

4. KEHADE VASTASTIKMÕJUD. JÕUD

Arvatavasti oled sa oma elus kogenud, et kõik mõjud on vastastikused. Teiste sõnadega: igale mõjule on olemas vastumõju. Ega füüsikaski teisiti ole. Füüsikas on kehade vastastikuse mõju kirjeldamine lihtsam kui enamikus muudes valdkondades. Siin on võimalik mõju suurust isegi mõõta.

Füüsikaline suurus, mille abil iseloomustatakse kahe keha vastastikmõju tugevust, on **jõud**. Jõu mõiste võttis kasutusele Isaac Newton. Ta sõnastas ka kõige olulisemad seaduspärasused kehade vastastikmõjude kohta. Üks neist seadustest, mis tundub paljudele uskumatu, on kirjas pildi all.



Joonis 4.1. Kui üks keha mõjutab teist, siis see teine keha mõjutab esimest täpselt sama suure, aga vastassuunalise jõuga

Kas sina usud seda?

Fotol kujutatud katses, mis korraldati Tallinnas 26. aprillil 2005, liikus rong kiirusega 40 km/h. Kuigi pärast kokkupõrget hakkas rongijuht kohe pidurdama, läbis rong 86,6 meetrit, auto sahana raudteed „puhastades“.

4.1. Tasakaal

Kuidas kujutada jõudusid joonisel?

Millistel tingimustel on keha tasakaalus?

Vaatleme ühte oma laual olevat eset, näiteks pliiatsit. Jätame seekord tähelepanuta pliiatsi värvuse ja pikkuse. Nimetame seda lihtsalt vaadeldavaks kehaks.



Joonis 4.2. Pliiats laual

Servale: Mis kehad pliiatsit mõjutavad?

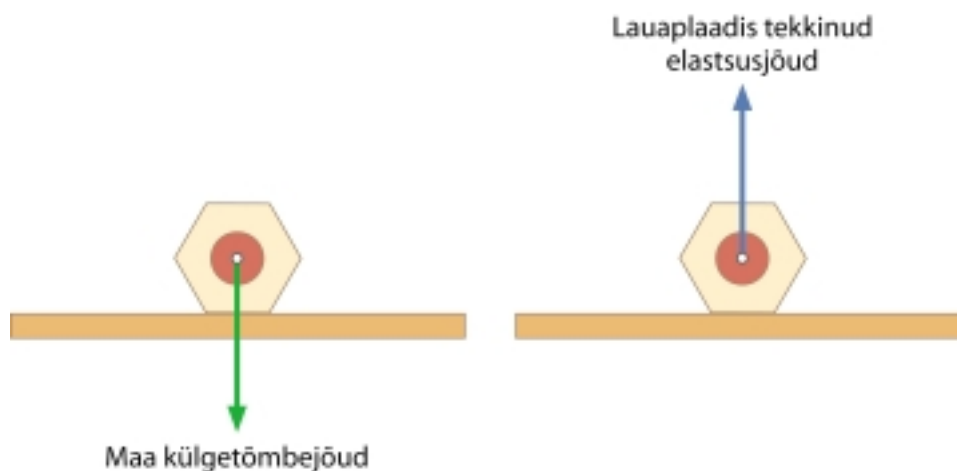
See keha ei ole üksi. Joonisel on küll näha vaid üht mõjutajat – lauaplaati –, kuid ega jõud ei teki vaid kehade kokkupuutumisel. Tõmbab ju maakera enda poole kõiki asju, asugu need kas maapinnal või sellest eemal. Seega mõjub pliiatsile kaks jõudu: Maa külgetõmbejõud ja jõud, mida avaldab pliiatsile lauaplaat.

Servale: Joonisel kujutab jõudu nool

Tuletame meelde, et jõudu kujutatakse joonisel noolega, mille

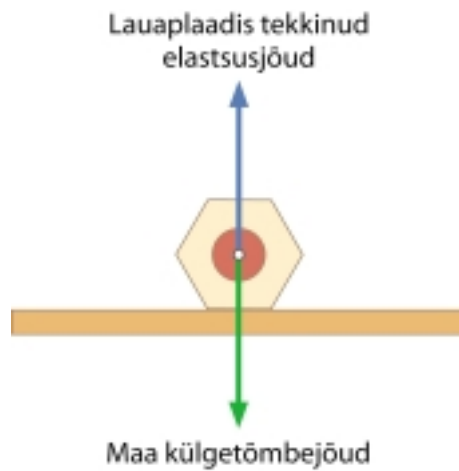
- **suund** näitab, mis suunas jõud mõjub,
- **pikkus** iseloomustab jõu suurust,
- **alguspunkt** on selle keha peal, millele see jõud mõjub.

Kõige rohkem kiputakse eksima jõu alguspunkti valikul. Kuna meie vaatleme pliiatsile mõjuvaid jõudusid, hakkame noolt tõmbama pliiatsilt. Aga mis punktist? Mõistlik on valida selleks vaadeldava **keha keskpunkt**. Kuna pliiatsi mõõtmed meid praegu ei huvita, siis sobib tema mudeliks punktmass. Kujutades mõttes pliiatsit üha väiksemana, jõuame lõpuks pliiatsi keskpunktini ja siit me nooli tõmbama hakkamegi.



Joonis 4.3

Kas need kaks jõudu on võrdsed? Peavad olema, muidu ei jääks pliiats paigale.



Joonis 4.4

Teeme nüüd esimese kokkuvõtte.

Kahe võrdse ja vastassuunalise jõu mõjul keha kiirus ei muutu. Keha on tasakaalus.



Joonis 4.5 Alati polegi tasakaalu saavutamine lihtne

Mis juhtub, kui lauaplaat pliiatsi alt ära tõmmata? Muidugi kukub pliiats maha, tema kiirus hakkab suurenema.

Kui kehale mõjub ainult üks jõud, siis keha kiirus muutub.

Aga mis siis juhtuks, kui keha oleks täiesti üksi? Et oleks üksainus pliiats kogu maailmaruumis! See, mis oleks, sõltub sellest, mis oli. Kui see pliiats oli algselt paigal, siis ta ka jääks paigale. Kui ta aga liikus, siis jääkski ta oma endise kiirusega liikuma. Sest iseenda kiirust muuta ei saa. Kiirus muutub vaid siis, kui kehale mõjub mõni teine keha.

Küsimusi ja ülesandeid

1. Vaata enda ümber ringi ja nimeta kehi, mis on tasakaalus. Millised on teised kehad, mille mõjul vaadeldav keha jääb tasakaalu? Tee joonis ja kanna sinna vaadeldavale kehale mõjuvad jõud.
2. Milliste kehade mõjul püsib lamp laes? Kanna need jõud joonisele.
3. Too näiteid kehade kohta, mis ei ole tasakaalus. Kuidas need kehad liiguvad? Millised kehad põhjustavad nimetatud kehade kiiruse muutumist?

4.2. Mõjud looduses

*Kui palju erinevaid jõudusid on olemas?
Mis on ühist kõigil jõududel?*

Servale? Kui palju jõudusid on üldse olemas?

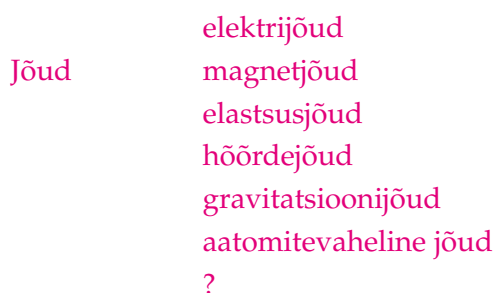
Et loodus on väga mitmekesine, siis võiks arvata, et ka kehadevahelisi jõudusid on palju.

Kuid küsimusele võib ka teisiti läheneda. Võib ju öelda, et looduses on ainult kahte liiki jõudusid: tõmbejõud ja tõukejõud.



7. klassi loodusõpetuses oli aga juttu ka sellistest jõududest nagu elastsusjõud, hõõrdejõud, gravitatsioonijõud ja elektrijõud.

servale



Seega vajab küsimus erinevate jõudude arvust täpsustamist. Sest tunnuseid, mille alusel jõudusid jaotada, on mitu.

Sageli on just siis, kui asi läheb väga keeruliseks, lahendus lihtne. Ka antud juhul on nii. Füüsikud on jõudnud veendumusele, et looduses ei ole rohkem kui 4 liiki vastastikmõjusid.

Gravitatsiooniline vastastikmõju ehk **gravitatsioon** – kõikide maailmaruumi kehade vastastikune tõmbumine

Elektromagnetiline vastastikmõju – elektriliselt laetud kehade ja osakeste vastastikune tõmbumine või tõukumine

Tugev vastastikmõju – aatomituuma koostisse kuuluvate osakeste vastastikune tõmbumine

Nõrk vastastikmõju – toimib osakeste lagunemisel. Näiteks Päikese energia pideva eraldumise tagab just nõrk vastastikmõju.

Mõjude nimetused on muidugi inimeste pandud. *Tugev* viitab sellele, et see mõju on tõepoolest teistest tugevam. Samal ajal *nõrk* ei tähenda sugugi, et see mõjudest kõige nõrgem oleks. Eks see nimepanemine üks maitseasi ole.

Kas kõigil looduses esinevatel jõududel on ka midagi ühist? Kõikide jõudude puhul kehtib reegel: kehade vahekauguse suurenemisel jõud nende vahel nõrgenevad, lähenemisel aga tugevnevad.

Nüüd võib sulle tunduda, et füüsika läheb kole keeruliseks. Ära ehmu. Ega me kogu füüsikat korraga õpi. Panid ehk tähele, et nõrk ja tugev vastastikmõju ilmnevad vaid üliväikeste osakeste „maailmas“. Et kirjeldada füüsikalisi nähtusi, millega me oma igapäevases elus kokku puutume, piisab meile gravitatsioonist ja elektromagnetilisest vastastikmõjust. Just nende kahega me põhikoolis tegeleme.

