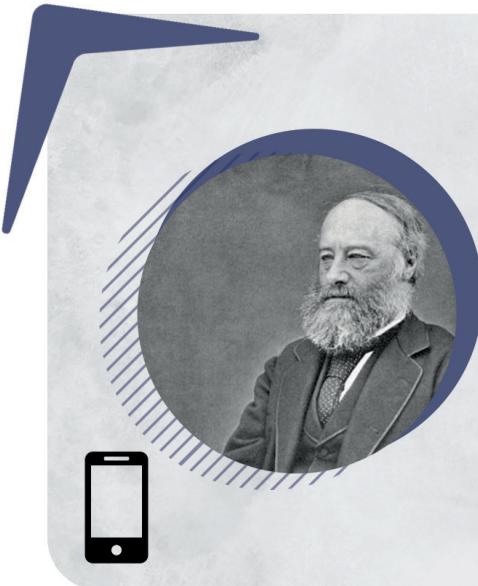




DELO, MOČ IN ENERGIJA



ARPHYMEDES



James Prescott Joule (1818-1889)

Močno je vplival na naše razumevanje toplotne in ohranjanja energije.

James Prescott Joule je bil angleški fizik, matematik in pivovar. Rodil se je v Salfordu v Angliji. Raziskoval je toploto in odkril je njen povezavo z mehanskim delom, kar pomeni, da lahko energija prehaja iz ene oblike v drugo. Ta ugotovitev je privedla do zakona o ohranitvi energije, ki pravi, da energija ne nastane iz nič in se ne more izničiti, lahko se le pretvori v drugo obliko. Enota za energijo je joule in se imenuje po njem. Joule je prišel tudi do drugih pomembnih odkritij, npr. razumevanje, kako električni tok, ki teče skozi upornik, proizvaja toploto. Njegovi poskusi so bili objavljeni leta 1843. Nekateri ljudje sprva niso verjeli Joulovemu delu, ker je bilo odvisno od zelo natančnih meritev, ki v njegovem času niso bile običajne. Joulu so bile v pomoč izkušnje s pivovarstvom in dostop do tehničnih naprav. Izследki Joulovovih poskusov so se ujemali s teorijami znanstvenika Rudolfa Clausiusa.

Fig. 35

Rudolf Clausius (1822-1888)

Toplota vedno teče od mesta z višjo na mesto z nižjo temperaturo.

Rudolf Clausius je bil nemški fizik in matematik, ki velja za enega izmed najpomembnejših raziskovalcev na področju termodinamike. V svojem najpomembnejšem članku iz leta 1850, je prvič predstavil osnovne ideje drugega zakona termodinamike. Drugi zakon termodinamike pravi, da stvari v vesolju sčasoma postanejo bolj neorganizirane. To je tako, kot če bi pospravil svojo sobo, a bi postopoma spet sama od sebe postala razmetana. Ta zakon pravi, da toplota vedno prehaja z mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo in sama od sebe ne bo prehajala v obratno smer. Prav tako pove, da je nemogoče popolnoma pretvoriti toploto v koristno delo. V bistvu nas drugi zakon opominja, da obstajajo meje glede učinkovite rabe energije v vsakdanjem življenju.

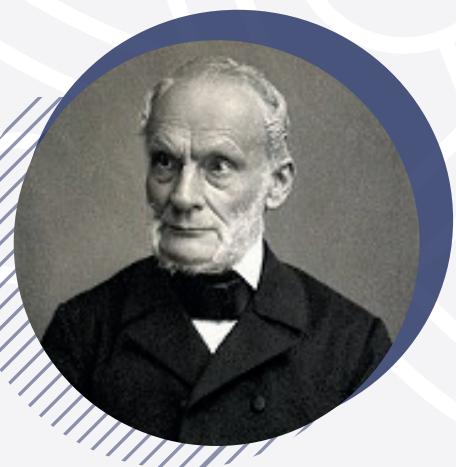
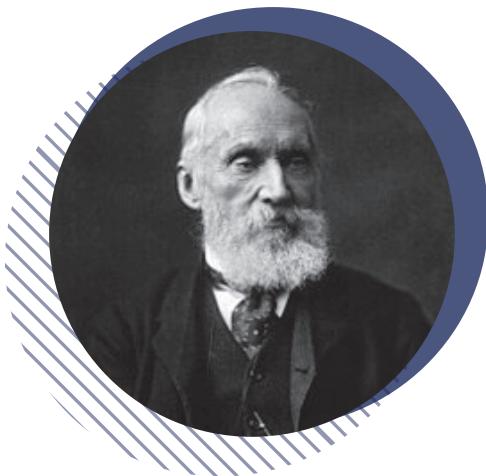


Fig. 36



William Thomson, prvi baron Kelvin (1824-1907)

Obstoj najnižje možne temperature (absolutna ničla).

William Thomson, ki je splošno znan kot lord Kelvin, je bil matematik, fizik in inženir iz Belfasta (Irska). Skoraj 50 let je bil profesor na univerzi in prišel je do pomembnih odkritij na področju matematične analize, elektrike in termodinamike. Imel je veliko vlogo pri združevanju različnih vej fizike. Prejel je posebno medaljo Kraljeve družbe in postal celo njen član. Njemu v čast uporabljamo enoto za temperaturo "kelvin". Znan je tudi po tem, da je določil pravilno vrednost najnižje možne temperature, ki je približno -273,15 stopinj Celzija. Imel je tudi vlogo pri razvoju čezatlantskega telegrafskega kabla, ki je omogočil hitrejšo komunikacijo med Evropo in Severno Ameriko.

