reageerib ainult voolu toimel liikuma pandud laengute väljale?
8. Mis juhtub teise lambiga kui üks lampidest läbi põleb (vt joonis 8.4. a) ja b))?
9. Kuidas leida rööpühenduse korral voolutugevus vooluringi hargnemata osas, kui on teada voolutugevused üksikutes harudes?
10. Kuidas leida jadaühenduse korral voolutugevusi tarvitites, kui on teada tarvitite kogutakistus ja vooluallika pinge?
11. Mille poolest ampermeeter ja voltmeter erinevad teineteisest oluliselt?
12. Kas laelambid on ühendatud omavahel jadamisi või rööpselt? Miks?
13. Miks on voolutugevus jadaühenduse korral igas tarvitis ühesugune?
14. Kas jõulukuuse elektrikuünlad on omavahel ühendatud jadamisi või rööpselt? Miks?
15. Miks tuleb vältida elektrisoojendusriistade ülekuumenemist ja kuidas seda teha?
16. Kas elektrivoolu poolt tekitatud magnetväli oleneb elektrivoolu tugevusest? Miks?
17. Kas hõõglambist eraldub rohkem energiat soojusena või valgusena?
18. Miks on säästulampidel selline nimi? Mida säästetakse?
19. Milleks kasutatakse elektrivoolu keemilist toimet?
20. Mida nimetatakse lühiühenduseks ja miks rakendub siis elektrikaitse?
21. Kummas elektripirn on selle töötamisel suurem vool: kas 25 W või 60 W?
22. Mõnel planeedil puudub magnetväli (näiteks Marss). Mida võib öelda nende planeetide sisehituse kohta?
23. On kaks raudpulka, millest üks on magneetunud. Kuidas kindlaks teha, kumb?
24. Kui kahes paralleelses juhtmes on elektrivool, siis nende vahel mõjub tõmbe- või tõukejõud. Miks?

Tarkused

- Laadimata kehas on alati võrdne arv prootoneid ja elektrone.
- Kehade kokkupuutel saavad liikuda ühelt kehalt teisele ainult elektronid.
- Juhtides on väga palju vabu laengukandjaid, isolaatorites väga vähe.
- Vaba laengukandja on laenguga osakene, mis saab elektriväljas vabalt liikuda. Tahketes ainetes on nendeks elektronid, vedelikes ioonid.
- Elektrivool on laengukandjate suunatud liikumine, mis esineb koos soojusliikumisega.
- Laenguid paneb suunatult liikuma elektrijõud.
- Elektrijõu tekitajat nimetatakse elektriväljaks.
- Elektrijõudu tekitavat seadet nimetatakse vooluallikaks. Jõu suuruse määrab pingeline.

- Voolutugevus näitab, kuipalju suunatult liikuvaid laengukandjaid läbib juhtme ristlõiget ajaühikus. See on seda suurem, mida suurem on pinge ja väiksem takistus: $I = U/R$.
- Voolul on soojuslik, magnetiline ja keemiline toime.
- Jadaühenduse korral on voolutugevus kõigis tarviteis ühesugune.
- Rööpühenduse korral on pinge kõigi rööpsete osade otstel ühesugune.
- Voolu töö ja võimsus on seda suuremad, mida suuremad on pinge ja voolutugevus.
- Igal magnetil on kaks poolust.
- Magnetpooluste vahel mõjuvad jõud on seda suuremad, mida lähemal nad teineteisele on. Jõud oleneb ka keskkonnast, mis on nende vahel.
- Magnetväli mõjub vooluga juhtmele (liikuvale laengule).

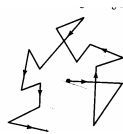
9. Soojusõpetus

Soojusliikumine ja temperatuur

Paljud katsed näitavad, et aineosakesed liiguvad kõikides kehtades pidevalt, kusjuures liikumine on korrapäratu, enamvähem korrapärane osakeste liikumine esineb ainult kristallides. Sellist molekulide pidevat ebakorrapärast liikumist nimetatakse **soojusliikumiseks**. Miks selline liikumine esineb ja miks see kunagi ei lõpe, seda ei tea keegi. Öeldakse, et see on looduse omapära.

Soojusfüüsikas nimetatakse kõiki osakesi, mis võtavad osa soojusliikumisest, **molekulideks** ja ei tehta vahet, kas jutt käib aatomitest, ioonidest või molekulidest keemilises mõttes.

Gaasides saavad osakesed vabalt ringi liikuda, sest osakesi on seal suhteliselt vähe. Oma liikumisel nad pörkuvad üksteisega, muutes oma liikumise suunda. Vedelikes on osakeste tihedus suurem ja päris vabalt osakesed enam liikuda ei saa. Seal nad võbelevad mingis kohas natuke aega, siis liiguvad teise kohta ja võbelevad edasi. Tahkes aines paiknevad molekulid enamvähem kindlates kohtades, võnkudes nende kohtade umber.



Joonis 9.1. Molekuli soojusliikumise trajektoor õhus. Käänukohtadel on molekul pörkunud teise molekuliga.

Molekulide liikumistee pikkust kahe pörke vahel nimetatakse **vaba tee pikkuseks**. Keskmine vaba tee pikkus gaasides on teiste olekutega võrreldes suur ja võib olla 100 korda suurem, kui on molekuli läbimõõt, ulatudes õhus toatemperatuuril ja normaalrõhul näiteks kuni ühe mikromeetrini (10^{-6} m). Väiksematel rõhkudel on see aga palju suurem.

Vedelikes on keskmine vaba tee pikkus aga palju väiksem, ulatudes napilt mõne kümnendiku mikromeetrini.

Molekulide liikumiskiirused on tavaliselt suured ja olenevad temperatuurist. Mida kõrgem on aine temperatuur, seda suurema kiirusega osakesed liiguvad. Toatemperatuuril on näiteks õhumolekulide kiirused umbes paarsada meetrit sekundis.

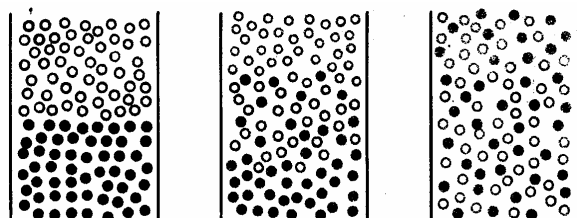
Probleem Õhumolekulide kiirused on umbes samasuured kui on heli kiirus õhus. Kas selline kokkusattumus on juhuslik?

