

5. RÕHK JA ÜLESLÜKKEJÕUD

5.1. Rõhumisjõud ja rõhk

Jõud ja rõhk on erinevad „asjad“.

Rõhk oleneb peale jõu ka kokkupuutepindalast.

Rõhumisjõud on pinnaga risti.

Joonis 5.1. Kahe käe nimetissõrme vahel on pliiats (tegemisel)

Selleks, et pliiatsit liikumatult hoida (vt joonis 5.1), tuleb teda mõlemast otsast ühesuuruse jõuga suruda. Sest kui ühest otsast tugevamini suruda kui teisest, siis nihkuks ta teise kohta.

Kuid miks on ühel sõrmel valusam ning pliiats vajutab sinna sügavama lohu? Paneme tähele, et jõud, millega pliiats sõrme survele vastu hakkab, jaotub erineva suurusega pinnale. Niisiis: kuigi jõud kummalgi sõrmele on ühesuured, on **rõhk** peenemat pliiatsiotsa hoidvale sõrmele suurem.

Seega tuleb vahet teha **jõul**, mis mõjub, ja **rõhul**, mida see jõud tekitab. Jõud väljendab kogumõju, aga rõhk mõju suurust ühele pinnaühikule.

Rõhk on füüsikaline suurus, mis väljendab jõudu pinnaühikule.

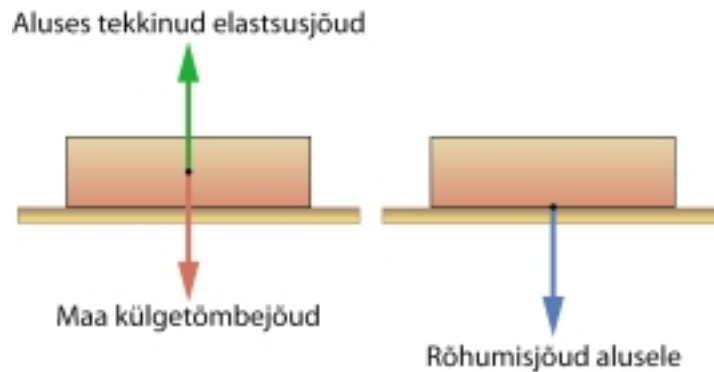
Rõhku saab arvutada, jagades rõhumisjõu pindalaga, millele see jõud jaotub.

Servale: Rõhk = rõhumisjõud : toetuspindala

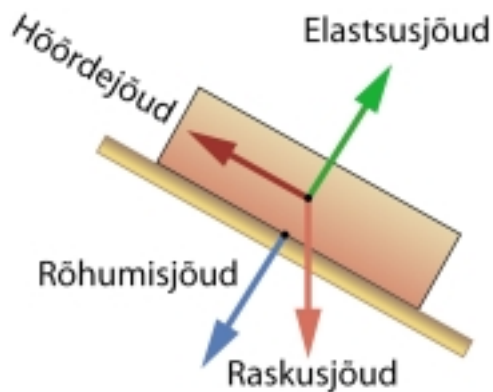
$$p = \frac{F}{S},$$

kus F tähistab rõhumisjõudu ja S pindala, millele keha toetub.

Rõhumisjõu all mõistetakse jõudu, millega üks keha teisele rõhub. Pane tähele, et **rõhumisjõud on alati risti selle pinnaga, millele keha toetub**. Rõhumisel tekib mõlemas kokkupuutuvast kehas elastsujõud. Aga elastsujõu suund on, nagu sa juba tead, kokkupuutuvate kehade pinnaga risti. Ja see kehtib nii rõhtse kui ka maapinna suhtes kaldu oleva pinna korral.



Joonis 5.2



Joonis 5.3

Mis on rõhu mõõtühik? Kuna rõhku saab arvutada rõhumisjõu ja pindala jagatisena, siis on rõhu mõõtühik jõu mõõtühiku ja pindala mõõtühiku jagatis, seega 1 N/m^2 .

Austusest suure prantsuse teadlase Blaise Pascali vastu nimetatakse seda **paskaliks**, lühendatult 1 Pa.

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

Üks paskal on rõhk, mille tekitab jõud 1 njuuton, rõhudes ühe ruutmeetri suurusele pinnale.

Kas üks paskal on suur või väike rõhk? Arutame veidi.

1 N on jõud, millega Maa tõmbab umbes 100 grammise massiga keha. Kujuta nüüd ette rõhku, mida avaldaks lauale 100 grammi jahu, mis on laotatud ühtlase kihina 1 m^2 suurusele pinnale.

See peaks meid veenma, et 1 Pa on tõesti väike rõhk. Seepärast on tihti mugavam kasutada kordseid ühikuid nagu kilopaskal ja megapaskal.

$$1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 100000 \text{ Pa} = 10^6 \text{ Pa}$$

Katseülesanne

Uuri rõhumisjõudu ja rõhku, mida pliiats avaldab raamatu kaanele.

1. Pane raamat lauale ja pliiats raamatule lebama.
 - Millised jõud mõjuvad pliiatsile?
 - Võrdle pliiatsile mõjuvat raskusjõudu ja pliiatsi rõhumisjõudu raamatule.
2. Pane pliiats otsale toetuma.
 - Nimeta pliiatsile mõjuvad jõud.
 - Võrdle pliiatsi rõhumisjõudu raamatule ja pliiatsile mõjuvat raskusjõudu.
 - Kas pliiatsi **rõhumisjõud** raamatule oleneb sellest, kas pliiats on pikali või püsti?
 - Kas pliiatsi **rõhk** raamatule oleneb sellest, kas pliiats on pikali või püsti? Kummal juhul on rõhk suurem?
3. Kalluta raamatut veidi, nii et pliiats jääks paigale.
 - Mis jõud mõjuvad nüüd pliiatsile?
 - Kas rõhumisjõud, mida pliiats avaldas alusele, ja rõhk muutusid kallutamisel?
4. Kalluta raamatut seni, kuni pliiats hakkab allapoole libisema.
 - Miks pliiats nüüd raamatu peal paigal ei püsi?
 - Võrdle libisevale pliiatsile mõjuvaid jõudusid paigalseivale pliiatsile mõjuvate jõududega.

5.2. Suured ja väikesed rõhud

Miks nuge teritatakse?

Suurt rõhku saab tekitada kahel viisil.

Miks on rasketel masinatel palju rattapaare?

Ka sa oled mõelnud, miks nüri noaga leiva lõikamine hästi ei õnnestu? Leib pudeneb laiali ja raske on korralikke viile saada. Eks põhjus ole selles, et nüri noa lõiketera pindala on palju suurem kui teraval noal. Lõikamisel on vaja, et nuga läheks leivast läbi, mitte aga see, et ta vajutaks leiba kokku. Ka naela ots tehakse sellepärast terav, et see ikka puu sisse läheks. Ja nüri otsaga nõela peaks riide sisse nii suure jõuga vajutama, et vaevalt keegi viitsiks pluusinööpi tagasi õmmelda.



Joonis 5.4 Terav nuga läheb saiast läbi, nüri vajutab seda kokku

Lõikevahend peab olema terav, st võimalikult väikese toetuspindalaga, sest nii saavutame suurema rõhu. Valemi $p = F/S$ järgi saab rõhku tõsta kas jõu suurendamise või toetuspindala vähendamise teel. Aga miks raisata jõudu, kui soovitud tulemuse saab kätte pindala vähendamisega.

Võib-olla oled imestanud, kuidas suudab imeväikese massiga sääsk oma astla läbi sinu naha vajutada. Vaevalt ta sellega toime tuleks, kui astla ots poleks nii peenike.

Kas teerull peab avaldama suurt või väikest rõhku? Ta tehakse rauast, millel on suur tihedus, ja tema mass on kindlasti mitu tonni.



Joonis 5.5

Et suruda teekattematerjali tihedalt kokku, peab teerulli rõhk maapinnale küllaltki suur olema. Võiks ju rullide pindala vähendada? Arvestada tuleb aga ka seda, et rullimisel peab suur rõhk jaotuma ühtlaselt suurele pinnale, sest tee peab saama sile. Et saada suurt rõhku suurele pinnale, peab mass olema väga suur.

Aga kuidas on lood autode, busside, lennukitega? Et nad teekattesse ega lennuvälja stardi- ja maandumisraja sisse ei vajuks, ei tohi nende avaldatav rõhk suur olla. Kuna suuri kaubakoguseid ja paljusid inimesi vedavad masinad peavad ka ise suure massiga olema, on vaja suur jõud laiali jaotada suurele pinnale. Sellepärast ongi rasketel masinatel rattapaare sageli rohkem kui üks ja rehvid laiad.



Joonis 5.6. Mitme rattapaariga veok

Küsimusi ja ülesandeid

1. Kuidas muutub rõhk, mida avaldab maapinnale kurg, kui ta tõstab ühe jala üles?
2. Arvuta, kui suurt rõhku avaldad sa püsti seistes põrandale. Rõhumisjõu leidmiseks pead teadma oma massi. Toetuspindala leidmiseks kasuta ruudulist paberit, pliatsit ja joonlauda.
3. Miks kasutatakse masinatel, mis liiguvad pehmel pinnasel, rataste asemel roomikuid? Too näiteid selliste masinate kohta.
4. Turbarabas töötavatel traktoritel on hästi laiad roomikud. Leia traktori rõhk maapinnale, kui selle mass on 10 tonni ja kummagi roomiku maapinnale toetuva osa pindala on 2 ruutmeetrit. Võrdle seda rõhku rõhuga, mida avaldatad maapinnale sina, kui toetud mõlemale jalale.
5. Miks tuleb saage, muruniiduki terasid ja vikateid aeg-ajalt teritada?
6. Kuidas peab nõrgal jääl liikuma inimene, kes püüab abistada jääst läbivajunud sõpra?

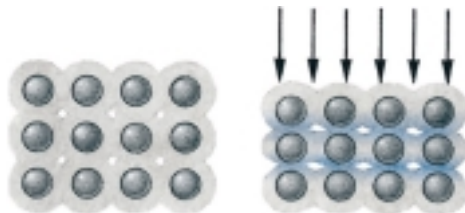
5.3. Rõhu edasikandumine tahketes kehaes, vedelikes ja gaasides

Kuidas käituvad rõhumisel tahked kehad?

Vedelikud ja gaasid käituvad tahketest kehadest erinevalt.

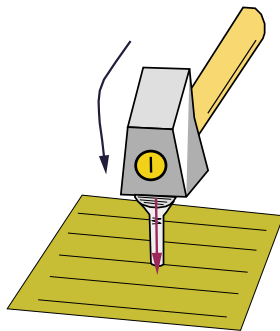
Erinevuse põhjustab korra puudumine vedelikes ja gaasides.

Oleme seni vaikimisi eeldanud, et kehale survet avaldades kandub rõhk edasi ainult jõu mõjumise suunas. Tahketes kehaes see teisiti olla ei saagi. Seal paiknevad aineosakesed tihedalt üksteise kõrval ja seejuures range korra järgi.



Joonis 5.7. Tahkes kehaes saavad aineosakesed nihkuda vaid rõhu mõjumise suunas

Kui ülemises kihis paiknevaid aineosakesi allapoole suruda, tõukavad need endi all paiknevaid aineosakesi. Need püüavad trügijaid oma kohale tagasi lükata. Ülemisi aineosakesi surutakse seega nii ülalt kui ka alt. Tahkes kehaes kandub rõhk igast kihist edasi tema all paiknevasse kihti ja ainult selles suunas, milles keha mõjutatakse. Kui nael annaks haamri löögijõu edasi ka külgsuunas, siis ei saaks ju naelast kinni hoidagi.



Joonis 5.8. Nael annab talle avaldatava jõu edasi ainult löögi suunas

Marjadest mahla väljapressimisel on asjalood teistsugused. Kuigi press surub marju vaid ühes suunas, purskab mahla igas suunas. Samuti käitub õhk palli pumpamisel: õhk liigub pumbast välja ühes kindlas suunas, aga pall ei võta mitte piklikku, vaid ümmarguse kuju.



Joonis 5.9. Pudelisse tehtud aukudest purskab vett igas suunas

Küllap oskad nüüd isegi teha järgmise järelduse.

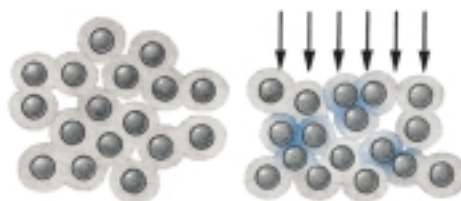
Vedelikud ja gaasid annavad neile avaldatava rõhu edasi igas suunas ühetugevuselt.

Selle seaduspärasuse avastas juba 17. sajandil prantslane **Blaise Pascal**, mistõttu seda tuntaksegi Pascali seadusena.



Joonis 5.10. Blaise Pascal (1623–1662)

Miks gaasid ja vedelikud nii käituvad? Sest neis puudub tahketele kehadele omane sisemine kord.



Joonis 5.11. Vedelikes saavad aineosakesed oma kohalt ära liikuda erinevates suundades

Tuletame meelde, et aineosakesed mõjutavad üksteist nii tõuke- kui ka tõmbejõududega. Iga keha püüab võtta just sellise kuju, kus aineosakeste vahelised tõmbe- ja tõukejõud on tasakaalus. Kui kehale väljastpoolt survet avaldada, siis tasakaal kaob. Aineosakeste üksteisele lähenemisel saavad tõukejõud tõmbejõust suuremaks ja osakesed otsivad endale uue koha, kus neid nii kõvasti ei nügita. Kuna vedelikes ja gaasides saavad osakesed liikuda igas suunas, siis kandub ka rõhk kõigis suundades edasi ühetugevuselt.

On teada, et gaasid on palju hõredamad kui vedelikud ja tahked kehad. Seega on neis osakestevaheline mõju väga nõrk. Kuidas gaasid üldse rõhku avaldavad?