Fig. 37



Na tej strani je nekaj predlogov za projekte, ki jih lahko narediš v šoli ali doma. Še več jih najdeš na spletni strani.

Predlogi za projekte:

1. Primerjaj izkoristke različnih naprav, s katerimi lahko zavreš 0,5 l vode.
2. Ali se uporaba različnih virov svetlobe odraža na računu za elektriko? To je pomembno, ker ta račun običajno predstavlja znaten delež družinskega proračuna.
3. Primerjaj energijske razrede različnih naprav, ki jih imate doma.
4. Naredi svojo solarno pečico.
5. Preizkusite zaupanje sošolcev v fiziko z zakonom o ohranitvi mehanske energije.

Tehnične aplikacije:

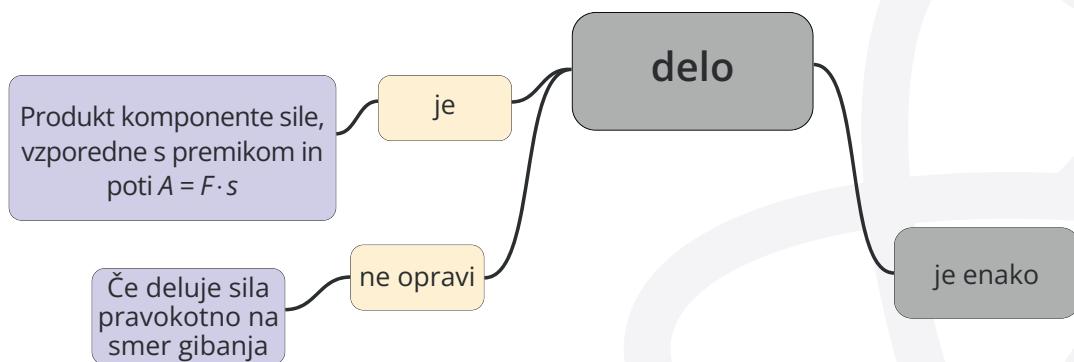
Ko energija spremeni obliko, temu rečemo pretvorba energije.

Pretvorbe energij se dogajajo vsepovod. Dogajajo se venomer, saj energije ne moremo ustvariti ali uničiti.

Katere energijske pretvorbe opaziš v vsakdanjem življenju?



Delo, moč, energija.



Delo, moč in energija so zelo pomembni pojmi v fiziki. Ti izrazi se pogosto uporabljajo v vsakdanjem življenju in zato lahko pride do razhajanja v razumevanju. V fiziki sila na neko telo opravlja delo, ko deluje v smeri premika. Sile so obravnavane v poglavju Dinamika. V nadaljevanju ti bo Arphy s primeri in animacijami razložil pojme delo, moč in energija.

Delo

$$A = F_x \cdot (x_k - x_z)$$

Oglej si animacijo, kjer Arphy potiska voziček.

Delo, ki ga opravi Arphy, ko potisne voziček od točke A do B, je enako

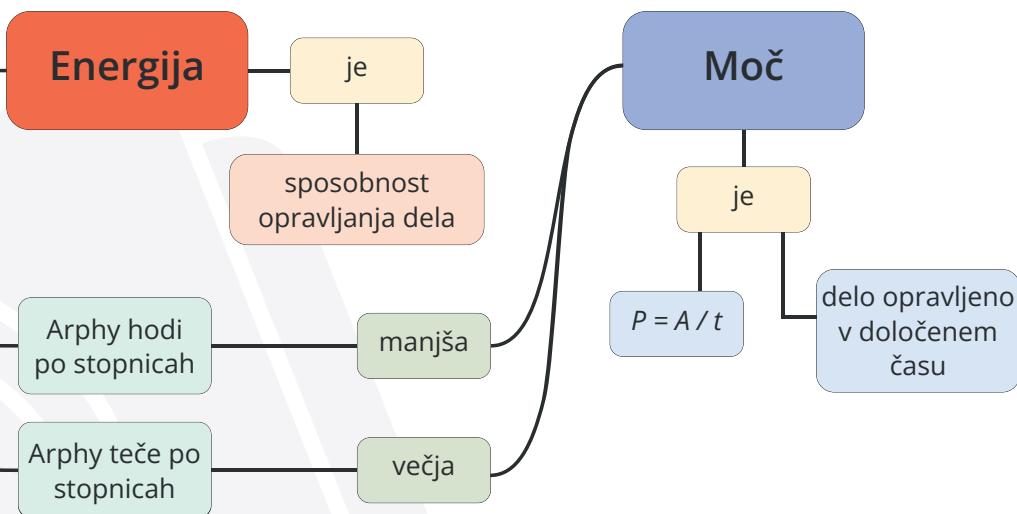
$$A_{AB} = F_{Arphy} \cdot (x_B - x_A)$$

x_B - končna točka

x_A - začetna točka

$(x_B - x_A)$ - opravljena pot - s

Komentarji, vprašanja, opažanja.



