



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

Začetno naravoslovje **FIZIKA**

Učbenik za študijski program
Predšolska vzgoja



Marko Gosak in Marko Marhl



Univerza v Mariboru

Pedagoška fakulteta

Začetno naravoslovje – fizika

Učbenik za študijski program Predšolska vzgoja

Avtorja

Marko Gosak

Marko Marhl

September 2026

Naslov <i>Title</i>	Začetno naravoslovje – fizika <i>Principles of Natural Sciences – Physics</i>
Podnaslov <i>Subtitle</i>	Učbenik za študijski program Predšolska vzgoja <i>Textbook for the Preschool Education Study Programme</i>
Avtorja <i>Authors</i>	Marko Gosak (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta; Fakulteta za naravoslovje in matematiko; Pedagoška fakulteta) Marko Marhl (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta; Fakulteta za naravoslovje in matematiko; Pedagoška fakulteta)
Recenzija <i>Review</i>	Jerneja Pavlin (Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta) Marko Jagodič (II. gimnazija Maribor)
Lektoriranje <i>Language editing</i>	Petra Kunc
Tehnični urednik <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Oblikovanje ovitka <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Grafika na ovitku <i>Cover graphics</i>	Steklena krogla in trikotna prizma, foto: Michael Dziedzic, unsplash.com, 2020
Grafične priloge <i>Graphic material</i>	Vsi viri so lastni, če ni navedeno drugače. Gosak, Marhl (avtorja), 2026
Založnik <i>Published by</i>	Univerza v Mariboru Univerzitetna založba Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija https://press.um.si , zalozba@um.si
Izdajatelj <i>Issued by</i>	Univerza v Mariboru Pedagoška fakulteta Koroška cesta 160, 2000 Maribor, Slovenija https://pef.um.si , dekanat.pef@um.si
Izdaja <i>Edition</i>	Prva elektronska izdaja
Vrsta publikacije <i>Publication type</i>	E-knjiga
Izdano <i>Published at</i>	Maribor, Slovenija, september 2026
Dostopno na <i>Available at</i>	https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/1160



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba

/ University of Maribor, University of Maribor Press

Besedilo / Text © Gosak, Marhl (avtorja), 2026.

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstvaNekomercialno 4.0 Mednarodna./ *This work is published under a Creative Commons 4.0 International licence (CC BY NC 4.0).*

Uporabnikom je dovoljeno reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem, javna priobčitev in predelava izvirnega ali derivativnega avtorskega dela, vendar samo v nekomercialne namene ter pod pogojem, da navedejo avtorja dela.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Katalogni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani COBISS.SI-ID 290992387 ISBN 978-961-299-196-8 (PDF)

ISBN 978-961-299-196-8 (pdf)

DOI <https://doi.org/10.18690/um.pef.4.2026>

Cena Brezplačni izvod

Odgovorna oseba založnika Prof. dr. Dean Korošak,
For publisher rektor Univerze v Mariboru

Citiranje Gosak, M., Marhl, M. (2026). *Začetno naravoslovje – fizika: učbenik za študijski*
Attribution program Predšolska vzgoja. Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba. doi:
10.18690/um.pef.4.2026

