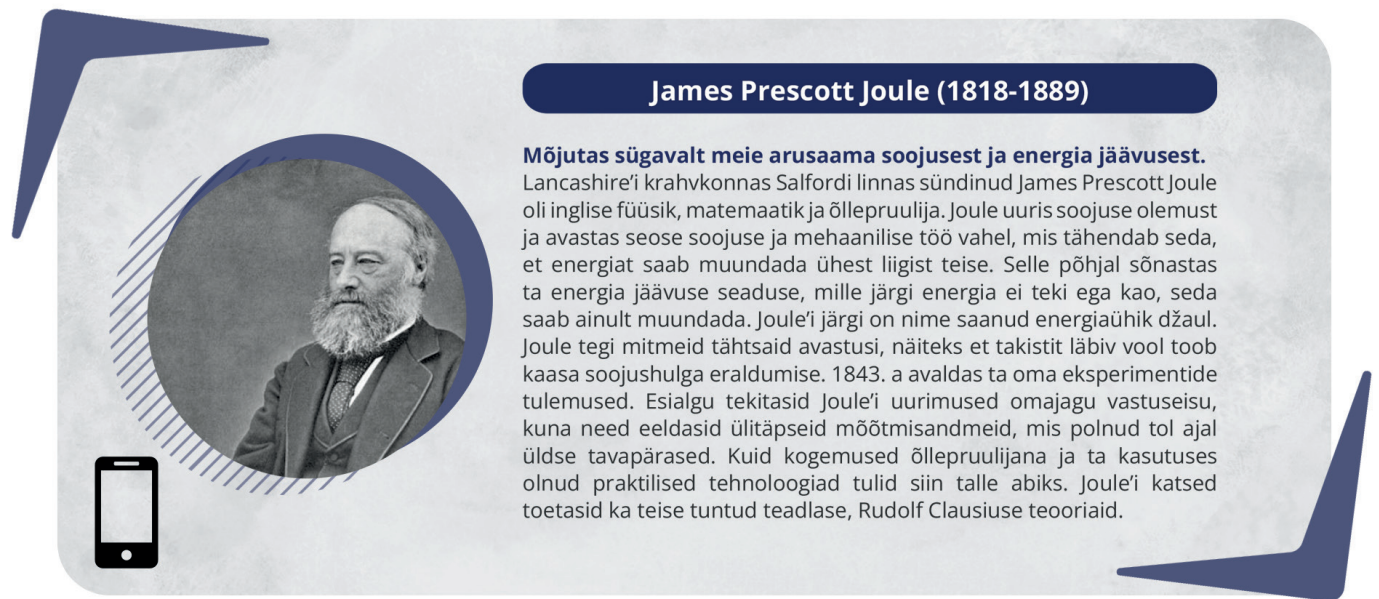




TÖÖ, VÕIMSUS JA ENERGIA



ARPHYMEDES



James Prescott Joule (1818-1889)

Mõjutas sügavalt meie arusaama soojusest ja energia jäävusest.

Lancashire'i krahvkonnas Salfordi linnas sündinud James Prescott Joule oli inglise füüsik, matemaatik ja õllepruulija. Joule uuris soojuse olemust ja avastas seose soojuse ja mehaanilise töö vahel, mis tähendab seda, et energiat saab muundada ühest liigist teise. Selle põhjal sõnastas ta energia jäävuse seaduse, mille järgi energia ei teki ega kao, seda saab ainult muundada. Joule'i järgi on nime saanud energiaühik džaul. Joule tegi mitmeid tähtsaid avastusi, näiteks et takistit läbiv vool toob kaasa soojushulga eraldumise. 1843. a avaldas ta oma eksperimentide tulemused. Eialgu tekitasid Joule'i uurimused omajagu vastuseisu, kuna need eeldasid ülitäpseid mõõtmisandmeid, mis polnud tol ajal üldse tavapärased. Kuid kogemused õllepruulijana ja ta kasutuses olnud praktilised tehnoloogiad tulid siin talle abiks. Joule'i katsed toetasid ka teise tuntud teadlase, Rudolf Clausiuse teooriaid.

Fig. 35

Rudolf Clausius (1822-1888)

Soojusenergia levib alati kuumemast külmema poole.