Arphy ima prijatelja, ki mu pomaga potisniti voziček. Oglej si animacijo. Opravljeno delo izračunamo kot.

$$A_{AB} = (F_{Arphy} + F_{prijatelj}) \cdot s$$

Komentarji, vprašanja, opažanja.

Ko sta potiskala voziček, je prišlo do nesporazuma med Arphyjem in prijateljem. Oba sta delovala z enako veliko silo na voziček. Oglej si animacijo.

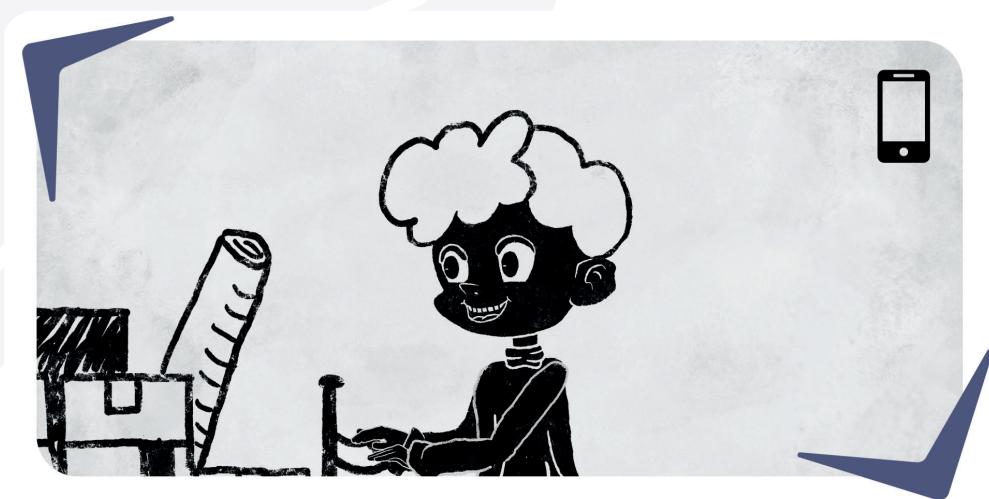
$$A_{AB} = (F_{Arphy} - F_{prijatelj}) \cdot s$$

Oba delujeta z enako veliko silo na voziček. Iz animacije pa je razvidno, da se voziček ne premakne.

$$A_{AB} = 0$$

Komentarji, vprašanja, opažanja.





Sedaj Arphy potiska voziček pod različnimi koti, toda s stalno silo. Oglej si animacijo. Arphy vleče voziček s stalno silo, pod kotom θ glede na smer premikanja vozička. Opravljeni delo je enako:

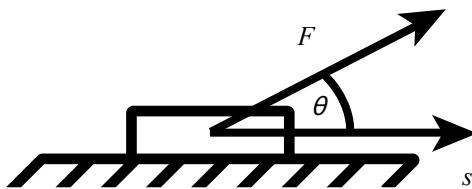
$$A = F_x \cdot (x_k - x_z) = (F \cdot \cos \theta) \cdot (x_k - x_z)$$

Izračunati moramo komponento potisne sile, ki je vzporedna premiku. Pri tem so v pomoč kotne funkcije. Vrednosti kosinusa za nekaj najbolj običajnih kotov so podane v spodnji tabeli.

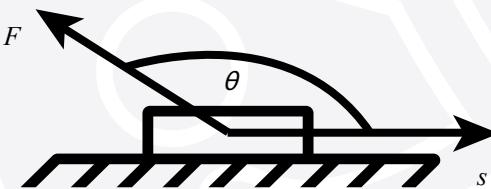
Kot ($^{\circ}$)	0	30	45	60	90	120	135	150	180
cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1

V realnih situacijah imamo lahko 4 primere.

1. Delo je pozitivno pri kotih od 0° do 90° .



2. Delo je negativno pri kotih od 90° do 180° .



Npr. delo sile trenja je negativno, saj sila trenja vedno deluje v nasprotni smeri gibanja.



$$A = F \cdot s \cdot \cos(180^{\circ}) \quad | \quad A = F \cdot s \cdot (-1) \quad | \quad A = -F \cdot s$$

V naših primerih je Arphy uporabljal voziček s kolesi, kjer je trenje zanemarljivo.

3. Arphy opravi največ dela, če je sila vzporedna s premikom.

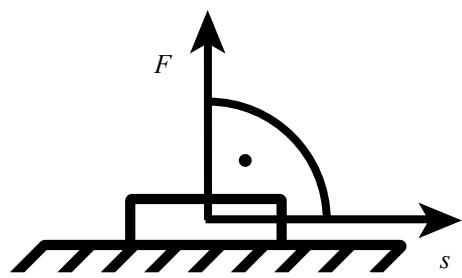
V tem primeru je $\cos \theta = \cos 0^{\circ} = 1$. To je tudi razlog, zakaj raje potiskamo, kot vlečemo, ko moramo premakniti nekaj težkega. S potiskanjem lažje dosežemo kot med silo in premikom blizu 0° .



$$A = F \cdot s \cdot \cos 0^{\circ} \quad | \quad \text{vemo, da je } \cos 0^{\circ} = 1 \quad | \quad A = F \cdot s \cdot 1 \quad | \quad A = F \cdot s$$

4. Če je sila pravokotna na premik, ne opravlja dela.