Kazalo

Predgovor.....	1
1 Fizika kot opazovanje in merjenje	3
1.1 Od opazovanja do meritve	3
1.2 Fizikalne količine in merske enote	4
1.3 Negotovost in napake pri merjenju.....	5
Vprašanja za preveritev razumevanja.....	6
2 Gibanje in sile	11
2.1 Opis in merjenje gibanja.....	11
2.2 Pospešek in spreminjanje gibanja	12
2.3 Sile okoli nas.....	14
2.4 Prvi Newtonov zakon – zakon vztrajnosti.....	15
2.5 Drugi Newtonov zakon – sila spreminja gibanje.....	15
2.6 Tretji Newtonov zakon – sile nastopajo v parih.....	17
Vprašanja za preveritev razumevanja.....	18
3 Mehansko delo, energija, moč	23
3.1 Mehansko delo – prenos energije s silo.....	23
3.2 Energija in energijske pretvorbe	24
3.3 Moč – hitrost opravljanja dela.....	26
Vprašanja za preveritev razumevanja.....	27
4 Toplota in toplotni tokovi	31
4.1 Toplotni tok	32
4.2 Kako živali zmanjšujejo izgubo toplote	33
4.3 Toplotni izmenjevalci	33
4.4 Konvekcija.....	34
4.5 Prenos toplote s sevanjem	35
4.6 Absorpcija, odboj in barva površine.....	35
Vprašanja za preveritev razumevanja.....	37
5 Snov in agregatna stanja	41
5.1 Trdnine, kapljavine in plini	41
5.2 Prehodi med agregatnimi stanji.....	42
5.3 Voda v naravi in kroženje vode	43
5.4 Anomalija vode.....	44
Vprašanja za preveritev razumevanja.....	45
6 Tlak, vzgon in tok tekočin	49
6.1 Tlak 49	
6.2 Tlak v mirujoči tekočini.....	49
6.3 Zračni tlak.....	50
6.4 Zračni tlak in vreme.....	52
6.5 Vzgon in plovnost.....	52
6.6 Uravnavanje plovnosti pri živalih.....	55
6.7 Tok tekočin in tlačne razlike	56
6.8 Prostorninski pretok in kontinuitetna enačba	56
6.9 Hitrost toka in tlak – Bernoullijev pojav	57
Vprašanja za preveritev razumevanja.....	58

7	Nihanje, valovanje in zvok	63
7.1	Nihanje kot periodično gibanje.....	63
7.2	Energijske pretvorbe pri nihanju.....	65
7.3	Od česa je odvisen nihajni čas?	65
7.4	Valovanje	66
7.5	Zvok kot valovanje	67
7.6	Višina tona, frekvenca in glasbila.....	68
7.7	Glasnost in zaznavanje zvoka	69
7.8	Barva zvoka	69
7.9	Infrazvok in ultrazvok	70
	Vprašanja za preveritev razumevanja.....	71
8	Elektrika in magnetizem.....	75
8.1	Električni naboj in električna sila.....	75
8.2	Naelektritev teles in elektrostatični pojavi	76
8.3	Električni tok in električna energija.....	77
8.4	Sklenjeni električni krog	78
8.5	Električna napetost	78
8.6	Električni upor in vezja z več porabniki.....	79
8.7	Elektrika v domu: moč, poraba in varnost	80
8.7.1	Enosmerni in izmenični električni tok.....	80
8.7.2	Hišna električna napeljava.....	80
8.8	Električna moč in poraba energije.....	81
8.9	Magnetizem in magnetna sila	81
8.10	Zemljino magnetno polje in kompas	82
8.11	Elektromagnet.....	83
8.12	Elektromotor.....	84
	Vprašanja za preveritev razumevanja.....	85
9	Svetloba, barve in vid	91
9.1	Svetloba in svetila	91
9.2	Širjenje svetlobe in sence	92
9.3	Odboj svetlobe	93
9.4	Slika v ravnem zrcalu	93
9.5	Lom svetlobe.....	93
9.6	Popolni odboj in optična vlakna.....	94
9.7	Nastanek slike: camera obscura in leče.....	94
9.8	Oko, vid in korekcija vida.....	95
9.9	Bela svetloba in spekter.....	96
9.10	Mavrica, halo in drugi pojavi v ozračju	96
9.11	Barve predmetov in barvni vid	97
9.12	Seštevalno (aditivno) mešanje barvne svetlobe.....	97
9.13	Odštevalno (subtraktivno) mešanje barv	98
	Vprašanja za preveritev razumevanja.....	99
10	Zemlja, Sonce in Luna	105
10.1	Zemlja, Sonce in Luna kot vesoljska telesa.....	105
10.3	Letni časi	107
10.4	Luna in lunine mene	108
10.5	Sončev in lunin mrk.....	109
	Vprašanja za preveritev razumevanja.....	110

Predgovor

Učbenik **Začetno naravoslovje – fizika** smo pripravili predvsem za študente študijskega programa Predšolska vzgoja, torej za prihodnje vzgojitelje in vzgojiteljice, ki bodo otrokom pomagali pri prvih korakih v raziskovanju narave. Namenjamo pa ga tudi vsem drugim, ki se pri svojem delu srečujejo z naravoslovnimi in zlasti fizikalnimi vsebinami v zgodnjem obdobju izobraževanja.