Rudolf Clausius oli saksa füüsik ja matemaatik, keda peetakse termodünaamika üheks rajajaks. 1850. aastal avaldas Clausius oma kõige olulisema artikli „Soojuse liikumisjõust“, kus ta sõnastas termodünaamika teise seaduse põhimõtte. Termodünaamika teine seadus ütleb, et universumis kulgeb aja jooksul kõik korratuse suunas. See on nagu su tuba, mille küll ära koristad, aga mis iseenesest tasapisi jälle sassi läheb. Selle seaduse järgi liigub soojusenergia alati kõrgema temperatuuri poolt madalama poole ja vastupidine ei ole iseenesest võimalik. See ütleb ka, et soojusenergiat pole võimalik täielikult mehaaniliseks tööks teisendada, ilma et osa energiast kaotsi ei läheks. Põhimõtteliselt meenutab termodünaamika teine seadus meile, et meie igapäevaelus on energia tõhususel piirid.

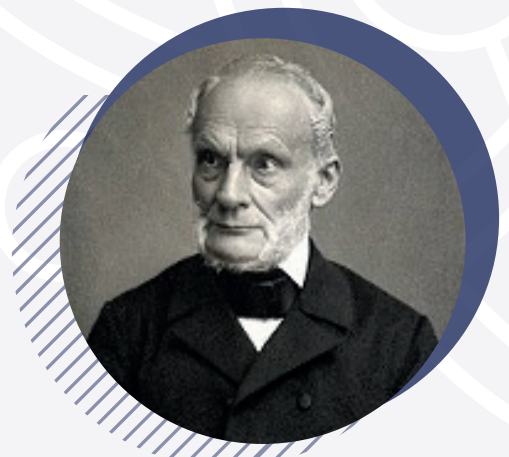


Fig. 36

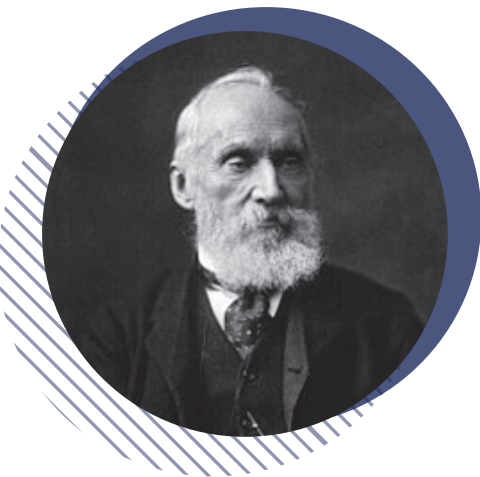


Fig. 37

William Thomson, lord Kelvin (1824-1907)

Kõige külmema võimaliku temperatuuri (absoluutse nulli) olemasolu.

Belfastist pärit William Thomson, esimene parun Kelvin, oli matemaatik, füüsik ja insener. Ta oli üle 50 aasta Glasgow ülikoolis loodusfilosoofia professor ja tegi olulisi avastusi elektri matemaatilise analüüsi ja termodünaamika vallas. Lord Kelvinil oli tähtis roll erinevate füüsikaharude ühtlustamisel ja koos toimima panemisel. Ta pälvis Briti Kuningliku Seltsi erimedali ja temast sai isegi lordide koja liige. Tema auks kasutame temperatuuri mõõtmisel ühikuna kelvinit. Lord Kelvin määratles kõige külmema võimaliku temperatuuri (absoluutse nulli) õige väärtusena umbes $-273,15^{\circ}$ Celsiuse skaalal. Samuti oli tal oma osa üleatlandilise telegraafikaabli arendamisel, mis võimaldas kiiremat sõnumite edastamist Euroopa ja Põhja-Ameerika vahel.



Siit leheküljelt leiad ülesandeid koolis või kodus iseseisvaks katsetamiseks. Lisaülesandeid võid leida ka kodulehelt.

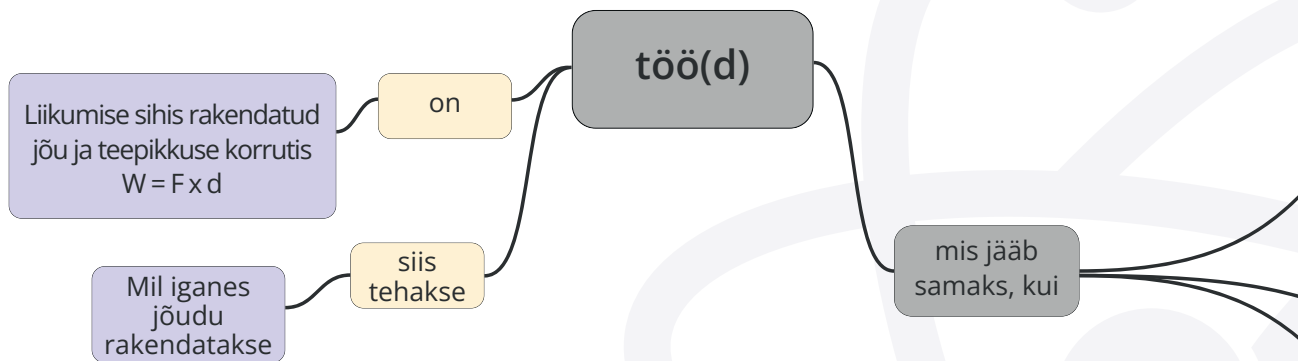
Ülesanded katsetamiseks:

1. Võrdle, kui tõhusad on erinevad seadmed 0,5 liitri vee keetmiseks.
2. Kas erinevate valgusallikate kasutamine aitab elektrit kokku hoida? Seda on hea teada, kui soovid pere eelarves igakuist elektrikulu vähendada.
3. Võrdle erinevate kodutehnikaseadmete võimsusi.
4. Meisterda endale päikeseenergial töötav külmik ja ahi. Küsi oma vanematelt, või veel parem vanavanematelt, kuidas nemad vanasti kuuma ilmaga toitu värskena hoidsid.
5. Kontrolli, kas su klassikaaslased usaldavad füüsikat, kasutades mehaanilise energia jäävuse seadust.

Tehniline rakendamine:

Iga kord, kui energiat kasutatakse töö tegemiseks, teiseneb see ühest vormist teise. Energia vormi teisenemist nimetatakse energia muundumiseks. Energia muundumised toimuvad kõikjal universumis. See toimub pidevalt kuna energia ei teki ega kao iseenesest. Milliseid energia muundumisi võime kohata igapäevaelus?

Töö, võimsus ja energia.



Töö, võimsus ja energia on füüsikas üldiselt olulised mõisted. Keeruliseks teeb asja aga see, et neidsamu mõisteid kasutatakse nii tihti igapäevaelus, et nende füüsikalaast tähendust kiputakse segi ajama.

Füüsikas teeb jõud kehale mõjudes tööd siis, kui jõudu rakendatakse liikumise sihis ja selle tulemusena läbib keha mingi vahemaa. Jõu(dude)st rääkisime pikemalt „Dünaamika“ peatükis. Las Arphy selgitab nüüd järgmiste näidete ja animatsioonide abil töö, võimsuse ja energia mõisteid.

Töö

$$W = F_x (x_f - x_i)$$

Vaata animatsiooni, kus Arphy lükkab käru.

Arphy poolt käru lükkamisel tehtud töö punktist A punkti B

$$W_{AB} = F_{Arphy} (x_B - x_A)$$

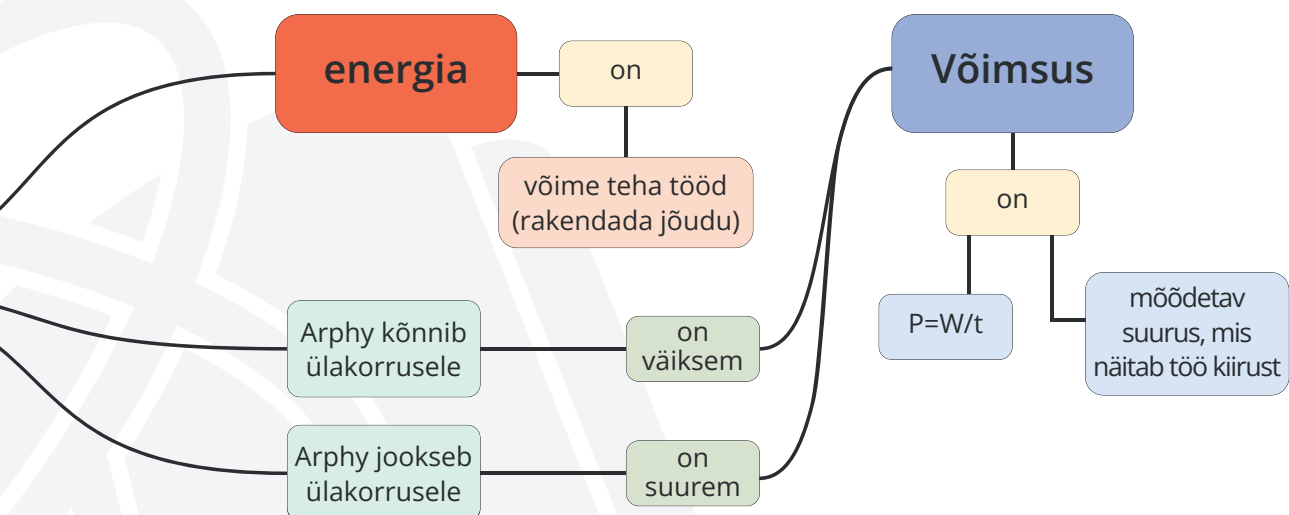
x_B - lõpp-punkt

x_A - alguspunkt

$(x_B - x_A)$ - läbitud teepikkus - d

Kommentaariid, küsimused, tähelepanekud.