Servale: Kahest mõjust piisab

Kui sul tekib küsimus, et kuhu jäid raskusjõud, elastsusjõud, hõõrdejõud, siis varu kannatust. Lähematest õppetükkidest leiad vastuse.

Küsimusi ja ülesandeid

1. Seleta lahti, st ütle oma sõnadega, mida tähendab liitsõna *vastastikmõju*.
2. Seleta lahti, st ütle oma sõnadega, mida tähendab sõna *jõud*.
3. Millised kaks vastastikmõju on määravad sinu igapäevastes tegemistes?
4. Too näiteid, mis tõestavad selle peatüki sissejuhatuses pildi alla kirjutatud Newtoni väidet.

4.3. Gravitatsioon

Kes oli Isaac Newton?

Kas kõik asjad tõmbuvad?

Kust tulevad head mõtted?

Esimene füüsik, kellel õnnestus oma eelkäijate ja enda poolt avastatud loodusseaduste abil kirjeldada kogu maailmaruumi, oli Isaac Newton. Ta sündis aastal 1643, selsamal aastal, kui suri Galileo Galilei, kelle teooriaid Newton edasi arendas.



Joonis 4.7 Isaac Newton (1643–1727)

Isaac oli väga osavate kätega ja terane poiss, aga koolis ta teiste hulgas silma ei torganud. Ema võttis ta teismeliseeas isegi koolist ära, lootes, et temast saab tubli põllumees. Poisi huvi ja andekus tõid ta siiski peagi koolpinku tagasi. 18-aastaselt astus ta Cambridge'i ülikooli. Juba aastaks 1669 oli ta sõnastanud oma teaduslikud põhiideed. Tema kuulsad kolm mehaanikaseadust ja ülemaailmne gravitatsiooniseadus said laiemalt tuntuks aastal 1687 ilmunud teoses *Loodusteaduse matemaatilised printsiibid*.

Servale: Ülemaailmne gravitatsiooniseadus

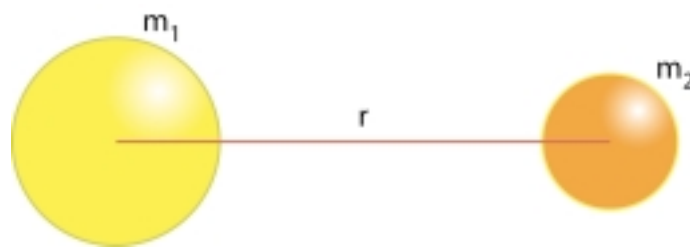
Gravitatsiooniseaduse tuum on väites, et mis tahes kaks keha tõmbuvad teineteise poole. Seejuures on tõmbejõud seda suurem, mida suuremad on nende kehade massid, ja seda väiksem, mida suurem on kehadevaheline kaugus.

Servale: Kuidas tuli Newton selle peale?

Kuigi ülemaailmne tähendab teaduses seda, et mõeldakse kogu universumit, kogu maailmaruumi, toetus Newton oma mõttetöös eelkõige andmetele, mis oli kogutud Kuu liikumise kohta. Polnud ju tol ajal täpseid seadmeid kaugete taevakehade kauguste ega masside mõõtmiseks. Kuid taani astronoom Tycho Brahe (1546–1601) oli teinud mitmekümne aasta jooksul täpseid vaatlusi Kuu liikumise kohta ja otsinud meetodeid taevakehade kauguste mõõtmiseks. Sakslane Johannes Kepler (1571–1630), kes töötas mõned aastad Brahe abilisenä, oli avastanud planeetide liikumise seadused. Juureldes kogutud andmete üle ja kasutades Kepleri seadusi, suutis Newton sõnastada uued ja üldisemad seadused.

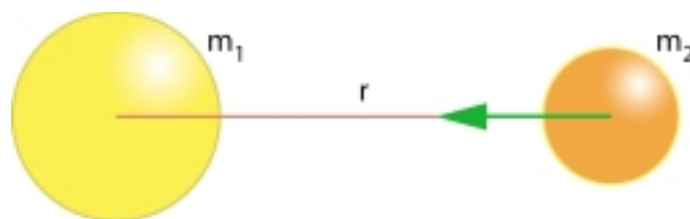
Gravitatsiooniseadust on lihtne rakendada kerakujuliste kehade kohta. Sel juhul mõõdetatakse kehadevahelist kaugust nende keskpunktide vahel. Taevakehad ongi just kerakujulised. Kera on nii tähtede, planeetide kui kuude mudeliks.

Vaatleme kahte taevakeha, mille massid on m_1 ja m_2 ja vahekaugus r .



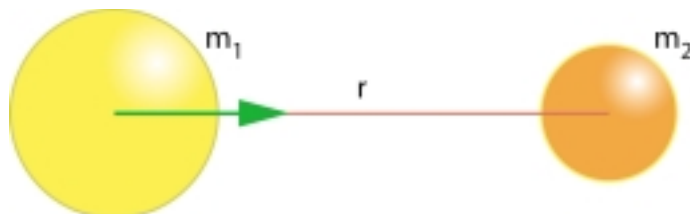
Joonis 4.8

Kanname nüüd joonisele jõud, millega kehad teineteist mõjutavad. Tuletame meelde, et jõul on kolm tunnust: suund, suurus ja rakenduspunkt. Alustame parempoolsest kehast. Talle mõjuva jõu rakenduspunkt on sellesama keha keskpunkt. Tõmbame sealt jõudu kujutava noole. Joonistame ta paraja pikku-sega, sest tegemist ei ole ju konkreetse taevakehaga, vaid ikka mudeliga. Mudelite korral on oluline, et me teeksime kõik põhimõtteliselt õigesti.



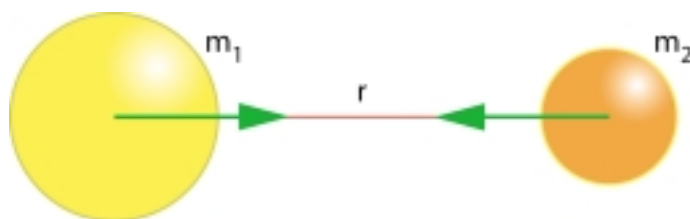
Joonis 4.9a

Kanname joonisel ka jõu, millega teine keha **esimest** mõjutab. See jõud on sama suur, kuid vastupidise suunaga kui teisele kehale mõjuv jõud ja tema **alguspunkt on esimese keha keskpunktis**.



Joonis 4.9b

Kokkuvõttes oleme saanud joonise:



Joonis 4.10

Kas ka sina tõmbad kõiki teisi kehi enda poole?

Otsime küsimusele vastust järgnevast dialoogist Gümnasisti ja Kaheksandiku vahel.

Servale: Dialoog

K. Newtoni gravitatsiooniseaduse põhjal peaksin minagi kõiki kehi enda poole tõmbama! Mul on ju ka mass.

G. Vastus on jaatav. Tegid õige järelduse. Ühe järelduse võiksid veel teha.

K. Kas selle, et kõik teised kehad tõmbavad ka mind enda poole?

G. Just.

K. Aga ma ei saa ju kõikide asjade poole korraga liikuda!

G. Ega sa liigugi. Ja ega teised kehad ka kõik sinu poole liigu. Jõud on küll olemas, aga selle suurus sõltub kehade massidest. Selleks, et gravitatsioonijõud tõepoolest ennast tunda annaks, peab kahest kehast ühe keha mass olema väga-väga suur.

K. Ahaa! Nüüd ma saan aru, miks gravitatsioonijõust just taevakehade puhul räägitakse. Sest taevakehadel on suur mass ja seetõttu ka suur külgetõmbejõud.

G. Oled väga õigesti gravitatsiooniseadusest aru saanud.

Kodune töö

Jätka dialoogi Gümnasisti ja Kaheksandiku vahel. Võiksid arutleda näiteks selle üle, miks Kuu Maa ümber tiirleb ja mitte vastupidi. Või miks õnnestus inimestel alles 1957. aastal esimene Maa tehiskaalane orbiidile lennutada, kuigi rakette tunti ju ammu.

4.4. Raskusjõud ja keha kaal

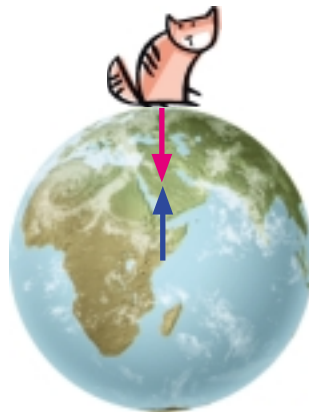
Raskusjõud on Maa külgetõmbejõud.

Keha kaal on ka jõud.

Mille poolest erineb keha kaal raskusjõust?

Paljud arvavad, et **raskusjõud** on keha raskusest põhjustatud jõud. Tegelikult aga pole raskusjõud midagi muud, kui Maa külgetõmbejõud, st gravitatsiooniline tõmbejõud, mida Maa avaldab sellele kehale.

Servale: Raskusjõud = Maa külgetõmbejõud = Maa poolt kehale mõjuv gravitatsioonijõud



Joonis 4.11 Kassile mõjuv Maa külgetõmbejõud = Maale mõjuv kassi külgetõmbejõud

Et näha, mis siin segadust võib tekitada, jälgime Gümnaasisti ja Kaheksandiku vestlust.

G. Kas koer maakera ka tõmbab?

K. Peaks tõmbama kiüll, sest mõju on alati vastastikune. Ometi on raske uskuda, et koer maakera sama suure jõuga tõmbab kui maakera koera. Aga arvan, et ikka on kiüll sama suur.