Fiziko razumemo kot eno temeljnih naravoslovnih ved, saj omogoča pojasnjevanje številnih pojavov, s katerimi se srečujemo vsak dan. Prav ti pojavi so tudi naravno izhodišče otroške radovednosti. Otroci se sprašujejo, zakaj nekaj pade, zakaj se predmeti gibljejo, zakaj ladja plava, od kod prihaja senca, kako nastane zvok, zakaj vidimo mavrico ali zakaj se izmenjujeta dan in noč. Če želimo otroke pri takšnem raziskovanju ustrezno usmerjati, moramo najprej sami dovolj dobro razumeti osnovne fizikalne koncepte, ki se skrivajo v ozadju teh pojavov.

Zato v učbeniku ne želimo posegati v poglobljeno matematično oziroma kvantitativno obravnavo fizike. Enačbe uporabljamo tam, kjer nam pomagajo fizikalni pojem natančneje opredeliti ali pokazati povezavo med količinami, vendar niso cilj same po sebi. V ospredje postavljamo predvsem **razumevanje fizikalnega**

ozadja pojavov, sposobnost njihove razlage ter povezovanje opazovanja, merjenja, poskusa in fizikalnega modela.

Poseben poudarek namenjamo pojavom, ki jih lahko opazujemo v vsakdanjem okolju ali jih predstavimo s preprostimi poskusi. Na ta način želimo fiziko približati kot način razmišljanja o naravi: opazujemo, merimo, primerjamo, postavljamo vprašanja, oblikujemo razlage in jih preverjamo. Prepričani smo, da je prav takšno razumevanje najboljša osnova za poznejše približevanje naravoslovja otrokom – preprosto in nazorno, vendar strokovno pravilno.

V učbeniku zato postopoma obravnavamo **opazovanje in merjenje, gibanje in sile, mehansko delo, energijo in moč, toploto in toplotne tokove, snov in agregatna stanja, tlak, vzgon in plavanje, nihanje, valovanje in zvok, elektriko in magnetizem, svetlobo, barve in vid ter nazadnje še osnovne vsebine, povezane z Zemljo, Soncem in Luno**. Tako želimo temeljne fizikalne koncepte povezati z naravnimi pojavi, s katerimi se bodo bodoči vzgojitelji pri svojem delu z otroki najpogosteje srečevali.

Avtorja

1 Fizika kot opazovanje in merjenje

Nosilna razlaga: Fizika pojave opazuje, primerja in meri, saj so zanesljivi podatki temelj dobrega pojasnila.

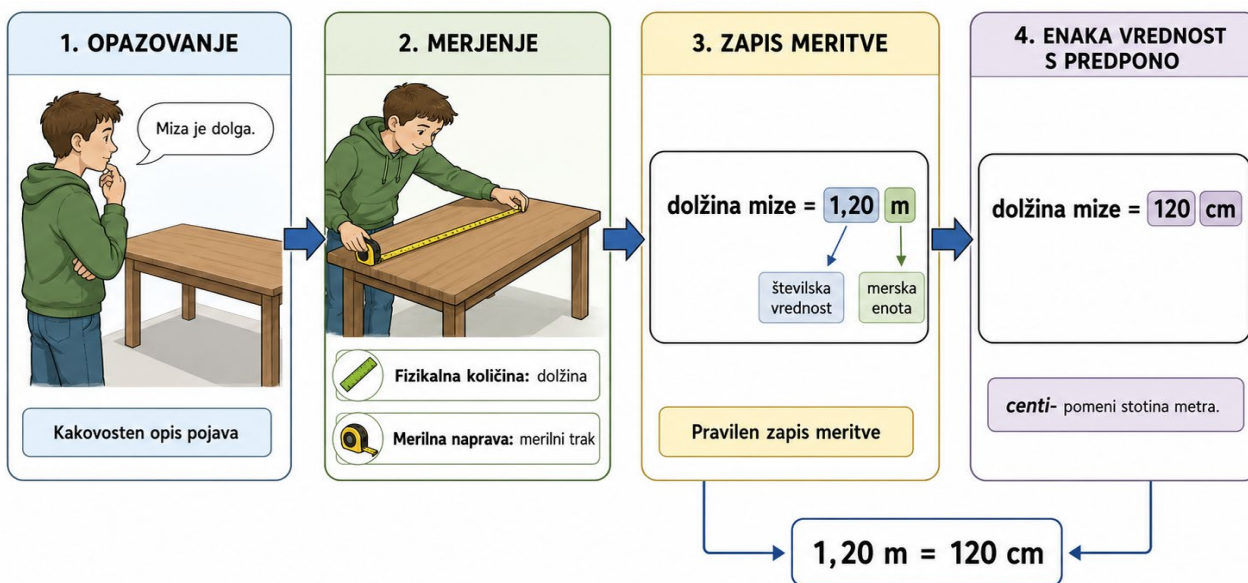
Ključni pojmi: opazovanje • fizikalna količina • merska enota • negotovost meritve