Arphy sõber on nõus teda käru lükkamisel aitama. Vaata animatsiooni. Tehtud tööd arvutatakse nii.

$$W_{AB} = (F_{Arphy} + F_{sõber})d$$

Kirjuta siia oma kommentaarid, küsimused, tähelepanekud.

Arphy ja ta sõbra vahel tekkis käru lükates arusaamatus. Mõlemad rakendavad sama jõudu. Vaata animatsiooni.

$$W_{AB} = (F_{Arphy} - F_{sõber})d$$

Mõlemad rakendavad sama jõudu, kuid nagu näed – käru ei liigu paigast.

$$W_{AB} = F_{Arphy}d$$

Kirjuta siia oma kommentaarid, küsimused, tähelepanekud.





Nüüd tirib Arphy käru rakendades ühtlase jõuga, kuid erinevate nurkade alt. Vaata animatsiooni.

Arphy tõmbab käru ühtlase jõuga, nurga θ alt liikumise suunas, seega sellist jõudu rakendades teeb ta tööd

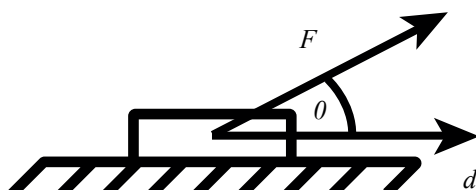
$$W = F_x (x_f - x_i) = (F \cos \theta) (x_f - x_i)$$

Siin tuleb arvutada jõukomponent, mida rakendatakse liikumise sihis. Seda saame teha Pythagorase teoreemi või trigonomeetria funktsiooni koosinuse abil. Tabelis on toodud kõige sagedamini kasutatud nurkade väärtused.

Nurk (kraadides)	0	30	45	60	90	120	135	150	180
cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1

Tabelist selgub, et on neli võimalust.

1. Töö on positiivne, kui nurk on 0-90°.



2. Töö on negatiivne, kui nurk on 90-180°.



Üheks selliseks näiteks on hõõrdejõud, mis rakendub alati liikumisele vastassuunas.

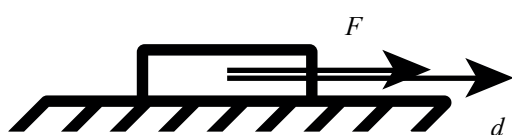


$$W = Fd \cos(180^\circ) \quad | \quad W = Fd (-1) \quad | \quad W = -Fd$$

Kuid meie näidetes oli ratastega käru, kus hõõrdejõuga ei pea arvestama.

3. Arphy teeb maksimaalselt tööd, kui jõud rakendub nihke suunas.

Sellisel juhul $\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$. See on ka põhjus, mis me raskemaid asju pigem lükkame kui tõmbame. Lükkamisel saame jõu ja nihke vahelise nurga vähendada 0° lähemale.