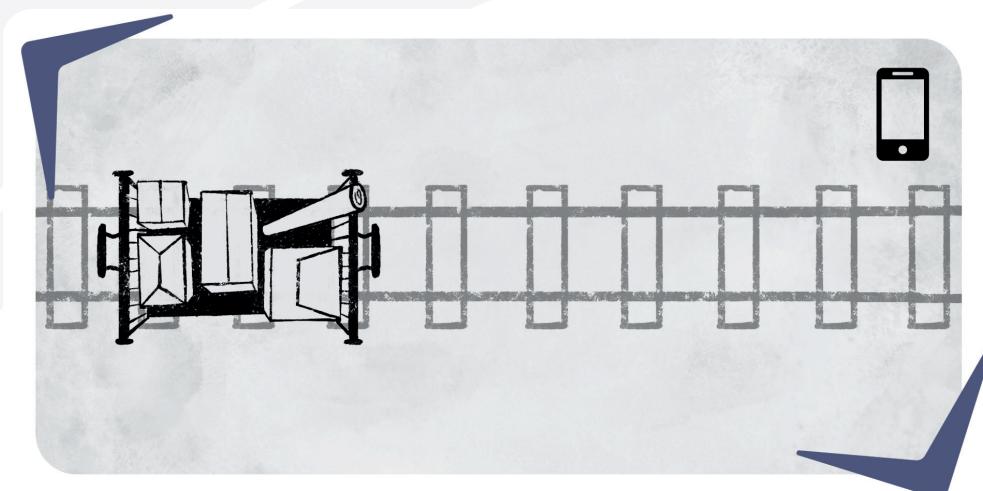
Arphy stoji pri miru s težko vrečo v roki. Pri tem ne opravlja dela. Kjub temu, da bi bil Arphy po nekem času utrujen, v fizikalnem smislu ne bi opravil dela. Ko sediš za mizo in se učiš, s fizikalnega stališča delaš le, ko obračaš strani v zvezku ali knjigi, ali ko pišeš.



Enačba, ki si jo moraš zapomniti:

$$A_{AB} = F \cdot s_{Arphy} \cdot (\cos\alpha)$$

Komentarji, vprašanja, opažanja.



Če več kot ena sila deluje v smeri premika, moramo seštevi vse sile. S pomočjo rezultante sil izračunamo delo. V prejšnji primerih smo zanemarili trenje in s tem poenostavili naloge. Zapomni si, da to lahko storimo takrat, ko rezultat vsaj približno opiše opažanja.

Ker je delo produkt sile in poti, je njegova enota "newton meter". 1 newton meter ($N \cdot m$) = 1 joule (J).

Opravljeni delo je enako 1 J, ko na telo deluje sila 1 N v smeri premika in telo pri tem opravi pot 1 m.

Zapomni si naslednje:

Samo komponentna sile, ki je vzporedna s premikom, opravlja delo.

Ko sila opravlja delo na telesu, se mora telo gibati. To je v nasprotju z vsakdanjo rabo besede delo.

Kinetična energija

Iz prejšnjega poglavja, ki govori o silah, vemo, da se telo giblje pospešeno, če je rezultanta vseh sil različna od nič.

Pri potiskanju ali vlečenju vozička od točke A do točke B, delo opravlja rezultanta vseh sil. V enačbo za delo vstavimo enačbo za silo (drugi Newtonov zakon) $F = m \cdot a$ in uporabimo še enačbo za hitrost pri enakomerno pospešenem gibanju $v = a \cdot t$

$$A = F \cdot s = m \cdot a \cdot s = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

To pomeni, če telo na začetku miruje v točki A in nato pospešuje do točke B, bo imelo v točki B kinetično energijo, ki jo označimo kot W_k , enako

$$W_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Če se telo v točki A že giblje z neko hitrostjo v_A in je njegova hitrost v točki B enaka v_B , bo opravljeni delo enako

$$A = F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = W_{kB} - W_{kA}$$

Energija

Od kje pride zmožnost za delo?

Jemo, avtomobilski rezervoar napolnimo z gorivom, hranimo pse, konje,...

Vsako telo za opravljanje dela potrebuje energijo.

Energija je zelo pomembna tema v fiziki. Koncept energije v časih, ko je živel Isaac Newton, še ni bil poznan. Šele v sredini 19. stoletja so začeli govoriti o njem. Vesolje je sestavljeno iz dveh stvari: iz snovi in energije. Snov je tisto, kar lahko vidimo, tipamo in občutimo še z drugimi čutili, ima maso. Energija je, na drugi strani, bolj abstraktna. Energijo običajno opazimo pri spremembah. Na primer, ko pada jabolko z drevesa in nas zadane, ko sončna energija pogreje vodo v bazenu. Energija je sposobnost nečesa, da opravlja delo. Torej delo in energija sta povezana. Poznamo različne oblike energije. V tem poglavju bo poudarek na dveh energijah. Prva je kinetična energija (W_k), ki je povezana z gibanjem teles. Druga je potencialna energija (W_p), ki je povezana z lego telesa. Mogoče si slišal tudi za druge vrste energij, kot so notranja energija, prožnostna energija, jedrska energija, sončna energija, vetrna energija...

