



ARPHYMEDES

ÕPETAJA- RAAMAT

Arphymedese Õpetajaraamatu autorid

Katarina SUSMAN, Saša DOLENC, Jerneja PAVLIN, Alžbeta MARČEK-CHORVÁTOVÁ, Ľubica VAREČKOVÁ, Gabriela PAVLENDOVÁ, Peeter MÜÜRSEPP, Dorin-Dumitru LUCACHE, Cristian-Gyözö HABA, Marco CANTARELLA, Giuseppe Fabio URSINO, Margarita SIMOPOULOU, Giannis LADAS.

Autorid, nende institutsiooniline kuuluvus ja projektis osalemine

Kõik autorid	Asutus	Osalus projektis
Katarina SUSMAN	Ljubljana Ülikool (Sloveenia)	Idee väljatöötamine, tervikteksti koostamine, katsete, videot ja animatsioonide ülesehituse kirjeldamine, selgitused ja kommentaarid, õpetamisega seotud probleematika ülevaade, õpetajatele soovitud lisategevusteks ja arutelu suunavateks küsimusteks, raamatu kaanepildi idee
Saša DOLENC	Ljubljana Ülikool (Sloveenia)	Teksti koostamisel abistamine, katsete, videot ja animatsioonide ülesehituse kirjeldamine, selgitused ja kommentaarid, õpetamisega seotud probleematika ülevaade, õpetajatele soovitud lisategevusteks ja arutelu suunavateks küsimusteks
Jerneja PAVLIN	Ljubljana Ülikool (Sloveenia)	Teksti koostamisel abistamine, katsete, videot ja animatsioonide ülesehituse kirjeldamine, selgitused ja kommentaarid, õpetamisega seotud probleematika ülevaade, õpetajatele soovitud lisategevusteks ja arutelu suunavateks küsimusteks

Alžbeta MARČEK-CHORVÁTOVÁ	Püha Kirilluse ja Metodiuse Ülikool (Slovakkia)	Füüsikaülevaade, projekti koordineerimine
Ľubica VAREČKOVÁ	Püha Kirilluse ja Metodiuse Ülikool (Slovakkia)	Tõlge slovaki keelde ja abistamine kujundamisel
Gabriela PAVLENDOVÁ	Slovakkia Tehnikaülikool (Slovakkia)	Algse idee väljamõtlemine
Peeter MÜÜRSEPP	Tallinna Tehnikaülikool TalTech (Eesti)	Õpperaamatus käivituspiltide alt avanevate videotete ettevalmistus
Dorin-Dumitru LUCACHE	Gheorghe Asachi nimeline Iași Tehnikaülikool (Rumeenia)	Tõlge rumeenia keelde
Cristian-Gyözö HABA	Gheorghe Asachi nimeline Iași Tehnikaülikool (Rumeenia)	Tõlge rumeenia keelde
Marco CANTARELLA	Viteco (Itaalia)	Raamatu peatükkide graafilise disaini teostus
Giuseppe Fabio URSINO	Viteco (Itaalia)	Raamatu peatükkide graafilise disaini teostus
Margarita SIMOPOULOU	Diadrasis (Kreeka)	Liitreaalsuse (AR) animatsioonid ja käivituspiltide kujundus
Giannis LADAS	Diadrasis (Kreeka)	Liitreaalsuse (AR) animatsioonide skript

SISSEJUHATUS

Autorid on loonud liitreaalsust kasutava füüsikaõpiku, mis aitab süvendada õpilaste teadmisi füüsikast ja annab soovitusi katsete läbiviimiseks. Oma olemuselt põhineb õpik kogemusõppel ja lähtub arusaamast, et õppija on terviklik ning et loodus on jagamatu tervik. Õpetajaraamatut saab kasutada ka distantsõppes, samuti on raamatu selgitavas osas toodud kasutatud allikate loetelu. Nii saigi meie eesmärgiks luua eraldi õpilastele ja õpetajatele koostatud raamatutega funktsionaalne tervik. Soovitame neid kasutada järgmiselt. Õpilastelt oodatakse aktiivset osavõttu kognitiivsetes tööprotsessides kaasamõtlemlisel, liitreaalsuse kasutamisel, katsete iseseisvalt läbiviimisel ja tulemusteni jõudmisel, et neid seejärel võrrelda õpperaamatus toodud selgitustega, neid täiendada ja parandada. Selline õpetamisviis arendab loovust, pikaajalist mälu, iseseisvust, individuaalset lähenemist õppetöös, laiema pildi nägemist, kriitilist mõtlemist ja lõpuks, mis ka oluline, erinevate oskuste arendamist.

ÕPETAJARAAMATUST

Õpperaamatust lähemalt ja õpetajaraamatu eesmärk

Raamatu eesmärk on täiendada füüsikaõpetajatele koostatud lisamaterjalide komplekti. Õpperaamatu aines toetub erinevatele koondtegevustele, mis täiendavad, parendavad ja rikastavad tavaõpikute sisu. Liitreaalsuse (augmented reality e. AR) elemendid teevad õppematerjali kaasaegseks ning noortele põnevaks ja motiveerivaks lugemiseks. Siin on kesksel kohal eksperimentaalne õpe, kuid õpilased saavad teemasid seostada ka isiklike kogemustega. Õpperaamatu sisu on laotatud kahele A4 leheküljele, kus materjal on esitatud vahedeta otseses järgnevuses (vt joonis 1).



Joonis 1. Õpperaamatu sisu laotus kahel A4 leheküljel. (Käivituspilt, tekst ja juhendid, read märkuste tegemiseks.)

Illustratiivne pildimaterjal täidab tavatähenduse kõrval ka liitreaalsuse funktsioone. Õppematerjali kasutamiseks on vaja kaameraga nutitelefoni või -tahvlit ja alla laadida rakendus (joonis 2).

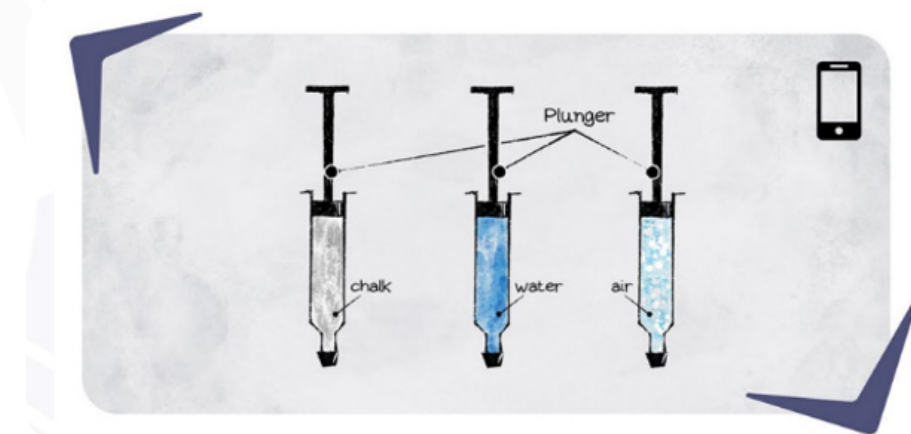
Download it or scan the QR code and find out more!



ARPhymedes StudentBook
Diadris

Joonis 2. QR kood (vasakul) rakenduse (paremal) allalaadimiseks.

Kui nutitelefoni kaamera loob ühenduse trükitud või veebimaterjalis oleva käivituspildiga, aktiveerib see liitreaalsuse funktsiooni. Nii saab jälgida salvestatud katseid, eksperimente virtuaalselt läbi viia või animatsiooni vaadata (joonis 3).



Joonis 3. Näide illustratsioonist, mis ühtlasi käivitab animatsiooni.

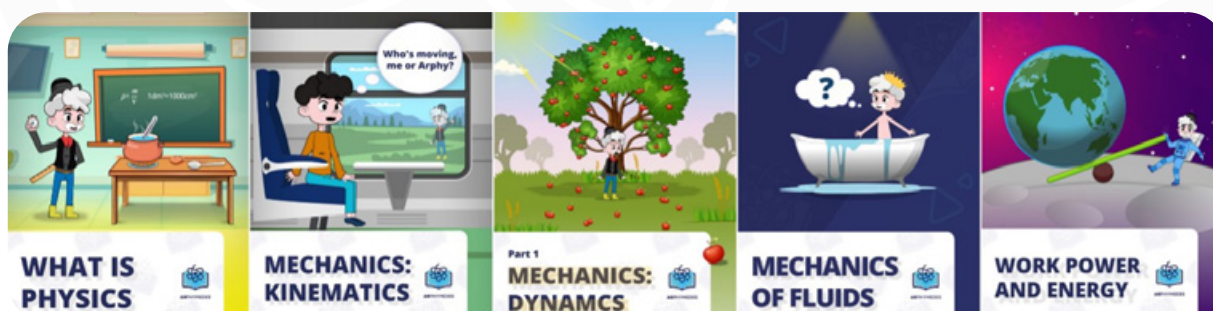
Teemade ülesehituselt pole õppevahend kavandatud järgima üldist õppekava, vaid on mõeldud täiendada õpilaste tööd klassitunnis või iseseisvalt kodus. Arvutused ja valemid on õpilasmaterjalist suures osas välja jäetud, kuna selle eesmärgiks on kinnistada mõisteid ja arusaamist füüsikanähtustest ning edendada kognitiivsel tasandil mõtlemist ja arusaamist.

Õpetajaraamatust/juhendist leiab õpetaja soovitusi, kuhu lisada arvutusi ja mis teemasid järkjärgult seletada või mille kohta nõu anda. Õpperaamatus toodud selgitused ja juhised on seotud õpilaste kogemustega ja eluliste olukordadega, mistõttu on tegevuste rakendusvõimalusi esitatud erineval moel. Lisatud ajalooline vaatenurk ja teemade seostamine teaduse arengulooga pakuvad teistlaadi vaatenurga füüsika õppimisele. Raamatus tuuakse hulgaliselt näiteid ka füüsikamõistetele ja sisule tuginevaid tehniliste rakenduste kohta (tooteid, seadmeid, masinaid jne). Teksti pole mahult liiga palju, küll aga leidub õpetajaraamatus soovitusi, lahendusi ja küsimusi, mis täiendavad õpilastele mõeldud sisu selgituste, tehnilise teabe, arvutuste jm abil.

Õpetajaraamatu peatükkide pealkirjad kattuvad kõigi õpperaamatu omadega:

- Mis on füüsika?
- Mehaanika: Dünaamika
- Mehaanika: Kinemaatika
- Vedelike (gaaside) mehaanika
- Töö, võimsus ja energia

Iga peatüki pealkiri (nii õppe- kui õpetajaraamatus) võiks olla lähtepunktiks konkreetse füüsikateema üle arutlemisel (joonis 4).



Joonis 4: Peatükkide kaaned õpilase ja õpetaja raamatus

Õpperaamatu peategelane on Arphy, kes satub erinevatesse olukordadesse ja esitab nendest lähtudes kindlate teemadega seotud küsimusi. Arphy juhhib õpilasi läbi ajastute ja oluliste sündmuste ning tutvustab neile valitud füüsikamõisteid. Õpetaja ülesanne on siin rõhutada teatud füüsikalisi omadusi ja fakte ning juhtida avatud küsimusi esitades tähelepanu ülesannetele, mida õpilased saavad avastada ja millele tegevuste käigus vastuseid otsida. Õpetaja ülesanne on selgitada erinevate füüsikanähtuste ajaloolist tausta, jutustada lugusid vanadest aegadest ja nendest oludest, mil teadlased kirjeldasid ja selgitasid loodusnähtusi. Sageli sammub teadusloo ülevaade õpilaste jälgedes, kes omandavad samal ajal just neid füüsikamõisteid. Just sel põhjusel oleme õpetajaraamatusse koondanud teavet ja põnevaid lugusid kuulsuste kohta, kes on teaduse arengule kaasa aidanud.

Õpetajaraamatu igas peatükis võetakse kokku õppematerjalides käsitletud õpieesmärgid. Samuti on iga teema juures eraldi ülevaade eksiarvamustest, mis võivad õpilastel tekkida, aga ka soovitused nende ületamiseks. Õpperaamatus on iga teema juures lisatud ettepanekuid tegevusteks ja aruteludeks, küsimusi õpilastele, ülesandeid ja juhiseid nende lahendamiseks, aga ka lisamaterjale teadmiste süvendamiseks.



ARPHYMEDES

1. PEATÜKK

MIS ON FÜÜSIKA?

MIS ON FÜÜSIKA?

Füüsika mõiste on pärit Vana-Kreekast, kus see tähistas „teadust loodusest“. Füüsika on loodusteaduse põhiharusid, mis tegeleb aine ja energia ja nende vastastikmõjuga. Füüsika kirjeldab universumit väikseimatest kuni suurimate mõeldavate mõõtmetereni. See kirjeldab protsesse nii mikrotasandil kui ka universumi või makrotasandil tervikuna. Füüsika on seotud teiste teadusharudega, kus püstitatakse jätkuvalt uusi uurimisküsimusi, mis võivad omakorda viia uute avastusteni. Füüsikaloo vältel on teooriaid muudetud, laiendatud ja kokku põimitud. Näiteks Newton lõi ühise teooria, mis kirjeldab nii taevakehade kui maa peal laboris asuvate kehade mehaanikat. Oersted ühendas elektri ja magnetismi ning Maxwell elektri ja optika. Kvantmehaanika liidab ja ühendab mehaanika ja keemia.

Seega luuakse füüsikas teadmisi. Samuti teame, et uued avastused muudavad ja tõstavad uuele tasandile praeguseid teadmisi ja teooriaid, mis kirjeldavad vaatlusi ja mõõtmisi.

Tööeesmärgid ja õpitulemused

Peatükis „Mis on füüsika?“ saavad õpilased ülevaate sellest, mida füüsika kirjeldab, kuidas füüsika on põimunud erinevate teadusharudega ja milliseid valdkondi see meie elus mõjutab. Nad õpivad, kuidas füüsikas kirjeldatakse eri nähtusi ning väljendatakse ja kirjutatakse teoreeme, seadusi, võrrandeid ja ühikuid.

Õpilased:

- avastavad, kui tähtis on füüsikaseaduste õppimisel ja tõestamisel katsete läbiviimine;
- saavad teada, kui tähtis on ühendada katsete läbiviimisel saadud teadmised teoreetilise, analüütilise ja sünteetilise mõtlemisega;
- saavad teada, et mõõtmisel on arvud ja ühikud seotud ning et füüsikaliste suuruste väärtused tuleb alati kirjutada arvu ja ühiku summana;
- oskavad kasutada füüsikaalaseid tekste, erialakirjandust, digitaalseid õpperakendusi, erialaportaale jt allikaid teadmiste ja andmete leidmiseks;
- tunnistavad füüsikateadmiste tähtsust ja asendamatust tehnoloogia arengus ja looduse valdamise seisukohast;
- õpivad hindama teadusalaaseid saavutusi füüsikas, nende mõju elutingimuste muutustele, aga ka ühiskonna ja kultuuri üldisele arengule;
- õpivad tundma ajaloolisi ja sotsiaalseid mõjusid füüsikateadmiste arengus;
- kujundavad arusaama sellest, et üksikisikud, ühiskond ja keskkond on omavahel lahutamatu seotud;
- oskavad kriitiliselt suhtuda teadussaavutuste rakendamisse ja on teadlikud ühiselt jagatud vastutusest elu jätkumise eest Maal;
- oskavad kirjeldada füüsikas uuritavaid nähtusi ja füüsika rakendamist igapäevaelus, teaduses, tehnoloogias ja meditsiinis;



- õpivad ja rakendavad füüsikas erinevaid meetodeid ja vorme – vaatlemist, planeerimist, mõõtmist, katsetamist, järelduste tegemist, mõõtmis- ja katsetulemuste tõlgendamist;
- õpivad defineerima mõisteid nagu füüsikaline suurus, füüsikaline ühik ja mõõteseade;
- õpivad tundma teatud füüsikalisi suurusi;
- mõõdavad aega ja pikkust üksteisest sõltumatult, oskavad arvutada zeskmi väärtust ja umbkaudu hinnata mõõteviga (E);
- oskavad kasutada eesliiteid ja nii ära tunda teisendatud mõõtühikuid;
- oskavad võrrelda aatomi jt mikroskoopiliste osakeste suurusi universumi mõõtmetega. (Bajc, 2009).

Peatüki tiitelleht

Tiitellehe illustratsioon viitab sellele, kuidas füüsikas on omavahel põimunud teoreetiline ja eksperimentaalne suund. Tahvlile on kirjutatud valem, mis on ühe füüsikalise suuruse matemaatiline kirjeldus. Õpilastele võib siinkohal



rääkida sümbolitest, ühikutest ja nende tähistest. Saab tutvustada kreeka tähestikku, mida kohtab füüsikas üsna sageli, kuna paljud sümbolid on sealt pärit. Võib korrata juba õpitud suuruste ja ühikute teisendamist, juhtides tähelepanu õigele tähistusviisile. Arutleda võib ka põhiühikute ja nende tähtsuse üle teadussuhtluses. Tiitellehe pildil on kujutatud kolme mõõteriista, mida õpilased juba tunnevad – termomeetrit, joonlauda ja stopperit/kella.

Õpilastele võib tutvustada mõõteriistu, -seadmeid ja tehnikaid ning leppida kokku reeglites, mida mõõtmisel järgida. Samal ajal saab näidata laboritehnikat, tutvustada labori töökorda, seadmete ohutut kasutamist ja ohutut käitumist. Kui veidi lähemalt uurida, siis vihjab tiitellehe illustratsioon veel võimalusele katseid planeerida ja läbi viia. Õpetaja võib paluda õpilastel mõõtmise teel tõestada, kumb lusikas on vee segamiseks parem, arvestades selle kõrget kuumust. Õpilased tõenäoliselt juba teavad vastust, kuid ülesanne on siin tõestada oletust mõõtmise teel. Tuletame õpilastele meelde, et kui mõõta vee temperatuuri keetmise ajal, siis tuleb seda tehes vett segada, mõõta korduvalt aega ja temperatuuri ning kanda tulemused juba varem

koostatud tabelisse. Lõpetuseks tõlgendame õpilastega ühiselt mõõtetulemusi ja vastame uurimisküsimusele. See näide on mõeldud illustreerima mistahes teaduslikku füüsikakatset ja uurimustööd.

Kuigi teadlased on läbi aegade osanud uurimistulemusi ennustada, saavad oletused kinnitust vaid kordusmõõtmiste kaudu. See võimalik vaid nõuetekohaselt kalibreeritud mõõteriistade ja -seadmete abil. Tänapäeval tuginevad teadusuuringud tervele reale mõõtmistele, mida tõlgendatakse ja väljendatakse matemaatika keeles. Matemaatika on seega vahend, mis aitab füüsikas erinevaid nähtusi salvestada, kirjeldada ja tõlgendada. Peatüki tiitelleht viitab ka teistele peatükis ettetulevatele tegevustele, mis on seotud vaadeldavate süsteemide skaaladega ja looduses ilmnevate nähtuste kirjeldamise ja tõlgendamisega.