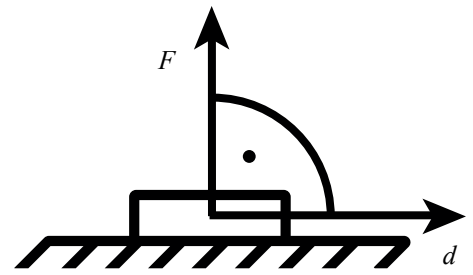
$$W = Fd \cos 0^\circ$$

teame, et $\cos 0^\circ = 1$

$$W = Fd (1) \quad | \quad W = Fd$$

4. Kui jõudu rakendatakse nihke suunas risti, siis tööd ei tehta.

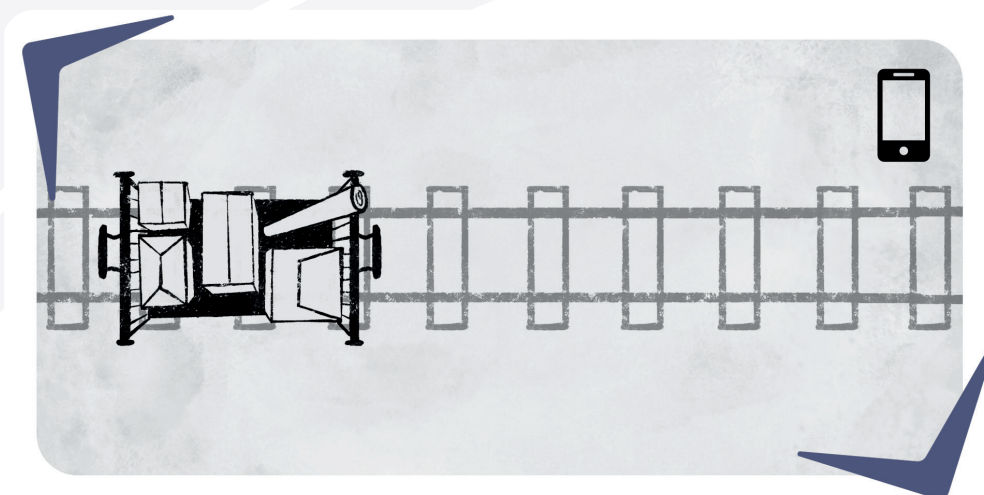
Kui Arphy seisab paigal ja hoiab käes rasket kotti, siis tööd ei tehta, kuigi Arphy võib kaua seistes päris ära väsida. Aga füüsika seisukohast ta tööd ei tee. Kui istud laua taga ja õpid, siis füüsika seisukohast sa tööd ei tee, v.a hetkel, kui keerad lehekülge või kirjutad midagi üles.



Valem, mida siin meeles pidada, on:

$$W_{AB} = F d_{Arphy} (\cos\alpha) d$$

Kirjuta siia oma kommentaarid, küsimused, tähelepanekud.



Kui liikumise sihis rakendub veel mõni jõud, tuleb kõik jõud kokku liita ja arvutada kogu- ehk resultantjõu töö. (Eelmises näites tegi asja lihtsamaks ratastega käru, sest nii ei tulnud arvestada hõõrdejõudu – mis on taas näide lihtsustamisest. Pea meeles, et seda saame teha vaid seni, kui arvutus on vaadeldavaga kooskõlas.)

Et töö on jõu ja teepikkuse korrutis, on selle mõõtühikuks njuutonmeeter. 1 njuutonmeeter ($\text{N} \times \text{m}$) = 1 džaul (J).

Tehtud töö suuruseks on 1 džaul kui kehale rakendatakse jõudu 1 njuuton, mis liigutab keha 1 meetri võrra selle jõu suunas.

Pea meeles:

Vaid liikumise sihis kehale rakenduvad jõud teevad keha seisukohast tööd.

Selleks, et jõud saaks kehale rakendudes tööd teha, peab see keha liikuma. Selle osas erineb töö selle sõna tavakasutusest. Kui rääkida koolitunnis kõvasti töö tegemisest, siis füüsika mõistes oleks töö vaid pliatsi liigutamine või raamatu lehekülgede keeramine.

Kineetiline energia

Ühes eelnevatest peatükkidest, kus oli juttu jõududest, saime teada, et iga kord, kui kogujõud on nullist erinev, on olemas kiirendus.

Käru lükkamisel või tõmbamisel punktist A punkti B tehakse tööd muutumatu kogujõuga. Kui kasutada selle väljendamiseks jõu valemit $F=ma$ ja sirgjoonelise liikumise kiirust konstantse kiirendusega $v=at$, saame

$$W = Fd = mad = ma \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} ma^2 t^2 = \frac{1}{2} mv^2$$

See tähendab, et alustades nullkiirusega punktist A saavutab käru lõpuks kineetilise energia

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

Kui kärul on alguses mingi kiirus punktis A - v_A ja kiirus punktis B on v_B , siis Arphy poolt tehtud töö oleks

$$W = Fd = \frac{1}{2} mv_B^2 - \frac{1}{2} mv_A^2 = KE_B - KE_A$$



Energia

Kust tuleb võime teha tööd?

Me sööme, paneme autosse kütust, toidame koeri ja hobuseid...

Selleks, et kehad saaksid jõudude koosmõjus teha tööd, vajavad nad energiat.