1.1 Od opazovanja do meritve

Fizika je naravoslovna veda, s katero skušamo razumeti pojave v svetu okoli sebe. Zanima nas, zakaj se predmeti premikajo ali mirujejo, zakaj se snovi segrevajo in ohlajajo, kako nastanejo zvok, svetloba in električni tok ter kako lahko te pojave opišemo na jasen in preverljiv način. Fizika se zato ne začne z zapletenimi formulami, temveč z **opazovanjem**. S fizikalnimi pojavi se srečujemo vsakodnevno. Opazimo, da žoga po metu pade na tla, da se voda v loncu pri segrevanju

ogreje, da se senca čez dan spreminja in da se mokro perilo na vetru hitreje suši.

Pri opazovanju pogosto najprej podamo kvalitativni opis: predmet je dolg, voda je topla, gibanje je hitro. Kadar želimo pojav opisati natančneje, izberemo lastnost, ki jo lahko primerjamo in merimo. **Merljivo lastnost telesa, snovi ali pojava imenujemo fizikalna količina**. Fizikalne količine so na primer dolžina, masa, čas, temperatura, prostornina, hitrost in sila. Rezultat meritve je vedno sestavljen iz **številске**



Slika 1.1: Prikaz poti od opazovanja do meritve in pravilnega zapisa rezultata.

vrednosti in merske enote. Merilne naprave imajo lahko skalo označeno v različnih enotah, zato lahko odčitani rezultat po potrebi izrazimo v drugi, za dani primer primerni enoti. Če izmerimo dolžino mize, lahko rezultat v osnovni enoti zapišemo kot: dolžina mize = 1,20 m.

Z uporabo predpone centi- lahko isto dolžino zapišemo tudi kot 120 cm. Zapisa 1,20 m in 120 cm sta enakovredna. Pot od opazovanja prek meritve do zapisa rezultata je ponazorjena na sliki 1.1.

1.2 Fizikalne količine in merske enote

Število samo po sebi ni popoln rezultat. Zapis 1,20 ne pove, ali gre za metre, centimetre, sekunde ali kilograme. Merska enota zato pove, s katero dogovorjeno velikostjo primerjamo merjeno količino. Da lahko rezultate meritev primerjamo ne glede na to, kdo in kje jih je opravil, uporabljamo dogovorjene enote. V fiziki je najpomembnejši **mednarodni sistem enot**, ki ga označujemo s kratico **SI**. Med osnovnimi enotami, ki jih bomo uporabljali, so meter za dolžino, kilogram za maso, sekunda za čas, amper za električni tok in kelvin za temperaturo. V vsakdanjem življenju temperaturo večinoma izražamo v stopinjah Celzija. Nekatere količine **merimo neposredno** z merilno napravo, druge pa **določimo iz več meritev**. Dolžino lahko na primer neposredno izmerimo z ravnilom, hitrost pa pogosto določimo iz izmerjene poti in časa. Nekatere fizikalne količine in njihove enote, s katerimi se bomo srečevali v nadaljevanju učbenika, so zbrane v preglednici 1.1. Na sliki 1.2 pa je ponazorjenih nekaj merilnih naprav za merjenje dolžine, mase, časa, temperature in prostornine.

Preglednica 1.1: Nekatere fizikalne količine in njihove merske enote. Z zvezdico je označenih sedem osnovnih fizikalnih količin mednarodnega sistema enot SI.