Osakesed liiguvad erinevate kiirustega ja sellepärast kasutatakse nende kirjeldamisel keskmise kiiruse mõistet. Molekulide keskmine kiirus leitakse sarnaselt sellega, kuidas leitakse inimeste keskmine pikkus: kõik väärtused liidetakse kokku ja jagatakse liidetavate arvuga. Ehk täpsemalt: kõikide molekulide kiiruste absoluutväärtused liidetakse kokku ja jagatakse molekulide arvuga.

Probleem Miks molekulide keskmise kiiruse leidmisel ei arvestata kiiruse suundi?

Osakeste liikumist saab kontrollida mõne lihtsa **katsega**. Näiteks avame toa ühes nurgas lõhnaõli pudeli ja varsti on tunda lõhnaõli lõhna kogu toas. Kuidas said lõhnaõli molekulid pudelist välja ja jõuda igasse toasoppi? Ainult tänu soojusliikumisele.

Veelgi ilmekam on vedelike segunemine soojusliikumise tõttu, sest seda on silmaga näha. Tilgutame puhtasse vette mingi värvilise vedeliku tilgakese. Selleks sobib vedelik, mis vees lahustub, näiteks punane tint. Kui me vedelikku ei sega, siis alguses on näha küllalt selge piirjoon, mis eraldab tinti veest. Aga mõne tunni möödudes on piirjoon juba palju hägusam ja järgmisel päeval on kogu veeanum täis kergelt punakat lahust. Seda on põhjustanud molekulide soojusliikumine, mis on vee ja tindi molekulid segamini ajanud. Sellist ainete segunemist soojusliikumise tõttu nimetatakse **difusiooniks**.



Joonis 9.2. Tindi ja vee segunemine difusiooni tõttu.

Kui me segame tinti kuuma veega, on segunemine palju kiirem. Põhjuseks on see, et kõrgemal temperatuuril liiguvad molekulid kiiremini.

Temperatuuri mõõdetakse **termomeetri** abil. Kuna temperatuuri mõõdetakse kraadides, siis tavakeeles öeldaksegi tihti termomeetri kohta kraadiklaas. Termomeetri töö põhineb selles oleva aine (elavhõbe või värviline piirituse lahus) soojuspaisumisel. Aine on termomeetri mahutis, mis on ühendatud toruga. Mida kõrgem on temperatuur, seda suuremaks muutub termomeetri mahutis oleva vedeliku ruumala ja seda kõrgemale tõuseb selle tase torus. Taseme kõrgust torus saab määrata termomeetri skaala järgi, mis on toru taga.

Tänapäeval kasutatakse üha rohkem **digitaalseid termomeetreid**. Neis kasutatakse temperatuuri anduritena kas termopaare või termotakisteid. **Termopaar** on temperatuuritundlik element, milleks on kahe erineva metalli jootekoht (näiteks vask ja konstantaan). See kontaktpiirkond tekitab erinevate metallide vahel potentsiaalide vahe ehk pinget, sest metallides on vabade elektronide kontsentratsioonid erinevad. Seetõttu läheb ajaühikus ühest metallist teise üle rohkem elektrone kui tagasi tuleb. Üleminevate elektronide arv on aga temperatuurist olenev ja seetõttu tekkiv pinget

oleneb temperatuurist ning see lubabki temperatuuri mõõta. Tekkivat pinget kasutatakse diginäidu tekitamiseks.

Temperatuuri saab mõõta ka **termotakistiga**, mis on elektrooniline detail, mille takistus oleneb temperatuurist. Enam levinud termotakisti materjaliks on metallid, näiteks plaatina. Plaatinaanduriga termomeetrit nimetatakse RTD-termomeetriks (lühend inglise k sõnadest *Resistance Temperature Detector*).

Digitaalsete termomeetrite vooruseks ja ka puuduseks on nende väike soojuslik inertts, sest anduri mass on väike ja temperatuur muutub kiiresti.

Temperatuuri mõõtmisel tuleb täita mitmeid nõudeid, et saada usaldatavat tulemust.

Neist peamised on järgmised:

- Mõõdetava keha mass peab olema oluliselt suurem kui on termomeetri mahutis oleva vedeliku mass
- Termomeeter ja keha peavad olema heas kontaktis
- Tuleb oodata seni, kuni termomeetri näit enam ei muutu.

Miks paisuvad kehad soojenedes? Sellepärast, et temperatuuri tõustes hakkavad molekulid kiiremini liikuma ja lendavad üksteisest kaugemale, enne kui põrkuvad. Olukorda saate ka ise kontrollida. Oletame, et lapsed on molekulid. Kui lasterühm seisab paigal, külg-külje kõrval, siis ta võtab enda alla kindla suurusega pinnatüki. Kui lapsed hakkavad kõndima, siis nende poolt kaetud pinnatükk suureneb, sest käimisel jäävad lastele vahed vahele. Kui lapsed jooksema hakkavad, siis katavad nad veel suurema pindala, sest mõni jookseb kiiremini ja mõni aeglasemalt ning vahemaad laste vahel suurenevad veelgi.

Keha siseenergia ja selle muutumine

Siseenergiaks nimetatakse kõikide molekulide kineetiliste ja potentsiaalsete energiatega summat. Kui peame silmas ainult molekulide kineetilist energiat, siis võib siseenergia asemel öelda ka **soojusenergia**. Keha siseenergia muutumiseks on kaks võimalust: töö või soojusülekanne. Soojusfüüsikas on kehaks, mis teeb tööd tavaliselt mingi kogus silindrisse suletud gaasi.

Kui kehale antakse soojust (täpsemalt soojushulka Q) juurde, siis keha temperatuur tõuseb ja keha paisub. Seda saab kasutada millegi nihutamiseks ehk töö tegemiseks. Kehtib seadus, et juurdeantav soojushulk Q on alati võrdne keha siseenergia muutuse ΔE ja välisjõudude vastu tehtud töö A (paisumise töö) summaga. $Q = \Delta E + A$. Seda seadust nimetatakse **termodünaamika I printsiibiks**, mis sisuliselt on energia jäävuse seaduse kirjeldus. Siit nähtub, et nii energial, soojushulgal kui tööle peavad olema ühesugused mõõtühikud, sest muidu me ei saaks sellist võrrandit koostada. On kokku lepitud, et kui kehale antakse soojust juurde, siis on Q positiivne. Kui keha annab soojust ära, siis on Q negatiivne. Tööd loetakse positiivseks, kui keha teeb tööd välisjõudude vastu, näiteks paisub. Negatiivne on töö, kui välisjõud teevad kehaga tööd, näiteks suruvad keha kokku.