Gaasi osakesed on pidevas kaootilises liikumises. Nad liiguvad enamiku ajast otse, muutes suunda vaid siis, kui midagi ette jääb – kas teised gaasi osakesed või mõni ruumis olev ese. Muidugi muutub pörkel liikumise suund, sest see, millega osake kokku põrkas, tõukab teda. Molekulid põrkuvad nii nagu väikesed pallid – põrkenurk võrdub langemisnurgaga. Kuna liikumine on korrapäratu, toimuvad pörked kõikvõimalikes suundades. Seetõttu mõjutabki gaas esemeid – nii toalage, seinu ja põrandat kui ka inimese pealage, põski, käsi ja jalgu – igas suunas ühesuguselt. Kui gaasi kokku suruda, siis jääb gaasi osakestele liikumiseks vähem ruumi. Aga mida vähem ruumi, seda sagedamini nad vastu anuma seinu põrkavad ja seda suurem on rõhk.

Joonis 5.12. Molekulide pörked vastu anuma seinu (tegemisel)

Küsimusi ja katsetamist

1. Milles on tahke keha ning vedeliku siseehituse põhiline erinevus?
2. Milles on vedeliku ja gaasi siseehituse põhiline erinevus?
3. Miks on raske vedelikke kokku suruda?
4. Too näiteid rõhu edasikandumisest tahketes kehaosades. Mis on neis näidetes ühist?
5. Too näiteid rõhu edasikandumisest vedelikes. Mis on neis näidetes ühist?
6. Too näiteid rõhu edasikandumisest gaasides. Mis on neis näidetes ühist?
7. Tee vähemalt üks katse, et veenduda, kuidas vedelik või gaas annab rõhu edasi igas suunas ühetugevuselt.
8. Selgita, miks pärast lööki taastub jalgpalli esialgne kuju.

5.4. Rõhk vedelikes

Rõhu tekkimiseks võib suruja asemel ka tõmbaja olla.

Ülemised kihid rõhuvad alumistele, kuna Maa tõmbab neid allapoole.

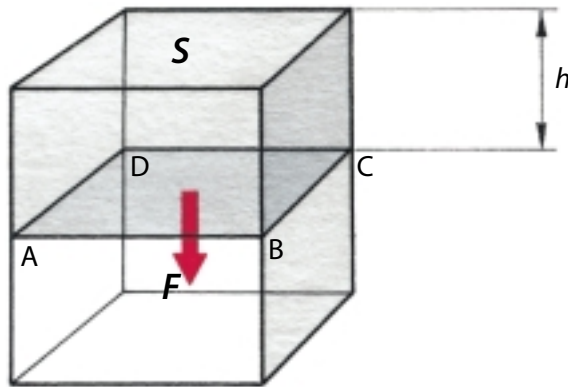
Kuidas arvutada rõhku vedeliku sees?

Seni oleme vaadelnud olukordi, kus rõhk tekib seeläbi, et üks keha surub teist. Kuid üksteist rõhuvad ka ühe ja sama keha osad. Kõik, mis on kõrgemal, rõhub kõike seda, mis on allpool. See kehtib ka Maa atmosfääri ja hüdrofaari, samuti Maa tahke osa kohta, mille alumised kihid on ülemiste surve all. Siin on rõhumisjõu põhjustajaks Maa ise, mis tõmbab kõike enda poole.



Joonis 5.13 Ülemised kihid suruvad alumisi nii pinnases, vees kui ka õhus

Maakoores ja õhus on seda rõhumisjõudu keeruline arvutada, sest aine tihedus nende eri kihtides muutub. Näiteks õhus vajutavad ülemised õhukihid alumisi kokku, mille tulemusena maapinna lähedal on õhu tihedus palju suurem kui atmosfääri kõrgemates kihtides. Seevastu vedelikes paiknevad aineosakesed sedavõrd tihedalt, et ka sügavas vees on tihedus võrdne tihedusega veepinna lähedal. See asjaolu lihtsustab meil jõuda valemieni, et arvutada rõhku vedeliku sees.



Joonis 5.14

Vaatleme vedelikku risttahukakujulises anumases. Leiame rõhu, mida avaldab pinnale ABCD selle kohal olev vedeliku kiht.

Rõhu leidmiseks tuleb pinnale mõjuv rõhumisjõud F jagada selle pinna suurusega S .

Rõhumisjõu F põhjustab siin vedelikukihile paksusega h mõjuv raskusjõud mg . Teades vedeliku tihedust ja ruumala, saame leida selles kihis oleva vedeliku massi $m = \rho V$. Jooniselt on näha, et $V = Sh$.

Seega rõhumisjõud $F = mg = \rho Vg = \rho Shg$. Jagades selle pindalaga S , saame rõhu arvutusvalemi

$$p = \rho hg.$$

Servale $p = \rho h g$

Vedeliku rõhk on võrdeline vedeliku tihedusega ja vedelikusamba kõrgusega.

5.5. Kuidas mõõta vedelike ja gaaside rõhku? Ühendatud anumad

Otsesed ja kaudsed mõõtmised.

Kuidas töötab purskkaev?

Manomeetrid on rõhu mõõteriistad.



Kaudselt saab rõhku mõõta, jagades rõhumisjõu toetuspindalaga: $p = \frac{F}{S}$. Selleks tuleb mõõta kahte suurust: jõudu ja pindala.

Otseselt saab rõhku mõõta, toetudes teadmisele, et **rõhkude võrdsus tagab tasakaalu**. Kuidas seda mõista?

Joonis 5.15 Foto 29. juulist 2004 Paldiski maantee läbimurdest

Kuidas suutis vesi osa teetammist minema lükata? Sest teisel pool teed ei olnud midagi, mis ühelt poolt suruvale veele piisavat vastujõudu oleks osutanud.

Kas keegi on näinud, et pilvest sadanud vihmavesi jääb sajukohta hunnikusse? Vesi hakkab voolama, kuna kõrge veesammas avaldab suuremat rõhku kui madal ja vesi vajub kõrgemalt allapoole. Kui vesi ei voola, on **vaba veepind alati tasane ja horisontaalne**.



Joonis 5.16. 29. juulil 2004 Tuukri tänaval

Seda veetasemete võrdsustumise püüet on inimene õppinud ära kasutama. Miks purskub vesi purskkaevust? Sest torust väljuv vesi püüab tõusta sama kõrgele kui veenõus, kust vesi tulema hakkas! Samal põhjusel on veetornid ehitatud võimalikult kõrgesse paika.



Joonis 5.17. Purskkaev Peterhofis

Mudeliks, mis füüsiliselt selgitab eespool toodud näiteid, on **ühendatud anumad**. Vaatleme joonist, kus kahe klaastoru alumised otsad on omavahel ühendatud.



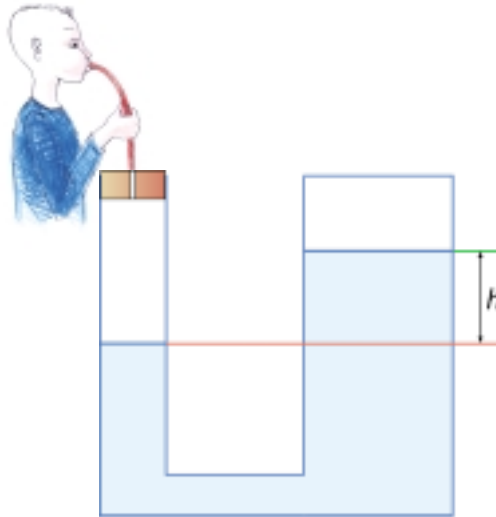
Joonis 5.18. Ühendatud anumates tõuseb veetase samale kõrgusele

Kuigi valasime vett ainult ühte torusse, tõuseb mõlemas torus veetase ühele kõrgusele. Seejuures pole tähtis torude kuju ega läbimõõt. Sest vedeliku rõhk on võrdeline vedelikusamba kõrgusega. Nii saab ühendatud anumaid kasutada ka horisontaalsihi määramiseks.



Joonis 5.19. Veepind on ka erineva kujuga ühendatud anumates ühekõrgusel

Puhume või surume pumbaga ühte torusse õhku. Selle tulemusel veetase ühes torus langeb ja teises tõuseb. Tasakaal saabub, kui rõhud võrdsustuvad. Kuidas seda mõista? Vaatame joonist.



Joonis 5.20

Punane joon märgib veetaset vasakpoolses torus. Sellest joonest allpool on mõlemas torus vesi. Puhuja peab seega tasakaalustama sellest joonest kõrgemal asuva veesamba rõhu. Mõõtes veetasemete kõrguste vahe h millimeetrites, ongi käes puhuja poolt avaldatava rõhu väärtus ühikutes *millimeetrit veesammast*.

Eelneva põhjal pole raske mõista, kuidas töötab vedelikmanomeeter.

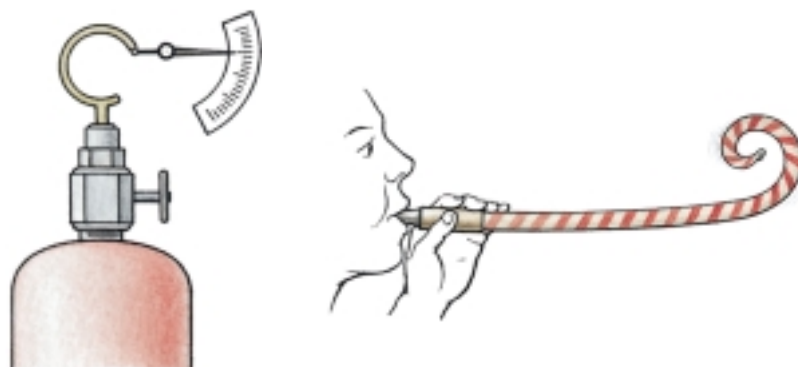
Joonis 5.21. Vedelikmanomeeter (tuleb foto)

Ühendatud anumate põhimõttel töötavate manomeetrite kõrval kasutatakse näiteks gaasiballoonides oleva gaasi rõhu mõõtmiseks hoopis teistsuguseid manomeetreid.



Joonis 5.22. Gaasiballoonides mõõdetakse rõhku metallmanomeetriga

Selliseid manomeetreid tuntakse kui metallmanomeetreid. Nende tööpõhimõtet aitavad mõista järgnevad joonised.

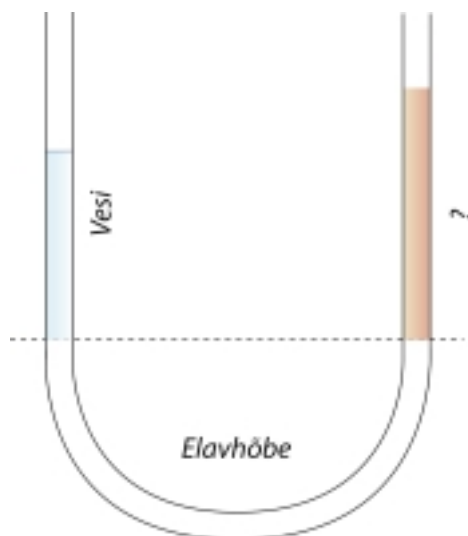


Joonis 5.24

Kui ühest otsast suletud, kõveraks painutatud elastsesse torusse puhuda või juhtida sinna suure rõhu all olevat gaasi, siis püüab gaas seda sirgeks suruda. Torus tekkiv elastsusjõud takistab sirgestumist. Mida suurem on torusse juhitava gaasi rõhk, seda rohkem toru kuju muutub ja seda rohkem toru otsa külge kinnitatud osuti liigub.

Küsimusi

1. Miks kastekannu kallutamisel vesi kannust välja voolab?
2. Miks kaebavad majade ülemiste korruste elanikud sagedamini madala veesurve üle kui alumiste korruste elanikud?
3. Selgita vedelikmanomeetri tööpõhimõtet.
4. Joonisel 5.25 kujutatud U-kujulises torus oli alguses ainult elavhõbe. Seejärel kallati ühte harusse vett ja teise tundmatu vedelik. Kuidas saab tiheduste tabelit ja joonlauda kasutades leida selle vedeliku tiheduse?
5. Selgita, kuidas saab aurukatlasse sisse vaatamata kindlaks teha, kui kõrgel on veetase katlas (vaata joonist 5.26.).



Joonis 5.25



Joonis 5.26

5.6. Õhurõhk ja selle mõõtmine

Õhurõhu olemasolu on raskem märgata kui selle muutumist.

Kuidas mõista ilmateadet õhurõhu kohta?

Kuidas saab õhurõhu suurust mõõta?

Õhurõhk on üks neist mõistetest, mida kõik kasutavad ja millest igapähele on ka oma arusaamine. Mida sulle ütleb näiteks selline ilmateade: „Täna on õhurõhk 755 millimeetrit elavhõbedasammast“? Küsi seda oma pinginaabri käest. Kui te ühtemoodi arvasite, siis lööge teineteisele patsi! Veel parem, kui te ka õigesti arvasite. Otsime selle õige nüüd üles.

Õhurõhu olemasolu vaevalt et keegi meist pidevalt tunnetab. Küll aga oleme tundlikud õhurõhu muutuste suhtes. Keegi naljahammas on väitnud, et inimese enesetunne on võrdeline õhurõhu neljanda astmega. Kõige otsesemalt tunnetavad neid muutusi mägironijad.



Jn 5.27. Alar Sikk on esimene eestlane, kes on tõusnud Maa kõrgeima mäe Džomolungma tippu

Mida kõrgemale tõusta, seda väiksem on õhurõhk. Teisisõnu tähendab see seda, et õhuks nimetatav gaaside segu rõhub sama suurele pinnale üha väiksema jõuga. Molekulide löögid on nõrgemad, kuna nende hoog on väiksem. Löögid on harvemad aga seetõttu, et õhk on hõredam.