Kuulsad teadlased

Peatüki sissejuhatav osa koosneb kolme füüsikaloost tuntud kuulsuse elu ja töö kirjeldustest.

Aristoteles (384–322 e.m.a.), kes elas ja töötas Vana-Kreekas, oli antiikaja teaduse üks kõige kesksemaid isikuid. Ta oli Platoni õpilane ja sõnastas tervikliku maailmapildi. Ta asutas omanimelise kooli, mille nimetas lütseumiks (*Lykeion*). Veel tänapäevalgi võib sõna „lütseum“ kohata haridusasutuste nimetustes kõikjal maailmas. Aristoteles oli viljakas zoologia-, botaanika, luule-, füüsika- ja poliitikaalaste teoste autor.

Aristotelese järgi jagunes maailm kaheks: maailm, mis jäi Kuust allapoole, ja maailm, mis asus Kuust kõrgemal. Esimene neist oli muutlik ja ebapuhast, aga teine muutumatu ja jumalik. Tema sõnul asus universumi keskmes Maa. Ta püüdis kirjeldada ka teiste selleks ajaks tuntud universumi taevakehade (Päike, Kuu, Merkuur, Veenus, Marss, Jupiter, Saturn ja kinnistähed) ja nende sfäärilise liikumist. Aristotelese arusaamad universumist ja maailmast jäid kehtima väga pikaks ajaks, 17. sajandini välja.

Galileo Galilei (1564–1642) revolutsioonilised mõtted ja teosed sillutasid teed renessansi ja valgustusaja teadussaavutustele. Galilei sündis Pisas, kus asub kuulus viltune torn. Ta mõjutas märkimisväärselt astronoomia arengut ja esimesena maailmas vaatlus binokliga süsteemselt taevakehi. Binokli oli ta valmistanud ise Hollandi mudeli järgi ja isegi läätсед sellele ise lihvinud. Galilei kirjeldas tõuse ja mõõnasid ja esitas hüpoteesi heliotsentrilisest süsteemist. Teose „Dialogid“ avaldamise järel anti ta Roomas kohtu alla, kes paavsti eesistumise all tegi range otsuse. Galileid ähvardati piinamisega, kui ta ei nõustu lahti ütleva oma „eksiarvamusest ja ketserlusest Maa liikumise kohta“.

Ka valve all koduaresti mõistetuna jätkas ta oma loomingut ja teadustööd. Galileile on omistatud kuulus ütlus „See liigub siiski,” mis viitab sellele, et kuigi ta oli sunnitud ellujäämiseks oma arvamusest lahti ütleva, jäi ta usk sellesse siiski kindlaks. Oma teadustöös keskendus ta kehade liikumise ja vabalangemise uurimisele. Kuigi sageli väidetakse, et Galilei viskas erinevaid asju Pisa tornist alla, füüsikaloolased kahtlevad, kas ta seda siiski tegi. Ta oli üks esimesi, kes põhjalikult ja läbimõeldult kavandas ja viis läbi korduskatseid ja oskas mõnikord nende tulemusi loogiliselt arutledes ette ennustada. Üks tema huvitavamatest katsetest oli kuuli kaldteest alla veeretamine, samal ajal lauldes, kasutades laulu rütmi sel moel aja mõõtmiseks. Ta kinnitas kaldteele pillikeeled ja veerema hakanud kuul tekitas iga kord üle keele veeredes heli (rütmi). Laulmise ajal õnnestus tal keeled paigutada nii, et järjestikused helilöögid leidsid aset võrdse ajavahemiku järel. Lisaks laulmisele kasutas ta aja mõõtmiseks enda pulssi (Strand, 2003).

Kolmas kuulsus, kellest õpperaamatu peatükis juttu tuleb, on **Albert Einstein (1879–1955)** – isik, keda kõige sagedamini seostatakse füüsikaga. Albert Einstein mitte ainult ei täiendanud füüsikaseadusi, vaid on kaasaegse füüsika ikoonilise võrdkuju ja sünonüümina tuntud üle kogu maailma. 1905. aastal töötas ta välja erirelatiivsusteooria. Samal aastal avaldas ta neli teadustööd, mis mõjutasid oluliselt füüsika arengut. Neis artiklites käsitles ta Browni liikumist, erirelatiivsusteooria aluseid ja seostas keha massi energiaga (Strnad, 2003). Einsteini saavutuste hulka saab ka lugeda üldrelatiivsusteooria sõnastamise. Teise maailmasõja ajal töötas ta Ameerika Ühendriikides – sealse tööühma panuseks tuumafüüsikasse oli aatompommi väljaarendamine. Maailmasõja lõpus aset leidnud traagilise katastroofi järel väljendasid nii Einstein kui paljud teised projekti juures töötanud teadlased avalikult sügavat kahetsust.

Küsimused ja tegevused õpilastega arutlemiseks.

Tee veebis otsing Vana-Kreeka kuulsate mõtlejate kohta.

Otsi internetist infot Galilei teadussaavutuste kohta.

Miks sa arvad, et Galilei oli hea laulja?

Mis on iseloomulik vabalt langevatele kehadele?

Mõtle Galilei katsele veeretada kuule kaldteest alla. Kuidas pidid pillikeeled olema kaldteele paigutatud, et ta kuuleks ühtlaseid helisid? Võid seda katset järelle tehes ise kontrollida.

Kuidas enda pulssi mõõta? Mõõda oma südame löögisagedust puhkeolekus ja pärast kohapeal 20 hüppe tegemist. Järelda, kas pulss on aja mõõtmiseks sobiv hindamise alus?

Milliste teadlastega koos töötas Albert Einstein Teise maailmasõja ajal? Kus ta sel ajal töötas? Millise oma saavutuse üle tundis ta piinlikkust?

Milline on kõige kuulsam Albert Einsteiniga seotud valem?

Otsi internetist Albert Einsteini kuulsaid mõtteteri.

Koosta Albert Einsteiniga seotud mõistetega ristsõnamõistus.

Koostage rühmades kõigi kolme teadlase (Aristotelese, Galilei ja Einsteini) kohta viktoriin.

Paiguta kuulsad teadlased ajateljele.

Küsimused ja tegevused õpilastega arutlemiseks

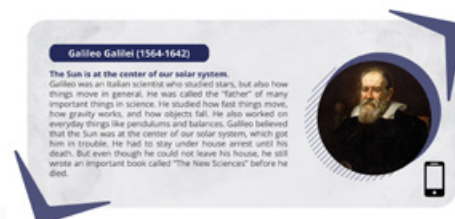
Siin tabelis (tabel 1) on toodud peatükis esitatud katsete ja animatsioonide loetelu. Sellest võib õpetajale olla kasu tunni ülesehituse juures, kuna tabelis nimetatud käivituspiltide kirjelduste juurde on lisatud vastavas videos näidatud katseks vajalikud tarvikud.

Tabel 1. Käivituspildid peatükis „Mis on füüsika?”

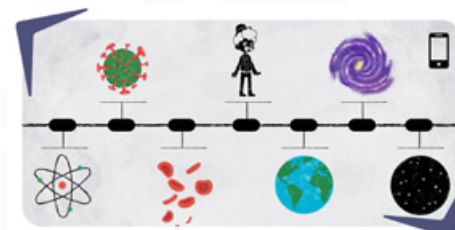
Lühike katse või animatsiooni kirjeldus

Käivituspilt

Animatsioon Pisast pärit Galileist



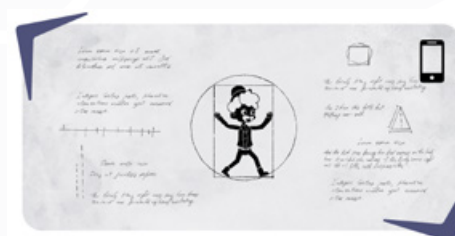
Animatsioon suurusjärgudest kõige väiksemast kuni universumi mõõtmeteni



Animatsioon Cartesiusse koordinaatsüsteemist



Animatsioon skaleerimisest



Kasutatud kirjandus

Bajc, J. idr. (2011). Učni načrt, Fizika: osnovna šola. Ministrstvo za šolstvo in šport; Zavod RS za šolstvo.

http://www.mss.gov.si/fileadmin/mss.gov.si/pageuploads/podrocje/os/devetletka/predmeti_obvezni/Fizika_obvezni.pdf

Strnad, J. (2003). Razvoj fizike (The development of physics). DZS.



ARPHYMEDES

2. PEATÜKK

MEHAANIKA: KINEMAATIKA

Mehaanika: Kinemaatika

Mis on mehaanika ja kinemaatika?

Mehaanika on füüsika haru, mis kirjeldab kehade liikumist või paigalseisu. **Kinemaatika** on mehaanika allharu, mis kirjeldab kehade liikumist vaadeldavas süsteemis. Vaadeldava süsteemi ja koordinaatsüsteemi kombinatsioonil on selles protsessis tähtis roll. Selles peatükis saavad õpilased tuvastada kehade liikumist animatsioonide abil ja täiendada oma teadmisi sellest, kuidas kirjeldada liikumist graafiliselt.

Tööeesmärgid ja õpitulemused

Õpilased:

- oskavad kavandada ja viia läbi lihtsaid katseid ja uurimistööd, töödelda andmeid, analüüsida katsete tulemusi ja teha järeldusi;
- teavad, kuidas eristada vaadeldava keha liikumist ja paigalolekut ümbritsevade kehade suhtes;
- oskavad kirjeldada sirgjoonelist ja kõverjoonelist liikumist;
- eristavad mõisteid nagu asukoht, teepikkus, nihe, liikumine, teekond;
- saavad animatsioonidest teada, et kiirus on teepikkuse ja aja suhe (E);
- oskavad kasutada kiiruse arvutamise valemit;
- oskavad kirjeldada ühtlast ja mitteühtlast liikumist;
- oskavad eristada keha keskmist kiirust ja hetkekiirust;
- kasutavad teepikkuse arvutamise valemit;
- tunnevad ära graafiku, mis näitab keha kiiruse sõltuvust ajast, oskavad graafikult andmeid lugeda, graafikut selgitada ja aru saada, mis tüüpi liikumist on graafikul (E) näidatud;
- tunnevad ära graafiku, mis näitab keha kiirenduse sõltuvust ajast, oskavad graafikult andmeid lugeda, graafikut selgitada ja aru saada, mis tüüpi liikumist on graafikul (E) näidatud;
- arvutavad graafikute põhjal tundmatuid suurusi.

Õpilaste levinumad eksiarvamused

Teadusartiklite hulgas leidub tihti uurimusi, kus tuuakse välja õpilaste ekslikke arusaamu. Siin on väike ülevaade selle peatüki teemaga seotud võimalikest eksiarvamustest. Kasutatud kirjanduses kajastatakse neid üsna täpselt. Viidatud artiklites on üksikasjalikult kirjeldatud, kuidas neid eksimusi veelgi täpsemalt välja tuua.

Õpilased

- peavad vektorkiiruse ja kiirenduse mõistete eristamist keeruliseks;
- arvavad, et keha kiirus on otseselt selle kiirenduse näitaja;
- usuvad, et pidev jõud hoiab keha konstantse kiirusega liikumas;
- usuvad, et keha kiirendab kõige tugevama jõu suunas;
- jagavad Aristotelese veendumust, et langeva keha kiirus on võrdeline selle massiga;
- usuvad, et kui mingit jõudu pole või kui kehale mõjuvad mingid jõud, mis tasakaalustavad üksteist, on keha alati paigalolekus;
- usuvad, et konstantne jõud annab konstantse kiiruse;
- usuvad, et kehade langemiseks ei ole vaja mingit jõudu, kuna „need tahavadki alati alla tulla“;
- usuvad, et raskusjõud on justkui hoog, mille langevad kehad omandavad;
- usuvad, et keskkonnas, kus aine puudub, pole liikumine võimalik;
- usuvad, et kui kahel osakesel on sama asukoht, siis on neil sama kiirus, isegi kui need liiguvad erineva kiirusega;
- usuvad, et vt graafiku kõvera suuna muutus väljendab keha suuna muutust;
- ei saa aru, et punktis, kus kõver lõikub ajateljega, on hetkkiirus null;
- leiavad, et graafikul on negatiivset vektorkiirust üpris raske mõista;
- peavad keeruliseks sellest kõvera osast rääkimist, mis asub ajateljest allpool;
- peavad keeruliseks seda, mis on otseselt seotud oskamatusena kujutada ette kiiruse ja aja graafikul kirjeldatud liikumist;
- ei saa sageli aru, et selleks, et vastata küsimusele keha asukoha kohta teatud ajahetkel, on neil vaja andmeid, mida ei ole kiiruse ja aja graafikult võimalik leida;
- ei suuda eristada objekti asukohta (x) konkreetsel ajahetkel ja selle nihet (Δx) teatud aja jooksul;
- ei suuda seostada keskmist kiirust ja hetkkiirust selle ajavahemiku mingis punktis;
- arvutavad kiiruse sageli asukoha ja aja mõõtmise põhjal, joonistavad punktid ja ühendavad need siksakjoonega;
- peavad keeruliseks graafiku kõvera eristamist tegeliku liikumise teekonnast pöördülesandes, kui graafilisest kujutamisest minnakse üle laborikatsele;
- kui tegu on negatiivse kiirusega, mis juhtub siis, kui liikuv keha muudab suunda, ei oska tihti reaalselt füüsilist liikumist kiiruse ja aja graafikul õigesti kujutada;
- usuvad, et kui kaks objekti jõuavad samasse asukohta, peab neil olema võrdne kiirus;
- seostavad eespool olemist kiirem olemisega;
- sageli ei seosta intuitiivselt hetkkiirust sellega, kui kiiresti objekt liigub ehk teepikkuse ja aja suhtega.

Peatüki tiitelleht

Tiitellehe pilt võiks julgustada arutlema. Siin on kujutatud rongis sõitvat inimest. Rong liigub, aga samal ajal seisab Arphy väljas. Rongireisija küsib: „Kes liigub?“ (joonis 1).



Joonis 1. Kinemaatika peatüki tiitelleht

Õpetaja saab siin vestluse suunata sellele, kui tähtis roll on vaadeldaval taustsüsteemil. Tuleks arutleda selle üle, kes igas erinevastaustsüsteemis liigub. Maastiku taustsüsteemis, kus seisab Arphy, liigub rong ja selles sõitev poiss, aga rongi taustsüsteemis istub poiss paigal.

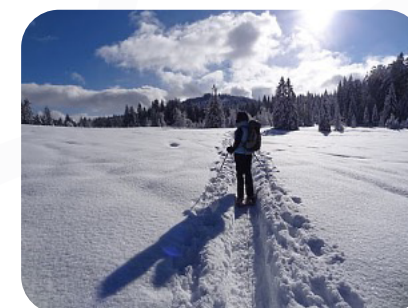
Õpetaja võiks siinkohal õpilastega koos üle korrata liikumise põhimõisted, sh:

- vaadeldava keha liikumine,
- sirgjoonelise ja kõverjoonelise liikumise erinevus ning
- ühtlase ja mitteühtlase liikumise erinevus.

Avastades näiteid igapäevaelust või vaadates fotosid liikumisest, saavad õpilased enda tarbeks defineerida liikumise mõiste. Selleks võib õpetaja valmistada ette lihtsa didaktilise mängu, kus õpilased üritavad kaartide hulgast panna kokku pildipaarid. Paari võivad moodustada näiteks pildikaart ja mõistekaart (vt joonis 2).



sirgjooneline liikumine



kõverjooneline liikumine

Joonis 2. Näide õpetlikust kaardimängust. (Allikas: [https:// www.hippopx.com](https://www.hippopx.com))

Kuulsad teadlased

Tekstiosas õpivad õpilased tundma kolme olulist isikut: **Nicole Oresme'i**, **René Descartes'i** ja **André-Marie Ampère'i**. Õpetaja suunab vestluse nende eludele, ajastule, mil nad tegutsesid, ja nende tööde tähtsusele teadusesse. René Descartes pööras oma teostes suurt tähelepanu koordinaatsüsteemi väljatöötamisele ja selle rakendamisele. Cartesiuse koordinaatsüsteem on veel tänapäevalgi matemaatiline töövahend, millega liikumise põhialuseid kirjeldada. Alumine pilt käivitab animatsiooni René Descartes'ist ja tema saavutustest.



André-Marie Ampère'i järgi on nimetatud voolutugevuse ühik. Esmapilgul võib tunduda kummaline, et temast siin peatükis juttu tuleb. Kui õpilased on teksti läbi lugenud, saab õpetaja suunata neid otsima vastuseid internetist või ettevalmistatud materjalist ja tekstidest. Abiks võivad olla järgmised küsimused ja ülesanded.

Kelle töid Oresme kritiseeris?

Mis sa arvad, miks on siin peatükis kirjeldatud Oresme'i elu ja tööd?

Milline on René Descartes'i kõige kuulsam tsitaat?

Kuidas kujutada Cartesiuse koordinaatsüsteemi? Kuidas tähistada telgesid? (Õpilane joonistab need tahvlile).

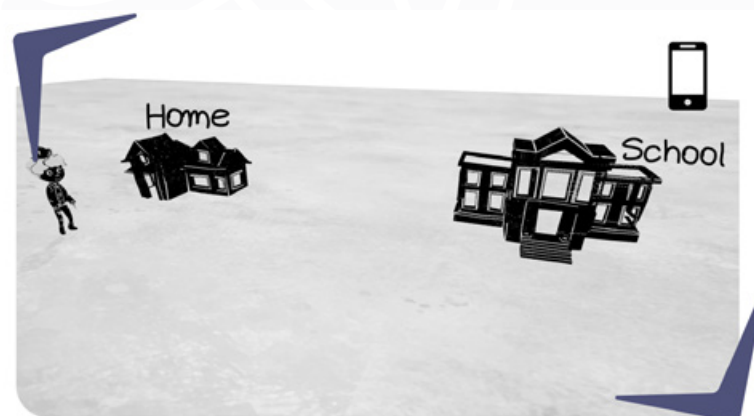
Kas keegi teab, kuidas nimetatakse voolutugevuse ühikut?

Otsi veebist lisainfot André-Marie Ampère'i saavutuste kohta.

Katsed ja animatsioonid: asukoht, vahemaa, nihe, teekond

Animatsioonide abil õpivad õpilased tundma termineid ja eristama asukohta, vahemaad ja teekonda. Liikumisest kõneledes kasutame kõiki kolme mõistet. Ühel puhul võime läbida pika vahemaa, kuid nihe alg- ja lõpp-punkti vahel võib olla 0. Nii võib juhtuda näiteks, kui lahkume kodust ja naaseme sinna lõpuks tagasi.