Energiat peetakse teaduses üheks kõige tähtsamaks mõisteks. Isaac Newtoni eluajal oli energia mõiste tundmatu. Sellest isegi ei kõneldud enne 1850ndaid. Universum koosneb materiasst ja energiast. Materia on miski, mida võime näha, tunda ja käega katsuda, sellel on mass. Energia on aga abstraktsem nähtus. Märkame seda alles mingi tegevuse käigus. Näiteks kui õun meile puu otsast pähe kukub, siis on tegu energiaga. Või kui kasutame päikeseenergiat vee soojendamiseks. Energia on justkui millegi võime teha tööd. See on suurus, mis mõõdab, kui suur on millegi võimekus asjade ärategemiseks. Kui tehakse tööd, kasutatakse ka energiat. Seega on töö ja energia omavahel seotud. Energial on palju erinevaid vorme, mida saab jagada kahte suuremasse rühma: kineetiline energia (KE) on seotud keha liikumisega ja potentsiaalne energia (PE) on seotud kehade asendiga teineteise suhtes. See on justkui salvestatud energia, mis ootab kasutamist. Energia vorme on teisigi – küllap oled kuulnud soojusenergiast, tuumaenergiast, tuuleenergiast...

Seda nimetatakse teoreemiks tööst ja kineetilisest energiast. Töö, mida tehakse, kui Arphy kasutab jõudu ja liigutab käru punktist A punkti B, on kineetiline energia punktis B, millest on lahutatud kineetiline energia punktis A. Kui töö on positiivne, siis kineetiline energia suureneb, kui see on nullist väiksem, siis kineetiline energia väheneb, ja kui töö on null, siis kineetilises energias muutust ei ole. On veel teinegi tähtis seadus – energia jäävuse seadus, mille järgi energia ei teki ega kao, aga võib muunduda ühest liigist teise. Sellest tuleb edaspidi pikemalt juttu.

Potentsiaalne energia

Keha võib talletada energiat sõltuvalt asendist. Sellist talletatud ja valmisolekus hoitavat energiat nimetatakse potentsiaalseks energiaks, kuna salvestatud olekus on sellel võime ehk potentsiaal teha tööd.

Tuletame nüüd seose keha potentsiaalse energia kohta, kui see keha asub teatud kõrgusel maapinnast.

Arphy tõstis maapinnalt keha massiga m kõrgusele h . Eeldame, et tõstmine toimus aeglaselt, kiirenduseta, nii et Arphy rakendatud jõud oli võrdne kehale mõjuva raskusjõuga mg . Arphy tehtud töö on:

$$W = F h, \text{ kus } h \text{ on teepikkus}$$

$$W = mgh \text{ ja see on võrdne saadud potentsiaalse energiaga (PE)}$$

Raskusjõu potentsiaalse energia ühik on džaul – seesama töö ja kineetilise energia ühik. Potentsiaalne energia, nagu ka töö ja kineetiline energia, on skalaarsed suurused. See valem kehtib vaid maapinna läheduses asuvate kehade kohta, kus raskusjõud g on enamvähem konstantne. (Eeldus, et g on konstantne, peab paika vaid siis, kui keha vertikaalne nihe on maakera raadiusest palju väiksem.)

Järgmine näide aitab paremini mõista kineetilise ja potentsiaalse energia seost.

Näide:

Arphy viskab maapinnalt (punktist A) teatud algkiirusega üles kivi. Kõrguse suurenemisele vastupidises suunas mõjub raskusjõud. Mingis punktis (B) kivi peatub. Kas saame välja arvutada, mis kõrguseni see jõuab?

Siin on lihtsam viis selle arvutamiseks.

Punktis A on kivil vaid kineetiline energia

$$(1/2) mv^2$$



Kui see kõige kõrgemas punktis (B) peatub, siis ei ole kivil ei kiirust ega kineetilist energiat, vaid kogu energia muundati potentsiaalseks energiaks.

$$(1/2) mv^2 = mgh$$

Siin on täpsem arvutus.

Raskusjõu poolt tehtud töö liikudes punktist A punkti B on seega

$$W_{AB} = -mg(y_B - y_A) = mgh \quad W_{AB} = KE_B - KE_A$$

Punktis B keha peatub, nii et $KE_B = 0$

$$\text{Ja siis } -mgh = 0 - KE_A = -(1/2) mv_A^2.$$

$$\text{Seega } h = v_A^2 / 2g.$$

Kasutame ülaltoodud valemit töö ja energia teoreemi sõnastamiseks $-mg(y_B - y_A) = KE_B - KE_A$

$$\text{Paigutame liikmeid ümber } mgy_B + KE_B = mgy_A + KE_A$$

Raskusjõu potentsiaalse energia mgy jaoks kasutame lühendit PE. Nii saame

$$PE_B + KE_B = PE_A + KE_A = PE + KE$$

PE + KE summat nimetatakse mehaaniliseks energiaks ja teatud puhkudel on see jääv suurus. Seda energiat saab kasutada niipea, kui rakendub raskusjõud.