Toodud seadusest nähtub, et kui tööd ei tehta ($A = 0$), st keha ei saa paisuda, siis läheb kogu juurdeantud soojushulk keha siseenergia tõstmiseks. Sellist protsessi nimetatakse **soojusülekandeks**. Samuti on näha, et tööd saab keha teha ka siis, kui talle soojust juurde ei anta ($Q = 0$). Sel juhul $A = -\Delta E$, mis tähendab, et keha siseenergia väheneb: tööd tehakse keha siseenergia arvel. Selle tulemusena väheneb molekulide keskmine kiirus ja keha temperatuur langeb.

Soojusülekanne tähendab, et üks keha (või selle osa) annab oma siseenergiat üle teisele kehale (või iseenda teisele osale). Soojusülekanne toimub alati soojemalt kehalt külmemale, st. temperatuurid püüavad ühtlustuda: soojem keha jahtub ja külmem soojeneb. Soojuse ülekandumisest saame aru selle järgi, et jahedama keha temperatuur tõuseb. Mida kiiremini temperatuur tõuseb, seda suurem **soojushulk** on üle kantud.

Kuidas toimub soojuse ülekandumine ühelt kehalt teisele?

Selleks on kolm võimalust: **soojusjuhtivus, konvektsioon, kiirgus.**

Soojusjuhtivuse korral on kehad omavahel kontaktis ja ühe keha molekulide või ka vabade elektronide põrked teise keha osakestega annavad energiat ühelt kehalt teisele. Eriti head soojusjuhid on metallid, sest neis on palju vabu elektrone. Nende kiirused on väga suured, ca 100 km/s ja seetõttu nad põrkuvad väga tihti teiste osakestega ja annavad soojusenergiat üle. Halvad soojusjuhid on gaasid, sest neis on molekule hõredalt ja põrkeid toimub suhteliselt harva. Kõik poorsed ained on halvad soojusjuhid, kuna need sisaldavad õhku.

Soojusjuhtivusel üleantav soojushulk on seda suurem, mida suurem on kehade temperatuuride vahe, mida suurem on kokkupuute pind, mida lähemal on kehad üksteisele ja mida kauem ülekanne kestab. Tulemus oleneb ka keskkonnast, mis on kehade vahel.

***Katse** Soojusjuhtivuse olenevus materjalist ja juhi mõõtmetest. Asetame erinevast materjalist vardad üht otsa pidi küünlaleeki ja teist otsa hoiame peos.*

Võib ka tikuga soojendada vasktraati ja määrata, mille kaudu – kas põleva tiku või traadi kaudu jõuab kuumus kiiremini sõrmeni.

Konvektsiooni korral kantakse soojem keskkond üle teise kohta ja koos sellega ka siseenergia. Konvektsiooni näiteks on sooja vee liikumine keskküttesüsteemis. Konvektsioon võib olla loomulik või sunnitud (pumba abil tekitatud). Loomulik konvektsioon esineb sellepärast, et soojenedes aine paisub, tihedus väheneb ja tekib **üleslükkejõud**. Seda, et soe õhk tõuseb üles, oleme kõik näinud, sest lõkke suits tõuseb üles just koos sooja õhuga.

***Katse** Soe õhk tõuseb üles. Küünla kohale lahti lasta väikesi vatitükikesi.*

Kiirgus kannab samuti soojusenergiat edasi. Päikeselt Maale jõuab energia läbi atmosfääri ikka kiirgusena, mitte soojusjuhtivuse teel. Avakosmoses aga puudub isegi põhimõtteline võimalus soojusjuhtivuseks või konvektsiooniks.

See kiirgus, mis näiteks Päikeselt energia maale toob või kuumast ahjust meieni kannab on **soojuskiirgus**, mida nimetatakse ka elektromagnetiliseks laineks.

Laine ise ei ole soojus ega energia. Laine kannab endaga soojusenergiat, mis on muutunud laineks ja muutub uuesti soojuseks, kui laine põrkub mingi kehaga.

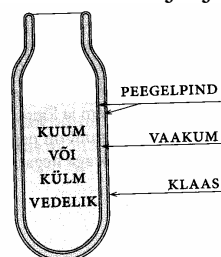
Kõik kehad kiirgavad soojuskiirgust. Mida kõrgem on temperatuur, seda suurema sagedusega kiirgust kiiratakse. Kui kiirgaja temperatuur on üle 800° C, siis muutub kiirgus inimsilmale nähtavaks kiirguseks – **valguseks**.

***Katse** kiirgusenergia ülekande olenevus pinna värvusest. Must keha neelab rohkem soojust kui valge. Seest peaaegu tühja kalmuküünla üks sisemine külg ära tahmata. Panna plastiliiniga 2 tikku küünla kesta erinevate väliskülgede külge ja küünal põlema. Musta poole küljest kukub tikk enne ära*

Rakendused

Termos on nõu kuumade või külmade vedelike hoidmiseks. See on kahekordsete seintega anum, mille seinad on kaetud läikiva metallikihi ja seinte vahelt on õhk välja pumbatud. Selline konstruktsioon vähendab miinimumini soojusülekanne termose sisu ja väliskeskkonna vahel.

Peegelpind ei luba soojusenergiat väliskeskkonda, kuna kiirgus peegeldub termosesse tagasi. Vaakum seinte vahel välistab soojusjuhtivuse ja konvektsiooni.



Päikeseküte on tavaküttele abiks, meie kliimas saab seda kasutada ainult kevad-suvisel perioodil. Küttesüsteeme jaotatakse passiivseteks ja aktiivseteks. Passiivse kütte korral on näiteks lõunapoolne majasein tehtud vesitäitega, mis kogub endasse päikesekiirguse energiat ja annab soojusjuhtivuse teel selle majja edasi. Aktiivse kütte korral on katusele seatud veega täidetud kastid, kus vesi soojeneb. See vesi pumbatakse kas soojavee boilerisse või radiaatorisse ja sealt tagasi katusele, kus see uuesti soojeneb.

Probleem *Kuidas vaakum termose sinate vahel välistab konvektsiooni ja soojusjuhtivuse?*

Agregaatolekute muutused

Üks aine olek võib teiseks üle minna. Kui näiteks vedelikule soojusenergiat juurde anda, siis hakkavad vedeliku molekulid kiiremini liikuma. Mõne molekuli kiirus võib kasvada nii suureks, et naabermolekulide tõmbejõust jääb väheseks selle kinnihoidmiseks ja molekul lendab vedelikust välja. Öeldakse – vedelik **aurustub**. See võib juhtuda ka ilma välist energiat juurde saamata, sest tänu omavahelistele põrgetele on vedelikus väga erineva kiirusega molekule. Need, mille kiirus on palju suurem keskmisest kiirusest, lendavad vedelikust välja. Kui kiiremad molekulid lahkuvad, siis selle tulemusena vedelik jahtub. Edasiseks aurustumiseks peab kuskilt soojusenergiat juurde saama. Seda võetakse ümbritsevatelt kehadelt.