Servale:

Õhurõhk väheneb maapinnast eemaldumisel

Molekulide kiirus väheneb
(õhk on jahedam)

Molekulide arv väheneb
(Õhk on hõredam)

Õhurõhu olemasolu ei vaja tõestamist. Kuidas aga määrata rõhu suurust, mida avaldab meid ümbritsev õhukiht oma raskusega?

Kas valemitest saaksime abi õhurõhu leidmisel? Valem, millega vedeliku rõhku arvutame ($p = \rho hg$), siin ei sobi, sest õhu tihedus ρ sõltub kõrgusest. Pealegi pole õhukihi paksus h täpselt mõõdetav.

Kas õhurõhu suurusest saab katsetega ettekujutuse? Kindlasti saab.

Joonis 5.28. 3 fotot katsetamisest veega täidetud tassi ja paberilehega (tegemisel)

Kirjelda fotodel kujutatud katset ning tee see ise läbi.

Küllap oled kuulnud, et õhurõhku mõõdetakse **baromeetriga**. Esimesena tuli ideele, kuidas mõõta õhurõhku itaallane Evangelista Torricelli (1608–1647). Torricelli kirjeldas oma kuulsat katset, mille ta tegi koos oma abilise Vivianiga 11. juunil 1644, järgmiselt.

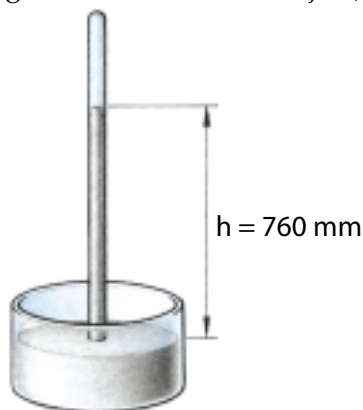
Täitsime umbes ühe meetri pikkuse ühest otsast kinnijoodetud klaastoru elavhõbedaga. Seejärel sulges ta toru lahtise otsa sõrmega ning keeras toru teistpidi lahtise anuma kohal, milles oli samuti elavhõbedat. Panime toru otsa elavhõbedasse sisse ja ta võttis sõrme toru otsa eest ära. Umbes veerand elavhõbedat voolas torust välja anumasse.



Joonis 5.29 E. Torricelli (1608–1647)

Katset korrati, kasutades eri jämeduse ja kujuga torusid. Alati jäi torusse umbes 76 cm kõrgune elavhõbedasammas. See tulemus oli üllatav, sest tol ajal arvati, et vedeliku püsimise põhjuseks torus on anuma mõju vedelikule. Torricelli aga mõistis, et põhjust tuleb otsida väljastpoolt anumast. Ta väitis, et kogu elavhõbeda väljavoolamist takistab õhu rõhumisjõud anumast oleva vedeliku pinnale. Tõestuseks näitas ta kõigepealt, et torus elavhõbeda kohal oli tühjus – vaakum. Selleks juhtis ta sinna vett, mis täitis kiiresti kogu vaba ruumi.

Selgitame, miks torusse just sellise kõrgusega elavhõbedasammas jäi (vt joonis 5.30).



Joonis 5.30

Väljaspool anumast rõhub vedeliku pinnale õhk. Kuna vedelik annab temale avaldatava rõhu igas suunas muutumatult edasi, siis mõjub samasugune rõhk ka torus olevale vedelikusambale alt üles. Muidu voolaks toru sees olev vedelik ju kõik välja. Torus olev vedelik surub sellele vastu kogu oma raskusega, avaldades rõhku $p = \rho hg$.

Vedelik püsib torus tasakaalus (ei voola ei sisse ega välja), kui õhurõhk on võrdne torus oleva vedelikusamba rõhuga.

Kokkuvõte.

Torricelli katse võimaldab õhurõhu suurust mõõta mitte otseselt, vaid kaudselt. Mõõdetakse vedelikusamba kõrgust, mis torusse jääb, ning valemiga $p = \rho hg$ arvutatakse selle rõhk. Teades, et tasakaalu korral on õhurõhk ja vedeliku rõhk võrdsed, saabki teada õhurõhu – see võrdub vedelikusamba rõhuga. Sellest tuleneb ka rõhu mõõtühik **millimeeter elavhõbedasammast** (mmHg), mida kasutatakse tänaseni ilmateadetes, kui kõneldakse õhurõhust.

NB! Kuna diktorid püüavad oma tekstiga lihtsamalt hakkama saada, võib raadiost ja televisioonist sageli kuulda, et õhurõhk on parajasti nii ja niipalju millimeetrit. See on üks näide teaduskeele ja tavakeele erinevustest. Kas kooliaasta pikkust võiks ka millimeetrites mõõta?

Normaalseks õhurõhuks loetakse 760 mmHg. See tähendab, et õhk avaldab sama suurt rõhku kui 760 mm kõrgune elavhõbedasammast. Kui õhurõhk on väiksem kui 760 mmHg, siis on õhk tavapärasest niiskem, tegemist on madalrõhkukonnaga. Õhurõhk üle 760 mmHg tähendab kõrgrõhkukonda.

Näiteülesanne

Arvutame normaalse õhurõhu paskalites.

$h = 760 \text{ mm} = 0,76 \text{ m}$	$p = \rho hg$
$\rho = 13\,600 \text{ kg/m}^3$	
$g = 9,8 \text{ N/kg}$	
$p = ?$	
	$p = 13\,600 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,76 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ N/kg} =$
	$= 101\,293 \text{ N/m}^2 = 101\,293 \text{ Pa}$

Kuna kõrgus ja g on antud kahe tüvenumbri täpsusega, ei ole mõtet anda ka vastust suurema täpsusega. Seega on normaalne õhurõhk umbes $100\,000 \text{ Pa} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Küsimusi ja ülesandeid

1. Põhjenda, miks mäe tipus on õhurõhk väiksem kui mäejalamil.
2. Miks Torricelli katses osa elavhõbedast torust välja voolab?
3. Mõõda või uuri välja tänane õhurõhk ja selgita, mida see tähendab. Väljenda õhurõhu suurus paskalites. Kas täna valitseb kõrg- või madalrõhkukond? Kas ilmavaatlus kinnitab seda?

5.8. Erinevat liiki baromeetreid

Vaevalt on keegi näinud sellist baromeetrit, kus ligi meetripikkune osaliselt elavhõbedaga täidetud toru on otsapidi elavhõbedavannis. Tõsi, vann ei peaks olema lahtine, sest õhk tungib ka läbi kui tahes väike ava ja suudab ikkagi elavhõbedasammast torus üleval hoida. Pealegi oleks lahtine elavhõbedaanum tervisele ohtlik, kuna elavhõbedaga aurud on mürgised. Aga võib-olla on keegi näinud vesibaromeetrit, kus õhurõhku võrreldakse veesamba rõhuga? Vaevalt. Aga miks ei võiks sellist valmistada?

Idee. Valmistada vesibaromeeter.

Põhimõte. Täita klaastoru veega, keerata toru kummuli veenõusse ja vaadata, kui kõrge veesamba suudab õhk torus hoida.



Joonis 5.31

Lahendus. Leiame toru pikkuse, mille me peaksime veega täitma.

Arvutused

Teatavasti on õhurõhk ligikaudu 100 000 Pa. Leiame, kui kõrge peaks olema veesammas, mis tekitaks sama suurt rõhku.

Lähtume valemist $p = \rho hg$. Teades tegureid ρ ja g ning korrutist p , saame leida vedelikusamba kõrguse h :

$$h = \frac{p}{\rho g} .$$

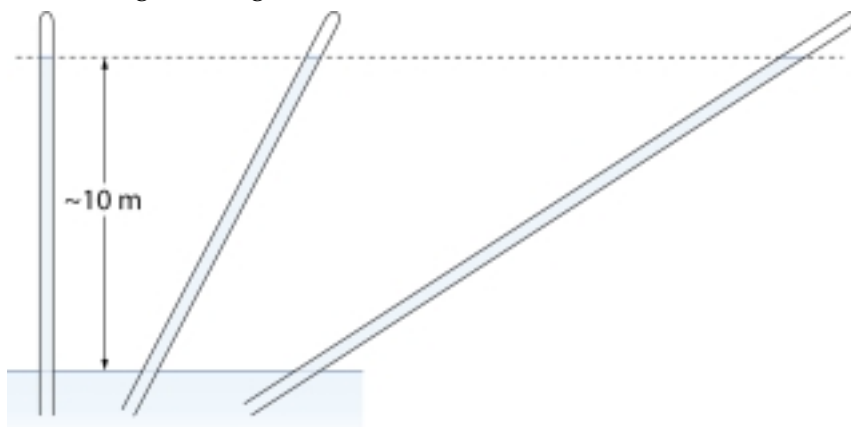
Asendame nüüd tähed arvudega.

Kuna korrutis $p = 100\,000\text{ Pa} = 100\,000\text{ N/m}^2$ ja tuntud tegurid $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$ (vee tihedus), $g = 9,8\text{ N/kg}$, siis otsitav tegur

$$h = 100\,000 / 1000 / 9,8 = \underline{10,3\text{ m}}$$

Tulemus. Õhurõhu mõõtmiseks peaksime veega täitma toru, mis on pikem kui kümme meetrit!
Sest normaalne õhurõhk on võrdne 10,3 meetri kõrguse veesamba rõhuga.

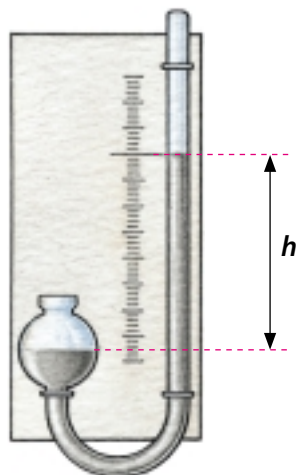
Kuidas sellist toru veega täita ja kuhu see panna? Võib-olla ei pea see püsti olema? Pikali pandud torust voolab vesi välja, seda teab igaüks. Aga kaldu?



Joonis 5.32

Tuleb välja, et kui toru kallutada, peaks õhurõhu mõõtmiseks kasutatav veetoru veelgi pikem olema – õhk püüab suruda vee ikka 10,3 meetri kõrgusele.

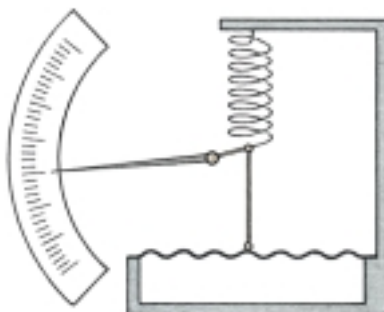
Seepärast on mõistlik kasutada baromeetris elavhõbedat kui suurima tihedusega vedelikku. Anumast, kuhu Torricelli toru pistis, saab siiski loobuda. Seda on tehtud **sifoonbaromeetris**.



Joonis 5.33. Sifoonbaromeeter

Nagu jooniselt näha, on siin toru kaheharuline. Õhk rõhub vasakpoolses harus oleva vedeliku vabale pinnale. Kuna parempoolses harus valitseb vedeliku kohal tühjus, on ainsaks õhurõhu tasakaalustajaks elavhõbedasammaste kõrgusega h . Seega võrdub õhurõhk vedelikusammaste rõhkude vahega vasak- ja parempoolses torus.

Kodudes ja asutustes kasutatakse õhurõhu mõõtmiseks siiski märksa väiksemate mõõtmetega **aneroidbaromeetrit**. Selle põhiosaks on laineliste seintega metallkarp, millest on õhk välja pumbatud. Karbile väljastpoolt mõjuvat õhu rõhumisjõudu aitab tasakaalustada karbikaane külge kinnitatud tugev vedru. Õhurõhu suurenemisel surub õhk karbile tugevama jõuga ning surub ühtlasi karpi kokku. See liikumine kandub ülekanDEMehhanismi abil osutile.



Joonis 5.34. Aneroidbaromeeter

Ülesanne

Mõõtke koolimaja kõrgus aneroidbaromeetriga. Võtke arvesse, et maapinna lähedal õhurõhk väheneb 1 mmHg võrra iga 12 meetri kohta.

5.9. Õhurõhk inimest abistamas

Maad ümbritsevat õhukihti kutsutakse õhkkeraks ehk atmosfääriks. Kuid **atmosfäär** on ka rõhu mõõtühik, lühendina **atm**. Õhurõhku 1 atm = 760 mmHg nimetatakse **normaalseks õhurõhuks**. See on ka loomulik, sest üksainus atmosfäär maakeral ju ongi.

Teistelgi taevakehadel on atmosfäär. Koostiselt, aga ka teiste omaduste poolest erinevad need oluliselt Maa atmosfäärist. Selles võib veenduda järgneva tabeli abil, kust leiad andmeid Maad ja tema naaberplaneete ümbritsevate gaasiliste „kasukate“ kohta.

Planeet	Atmosfääri põhikomponent	Atmosfääri rõhk planeedi pinnal
Veenus	süsihappegaas	90 atm
Maa	lämmastik	1 atm
Marss	süsihappegaas	0,006 atm

Kuul aga polegi gaasilist ümbrist. Kuu mass on liiga väike selleks, et tekitada gaaside kinnihoidmiseks piisavalt tugevat gravitatsiooni. Ka Maa atmosfääris, eriti selle ülakihtides toimub pidevalt katseid „vanglast põgeneda”. Maa arvatava eluaea (umbes 4,5 miljardit aastat) jooksul on peaaegu kogu õhus leidunud vesinik maailmaruumi laiali lennanud. Miks just vesinik? Füüsikud on kindlaks teinud, et iga taevakeha haardest väljapääsemiseks on vaja saavutada kiirus, mida nimetatakse **paokiiruseks** (sõnast *pagema, jalga laskma*). Maa juurest pagemiseks vajalikku kiirust 11,2 km/s omavad kõige tõenäolisemalt just vesiniku kui kõige kergema gaasi osakesed.