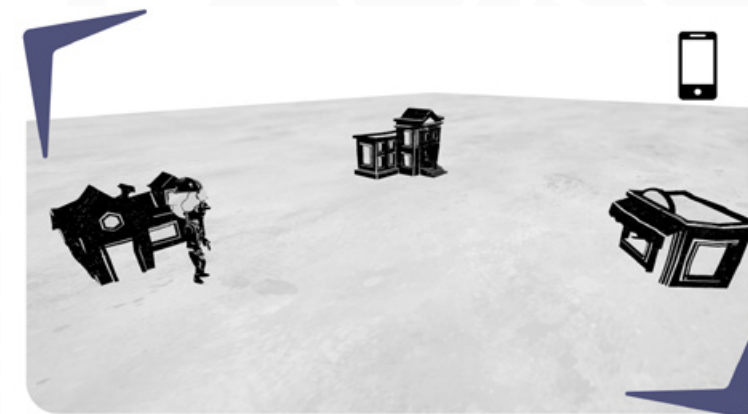
Esimese animatsiooni juures vaatleme õpilastega asukoha mõistet.



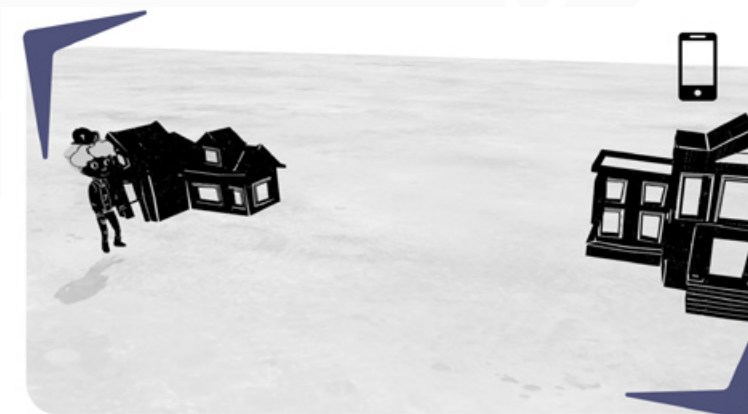
Teise animatsiooni juures defineerime teepikkuse mõistet alguspunkti suhtes.



Kolmanda animatsiooni juures seostame teepikkuse, nihke ja teekonna. Arphy lõpetas samas kohas, sama nihkega kodust, kuid siinsel juhul läbis ta pikema vahemaa kui eelmises animatsioonis.



Selle rühma viimases animatsioonis saame näidata, et isegi kui teekond või vahemaa on pikk, on nihe ikkagi 0, kuna Arphy naaseb samasse asukohta, kust ta teekonda alustas.



Soovitused lisategevusteks:

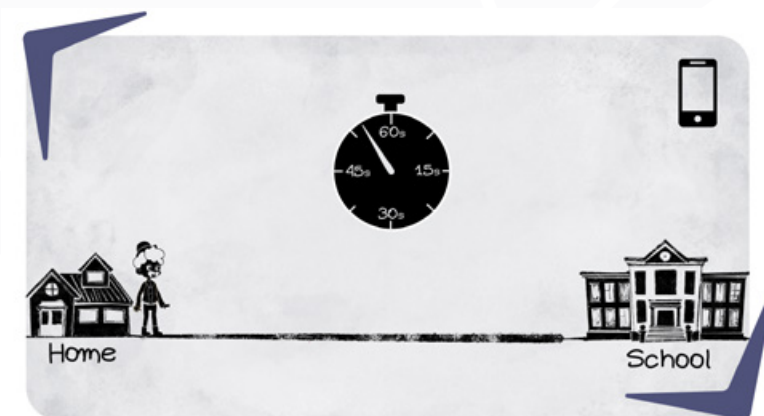
1. Õpilastega võib märkida klassipõrandale ruudustiku (Cartesiuse koordinaatsüsteemi). Kui põrandal juba juhtuvad olema ruudud, siis saab neid kasutada, aga ruutes saab põrandale kamaalriteibiga kleepida. Kirjutame ruudustikule ühikud. Valime paar mängijat, kes hakkavad õpetaja juhiste järgi oma asukohta muutma. Õpetaja nimetab järjest juhuslikke asukohti, kuhu mängijad liiguvad. Alustame reeglist, et liikuda võib ainult sirgjoones.

Näiteks: Liigu ruudult (1, 1) asukohta (4, 3), läbides 5 ruutu. Liigu asukohast (4, 3) mistahes ruudule, aga kaugus selle ja uue asukoha vahel peab olema täpselt 3 ruutu. Mängu jätkudes võib tuua ka näiteid liikumisest, mis pole sirgjooneline (nt ringliikumine).

2. Õpilased töötavad paarides. Igas paaris joonistab üks õpilane koordinaatsüsteemile ühe joonega ja ainult sirgjoontest koosnevakeerukama mustri. Seejärel kirjutab ta juhise, kasutades mõisteid nagu asukoht, kaugus, liikumine, teekond. Seejärel annab ta juhise kaaslasale, kes proovib selle järgi sama mustri joonistada. Nüüd saavad nad saadud mustrit algsega võrrelda.

Vektorkiirus, keskmine kiirus

Animatsioonides pole veel juttu tulnud aja mõistest. Seega ei saa seal toodud info põhjal järeldada, kui kaua Arphy teekond aega võttis. Teame, et sama vahemaad on võimalik läbida erineva ajaga. Õpilastel on sellega juba kogemus, seega teevad nad kiire järelduse, et sama vahemaa lühema ajaga läbinud on kiiremad ja vastupidi. Animatsiooni abil saame tutvustada kiiruse mõistet kui vahemaa muutumist mingi ajavahemiku jooksul.



Kuna animatsiooni põhjal on keeruline hinnata, millise aja jooksul läbib Arphy 100 meetrit, siis saab õpetaja siin neid sellega aidata. Õpperaamatust selgub, et tahvlile tehtud arvutustes on ajavahemikuks 100 sekundit. Selle aja jooksul läbib Arphy 100 meetrit. Iga ajavahemiku kohta tehtud kiirusearvutustest selgub, et kiirus jäi samaks, seega liikus Arphy ühtlase kiirusega.

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{100\text{m} - 0\text{m}}{t_{100\text{m}} - t_{0\text{m}}} = \frac{100\text{m}}{100\text{s} - 0\text{s}} = \frac{100\text{m}}{100\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 v &= \frac{200\text{m} - 100\text{m}}{t_{200\text{m}} - t_{100\text{m}}} = \frac{100\text{m}}{200\text{s} - 100\text{s}} = \frac{100\text{m}}{100\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 v &= \frac{300\text{m} - 200\text{m}}{t_{300\text{m}} - t_{200\text{m}}} = \frac{100\text{m}}{300\text{s} - 200\text{s}} = \frac{100\text{m}}{100\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 v &= \frac{400\text{m} - 300\text{m}}{t_{400\text{m}} - t_{300\text{m}}} = \frac{100\text{m}}{400\text{s} - 300\text{s}} = \frac{100\text{m}}{100\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 v &= \frac{500\text{m} - 400\text{m}}{t_{500\text{m}} - t_{400\text{m}}} = \frac{100\text{m}}{500\text{s} - 400\text{s}} = \frac{100\text{m}}{100\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 v &= \frac{600\text{m} - 500\text{m}}{t_{600\text{m}} - t_{500\text{m}}} = \frac{100\text{m}}{600\text{s} - 500\text{s}} = \frac{100\text{m}}{100\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Animatsiooni võib kasutada ka keskmise kiiruse määramiseks. Õpilased võiksid selgeks teha ja otsida, kui kaua kõndis Arphy kodust kooli. Nad võiksid määrata ka läbitud vahemaa. Valitud andmed saab sisestada keskmise kiiruse arvutamise valemisse, arvutada väärtus ja lisada ühik.

Aruteluga julgustatakse õpilasi mõtlema kiirendusega liikumisest. Küsime neilt, kuidas Arphy liiguks, kui ta iga järgmise ajavahemiku jooksul läbiks pikema teekonna. Õpilased teevad järelduse, et tema kiirus peab suurenema. Siinkohal tutvustame kiirendusega liikumist. Kui kiirus suureneb ühtlaselt, st kiiruste erinevus mingi ajavahemiku jooksul on konstantne (= kiirendus a on konstantne), on meil tegu ühtlaselt kiireneva liikumisega.



Liikumise graafiline kujutamine

Siin peatükis toodud näidete abil saavad õpilased ühendada oma teadmised graafikutest arusaamisest ja leitavate suuruste arvutamisest, kui hakkavad tasapisi mõistma graafikualuse pindala tähendust. Peatüki alguses on loetelu levinumatest eksiarvamustest, mis võivad õpilastel liikumise graafikutega seoses tekkida, aga mida on hea selle teema juures arvesse võtta. Õpperaamatusse kogutud näited täiendavad hästi põhikooliõpikutes leiduvaid näiteid ja sisu. Soovituslikult võiksid õpetajad valida just neid näiteid, mis vastavad konkreetsete õpilaste eripärale.

Kasutatud kirjandus

Bajc, J. idr. (2011). Učni načrt, Fizika: osnovna šola. Ministrstvo za šolstvo in šport; Zavod RS za šolstvo. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_fizika.pdf

Enderstein, L. G. in P. E. Spargo. (1996). Beliefs regarding Force and Motion: A Longitudinal and Cross-Cultural Study of South African School Pupils. *International Journal of Science Education*, 18(4), 479–492. <https://doi.org/10.1080/0950069960180406>

Goldberg, F.M. in Anderson, J.H. (1989). Student difficulties with graphical representations of negative values of velocity. *The Physics Teacher*, 27, 254–260. <https://doi.org/10.1119/1.2342748>

Halloun, I.A. in Hestenes, D. (1985). Common-sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, 1056–1065.

Hestenes, D., Wells, M. in Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* 30 (3), 141–158. <http://modeling.asu.edu/R&E/FCI.PDF>

Ioannides, C. in Vosniadou, S. (2002). The Changing Meanings of Force. *Cognitive Science Quarterly* 2 (1), 5–62.

McCloskey, M. (1983). Naive Theories of Motion. V D. Gantier in A. L. Stevens (ur.), *Mental Models* (str.299–324). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

McDermott, L.C., Rosenquist, M.L. in van Zee, E.H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55, 503–513. <https://doi.org/10.1119/1.15104>

Pérez-Lemonche, À., Stewart, J., Drury, B., Henderson, R., Shvonski, A. in Pritchard, D. E. (2019). Mining Students Pre-Instruction Beliefs for Improved Learning. *Proceedings of the Sixth (2019) ACM Conference on Learning @ Scale*, Chicago, IL, USA.

Suppapittayaporn, D., Emarat, N. in Arayathanitkul, K. (2010). The effectiveness of peer instruction and structured inquiry on conceptual understanding of force and motion: a case study from Thailand. *Research in Science & Technological Education*, 28(1), 63–79.

Trowbridge, D.E. in McDermott, L.C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48, 1020–1028.

Trowbridge, D.E. in McDermott, L.C. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. American Journal of Physics, 49, 242–253.

Yakhoub, N., Hérold, J.F. in Chatoney, M. (2020). French teacher perceptions of student learning about force: a preliminary study. Research in Science & Technological Education, 1-24. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1779050>



ARPHYMEDES

3. PEATÜKK

MEHAANIKA: DÜNAAMIKA

Mehaanika: Dünaamika

Mis on mehaanika ja dünaamika?

Mehaanika on füüsika haru, mis kirjeldab liikuvaid või paigalolevaid kehi. **Dünaamika** on mehaanika allharu, mis kirjeldab kehade liikumist, kui neile rakendub jõud või jõumoment. Selle peatüki animatsioonide abil õpivad õpilased määrama, kas kehad on paigal või liiguvad, ning põhjalikumalt tundma Newtoni seadusi.

Tööeesmärgid ja õpitulemused

Õpilased:

- oskavad defineerida mõisteid vaadeldav keha ja ümbritsev keskkond;
- mõistavad, et jõud põhjustavad keha liikumises või kujus muutusi;
- oskavad kehade põhjal nimetada jõudusid, mis neid tekitavad;
- eristavad jõude, mis mõjuvad vahetul kokkupuutel ja kaugelt;
- õpivad ära jõu ühiku njuutoni (N);
- saavad teada, et teatud kehale mõjuvad võrdse suurusega jõud põhjustavad samu muutusi;
- oskavad määrata, kas kehale mõjuvad jõud on tasakaalus;
- mõistavad, et kui kehale mõjuvad jõud on tasakaalus, siis keha on kas paigal või liigub ühtlaselt;
- mõistavad, et hõõrdejõud ja õhutakistus mõjuvad liikumisele vastassuunas;
- oskavad kirjeldada hõõrdejõudu;
- oskavad iseseisvalt järeldada, et kehad mõjutavad teineteist;
- oskavad analüüsida juhtumeid ja eristada Newtoni kolmandat seadust (mõju ja vastasmõju seadust) Newtoni esimesest seadusest (inertsiseadusest);
- õpivad tundma pörkeid ja massi ja kiiruse mõju kokkupõrgete tagajärgedele.

Õpilaste levinumad eksiarvamused

Teadusartiklite hulgas leidub tihti uurimusi, kus tuuakse välja õpilaste eksiarvamusi. Siin on lühike ülevaade võimalikest selle peatüki teemadega seotud eksimustest. Kasutatud kirjanduses kajastatakse neid üsna täpselt. Viidatud artiklites on kirjeldatud üksikasju ja viise, kuidas selliseid eksiarvamusi veelgi täpsemalt välja tuua.

Õpilased

- usuvad, et kui mingit jõudu pole või kui kehale mõjuvad mingid jõud, kuid need tasakaalustavad üksteist, on keha alati paigalolekus;
- usuvad, et muutumatu jõud annab muutumatu kiiruse;
- usuvad, et kehadele ei mõju langemisel mingi jõud, kuna „need tahavadki alati alla tulla“;
- usuvad, et raskusjõud on justkui hoog, mille langevad kehad omandavad;
- usuvad, et keskkonnas, kus aine puudub, pole liikumine võimalik;
- mõistavad jõu mõistet valesti;
- mõistavad Newtoni kolmandat seadust valesti;
- usuvad, et jõud on kehale omane omadus, mitte kehade omavaheline mõju;
- usuvad, et kui keha on paigal, siis ei mõju sellele ükski jõud.

Peatüki tiitelleht



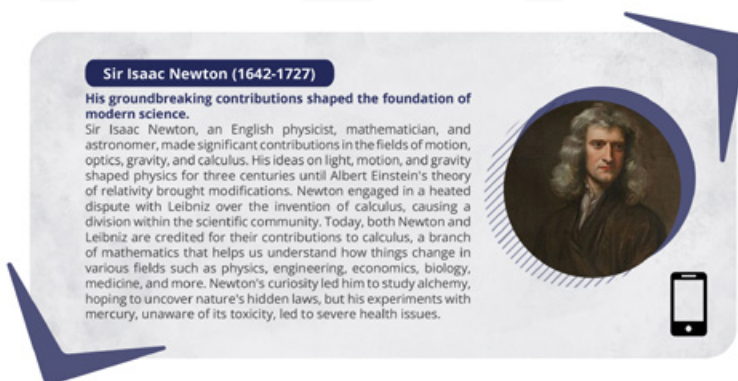
Õpilased võiksid osata seostada tiitellehe pilti Newtoniga. Üks kõige kuulsamaid lugusid teadusest ongi see, mis räägib Isaac Newtonist, kes taipas gravitatsiooni olemasolu tänu sellele, et talle kukkus õun pähe. Räägitakse, et Newtonil oli külas keegi teadlane. Pärast lõunasööki läinud Newton aeda ja istunud õunapuu alla, et seal teed juua. Väidetavalt äratas teda sügavatest mõtetest õuna kukkumine puu

otsast. Teda hakkas huvitama, miks õun alati vertikaalselt alla kukub. Seda lugu peegeldab osaliselt ka esimene animatsioon, mille saab nutirakenduses käivitada Isaac Newtoni näopildi alt.

Kuulsad teadlased

Selles peatükis on mainitud kolme teadlast, nende hulgas **Isaac Newtonit (1643–1727)**, kes on üks kõigi aegade kuulsamaid füüsikuid. Kui ajakirja „Physics World“ toimetajad küsisid füüsikutelt üle maailma, millised viis teadlast on füüsikasse kõige rohkem panustanud, siis tulemused näitasid, et viitamiste arvuga oli Newton teisel kohal, kohe Einsteini järel (Strnad, 2000).

Newtoni maailmavaade ja tema loodusnähtusi uurivad ideede ja kirjutiste järjepidevus oli erakordne. Oma eluajal tegeles ta kõigi füüsikasuundadega, kuid suurim oli ta panus mehaanikasse. Esimesena füüsika arenguloos sõnastas ta esimese üldise füüsikateooria, mis kehtib teatud määral tänapäevani (Strnad, 2003). Oleme ju kõik põhikooli tundides tema seadustega tutvunud. Juuresolev pilt käivitab põneva animatsiooni, mis kirjeldab, kuidas Newton jõudis järeldusele, et kahe keha vahel peab rakenduma (gravitatsiooni)jõud. Ta mõistis ka, et sama jõud on mängus nii Maa pöörlemisel ümber Päikese kui õuna puu otsast alla kukkumisel.



Lisaks kuulsale Newtonile tutvustatakse õppematerjalides ka **Christiaan Huygensi** (1629–1695) ja **Gottfried Wilhelm Leibnizi** (Leibnitz) (1646–1716). Huygens oli huvitatud astronoomiast ja ehitas enda ideede järgi teleskoobi, aga ka mikromeetri, millega mõõtis väga väikesed nurki tähtede vahel. Erilist tähelepanu pööras ta aja mõõtmisele, kuna mõistis selle tähtsust füüsikas. Huygens leiutas ka pendelkella ja taotles sellele patenti. Samuti tegeles ta pendlite ja võnkumisega. Teoreemid kirjutas ta enda mõõtmistulemuste põhjal. Ta tegi olulist tööd ka pörgete valdkonnas, seletades esimesena ära elastsed ja mitteelastsed pörked.

Leibniz vaidles Newtoniga selle üle, kes avastas esimesena diferentsiaalarvutuse ja kes keda plagieeris. Küsimuse lahendamiseks moodustas Londoni Kuninglik Selts komisjoni, kes pooldas Newtonit. Vaidlus eri poolte toetajate vahel aga ei vaibunud. Siiski tunnustame tänapäeval mõlemaid nende sõltumatu panuse eest (Strnad, 2003).