Izrek o kinetični energiji pravi: sprememba kinetične energije telesa je enaka skupnemu delu zunanjih sil. Delo, ki ga opravi stalna sila na telesu, ko ga premakne iz točke A do točke B, je enako kinetična energija v točki B minus kinetična energija v točki A. Če je delo pozitivno, potem se telesu kinetična energija poveča. Če je delo negativno, se telesu kinetična energija zmajša. Če je delo enako nič, potem se telesu kinetična energija ne spremeni.

V zvezi z energijami je še en pomemben zakon: zakon o ohranitvi energije, ki pravi, da energija ne more nastati oziroma se izničiti, lahko se samo pretvarja iz ene oblike v drugo. O tem bomo govorili malo kasneje.

Potencialna energija

Če telo spremeni višino, se mu spremeni potencialna energija.

Izpeljimo enačbo za potencialno energijo telesa, ki se nahaja na neki točki nad površjem Zemlje.

Arphy počasi in nepospešeno dvigne telo z maso m s tal na višino h . V tem primeru je Arphy deloval na telo s silo, ki je enaka teži telesa $m g$. Arphy je opravil delo:

$$A = F \cdot h, \text{ kjer je } h \text{ višina}$$

$$A = m \cdot g \cdot h \text{ in je enako spremembi potencialne energije } W_p$$

Enota za potencialno energijo je joule, enaka kot za delo in kinetično energijo. Omenjena enačba velja le za telesa, ki so blizu površja Zemlje, kjer je težni pospešek g približno konstanten. Predpostavka, da je g konstanten, je veljavna le v primeru, da je sprememba višine h veliko manjša v primerjavi s polmerom Zemlje.

Naslednji primer ti bo pomagal razumeti povezavo med kinetično in potencialno energijo.

Primer:

Arphy vrže kamen s tal (točka A) navpično navzgor z neko začetno hitrostjo. V nasprotni smeri gibanja deluje na kamen teža. V neki točki (B) se kamen ustavi. Izračunajmo, na kateri točki se ustavi.

Lažja pot za izračun:

V točki A ima kamen le kinetično energijo

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2$$

V najvišji točki B se kamen ustavi. Njegova hitrost je enaka nič, torej je tudi njegova kinetična energija enaka 0. Vsa energija se je pretvorila v potencialno energijo.

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

Natančnejši izračuni so v nadaljevanju.

Delo, ki ga opravi teža na kamen, ko se giblje od točke A do B, je enako

$$A_{AB} = -m \cdot g \cdot (y_B - y_A) = m \cdot g \cdot h$$

Že prej smo zapisali, da velja

$$A_{AB} = W_{kB} - W_{kA}$$

Ker kamen v točki B miruje, torej $W_{kB} = 0$, lahko zapišemo

$$-m \cdot g \cdot h = 0 - W_{kA} = -\frac{1}{2} m \cdot v_A^2$$

$$\text{Izrazimo } h: h = v_A^2 / 2g$$

Zgoraj zapisane enačbe uporabimo za zapis izreka o ohranitvi kinetične in potencialne energije

$$-m \cdot g \cdot (y_B - y_A) = W_{kB} - W_{kA}$$

$$\text{Enakost preuredimo } m \cdot g \cdot y_B + W_{kB} = m \cdot g \cdot y_A + W_{kA}$$

Za člen mgy – potencialna energija – uporabljam oznako W_p . Tako dobimo

$$W_{pB} + W_{kB} = W_{pA} + W_{kA} = \Delta W_k + \Delta W_p$$

Izrek o ohranitvi kinetične in potencialne energije pravi, da je vsota kinetične in potencialne energije konstantna.

MOČ

Definicija dela ne pove nič o tem, koliko časa Arphy nosi nakupovalne vrečke v 3. nadstropje. Če bi tekel, bi bil zagotovo bolj utrujen. Da bi razumeli to razliko, moramo vpeljati nov pojem, ki povezuje delo in čas, v katerem je to delo opravljeno - moč.

Moč je po definiciji **delo opravljeno v enoti časa**.

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

Moč podajamo v enoti "joule na sekundo" (J/s). Koncept moči je zelo pomemben, zato so enoti dali posebno ime, in sicer watt W. 1 W = 1 J/s.

Na računu distributerja električne energije so navedene enote kWh. Joule je zelo majhna enota in zato neprimerena za uporabo v tem primeru. $1 \text{ kWh} = (1000 \text{ J/s}) (3600 \text{ s}) = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$. Vsak dan poslušamo o pazljivi rabi električne energije in o uporabi obnovljivih virov. Če te zanima, kako izračunaš, katere naprave v tvojem gospodinjstvu so največji porabniki energije, si to oglej na spletu. Za vsako državo lahko najdeš tabele, ki ti bodo omogočile, da narediš približne izračune. Nekaj zanimivih predlogov projektov na to temo najdeš na koncu poglavja.

Sedaj, ko imaš dovolj znanja, boš znal rešiti primere v nadaljevanju.