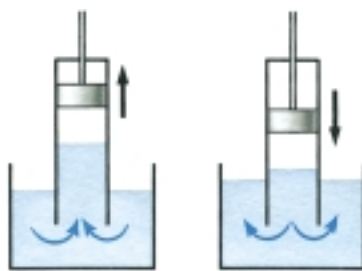
Enamik gaasimolekule aga jäävad maadluses Maa külgetõmbejõuga alla, kuid päris kaotajaks end ka ei tunnista. Nad togivad muudkui üksteist ja esemeid, mis jäävad nende liikumisteele. Ja kuna pärast iga põrget lendavad molekulid laiali kõikvõimalikes suundades, ei suuda gravitatsioon neid kõiki maapinnale kukutada.

Molekulide põrked õhus on väga sagedased. Kujutame ette, et keegi võlur sooviks loendada ühe ruutsentimeetrisele pinnale sadavate löökide arvu. Selleks, et arvepidamine sassi ei läheks, asetaks ta iga põrke puhul ühe viljatera eelmise kõrvale. Juba ühe sekundi jooksul saaks see rivi 200 korda pikem kui kaugus Maalt lähima täheni! Aga isegi valgusel kulub sellelt tähelt meieni jõudmiseks üle nelja aasta, seega on see igati lootusetu ettevõtmine. Näeme, et imepisikeste aineosakeste tegemiste kirjeldamiseks vajame tõeliselt astronoomilisi arve.

Niisiis, kuigi iga üksiku molekuli löök on ülinõrk, siis põrgete ülisuure arvu tõttu on nende koosmõju juba märgatav. Seetõttu on ka rõhumisjõud, mida avaldab õhk, üpriski suur: 10 N meie keha pinna iga ruutsentimeetri kohta.

Servale: $100\,000\text{ Pa} = 100\,000\text{ N/m}^2 = 10\text{ N/cm}^2$.

Seda, et õhk suudab vett suruda 10 meetri kõrgusele, on vee pumpamisel õpitud kasutama juba ammu-sest ajast. Idee on selge – **kui torus õhku ei ole, surub veepinna kohal olev õhk vee torusse.**



Joonis 5.35. Torus kolbi üles tõmmates „tungib” vesi kolvi järel silindrisse

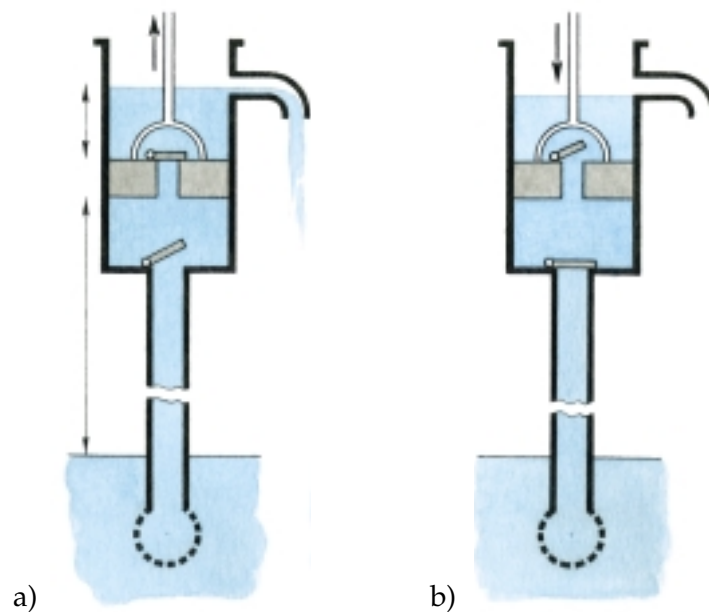
Kolbpumbad

Vaatleme kahte liiki kolbpumba – imi- ja surupumba – ehitust ja tööpõhimõtet. Selgitusteks kasutame aastal 1922 kirjastuses Varrak välja antud Juhan Langi õpikut Füüsika õpperaamat algkoolile.



Joonis 5.36

Imipumba ehitus ja tööpõhimõte selgub jooniselt 5.37.

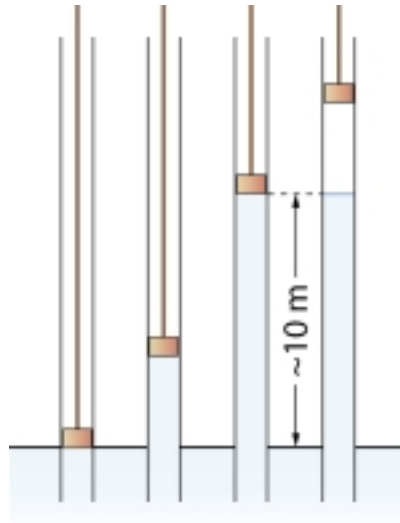


Joonis 5.37

Tema pääosaks on ümmargune toru, milles liigub tihedalt kann*. Kanni sees on auk, mis klappiga kinni käib. Allpool kanni on teine klapp. Mõlemad klappid võivad ainult ühele poole, nimelt veeliikumise sihis, lahti käia.

Kanni üles tõstes (joonis 5.37a) läheb päälmise klapp kinni ja õhu rõhumise mõjul tungib vesi alumise klapi vahelt (alt) kannile järele. Vesi, mis kanni pääl oli, voolab tõstmisel torust välja. Kanni allavajutamisel (joonis 5.37 b) läheb alumine klapp kinni, ülemine aga lahti ja vesi tõuseb kanni pääle, jne. Et vesi kanni all ainult õhu rõhumise mõjul üles tõuseb, õhu rõhumine aga umbes 10 m veesamba üleval suudab hoida, siis ei või ülemise kanni kaugus vee pinnast mitte üle 10 m olla (joonis 5.38)

* kann – tänapäevases eesti keeles kolb



Joonis 5.38

Suruja pumba abil surutakse vesi reservuaaridesse (anumatesse), mis pumpamise kohast kõrgemal või kaugemal on. Nagu jooniselt näha, on suruja pumba ehitus ja töötamisviis sarnane imeja pumba ehitusele ja töötamisviisile, ainult kann on ilma klapita ja ülemise klapi pääl on õhureservuaar, mis vee surumist ühtlaseks teeb.

Jn5.39 nagu joonis 106 J. Lang Füüsika õpperaamat algkoolile lk 77 (tegemisel)

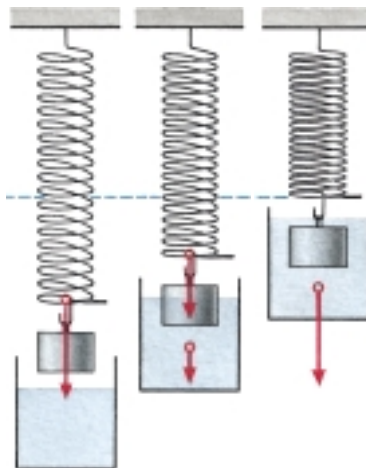
Küsimusi ja ülesandeid

1. Võrdle Maa ja tema naabertaevakehade atmosfääri rõhku. Mida võib sellest järeldada nende atmosfääri tiheduse kohta?
2. Kui kaugel vedeliku vabast pinnast võib olla imeja pumba kann elavhõbedat, petrooleumi, piiritust ja piima pumbates?
3. Kirjelda imipumba ehitust ja selgita selle tööpõhimõtet.
4. Kirjelda surupumba ehitust ja selgita selle tööpõhimõtet.

5.10. Üleslükkejõud

Katse

Riputame vedru otsa metallist silindri ja hakkame seda aeglaselt vette laskma. Jälgime tähelepanelikult vedru pikkuse muutumist.



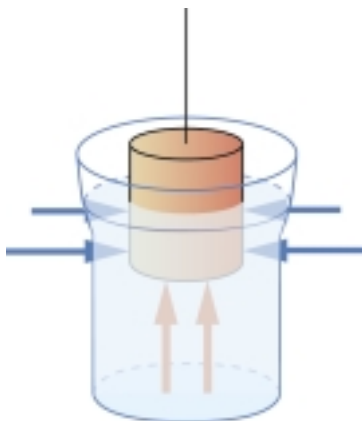
Joonis 5.40

Märkame, et niipea, kui silinder jõuab vette, hakkab vedru pikkus vähenema. See tähendab, et vesi lükkab temasse lastud keha ülespoole: kehale mõjub **üleslükkejõud**. Mida suurem osa kehast on vee all, seda lühemaks vedru jääb. Seega on **üleslükkejõud seda suurem, mida suurem on keha vees oleva osa ruumala**.

Laseme nüüd keha, mis on üleni vees, veelgi sügavamale. Näeme, et vedru pikkus enam ei muutu. Seega, **kui keha on üleni vees, siis on üleslükkejõud kogu aeg ühesuurune**.

Mis põhjustab üleslükkejõu ja kuidas seda arvutada?

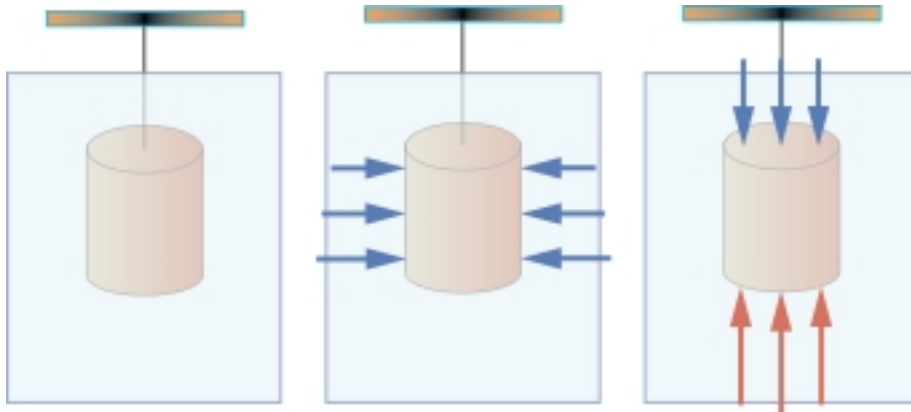
See, et vesi takistab kehade sukeldumist, on loogiline. Vesi avaldab vees olevale keha pinnale rõhku (vt joonist 5.41).



Joonis 5.41

Aga miks mõjub kehale üleslükkejõud ka siis, kui keha on üleni vedelikus? On ju siis vedelikukiht ka keha kohal!

Põhjus on selles, et sügavamal on vedelikus rõhk suurem: $p = \rho hg$

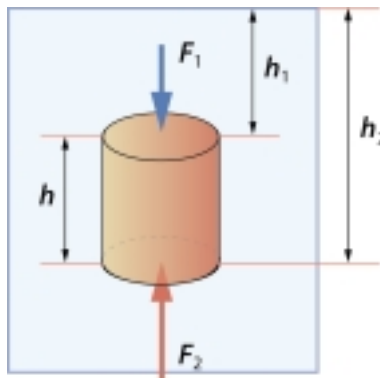


Joonis 5.42 a) keha ripub üleni vees b) rõhk külgedele c) rõhk otstele

Uurime vedeliku rõhumisjõudu keha erinevatele pinnaosadele. Teades vedeliku rõhku mingil sügavusel ja pinna suurust S , saame rõhumisjõu leida seosest $F = pS$.

Silindri külgpinnale vastassuundades mõjuvad jõud tasakaalustavad ilmselt teineteist. Sest ühesugusel sügavusel on rõhk igas suunas ühesugune.

Teisiti on lugu silindri põhjadega. Need on pindalalt küll võrdsed, aga rõhk alumisele põhjale, mis asub sügavamal, on suurem kui ülemisele. Seega on ülemisele ja alumisele pinnale mõjuvate jõudude kogumõju suunatud üles.



Joonis 5.43

Järeldus.

Vedelik tõukab temas olevaid kehi üles sellepärast, et sügavamal on rõhk suurem kui pinna lähedal. Seetõttu on alt üles suunatud jõud suurem kui ülevalt alla suunatud jõud. Nende kahe jõu vahet nimetatakse **üleslükkejõuks**. Leiame joonise 5.43 abil valemi üleslükkejõu arvutamiseks.

Jõud ülemisele põhjale $F_1 = p_1 S$.

Jõud alumisele põhjale $F_2 = p_2 S$.

p_1 ja p_2 tähistavad vedeliku rõhku vastavalt ülemisele ja alumisele põhjale.

Üleslükkejõud $F_{\text{ü}} = F_2 - F_1 = p_2 S - p_1 S = (p_2 - p_1) S$.

Kuna $p_2 = \rho h_2 g$ ning $p_1 = \rho h_1 g$, siis $p_2 - p_1 = \rho h_2 g - \rho h_1 g = \rho g(h_2 - h_1)$.

Seega $F_{\text{ü}} = (p_2 - p_1) S = \rho g S(h_2 - h_1) = \rho g S h$

Kuna silindri põhjapindala S ja kõrguse h korrutis võrdub keha ruumalaga V , siis

$$F_{\text{ü}} = \rho g V.$$

Üleslükkejõud võrdub vedeliku tiheduse, teguri g ja keha vedelikus oleva osa ruumala korrutisega.

Analüüsime saadud valemit $F_{ii} = \rho g V$. Selle paremas pooles sisaldub tuttav korrutis ρV . Tiheduse ja ruumala korrutis annab ju massi! Aga mille massi? Keha mass see olla ei saa, sest ρ on siin vedeliku tihedus! V on keha vedelikus oleva osa ruumala. Sama suur peab olema ka selle veekoguse ruumala, mille keha sukeldudes enda alt välja tõrjus. ρV on seega keha poolt väljatõrjutud vedeliku mass.

Kuna massi ja teguri g korrutis on Maa külgetõmbejõud, siis võib teha kokkuvõtte.

Vedelik lükkab temasse sukeldunud keha üles sama suure jõuga, kui Maa tõmbab keha poolt väljatõrjutud vedelikku enda poole.