Katse *Aurustumise olenevus pinna suurusest ja õhu liikumisest ning temperatuurist (veetilk ajalehe paberil)*

Aurustumise pöördnähtuse korral kaotavad gaasimolekulid põrgetel jahedama aluspinnaga oma energiat ja tekib vedelik. Öeldakse – aur **kondenseerub**.

Vedeliku soojendamisel esineb paralleelselt kaks protsessi: soojenemine ja jahtumine. Esimene leiab aset tänu soojusallikalt tulevale energiale, teine leiab aset sellepärast, et vedelikust lahkuvad kõige kiiremini liikuvad molekulid viivad pidevalt energiat ära. Madalamatel temperatuuridel on ülekaalus soojuse äraandmine. Kui saabub tasakaal nende protsesside vahel, siis vedelik hakkab keema. Tasakaal tähendab, et sama aja jooksul on juurdeantav ja äraantav soojushulk võrdsed.

Keemisel vedelik aurustub ka oma pinna all, seal tekivad mullid, mis liiguvad vedeliku pinna poole. Mull jõuab pinnale siis, kui temas oleva gaasi rõhk on suurem

kui välisõhurõhk pluss mulli kohal oleva vedelikusamba rõhk. Kui mullid jõuavad vedeliku pinnale, siis vedelik keeb. Seda soojust, mis tuleb vedelikule juurde anda aurumullide tekitamiseks keemistemperatuuril, nimetatakse **keemissoojuseks**.

Keemine toimub kindlal temperatuuril, mida nimetatakse **keemistemperatuuriks**, mis vedeliku keemisel ei muutu. Keemistemperatuur oleneb gaasi rõhust vedeliku pinna kohal. Mida madalam on gaasi rõhk, seda madalam on ka keemistemperatuur. Näiteks kõrgmäestikus, kus õhurõhk on palju väiksem kui merepinnal, keeb vesi ka oluliselt madalamal temperatuuril kui 100 °C.

Keemisel eralduvad keskkonnast kõige kiiremad molekulid. Keemise säilitamiseks tuleb vedelikule pidevalt soojust juurde anda. Keemistemperatuuril on soojuse äravool ja juurdevool tasakaalus ja temperatuur ei muutu.

Katse Keevas vees ujumas anumal ei lähe vesi keema.

On veel teisi olekumuutusi. Üleminekut tahkest olekust vedelasse nimetatakse **sulamiseks**, aga üleminekut vedelast olekust tahkesse – **tahkestumiseks**. Üleminekut tahkest olekust gaasilisse nimetatakse **sublimatsiooniks**, aga üleminekut gaasilisest olekust tahkesse – **härmatumiseks**. Ainete sulamine ja tahkestumine toimuvad kindlatel temperatuuridel, mis on omavahel võrdsed. Neid nimetatakse vastavalt **sulamis- ja tahkestumistemperatuurideks**. Näiteks vee korral on need temperatuurid 0 °C, aga elavhõbeda korral on need temperatuurid –39°C. Sublimatsioon ja härmatumine võivad aga esineda ka ühe aine korral küllalt erinevatel temperatuuridel.

Katse Sulamis- ja tahkestumistemperatuuride erinevus Sulatada Woodi metalli ja tina ning lasta tahkuda

Sulamisel, aurustumisel ja sublimatsioonil tuleb ainele soojust juurde anda. Tahkestumisel, kondenseerumisel ja härmatumisel eraldub ainele soojust. See on ka arusaadav, sest esimese muutuste rühma korral peavad molekulid hakkama kiiremini liikuma, et minna teise olekusse. See eeldab energia (soojuse) juurdesaamist. Teise rühma korral molekulide keskmine kiirus väheneb ja ülejääv energia eraldub soojusena. Need soojused on paarikaupa omavahel võrdsed. See tähendab, et samapalju soojust, kui tuleb mingile ainekogusele selle sulamisel anda, vabaneb sama ainekoguse tahkumisel. Ka aurustumiseks vajalik soojushulk ja kondenseerumisel vabanev soojushulk on omavahel võrdsed.

Sisenergia võib üle kanduda veel ühel viisil, nimelt **põlemisel**, mis on aine kiire oksüdeerumine. Põlemine võib toimuda nii leegiga kui ilma (hõõgumine). Põlemisel eraldub suhteliselt palju energiat ja see antakse üle kõigil kolmel viisil. teatud hulga kütuse täielikul ärapõlemisel eralduvat soojushulka nimetatakse **kütteväärtuseks**

Katse Ühe ja sama ainekoguse põletamisel eraldub erinev soojushulk. Minge veekoguse keema ajamine erinevate kütustega.

Ülesanded

1. Miks vesi ei kõlba termomeetri vedelikuks?
2. Kuidas mõõta koeral oleva kirbu või jões ujuva kala temperatuuri?
3. Miks kuumal saunalaval tundub lavalauas oleva naela pea kõrvetavalt kuum, aga puitosad pole nii kuumad? Ometi peaksid nad ju ühe temperatuuri juures olema.

4. Miks väga külma ilmaga keelega metallesele katsudes keel sinna kinni külmub, aga puutüki külge ei külmu, kuigi selle temperatuur on sama, mis metallil?
5. Kas suits tõuseb alati korstnast üles?
6. Kas kosmoselaevas süüdatud tikk hakkab põlema?
7. Kuidas vedeliku aurustumise abil on võimalik tõestada, et vedeliku molekulid liiguvad erinevate kiirustega?
8. Kuidas suhtuda reklaami, mille kohaselt lõhnaõli lõhn säilib kaua, sest see lõhnaõli ei aurustu?
9. Miks vee keemisel või külmumisel selle temperatuur ei muutu?
10. Kui anum gaasiga liigub, siis on molekulide keskmine kiirus suurem kui paigal seisvas anumal. Kas anuma liikumine tõstab gaasi temperatuuri?
11. Õhk on halb soojusjuht. Kuid kuumad kehad jahtuvad õhus siiski kaunis kiiresti. Miks?
12. Suvel on veekogudes vesi alati jahedam kui ümbritsev õhk. Miks?
13. Miks vesisein kütab maja rohkem kui puit- või kivisein?