G. Õige. Newton teadis seda juba 300 aastat tagasi. Niisiis saab selle olukorra ära seletada gravitatsiooniseaduse järgi. Raskusjõu mõistet poleks vajaagi. Aga mis seal salata: kui koeraomanik oma lemmiku sülle võtab, peab ta teda tõstma vähemalt sama suure jõuga, kui Maa koera enda poole tõmbab. Niisiis on kahest jõust temale tõepoolest tähtsam üks. Nii et olgu sel jõul oma nimetus – raskusjõud.

Aga läheme nüüd edasi. Koer toetub ju jalgadega maapinnale. Mis jõud see on, millega ta pinnasele mõjub?

K. Tahaksin vastata, et raskusjõud. Suur ja raske koer ju mõjub maapinnale suurema jõuga kui väike. Aga sain just teda, et raskusjõu all tuleb antud juhul mõista koerale Maa poolt mõjuvat jõudu. Olen segaduses.

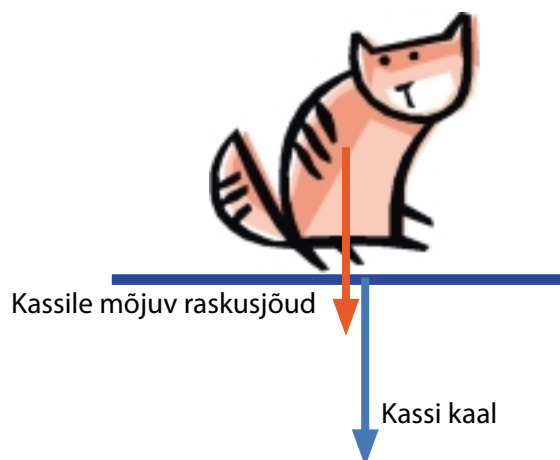
G. Pole viga. Füüsikutele on ammuilma olemas hea mõiste – **keha kaal**.

Keha kaaluks nimetatakse jõudu, millega keha tuge mõjutab.

K. Ja kuna koer toetub maapinnale, siis järelikult mõjub maapinnale koera kaal. Loogiline. Sest kui sa ennast kaalud, astud ju ka kaalu peale. Aga kas kaal pole mitte võrdne raskusjõuga?

Joonis 4.12. Inimene mõõdab oma kaalu kaalu peal seistes (olemas)

G. Ilus mõttekäik. Enamasti on nad tõesti võrdsed. Kuid üks tunnus on raskusjõul ja kaalul alati erinev – jõu rakenduspunkt.



Joonis 4.13. Raskusjõud mõjub kassile, kassi kaal alusele

K. Kas ikka on mõtet asja nii keeruliseks ajada – kaal ja raskusjõud on ju võrdsed!

G. Kas nad ikka alati on võrdsed? Kui sa kaalu peal hüppad, ega siis osuti ühe koha peal püsi.

K. Siin ma panin mööda jah. Kui ma end üles tõukan, näitab osuti kaalu suurenemist. Sel ajal, kui ma õhus olen, ei näita kaal midagi. Kas mu kaal on siis võrdne nulliga?

G. Täpselt nii. Kui sa näiteks kõrgust hüppad, siis oled sa kaaluta olekus nii nagu kosmonaudid. Kui sa maandud, siis sa rõhud jälle maapinnale, seega su kaal on jälle olemas. Ja loomulikult rõhud sa maapinnale langemise hetkel maapinda suurema jõuga kui paigal seistes. Kas sinu kaal siis on muutumatu?



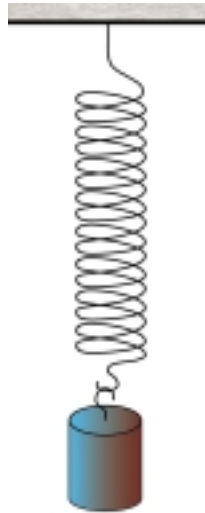
Joonis 4.14. Kaugushüppaja on lennu ajal kaaluta olekus

K. Kaal muutub tõesti. Aga Maa külgetõmbejõud ehk raskusjõud jääb ju samaks. Nii et on ikka kahte mõistet vaja küll.

Servale: Katse raskusjõu ja keha kaalu eristamiseks

Katse

Riputa metallsilinder vedrudünamomeetri otsa.



Joonis 4.15

Uuri, kuidas muutub vedru pikkus, kui dünamomeetrit

- tõsta ühtlaselt ülespoole,
- lasta ühtlaselt allapoole,
- liigutada vasakule-paremale,
- tõsta järsult ülespoole,
- lasta järsult langeda,
- lasta koos koormusega vabalt langeda.

Abiks järelduste tegemisel

Mis oli esimesel kolmel juhul ühist?

Millisel juhul on keha kaal raskusjõuga võrdne?

Millisel juhul on keha kaal raskusjõust suurem?

Millisel juhul on keha kaal raskusjõust väiksem?

Millisel juhul keha kaal kaob?

Lisaküsimus

Miks on ümber Maa tiirutavas kosmoselaevas kõik asjad (ka kosmonaut) kaaluta olekus? Vastuse leiad näiteks Horisoni artiklist *Kuidas end kosmosesõidukis puhtaks pesta?*

4.5. Keha mass

Massil on kaks tähendust.

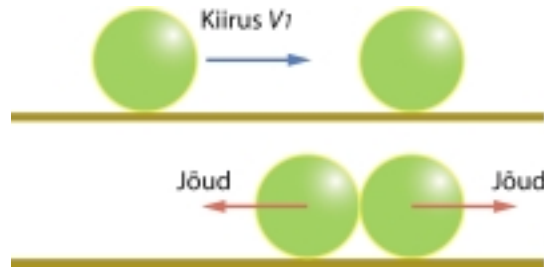
Kuidas massi mõõta?

Seame nüüd endale ülesandeks luua selgus kolme mõiste osas: raskusjõud, keha kaal ja keha mass.

Massil on füüsikas kaks tähendust. Selgituseks teeme kaks katset.

Katse 1

Asetame tasasele alusele kaks metallkuuli. Lükkame ühe neist veerema



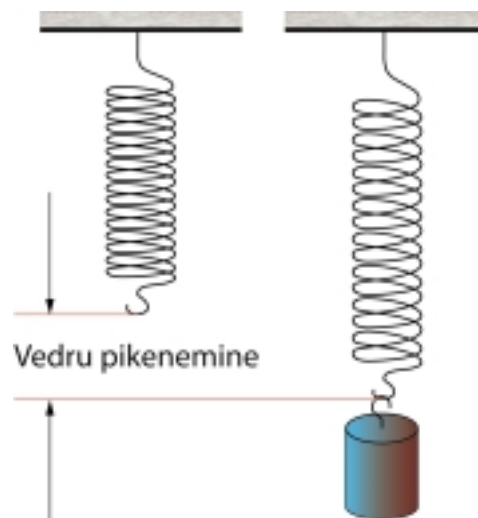
Joonis 4.16. Kokkupõrkel muutub mõlema keha kiirus. Jõud, millega kokkupõrkavad kehad teineteist mõjutavad, on võrdsed ja vastassuunalised

Kahest kokkupõrkavast kehas muutub rohkem selle keha kiirus, mille mass on väiksem. Niisiis määrab mass siin kiiruse muutumise.

Mida suurem on keha mass, seda vähem muutub keha kiirus sama aja jooksul.

Katse 2

Riputame vedru otsa erineva massiga koormusi ja uurime, kuidas muutub vedru pikkus.



Joonis 4.17

Selles katses väljendub massi teine tähendus: mida suurem on keha mass, seda raskem ta on, seda suurema jõuga ta tuge (antud juhul vedru) mõjutab. Muidugi venitab ta vedru ainult seetõttu, et Maa teda enda poole tõmbab, st et talle mõjub raskusjõud. Siit saab teha järelduse.

Mida suurem on keha mass, seda suurem on talle mõjuv raskusjõud.

Servale: mass ja kaal

Tavaelus kasutatakse massi mõistet harva. Selle asemel öeldakse lihtsalt kaal. Kui sinu käest küsitakse, kui palju sa kaalud ja sa vastad, et 60 kg, siis tegelikult nimetad sa oma massi. Sest just **massi mõõdetakse kilogrammides**.

Raskusjõudu, nii nagu iga teist **jõudu, mõõdetakse aga njuutonites.**

Sa tead, et kehale mõjuv raskusjõud on seda suurem, mida suurem on keha mass.

Matemaatiliselt tähendab see, et **kehale mõjuv raskusjõud on võrdeline keha massiga.**

Teades Maa massi ja raadiust, võib gravitatsiooniseaduse abil arvutada, kui suure jõuga maakera tõmbab tema pinnal olevaid kehasid. Ühekilogrammise massiga keha raskusjõud on umbes 10 njuutonit, täpsemalt 9,8 N. Ka katsed kinnitavad seda.

Kuidas seda teadmist lühemalt kirja panna?

Esiteks võib seda väljendada **lausega.**

1 kg massiga kehale mõjub raskusjõud 9,8 N

2 kg massiga kehale mõjub raskusjõud $2 \cdot 9,8 \text{ N} = 19,6 \text{ N}$

3 kg massiga kehale mõjub raskusjõud $3 \cdot 9,8 \text{ N} = 29,4 \text{ N}$

10 kg massiga kehale mõjub raskusjõud $10 \cdot 9,8 \text{ N} = 98 \text{ N}$

m kg massiga kehale mõjub raskusjõud $m \cdot 9,8 \text{ N} = 9,8m \text{ N}$

Teiseks võib selle teadmise vormistada **tabeli** kujul.