Primer:

Arphy spusti kroglo z maso 10 kg na tla z višine 10 m. S kolikšno hitrostjo krogla prileti na tla?

Kolikšno hitrost bi imela krogla z 2-krat tolikšno maso, če bi jo spustil z iste višine?

Rešitev:

Primer:

Arphy spusti kroglo z maso 10 kg z višine 3 m nad trampolinom. Ko pade na trampolin, se odbije navzgor v isti smeri in doseže višino 1,5 m.

Koliko energije se je pretvorilo? V katero obliko?

Rešitev:

Primer:

Arphy potiska otroški avtomobil z maso 10 kg tako, da je njegova hitrost stalna in ga premakne za 10 m. Koliko dela je pri tem opravil? Kolikšna je sprememba kinetične energije avtomobila?

Rešitev:

Primer:

Arphy je dvignil škatlo s čokoladami z maso 1 kg tako, da je njegova hitrost stalna s kuhinjskega pulta na polico, ki je 1 m višje. Koliko dela je opravil?

Rešitev:

Primer:

Zakaj človek potrebuje energijo?

Energijo potrebujemo ne samo za opravljanje fizičnega ali miselnega dela, ampak tudi za dihanje, delovanje srca, ohranjanje telesne temperature – temu pravimo bazalni metabolizem.

lahko ga izračunamo.

Ženske: $(1,85 \cdot \text{višina v cm}) + (9,55 \cdot \text{masa v kg}) - (4,67 \cdot \text{starost}) + 655 = \text{bazalni metabolizem v kcal}$.

Moški: $(5 \cdot \text{višina v cm}) + (13,6 \cdot \text{masa v kg}) - (6,7 \cdot \text{starost}) + 66 = \text{bazalni metabolizem v kcal}$. Enoto kcal so uporabljali včasih in jo še vedno uporabljajo pri označevanju energijskih vrednosti prehrambenih izdelkov. 1 kcal = 4,18 kJ.

Dnevno potrebujemo 6 - 7,5 MJ, kar pomeni, da je moč človeka 69 - 87 W. $(P = \frac{A}{t} = \frac{6\,000\,000\,J}{24\,3600\,s} = 69\,W)$

Z lažji fizičnim delom porabimo 10 000 kJ (moč - 120 W) in pri športu okrog 20 000 kJ (moč - 240 W). Energijo, ki jo potrebujemo, dobimo iz hrane.

Primer:

Telo potrebuje 10 MJ energije na dan. To količino energije vnesemo v telo s hrano. Če gremo še za 2 uri na kolo, bo telo potrebno energijo pretvorilo iz maščob. Telo pri kolesarjenju troši moč 7,6 W na kg mase kolesarja. Koliko maščobe bo izgubila oseba z maso 50 kg, če je energijska vrednost maščobe 38,9 kJ/g?

$$A_1 = 10\,000\,000\,J$$

$$A_2 = 7,6\,W/kg \cdot 50\,kg \cdot 7200\,s = 2\,736\,000\,J.$$

$$\text{Skupaj } A_1 + A_2 = 12\,736\,000\,J.$$

$$\text{Oseba bo izgubila } 12\,736\,000\,J / 38\,900\,J / g = 70\,g \text{ maščobe.}$$



Primer:

V razredu je 30 učencev. Kolikšna je moč učencev, ko opravlajo preprosto dejavnost in koliko premoga z energijsko vrednostjo 17 000 kJ na kg bi potrebovali za enako moč? Preprosta dejavnost (npr. sedenje na stolu in poslušanje učiteljice) pomeni, da posamezen učenec troši moč 120 W. $30 \cdot 120 \text{ W} = 3,6 \text{ kW}$. V 1 uri je to 3,6 kWh, kar pomeni 3600 Wh. $3600 \text{ Wh} = 12\,960 \text{ kJ}$

Potrebovali bi $\frac{12\,900 \text{ kJ}}{17\,000 \text{ kJ}} = 0,76 \text{ kg premoga na uro.}$

Primer:

Nosač z maso 80 kg bo nesel prtljago z maso 70 kg. Na poti bo premagal 1000 višinskih metrov, za kar bo potreboval 3 ure. Kolikšna je njegova moč? Primerjaj jo s konjsko močjo, ki je enaka 746 W.

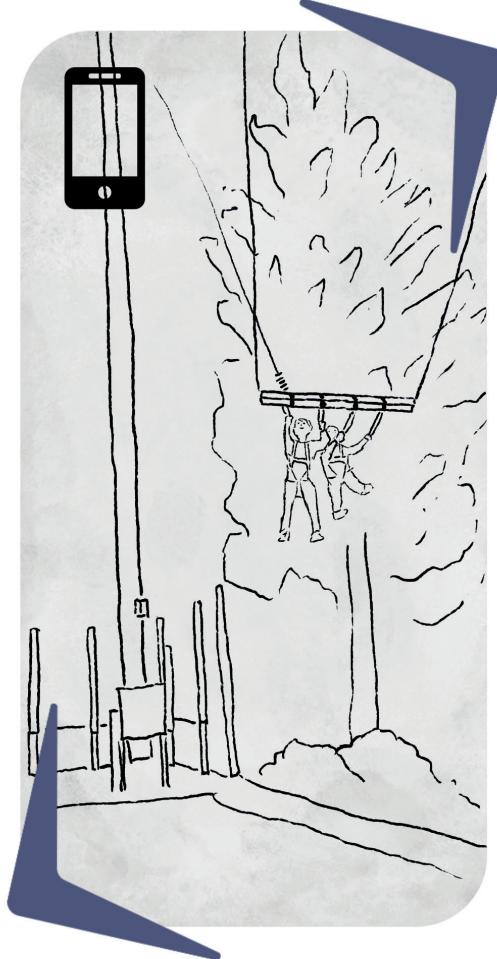
$$P = \frac{A}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = \frac{(80+70)\text{kg} \cdot 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 1\,000 \text{ m}}{3 \cdot 3600 \text{ s}} = 139 \text{ W}$$