Selle seose avastas kreeka õpetlane **Archimedes**, kes elas aastatel 287–212 eKr. Legendi järgi saanud ta Sürakuusa valitsejalt ülesande kindlaks teha, kas kuningale valmistatud kroon on ikka puhtast kullast. Ülesanne polnud kergete killast. Lahendusidee tulnud talle pähe vannis, mille peale kostnud tema kuulus hüüatus „Heureka!” (kr k leidsin).

Kuidas saaks katseliselt kontrollida seda seost, mida tuntakse **Archimedese seadusena**? Üks võimalus on kasutada ülevooluanumat ning selle sisse mahtuvat keha. Ülevooluanum on selline nõu, mille külje sees on ava. Anum täidetakse veega väljavooluava alumise servani. Seejärel lastakse dünamomeetri otsa riputatud keha üleni vette ning leitakse keha kaal vees. Kaalutakse ka avast väljavoolanud vesi (keha poolt väljatõrjutud vedelik). Selgub, et dünamomeetri näidu vähenemine (üleslükkejõud) on võrdne väljavoolanud vee kaaluga (keha poolt väljatõrjutud vedelikule mõjuva Maa külgetõmbejõuga).

Joonis 5.44. Ülevooluanum (M.Kuurme foto)

Küsimusi ja ülesandeid

1. Too näiteid, kus oled kokku puutunud üleslükkejõuga.
2. Kus on kivi kergem tõsta, kas vees või veest väljas? Leia, mitu korda väiksemat jõudu pead rakendama kivi tõstmiseks vees, kui kivi ruumala on 30 dm^3 .
3. Selgita õpiku jooniseid kasutades, miks vedelik kehasid endast välja püüab tõugata.
4. Tee vihikusse joonis risttahukast, mis on vee all. Kanna joonisele selle tahkudele mõjuvad jõud. Tuleta õpikut või töövihikut kasutades valem üleslükkejõu leidmiseks ja sõnasta tulemus.

5.11. Ujumine

Miks kivi ja puuklots käituvad vees erinevalt?

Ujub-heljub-upub.

Kivi kukub alati allapoole, taevakeha keskpunkti poole, olgu see Maa, Kuu või Marss. Sest kõikide taevakehade gravitatsioon on selleks piisavalt tugev. Ei suuda seda takistada Maad ümbritsev õhu- ega veekiht. Langev kivi lükkab nad lihtsalt eest ära ega peatu enne, kui põhi ette jääb.

Joonis 5.45. Kivi kukub alguses õhus, seejärel vees

Kukutame nüüd vette puuklotsi.

Miks käitub klots nagu vette hüppav inimene? Sukeldub mingile sügavusele, peatub ja tuleb pinnale tagasi. Lõpuks jääb ujuma, osa vee sees, osa väljas.

Servale: üks viis, kuidas probleeme lahendada

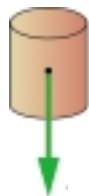
Sedalaadi probleemide lahendamiseks on üks tee alati olemas: uurida erinevatel ajahetkedel, milline on keha asukoht ja millised jõud talle mõjuvad.

Servale: jõud iseloomustab mõne teise keha mõju vaadeldavale kehale

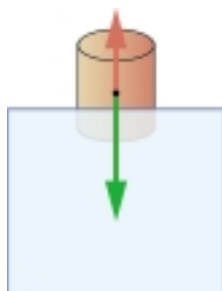
Alustada võiks joonisest, sest siis saavad ka silmad selguse loomisel abiks olla.

Servale: õhutakistuse võime jätta arvestamata (see on liiga väike, et olulist mõju avaldada)

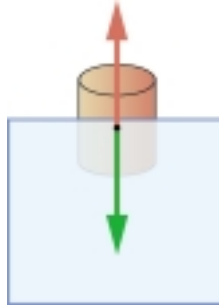
Õhus langemisel mõjub kehale vaid üks jõud – Maa külgetõmbejõud, mille väärtus on mg ja mis ei muutu. Selle jõu mõjul keha kiirus langedes kasvab.



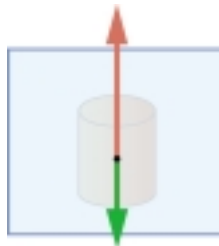
Vette sisenemisel hakkab Maa külgetõmbejõule vastu töötama vee üleslükkejõud ρgV . Esialgu jääb see jõud raskusjõule alla ($mg > \rho gV$) ning keha kiirus kasvab jätkuvalt. Kuid mida suurem osa keha ruumalast vee alla sukeldub, seda suuremaks kasvab üleslükkejõud.



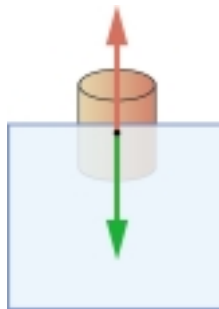
Mingil hetkel saavad need kaks jõudu võrdseks ($mg = \rho gV$). Seisma keha veel ei jää, vaid liigub hooga tasakaaluasendist läbi. Langemise hoogu hakkab nüüd pidurdama üleslükkejõud, mis kasvab selle hetkeni, mil klots on täielikult vee alla sukeldunud.



Kui klotsi kiirus on muutunud nulliks, sunnib üleslükkejõud, mis ületab raskusjõu ($mg > \rho gV$), klotsi pinnale tõusma



Pärast mõningast võnkumist üles-alla jääb keha ujuma, olles osaliselt vedeliku sees, osaliselt väljas. Selles asendis on Maa külgetõmbejõud võrdne üleslükkejõuga, mida kehale avaldab vedelik: $mg = \rho gV$.



Joonis 5.46

Kirjeldatud mõttekäigud on lühidalt kirjas alljärgnevas tabelis.

Asukoht joonisel	Mis toimub	Mõjuvad jõud	Liikumise iseloom
1	Õhus langemine	mg	Kiirenev
2	Vees langemine	mg ja ρgV , seejuures $mg > \rho gV$	Kiirenev, kuid kiiruse kasv väheneb
3	Vees langemine	mg ja ρgV , seejuures $mg = \rho gV$	Sellest hetkest alates hakkab kiirus vähenema
4	Keha peatub ja hakkab pinna poole tõusma	$mg < \rho gV$	Liikumise suund muutub ja kiirus suureneb
5	Keha peatub	$mg = \rho gV$	Keha on tasakaalus, ujub

Kuidas saab aga katsetamiseta kindlaks teha, kas keha vajub mingis vedelikus põhja või jääb ujuma?

Servale: SÕNAVARA upub = vajub põhja

ujub = ei upu

Kõigepealt täpsustame sõnavara. Kõnekeeles mõistame ujumisenä eelkõige vees liikumist, teaduskeeles tähendab ujumine aga seda, et keha ei vaju põhja – ei upu. Uppumine ei tähenda siinkohal mitte õnnetusjuhtumit, vaid seda, et keha vajub vedelikus seni, kuni põhi ette jääb. Seetõttu võibki rääkida ujumise ja uppumise tingimustest.

Teame, et ujumisel Maa külgetõmbejõud ja kehale mõjuv ülelükkejõud tasakaalustavad teineteist:

$$mg = \rho g V.$$

Avaldame ujuva keha massi m selle tiheduse ja ruumala kaudu: $m = \rho_k V_k$.

Indeks k tähendab, et tegemist on keha, mitte vedeliku tiheduse ja ruumalaga. Selguse mõttes lisame võrduse paremal poolel esinevate ρ ja V juurde indeksi v .

Sest seal on ju vedeliku tihedus ja keha vedelikus oleva osa ruumala. Saame võrduse

$$\rho_k V_k g = \rho_v V_v g$$

Jagades võrduse mõlemad pooled g -ga läbi, saame huvipakkuva vahetulemuse.

$$\rho_k V_k = \rho_v V_v$$

Kuna $\rho_k V_k$ annab keha massi ja $\rho_v V_v$ vedeliku massi, mille ujuv keha on välja tõrjunud, siis näeme, et need on võrdsed!

Analüüsime saadud võrdust matemaatiliselt.

1. Kui keha ja vedeliku tihedused on võrdsed, st kui $\rho_k = \rho_v$, siis ka $V_k = V_v$!
2. Kui keha tihedus on vedeliku tihedusest väiksem, st kui $\rho_k < \rho_v$, siis $V_k > V_v$.
3. Kui keha tihedus on vedeliku tihedusest suurem, st kui $\rho_k > \rho_v$, siis $V_k < V_v$.

Mida saadud võrdus ja võrratused **füüsikaliselt** tähendavad?

1. Kui keha ja vedeliku tihedused on võrdsed, siis ujub keha nii, et on üleni vedelikus.
2. Kui keha tihedus on vedeliku tihedusest väiksem, siis on osa kehast vedelikus, osa väljas.
3. Kui keha tihedus on vedeliku tihedusest suurem, siis pole saadud võrratusel mingit reaalselt füüsikalist sisu. Sest keha ruumala ei saa ju olla väiksem kui tema vedelikus olev ruumala. Järelikult keha ei saa ujuda, vaid upub!

6. MEHAANILINE ENERGIA

Energia mõistet oled sa kasutanud nii sageli, et raske on sulle uut ja huvitavat pakkuda. Aga raskused selleks ongi, et neist jagu saada. Selge, et ilma energiata pingutustest midagi head välja ei tule, õigemini ei saagi pingutusi teha. Mitte vähem tähtis pole aga oskus energiat õigesti kasutada. Sest nagu sa tead, on Päikesesüsteemis kasutada olev energia pärit Päikeselt. Õnneks pole inimese võimuses olemasolevat energiat hävitada. Inimene suudab vaid energiat muundada ühest vormist mõnda teise, ei muud. Just sellest tulebki juttu: **kuidas muundada energiat sobivasse vormi.**

Joonis 6.1 Foto liustikust: Loodusjõud suudavad ka ise energiat ühest vormist teise muundada

Liustikus salvestunud energiavarud vallanduvad, kui Maa külgetõmbejõud paneb jää ja lume liikuma.

6.1. Energia ja selle esinemisvormid

Mida tähendab mõiste „energia“?

Kineetiline ja potentsiaalne energia.

Energia muundumine.

Servale: energia = teovõime

Energiavarud vallanduvad vaid siis, kui teha selleks pingutusi ja kui pingutuse tulemusena õnnestub midagi liigutada. Füüsikaliste terminite abil kõlab see mõte nii.

Energia muundub ühest liigist teise ainult siis, kui jõu mõjul toimub millegi liikumine.

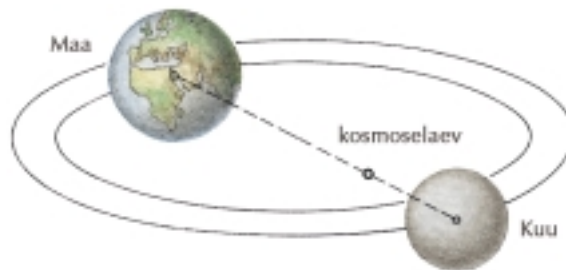
Puu otsas rippuvale õunale mõjub küll Maa külgetõmbejõud, kuid selle jõu tasakaalustab elastsusjõud õunavarre ja oksa vahel. Samas on selge, et energiat on rippuval õunal ka siis, kui ta on liikumatu. Sest kui ta oksa küljest lahti peaks pääsema ja sulle pähe kukkuma, saad temalt vopsu. Mida kõrgemalt õun langeb ja mida suurema massiga ta on, seda valusam on ka löök.



Joonis 6.2

Servale: potentsiaalne energia

Kui energia olemaolu on põhjustatud kehade **vastastikmõjust**, siis nimetatakse seda **potentsiaalseks energiaks**. Seega, üksik keha potentsiaalset energiat omada ei saa. Potentsiaalne energia võib näiteks puududa ka kehal, mis on sattunud punkti Maa ja Kuu vahel, kus mõlemad taevakehad tõmbavad keha enda poole võrdse jõuga.



Joonis 6.3: Potentsiaalset energiat ei ole, kui ei ole jõudu. Kosmoselaev on Maad ja Kuud ühendaval sirgel Kuu läheduses

Vaatleme, kuidas muutub vedru ja selle otsa riputatud koormuse energia.

Joonis 6.4 Foto: koormus võngub vedru otsas (M. Kuurme)

Riputa koormus vedru otsa ja peata käega vedrus tekkinud võnkumine (joonis a). Kuna vedru ja Maa mõjud on võrdsed ja vastassuunalised, siis koormusel potentsiaalset energiat puudub.

Koormusest kinni hoides venitame vedrut. Selleks kulutame oma energiat ja lisame vedrule potentsiaalset energiat. Kuna nüüd tõmbab vedru koormust suurema jõuga kui Maa, on vedrul potentsiaalset energiat, ja kui me sellest lahti lasteme, hakkab see liikuma.

Mainisime enne, et inimesele ei ole õnneks antud võimet energiat luua ega hävitada. Kuidas see väide meie katsega kooskõlas on?

Jälgime Gümnasisti ja Kaheksandiku dialoogi.