Keha mass	Tehe raskujõu leidmiseks	Raskusjõud
1 kg	$1 \cdot 9,8 \text{ N}$	9,8 N
2 kg	$2 \cdot 9,8 \text{ N}$	19,6 N
3 kg	$3 \cdot 9,8 \text{ N}$	29,4 N
10 kg	$10 \cdot 9,8 \text{ N}$	98 N
m kg	$m \cdot 9,8 \text{ N}$	9,8m N

Kolmandaks võib selle üles kirjutada **valemina.**

Lepime kokku, et lause **1 kg massiga kehale mõjub raskusjõud 9,8 N**, kirjutame üles kujul $g = 9,8 \text{ N/kg}$.

Sel juhul saab raskusjõu arvutamiseks kasutada valemit:

$F = mg$, kus F – kehale mõjuv raskusjõud **njuutonites**

m – keha mass **kilogrammides**

$g = 9,8 \text{ N/kg}$

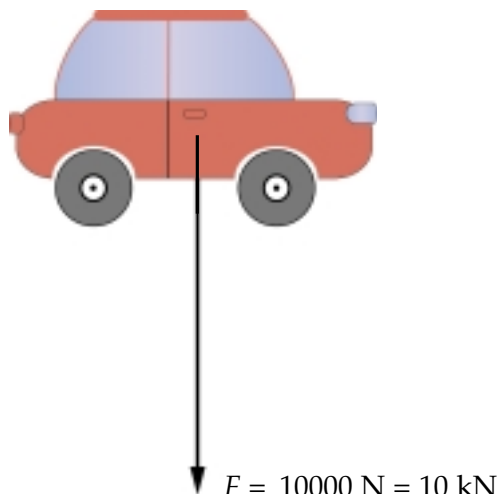
Näide

Leia, kui suure jõuga tõmbab Maa sõiduauto massiga 1 tonn. Kujuta see jõud joonisel.

$m = 1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$		$F = mg$
$g = 9,8 \text{ N/kg}$		
<hr/>		
$F = ?$		

Jõu kujutamiseks joonisel valime sobiva mõõtkava. Meie ülesande jaoks on paras mõõtkava, kus vihiku ühe ruudu pikkusele vastab jõud 1000 N.

Kuna 9800 N on ligikaudu 10000 N, siis kanname joonisele 10 ruudu pikkuse noole, mille alguspunkt on autol.



Küsimusi ja ülesandeid

- Võrdle kokkupõrkuvate kehade kiiruste muutusi, kui
 - nende massid on võrdsed
 - esimese keha mass on suurem kui teise keha mass
 - teise keha mass on suurem kui esimese keha mass
- Miks on korvpallimängus suure massiga kaitsjast raske läbi murda?
- Juhtub liiklusõnnetus ja kokku põrkavad kaks autot. Kuidas sõltub kahjustuste suurus autode massist?
- Arvuta sulle mõjuv raskujõud ja kujuta seda joonisel

Lisalugemist

Massi tähtsusest taevatähtede arengus

Nii nagu inimestega, toimub ka tähtedega pidevalt muutusi. Ka tähed sünnivad, elavad ja surevad. Kuna nende massid on hiiglasuured (Päikese mass on Maa massist 330 tuhat korda suurem), on nendega toimuvad muutused väga aeglased.

Päike kuulub tähesüsteemi, mida kutsutakse Linnutee galaktikaks või lihtsalt Galaktikaks.

Linnutee galaktika kogumass on umbes 100 miljardit Päikese massi. Enamiku sellest moodustavad tähed, kuid mõne protsendi ka tähtedevaheline molekulaarne gaas. Sellise gaasi mass on seega umbes üks miljard (10^9) korda suurem Päikese massist. Igal aastal tekib sellest umbes kolme Päikese massi jagu uusi tähti. Päike on tekkinud umbes 5 miljardi aasta eest ja on jõudnud oma keskikka. Ta peaks särama veel umbes 5 miljardit aastat, enne kui temaga suuremad muutused toimuma hakkavad hakkavad.

Astronoomide uurimiste kohaselt sõltub tähe edasine käekäik tema massist (vt tabelit).

Tähe mass võrreldes Päikese massiga	Mis tähest saab	Kui suur on tekkinud uue objekti läbimõõt	Uue objekti kiirgusvõime
Alla 1,4 Päikese massi	Valge kääbustäht	Võrreldav planeediga (mõni tuhat kilomeetrit)	10 kuni 20000 korda Päikesest nõrgem
1,4 kuni 3 Päikese massi	Neutronitäht	Mõnikümmend kilomeetrit	Kiirgavad põhiliselt nähtamatut kiirgust (röntgen- ja gammakiirgus)
Üle 3 Päikese massi	Must auk	Mõni kilomeeter	Tugeva gravitatsiooni tõttu ei pääse valgus neist välja

4.6. Aine tihedus

Tiheda vastand on hõre.

Tihedus iseloomustab ühe ruumalaühiku massi.

Kui tihe võib aine olla?

Küllap oled olnud olukorras, kus peab asjad võimalikult tihedalt ära pakkima. Keerad telgi tihedalt rulli või paigutab bussijuht pagasit – ikka nii, et vahed oleksid võimalikult väiksed, et asjad võtaksid võimalikult vähe ruumi. Niisiis viitab sõna tihe viitab sellele, et esemed paiknevad lähestikku, nende vahel on vähe vaba ruumi. Tiheda vastandiks on hõre. Ega füüsikaski vastupidi ole.

Joonis 4.20. Vees paiknevad molekulid tihedamalt kui jääs, veeaurus veelgi hõredamalt (tegemisel)

Joonise põhjal võib teha õige järelduse, et jää tihedus on väiksem kui vee tihedus, aga suurem kui veeauru tihedus. Jäätumisel asetuvad vee molekulid kenasti rivisse, aurumisel aga lendavad laiali. Mõlemal juhul suurenevad kaugused molekulide vahel - paigutus hõreneb, tihedus väheneb. Kui aga tahaksime võrrelda **aine tihedust** erineva koostisega ainetel, siis tuleks arvestada ka osakeste massi.

Aine tihedus on füüsikaline suurus, mis näitab, kui suur on antud aine ühe ruumalaühiku mass.

Teades keha massi ja ruumala, saame leida keha ühe ruumalaühiku massi, kui jagada mass ruumalaga.

Servale: Aine tihedus = keha mass : keha ruumala

Valemina näeb seos tiheduse leidmiseks välja nii:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ kus } m \text{ tähistab keha massi, } V \text{ keha ruumala ja } \rho \text{ (loe: roo) aine tihedust.}$$

Kui suur on erinevate ainete tihedus?

On teada, et ühe kuupsentimeetri vee mass on 1 gramm. Seega on vee tihedus üks gramm kuupsentimeetri kohta ehk $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$. Leiame nüüd, kui suur on ühe liitri vee mass.

Kuna $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$ ja $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$, siis $\rho = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ kg/l}$. Seega on ühe liitri vee mass 1 kg.

Ühe kuupmeetri õhu mass on toatemperatuuril umbes 1,3 kg. Seega on õhu keskmine tihedus $1,3 \text{ kg/m}^3 = 1,3 \text{ kg}/1000 \text{ dm}^3 = 0,0013 \text{ kg/dm}^3 = 0,0013 \text{ g/cm}^3$.

1 liitri bensiini mass on umbes 700 g. Seega on tema tihedus ligikaudu $0,7 \text{ kg/l} = 0,7 \text{ g/cm}^3$.

Ühe kuupmeetri vase mass on 8,9 tonni. Seega on tema tihedus $8,9 \text{ t/m}^3 = 8,9 \text{ kg/m}^3 = 8,9 \text{ g/cm}^3$.

Milline võiks olla kõige suurema tihedusega keha looduses?

Ehk sobiks selleks aatomituum? Teame, et enamuse aatomi massist on koondunud just selle tuuma.

Aatomituuma tihedus on tõesti tohutu suur – umbes 10^{14} g/cm^3 .

Kuidas on aga Päikese ja Maa tihedusega? Otsusta ise: Maa keskmine tihedus on $5,5 \text{ g/cm}^3$, Päikese keskmine tihedus $1,4 \text{ g/cm}^3$. Polegi midagi erilist.

Kõige suuremat ja kõige väiksemat aine tihedust tuleb siiski otsida maailmaruumi avarustest. Näiteks neutrontähe tihedus $3 \cdot 10^{14} \text{ g/cm}^3$ ületab isegi aatomituuma tiheduse.

Ettekujutuse saamiseks, kuivõrd suur on see tihedus, lisame siia ühe arvutuse.

Maailmas elab umbes 6 miljardit ehk $6 \cdot 10^9$ inimest. Kui võtta ühe inimese keskmiseks massiks $50 \text{ kg} = 5 \cdot 10^4 \text{ g}$, saame inimkonna massiks $3 \cdot 10^{14} \text{ g}$. Sama arv iseloomustab ka neutrontähe tihedust. Kujuta nüüd ette, et kogu inimkond elaks ühes kuupsentimeetris! Neutronid peavad üksteisega ikka väga suured sõbrad olema.

Tähtedevaheline ruum on aga seevastu nii hõre, et selle keskmine tihedus on ainult 10^{-17} g/cm^3 . Galaktikatevahelise ruumi tihedus on veelgi väiksem, suurusjärgus 10^{-23} g/cm^3 .

Servale: NB! Pane tähele

NB! Valemist $\rho = m/V$ võib välja lugeda, just kui aine tihedus sõltuks keha mõõtmetest ja massist. Kas pole siis nii, et näiteks murru nimetaja V suurendamisel murru väärtus, st tihedus, väheneb? Muutumatu temperatuuril ja rõhul sõltub aine tihedus siiski vaid selle koostisest ja on antud aine jaoks üks kindel suurus. Mida suurem on antud ainest keha ruumala, seda suurem on ka sellest ainest keha mass. Näiteks on 3 liitri vee mass 3 kg, 10 liitri vee mass aga 10 kg. Massi ja ruumala jagatis jääb ikka samaks, ükskõik kui suure koguse vett me ka ei võtaks.