Dvakrat na leto lastnik koče najame helikopter, ki mu dostavi pijačo, nekaj hrane, drva za ogrevanje in podobno. Ostalo v kočo prinesejo nosači. Ko izračunamo, koliko stane helikopter in koliko nosači za prenos kilograma prtljage, vidimo, da so stroški za plačilo nosača višji.

Primer:

Primer se nanaša na zabaviščni park. Najprej si oglej video. Tvoje naloge so:

1. Izračunaj potencialno energijo deklet na vrhu gugalnice?
2. Kolikšna je njuna hitrost na najnižji točki?
3. Zakaj na drugi strani gugalnice ne prideta do iste višine kot na začetku? Za koliko J se je njuna energija zmanjšala? V katero obliko energije se je pretvorila?



Izračunaj sam po navedenih korakih

Oceni višino deklet na vrhu gugalnice. Poleg gugalnice stoji moški, čigar višina je okrog 180 cm.

Višina gugalnice je: _____

Enačba za izračun potencialne energije: _____

Kinetična energija deklet: _____

Izrek o kinetični in potencialni energiji: _____

Hitrost deklet v najnižji točki: _____

Na podoben način kot prej oceni, kolikšna je dosežena višina na drugi strani: _____

Izračunaj potencialno energijo deklet na drugi strani gugalnice: _____

Njuna skupna energija se je zmanjšala za: _____

Pretvorila se je v: _____



Sedaj ko si vse izračunal, preveri, koliko tvoji sošolci zaupajo fiziki. To naredi le pod nadzorom staršev ali učitelja.

Pripomočki: 2 l plastenka, elastična vrvica dolga 3-4 m in mesto, kamor lahko obesiš plastenko.

Postopek:



- Plastenko napolni z vodo in jo obesi na tako mesto, da lahko prosto niha v navpični ravnini, ne da bi ob karkoli udarila.
- Prosi sošolca, naj se postavi tako, da se plastenka ravno dotakne njegove brade ali nosu, ko napneš elastiko.
- Opozori ga, naj se ne premika.
- Povleci plastenko proti njegovi bradi in jo izpusti.
- Lahko naredita tudi tak poskus, da plastenko zanihaš levo, desno (ne gor dol). V tem primeru se mora sošolec postaviti malo stran od platenke, ti pa jo spustiš. Plastenka bo zanihala stran od njega in nato zopet k njemu.
- Pomembno je, da se sošolec ne premakne.
- To je primer ohranjanja mehanske energije v praksi. Najnižja (ali najvišja v drugem primeru) točka, ki jo plastenka lahko doseže, je začetni položaj.

Viri uporabljenih slik

KAJ JE FIZIKA

1. wikipedia - According to Lysippos – Jastrow (2006) Bust of Aristotle. Marble, Roman copy after a Greek bronze original by Lysippos from 330 BC; the alabaster mantle is a modern addition.
2. wikipedia - <http://collections.rmg.co.uk/collections/objects/14174.html>
3. wikipedia - Ferdinand Schmutzler ml. – <https://web.archive.org/web/20071026151415/http://www.anzenbergergallery.com/en/article/134.html> - Albert Einstein during a lecture in Vienna in 1921.
4. wikipedia - [https://en.wikipedia.org/wiki/Neil_deGrasse_Tyson#/media/File:Neil_de-Grasse_Tyson_in_June_2017_\(cropped\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Neil_deGrasse_Tyson#/media/File:Neil_de-Grasse_Tyson_in_June_2017_(cropped).jpg) - Trondheim 20.06.2017 : The science festival Starmus IV at NTNU, Trondheim, Norway. Stephen Hawking Science Medal Ceremony. Jean-Michel Jarre and Neil deGrasse Tyson receive the Stephen Hawking Science Medal. Photo: Thor Nielsen / NTNU
5. wikiwand - https://www.wikiwand.com/en/Brian_Greene
6. pexels - <https://www.pexels.com/sk-SK/photo/zviera-fotografie-zvierat-zijucich-vo-volnej-prirode-wildlife-koral-7001610/>
7. Azerbaijan_Stockers - Freepik.com - https://www.freepik.com/free-photo/wicker-basket-raw-organic-eggs-marble_13341566.htm