- K. Katsevahendeid liigutades kulutame me ju energiat! Saime me energiat hommikul putru süües. Kas võib öelda, et toidust saadud energia muundub katsevahendite potentsiaalseks energiaks?
- G. Põhiliselt küll. Sest kuna õhu takistusjõud on aeglasel liikumisel väga väike ja seega on ka võnkuva keha ja õhu vastastikmõju nõrk. Võib öelda, et õhk katse käigus energiat peaaegu et ei omanda.
- K. Aga kui olen koormuse liikuma pannud, siis ta ju läbib korduvalt seda kohta, kus vedru ja Maa mõjud on võrdsed. Ja neis kohtades tal pole potentsiaalset energiat. Järelikult peab energia olema seal muundunud täielikult mingiks teist liiki energiaks!
- G. Täiesti õige. Sest kui sa selles kohas käe koormusele ette paned, saad paraja obaduse. Sest koormus ju liigub! Ja iga liikuv keha omab energiat. Sellepärast pole ka liikuva autoga kokkupõrkamine sugugi soovitatav.
- K. Tuleb välja, et ka üksik keha võib omada energiat. Näiteks vastu kosmoselaeva pörkuv liivatera võib põhjustada suuri purustusi. Sest liivateral on suur kiirus kosmosesõiduki suhtes. Kas liikumisest tingitud energiat võikski nimetada liikumisenergiaks?
- G. Võib küll. Aga kuna enamik füüsika mõisteid on pärit kreeka keelest ja kreeka keeles on liikumine (liigutus) kinema, siis liikumisest põhjustatud energiat nimetatakse **kineetiliseks energiaks**. Kehade vastastikmõjust põhjustatud **potentsiaalse energia** nimetuse tüvi potents pärineb samuti klassikalistest keeltest. Potentia tähendab kreeka keeles jõudu, ladina keeles aga võimet.
- K. Kas suures plaanis ongi energial kaks vormi: kineetiline ja potentsiaalne?
- V. Just nii. Kineetiline viitab liikumisest põhjustatud teovõimele, potentsiaalne aga teovõimele, mis on kehal seotud, et talle mõjub mingi jõud.

Servale: kinema (kr k) = liikumine, liigutus
potentia (kr k) = jõud
potentia (lad k) = võime

Kokkuvõte: **Mehaanika tegeleb kehade liikumise ja vastastikmõjudega.**

Kui kehal on võime midagi liigutada, siis öeldakse, et tal on energiat.

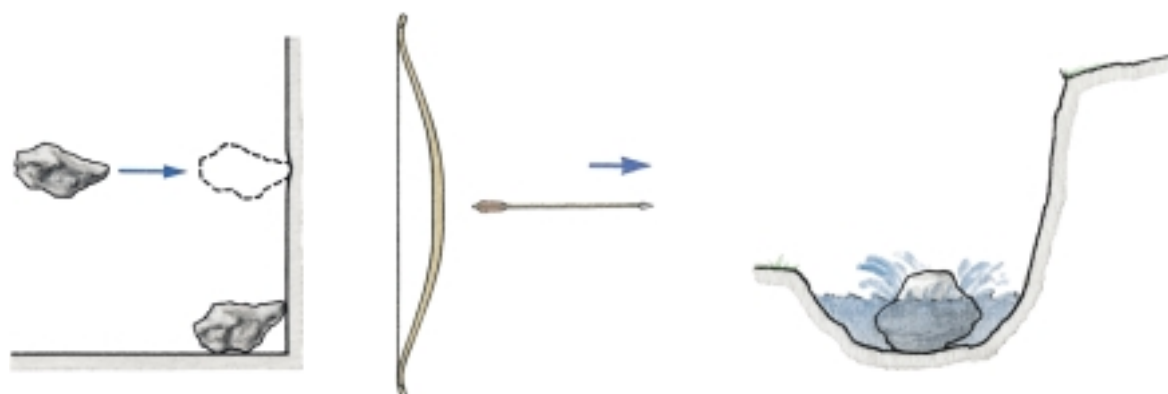
Energial on kaks esinemisvormi: kineetiline ja potentsiaalne.

Küsimusi

1. Mida tähendab lause „Kehal on energiat“?
2. Mida tähendab lause „Kehal on potentsiaalset energiat“? Too 3 näidet selle lause kinnituseks.
3. Mida tähendab lause „Kehal on kineetilist energiat“? Too 3 näidet selle lause kinnituseks.
4. Too näide, kus potentsiaalne energia muundub kineetiliseks energiaks.
4. Millist energiat omavad joonistel kujutatud kehad?



5. Millised energia muundumised on eelmiste joonistega võrreldes toimunud?



6.2. Energia muundamiseks tuleb teha tööd

Milleks on vaja teha tööd?

Iga vaevanägemine pole veel töö.

Kuidas arutada tehtud töö suurust?

Servale: Energiakriis? EI!

Võib-olla oled kuulnud mõistet „energiakriis“, sest aeg-ajalt tehakse sellest juttu. Väga tõsiselt neid jutte võtta ei ole mõtet. Sest meie põhiline energiaallikas Päike on jõudnud alles kuldsesse keskikka ja särab arvatavasti veel umbes 5 miljardit aastat. Päikeselt pärit energiat leidub looduses erinevates vormides sellisel hulgal, et mingit puudust mõistlikel olenditel karta pole vaja. Küll aga tuleb tunnistada, et maapõuest saadavate looduslike kütteenainete varud pole ammendamatud. Sellele, et iga maakeral elav inimene maapõuest leitud naftast valmistatud bensiiniga eluaeg ringi kihutab, ei tasu muidugi loota. Aga bensiini saab valmistada ka taimedest. Ja tuule, merelainete, tõusu-mõõna jt looduslike liikumiste kineetilist energiat saab samuti kasutada.



Joonis 6.6

Küsimus on hoopis selles, et **energia muundamiseks sobivasse vormi tuleb vaeva näha**. Ise see ju ei muundu ühest liigist teise.

Piirdume järgnevalt põhiliselt **mehaanilise energia muundumistega**. Soojusenergiat, elektrienergiat, tuumaenergiat käsitleme 9. klassis.

Vaatleme lihtsat näidet tõstesportidist. Kui tõstja ei tee midagi, ei juhtu ka tõstekangiga midagi: see jääb sinna, kus see parajasti on.

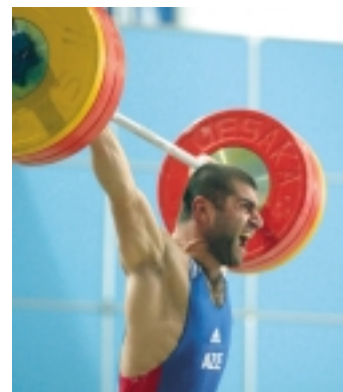


Joonis 6.7

Selleks, et kangi tõstepõrandalt kergitada, peab tõstja jõud ületama kangile mõjuva raskusjõu. Kui jõudu ei piisa, ei kerki kang millimeetritki – kang ei saa hoogu sisse, selle kineetiline energia jääb endiselt võrduma nulliga. Hoog ongi kineetilise energia rahvapärane nimetus.

Servale: hoog ehk kineetiline energia

Niisiis selleks, et **energiat ühest vormist teise muundada, peab kehale mõjuma jõud ja see jõud peab suutma keha liigutada – tuleb teha tööd.**



Joonis 6.8 Kang ei liigu, tema energia ei muutu, järelikult tõstja ei tee tööd, kuigi ta pingutab, rakendades jõudu

Töö on seda suurem, mida suurem on jõud ja mida pikemal teel see mõju avaldab. Sest seda rohkem suudab jõud keha energiat muuta. Lühidalt **töö = jõud • teepikkus**, valemi kujul

$$A = F \cdot s, \text{ kus } A - \text{töö}; F - \text{jõud}; s - \text{teepikkus, millel see jõud mõjub.}$$

Servale: $A - \text{töö} = \text{die Arbeit}$ (sks k)

Kuna **töö = jõud • teepikkus**, siis ka **töö mõõtühik = jõu mõõtühik • pikkuse mõõtühik**, seega **1 Nm**.

On hea tava anda ühikutele teadlaste nimed, kellel on olnud oluline roll kõnealuses valdkonnas. Nii töö kui ka energia mõõtühik kannab inglise füüsiku **James Joule'i** (1818–1889) nime **džaul**, lühendatult **J**. Joule'i töödega soojusnähtuste uurimisel, eriti aga soojusliikumise ja mehaanilise liikumise teooriate ühendamisel tutvud järgmistes klassides.

Niisiis

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Kui 1 N suurune jõud mõjub 1 m pikkusel teel, siis teeb see tööd ühe džauli.

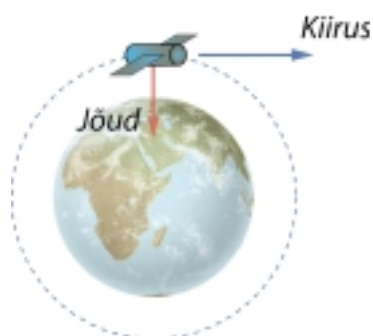
Valemiga $A = F \cdot s$ saab tööd arvutada vaid sel juhul, kui

- jõud on jääv, st ühesuurune, ja selle suund ei muutu ning
- keha liigub samas suunas, kuhu jõud talle mõjub.

Servale: Mis teeb tööd? JÕUD!

Niisiis võib öelda, et **tööd teeb jõud**, aga mitte igas olukorras. Sest kui see keha energiat ei suuda muuta, siis see tööd ei tee. Vaatleme näidet.

Servale: näide, kus keha liigub, jõud mõjub, aga tööd ei tee



Joonis 6.9. Jõud on, liikumine on, aga tööd ei tehta

Taevakeha tõmbab tema ümber tiirlejat pidevalt enda poole, aga see ei lähene ega eemaldu. Seega taevakeha tõmbejõud tööd ei tee, sest tiirleja energia sellest ei muutu. Samaks jääb sateliidi kineetiline energia, kuna selle kiirus ei muutu; samaks jääb ka vastastikmõju potentsiaalne energia, kuna ei muutu ka kaugus taevakehast.

Ülesandeid

1. Milleks on vaja teha tööd?
2. Too näiteid, kus sa pingutad, rakendades jõudu, aga tööd ei tee karvavõrdki!
3. Too vähemalt üks näide, kus miski asi liigub, aga ikka ei ole tegemist tööga! Mõtle näiteks keegli-mängu peale.
4. Too näiteid töötegemiset.
5. Leia traktori poolt tehtud töö adra vedamisel, kui vagude pikkus on kokku 5 km ja keskmine jõud adra vedamisel 10 kN.

6.3. Raskusjõu töö seos keha energia muutumisega

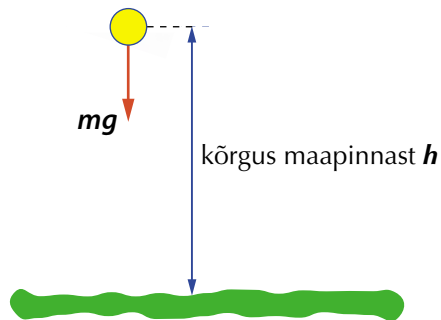
Mäkkeronimisel suureneb potentsiaalne, kukkumisel kineetiline energia.

2 korda suurem kiirus, 4 korda suurem kineetiline energia.

Ületad kiirust 2 korda, riskid eluga 4 korda rohkem.

1. Kuidas arvutada raskusjõu tööd keha kukkumisel?

Serval: raskusjõud = Maa külgetõmbejõud: suund otse alla, suurus mg



Joonis 6.10. Keha massiga m asub maapinnast kõrgusel h

Kuna raskusjõud mg on suunatud alati Maa keskpunkti poole, siis keha kukkumisel maapinnale kõrguselt h teeb raskusjõud tööd

$$A = mgh, \text{ kus } m \text{ on keha mass ja } g = 9,8 \text{ N/kg.}$$

2. Kehal on potentsiaalset energiat täpselt sama palju, kui Maa peab tööd tegema, et keha maapinnale tuua.

Tõepoolest, kuna potentsiaalne energia tähendab teovõimet, mida põhjustab praegusel juhul keha vastastikmõju Maaga, siis muutub see olematuks, kui keha on jõudnud maapinnale.

Kõrgusel h on keha potentsiaalne energia $E_p = mgh$, kus m – keha mass; $g = 9,8 \text{ N/kg}$; h – kõrgus maapinnast.

3. Potentsiaalsest energiast muundub kineetiliseks sama palju, kui raskusjõud tööd teeb.

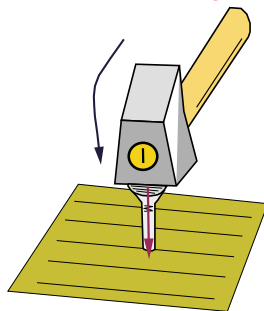
Kukkumisel keha kiirus suureneb, seega suureneb ka tema kineetiline energia. Samal ajal potentsiaalne energia väheneb ($E_p = mgh$).

Seega on ülemises asendis, langema hakkamisel, potentsiaalne energia maksimaalne ja kineetilist polegi. Seevastu vahetult enne maapinna puudutamist on kineetiline energia maksimaalne (sest kiirus on seal suurim) ja potentsiaalne otsa saanud. Seega on esialgne potentsiaalne energia muundunud kineetiliseks. **Kui ükski muu jõud peale Maa külgetõmbejõu kukkumisel kehale ei mõju, muundub potentsiaalne energia täielikult kineetiliseks.**

Servale: kuhu jääb energia, kui keha vastu maad on kukkunud?

Võid küsida, kuhu energia jääb, kui keha vastu maad on kukkunud. Seda käsitleme põhjalikumalt 9. klassis soojusfüüsika kursuses. Aga natuke tasub sellele kohe mõelda. Mis toimub keha sees? Ega sealgi rahu ole, aineosakesed sagivad lakkamatult. Sa tead, et siis, kui osakesed kiiremini liikuma hakkavad, suureneb ka nende kineetiline energia. Tead ka seda, et aineosakeste kiiruse suurenemisel keha soojeneb. Järelikult muundub keha kui terviku energia tema osakeste kineetiliseks energiaks. Osa energiat saab muidugi ka see keha, mille vastu liikuv keha põrkab.