VÕIMSUS

Töö definitsioon ei ütle aga midagi selle kohta, kui kaua võtab Arphyl aega, et viia poekott üles kolmandale korrusele. Päris kindlasti oleks ta veel rohkem väsinud, kui ta läheks trepist üles joostes. Et seda vahet mõista, peame tegema juttu suurusest, millega mõõdetakse töö tegemise kiirust – võimsust. Nagu töö ja energia, on ka võimsus skalaarne suurus.

Võimsust saab defineerida kui mingi ajaühiku jooksul **tehtud töö või ülekande hulka**.

$$P = \frac{W}{t}$$

Võimsuse mõõtühikuks on džaul sekundis (J/s). Võimsuse mõiste on nii tähtis, et sellele ühikule on antud eraldi nimi – vatt W. 1 W = 1 J/s.

Kui kommunaalteenuseid pakkuvad ettevõtted müüvad elektrienergiat, siis on müüdavaks energiaühikuks kilovatt-tund (kWh). Seda selles pärast, et džaul on väga väike ühik ja seetõttu on seda ebamugav kasutada. 1 kWh = (1000 J/s) (3600 s) = 3,6 × 10⁶ J. Nii ongi elektriarvel ühikuks kWh. Elektri säästmisest ja alternatiivsete energiaallikate kasutamisest kuuleme pea igapäevaselt. Kui sind huvitab, kuidas arvutada elektrienergia kulu su koduses majapidamises ja millised kodumasinad on kõige energiakulukamad, siis heida pilk kodulehele. Sealt leiad iga riigi kohta andmed, mis aitavad kiiresti hinnata energiakulu. Sellega seoses on meil pakkuda veel teisigi ülesandeid.

Kuid kõigepealt – et meil on nüüd piisavalt teadmisi, siis siin on sulle mõned näited töö, võimsuse ja energia kohta.

Näide:

Arphy kukutas pörkepalli (massiga 10 kg) 10 m kõrguselt põrandale. Mis oli palli kiirus enne põrandaga kokkupuudet?

Kui kiiresti liiguks kaks korda suurema massiga pall, kui seda kukutada samalt kõrguselt?

Lahendus

Näide:

Arphy kukutas 30 m kõrguselt (umbes 10. korruselt) alla batuudile pörkepalli, mis kaalub 10 kg. See pörkas batuudilt tagasi üles 15 m kõrgusele.

Kui palju energiat läks kaotsi ja kuhu see võis kaduda?

Lahendus



Näide:

Arphy lükkab 10 kg massiga mänguautot ühtlase kiirusega 10 m kaugusele.

Kui palju tööd ta tegi?

Mis oli auto lõplik kineetiline energia?

Lahendus**Näide:**

Arphy tõstis 10 kg šokolaadikarbi ühtlase kiirusega 10 m kõrgusele.

Kui palju tööd ta tegi?

Kui palju energiat talletus karpi (raskusjõuväljal)?

Lahendus**Näide:**

Why does the human body need energy?

Even if we do no physical or mental work, we need energy - for breathing, heart rate, maintaining body temperature – we call it basal metabolic rate.

We can calculate it.

Women: $(1.85 \times \text{height in cm}) + (9.55 \times \text{weight in kg}) - (4.67 \times \text{age})$ and add 655 = basal metabolic rate in kcal.

Men: $(5 \times \text{height in cm}) + (13.6 \times \text{weight in kg}) - (6.7 \times \text{age})$ and add 66 = basal metabolic rate in kcal.

The unit kcal was used before and is still used in some diet recommendations. $1 \text{ kcal} \times 4.18 = 1 \text{ kJ}$

We need daily around 6 - 7,500 kJ, which means the power 69 to 87 W $(P = \frac{W}{t} = \frac{6\,000\,000 \text{ J}}{24\,3600 \text{ s}} = 69 \text{ W})$

By an easy job we spent about 10 000 kJ (Power - 120 W) and by doing sport up to 20 000 kJ (Power - 240 W).

The energy comes from food we eat.