Tarkused

- Molekulide pidevat ebakorrapäraselt liikumist nimetatakse soojusliikumiseks.
- Kõrgemal temperatuuril on molekulide keskmine kiirus suurem.
- Soojusülekanne toimub alati soojemalt kehalt külmemale.
- Soojusjuhtivus on tingitud osakeste omavahelistest põrgetest.
- Konvektsioon on tingitud keskkonna osade erinevatest tihedustest.
- Soojuskiirgus on elektromagnetiline lainet.
- Agregaatolekute muutused, mille käigus molekulide liikumiskiirus suureneb nõuavad lisaenergiat, energia neeldub: sulamine, aurustumine, sublimatsioon.
- Agregaatolekute muutused, mille käigus molekulide liikumiskiirus väheneb vabastavad energiat: tahkestumine, kondenseerumine, härmatumine.

10. Aatom ja selle tuum

Aatom, tuum ja nende ehitus

Kõik ained koosnevad väiksematest osadest. Seda võib järeltada kehade paisumisest soojendamisel. Kehade ruumala muutumist saab seletada sellega, et kehad ei ole jagamatud, vaid koosnevad väiksematest osakestest, mille vahel on vaba ruumi. Kui ainet soojendada, siis selle osakesed eemalduvad üksteisest ja keha ruumala suureneb. Aga kui me vaatame mingit ainet nagu vesi või raud, siis näivad nad täiesti ühtlased. Mingeid osakesi pole näha. Põhjus on selles, et aineosakesed on nii väikesed, et palja silmaga neid ei näe.

Kui meil on tegemist ainega, mille osakesi ei saa ühegi keemilise reaktsiooniga lagundada, siis öeldakse, et see aine on **keemiline element**. Keemilise elemendi väikseimat osakest nimetatakse **aatomiks**. Aatom koosneb positiivselt laetud aatomi tuumast ja selle ümber olevast negatiivse laenguga elektronpilvest, mis lihtsustatud ettekujutuses on kerakujuline.

Küsimus Mitut erinevat liiki aatomeid on looduses? Kas Universumis on rohkem aatomite liike?

Aatomi tuumas on kaht liiki osakesi: neutroneid ja prootoneid. Neist **prootonil** on positiivne laeng, mis on täpselt sama suur kui elektroni negatiivne laeng. **Neutronil**

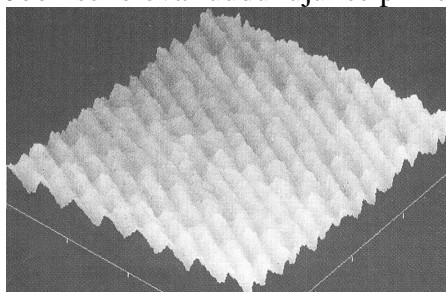
aga elektrilaeng puudub üldse. Tuumas mõjuvad nii prootonite kui neutronite vahel tõmbejõud, mis on tingitud ühest looduses esinevast vastastikmõjust – tugevast vastastikmõjust.

Iga ühe ja sama keemilise elemendi aatomi tuumas on alati ühepalju prootoneid ja see määrab ära ka elemendi asukoha perioodilise süsteemis (Mendelejevi tabelis). Kuid neutronite arv ühe keemilise elemendi tuumas võib olla erinev. Neid erineva neutronite arvuga tuumasid nimetatakse **isotoopideks**. Ka viie, nelja või kolme lehega sireliõisi võib pidada sireliõite isotoopideks.

Aatomid on väga väikesed, nende läbimõõt on umbes 1 ongström (10^{-10} m). Aatomi mõõtmeid on raske täpselt määrata mitmel põhjusel.

Esiteks on nad väga väikesed ja neid on väga palju tihedalt koos. Öeldakse küll, et tänapäevaste aatomjõu mikroskoopidega on võimalik näha üksikuid aatomeid, kuid see ei tähenda, et oleks võimalik näha ainult üht aatomit. On võimalik saada aatomite grupipilti, kust saab eristada üksikuid inimesi, kuid aatomi portreed pole tehtud, sest kust võtta ainult üks paigalseisev aatom, et teda pildistada?

Joonisel 10.1. on näidatud tükikest grafiidi pinda, kus mügerikud on süsiniku aatomid. Joonisel oleva ruudukujulise pinnatüki ühe serva pikkus on 12 ongströmi.



Joonis 10.1. Süsiniku aatomid grafiidi pinnakihis.

Teiseks pole aatomid üksteisest väga selgelt eristuvad, sest naaberaatomite elektronpilved võivad omavahel kattuda.

Kolmandaks pole ka ühel aatomil kindlat suurust, sest kui aatom on saanud kuskilt lisaenergiat, siis tema elektron pilv paisub ja ulatub tuumast kaugemale. Füüsikas öeldakse: ergastatud aatom on suurem.

Näide Olukord on mõneti sarnane vahukoore ruumalaga. Kui koor on veel vahustamata, siis on ta ruumala näiteks 100 cm^3 , aga pärast vahustamist (lisaenergia andmist) aga juba näiteks 300 cm^3 .

Aatomite vaatlemiseks kasutatakse nn **aatomjõu mikroskoobe**, kus aatomite kujutised saadakse arvuti ekraanile. Sellised mikroskoobid lubavad eristada objektide detaile, mille mõõtmed on alla 0,1 ongströmi.

Näide. Piltliku ettekujutuse saamiseks aatomite mõõtmetest kujutame ette, et meil on võimalus suurendada aatomi läbimõõtu miljon korda. Sel juhul oleks see 10^{-4} m ehk 0,1 mm. Sellise läbimõõduga on ka peenemad liivaterad. Kuid siis kasvavad ka teiste kehade mõõtmed. Näiteks selle 0,1 mm liivatera läbimõõt oleks siis 100m!

Aatomeid on kõikides kehaes väga palju. Näiteks 1 cm^3 vases või ka mõnes teises metallis on umbes 10^{23} aatomit.

Vanasti arvati, et aatom on nagu väike Päikesesüsteem, mille keskel on tuum ja selle ümber tiirlevad kindlatel orbiitidel elektronid. Sellist aatomi mudelt nimetatakse **planetaarseks aatomimudeliks**.

Nüüdseks on kindlas tehtud, et planetaarne mudel ei vasta tegelikkusele. Iga aatomi keskel on küll tuum ja selle ümber liiguvad elektronid, aga mitte kindlatel trajektoridel. Elektronide liikumiskiirused aatomis on väga suured, ikka tuhandeid kilomeetreid sekundis. Samuti pole neil kindlaid liikumisteid ehk orbiite. Sellepärast polegi võimalik aatomis jälgida mingi kindla elektroni liikumist ja räägitakse **elektronpilvest**.

Tuum omab positiivset elektrilaengut, elektron negatiivset. Tuuma positiivne laeng on tingitud selle koostises olevate **prootonite** positiivsest laengust. Protoni ja elektroni laengute arvulised väärtused on väga suure täpsusega võrdsed ja sellepärast on iga aatom elektriliselt neutraalne, st tema elektrilaeng on null.