Servale: keha energia muundub tema osakeste energiaks ning osa sellest saavad endale ka teised kehad



Joonis 6.11. Haamer jääb seisma, nael liigub ning nii nael kui haamer veidi soojenevad

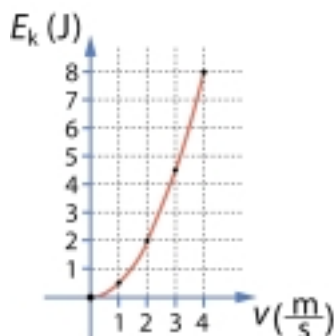
4. Kuidas keha kineetilist energiat arvutada

Oleme seda küsimust teadlikult vältinud. Sest kineetilise energia valemi tuletamine vajab rohkem teadmisi, kui meil sinuga praegu on. Aga olgu see valem huvilistele antud:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \text{ kus } m - \text{keha mass (kg) ja } v \text{ keha kiirus (m/s).}$$

Seega võrdub keha kineetiline energia ühe kahendikuga (poolega) tema massi ning kiiruse ruudu korutisest.

Servale: Väga oluline sõltuvus.



1 kg massiga keha kineetilise energia sõltuvus kiirusest

Näide liiklusest.



Joonis 6.12

Mis juhtub, kui juht, kes sõidab kiirusega 90 km/h, eirab nõuet vähendada kiirust 30 kilomeetrini tunnis? Siis ta sõidab 3 korda kiiremini lubatust ($90 : 30 = 3$), aga auto kineetiline energia on 9 korda lubatust suurem (3 ruudus on 9)!

Kui on vaja autot seisma saada, siis on vaja teha tööd 9 korda rohkem kui lubatud kiiruse korral! **Kahjuks ei püsi see meeles mitte kõigil autojuhtidel.**

Küsimusi ja ülesandeid

1. Kirjelda otse üles visatud palli energia muundumist

- palli liikumisel üles,
- palli kukkumisel viskekohta tagasi.

Selgita, millise jõu töö neid muundumisi põhjustab.

2. Leia, kui suur on 100 g massiga kivi potentsiaalne energia Ontika paekaldal. Kui suureks kasvab kivi kineetiline energia, kukkudes kaldalt alla?

Lisaülesanne. Kui suur on sel hetkel kivi kiirus, kui õhu takistusjõudu mitte arvesse võtta?

6.4. Võimsus

Töötada võib kiiresti ja aeglaselt.

Võimsama mootoriga saab hoo kiiremini sisse.

Võimsam lamp annab rohkem valgust.

1. Ühe ja sama töö saab ära teha lühema või pikema aja jooksul.

Servale: lühem aeg, suurem võimsus.

Võtame näiteks aiamaa külviks ettevalmistamise. Kõigepealt tuleb maa läbi kaevata või künda. Kui maatükk on väike, pole mõtet seal suurt traktorit kasutada. Kuigi ta teeks töö mõne minutiga valmis, pööraks ta manööverdramisel kogu aia segi. Jääb valida: kas väike aiatraktor või hark. Väikese aiatraktoriga kulub tööks umbes tund, käsitsi kaevamisel terve päev. Kui kõvasti rabada, siis saab ehk poole päevaga hakkama, aga siis võtab kaevamine võhka välja. Sest kuigi tööd tuleb teha sama palju ja ka energiat kulub sama palju, on töö palju intensiivsem: iga tunni, minuti ja sekundiga teed rohkem liigutusi. **Jõud**, mida rakendad, ja **tee**, mida käsi ja jalad labida liigutamisel läbivad, on kokkuvõttes samad nii aeglasel kui ka kiirel töötamisel. Ainult aeg on erinev.

2. Ühe ja sama aja jooksul saab teise liiki muundada erineva hulga energiat.

Servale: rohkem lampe, suurem võimsus

Joonis 6.13 Foto: Kolme pirniga laearmatuur

Vaatleme näiteks toavalgustust. Laes on armatuur, milles on kolm ühesugust elektrikipirni. Neist põleb vaid üks lamp. Kui tahad, et toas oleks valgum, vajutad lülile, et põleks kaks või kolm lampi. Sest mida rohkem lampe põleb, seda rohkem valgusenergiat igas sekundis, minutis ja tunnis tuppa kiirgab.

Toodud näited kinnitavad, et vaja oleks mõistat, mis väljendaks ühe ajaühiku jooksul ühest liigist teise muundunud energiahulka või ühe ajaühiku jooksul tehtud töö suurust. Sellisene füüsikaline suurus ongi **võimsus**.

Võimsus on füüsikaline suurus, mis väljendab ühe ajaühiku jooksul tehtud töö suurust või ühe ajaühiku jooksul ühest liigist teise muundunud energiahulka.

Kui 1 sekundiga muundub ühest liigist teise 1 džaul energiat (selleks tuleb teha tööd 1 džaul), siis on võimsus 1 vatt.

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

Ühik vatt jäädvustab tuntud inglise leiduri James Watt'i teeneid aurumasinate tööpõhimõtte väljatöötamisel ja ehitamisel. Kasutusel on ka kordsed ühikud kilovatt ja megavatt.

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 1000\,000 \text{ W} = 10^6 \text{ W}$$

Marko Märtini 2005. aasta võistlusauto Peugeot 307WRC mootori suurim võimsus on 225 kW. See tähendab, et ühe sekundiga suudab see mootor auto liikumisel teha tööd 225 kJ.

Võimsus on märgitud kõigile elektriseadmetele, mootoritele jne. See on vajalik, kuna siis saab arvutada, kui palju energiat kulub seadme töötamisel kindla aja jooksul ja kui palju see maksab.

Näide 1

3 elektripirni, igäüks võimsusega 100 W, põlevad igäüks öhtu jooksul 4 tundi. Kui palju tarbivad need selle aja jooksul elektrienergiat ja kui palju see maksab?

Tähistame võimsuse tähega N .

$$N = 300 \text{ W} = 300 \text{ J/s}$$

$$t = 4 \text{ h} = 4 \cdot 3600 \text{ s} = 14\,400 \text{ s}$$

$$\text{energiakulu} = ? \quad (A = ?)$$

$$\text{maksumus} = ?$$

Arvutame kulutatud elektrienergia hulga.

Kuna 1 sekundiga kulus energiat 300 J, siis

144 000 sekundiga kulus

$$300 \cdot 14\,400 = 4\,320\,000 \text{ džauli energiat.}$$

Näeme näitest, et **energiakulu = võimsus · aeg**, valemiga $A = N \cdot t$.

Kuna vastuseks tuli väga suur arv, on selge, et üks džaul on väike energia.

Aga keegi ei mõõda ju kodus elektriseadmete tööaega sekundites, seda mõõdetakse ikka tundides!

Mõõtes võimsust kilovattides ja aega tundides saame energiaühikuks 1 kWh.

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J.}$$

Meie näites oli energiakulu $4320000 \text{ J} = 4320000 : 3600000 = 432 : 360 = 1,2 \text{ kWh}$.

Kui 1 kWh eest tuleb energiafirmale tasuda 1 kroon, siis kulus meil valgustamiseks 1 kroon ja 20 senti.

Kui on teada tehtud tööhulk ja aeg, siis saab hinnata ka arendatud võimsust.

Näide 2

Maailmas korraldatakse igal aastal selliseid spordivõistlusi, mida saab läbi viia ainult ühes ja samas kohas. Üheks neist on jooks ühe maailma kõrgeima hoone Empire State Building 86. korrusele, kus asub vaateplatvorm. Kiireima naisena on seni mööda treppi 320 meetri kõrgusele jõudnud Belinda Soszyn. Tema aeg oli 12 minutit ja 19 sekundit. Hindame tema keskmist võimsust jooksu ajal.

Lahendus

Trepil üles liikumisel peab tegema tööd selleks, et suurendada oma potentsiaalset energiat. Kõrgusel h on keha potentsiaalne energia $E_p = mgh$. Vaevalt naisjooksja mass 50 kg-st palju erineb. 50 kg toimetamiseks 320 m kõrgusele pidi ta energiat kulutama vähemalt $50 \cdot 10 \cdot 320 = 160\,000$ džauli.

Jooks kestis 12 min 19 s = $12 \cdot 60 + 19 = 739$ s. Kuna võimsus väljendab ühes sekundis kulutatud energiat, jagame 160 000 džauli 739 sekundiga. Saame tulemuseks 216,5 džauli sekundis. Aga $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$. Ümardades vastust kahe tüvenumbrini saame: jooksja keskmiseks võimsuseks $220 \text{ W} = 0,22 \text{ kW}$.

Mõtlemist

1. Kaks võrdse massiga autot alustavad liikumist samal ajal. Üks neist saavutab kiiruse 100 km/h lühema aja jooksul kui teine. Võrdle automootorite võimsust.
2. Kaks võrdse massiga jooksjat läbivad 60 m distantsti võrdse ajaga. Mida võime öelda nende tehtud töö ja arendatud võimsuse kohta?

3. Väklambi võimsus ei tarvitse olla suurem kui tavalisel elektripirnil. Miks aga väklambi valgus erinevalt laualambi valgusest pimestab silmi?
4. Valgusfooris süttib roheline tuli. Millisel juhul võib väikese võimsusega auto saavutada sama sõidukiiruse sama ajaga kui võimsa mootoriga auto?
5. Kui suur on sinu pere või tuttavate auto (mootorratta, traktori jne) mootori maksimaalne võimsus? Mida see tähendab?
6. Milline on kodus kasutatavate elektriseadmete võimsus (lambid, pesumasin, külmkapp jne)? NB! Ära elektriseadmeid nende töötamise ajal uurima hakka.

6.5. Mehaanika kuldreegel ja lihtmehhanismid

Kas töös saab võita?

Kuidas saab võita jõus?

Kuidas saab võita teepikkuses ja kiiruses?

Teame, et energia ei muundu ühest vormist teise iseenesest, selleks tuleb tööd teha. Kui külm hakkab, liiguta ennast. Kui tahad rulasõidust rambil mõnu saada, pead tööd tegema, et hoogu ikka jätkuks. Ülesliikumisel muundub omandatud kineetiline energia potentsiaalseks ja allaveeremisel uuesti kineetiliseks. Kui hõõrdumist poleks, võiksid jäädagi üles-alla sõitma.

Joonis 6.15 Foto: rulasõitja rularajal (tegemisel)

Tööd ei pea muidugi paljaste käte ja jalgadega tegema. Tõukeratta asemele on leiutatud keti ja hammas-ülekandega jalgratas, kaevust saab vee välja **pööra** käepidet ringitades, kivi august välja **kangi** abil, kraanas jooksevad trossid **plokirataste** soontes. **Tungraua** abil võib paaritonnise massiga auto maapinnalt üles kergitada kahe sõrmega. Kõikide nende lihtsate, ilma mootorita abivahendite ühiseks nimetuseks on **lihtmehhanismid**.

Joonis 6.16 Pilte lihtmehhanismidest. Hammasratas, plokk, kang, tungraud, kaevupöör

Servale: mugavus, ohutus, ja võit jõus või kiiruses.

Lihtmehhanismide kasutamisel on tavaliselt rohkem kui üks tagamõte.

Võtame näiteks pudeliavaja.

Joonis 6.17 Foto: pudeli avamine kangavajaga

Selleks, et jook ja temas suure rõhu all lahustunud süsihappegaas pudelist välja ei pääseks, peab kork pudelisuu tihedalt sulgema ja pidama vastu suurele survele, kuna korgi all on rõhk palju suurem kui väline õhurõhk. Kuigi mõned kasutavad pudeli avamiseks hambaid, sõrmust või lauaserva, on avajaga seda **mugavam** ja **ohutum** teha. Kuid ka **kergem** – jõus saab võita!

Uurime pudeliavajat lähemalt.

Joonis 6.18 Joonis: pudeliavaja (on tegemisel)

Servale: toetuspunkt on korgi peal

- Korgi eemaldamiseks tuleb avaja naga korgi ääre alla sättida, et pudelikaelale kokkusurutud korgiosa sealt lahti päästa. Kork tuleb ära, kui vähemalt pool sellest on vaba.
- Selleks, et avaja kallal saaks jõudu rakendada, peab tema vaba otsa kuhugi toetama. Praegusel juhul on **toetuspunkt** korgi peal.
- Pöörates nüüd avajat, saab pudeli väikse pingutusega lahti **kangutada**.

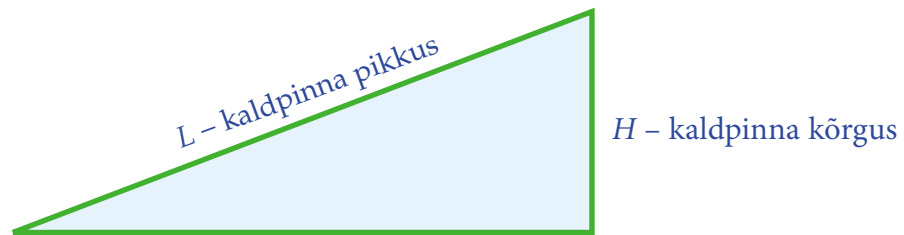
Servale: kang on kangutamiseks

Kirjeldatud pudeliavaja töötab kangina. Seejuures näeme, et käsi, mis avajat liigutab, läbib pikema tee kui kork. Kuid samas rakendame avajale väiksemat jõudu võrreldes jõuga, mis hoiab korki pudelil. Me oleme võitnud küll jõus, aga kaotanud selle eest teepikkuses.

Küllap oled jalgrattaga mäest üles rühkinud ja omal nahal kogenud, et mida järsem on mäenõlv, seda suuremat jõudu pead rakendama. Sama lugu on mäenõlval teistegi liikumiste korral: jooksmisel, kõndimisel ja miks mitte ka kivi veeretamisel.

Asju saab mäe otsa muidugi ka käe otsas tassida. Aga isegi kilplased, kelle teod just mõistupärasusega silma ei torganud, kasutasid kivide veeretamiseks mäenõlva – **kaldpinda**.

Servale: kaldpind, kuhu on kirjutatud: H – kaldpinna kõrgus ja L – kaldpinna pikkus.



Kaldpinna kasutamise eesmärk on ilmne: võita jõus. Tõstmiseks peab kehale rakendama vähemalt Maa külgetõmbejõuga võrdset jõudu, kaldpinnal piisab väiksemast jõust. See-eest tuleb jõudu rakendada pikemal teel.