Küsimused ja tegevused õpilastega arutlemiseks

- Loe õpperaamatust Huygensi ja Leibnizi elu ja töö kohta.
- Mis on Isaac Newtoni kõige kuulsam teos?
- Mida tähendab plagieerima? Mis on plagiaat?
- Kuidas käib teadusringkondades teiste teadlaste töödele ja ideedele viitamine?
- Tee lühimärkmeid Newtoni, Huygensi ja Leibnizi teostest ja viita neile töödele korrektset kasutatud kirjanduses.
- Võta tükk pehmet mängutainast ja viska see ukselehe keskele, kui uks on avatud. Mis juhtub ukse ja mängutainaga? Kuidas sellist pörget nimetatakse? Mida saame öelda ukse ja mängutaina tüki kiiruse kohta enne ja pärast kokkupõrget?
- Võta tennisepall ja viska see ukselehe keskele, kui uks on avatud. Mis juhtub ukse ja tennisepalliga? Kuidas see põrge erineb eelmises ülesandes juhtunust? Mida saame öelda ukse ja tennisepalli kiiruse kohta enne ja pärast kokkupõrget?
- Moodustage paarid ja uurige erinevate pallide (piljardi-, vahtkummi-, kummi- jm pallide) kokkupõrkeid, muutes algkiirusi, pörgete suunda ning vaadelge, mis suunas pallid tagasi pörkavad ja kus need peatuvad

Animatsioonid

Kaks esimest animatsiooni suunavad õpilasi mõtlema, kuidas inimesed tajuvad erinevaid jõude. Mõlemat katset on õpilastel lihtne korrata ja mõtiskleda neile mõjuvate tajude ja jõudude üle.

Animatsiooni vaatamise ajal ja selle järel võib viia läbi järgmisi tegevusi:

- Joonista võimalikult täpselt ja õiges mõõtkavas Arphyle mõjuvad jõud. Võta eelduseks, et Arphy kaalub sama palju kui sa ise.
- Mis on Arphyle mõjuvate jõudude summa?
- Milline Newtoni seadus kirjeldab neid kahte näidet?

Mõlemal juhul peaks õpetaja kontrollima, kuidas õpilastel jõudude joonistamine õnnestub. Esimese ja teise näite puhul on tegu kahe jõuga, mis tasakaalustavad kehakaalu (kummalegi jalale ja käsivartele mõjuv normaaljõud).



Kolmas ja neljas animatsioon kõnelevad jõududest, mida keegi teine rakendab Arphy peal. Keegi rakendas Arphy peal jõudu, tõugates teda kõrvale. Teisel juhul tõmbas keegi Arphyt käest.

Soovitused tegevusteks animatsiooni ajal ja järel:

- Vaata animatsiooni ja joonista Arphyle mõjuvad jõud.
- Võrdle normaaljõude neis kahes näites ja kahes eelmises. Mida paned tähele? Miks see nii on?

Õpilased ehk märkavad, et Arphy seisab neis kahes näites ainult ühel jalal. Seega normaaljõud, mis rakendub ühel jalal seistes on 2 korda suurem kui eelnevatel juhtudel, kui Arphy seisis kahel jalal.

- Mis on neis näidetes kõikide jõudude resultantjõud?
- Miks Arphy liigub ja miks ta kukub?
- Milline Newtoni seadus kirjeldab neid kahte juhtumit?



Õpilased võiksid ära vaadata ka viienda animatsiooni, et kinnistada teadmisi esimese näite kohta. Kui pind, millel kuul veereb, muutub, siis tuleb õpilastele tutvustada hõõrdejõu mõistet ja hõõrdumise mõju kuuli veeremisele. Kokkuvõttes saabki kuul veereda ainult tänu hõõrdejõule kuuli ja pinna vahel, vastasel juhul see libiseks. Samas peatub kuul ka hõõrdejõu tõttu. Siin ei saa me jätta tähelepanuta õhutakistust, mis aeglustab kuuli veeremist läbi õhu ja pinnal, isegi kui selle mõju on hõõrdejõu mõjust palju väiksem.



Järgmise animatsiooni abil õpivad õpilased tundma pörgete omadusi. Siin võib õpetaja arutleda õpilastega elastsete ja mittelastsete pörgete omaduste üle, aga ka poolelastsete pörgete omaduste üle, nagu on näidatud animatsioonis. Tegu on kahe erineva suurusega sõiduki kokkupõrkega.

Soovitused tegevusteks animatsiooni ajal ja järel:

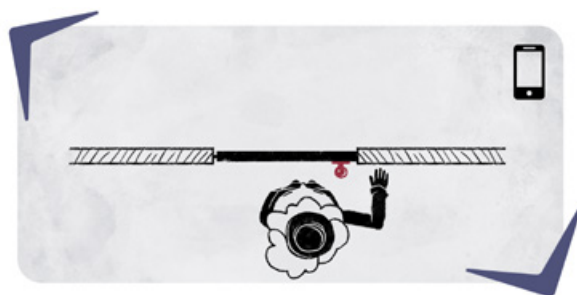
- Õpilased võivad sama olukorra taasluua klassitunnis katse teel. Juba kuulsatest teadlastest kõnelevas lõigus kõlas mõte, et õpilased peaksid uurima erinevate pallide vahelisi kokkupõrkeid. Siin animatsioonis tundub mõistlik võtta katseks samast materjalist eri suuruses pallid, vaadelda nende kokkupõrkeid ja võrrelda neid animatsioonis nähtud pörgetega. Klassitunnis võib animatsioonis nähtut korrata kahe väikese automodeli abil. Paluge õpilastel võrrelda katse tulemusi animatsioonis nähtuga.

Nad võivad avastada, et animatsioonis nähtu ja ka mänguautodega tehtud katse puhul ei ole kokkupõrge lõpuni elastne.

- Paluge õpilastel automodeleid või palle kasutades uurida ka kiiruse mõju kokkupõrgetele. Samuti sõidukite massi mõju kokkupõrgetele sama kiiruse juures. Õpilased võivad jälgida, kui kaugemale paiskuvad sõidukid kokkupõrkepunktist pärast kokkupõrget.



Peatüki viimane animatsioon avab jõudude ja jõumomentide teema. Lihtsa praktilise näite abil näevad õpilased, et kui ukse jõuõlg on lühike, on seda raske tõmmata või tõugata. Ja ka vastupidi – õpilased mõistavad kiiresti, et ukse käepide paigutatakse ukse servale kindlal põhjusel, sest mida pikem jõuõlg, seda lihtsam on ust avada ja sulgeda.



Jõu ja jõumomentide tasakaalust rääkides tuuakse tavaliselt näiteks kiik või kang, nagu on mainitud „Töö, jõud ja energia“ peatüki esikaant kirjeldavas lõigus.

Kasutatud kirjandus

Bajc, J. (2009). Učni načrt, Fizika: osnovna šola. Ministrstvo za šolstvo in šport; Zavod RS za šolstvo. http://www.mss.gov.si/fileadmin/mss.gov.si/pageuploads/podrocje/os/devetletka/preddmeti_obvezni/Fizika_obvezni.pdf

Brown, D. E. (1989). Students' Concept of Force: The Importance of Understanding Newton's Third Law. *Physics Education* 24(6), 353–358.

Elwan, A. (2007). "Misconception in Physics". *Journal of Arabization, the Arab Centre for Arabization, Translation, Authorship and Publication, Damascus*, 33, 77-103

Enderstein, L. G. in P. E. Spargo. (1996). Beliefs regarding Force and Motion: A Longitudinal and Cross-Cultural Study of South African School Pupils. *International Journal of Science Education*, 18(4), 479–492. <https://doi.org/10.1080/0950069960180406>

Halloun, I.A. in Hestenes, D. (1985). Common-sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, 1056–1065.

Hestenes, D., Wells, M. in Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* 30 (3), 141–158. <http://modeling.asu.edu/R&E/FCI.PDF>

Ioannides, C. in Vosniadou, S. (2002). The Changing Meanings of Force. *Cognitive Science Quarterly* 2 (1), 5–62.

Laue, M. von. (1983). Kratka zgodovina fizike. Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS.

McCloskey, M. (1983). Naive Theories of Motion. V D. Gantier in A. L. Stevens (ur.), *Mental Models* (str.299–324). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Strnad, J. Razvoj fizike (The Development of Physics), DZS, 2003

Strnad, J. Zgodbje iz fizike (Stories from physics), Slovenska matica, 1990.

Strnad, J. Fiziki (Physicists), Mordijan, 2000.

Suppapittayaporn, D., Emarat, N. in Arayathanitkul, K. (2010). The effectiveness of peer instruction and structured inquiry on conceptual understanding of force and motion: a case study from Thailand. *Research in Science & Technological Education*, 28(1), 63–79.

Yakhoub, N., Hérold, J.F. in Chatoney, M. (2020). French teacher perceptions of student learning about force: a preliminary study. Research in Science & Technological Education, 1-24. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1779050>



ARPHYMEDES

4. PEATÜKK

VEDELIKE (GAASIDE) MEHAANIKA



VEDELIKE (GAASIDE) MEHAANIKA

Mis on vedelike (gaaside) mehaanika?

Voolised jagunevad vedelikeks ja gaasideks, mis võivad olla erinevas olekus ja erineva kujuga. Nende voolamise põhjuseks on erinevad rõhud. Gaase hoitakse suletud anumates, täna oma omadusele täita kogu olemasolev ruum. Gaase annab vedelikest paremini kokku suruda. Vooliste mehaanika on teadusharu, mis kirjeldab vedelike (gaaside) omadusi paigalolekus ja nende reaktsioone, kui neile mõjuvad erinevad jõud. Vedelike (gaaside) omadusi liikumises kirjeldab teadussuund, mida nimetatakse vooliste dünaamikaks.

Tööeesmärgid ja õpitulemused

Selles peatükis õpivad õpilased tundma vedelike (gaaside) omadusi, hüdrostaatikat ja hüdrostaatilist rõhku. Õpilased tutvuvad lähemalt Archimedese printsiibiga ja arutlevad, miks mõned kehad jäävad vedeliku pinnale püsima ja mõned vajuvad põhja.

Õpilastel on siin võimalus omandada uusi teadmisi ja õppida füüsikaga seotud fakte, ideid, sõnavara, põhimõtteid ja mõisteid. Nad peaksid mõistma, et teadustermnoloogia on arenenud järkjärgult terve teaduslooo vältel. Peatükis on kirjeldatud selliste oluliste teadlaste töid nagu **Pascal**, **Pythagoras**, **Archimedes** ja **Bernoulli**. Õpilased saavad rakendada oma teadmisi probleemilahenduse kaudu kõikjal, kus läheb vaja andmete tõlgendamist, igapäevaste nähtuste kirjeldamist ja vajalikke arvutusi.

Õpilased peaksid

- mõistma, et voolised voolavad;
- aru saama kokkusurutavuse mõistest ja oskama rakendada seda igapäevaelus ja katsete läbiviimisel;
- tegema endale selgeks viskoossuse mõiste ja viskoossuse sõltuvuse temperatuurist „testides vedelike viskoossust“;
- tundma Blaise Pascali ja tema üüratut panust teaduse arengusse;
- mõistma Pascali seadust;
- oskama kasutada valemit $rõhk = jõud / pindala$ ja kirjeldama olukordi, kus rõhk ja pindala on pöördvõrdelised;
- teadma, et rõhu põhiühik on paskal (N/m²);
- aru saama hüdraulilise pumba põhimõttest kahe eri suurusega süstlaga tehtud katses;
- oskama kasutada rõhu arvutamise valemit $rõhk = jõud / pindala$ ja töö arvutamise valemit $W = F \times s$ hüdraulilise pumba näites;
- oskama seostada vedeliku pinna all olevat rõhku anuma sügavuse ja vedeliku tihedusega ja kasutada valemit $rõhk = vertikaalne kõrgus \times tihedus$ x raskuskiirendus;
- oskama rakendada ja seostada seda valemit Pascali kuulsa tünni ja pika

toru eksperimendiga;

- suutma selgitada hüdrostaatilist paradoksi;
- mõistma sifoonefekti ja seostama seda Pythagorase karikaga;
- suutma seostada õhurõhku ja hüdrostaatilist rõhku;
- mõistma, et atmosfääris tekib rõhk ja et see väheneb, mida kõrgemale maapinnast liigume;
- mõistma rõhu erinevuse mõistet;
- oskama läbi viia rõhu erinevuse katseid ja seostada neid igapäevaelus nähtuga;
- oskama tõlgendada Archimedese printsiipi;
- oskama kasutada Archimedese printsiipi mingi konkreetse näite või olukorra selgitamisel;
- tõlgendada üleslükke põhimõtet;
- oskama seletada, kuidas erinevad tegurid määravad üleslükkejõu.



Peatüki tiitelleht

Tiitellehe illustratsioon kujutab peategelast Arphyt vannis, peas kuningakroon (joonis 1).

Joonis 1. Kinemaatika peatüki tiitelleht.

Joonis viitab kuulsale loole Archimedesest, kes väidetavalt lahendas krooni mõistatuse vannis kümmeldes. Valitseja tahtis teada, kas tema kroon oli valmistatud puhtast kullast või oli kullassepp teda tüsanud ja lisanud kroonivalusse mõnd muud metalli.

Õpilasi saab arutelu käigus ärgitada mõtlema Archimedese ja tema saavutuste peale. Siin on mõned soovitusel, kuidas arutelu küsimuste abil suunata.

Millega sul see pilt seostub?

Mis sõna võiks siin jutumullis olla?

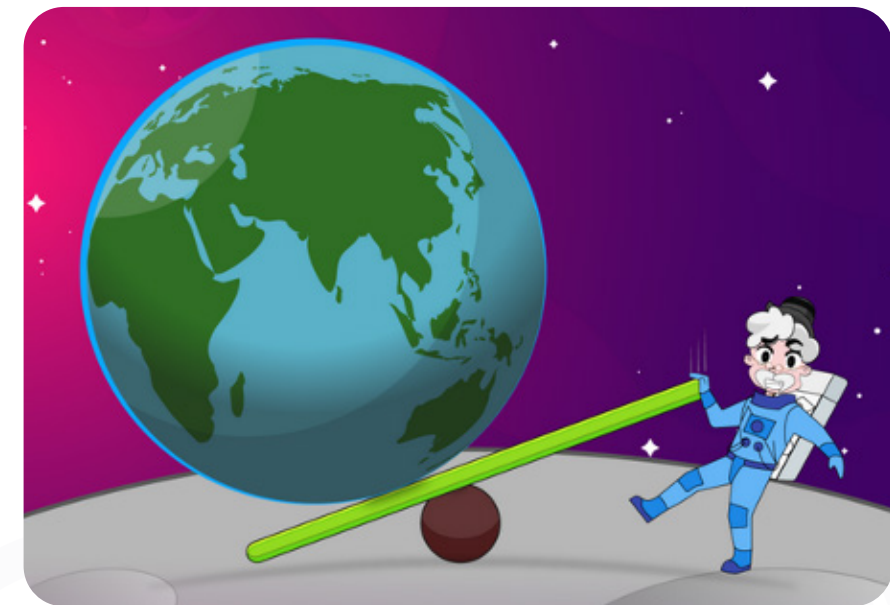
Kelle kuulus hüüatus oli „Heureka“?
 Mille avastas naljaloos Archimedes vannis istudes?
 Oled sa kuulnud üleslükkejõust ja kuidas seda kirjeldaksid?
 Miks voolab vesi üle ääre, kui Arphy heidab pikali vett täis vanni?
 Kuidas peaks Arphy end vanni heitma, et sealt võimalikult palju vett välja saada?
 Mida tähendab su arvates pealkiri „Vedelike (gaaside) mehaanika“? Mis on mehaanika?
 Milliseid ainete jaotusi sa tunnend?
 Mis on voolised? Too näiteid vedelike kohta.

Kuulsad teadlased

Sissejuhatuses tutvustame kolme ajaloolist isikut, kes on andnud suure panuse meie arusaama mehaanikast ja voolistest: **Blaise Pascal, Archimedes ja Daniel Bernoulli.**

Kui need teadlased oleks järjestatud kronoloogiliselt, kas nende järjestus siin jääks samaks? Kui mitte, siis mis järjestuses need oleks?
 Kes neist elas kõige kauem?
 Otsi internetist veel kuulsaid isikuid, kes elasid Pascali, Archimedese ja Bernoulliga samal ajal.
 Loe kuulsate teadlaste lühielulugusid ja valmistage ette rollimäng valitud teadlaste elust ja tööst.
 Otsi internetist põnevate lisateavete selle ajastu, riituse, seadeldiste jm kohta.
 Mille uurimisega Archimedes veel tegeles?

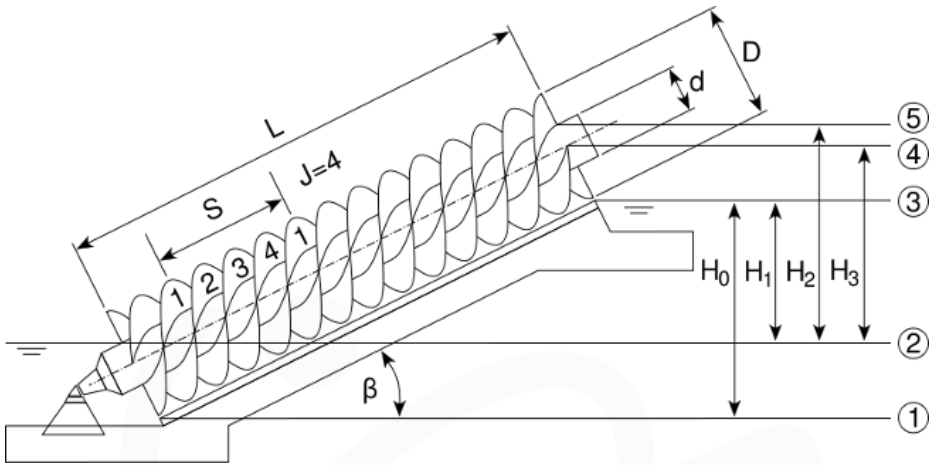
Sitsiilias asuvast **Sürakuusast** pärit **Archimedes** (287–212 e.m.a.) resümeeris, toimetas ja avardas oma eluaja vältel teadmisi staatikast. Ta oli antiikaja olulisim matemaatik ja füüsik. Archimedes tegutses Aleksandrias. Temast tuleb juttu ka peatükis, kus vaatame, kuidas kasutada tööriistu. Archimedese kangiteoreemi järgi on sümmeetriline ja sümmeetriliselt koormatud kang tasakaalus ning jõud, mis on võrdne koormuse kogukaaluga kangi otstel, rakendub teljel ülespoole. Seejärel paigutas ta koormused asümmeetriliselt kangi ühele ja teisele otsale ja nihutas vastavalt sellele toetuspunkti. Ta kasutas raskuskeskme mõistet. See avastus ajendas Archimedest ütlema: „Andke mulle toetuspunkt ja ma tõstan Maa üles!“ (Strnad, 2003). Peatüki „Töö, võimsus ja energia“ tiitellehe illustratsioon käsitleb just seda mõtet (vt. joonis 2).



Joonis 2. „Andke mulle toetuspunkt ja ma tõstan Maa üles!“ Peatüki „Töö, võimsus ja energia“ tiitelleht.

Peatüki tiitellehel on aga kroon, mis jutustab loo valitseja Hieronist, kes lasi endale valmistada kullast krooni. Ta kahtlustas, et kullassepp üritab teda tüssata. Archimedesel õnnestus teatavasti tema kahtlusi kinnitada. Jutu järgi kaalus ta krooni ja valmistas võrdse kaaluga kulla- ja hõbedatüki. Siis mõõtis ta krooni ruumala, uputades selle vett täis ämbrisse ja mõõtis ämbrist väljatõrjutud vee koguse. Kui kroon oleks olnud valmistatud puhtast kullast, siis selle poolt välja tõrjutud vee hulk oleks olnud võrdne vee hulga, mille tõrjus ämbrist välja kullatükk. Kuid selgus, et krooni ruumala oli suurem kui kulla ruumala, aga väiksem kui hõbeda ruumala. Kullassepp pidi olema lisanud kullale hõbedat. Archimedes võttis kasutusele erilise ruumala ja raskusjõu ning pakkus välja viisi selle mõõtmiseks.