Siiski võib ühe ja sama aine tihedus ka muutuda. Näiteks soojendamisel või jahutamisel. Vaatleme seejuures kahte olukorda.

1. Aine olek muutub.

Näite vee kolme oleku kohta arutasime juba läbi. Leidsime, et aine oleku muutumisel tihedus muutub.

2. Aine olek jääb samaks, muutub temperatuur

Sel juhul tasub meenutada, et soojenemisel aineosakeste kiiruse suureneb. Suurema hooga liikudes eemalduvad nad üksteisest üha kaugemale, mistõttu ruumala suureneb. Aga ruumala suurenemisel tihedus väheneb.

Seega ühes ja samas olekus sõltub aine tihedus temperatuurist.

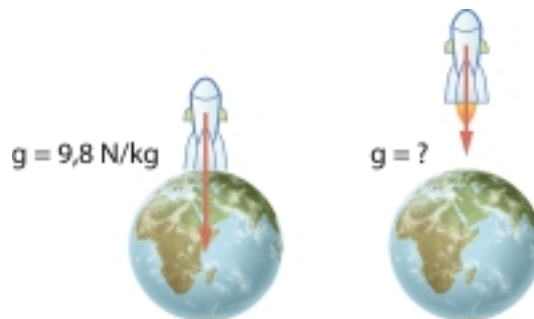
Ülesanded

1. Kui suur on ühe kuupmeetri vee mass kilogrammides ja tonnides?
2. Kas õhk muutub soojenemisel hõredamaks või tihedamaks? Kuidas muutub seejuures õhu tihedus?
3. Võrdle vee tihedust teiste vedelike tihedustega?
4. Tuleta meelde vee soojusupaisumise iseärasust. Millisel temperatuuril on vesi kõige tihedam?
5. Kumma tihedus on suurem – suhkrul või jahul? Kontrolli oma arvamust kaalumisega.
6. Mitu korda on maailmaruumis neutontähe tihedus suurem väikseimast tihedusest maailmaruumis?

4.7. Raskusjõud maakerast eemal

Suurus g iseloomustab taevakeha gravitatsiooni tugevust.
Kuidas muutub Maa külgetõmbejõud Maast eemaldumisel?
Millest sõltub teguri g väärtus?

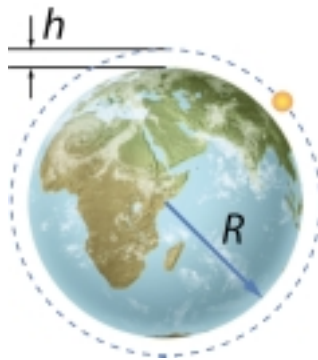
Pöördume taas raskusjõu juurde tagasi. Suurust $g = 9,8 \text{ N/kg}$ võib vaadelda kui Maa gravitatsiooni tugevust. Tõepoolest – ükskõik millise keha ühte kilogrammi tõmbab Maa jõuga 9,8 N. Kuu näiteks tõmbab tema pinnal olevat 1 kg massiga keha vaid 1,6 N suuruse jõuga. Sest Kuu pinnal $g = 1,6 \text{ N/kg}$. Seega on Kuu on umbes 6 korda nõrgem tõmbaja kui Maa. Aga nii nagu iga teinegi jõud, väheneb ka gravitatsioonijõud kehadevahelise kauguse suurenemisel. Kuna keha massil on kindel väärtus, on gravitatsioonijõu $F = mg$ vähenemise põhjuseks teguri g muutumine.



Joonis 4.21. Raskusjõud peaks sõltuma kaugusest

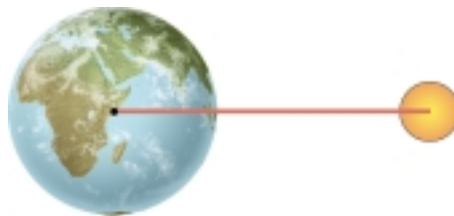
Õiged eeldused võivad aga mõnikord viia ekslike järeldusteni, kui mõnda neist alahinnata. Võib tunduda, et kuna ümber Maa tiirleva kosmoselaeva kaugus Maast on suur, siis mõjub kosmoselaevale ja kõikidele selles olijatele Maa poolt nii väike tõmbejõud, et seda pole üldse tunda. Vaatame, kas see ikka on nii.

Kosmoselaevad tiirlevad Maa ümber tavaliselt mõnesaja kilomeetri kõrgusel maapinnast. Näiteks kosmoseteleskoop Hubble asub maapinnast 600 km kõrgusel. Maa raadius on aga umbes 6400 km.



Joonis 4.22. Kuigi 600 km on suur vahemaa, on see Maa raadiusest üle 10 korra väiksem

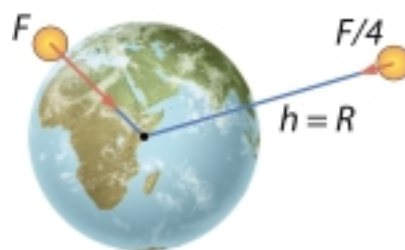
Et võrrelda ümber Maa tiirlevale kehale mõjuvat raskusjõudu orbiidil ja maapinnal, kasutame gravitatsiooniseadust. Seadus ütleb, et jõud on pöördvõrdeline kehadevahelise kauguse ruuduga. Aga kuskohast hakata kaugust lugema? Maapinnalt või Maa keskpunktist? Newton ütles, et **keskpunktist**.



Joonis 4.23. Kaugust arvestatakse Maa keskpunktist

Leiame, kui palju muutub Maa külgetõmbejõud, kui minna maapinnalt kõrgusele, mis võrdub Maa raadiusega.

Tähistame kõrguse maapinnast tähega h ja Maa raadiuse tähega R . Kuna kaugusi arvestatakse maakera keskpunktist, siis on kaugus Maa keskpunktist maapinnal R , raadiuse kõrgusel maapinnast aga $2R$, seega 2 korda suurem. Kuna jõud on pöördvõrdeline kauguse ruuduga, siis **kauguse suurenemisel 2 kordseks väheneb jõud $2^2 = 4$ korda**.



Joonis 4.24 Kõrgusel 6400 km maapinnast on raskusjõud 4 korda nõrgem kui maapinnal

See tähendab, et 6400 km kõrgusel maapinnast mõjub kehale 4 korda väiksem jõud kui maapinnal. 600 km (sellisel kõrgusel tiirleb kosmoseteleskoop Hubble) on aga ainult üks kümnendik Maa raadiusest. Kui suur on jõud seal?

Vaatleme tabelit, kus on näha g väärtusi erinevatel kõrgustel maapinnast.

Kõrgus maapinnast	g väärtus sellel kõrgusel N/kg
0 km (maapinnal)	9,8
100 km	9,5
200 km	9,3
300 km	8,9
600 km	8,1
1000 km	7,3
2000 km	5,7
3000 km	4,5
4000 km	3,7
10000 km	1,5
20000 km	0,6

Tabelist on näha, et 600 km kõrgusel $g = 8,1 \text{ N/kg}$, mis moodustab g väärtusest maapinnal umbes $4/5$. See tähendab, et sellel kõrgusel on raskusjõud vähenenud vaid 20% võrra.

Järeldus:

Maapinna läheduses, kuni mitmesaja kilomeetri kaugusele maapinnast, võib kehale mõjuvat raskusjõudu pidada sama suureks kui maapinnal.

4.8. Elastsusjõud kui üks elektromagnetjõududest

Mängu astub laetud osakeste vaheline mõju.

Aineosakeste vahelise tõmbe- ja tõukejõu muutumise kirjeldamine.

Miks pall põrkub?

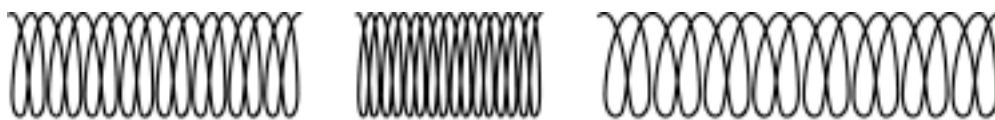
Eespool oli juttu sellest, et kõik meie igapäevastes tegemistes olulised mõjud on kas gravitatsioonilised või elektromagnetilised. Õigem oleks öelda, et peale raskusjõu on kõik jõud, millega me oma elus kokku puutume, elektromagnetilised. See võib tunduda võõrastav, isegi uskumatu. Ometi on see nii. Samas ei tähenda see, et elastsusjõu või hõõrdejõuga kaasneb elektrilöök. Asi on lihtsalt selles, et lisaks gravitatsioonile esineb aineosakeste ja kehade vahel veel üks teine mõju, mida hakati nimetama elektromagnetiliseks. Ja kuna see mõju on laenguga osakeste korral gravitatsioonist palju kordi tugevam, siis ongi tal meie elus nii tähtis roll.

Üksikasjalikumalt käsitleme elektrilisi jõudusid 9. klassis. Elastsus- ja hõõrdejõu tekkepõhjuste mõistmiseks piisab, kui teame järgmist.

- Kuigi aatomid on tervikuna neutraalsed, on nende koostises elektriliselt laetud osakesi.
- Erimärgiliste laengutega osakesed tõmbuvad.
- Samamärgiliste laengutega osakesed tõukuvad.
- Kauguse suuremisel kõik jõud nõrgenevad ja kauguse vähenemisel tugevnevad.
- Tõukejõud muutuvad kauguse muutumisel rohkem kui tõmbejõud.