Kaldpinnana saab vaadelda ka kruvi pinda – see on ju kaldu kruvi liikumise suuna suhtes.

Foto: tõstab autot, keerates tungraua käepidet ühe sõrmega. Kõrvale suures plaanis foto kruvi-tungraua keermest. Kaldu läbib pikema tee, aga jõus võidab tõepoolest

Mõnikord pole aga lihtmehhanismi kasutamise eesmärk võita jõus, vaid töö tegemise kiiruses. Et töötamise kiirust võimsusega iseloomustatakse, siis järelikult on siin eesmärgiks **suurema võimsuse arendamine**.

Võtame lihtsa näite: harjaga põranda pühkimine. Kummargil põranda kohal, lühikese varrega hari peos – ka nii saab. Aga on ebamugav.

Joonis 6.19 või foto: käed pika varrega harja küljes. Hari teeb palju pikema kaare kui seda liigutav käsi

Tolmu kokkulükkamine pole ülejõukäiv tegevus kellelegi. Kuna oma kätt väheke liigutades läbib harja alumine ots mitu korda pikema tee kui käsi, saab selliselt **võita teepikkuses**. Nii **võidame ka kiiruses**, sest sama aja jooksul läbib hari pikema tee kui harjavart hoidev käsi.

Kuna $A = F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$, siis $\frac{F_1}{F_2} = \frac{s_2}{s_1}$.

Kui võidab jõus, kaotad sama arv kordi teepikkuses. Kui võidab teepikkuses, kaotad sama arv korda jõus. Töö on ikka sama suur.

Seda kasulikku tõde tuntakse kui **mehaanika kuldreeglit**.

Kokkuvõte

- Töös võita ei saa.
- Jõus saab võita, kui teed tööd pikemal teel.
- Teepikkuses ja kiiruses saab võita, kui rakendada rohkem jõudu.

Mõtlemist

1. Too näiteid lihtmehhanismide kohta.
2. Nimeta igas toodud näites, mis on lihtmehhanismi kasutamise eesmärk.
3. Mida sa mõistad kangina? Too näiteid kangide kohta oma kodus.

6.6. Lihtsad asjad kangid

Miks Archimedesel Kuu teise kohta tõstmata jäi?

Mis on kang?

Mitut erinevat liiki kange tuntakse?

Servale: andke mulle kang ja ma nihutan Kuu teise kohta

Archimedese kohta, kes sõnastas seaduse üleslükkejõu arvutamiseks, liigub ringi ka järgnev legend. Nimelt lubanud ta Kuu teise kohta tõsta, kui talle nii pikk kang antaks, mis Maalt vähemalt Kuuni ulatub. Õnneks talle keegi appi ei tõtanud.

Nali naljaks, kuid põhimõtteliselt saab ükskõik kui rasket asja lihtsate vahenditega nihutada. Kõige lihtsam oleks seda teha kangi abil. Kangiks sobib mistahes varras, pulk või latt. See peab olema nii tugev, et ta kangutamisel katki ei lähe. Lisaks on vaja tuge, millele kangi toetada.

Küllap oled sa isegi kangi kasutanud, näiteks naela väljatõmbamiseks või pudeli avamiseks.

Kuigi tavaliselt on kangi toetuspunkt mitte kangi keskel, vaid ühele otsale lähemal kui teisele, vaatleme kõigepealt keskelt toetatud kangi.

Joonis 6.20 Foto: kangi keskpunkt asub toe peal (M. Kuurme)

Kui kang on kogu ulatuses ühesuguse ristlõikepindalaga ja samast materjalist, siis jääb ta tasakaalu rõhtasendis. Muidugi jääb ta ka siis tasakaalu, kui mõlemale poole toetuspunkti keskpunktist võrdsele kaugusele võrdsed koormused kinnitada. Aga tasakaalus saab kang olla ka siis, kui koormused on erinevad.

Joonis 6.21 Ema ja laps kiigel. NB! Joonisele on kantud ka jõudude õlad l_1 ja l_2 (tegemisel)

Seletus on lihtne. Mida kaugemal on jõu rakenduspunkt toetuspunktist, seda suurem on selle jõu pöörav toime.

Jõu pöörava toime iseloomustamiseks on vaja **jõu õla** mõistet. Jooniselt on näha, et horisontaalse kangi korral on jõu õlaks kaugus toetuspunktist jõu rakenduspunktini.

Mõõtes nii jõudude kui ka nende õlgade suuruse, saab sõnastada kangi tasakaalutingimuse.

Kang on tasakaalus, kui päripäeva pöörava jõu ja tema õla korrutis võrdub

vastupäeva pöörava jõu ja tema õla korrutisega: $F_1 l_1 = F_2 l_2$

Sama seost saab kirjutada ka suhete abil: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

Kang on tasakaalus, kui temale mõjuvad jõud on pöördvõrdelised jõudude õlgadega.

Seega võib kangiga jõus võita. Kui sinu jõu õlg on kangile mõjuva teise jõu õlast mingi arv korda pikem, võid sa rakendada sama arvu kordi väiksemat jõudu.

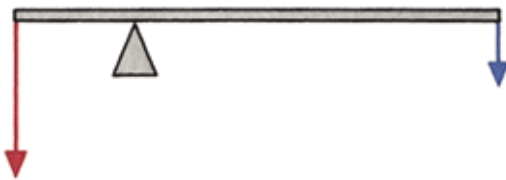
Kuigi enamasti on vaja kangi selleks, et tööd oleks kergem teha (võita jõus), on mõnikord sootuks vastupidine eesmärk – võita teepikkuses. Näiteks harjaga põrandat pühkides.

Vaatleme nüüd kange, mille toetuspunkt on kangi ühele otsale lähemal kui teisele. Olenevalt töötegija eesmärgist kasutatakse kolme liiki kange.

1. liiki kang

Tõstetav koormus on kangi ühe otsa lähedal, jõudu rakendatakse kangi teise otsa lähedalt. Toetuspunkt on kusagil vahepeal.

Seda tüüpi kangid on näiteks kiigelaud, kangkaalud, kaevukook, klaveriklahv, morsevõti, aerud. Kangide paaridena kuuluvad siia ka käärid, lõiketangid jne.



Joonis 6.24. Esimest liiki kangid

2. liiki kang

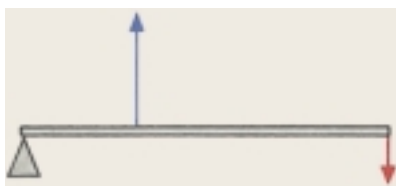
Toetuspunkt on kangi ühe otsa lähedal. Koormus asetatakse kangi toetuspunkti lähedale. Jõudu rakendatakse kangi teise otsa lähedalt. Näiteid: aiakäru, pudeliavaja.



Joonis 6.25. Teist liiki kangid

3. liiki kang

Toetuspunkt asub ühe otsa lähedal, töötegija jõu rakenduspunkt on sama otsa lähedal. Koormus mõjub kangi teisele otsale. Seda tüüpi kangid on näiteks õngeritv, peapalli kurikas, luud, reha, põrandahari, pintsetid.



Joonis 6.26. Kolmandat liiki kangid

Mõtlemist

Too näiteid kõigi kolme liiki kangide kohta. Mis on iga näite korral kangi kasutamise eesmärk, kas võit jõus, võit kiiruses või midagi hoopis muud?

6.7. Plokid

Plokid – ümmargused kangid.

Milleks kasutatakse liikumatut plokki?

Liikuva plokiga saab võita jõus.

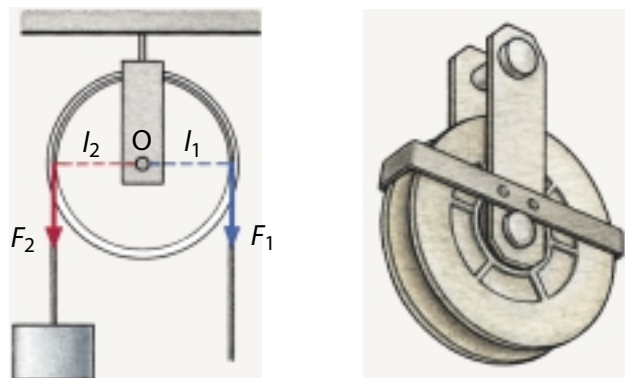
Joonis 6.27. Kraana töötab

Vaatame fotot ja püüame kirjeldada, kuidas kraana koormuse ühest kohast teise tõstetud saab. Koormuse külge kinnitatud konks kinnitub ratta külge, mille servades on sooned (süvikud), milles liigub tross. Ratas pöörleb. Kui koormus ülepoole kerkib, teeb sama ka ratas, mille küljes on konks. Mootor kerib trossi teise otsa jällegi soonilise servaga ratta ümber. See ratas on kraana korpuse küljes ega liigu, kui koormust liigutada. Neid sooniliste servadega rattaid kutsutakse **plokkideks**. Küllap sa juba mõistsid, et plokke on kahte liiki – **liikuvad** ja **liikumatud**. Liikuvad on need, mis koormuse tõstmisel ka ise ülespoole liiguvad, liikumatud aga jäävad paigale. Pöörlevad aga nad mõlemad – nii liikuv kui ka liikumatu plokk. Miks nad pöörlevad? Sest muidu peaks tross ratta soones libisema, aga sel juhul oleks hõõrdejõud suur ja peaks palju suuremat jõudu rakendama.

Vaatleme nüüd mõlemat plokki lähemalt. Alustame liikumatust plokist.

$$l_1 = l_2 = r$$

$$F_1 = F_2$$



Joonis 6.28

Selline plokk on vaadeldav kangina, mis saab pöörelda ümber ratta keskpunkti. Toetuspunktiks on seega ratta keskpunkt. Aga kuidas sa pöörlevale rattale jõudusid rakendad? Selleks tuleb ratta servas olevasse soonde või uurdesse panna tross, nöör või niit, sõltuvalt sellest, kui suurele jõule see vastu peab pidama. Kui pingulolevat trossi ühest otsast tõmmata, paneb trossi ja plokiratta vahel mõjuv hõõrdejõud ratta pöörlema. Seega on ka tross kangi oluliseks osaks.

Aga miks sellist ümmargust kangi vaja on? Kas temaga on kergem asju tõsta? Kergem siiski pole. Sest nii tõmbaja kui tõstetava koormuse poolt mõjuva jõu õlad on võrdsed plokiratta raadiusega. Kuid mugavam ja ohutum on raskeid asju üles vinnata küll. Sest tänu plokile võid nööri sikutada ükskõik mis suunas.

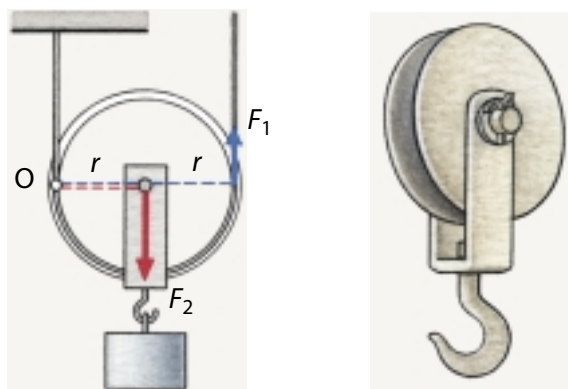
Servale: liikumatu plokiga saab muuta jõu mõjumise suunda

Liikuva plokiga saab aga liigutada ka selliseid asju, mida ilma abivahendita paigast ei nihuta. Selgitame joonise 6.28 abil, kuidas see võimalikuks saab.

$$l_1 = 2r$$

$$l_2 = r$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2} = 2$$



Joonis 6.29

Siin on tõstetav koormus kinnitatud konksu abil plokiratta, mitte nööri külge. Plokiratas toetub nööri peale. Kuna nöör jookseb plokiratta servas oleva soone sees, siis püsib ratas nööri peal, ratta küljes rippuv koormus muudab tasakaalu veelgi püsivamaks.

Jooniselt on näha, et trossi sikutatava jõu rakenduspunkt on punktist O ratta läbimõõdu ehk kahekordse raadiuse kaugusel. Koormuse poolt mõjuva jõu rakenduspunkt asub punktist O ratta raadiuse kaugusel. Miks meid just see punkt O peaks huvitama? Sest nööri parempoolsest otsast tõmmates, ratas justkui veereb vasakpoolse nööri peal. Ja just punkt on O see, kus veereva ratas nöörile toetub. Seega on tõmbaja jõu õlg kaks korda pikem kui koormuse poolt mõjuva jõu õlg. Vastavalt kangi reeglile peab sel juhul jõud F_1 olema kaks korda väiksem kui jõud F_2 . Kahekordne võit jõus ongi käes!

Servale: Liikuv plokk võimaldab võita jõus 2 korda.

Sama tulemuseni võib jõuda ka teisiti. Jooniselt on näha, et plokiratta poolt nõõrile avalduv surve kandub edasi mõlemale nõõri otsale. Kuna vasakpoolne ots on toe külge kinnitatud, siis võtab tugi enda kanda poole kogu nõõrile mõjuvast jõust. Nii tulebki tõstjal liikuvat plokki kasutades rakendada vaid poolt sellest jõust, mida läheb vaja ilma plokita või liikumatu plokiga tõstmisel.

Märkus: Mida raskem on plokk, seda vaiksemaks jääb võit jõus. Sest peale koormuse tuleb ka plokki ennast tõsta.

Mõtlemist

1. Mille poolest erinevad teineteisest liikumatu ja liikuv plokk?
2. Too näiteid liikumatute plokkide kasutamise kohta. Mis on nende kasutamise mõte?
3. Too näiteid liikuvate plokkide kasutamise kohta. Mis on nende kasutamise mõte?
4. Kuidas toimida, kui ühe liikuva ploki abil ei jõua koormust tõsta?