Example:

Keha vajab umbes 10 MJ päevas. Kujuta ette, et peame varuma sellise koguse toiduna. Kuid sellele lisaks teeme 2tunnise rattasõidu. Sellele tegevusele vastav ainevahetuse väärtus on 7,6 W.kg-1. Kui palju rasva põletab 50 kg kaaluv inimene, kui rasva energiaekvivalent on 38,9 kJ/g.

$$W_1 = 10\,000\,000 \text{ J}$$

$$W_2 = 7,6 \text{ W} / \text{kg} \times 50 \text{ kg} \times 7200 \text{ s} = 2\,736\,000 \text{ J}$$

$$\text{Kokku } W_1 + W_2 = 12\,736\,000 \text{ J}$$

$$\text{Inimene kaotab } 12\,736\,000 \text{ J} / 38\,900 \text{ J} / \text{g} = 70 \text{ g rasva.}$$

Näide:

Klassis on 30 õpilast. Mis on terve klassi võimsus, kui kõik teevad kergemat tööd? Arvutame edasi. Kui palju pruunsütt, mille kalorigulk on 17 000 kJ kg kohta, läheks vaja sama võimsuse saavutamiseks?

Kergem töö (näiteks klassis istumine ja õpetaja kuulamine) kulutab 120 W.

$30 \times 120\text{W} = 3,6 \text{ kW}$. Ühes tunnis kuluks 3,6 kWh, mis teeb 3600.

$3600 \text{ Ws} = 12\,900 \text{ kJ}$

Järelikult läheb vaja $\frac{12\,900 \text{ kJ}}{17\,000 \text{ kJ}} = 0,76$ kg pruunsütt tunnis.

Näide:

Alpides tegutsev 80 kg kaaluv kandja kannab 7km pikkusel teekonnal 3 tunni jooksul mäest üles 70 kg. Mis on tema võimsus? Võrdle seda hobujõuga – 746 W.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{mgd}{t} = \frac{(80+70)\text{kg} \cdot 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 7\,000\text{m}}{3 \cdot 3600 \text{ s}} = 972,2 \text{ W}$$

Kuid umbes kaks korda aastas tellib alpimajakese omanik helikopteri, mis toob talle korraga kümneid õllevaate, küttepuid ja muud. Ülejäänud esmatarbekaubad toovad üles aga kandjad. Arvutades rahalise kulu kilogrammi kohta, selgub, et kandjate tasu on helikopteri tellimisest kallim.



Näide:

See näide on pärit Sloveenias Oravská Lesná külas asuvast „Funny Park“ lõbustuspargist. Vaata kõigepealt videot. Sinu ülesandeks on leida

1. kiigel istuvate tüdrukute potentsiaalne energia hoo alguses.
2. nende maksimaalne kiirus, kui kiik on kõige madalamas asendis.
3. kui palju energiat läheb kaduma, kui kiik on jõudnud vastassuunas kõige kõrgemasse asendisse ja kuhu jäi „kaotsi läinud“ energia.



Oma arvutustes järgi neid samme:

Leia kiige kõrgus. Kiige kõrval seisab mees, kes seda juhib. Kui oletame, et keskmise mehe pikkus on 180 cm, siis kiige kõrgus oleks: _____

Potentsiaalse energia arvutamise valem: _____

Kineetiline energia: _____

Mehaanilise energia jäävuse seadus: _____

Kiige kiirus kõige madalamas asendis: _____

Kasutades sama arvutuskäiku, määra kiige kõrgeim punkt vastassuunas: _____

Arvuta kiige potentsiaalne energia vastassuunas: _____

Energiakadu oli: _____

Kaotatud energia muundus: _____



Kui tegid arvutused ära, võid testida, kas su klassikaaslased usaldavad füüsikat. Katseta seda vaid õpetaja või lapsevanema juuresolekul.

Sul läheb vaja: 2liitrist PET plastikpudelit, umbes 3-4 m pikkust tugevat nöörjuppi ja kohta, kuhu pudel riputada.

Töö käik:



- Riputa pudel sellisesse kohta, kus see saab vabalt vertikaalselt kiikuda, ilma et millegagi kokku puutuks.
- Täida pudel veega ja riputa üles.
- Palu sõbral seista nii, et kui nöör on pingul, siis puudutab pudel tema lõuga.
- Ütle sõbrale, et ta ei liiguks paigalt.
- Seisa sõbra selja taha, tõmba pudel ta lõua juurde ja lase lahti.
- Nii nagu kiige näites, liigub pudel läbi kõige madalama asendi, pendeldab vastassuunda, sõbrast eemale, ja siis tagasi temani.
- Vaata, et sõber ei liigutaks end mingil moel.
- See on näide mehaanilise energia jäävusest praktikas. Pudel ei saa liikuda kaugemasse punkti, kui oli selle algne asukoht.