Probleem *Kuidas me teame, et elektroni ja protoni laengud on täpselt võrdsed?*

Protonite ja elektronide laengud on küll täpselt võrdsed, aga massid on oluliselt erinevad: protoni mass on $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg, elektroni mass $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. Seega on proton umbes 2000 korda raskem kui elektron. Sellepärast on aatomi põhiline mass koondunud tuuma.

Protoni läbimõõt on natuke väiksem kui 10^{-15} m ja elektroni läbimõõt alla 10^{-18} m.

Aatomi tuum on veel palju väiksem kui aatom. Tuumade läbimõõt on erinevate ainete aatomitel veidi erinev, aga suurusjärk on ikka 10^{-15} m.

Näide *Kui aatomi tuum oleks 1 m läbimõõduga kera, siis ergastamata aatomi läbimõõt oleks 100 kilomeetrit.*

Probleem *Tuumas on ühesuguse laenguga osakesed, protonid väga lähedal üksteisele (tuuma mõõtmed on ju imeväikesed). Miks nad elektriliste tõukejõudude tõttu laiali ei lenda?*

Tuumas on peale protonite veel teist liiki osakesi, **neutroneid**. Neil pole elektrilaengut, mass ja suurus on peaaegu võrdsed protonite omadega. Neutronite arv on tuumas tavaliselt suurem kui protonite arv.

Protonite ja neutronite kontsentratsioon on kõikides tuumades enamvähem ühesugune ja sellepärast on ka tuumade tihedus enamvähem ühesugune. Tuuma tihedus on väga suur: 10^{17} kg/m³, mis tähendab, et 1 cm³ tuumade mass on 100 miljonit tonni.

Kui aatomid ja tuumad nii väikesed on, kuidas siis nende kohta niipalju infot on saadud? Selleks on tehtud väga palju erinevaid katseid ja neid on ka palju korratud. Sellepärast võib öelda, et meie teadmised aatomitest ja tuumadest on kaudsed, järeldused katsetulemustest. Millised aatomid või tuumad tegelikult on, seda me ei tea ja selle tõttu kehtib kogu meie senine jutt aatomi ja tuuma mudeli kohta. Mudel on koopia originaalist, kus on olemas kõik selle olulised tunnused. Näiteks gloobus on Maakera mudel. Mudel ei pea olema mingi reaalne keha või objekt, mudeliks võib olla ka millegi kirjeldus. Näiteks pole olemas ideaalset õpetajat, aga on loodud vastavaid mudeleid. Nii on ka aatomi- ja tuumamudelid kujutletavad mudelid.

Tuumafüüsikat kasutab inimene oma huvides. Raskete tuumade lagunemisel eralduvat energiat kasutatakse tuumaelektrijaamades. Teist tuumareaktsiooni liiki, kerge te tuumade ühinemist, pole inimene veel õppinud juhtima. Külla aga kasutatakse juhitamatut tuumareaktsiooni, termotuuma reaktsiooni vesinikpommides.

Probleem. Mille järgi jaotatakse tuumi kergeteks ja rasketeks?

Kergeteks loetakse perioodilisuse süsteemi alguses olevate elementide tuumi ja rasketeks lõpus olevaid tuumi. Mõnikord pannakse piir massiarvu järgi. Massiarv on tuumas olevate prootonite ja neutronite arvude summa. Kui massiarv on alla 50, on kerged tuumad, kui massiarv on üle 150, on rasked tuumad.

Aatomifüüsika rakendusi on väga palju, aga alati ei seostata neid aatomifüüsikaga. Aatomifüüsikaga pole seotud pelgalt aatomite omaduste uurimine, vaid just uute ainete ja nende kasutusvõimaluste uurimine. Inimene on tänu aatomite omaduste uurimisele loonud palju oma eluks vajalikke seadmeid:

pooljuhtelektroonika seadmed, radar, päikesepatareid, mikrolaineahjud, laserprinterid, skännerid, arvutihiired, digilauad, laserloodid, pointerid, kaugusmõõdikud, valeraha kontroll, vöötkoodide lugemine, pagasikontroll, termograafia, röntgendefektoskoopia, laserlõikus ja -puurimine, laserkeevitus ja -jootmine, elektrooptilised muundurid, laserkülmutus, lasersüüteküünlad autodele, laserablatsioon, infrapunakuivatus, holograafia, fotoaparaat, filmikaamera, TV kaamera, CD ja DVD mängijad, LCD teler, valgustusseadmed, laserrelvad, jne.

Radioaktiivsus

Radioaktiivsuseks nimetatakse mingi keemilise elemendi isotoobi iseeneslikku muundumist mõne teise elemendi isotoobiks. Selle juures muutub isotoobi tuuma koostis ja eraldub radioaktiivset kiirgust.

Radioaktiivsed on reeglina rasked elemendid, sest nenede tuumades on palju prootoneid ja neutroneid, mis teevad tuuma suhteliselt suureks.

Vaatleme, kuidas suur tuum võib viia tuuma lagunemisele. Nagu teada, mõjub prootonite vahel kaks jõudu. Elektriline jõud püüab neid üksteisest eemale tõugata, aga tugeva vastastikmõju jõud kisub neid üksteise poole. Elektriline tõukejõud väheneb osakestevahelise kauguse suurenedes pöördvõrdeliseslt kauguse ruuduga. See tähendab, et kui kaugus on suurenenud 2 korda, siis tõukejõud väheneb 4 korda. Tugava vastastikmõjust tingitud tõmbejõud aga väheneb tunduvalt kiiremini, pöördvõrdeliselt kauguse kuuneda astmega. See tähendab, et kauguse suurenedes 2 korda väheneb tõmbejõud 64 korda. Järelikult kui prootonid eemalduvad üksteisest kaugemale kui tavaliselt, siis saab tõukejõud tõmbejõust suuremaks ja võib prootoni tuumast välja tõugata ehk tuuma ära lõhkuda. Ja suure tuuma korral on prootonitel rohkem ruumi üksteisest eemaldumiseks.

Radioaktiivset isotoopide muutumist nimetatakse ka **radioaktiivseks lagunemiseks**. Selle protsessi käigus väheneb tuumade arv ja see toimub eksponentsiaalselt, vastavalt

seadusele $N = N_0 e^{-\lambda t}$, kus $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$. Siin on N_0 tuumade arv alghetkel, N on aja t

järel alles jäänud tuumade arv, λ tuuma lagunemise tõenäosus ja T poolestusaeg.