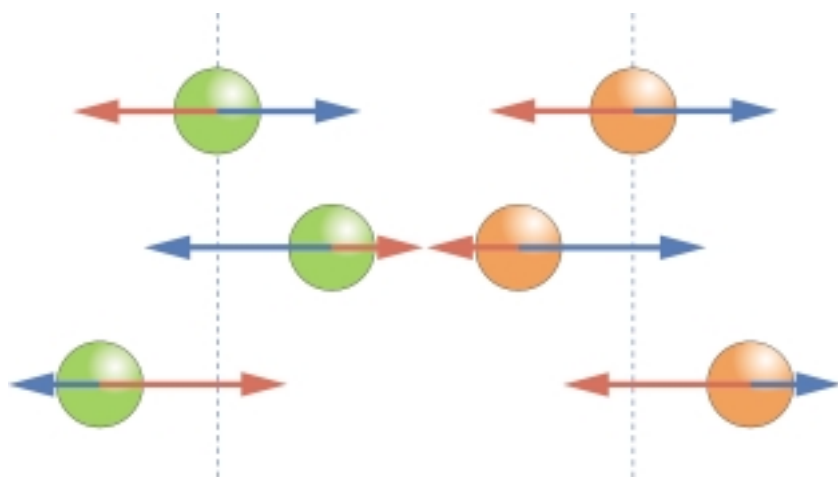
Sellest loetelust 4 esimest väidet peaksid sulle tuttavad olema. Viimase teoreetiline põhjendamine on küllaltki keeruline. Kuid katsed kinnitavad, et see tõepoolest nii on.

Kui suruda vedru kokku, vähenevad kaugused osakeste vahel ja vedru keerud püüavad tõukuda üksteisest eemale. Kui aga vedru venitada, siis kaugused osakeste vahel suurenevad ja vedru keerud tõmbuvad üksteise poole. Mõlemal juhul tekib vedrus jõud, mis püüab taastada vedru esialgset kuju. See ongi **elastsusjõud**.



Joonis 4.25. Vedru kolmes asendis: venitamata olekus, kukkusurutud olekus ja väljavenitatud olekus

Aineosakeste vahelise vastastikmõju selgitamiseks uurime joonist.



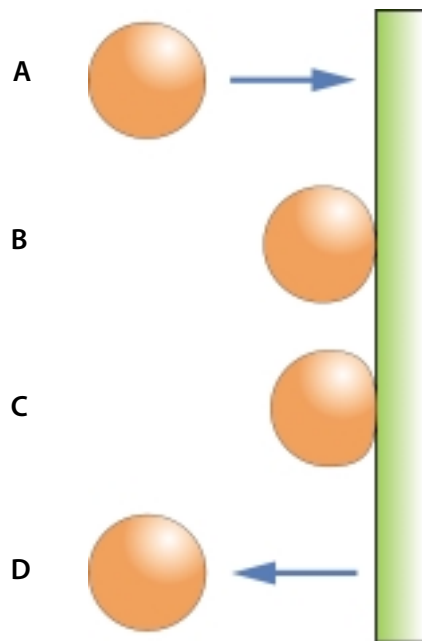
- Osakesed on parajasti sellisel kaugusel, et tõmbejõud ja tõukejõud on omavahel võrdsed. See on tasakaaluasend.
- Osakesed on viidud üksteisele lähemale, kui nad on tasakaaluasendis. Tõukejõud on suurem kui tõmbejõud. Seetõttu osakesed tõukuvad.
- Osakesed on üksteisest kaugemal, kui nad on tasakaaluasendis. Tõmbejõud on suurem kui tõukejõud. Seetõttu osakesed tõmbuvad.

Joonis 4.26. Aineosakeste vaheline vastastikmõju

Kokkuvõttes võime öelda, et elastsusjõud on seletatav aineosakeste vaheliste tõmbe- ja tõukejõudude kaudu.

Servale: Miks tekib kehas elastsusjõud?

Analüüsime selle põhjal näidet palli põrkamisest vastu seinale.



Joonis 4.27

Servale Miks pall tagasi pörkub?

Jälgime samm-sammult palliga toimuvaid muutusi.

A: Seinale läheneva palli elastse kesta sees on tugevasti kokkusurutud õhk. Õhuosakeste vahelised tõukejõud on seal suuremad kui tõmbejõud ning õhk surub palli kesta pingule.

B: Muutused algavad, kui palli pind puudutab seinale. See osa pallist, mis on kokkupuutes seinaga, enam edasi liikuda ei saa, ülejäänud osal pallist on veel hoog sees ja see jätkab liikumist. Pall hakkab lapikuks muutuma.

C: Pall muutub lapikuks ja selle ruumala kahaneb. Õhuosakeste vahelised kaugused pallis vähenevad ja nende vahel mõjuvad tõukejõud suurenevad. Kui pall on tervikuna peatunud, on tõukejõud kõige suuremad. Pallis tekkinud väga suur elastsusjõud avaldab palli kesta kaudu tugevat survet seinale. Seinas tekib samuti elastsusjõud, mis lükkabki palli tagasi.

D: Kui pall eemaldub, annavad pallis olevad õhuosakesed pallile jälle esialgse kuju ja ta liigub enam-vähem sama kiirusega tagasi, kui seinale lähenemisel.

Mis on siis elastsusjõu tekkimise põhjuseks? Võime öelda, et palli kuju muutumine. Selle tulemusel muutub aineosakeste vastastikune asend, mis põhjustab omakorda osakestevaheliste jõudude muutumise.

Palli kuju taastus küll pallis olevate aineosakeste mõjul, aga palli tagasipöörkumise põhjustas seinas tekkinud elastsusjõud. Sest pall surus ka seinale aineosakesi üksteisele lähemale, mille tulemusel tekkis seinas elastsusjõud.

Küsimusi ja ülesandeid

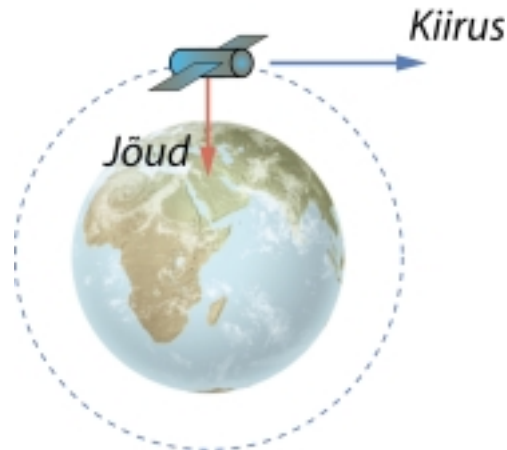
- Selgita aineosakeste vastastikmõju kaudu, miks vedru kokkusurumisel või venitamisel vedru kuju taastub
- Lase pall põrandale kukkuda ja püüa see pärast põrget uuesti kinni. Selgita palli liikumist lahtilaskmisest kuni kinnipüüdmiseni, kasutades mõisteid „raskusjõud” ja „elastsusjõud”.

4.9. Raskus- ja elastsusjõud

Kosmoselaev kukub kogu aeg Maast mööda.

Mitu võimalust on selleks, et midagi kuhugi panna?

Proovi nimetada olukordi, kus sulle mõjub ainult üks jõud korraga. See tähendab, et sind mõjutab ainult üks keha. Raske probleem! Maa ümber tiirleva kosmoselaeva elanikul oleks vastus varnast võtta. Sest tema on pidevalt sellises olukorras: ainult Maa mõjutab teda.



Joonis 4.28. Kosmoselaevale mõjub ainult Maa külgetõmbejõud

Kosmonaudi olukorda saab vaadelda kahe liikumise summana. Laev, milles ta viibib, langeb koos kõige temas olevaga kogu aeg Maa poole, kuid samal ajal liigub ta suure kiirusega maapinnaga paralleelselt edasi. Kiirus on parajasti nii suur, et ta ei lähene Maale ega eemaldu. Võib öelda, et „kosmoselaev kukub kogu aeg Maast mööda“. Et kosmonaut kukub koos laevaga, siis on ka tema kogu aeg **kaaluta olekus**. Ega sinagi Maa mõju vältida saa. Seega sobivad vastuseks vaid need olukorrad, kus ükski teine keha peale maakera sind ei mõjuta. Näiteks hüpates või kukkudes oled sa ainult Maa mõju all, seega kaaluta olekus.

Enamasti mõjub meile peale Maa külgetõmbejõu ka mõni teine jõud. Sageli on selleks elastsusjõud. Vaatlemegi nüüd lähemalt olukordi, kus kehale mõjub korraga kaks jõudu: raskus- ja elastsusjõud.