Archimedes tuletas ka üleslükkejõu seaduse. Enda ehitatud seadeldisi ta avalikult ei esitlenud. Ta leiutas egiptlaste eeskujul vee tõstmiseks veekruvi ehk tigukonveieri (joonis 3), samuti ehitas kangil põhineva viskerelva (mida nimetati Kreeka tuleks), ja pälvis oma kaasaegsete usalduse, kui suutis laeva kangide abil liigutada, kuigi varem ei peetud seda võimalikuks.



Joonis 3. Archimedese veekruvi, mille abil tõsteti vett. Kruvi keeramisel liigub vesi ülespoole. (Allikas: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Archimedische_Schraube_komplett.svg)

Blaise Pascal (1623-1662) oli esimene, kes selgitas, et suletud anumaskandub ühtlaselt edasi kogu vedelikus ja rakendub anuma kõigi seinte suhtes risti. Ta uuris, kuidas rõhk liikumatus vedelikus sügavuse kasvades suureneb ja leidis, et see seos on võrdeline. Sama teoreemi põhjal leiutas ta hüdraulilise pressi.

Daniel Bernoulli (1700-1782) oli matemaalise füüsika rajaja. Muuhulgas uuris ta süvendatult gaaside käitumist ja vedelike voolavust. Ta sõnastas Bernoulli valemi, mis kehtib mitteviskoosses ja kokkusurumatus ajas muutumatu voolavusega vedelikus ja ühendab kaks punkti ühel voolujoonel. See kirjeldab seadust, mille kohaselt vedeliku voolukiiruse suurenemisega horisontaalses suunas väheneb ka rõhk (Strnad, 2003).

Katsed

Õpilased võivad katsed viia läbi iseseisvalt või jälgida õpetajat neid katseid läbi viimas. Tööprotsessi kirjeldamise asemel tuleks kasutada käivituspilte ja nende alt avanevaid videoklippe või animatsioone. Õpilased võiksid vaadata klippi, kirjutada üles vajaminevad töövahendid, visandada katse ja (kui vahendid võimaldavad) katse iseseisvalt läbi viia. Praktikas võib selline töövorm säästa aega, kui katse juhend ja töölehed antakse eelnevalt kätte. Tunnis võib seda korraldada rühmatööna, nii et kõik õpilased saavad üksteise järel tööpunktis katsetamas käia. Igas tööpunktis on juba ettevalmistatud töölehed ja liitreaalsuse käivituspildid. Õpilased võivad õpperaamatusse või ka oma vihikusse panna kirja seletusi, kirjeldusi ja küsimusi ning teha jooniseid. Eelistatult järgib õpilane katse ülesehitust järgmiselt:

- Annab katsele nime
- Visandab katse plaani
- Kirjutab üles vajaminevad vahendid
- Kirjeldab vaatlusi
- Kirjutab üles tulemused ja tähelepanekud
- Hindab tulemusi läbimõeldult.

Esimeses paaris katses tutvustatakse õpilastele vedelike ja gaaside omadusi (vedelikud voolavad, gaasid täidavad terve olemasoleva ruumi, vedelikel moodustub pind, gaaside kokkusurutavus on erinev, vedelikud (gaasid) versus tahked ained, vedeliku viskoossus).

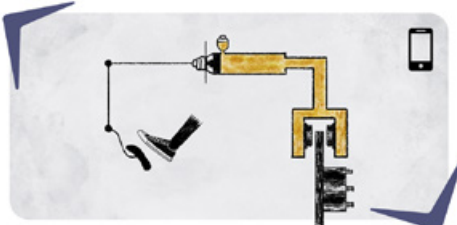
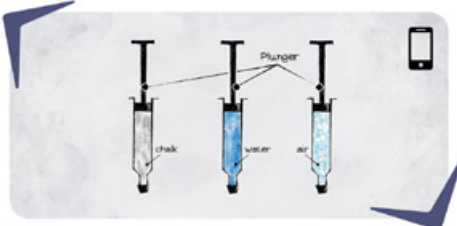
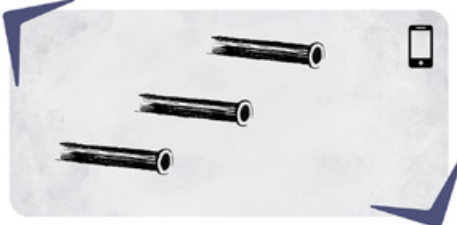
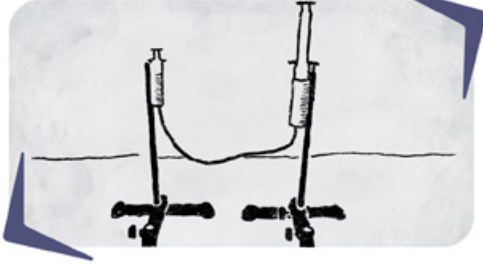
Järgmiste katsete kaudu saavad õpilased teada, et ka gaasi saab ühest klaasist teise valada, et gaasid täidavad ruumi (klaasi) ja võivad olla tuleohtlikud.

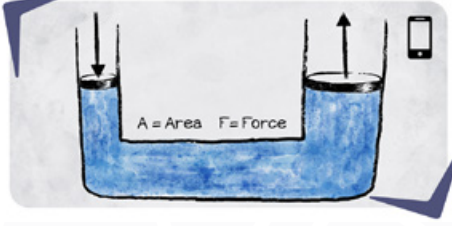
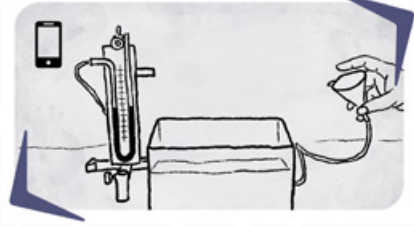
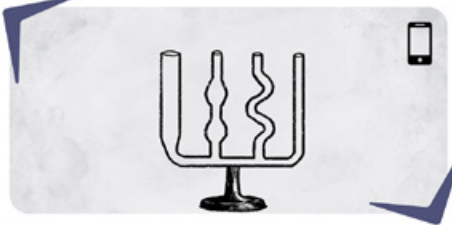
Alljärgnevas tabelis (tabel 1) on toodud selles peatükis esitatud katsete ja animatsioonide loetelu. Sellest võib õpetajale abi olla tundide ettevalmistamisel, kuna kirjalikud töövahendid ja katsete läbiviimiseks vajalik varustus on lisatud iga käivitusklipi kirjelduse järel.

Tabel 1. „Vedelike (gaaside) mehaanika“ peatüki käivituspiltide nimekiri katsete jaoks vajalike tarvikutega.

Katse või animatsiooni lühikirjeldus	Käivituspilt	Tarvikud
--------------------------------------	--------------	----------

Katse Gaasid voolavad		Hoidisepurgid, pihusti, tikutoos, papp
Katse Õhu ja vee kokkusurutavus		Vee/õhuga täidetud süstal

Katse Küünla kustutamine süsihappegaasi abil		Läbipaistvad klaasid, lahustuv tablett (või äädikas ja söögisooda), vesi, küünal
Animatsioon Autopidurite tööpõhimõte		
Animatsioon Kriidi, vee ja õhu kokkusurutavus		
Animatsioon Vee, õli ja mee viskoossus		
Katse Võrdle väikese ja suure süstla kolbile mõjuvat jõudu		Kaks erineva suurusega süstalt, mis on täidetud veega, statiivid, ühendusvoolik

Katse „Pascali siil“: Jõud mõjuvad pinna suhtes risti. Väljalaskejuga on plastkolvi või õhupalli pinna suhtes risti.		Augustatud plastikkolb või õhupall, suur süstal (või ka vee pritsimiseks veepüstol)
Animatsioon Hüdraulilise pumba tööpõhimõte		
Katse Hüdrostaatiline rõhk on samal sügavusel kõigis suundades võrdne		Manomeeter või U-toru, värvitud vesi, plastvoolik, lehter, õhupall
Animatsioon Ühendatud anumate näide		
Animatsioon Kuidas töötab Pythagorase karikas?		

Katse
Erinevus õhu ja
joogipurgi rõhkude
vahel litsub purgi
kokku



Tühi plekist
joogipurk, külm
(jäätükkidega)
vesi, kuuma purgi
hoidmiseks tangid,
gaasipõleti, süütaja

Katse
Õhu massi mõõtmine



Plastkolb,
tagasilöögiklapp,
õhupump, kaal

Katse
Veesamba muutmine
puhumise või
imemise teel



Pikk voolik (pikem kui
2 m), statiiv, U-toru
fikseerimiseks

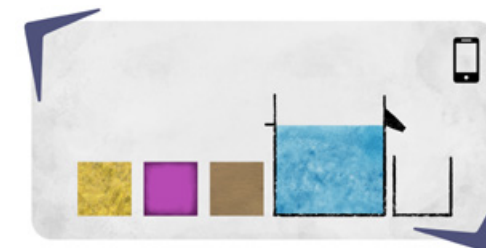
Katse
Keha tihedus
ei mõjuta
sellele mõjuvat
üleslükkejõudu



Veega täidetud
mõõtekolb, 2 sama
ruumalaga erinevast
materjalist (erineva
tihedusega) kuubikut.

Üleslükkejõu
mõõtmine annab
sama tulemuse, kui
samade mõõtmega
kuubikud on vee all.

Animatsioon
Archimedese
printsip:
Vee all osaliselt või
täielikult olevale
kehale rakendub
üleslükkejõud sõltub
sellest kas selle keha
mass on võrdne selle
vedelikuga, mida see
asendab

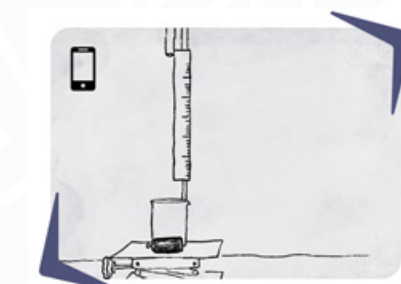


Katse
Vee kogus ei mõjuta
vee all oleva keha
üleslükkejõudu



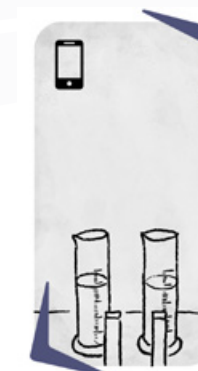
Klaas, mingi ese,
vedrukaal

Katse
Archimedese ämber



Archimedese ämber

Katse
Vedeliku tihedus,
kuhu keha on
sukeldatud, mõjutab
üleslükkejõudu



2 mõõtesilindrit,
soolvett, kraanivett,
2 samasugust
(võrdse ruumalaga)
eri materjalist
(erineva tihedusega)
kuubikut)

Katseks piisab ühest
kuubikust. Videos
kasutatakse katse
kordamiseks 2
kuubikut.

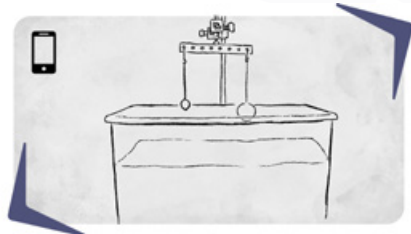
Katse
Üleslükkejõud ei sõltu keha kujust



Plastiliinitükk, mis on esmalt voolitud kuubiks ja seejärel keraks, vedrukaal, mõõtesilinder, vesi

Kasuta sama vedelikku ja uputa sinna samast ainest ja võrdse ruumalaga (nt plastiliinist) esemeid)

Katse
Üleslükkejõud sõltub sellest, kui suur osa kehast on vedeliku all ja ei sõltu selle keha massist



Võrdse massi, aga erineva ruumalaga kerad, risttoe statiiv, nõor, suur veega täidetud anum

Õpetaja saab vabalt valida, millises järjekorras katseid teha või animatsioone näidata. Kommentaaride juures on toodud iga katse ja animatsiooni teoreetiline raamistik, ideid ja soovitusi.

Esimese osa katsed tutvustavad vooliste omadusi (vedelikud voolavad, gaasid täidavad terve olemasoleva ruumi, vedelikel moodustub pind, gaaside ja vedelike kokkusurutavus on väga erinev, vedelikud (gaasid) versus tahked ained, vedelikel on erinev viskoossus). Nende katsete tulemusel saavad õpilased teada, et gaasid voolavad, need täidavad terve olemasoleva ruumi ja mõned gaasid on tuleohtlikud

1. Esimene katsete rühm: Gaasid voolavad ja neid saab kokku suruda

Gaasid on voolised. Gaaside voolavust saab näitlikustada erinevate katsete teel. Kõige tuntum neist on kahtlemata küünla kustutamine CO₂ abil. Vala klaaspurki veidi vett ja lisa lahustuv tablett. Purk võib olla kaetud, kuid katse õnnestub ka siis, kui see ei ole. Kihiseva tableti lahustumisel vabaneb CO₂, mis on suurema tihedusega kui keskmine õhutihedus, seega jääb CO₂ purki pidama. Purki ettevaatlikult kallutades saab gaasi valada teise purki. Vala teisest purgist CO₂ põlevale küünlaleegile, misjärel see kustub. Pane küünal uuesti põlema ja vala kolmanda purgi sisu küünlaleegile.

* Korda sama katset, aga asenda vesi äädikaga ja lahustuv tablett söögisoodaga. Või kasuta vee ning söögisooda ja sidrunhappepulbri segu.

Tulemused:

Arutlege õpilastega saadud tulemusi ja tee kokkuvõte. Õpilasi võib suunavate küsimustega abistada.

Kihiseva tableti lahustumisel tekib süsihappegaas (CO₂).

Kuidas teha kindlaks, kas CO₂ on valatud esimesest purgist teise?

Mis juhtus, kui valasid teisest purgist süsihappegaasi põlevale küünlaleegile?

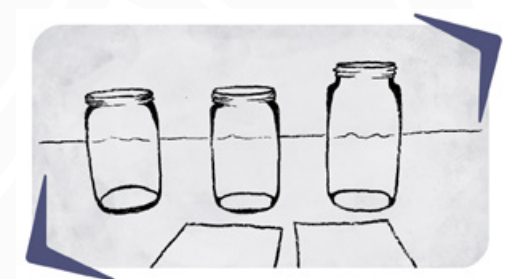
Miks küünal kustus?

Mida oskad öelda süsihappegaasi tiheduse kohta võrreldes õhutihedusega?

Kuidas saaksid tõestada, et CO₂ on valatud teise purki?

Mis juhtus, kui valasid kolmanda purgi sisu küünlaleegile?

Õpperaamatus on ära toodud samal teemal katse, kus surve all anumast pihustatakse süttivat gaasi esimesse purki. Pärast seda, kui gaas on esimesest purgist valatud kahte teise purki, saab põleva tikuga kontrollida, kas seda leidub ka kahes ülejäänud purgis.



Soovitused õpetajale:

Katset saab läbi viia ka klassitunnis, kuid kui kasutate süttivat gaasi, siis tuleb tarvitusele võtta ettevaatusabinõud. On oluline jälgida, et gaasi ei hingataks sisse ja esimest purki ei valataks liiga täis. Katset tehes tuleb kanda kaitseprille ja -kindaid.

Katse ajal tuleb tegevusel hoolikalt silma peal hoida. Arutage õpilastega katse õnnestumise ja selle tulemus. Õpilasi võiks suunata mõtlema järgmistele asjadele:

- Kuidas tuvastada, kas purgis on gaas?
- Mis juhtub, kui seda gaasi leidub väikeses suletud ruumis?
- Mis on võimalikud ohud?

Katsed lõpuni viies saavad õpilased veenduda, et gaasid tõepoolest voolavad.

Samuti võiksid õpilased mõelda igapäevases kasutuses olevate ohtlike ja süttivate gaaside võimalikele ohtudele. Võib teha juttu tuleohtliku kodugaasi leketest ja suunata õpilasi otsima internetist viise, kuidas maagaasi kodus ohutult kasutada. (<https://www.petrol.si/znanje-in-podpora/2019/clanki/nasveti-za-varno-uporabo-zemeljskega-plina.html>)



Lähtepilt: <https://www.hippopx.com/en/gas-flames-stove-burner-fire-blue-light-69135>

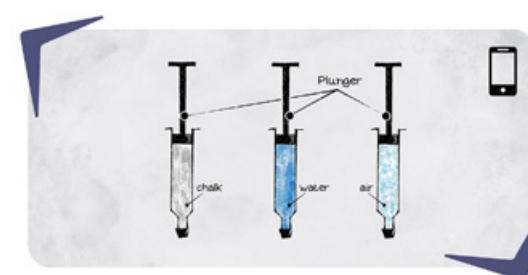


Kokkusurutavus on omadus, mida õpilased saavad katsetada süstla abil. Süstlaga tehtava katse eesmärk on panna õpilased märkama vee ja õhu kokkusurutavuse erinevust. Õpperaamatus esitatud küsimus viitab võimalusele, et isegi kui süstlas on vesi, võivad õpilased täheldada, et neil õnnestus süstlakolbi veidi alla suruda. Õpetaja ülesanne on siinkohal selgitada selle põhjuseid. Vesi on vedelik, mida ei saa kokku suruda, aga kuna see katsest otseselt ei selgu, siis on süstla sisu vaja hoolega vaadelda. Kui seal on kasvõi üksainus õhumull, siis õnnestus õpilasel suruda kokku õhku (sedasama õhumulli), kuid mitte vett.

Ülesanne õpilastele: Kuidas täita süstal veega nii, et seal ei sisalduks õhku?

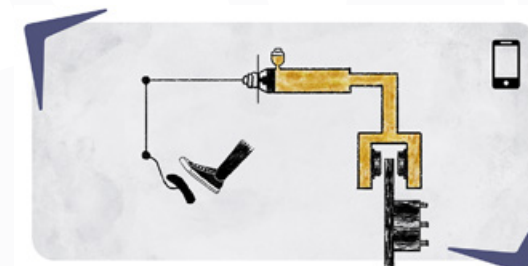
Käivituspilt näitab, et süstalt tuleb pärast vedelikuga täitmist hoida vertikaalselt. Selles asendis liiguvad õhumullid ülespoole süstla avause juurde. Kolbi õrnalt vajutades surutakse õhumull süstlast välja ja süstlasse jääb ainult vesi. Huvitav fakt: Õpilased saavad seda kohata ka arsti juures käies. Enne süsti tegemist (näiteks vaktsineerimisel), surub arst (või õde) süstlast vertikaalselt õhu välja ja nõelast pritsib välja vedelikujuga. See on tõestuseks, et süstlas enam õhku ei ole.