MEHANIKA: KINEMATIKA

8. wikipedia- Nicole Oresme (1400-1420) *Traité de la sphère*; Aristote, *De caelo et de mundo*, traduction française par Nicole Oresme, p. 1r OCLC: 1177977521. First page of the book "Traité de l'espèce". The miniature represents Nicole Oresme busy at his studies, with an armillary sphere in the foreground
9. wikipedia - according to Frans Hals – André Hatala [e.a.] (1997) *De eeuw van Rembrandt*, Bruxelles: Crédit communal de Belgique, ISBN 2-908388-32-4
10. wikipedia - Ambrose Tardieu – The Dibner collection at the Smithsonian Institution (USA)
11. freepik - https://www.freepik.com/free-photo/purple-ink-dissolve-glass-water-with-shadow-white-backdrop_3631039.htm
12. freepik - https://www.freepik.com/premium-photo/color-paper-plane-blue-background-business-competition-concept-top-view_21648433.htm
13. freepik - Free Vector | Free vector marine boats cruise sea travel yacht motor vessels flat icons set with jet cutter abstract isolated vector illustration (freepik.com)
14. freepik - Free Vector | Free vector cartoon character boy and girl playing seesaw on white (freepik.com)
15. freepik - Free Vector | Free vector solar system astronomy banner (freepik.com)
16. freepik - Free Vector | Free vector set of happy multiethnic preschool boys standing in different action (freepik.com)
17. freepik - Free Vector | Students in classroom (freepik.com)
18. Modified from freepik - Free Vector | Travel map infographic (freepik.com)
19. Modified from freepik - Free Vector | Free vector travel sale landing page (freepik.com)



MEHANIKA: DINAMIKA

20. wikipedia - Caspar Netscher - <http://ressources2.techno.free.fr/informatique/sites/inventions/inventions.html> - https://cs.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens#/media/Soubor:Christiaan_Huygens-painting.jpeg
21. wikipedia - James Thronill after Sir Godfrey Kneller - <http://www.newton.cam.ac.uk/art/portrait.html>
22. wikipedia - Christoph Bernhard Francke - Herzog Anton Ulrich-Museum, online
23. freepik - Free Vector | Boy doing different activities on white (freepik.com)
24. freepik - Free Vector | Boy in gray shirt pushing the wall (freepik.com)
25. freepik - Free Vector | Levers simple machine science experiment (freepik.com)
26. freepik - Free Vector | Frictional force for science and physics education (freepik.com)
27. freepik - Free Vector | Skydiving and extreme sports set (freepik.com)
28. freepik - Free Vector | Diagram showing magnetic force with attract and repel (freepik.com)
29. iconspng - <https://www.iconspng.com/images/geocentric-and-heliocentric-systems/geocentric-and-heliocentric-systems.jpg>
30. freepik - https://www.freepik.com/free-vector/german-battlefield-cannon_4258271.htm#query=da%20vinci%20cannon&position=0&from_view=search&track=ais

TEKOČINE

31. wikipedia - <http://www.thocp.net/biographies/pascal.blaise.html> (file) - Portrait of Blaise Pascal
32. wikipedia - Archimedes. Engraving from the book Les vrais pourtraits et vies des hommes illustres grecz, latins et payens (1586). <https://la.wikipedia.org/wiki/Archimedes> - Portrait of Archimedes
33. wikipedia - Unbekannt - This image is from the collection of the ETH-Bibliothek and has been published on Wikimedia Commons as part of a cooperation with Wikimedia CH.
34. wikipedia - Amédée Guillemin - The forces of nature: a popular introduction to the study of physical phenomena p. 69. An illustration of Pascal's barrel experiment

DELO, MOČ, ENERGIJA

35. wikipedia - https://sk.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule_Henry_Roscoe - The Life & Experiences of Sir Henry Enfield Roscoe (Macmillan: London and New York), p. 120
36. wikipedia - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rudolf_Clausius_01.jpg - Picture taken by Theo Schafgans (1859–1907), Bonn; heliogravüre by Meisenbach, Riffarth & Co. Berlin. Scanned, image processed and uploaded by Kuebi = Armin Kübelbeck - Zeitschrift für Physikalische Chemie, Band 21, von 1896
37. wikipedia - https://sk.wikipedia.org/wiki/William_Thomson - Photo by Messrs. Dickinson, London, New Bond Street" (according to <http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/hst/scientific-identity/fullsize/SIL14-T002-07a.jpg>) - Portrait of William Thomson, Baron Kelvin, Smithsonian Libraries



ARPHYMEDES

Gradivo za učence

Zahvaljujemo se Mihaiti Emanuel Anton in Carmen Tita (Romunija) za prispevek pri realizaciji 3D modelov in pomoč pri začetni pripravi grafične podobe gradiva. Zahvaljujemo se tudi tehniškim sodelavcem s Pedagoške fakultete (Univerza v Ljubljani, Slovenija) za podporo pri nekaterih poskusih. Lubici Vareckovi hvala za prevod besedila v slovaščino in Kaiti Tamm za prevod v estonščino.

Publikacija je financirana s strani Evropske komisije. Vsebina publikacije odraža izključno stališča avtorjev. Evropska komisija ni odgovorna za kakršnokoli uporabo informacij, ki jih publikacija vsebuje.

Project AR physics made for students –
2020-1-SK01-KA201- 078391



ARPHYMEDES