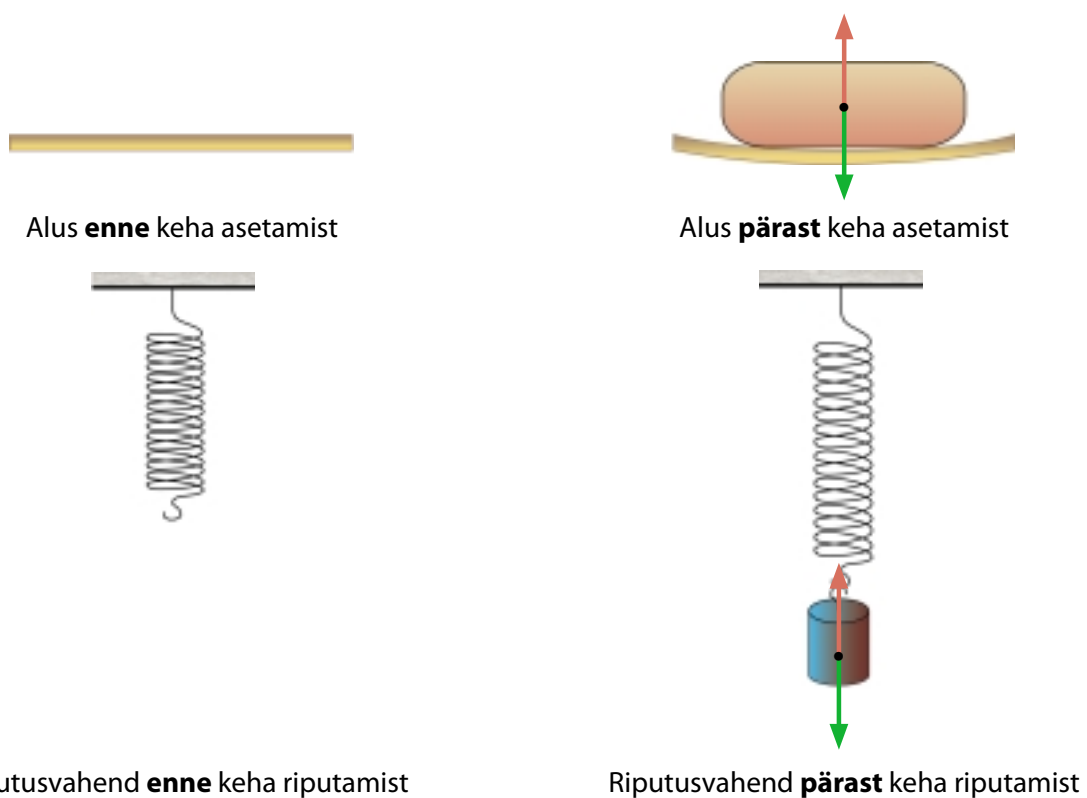
Jõudude koosmõju tulemusel võib juhtuda, et

- keha on paigal,
- keha liigub muutumatu kiirusega,
- keha kiirus kasvab,
- keha kiirus väheneb.

Alustame paigalseisust.

Servale: 2 võimalust mingi asja kuhugi panekuks

Kui meil on vaja mingi asi kuhugi panna, ilma et ta sealt minema putkaks, on kaks võimalust: panna ta mingi kindla **aluse peale** või **riputada millegi külge**.

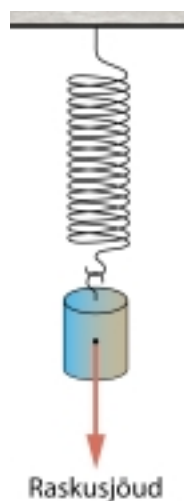


Joonis 4.29

Paigal püsib keha sel juhul, kui aluses või riputusvahendis (st toes) tekkinud elastsusjõud on arvuliselt võrdne, aga suunalt vastupidine kehale mõjuva raskusjõuga. Tegelikuses ei tarvitse toe kuju muutumine nii suur olla kui joonisel. Kuid veidi vajub alus või pikeneb riputusevahend (olgu see niit, traat vms) alati.

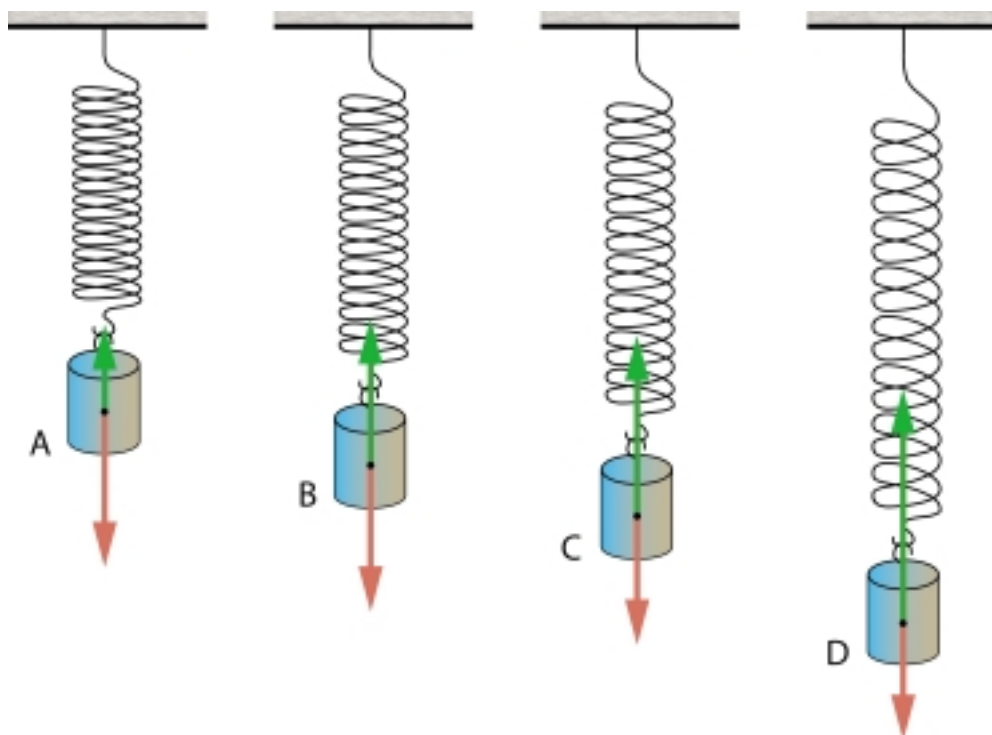
Jälgime nüüd samm-sammult vedruga toimuvaid muutusi selle koormamisel.

Alustame hetkest, kui oleme keha vedru otsa riputanud ja laseme keha käest lahti. Kuna vedru pole alghetkel välja veninud, puudub ka elastsusjõud. Seetõttu mõjub algsendis ainult raskusjõud ja koormus hakkab selle mõjul kiirenevalt allapoole liikuma.



Joonis 4.30

Langev koormus venitab vedru üha enam välja. Seega suureneb ka vedrus tekkinud elastsusjõud. Raskusjõud jääb samaks. Mõnda aega on raskusjõud siiski suurem kui elastsusjõud ja langemise kiirus kasvab.



Joonis 4.31

A: Vedru on veidi välja veninud, kuid temas tekkinud elastsusjõud on väiksem kui raskusjõud. Koormus langeb ikka veel kiirenevalt.

B: Langemisel on koormus vedrut niipalju välja venitanud, et vedrus tekkinud elastsusjõud on saanud võrdseks raskusjõuga. Sel hetkel need kaks jõudu tasakaalustavad teineteist ja kiiruse kasv peatub.

Servale: Miks keha edasi liigub?

Miks keha selles asendis seisma ei jää? Sest tal on hoog sees. Loodus on nii seadnud, et iga keha „püüab“ oma kiirust säilitada. Mida suurem on keha mass, seda rohkem kulub aega, et keha kiirust muuta. Seda kehade omadust tuntakse kui **inertsust**.

Servale: inertsus kui keha laiskus

C: Koormus on hooga veelgi allapoole vajunud. Nüüd on vedrus tekkinud elastsusjõud suurem kui raskusjõud ja koormuse langemine aeglustub.

D: Koormuse langemine lõpeb, st ta peatub siis, kui vedrus tekkinud üha suurenev elastsusjõud on langeva koormuse hoo lõplikult maha võtnud.

Servale: Mis saab edasi?

Kuna vedrus tekkinud elastsusjõud on kõige alumises asendis suurem kui raskusjõud, siis hakkab keha pärast hetkelist peatumist kiirenevalt ülespoole liikuma.

Küsimusi

1. Kirjelda koormuse ülespoole liikumist samm-sammult ise.
2. Kuidas nimetatakse koormuse üles-alla liikumist?
3. Kui haamrivars loksub, siis saab seda kinnitada, lüües varrega vastu rasket eset. Selgita, miks haamer varre otsa kinni jääb.

4.10. Hõõrdejõud

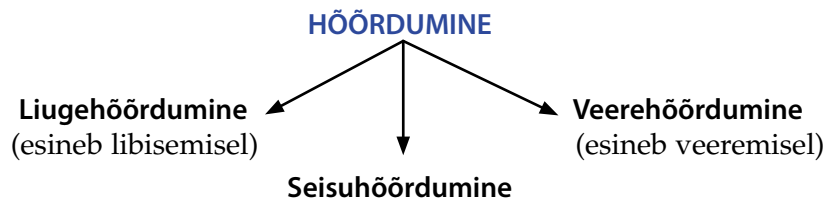
Mitut liiki hõõrdumist looduses esineb?

Mis on hõõrdejõu põhjused?

Kui suurt jõudu on vaja, et midagi liikuma panna?

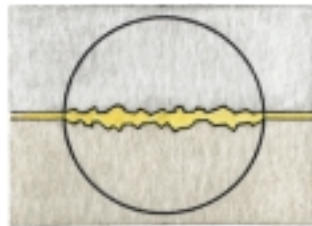
Hõõrdejõud on sulle kahtlemata tuttav jõud. Ometi tasub seda lähemalt uurida.

Esineb kolme liiki hõõrdumist



Hõõrdejõud esineb ainult sel juhul, kui üks keha rõhub teisele. Selleks peavad kehad kindlasti kokku puutes olema.

Liuge- ja **veerehõõrdejõu** tekkepõhjuste leidmine pole raske. Kehade pinnad pole ideaalselt siledad, vaid on krobelised. Seetõttu jäävad pinnakonarused libisemisel üksteise taha kinni. Ka veeremisel on konarused takistuseks. Seetõttu võib öelda, et **liuge- ja veerehõõrdejõud on alati keha liikumisega vastassuunaline**.