Poolestusaeg on ajavahemik, mille jooksul laguneb pool olemasolevatest tuumadest, näiteks ^{235}U on see $7,1 \cdot 10^8$ aastat.

Radioaktiivne kiirgus jaguneb α , β ja γ kiirguseks. Radioaktiivne kiirgus on tervisele kahjulik.

Alfakiirgus kujutab endast α osakeste voogu. Alfaosake koosneb kahest prootonist ja kahest neutronist, st. on samasuguse ehitusega nagu heeliumi aatomi tuum.

Alfakiirgus on väga väikese läbimisvõimega. ja α - kiirguse eest kaitseb meid ka tavaline paberileht.

Beetakiirgus kujutab endast kiirelt liikuvate elektronide voogu. Selle eest kaitseb näiteks õhuke metallileht.

Gammakiirgus on väga lühilaineline ja suure kvandienergiaga elektromagnetlainet, mille omadused vastavad osakeste omadustele. Gammakiirgus on väga suure läbimisvõimega ja seda takistavad oluliselt paksud metalli- või mullakihid.

- **α - kiirgus** koosneb alfaosakestest, st nad koosnevad kahest prootonist ja kahest neutronist. Kuna sarnane koostis on ka heeliumi aatomi tuumal, nimetatakse alfaosakesi ka heeliumiaatomi tuumadeks. Alfaosakesed kaotavad kiiresti energiat põrkudes talle ette jäävate molekulidega. Selle tulemusena molekulid ergastuvad või ioniseeruvad (kaotavad elektrone ja laaduvad positiivselt). Kaotanud oma energia ühineb alfaosake kahe elektroniga ja muutub heeliumi aatomiks. Õhus levib alfaosake enne kadumist kuni 10 cm. Tahketes või vedelates ainetes aga palju vähem.
- **β - kiirgus** kujutab endast kiirelt liikuvate elektronide voogu. Elektronide kiirused võivad olla väga suured, kuni 99 % valguse kiirusest vaakumis. Selletõttu on β - kiirgus ka hea ioniseerija. Kaotanud põrgetel oma energia, jääb elektron mõne negatiivse iooni koosseisu või neutraliseerib mõne positiivse iooni laengu. β - kiirgus levib õhus enne kadumist kuni 10 m, vees 1 cm, metallides mõni millimeeter. Siit on näha, et kiirguskaitseks on tarvis näiteks mõne millimeetrilise paksusega metallilehte.
- **γ - kiired** on olemuselt väga väikese lainepikkusega ($\lambda \leq 0,01$ nm) elektromagnetlained (nagu valguski), mis tekivad radioaktiivse lagunemise käigus. See kiirgus on väga suure läbitungimisvõimega, sest γ -kvantidel puudub elektrilaeng ja seepärast ei takista aineosakeste elektrilaengud γ -kvantide liikumist. Gamma kiirguse intensiivsus väheneb poole võrra näiteks 15 cm mullakihi läbimisel. Õhus γ -kiirgus praktiliselt ei nõrgene. γ -kiirgus neeldub aines sellepärast, et ta põhjustab fotoefekti (ioniseerib aatomeid) või kutsub esile röntgenikiirgust.

Dosimeetria

1. **Radioaktiivse kiirguse mõju inimesele** on tingitud radioaktiivse kiirguse ioniseerivast toimest. Selline ioniseeriv (suure energiaga) kiirgus tekitab aines (organismi kudedes) vabu elektrone, mida tavalises olekus organismis on väga vähe. Need vabad elektronid ühinevad aine molekulidega, tekivad nn **vabad radikaalid**, mis on keemiliselt väga aktiivsed molekulid ja reageerivad valimatult teiste ainetega, rikkudes organismi normaalset tööd.
2. Kiirguse ohtlikkuse hindamiseks tuleb kiirgust mõõta. Sellega seotud tegevusala nimetatakse **dosimeetriaks**. Kiirguse mõõtmise seadet nimetatakse **dosimeetriks**. Nimetus tuleb kreekakeelsest sõnast *dosis*, mis tähendab annust, kogust. Dosimeetriga mõõdetaksegi kiirguse tugevust, mis lubab kindlaks teha inimeses neeldunud kiirguse doosi ehk kiirgusenergia hulga keha ühe kilogrammi kohta.

Kiirguse **mõõtühikuid** on palju ja väga erinevaid, neist peamised on siivert, grei ja bekerell. Kõige paremini ettekujutatav ühik on bekerell (Bq), mis kirjeldab radioaktiivse aine aktiivsust, ehk radioaktiivsuse suurust. Üks bekerell tähendab, et radioaktiivses aines toimub ühes sekundis ühe tuuma lagunemine. See on väga väike ühik. Näiteks inimese keha loomulik aktiivsus on 5000 – 10000 Bq.

Radioaktiivse süsiniku meetod on moodus fossiilsete leidude vanuse määramiseks. Meetod kasutab asjaolu, et osa õhus leiduva süsihappegaasi koostises olevatest süsiniku isotoopidest on radioaktiivsed

Eeldades, et süsihappegaasi kontsentratsioon on läbi aegade olnud õhus püsiv, siis võib arvata, et ka radioaktiivse süsiniku kontsentratsioon organismis on olnud püsiv. Kui organism sureb, lakkab ainevahetus ja radioaktiivse süsiniku kontsentratsioon organismis hakkab vähenema, sest uut süsihappegaasi enam ei lisandu.

Teades radioaktiivse süsiniku algkontsentratsiooni organismis (N_0), praegust kontsentratsiooni N , mis määratakse katseliselt ja poolestusaega T (süsiniku korral on see 5730 aastat) saab radioaktiivse lagunemise seadusest arvutada aja, mis on läinud mööda organismi surmast.

Ülesanded

1. Kui aatomid on kerakujulised, siis ei saa nad täita kogu ainet nagu pallidega ei saa täita kogu mingi anuma ruumala. Mis on aatomite vahel?
2. Kuidas me teame, et soojuspaisumisel suurenevad aatomitevahelised kaugused, aga mitte aatomid?
3. Kas tuuma osakesed seisavad paigal või liiguvad ka üksteise suhtes?
4. Kas me märkaksime, kui prootoni ja elektroni laengute väärtused hakkaksid erinema kasvõi 1 promilli võrra? Miks?
5. Kui pika rea me saaks, kui õnnestuks panna 1 mm³ olevad aatomid tihedalt üksteise kõrvale ritta?
6. Miks ergastatud aatomil on suurem läbimõõt kui ergastamata aatomil?
7. Mingi isotoobi poolestusperiood on 2 päeva. Kui palju sellest ainest on alles kahe päeva pärast? Nelja päeva pärast?
8. Kui meil oleks radioaktiivseid vesiniku isotoope, kas need annaksid lagunemisel nii alfa-, beeta- kui gammakiirgust?