Järgmises animatsioonis saavad õpilased võrrelda tahke aine, vedeliku ja gaasi kokkusurutavust.



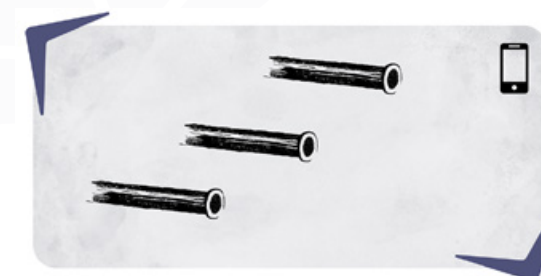
sellepärast, et süstlasse vett tõmmates satub sinna paratamatult veidi õhku.

Arutlege õpilastega igapäevaelus ette tulevate näidete üle. Tahkete ainete, vedelike ja gaaside transportimisel näeme õige pea, et gaaside kokkusurutavus on väga praktiline omadus. Gaasid surutakse ladustamiseks ja transportimiseks balloonidesse. Esimeses katses oli sellest ka näide (pihusti, gaasiballoonid).

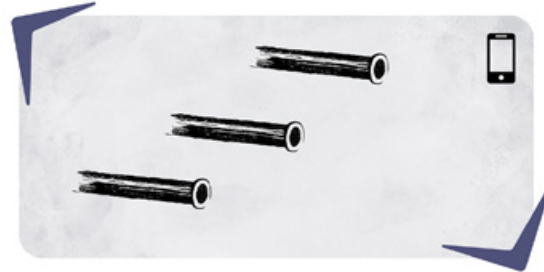


kes suunab nad mõtlema veelkord vee ja õhu kokkusurutavuse peale süstlas.

Viskoossus on kokkusurutavuse kõrval teine omadus, mida õpilased määrata saavad. Oma kogemusest nad teavad, et mõned vedelikud „voolavad“ kergemini kui teised. Tasub märkida, et õpilased seostavad viskoossust tihtipeale vedeliku tihedusega. Õpetaja ülesanne on siinkohal neid kahte mõistet selgelt eristada. Õpilased võiksid vaadata animatsiooni vedelike voolamisest, samal ajal kui õpetaja selgitab, et madala viskoossusega vedelikud voolavad kergemini.



Animatsioon on ingliskeelne, seega saab siin omandada mõned tehnilised terminid. Soovi korral võib õpetaja koostada väikese terminisõnastiku, mida õpilased saavad tegevuse käigus täiendada. Võõrkeele kasutamine aitab internetist leida rohkem infot.



Vedelike omaduste õppimisel on oluline, et õpilased lisaks animatsiooni vaatamisele teeksid katse läbi. Õpperaamatus on näide, kus viskoossuse tase tuletatakse selle põhjal, kui kiiresti kuulid erinevates vedelikes põhja langevad. Mida kiiremini kuul langeb, seda madalam on viskoossus – ja vastupidi.

Katseklaasid on võrdse kõrguseni täidetud vee, õli ja glütseriiniga. Võrdleme erinevate vedelike viskoossust ja leiame parameetri, millest viskoossus sõltub. Võrdleme kui kiiresti klaaskuul anumast põhja vajub. Veega täidetud katseklaasi puhul toimub see nii kiiresti, et jõuame aega vaevu mõõta, kuid glütseriini puhul on seda üsna lihtne teha. Kirjuta mõõtmistulemused tabelisse. Mõõtmistulemuste põhjal võime järeldada, et mida lühem on mõõdetud aeg, seda madalam on viskoossus.



Lähtepilt: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Honey-PNG-Image-83961.png>

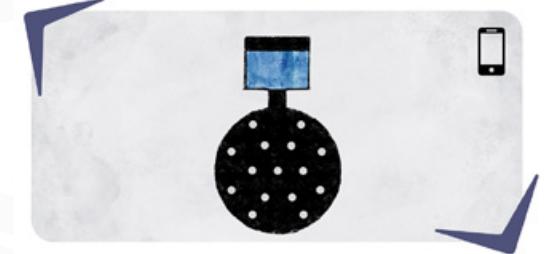
Viskoossuse kohta leidub näiteid ka igapäevaelus. Näiteks looduslik mesi kristalliseerub ja seda on väga keeruline lusika peale võtta. Probleemi saab lahendada, kui kuumutame meepurki veevannil. Õige pea märkame, et mesi muutub voolavamaks.

Viskoossus sõltub temperatuurist. Sedagi saab katses näidata. Kasutame samu vahendeid ja katse ülesehitust, aga seekord kuumutame valitud vedelikud ja mõõdame nende temperatuuri. Märkame, et kõrgemal kuumusel vajub klaaskuul kõigis vedelikes kiiremini põhja. Tulemused on usaldusväärsemad, kui kõigis vedelikes tehakse iga temperatuuri juures mõõtmised mitu (nt kolm) korda ja arvutatakse keskmine aeg.

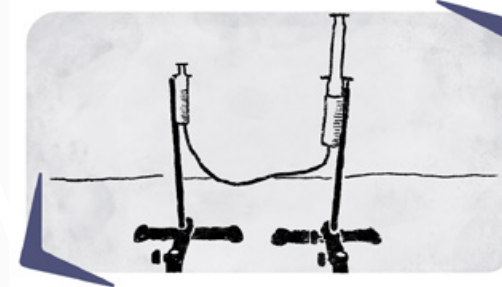
2. Teine katsete rühm: Hüdrostaatika ja Pascali seadus

Kui vedelikus rõhk muutub, muutuvad ka anuma seintele risti rakenduvad jõud. Välise jõu rakendumine anuma seinale suurendab vedelikus rõhku, mis kandub ühtlaselt läbi vedeliku. Hea näide sellest on õhupalli täispuhumine, kus ühtlane paisumine kõigis suundades on selgelt nähtav.

Siiski väidab **Blaise Pascali** poolt esitatud vedeliku rõhu ülekande põhimõtte, et rõhumuutus suletud anumaskokkusuurumatu vedeliku mistahes punktis kandub läbi kogu vedeliku, seega leiab sama muutus aset kõikjal. Pascali seadust saab demonstreerida katse abil, kus veega täidetud süstla otsa ühendatakse augustatud pudel või õhupall. Kui süstalt suruda, purskavad anumast aukudest veejoad. Veejoad on pinnaga risti ja purskuvad kõikidesse suundadesse laiali.



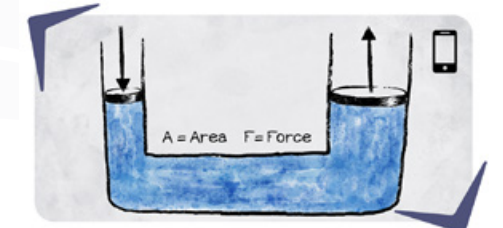
Paluge õpilastelt vaadata videoklippi ja otsida selle nähtuse kohta internetist klippe või animatsioone. Paluge neil leida nende hulgast klipp, mis kirjeldaks seda isegi paremini. Kui õpilastel leidmine ei õnnestu, näidake neile paremal asuva käivituspildi alt avanavat animatsiooni.



Nähtust tuntakse Pascali „siili“ (ing k Pascal's hedgehog) nime all.

Rakendame nüüd õpitut juba tuttava kahe süstla näites. Erineva läbimõõduga süstlad on omavahel voolikuga ühendatud ja osaliselt veega täidetud.

Siin on oluline, et iga õpilane prooviks vajutada alla ühe süstla kolbi ja samal ajal tunneks selle mõju teisele süstlale. Õpilase enda tunnetus on selle katse puhul väga oluline, enne kui liigume edasi õppematerjalis välja pakutud võistluse juurde.



Vedelike rõhu omadusi kasutatakse edukalt hüdraulilistes ja pneumaatilistes seadmetes. Heaks näiteks on siinkohal hüdrauliline pump või tõstuk, millel on kaks erineva läbimõõduga kolbi.

Rõhku või survet kui sellist (mis on jõu ja pindala jagatis $p = F / s$) võib sageli märgata igapäevastes olukordades. Kui näiteks pigistad peos kokku kaks kreeka pähklit, on nende koort võimalik purustada, sest jõud on suur ja puutepindala väike. Sel juhul on rõhk suur. Samas, kui inimene kannab kõrge kontsaga kingi, on surve kinga ja maapinna vahel palju suurem, kui siis, kui inimesel on jalas on madala tallaga jalanõu. See arusaam või teadmine on hüdraulilise pumba jõu ja pinna suhete mõistmisel ülioluline.

Kolvid on ühendatud vedelikuga täidetud voolikuga. Väiksemale kolvile vajutamine suurendab selle all olevat rõhku ja see kandub edasi kogu vedelikku. Kui rõhud on võrdsed, rakendub suuremale kolvile suurem jõud. Jõud suureneb võrdeliselt kolvide läbimõõduga. Õpilased võivad eespool kirjeldatud nähtusi mõista animatsiooni ja igapäevaelus mõtteeksperimentide kaudu.

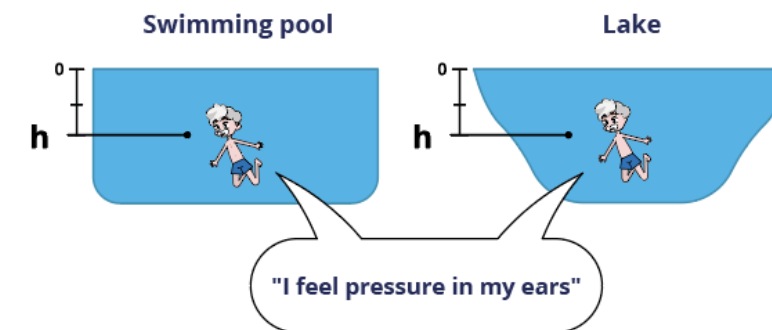
3. Kolmandas katsete rühm: Hüdrostaatiline rõhk

Õppekirjanduses on kirjeldatud omajagu eksiarvamusi. Siin oleme kirja pannud mõned, mis on seotud hüdrostaatilise rõhuga.

- Hüdrostaatiline rõhk on pöördvõrdeline toru ristlõikepindalaga.
- Hüdrostaatiline rõhk on seda suurem, mida väiksem on toru ristlõikepindala.
- Ühendatud anumates jaguneb vedelik nii, et vedeliku maht on mõlemas anumal võrdne, sõltumata vedelikutaseme kõrgusest.
- Hüdrostaatiline rõhk on suurim seal, kus veetase on kõrgeim.
- Suurim hüdrostaatiline rõhk on seal, kus toru ristlõikepindala on kõige väiksem.
- Teatud sügavusel sõltub rõhk vedelikus ainult vedeliku kõrgusest mõõdetava punkti kohal.
- Hüdrostaatiline rõhk avaldub ainult anuma põhjale.
- Hüdrostaatiline rõhk on kogu vedelikus võrdne.

Hüdrostaatilise rõhuga seotud katsete jm tegevuste juures peab õpetaja nendest eksiarvamustest teadlik olema. Järgnevalt on toodud mõned soovitusel katsete läbiviimiseks ja selgitused, millest võib kasu olla just eksiarvamuste kummutamisel.

Vedeliku massi poolt põhjustatud rõhku nimetatakse hüdrostaatiliseks rõhuks. Õpperaamatus on toodud näitena hüdrostaatiline rõhk basseinis ja järves.



Arphy sukeldub mõlemas veekogus samale sügavusele. Vee rõhu määramiseks mingil kindlal sügavusel peame teadma, et see sõltub ainult vee tihedusest, sügavusest ja (välisest õhurõhust veepinnale (veetasemele)). Väline õhurõhk on siin sulgudes, sest selle tutvustamine on jäetud õpetaja otsuseks. Õhurõhku võib arutada siin või tulla selle näite juurde hiljem tagasi, kui see tunnis spetsiaalselt teemaks tuleb. Õhurõhu mõjust vee all olevate kehade hüdrostaatilise rõhule oleks siiski vaja rääkida.

Nüüdseks peaksid õpilased teadma, et vesi ja õhk on voolised, mis tähendab, et õhurõhk on samuti hüdrostaatiline rõhk. Hüdrostaatilise rõhu arvutamiseks on õpperaamatus (tahvlil) toodud valem, mida võiks seletada järgmiselt.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho gh$$

Anumas olevat vedelikku võib kujutleda kui kindla massiga aine kihte. Iga üksiku kihi rõhk sõltub vedeliku jõust (F) ja pinna pindalast (A), millele see rakendub.

Üksiku vedelikukihi rõhku võib kirjutada nii: $p = F / A$. Kui jõud on võrdne vedeliku massiga, siis kirjutame seda $F = m \times g = \sigma \times V = \rho \times g \times V$. Eeldades, et ruumala on $V = A \times h$, võime vedelikukihi rõhku märkida järgmisel viisil: $p = F / S = \sigma \times A \times h / A$, $p = \sigma \times h$ või $p = \rho \times g \times h$. Selles võrrandis on kasutatud erikaalu mõistet, mis osutub kasulikuks siis, kui õpilased pole veel tutvunud gaasi raskuskiirendusega.

Teoreemist selgub, et voolistes suureneb rõhk võrdeliselt sügavusega. Et määrata tegelikku rõhku vedelikus peame arvestama ka vedeliku kohal oleva

rõhuga. Avatud anumates mõjutab olevate vedelike rõhku ka õhurõhk – antud juhul atmosfäärirõhk, mida märgitakse p_0 . Vedeliku rõhk on sellisel juhul: $p = p_0 + \sigma \times h$.

Näites, kus Arphy on sukeldunud järve ja basseini, võime järeldada, et rõhk, mis avaldub ta kuulmekiledele on võrdne, kuna vee tihedus on alati sama ja Arphy on samal sügavusel. Veekihi paksus Arphy kohal on mõlemal juhul võrdne. Kui eeldame, et õhurõhk on võrdne, siis on see järeldus õige. See näide on hea arutlemise koht. Õpilastega võib sel teemal arutleda näiteks järgmiste küsimuste abil:

Kas oskad võrrelda õhurõhku mererannas ja mäetipus?

Otsi veebist infot õhurõhu kohta oma kodukoha eri kohtades. Kas leitud info langeb kokku eelmisele küsimusele antud vastusega?

Mis juhtuks, kui järv oleks mägedes, aga basseini mere ääres?

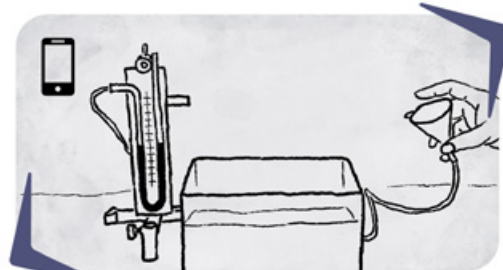
Kas surve Arphy kuulmekiledele oleks sama?

Kas surve kuulmekiledele muutuks oluliselt, kui Arphy pööraks/painutaks pead?

Vastuse viimasele küsimusele võib leida järgmise katse käigus. U-kujuline anum on täidetud vedelikuga ja ühendatud plasttoru abil lehtrikujulise õhupalliga. U-torus vedelikusamba kõrgus muutub. Kui rõhk ühel pool suureneb, siis sellel pool vedelikusammas alaneb. Siiski võib siin rõhutada ka teist asjaolu. Kui võrrelda, kuidas õhurõhk ja vedelikurõhk vastavalt kõrgusele (sügavusele) muutuvad, siis märkame siin olulisi erinevusi. Vee all muutub rõhk kindlal kõrgusel rohkem kui samal kõrgusel muutuks õhurõhk. Seda tunnemegi survena kõrvades, isegi kui sukeldume üsna madalas vees.

Katset võib kasutada ka selleks, et näidata, et teatud sügavusel on hüdrostaatiline rõhk sama, sõltumata suunast. Õpilased saavad seda ise katsetada või vaadata katse läbiviimist.

Valitud sügavusel pöörame lehtrit nii, et membraan jääks samale sügavusele, kuid muudaks ruumis suunda. Õpilased märkavad, et manomeetril kahe veesamba kõrgus ei muutu. Sellest järeldame, et rõhk membraanile ei muutu, olenemata selle suunast vees.

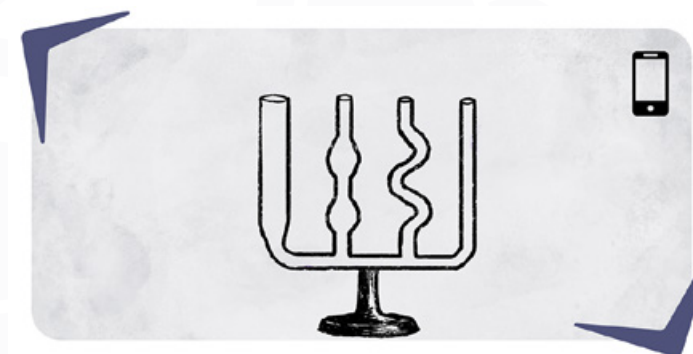


Üks hüdrostaatilise rõhuga seotud lugu on pärit 1646. aastast, kui Blaise Pascal purustas pika peenikese toru abil veetünni. Toru oli paigaldatud tunni suhtes vertikaalselt ja täideti veega. Kui veetase torus tõusis, suurenes ka tünnis olev rõhk. Teatud veetaseme juures andis tynn järele ja purunes liiga kõrge rõhu tõttu.

Juuresolev pilt käivitab animatsiooni, kus saame vedeliku taset vaadelda erineva kujuga anumates. Näeme, et kõigis erineva kujuga ühendatud klaastorudes jääb veetase samaks. Mistahes vedelikus olev rõhk on samal sügavusel alati võrdne ega sõltu anuma kujust, mis seda vedelikku sisaldab. Animatsioonis näeme, et sellise ühendatud anuma kõigis osades on vedelik jaotunud samale tasemele, mis annab tunnistust sellest, et iga anuma põhjas on rõhk võrdne, kuna seda mõjutab vaid veesamba kõrgus ja mitte vee kogus. Seda nähtust tuntakse hüdrostaatilise paradoksi nime all.

Siin selgubki, kuidas Pascali eksperimendis on võimalik tynn pika peenikese vertikaalse toru abil purustada vaid väikese veekoguse juures.

Ühendatud anumate põhimõtet saab kasutada nii looduses kui ka näiteks ehitusel, et mõõta veetaseme kõrgust pikema vahemaa tagant. Kunagi kasutasid müürsepad ühendatud anumate põhimõtet vesiloodis, mida nimetati ka vaaderpassiks. Veetase peenikeses läbipaistvas plastvoolikus on mõlema vooliku otsas võrdne.