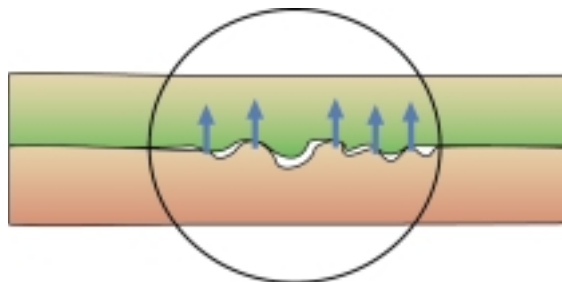
Joonis 4.32. Kokkupuutuvad pinnad pole kunagi täiesti siledad

Üks keha võib ka teise sisse vajuda. Mida pehmem on alumise keha pind, seda sügavamale ülemine keha vajub ja seda suurem on tema liikumist takistav jõud. Suusatamisel on ju väga oluline, et raja põhi oleks kõvaks trambitud.

Servale: Mis on seisuhõõrdumine?

Kuid on olemas ka **seisuhõõrdumine**. Mida see tähendab ja mis on selle põhjustaja?

On selge, et kehade konarused puutuvad kokku ning üks keha vajub teise sisse ka siis, kui nad ei liigu. Kas aga sel juhul hõõrdejõud on olemas? Vaatleme veel kord joonist, kus on kujutatud kaks kokkupuutuvat karedat keha.



Joonis 4.34

Servale: Kui suurt jõudu peab rakendama keha liikumapanekuks?

Oletame, et tahame ülemist keha alumise suhtes vasakule või paremale liigutada. Kui suurt jõudu peab selleks rakendama?

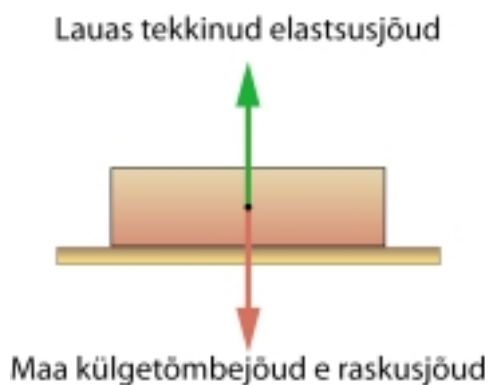
Jooniselt on näha, et kõik jõud, mis kehale paigalseisu korral mõjuvad, on püstsihilised. See on loogiline, sest ülemine rõhub raskusjõu tõttu alumisele (see on tema kaal) ja alumine surub sama suure jõuga vastu. Seega polegi horisontaalsihilisi jõudusid! Kas see tähendab, et ülemise keha paremale tõmbamiseks polegi vaja jõudu rakendada?

Vastuse leidmiseks pole paremat moodust kui katse.

Katse

Vahendid: vedrudünamomeeter ja konksuga puitklots

Kui klots on laual ja meie teda kuidagiviisi ei mõjuta, siis on ta kahe jõu koosmõjul tasakaalus.



Joonis 4.35

Jälgime, mida arvavad asjast *Gümnasist* ja *Kaheksandik*.

K. Hõõrdejõud niisiis ei mõju ja seetõttu peaks piisama ükskõik kui nõrgast tõukest, et klots liikuma hakkaks. Kas ma arvan õigesti?

G. Proovi parem järele. Lase sõrmeotsaga nipsu vastu klotsi.

K. Natuke valus oli. Järelikult avaldas klots näpuotsale vastupanu. Seega on keha liikumapanekuks vaja suuremat jõudu, kui ma arvasin.

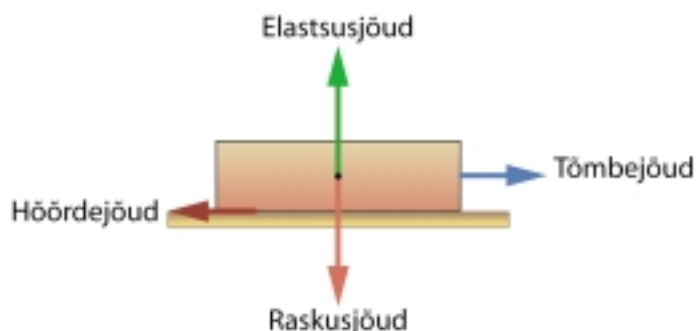
G. Haagi nüüd dünamomeetrer konksu külge ja tõmba klotsi hästi väikese jõuga. Kui klots on väga väikese massiga, siis aeta talle mingi koormus peale. Kas klots hakkas kohe liikuma?

K. Ei hakanud. Järelikult oli mingi liikumist takistav jõud ikkagi olemas. Aga kuna seda jõudu esialgses olukorras ei olnud, siis pidi ta tekkima selle tulemusena, et mina püüdsin klotsi liikuma panna.

G. Väga õige. Kanname selle jõu ka joonisele.

K. Siis pean sinna kandma ka selle jõu, mida ma ise dünamomeetri vedru venitamiseks rakendasin.

G. Just nii. Õigemini, lisa joonisele jõud, mida klotsile avaldab vedru, ja liikumist takistav jõud.



Joonis 4.36

K. Arvan, et sain hakkama. Kuna klots liikuma ei hakanud, siis järelikult on tekkinud hõõrdejõud võrdne tõmbejõuga. Aga kas ma tõmbasin nooled õige pikkusega?

G. Tõmbasid küll. Põhiline, et tõmbe- ja hõõrdejõudu kujutavad nooled on ühepikkused ja seejuures lühemad kui raskus- ja elastsusjõudu kujutavad nooled.

K. Sest hõõrdejõud on väiksem kui raskusjõud?

G. Õige. Tõmba nüüd klotsi natuke suurema jõuga. Mida märkad?

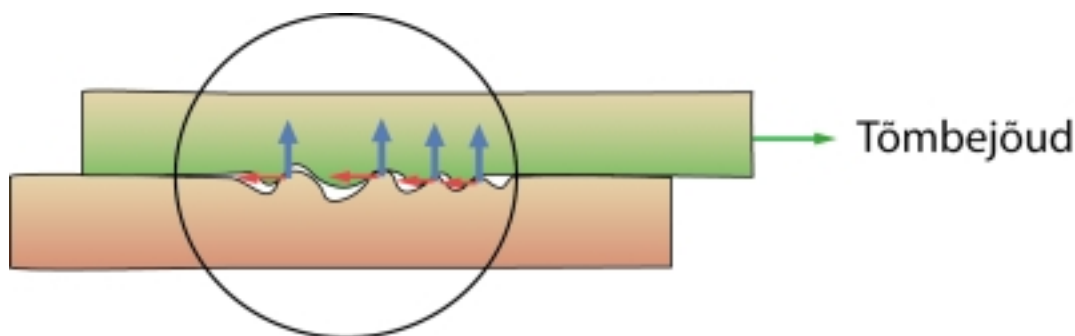
K. Näen, et vähehaaval tõmbejõudu suurendades jõuan olukorrani, kus klots hakkab liikuma. Kas see tähendab, et tõmbejõu suurendamisel suureneb ka seisuhõõrdejõud?

G. Jälle õige. Kuid seisuhõõrdejõud ei saa kasvada kui tahes suureks. Tõmbejõu suurendamisel jõuame alati olukorrani, kus keha hakkab libisema. Teeme kokkuvõtte.

- Kahe kokkupuutuva keha vahel esineb seisuhõõrdejõud, mis suureneb, kui suureneb keha liikumapanemiseks rakendatav jõud.
- Seni, kui keha püsib paigal, on seisuhõõrdejõud võrdne jõuga, mis püüab keha liikuma panna.
- Keha hakkab liikuma, kui tõmbejõud saab võrdseks ja veidi suuremaks kui suurim võimalik nende kehade vahel tekkiv seisuhõõrdejõud.

K. Miks see nii on?

G. Vaatame veel kord joonist, kus on kaks krobelse pinnaga keha. Kui sa ülemist keha paremale nihutad, siis haakuvad konarused üksteise taha. Selle tulemusena tekib neis elastsusjõud.



Joonis 4.37 Punased nooled kujutavad konarustes tekkivaid liikumist takistavaid jõudusid. Tõmbava jõu suurendamisel suurenevad ka takistavad jõud

K. Keha hakkab liikuma siis, kui tõmbame nii kõvasti, et konarused kas purunevad või lähevad üksteisest üle. Aga konarustes tekivad ju elastsusjõud! Kas hõõrdejõud on siis seletatav pinnakonarustes tekkivate elastsusjõududega?

G. Su loogika ei peta sind. Tuleta meelde, et **kõik need jõud, mis kehade kokkupuutel esinevad, on elektromagnetilise olemusega**. See tähendab, et jõu põhjustajaks on aatomite koostisse kuuluvate laetud osakeste vahelised tõmbe- ja tõukejõud. Veendusime, et see on tõepoolest nii. Mõisted elastsusjõud ja hõõrdejõud on kasutusele võetud igapäevaste nähtuste kirjeldamiseks. Neil on ju ikka erinevusi ka.

Elastsusjõu suund on kokkupuutuvate kehade pinnaga risti.

Hõõrdejõu suund on kokkupuutuvate kehade pinnaga paralleelne (mõjub piki pinda).

Pea meeles veel ühte asja: füüsika tegeleb mudelitega. Aga mudeleid võib iga nähtuse kohta luua kindlasti rohkem kui ühe. Oluline on, et see mudel kirjeldab tegelikkust õigesti. Loodetavasti aitab see mudel, mida meie kasutasime, hõõrdumise mõistmisele kaasa.

Küsimusi ja ülesandeid

1. Põhjenda, miks su laual olevad esemed iga väikese tõuke korral liikuma ei hakka. Kui suur peab tõukav jõud olema, et keha liikuma hakkaks?
2. Miks on kelku asfaldil palju raskem vedada kui lumel?
3. Kas vedelikes esineb seisuhõõrdumist? Proovi see vannitoas järele.