Tarkused

- Aatom koosneb selle keskel olevast tuumast ning seda ümbritsevast kerakujulisest elektronpilvest.
- Aatomi mõõtmeid ei saa täpselt määrata, kuna nad on väga väikesed ja tihedalt koos, naaberaatomite elektronpilved kattuvad, nende suurus oleneb sellest, kas nad on ergastatud või ei.
- Aatomis on alati niipalju elektrone, kuipalju tuumas on prootoneid.
- Prootoni ja elektroni laengud on täpselt võrdsed, aga vastasmärgilised.
- Meie teadmised aatomitest ja tuumadest on kaudsed, need on järeldused katsetulemustest.
- Radioaktiivset kiirgust on kolme liiki: alfa-, beeta- ja gammakiirgus, millest ainult viimane on kiirgus, teised on osakeste vood.

11. Laboritööd

1. Palli tõusu kõrguse määramine

Töövahendid: pall, stopp kell, 1 m pikkune joonlaud, laserlood.

Tööülesanne: Määrata käega otse üles vistud palli tõusu kõrgus. Anda meetodi teoreetiline põhjendus. Hinnata mõõtemääramatust.

Soovitus: Palli võiks visata füüsikahoone taustal, kusjuures üks rühma liige peaks eemalt hindama, mitmenda korruse kõrguseni pall tõuseb. See annab võimaluse hinnata mõõtetulemuse suurusjärgu õigsust. Füüsikahoone ühe korruse kõrgus on ca 3,5 m.

2. Käe liikumiskiiruse määramine

Töövahendid: stoppkell, 1 m pikkune joonlaud, lipuke, laserlood, pall.

Tööülesanne: Määrata oma käelaba liikumiskiirus. Anda meetodi teoreetiline põhjendus. Hinnata mõõtemääramatust.

Soovitus: Käe liigutamiseks sobib pallivise.

3. Õhuniiskuste võrdlemine

Töövahendid: kaks ühesugust termomeetrit, stoppkell, natuke vatti, vett.

Tööülesanne: Teha kindlaks, mitu korda erineb õhuniiskus füüsikahoone tiigi ääres ja loodusmaja pargis oleva tiigi ääres. Anda meetodi teoreetiline põhjendus. Hinnata mõõtemääramatust.

Soovitus: Temperatuuri mõõtmisel jälgida, et termomeetrid ei oleks otsese päikesekiirguse käes.

4. Vee soolsuse võrdlemine

Töövahendid: statiiv hoidjas oleva pulgaga, WC paberit, 2 pesulõksu, 2 lahust, destilleeritud vett, vedeliku anum, termomeeter, stoppkell.

Tööülesanne: Teha kindlaks, kumb lahustest on suurema soolasisaldusega. Anda meetodi teoreetiline põhjendus.

Soovitus: Lahuseid mitte maitsta! Need võivad põhjustada kõhulahtisust.

5. Klaasi murdumisnäitaja määramine

Töövahendid: klaaskeha, laserlood, mall, valge paber.

Tööülesanne: Määrata keha murdumisnäitaja. Anda meetodi teoreetiline põhjendus. Hinnata mõõtemääramatust.

Soovitus: Langeva kiire asendi fikseerimiseks tõmmata paberile sirge joon ja siis suunata laserikiir piki seda joont.

6. Maa pöörlemiskiiruse määramine

Töövahendid: laserlood, mõõtelint, stoppkell, mall.

Tööülesanne: Määrata Foucault' pendli abil Maa pöörlemiskiirus. Anda meetodi teoreetiline põhjendus. Hinnata mõõtemääramatust.

Soovitus: Enne pendli käima laskmist jälgida, et selle kinnitustraat ei väriseks.

Kirjandus

- A. B. Arons. A Guid to Introductory Physics Teaching. John Wiley & Sons, New York, 1990.
- P. Hewitt. Conceptual Physics. Little, Brown and Company, Boston, Toronto, fifth edition, 1999 (või mõni hilisem väljaanne)
- H. Voolaid, K. Tarkpea, O. Krikmann, A. Luik, E. Pärtel, J. Susi, M. Seeba, U. Tamm, K. Timpmann, E. Ööpik. *Loodusteaduslik mõtlemisviis koolifüüsikas*. EFS aastaraamat 1999, 99 – 108, Tartu, 2000
- H. Voolaid. *Koolifüüsika võõrandumine*. Haridus nr. 4, 22 – 26, 2001
- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker. Füüsika põhikursus: õpik kõrgkoolile. EFS, 2011.

Eksamiküsimuste teemad

Eksamil ei tule enam lahendada ülesandeid peatükkide lõpust

I. Teoreetilised alused

Mõtlemisviisid: teaduslik, mütolooiline, pragmaatiline. Loodusteaduslik- ja täppisteaduslik mõtlemisviis. Füüsika kasutamine teistes loodusainetes.

6. Optika

Valguse sirgjooneline levimine. Valguse peegeldumine ja hajumine. Kujutis tasapeeglis. Valguse levimistee. Valguse murdumine. Täielik peegeldumine. Kumer- ja nõgusläätsede omadused. Inimese silm.

7. Mehaanika

Liikumise suhtelisus. Keskmise- ja hetkkiirus. Resultantjõud. Inerts ja inertsus. Raskusjõud, kaal ja kaalutus. Elastsusjõud ja deformatsioon. Hõõrdumine ja õhutaksitus. Rõhk vedelikus. Pascali seadus. Üleslükkejõud. Ujumine. Energia ja töö. Energia jäävus. Võimsus. Võnkumine ja laine, neid kirjeldavad suurused. Heli kirjeldavad suurused. Päikesesüsteem. Tiirlemine ja pöörlemine.

8. Elekter ja magnetism

Hõrdeelekter. Juhid ja mittejuhid (isolaatorid). Elektrivool ja seda kirjeldavad suurused. Elektrivoolu toimed. Ohmi seadus. Vooluring ja elektriskeem. Elektrivoolu töö ja võimsus. Püsimagneti omadused. Magnetvälja mõju vooluga juhtmele.

9. Soojusõpetus

Soojusliikumine ja temperatuur. Soojusülekanne liigid: soojusjuhtivus, konvektsioon, kiirgus. Agregaatolekud ja nende muutused.

10. Aatom ja selle tuum

Aatomi ehitus. Tuuma ehitus. Radioaktiivsus. Radioaktiivse kiirguse liigid. Radioaktiivse süsiniku meetod.

29.04.2014.