Õpilased võivad näidata, kuidas müürsepad kasutasid omal ajal veega täidetud pikemat voolikut (vaaderpassi), et sel moel sama kõrgus ühelt seinalt teisele üle kanda. Selleks läheb vaja pikka läbipaistvat voolikut, mis täidetakse veega. Vesi ei tohi kummaski otsas vooliku otsteni ulatuda. Üks vooliku ots on ühe õpilase käes ja teine teise käes. Vooliku mõlemas otsas on veetaseme kõrgus sama. Õpilased saavad veetaseme piiri joondada mõne seinal oleva objektiga ja teine märgib sama veetaseme kõrguse teisel seinal. Nii tehes saab ta teisele seinalle märkida täpselt sama kõrguse. Märgitud kõrgused asuvad siis mõlemal seinal samal horisontaalsel tasandil. Pisut nõudlikuma lisaülesandena võivad õpilased kontrollida, kas lagi on horisontaalne, kas põrand on horisontaalne jne.

Selle teema juures võib tuua näite ka Pythagorase karikast, mille lihtsama versiooni saavad õpilased ise valmistada. Keerukamaid neist võib leida näiteks suveniiripoodidest. Selle karika kõige olulisem komponent on sifoon. Sifoon on kõver toru, mida leidub nii kodus kui looduses erinevais variantides. Kõigis hoonetes on terve hulk anumaid kohustuslikud, sealhulgas sifoonid – nt kraanikausi-, bidee-, vanni- ja dušiaravoolutorud. Tänu sifooni kujule jääb vesi drenaažisüsteemi pidama, kasvõi selleks, et kanalisatsioonist ei pääseks äravoolutoru kaudu ebameeldiv hais tuppa tagasi.

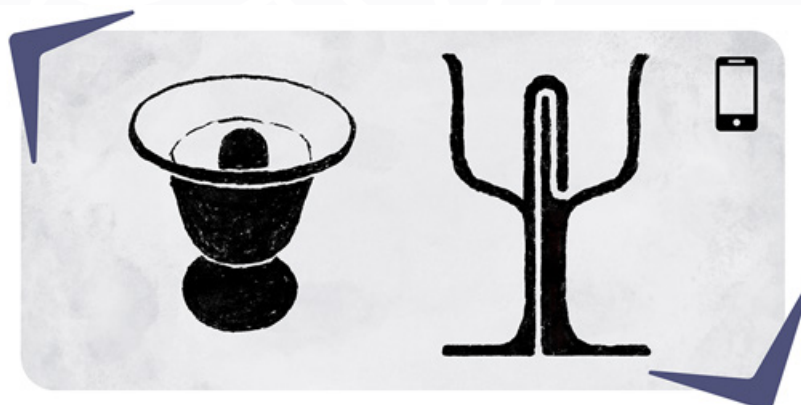
Looduses leidub sifoone maaalustes tunnelites ja koobastes.

Õpilased võivad veebist otsida näiteid looduslikest sifoonidest. Paluge neil leida kodus nähtaval kohal olevaid sifoone ja teha neist pilte. Laske selgitada, millisesse sifooni osasse jääb vesi alati pidama.

Kuulus Pythagorase ehk õigluse karikas on olemuselt sifoon, kust kogu vedelik välja voolab, kui selle tase ületab sifooni ülemise serva.



Source image: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sifonas_2.png



Paluge õpilastel animatsiooni abil selgitada, kus asub sifoon ja kuidas Pythagorase karikas töötab.

Laske õpilastel meisterdada endale pakendijäätmetest (nt plastpudelitest, joogikõrtest jm) Pythagorase karikas.

Mõtleme veelkord õhurõhule. Hüdrostaatilise rõhu valemi tutvustuse juures oli juttu sellest, et rõhk muutub vastavalt sügavusele. Õhurõhk tuleneb õhu massist. Kas saame õhu massi mõõta? Järgmine pilt käivitab video, mis selgitab, kuidas õhu massi mõõta.

Hüdrostaatilise rõhu valemi juures sai juba mainitud õhurõhku. Õpperaamatus saavad õpilased lugeda õhurõhu erinevusest mäe jalamil ja selle tipus. Inimkeha tajub rõhuerinevusi näiteks mägedest liftiga alla tulles jm äkiliste kõrgusemuutuste puhul.

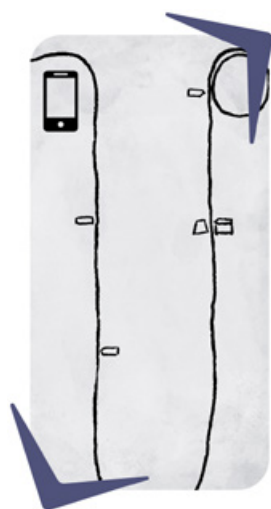


Jutumullis esitab Arphy küsimuse, millele õpilased, kes mõistavad õhurõhu ja kõrguse seost, oskavad juba iseseisvalt vastata

Õhurõhu suurus pole meil samas kuigi palju juttu tulnud. Õpperaamatust saame aimu, millised jõud mõjuvad kehale õhus, aga ka õhurõhu suurus.

Õhurõhk võib kokku muljuda isegi plekkpurgi. Katset läbi viies võiksid õpilased mõista, et rõhuerinevustel on igapäevaelus oluline roll. Kui plekkpurgi sees ja väljas on tekitatud väga suur rõhuerinevus, nii et väljaspool olev rõhk on siserõhust suurem, siis purk deformeerub ja tõmbub kokku. Plekkpurgi seinad surub kokku väline rõhk.





Rõhuerinevusi mõõdetakse manomeetriga.

Kõige lihtsamat tüüpi manomeeter on vedelikmanomeeter. See koosneb veega täidetud U-kujulisest voolikust. Vooliku veesamba kõrguse erinevus (Δh) näitab rõhu erinevust (Δp). Vedelikmanomeeter on näiteks katses, mida võib näha siin käivituspildi alt.

Kui suur on rõhuerinevus, kui veesamba kõrguste erinevus manomeetri vasakus ja paremas otsas on 10 cm?

Tee endale pikast läbipaistvast voolikust manomeeter. Määra, kui suure rõhuerinevuse saad tekitada torusse õhku puhudes.

4. Neljas katsete rühm: Archimedese printsiip

Archimedese eluloos tuleb ilmsiks üks oluline verstapost teaduse arenguloos. Archimedese printsiipi selgitatakse erinevate tegevuste kaudu, mis aitavad õpilastel aru saada ühest kõige keerukamast mõistest – üleslükkejõust.

Õpieesmärgid

Seda tüüpi katsetega seotud tööloogis saavad õpilased:

- mõõta välja tõrjutud (ülevoolanud) vee hulka samasuguse kuju jaruumala, kuid erineva tihedusega esemete puhul $\rightarrow V_{\text{tõrjutud vesi}} = V_{\text{keha}}$
- kaaluda esemeid õhus (F_{Xg}) ja vedelikus (vees) (F_{vees}).
 $\rightarrow F_{\text{vees}} < F_{\text{g}} \rightarrow \text{üleslükkejõud} = F_{\text{g}} - F_{\text{vees}}$
- määrata üleslükkejõu Archimedese tunni abil $\rightarrow \text{üleslükkejõud} = F_{\text{g}} \times V_{\text{tõrjutud vesi}}$

Üleslükkejõuga on seotud palju eksiarvamusi. Näiteks:

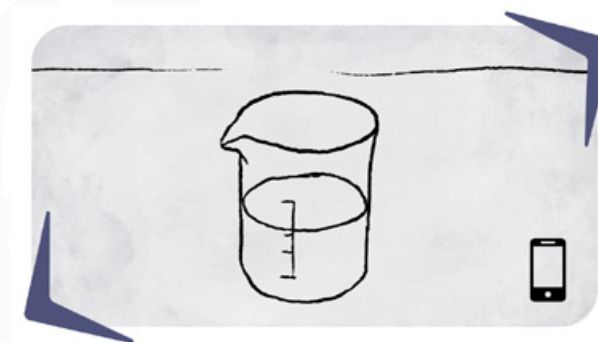
- Mida suurem on keha mass, seda lihtsamini see põhja vajub.
- Viskoossem vedelik paneb keha pinnal püsima.
- Mida väiksem keha, seda paremini see pinnal püsib.
- Õhuke lame keha püsib pinnal.
- Vedeliku rõhk karika/järve/basseini põhjas ja vee pinnal on võrdne.
- Vee (vedeliku) kogus mõjutab üleslükkejõudu.
- Keha kuju mõjutab üleslükkejõudu.
- Vedeliku tihedus ei mõjuta üleslükkejõudu.
- Keha tihedus mõjutab üleslükkejõudu.

Neid eksiarvamusi on hea kummutada järgmiste katsete abil. Soovitame tungivalt viia katsed läbi ka klassitunnis.

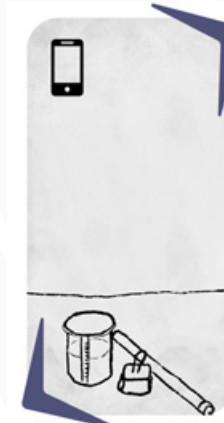
Eksiarvamus: *Vee kogus mõjutab üleslükkejõudu.*

4. katse kaudu peaks õpilased mõistma, et üleslükkejõud ei muutu, kui asetame sama keha anumatesse, kus vee kogus on erinev.

Ainus, mida tuleb jälgida, on et anum as oleks piisavalt vett, et keha saaks vabalt pinnal püsida või täielikult vee alla vajuda. Kõige parem oleks võtta 2 väga selgelt erinevat anumad, nt katseklaasi ja akvaariumi, ja täita need veega.



Eksiarvamus: *Kehade erinev kuju mõjutab üleslükkejõudu.*

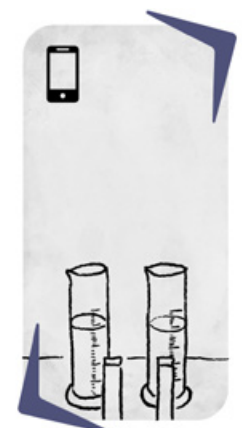


5. katses näevad õpilased, et võrdse ruumala ja tihedusega kehade üleslükkejõud ei erine, isegi kui need kehad on erineva kujuga (silinder, kuup, kera). Õpetajal tuleb eseme kuju valides hoolikalt tähele panna. Eksimus on lihtne tulema, kui keha kuju muutus muudab ka keha üldist tihedust. Kui näiteks kasutame plastiliinist tehtud kuuli ja voolime selle ümber paadikeseks, siis paadi üldine tihedus ei ole sama, mis plastiliinist kuulil (sest lisandus õhk).

Eksiarvamus: *Vedeliku tihedus ei mõjuta üleslükkejõudu.*

6. katses on kasutatud kahte erinevat vedelikku (kraanivett ja merevett), et näidata, kuidas üleslükkejõud erineb, kui kummassegi on sukeldatud sama ese. Õpilased saavad siin määrata täielikult (või osaliselt) vee all oleva eseme üleslükkejõu esmalt kraanivees, siis merevees.

Üleslükkejõu määramiseks on kaks võimalust. Näiteks võime kasutada Archimedese printsiipi, määraates väljatõrjutud vedeliku koguse. Siin peaksid õpilased mõistma, et väljatõrjutud kraanivee kogus on sama, mis mereveel. Nad peaksid teadma, et merevee tihedus on kraanivee omast suurem. Sellest saavad nad järeldada, et



merevette sukeldatud keha üleslükkejõud on suurem kui selle üleslükkejõud kraanivees.

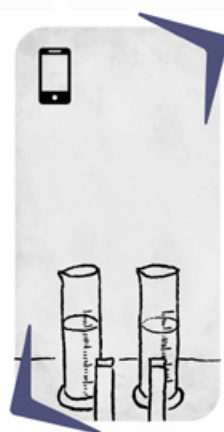
Teine võimalus on määrata üleslükkejõud dünamomeetriga mõõtes. Kõigepealt tuleb mõõta keha raskusjõud õhus ja seejärel jõud, kui keha on sukeldatud kummassegi vedelikku. Üleslükkejõu arvutus kinnitab samuti, et see on merevees suurem.

Õpetajal tuleb seda katset selgitades olla valvas, et õpilastel ei tekiks eksiarvamusi. Tuleks rõhutada, et kasutati vedelikesse sukelduvat keha ja hoida seda dünamomeetriga vedelikus sees. Pinnal püsiva keha puhul võivad õpilased märgata, et merevees ulatub keha veest rohkem välja kui kraaniveest. Kuna seda on keeruline vaadelda, kasutame vaid teoreetilist näidet. Kõige lihtsam on seda selgitada nii, et väljendame seda tasakaaluna kehale mõjuva raskusjõu ja üleslükkejõu vahel. Kuna keha raskusjõud on mõlemal juhul võrdne, siis peab ka üleslükkejõud olema võrdne. Kuid kuna üleslükkejõud on võrdne välja tõrjutud vedeliku massiga, siis juhul kui vedeliku tihedus on suurem, siis on ka väljatõrjutud vedeliku hulk väiksem. Seega saab eeldada, et vedeliku tihedus on seotud üleslükkejõuga, kuna sama keha tõrjus ühel juhul anumast rohkem vedelikku välja. Kuna üleslükkejõud peab olema mõlemal puhul sama, siis järelikult peab juhul kui suurem osa kehast on vee all, olema selle vedeliku tihedus madalam kui vedelikul, mille puhul keha lükkab vähem vedelikku välja.

Eksiarvamus: *Keha tihedus mõjutab üleslükkejõudu*

Katset, mis näitab, et keha tihedus ei mõjuta üleslükkejõudu, saab näha vasakul olevalt käivituspildilt. Piisab, kui keskendume siin vaid ühele vedelikule.

Õpilased saavad tunnis läbi viia lihtsa katse, kus kasutatakse kaht sama ruumala ja erineva tihedusega kuubikut. Soovitav on kasutada vedelikust suurema



tihedusega klotse, et klotsid põhja vajuks. Klotsidele tuleks kinnitada nöö, et sinna asetada dünamomeeter. Õpilased mõõdavad klotside massid õhus. Seejärel mõõdavad nad klotside näilist massi, kui need on vee all. Kuna üleslükkejõud on massi ja näiva kaalu vahe, siis nad mõistavad, et üleslükkejõud on mõlemal juhul sama.

Samuti tõestab see, et klotsid, millel on sama ruumala, tõrjuvad välja samasuguse koguse vett, st. et üleslükkejõud on mõlema klotsi puhul sama

mõlema klotsi üleslükkejõud on võrdne kehade tihedus ei mõjuta nende üleslükkejõudu, kui kehad on sukeldatud samasse vedelikku.

Kokkuvõtteks

Vees olles tunneme väga omapärast tunnet – nagu oleksime kergemaks muutunud. Kui seisame piisavalt sügavas vees, tundub nagu hõljuksime. Tunneme nagu mingi jõud lükkaks meid ülespoole. Seda jõudu nimetatakse üleslükkejõuks.

Pinnal püsivate kehade puhul saame mõõta nende poolt välja tõrjutud vedeliku massi ja jõudude tasakaalu ja avastame, et üleslükkejõud on võrdne väljatõrjutud vedeliku massiga. Sama kehtib vedelikku sukeldatud kehade puhul, kui üleslükkejõudu saab mõõta jõumõõtjaga. Jõumõõtja külge kinnitatud kehad kaalutakse õhus ja vedelikus. Tulemuste vahe on võrdne üleslükkejõu või väljatõrjutud vedeliku massiga. Archimedesese printsiibi järgi on vedelikku osaliselt või täielikult sukeldatud kehale mõjuv ülespidine üleslükkejõud võrdne keha poolt välja tõrjutud vedeliku massiga.

Üleslükkejõu valem on $F_b = \rho \times g \times V$, kus ρ on vedeliku tihedus ja V sukeldatud keha ruumala / (väljatõrjutud vedeliku ruumala). Üleslükkejõud sõltub vedeliku tihedusest, kuhu keha sukeldatakse, ja väljatõrjutud vedeliku ruumalast (mis on võrdne vedelikku sukeldatud keha ruumalaga).

See teadmine aitas Archimedesel lahendada krooniga seotud probleemi. Kui kahel võrdse massiga kehal on võrdne tihedus, siis tõrjuvad nad välja võrdse koguse vedelikku. Vaid siis kui tihedus on sama, on ka nende massid ja ruumalad samad. Seega, kui võtame kullatüki, mille mass on krooni massiga võrdne, siis peaks väljatõrjutud vee hulk olema võrdne. Legendis aga kuuldavasti nii ei olnud. Archimedes mõistis, et kroon ei koosne vaid kullast, vaid lisatud oli ka muud metalli (hõbedat).

Hüdrodünaamika

Hüdrodünaamika tegeleb vooliste liikumisega. Kuna tegu on omajagu keerulise teemaga, siis seda põhikooli õppekavas sageli ei käsitleta. Et aga hüdrodünaamikaga seotud nähtusi võib kõikjal kohata, oleme sellest oma õpperaamatus juttu teinud. On oluline, et õpilased saaksid vähemalt mingi ettekujutuse vooliste liikumise põhjustest ja tagajärgedest. Itaalia matemaatik Francesco Bernoulli, kes sõnastas seaduse, et rõhk vedelikus (gaasis) väheneb, kui selle voolamise kiirus horisontaalselt suureneb, oli hüdrodünaamikast väga huvitatud. Ta väljendas seda seadust Bernoulli võrrandina, mis kehtib ideaalvedeliku (st kujutletava vedeliku, millel puudub viskoossus ja kokkusurutavus) puhul ja ühendab voolujoonel kaks punkti.

Õpperaamatu hüdrodünaamika lõigus on kirjeldatud katset, toodud näiteid igapäevaelust ja põnevat lisalugemist ajaloost. Alustame mõistagi kõige kuulsama katsega ja puhume kahe, paari sentimeetrise vahega nõõri külge seotud plekkpurgi vahele (katse töötab hästi ka kahe paberilehe või õhupalli puhul). Katse tulemus on üllatav, kuna plekkpurgid tõmbuvad üksteise poole. Katse demonstreerib, kuidas vooliste kiirused sõltuvad rõhust. Plekkpurgide ühel küljel liigub voolis (siinsel juhul õhk) kiiremini, mis tähendab, et rõhk on sellel küljel madalam kui teisel. Plekkpurgid liiguvad madalama õhurõhu suunas, järelikult üksteisele lähemale.

Veidi allpool on kirjeldatud kahte näidet igapäevaelust. Kõigepealt selgitame, miks on raudteeplatvormidele märgitud jooned, mille tagant on rongi turvaline oodata. Jällegi on tegemist vooliste, st õhu liikumisega, kui rong saabub teatud kiirusel jaama ja paneb õhu selle ümber liikuma. Vähenenud õhurõhk võib meid rongi poole tõmmata. Teine toodud näide kirjeldab, miks duši all käies tõmbub dušikardin meie või vee poole. Siin on selgitus sama, mis ronginäite puhul. Dušivee voolamine paneb õhu selle ümber liikuma. Kuna dušikardinast seespool on õhurõhk madalam, tõmbub kardin sissepoole.

Peatüki lõpetab kirjeldus sellest, kuidas Bostonis purunesid suurte tuulehoogude tõttu pilvelõhkuja aknad.

Peatüki viimasel leheküljel on toodud põnevaid ideid, mida uurida ja katsetada kas koolis või iseseisvalt kodus, ning ülesandeid kõigil teemadel, millest siin peatükis juttu on tulnud. Ülesandeid tasub hakata lahendama siis, kui peatüki sisu on (vähemalt osaliselt) omandatud, nii et õpilastel on juba veidi taustateadmisi. Enne ülesannetega alustamist võiks õpilastele meenutada uurimistöö etappe (need on toodud ka lehekülje lõpus). Klassitunnis saab tööd korraldada ka rühmades ja mitmel viisil – kas andes kõigile rühmadele sama ülesande (probleemi) lahendada või anda erinevatele rühmadele erinevad ülesanded.

Kasutatud kirjandus

Camacho, F. F., & Cazares, L. G. (1998). Partial possible models: An approach to interpret students' physical representations. *Science Education*, 82(1), 15–29.

Loverude, M. E., Heron, P. R. L., & Kautz, C. H. (2010). Identifying and addressing student difficulties with hydrostatic pressure. *American Journal of Physics*, 78(1), 75–85.

Saputra, O., Setiawan, A., & Rusdiana, D. (2019). Identification of student misconceptions about static fluid. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157.

Strnad, J. (2003). Razvoj fizike (The development of physics). DZS.



ARPHYMEDES

5. PEATÜKK

TÖÖ, VÕIMSUS JA ENERGIA

TÖÖ, VÕIMSUS JA ENERGIA

Mis on... töö?

„Töö on ühelt kehalt või kehale sellele rakenduva jõu poolt kantud energia. Kehale kantud energia on positiivne töö ja kehalt võetud energia on negatiivne töö.” (Halliday, Resnick ja Walker, 2001)

Aga võimsus?

„Võimsuseks nimetatakse töö tegemise kiirust. Kui jõu poolt tehakse teatud aja jooksul teatud hulk tööd, siis on ajavahemikus keskmine võimsus $P_{avg} = W / \Delta t$ ” (Halliday, Resnick ja Walker, 2001)

Ja energia?

Kreeka keeles tähistab see sõna tegevust, mille all Aristoteles mõtles võimaliku muutumist tegelikuks. Kõigis keeltes seostub see sõna aga inimeste ja teiste elusolendite tegevuse ja aktiivsusega. Alles 19. sajandil omistati sõnale „energia” füüsikaline tähendus (Strnad, 2003). Füüsikas on aga „energia mõiste nii lai, et sellele on selget definitsiooni raske anda. Tehniliselt on energia suurus, mida seostatakse ühe või mitme keha oleku või seisundiga” (Halliday, Resnick ja Walker, 2001). Energia kirjeldamisel tuleb defineerida süsteem. Süsteemi võivad moodustada üks või mitu keha. Energia on ühe süsteemi füüsikaline suurus, mida väljendatakse arvu ja ühikuga (džaul).

Tööeesmärgid ja õpitulemused

Õpilased:

- oskavad selgitada, et mehaaniline töö sõltub jõust ja teepikkusest, mille võrra keha liigub jõu mõjul;
- oskavad kasutada töö arvutamiseks valemit ja tunnevad selle ühikut;
- mõistavad, et liikumise suunas risti rakenduv jõud ei tee keha suhtes tööd;
- tunnevad lisaks liikuvale kehale rakenduvatele jõududele neid jõude või nende komponente, mis teevad tööd;
- teavad, et kineetiline energia on seotud liikumisega ja et muutus kineetilises energias on seotud kiiruse muutusega;
- teavad, et kineetiline energia sõltub keha massist ja selle liikumise kiirusest;
- oskavad kasutada kineetilise energia arvutamiseks valemit;
- oskavad selgitada, et potentsiaalse energia muutus on seotud keha asendi muutusega vertikaalselt;
- oskavad kasutada valemit, et arvutada potentsiaalse energia muutust;
- mõistavad ja oskavad rakendada mehaanilise energia jäävuse seadust;
- oskavad selgitada, et energiat saab muundada ühest vormist teise;
- oskavad defineerida võimsust kui töö ja selleks kulunud aja suhet. (Bajc, 2009)

Õpilaste levinumad eksiarvamused

Teadusartiklitest tuleb välja, et õpilastel tekib jõu, töö, energia ja võimsuse kohta küllalt palju eksiarvamusi. Viidatud artiklite põhjal panime kokku loetelu selle peatükiga seotud võimalikest eksimustest. Õpetajad võiksid sellega tähelepanelikult tutvuda, sest siin on vihjeid õpilaste töödes ja suhtluses ettetulevatele probleemidele. Õpetaja, kes mõistab konkreetse teemaga seotud levinumaid eksiarvamusi, saab endale seada selgemad eesmärgid ja pöörata tähelepanu väljenditele, õpilaste arvamustele ja valitud näidetele.

Õpilased eksivad sageli selles, et

- ei saa aru jõu mõistest;
- ei saa aru Newtoni kolmandast seadusest;
- usuvad, et jõud on kehale omistatud omadus, mitte kehade omavaheline mõju;
- usuvad, et kui keha on paigal, siis sellele ei rakendu mingi jõud;
- usuvad, et liikuva keha kiiruse kahekordistamine teeb ka kineetilise energia kahekordseks;
- usuvad, et keha liikumine toimub alati kehale mõjuva resultantjõu sihis;
- usuvad, et energia on jõud;
- usuvad, et energia kaob ühest vormist teise muundumisel;
- usuvad, et energia võib kaduda, kui seda muundada ühelt kehalt teisele;
- usuvad, et kineetiline energia sõltub ainult massist;
- usuvad, et kineetiline energia võib olla negatiivne, kui keha liigub sellele vastupidises suunas;
- usuvad, et gravitatsiooni potentsiaalne energia sõltub ainult keha kõrgusest;
- usuvad, et paigaloleval kehal ei ole energiat;
- usuvad, et mistahes süsteemis on energia jääv/muutumatu;
- ei oska õigesti tõlgendada väidet „energia on jääv suurus”;
- kipuvad tööd seostama muutusega kas kineetilises või potentsiaalses energias, mitte koguenergias;
- kalduvad suhtuma töö (miinus- või pluss)märki kui millessegi, mis sõltub koordinaatsüsteemist;
- ei saa aru, et energia analüüs sõltub süsteemi valikust;
- ei saa aru, et mistahes kehade rühma saab käsitleda süsteemina;
- seostavad energiat elusate objektidega;
- seostavad energiat liikumisega.

Peatüki tiitelleht

Näited, mis käsitlevad töö teemasid, on seotud peamiselt tööriistadega (kang, rihmaratas, kaldtee). Sedalaadi katsetes tuleb õpilastele selgitada, et tööriistade kasutamisel töö ise ei muutu, vaid jõud on väiksem, mis tähendab, et töö tegemiseks tuleb läbida suurem vahemaa. Üks mainitud tööriistadest on kang, kus pika jõuõla tõttu saab hakkama vähesema jõu kasutamisega. Kangi kasutades surume selle pikemat õlga, et kergitada lühema õlga raskust. Kangist räägib lugu Archimedesest, mida mainitakse ka „Vedelike (gaaside) mehaanika“ peatükis.

Archimedes ütles teatavasti: „Andke mulle toetuspunkt ja ma tõstan Maa üles.“ Seda võib siinkohal tuua näiteks ja arvutada, kui pikk peaks olema sellise kosmosesse paigaldatud kangi jõuõlg. Otsi internetist andmeid Maa massi kohta ja arutage õpilastega, milline oleks maksimaalne jõud, mida õpilane peaks kangi pikema osale rakendama (siin võid kasutada õpilase kaalu). Arutamiseks on vaja hinnata kangi lühema õla pikkust. Arutelu võiks seletada, et punkt, kus kang puudutab Maad peaks olema selle otsas (mitte seal, kus seda on tiitellehe pildil kujutatud). Arutage õpilastega arvutuskäiku ja vahemaid ja usutavasti jõuate üheskoos järeldusele, et sellist kangi ei saa kosmosesse paigaldada.

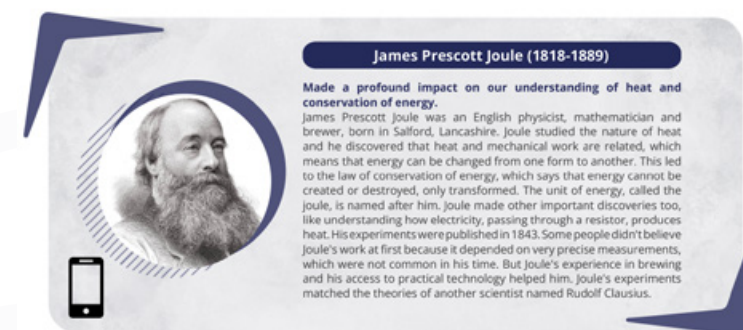


Kuulsad teadlased

Siin peatükis tutvustatakse kolme tähtsat isikut, kes on kaasa aidanud füüsikateadmiste edendamisele energia, soojuse, töö ja võimsusega seotud teemadel.

James Prescott Joule (1818-1889) oli jõuka pruulmeistri poeg ja sai seetõttu lubada endale isiklikku laborit. Laboris pühendus ta füüsikale ja oli eriti tugev eksperimentide läbi viimisel. Alustuseks uuris ta elektrit ja magnetismi, aga

jätkas teadustööd soojuse ja temperatuuri alal, mõõtes soojust ja selle muutusi, nt kuidas vesi langeb koskest alla, kui vesi seguneb ja voolab läbi torude, kui gaasid on kokku surutud. Kuna ta ei olnud füüsik, ei pälvinud ta tegevus esialgu kuigivõrd tähelepanu. Hiljem märkasid ta tegevust Lord Kelvin, Michael Faraday jt ning ta võeti vastu Londoni Kuningliku Seltsi liikmeks. Joule'i järgi nimetati energia, töö ja soojusjõu ühik, aga see juhtus palju hiljem (Strnad, 2003, 1990, von Laue, 1982).



Rudolf Emanuel Clausius (1822-1888), tuletas koos Lord Kelviniga termodünaamika teise seaduse. See energiaga seotud seadus tähistas füüsikas olulist pöördepunkti, kuna tõi kasutusse entroopia mõiste.

William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907), näitas termodünaamika teise seaduse näitel, et ei saa olla masinat (seadet), mis kordab termodünaamilist tsüklit ja teeb aina tööd siis, kui saab aina väliskeskkonnast soojust. Tööd tehes võiks keskkonnas soojendada keha selle algsest temperatuurist kõrgemale temperatuurile ja saavutada seeläbi soojuse ülekande soojemale kehale. Sellist soojusmasinat, mis oleks vastuolus termodünaamika teise seadusega, nimetatakse teist liiki igiliikuriks, perpetuum mobileks. Esimest liiki igiliikur oleks aga vastuolus energia jäävuse seadusega (termodünaamika esimese seadusega) (Strnad, 2003, 1990, von Laue, 1982).

Vaadake koos õpilastega animatsiooni James Prescott Joule'ist. Arutelu käigus võib õpilastega jagada ka ülaltoodud fakte, võttes arvesse klassi huvisid ja võimeid. Kõik kolm teadlast elasid 19. sajandil ja olid üksteise töödega kursis. Nendest kõnelemine pakub võimalusi korrata ja õppida ühikute kohta, uurida igiliikureid, katsetada soojusega jne. All on toodud mõned soovitusel aruteluks ja tegevusteks.

Millise füüsikalise suuruse ühikuks on kelvin? Kas seda mõõdetakse ka teistes ühikutes? Leia vastus internetist.

Leia kahe skaalaga termomeeter (mis mõõdaks kraade Celsiuse ja Fahrenheiti skaaladel). Mõõda õhutemperatuuri mõlemas ühikus. (Märkus: Õpetaja peaks need varakult ette varuma.)

Leia teisendusvalem Fahrenheiti skaalalt Kelvini skaalale ja Celsiuse skaalalt Fahrenheiti skaalale.

Kas temperatuur 82°F oleks suvine või talvine välistemperatuur?

Mis on džaul? Kuidas seda ühikut defineeritakse? Mis paneb sind arvama, et see on nimetatud James Prescott Joule'i järgi?

Vali mingi toiduaine ja vaata pakendilt, mis on selle energiasisaldus. Märkad, et energiasisaldus on märgitud džaulides (J) ja kalorites (cal). Mida tähistab ühikutes kJ ja kcal täht 'k'? Lõpetuseks arvuta, mitu džauli on ühes kalorites (1 cal).

Vaata Euroopa kaarti ja leia linnad ja riigid, kus Clausius, Kelvin ja Joule elasid ja töötasid.

Leia internetist igiliikurite jooniseid ja arutlege, miks need mingil juhul ei saaks töötada.

Katsed ja animatsioonid

Siin peatükis on toodud terve rida töö ja energia teemat selgitavaid animatsioone, aga ka üks video. Õpetaja saab neid kasutada uute mõistete tutvustamisel, aga ka kordamiseks või lihtsalt õpilastes huvi äratamiseks. Nagu sissejuhatuses mainitud, on animatsioonid sissejuhatuseks katsete läbiviimisele. Klassitunnis saate õpilastega viia läbi animatsioonides nähtule sarnaseid katseid. Igall juhul on õpetajal siin tähtis roll, kuna ta selgitab teemat, annab õpilastele juhised, korraldab katsete läbiviimist ja vaatab läbi õpilaste iseseisva töö.

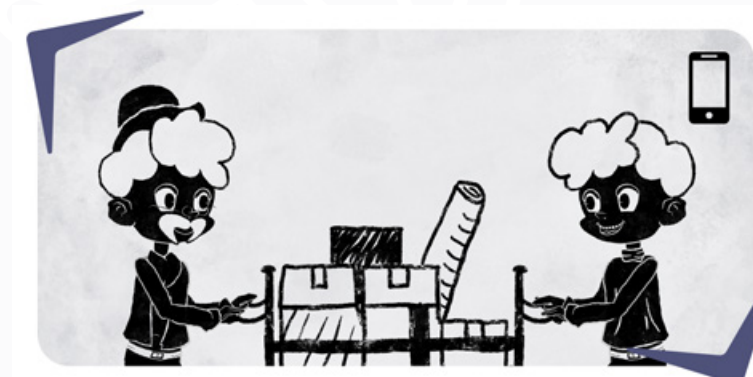
Esimest animatsiooni saaks kasutada mõiste „töö“ defineerimisel. Arutlege õpilastega raskusjõu ja aluse tähtsuse üle.



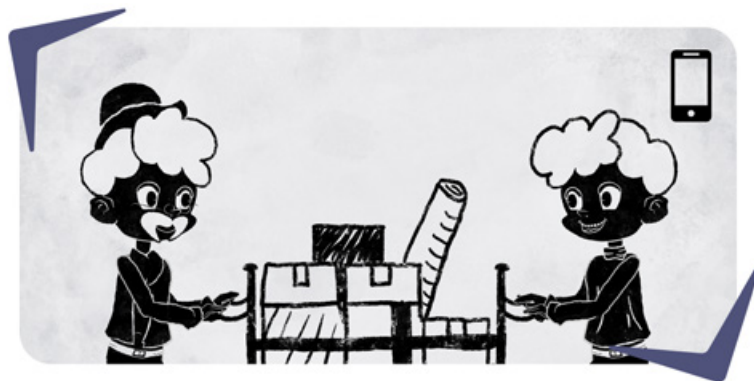
Teises animatsioonis näitame kahe vaadeldavale kehale liikumise sihis rakenduva jõu mõju.



Kolmandas animatsioonis rõhutame kahe vastassuunalise jõu mõju. Õpperaamatus on toodud näited olukordadest, kus jõud ei ole nihke suunaga samasihilised. Vaid nende jõudude osad, mis rakenduvad nihkega samasihiliselt, mõjutavad tööd. Nende osade matemaatilisel väljendamisel tuleb kasutada ka trigonomeetrilisi funktsioone, mida mõnes riigis veel põhikoolis ei õpetata. Sel juhul tuleb sellised ülesanded lahendada skaalal, kuhu on joonistatud jõud, mõõtes nende jõudude vastavaid osi.



Viimases tööd käsitlevas animatsioonis esitletakse olukorda, kus autole mõjuvad jõud sihis, mis ei ole paralleelne nihke (ja liikumise) suunaga.



Telefonirakendusega alumist käivituspilti skaneerides läheb käima video suurel kiigel kiikumisest. Videos tuleb juttu ka energia muundamisest kiige võnkumisel, õhutakistuse mõjust ja toimimisest. Lisaks õpperaamatus toodud energiaga seotud ülesannetele võib siinkohal lahendada ka võimsusega seotud ülesande. Õpilastega ühiselt saab kindlaks määrata, millise võimsusega seadet kasutatakse, et tuua kiikujad lähteasendisse, enne kui kiik tagasi algasendisse langeb (siin võib mõõta aega, hinnata kõrguse muutust ja kiikujate kaalu). Arutlege, kuidas oleks lood ideaalsetel tingimustel (mida võib arvestamata jätta, mida võtta eelduseks) ja päriselus.



Kasutatud kirjandus

Bajc, J. idr. (2011). Učni načrt, Fizika: osnovna šola. Ministrstvo za šolstvo in šport; Zavod RS za šolstvo. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_fizika.pdf

Brown, D. E. (1989). Students' concept of force: The importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, 24(6), 353–358.

Elwan, A. (2007). Misconception in physics. *Journal of Arabization, the Arab Centre for Arabization, Translation, Authorship and Publication*, Damascus, 33, 77–103.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2003). *Fundamentals of physics* (6th ed.). Wiley.

Laue, M. von. (1983). *Kratka zgodovina fizike* (Short history of physics). Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS.

Lindsey, B. A., Heron, P. R. L., & Shaffer, P. S. (2009). Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems. *American Journal of Physics*, 77(11), 999–1009. doi:10.1119/1.3183889

Lindsey, B. A., Heron, P. R. L., & Shaffer, P. S. (2012). Student understanding of energy: Difficulties related to systems. *American Journal of Physics*, 80(2), 154–163. doi:10.1119/1.3660661

Liu, G., & Fang, N. (2016). Student misconceptions about force and acceleration in physics and engineering mechanics education. *International Journal of Engineering Education*, 32(1), 19–29.

Strnad, J. (2003). *Razvoj fizike* (The development of physics). DZS.

Strnad, J. (1990). *Zgodbe iz fizike* (Stories from physics). Slovenska matica.

Student misconceptions about work and energy. (19th July, 2021). <https://changphysicsclass.com/2021/07/19/student-misconceptions-about-work-and-energy/>

Winsconsin Center for Environmental Education. (2020). <https://www3.uwsp.edu/cnr-ap/KEEP/Documents/Activities/Energy%20Fact%20Sheets/EnergyConceptionsMisconceptions.pdf>



Käesolevat trükist rahastas Euroopa Liidu Sisejulgeoleku Fond – Politsei. Euroopa Komisjon ega ükski tema nimel tegutsev isik ei vastuta käesolevas dokumendis sisalduva teabe eest. Väljendatud arvamused kajastavad vaid autorite seisukohti, mitte Euroopa Komisjoni ametlikku seisukohta

Projekt AR Physics made for students -
2020-1-SK01-KA201-078391