Fizikalna količina	Enota (znak)
masa*	kilogram (kg)
dolžina, razdalja*	meter (m)
čas*	sekunda (s)
ploščina	kvadratni meter (m ²)
prostornina	kubični meter (m ³)
gostota	kilogram na kubični meter (kg/m ³)
hitrost	meter na sekundo (m/s)
pospešek	meter na sekundo na kvadrat (m/s ²)
množina snovi*	Mol (mol)
sila	newton (N)
delo, energija	joule (J)
moč	watt (W)
tlak	pascal (Pa)

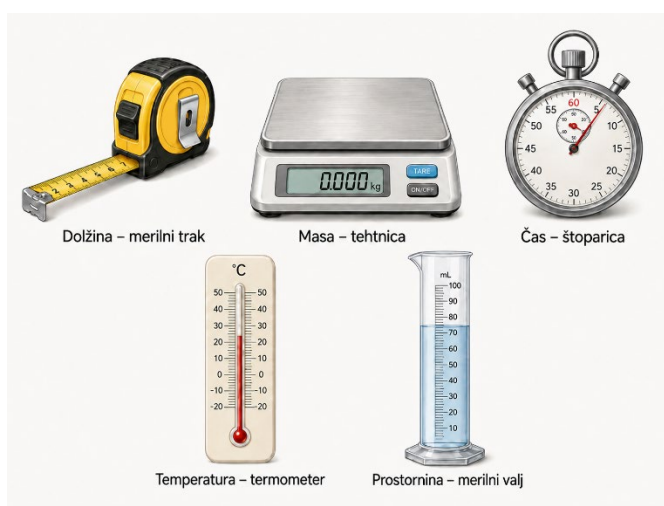
Fizikalna količina	Enota (znak)
temperatura*	kelvin (K), pogosto tudi stopinja Celzija (°C)
frekvenca	hertz (Hz)
električni tok*	amper (A)
električna napetost	volt (V)
svetilnost*	kandela (cd)

Kadar so izmerjene vrednosti zelo velike ali zelo majhne, uporabljamo **predpone**. Njihov pomen in nekaj primerov prikazuje preglednica 1.2. Pred enoto lahko dodamo predpono, ki pove, da gre za večji ali manjši del enote. Predpona kilo- na primer pomeni tisočkrat več, centi- stokrat manj, mili- pa tisočkrat manj. Tako lahko isto dolžino zapišemo kot 1 m, 100 cm ali 1000 mm.

Preglednica 1.2: Pogoste predpone za večkratnike in dele enot

Ime	Znak	Faktor	Primer
nano	n	10 ⁻⁹	1 nm = 10 ⁻⁹ m
mikro	μ	10 ⁻⁶	1 μm = 10 ⁻⁶ m
mili	m	10 ⁻³	1 mm = 10 ⁻³ m
centi	c	10 ⁻²	1 cm = 10 ⁻² m
deci	d	10 ⁻¹	1 dl = 10 ⁻¹ l
deka	da	10 ¹	1 dag = 10 g
hekto	h	10 ²	1 hl = 100 l
kilo	k	10 ³	1 km = 1000 m
mega	M	10 ⁶	1 MW = 10 ⁶ W
giga	G	10 ⁹	1 GHz = 10 ⁹ Hz
tera	T	10 ¹²	1 TJ = 10 ¹² J

Pri znakih je pomembna velikost črk: **m** pomeni mili-, **M** pomeni mega-, **k** pa je znak za kilo- in se vedno piše z malo črko.



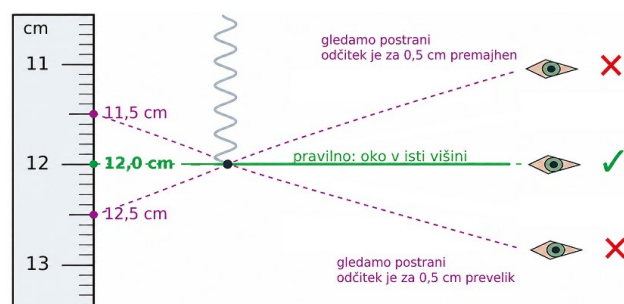
Slika 1.2: Nekatere merilne naprave in fizikalne količine, ki jih merimo z njimi.

1.3 Negotovost in napake pri merjenju

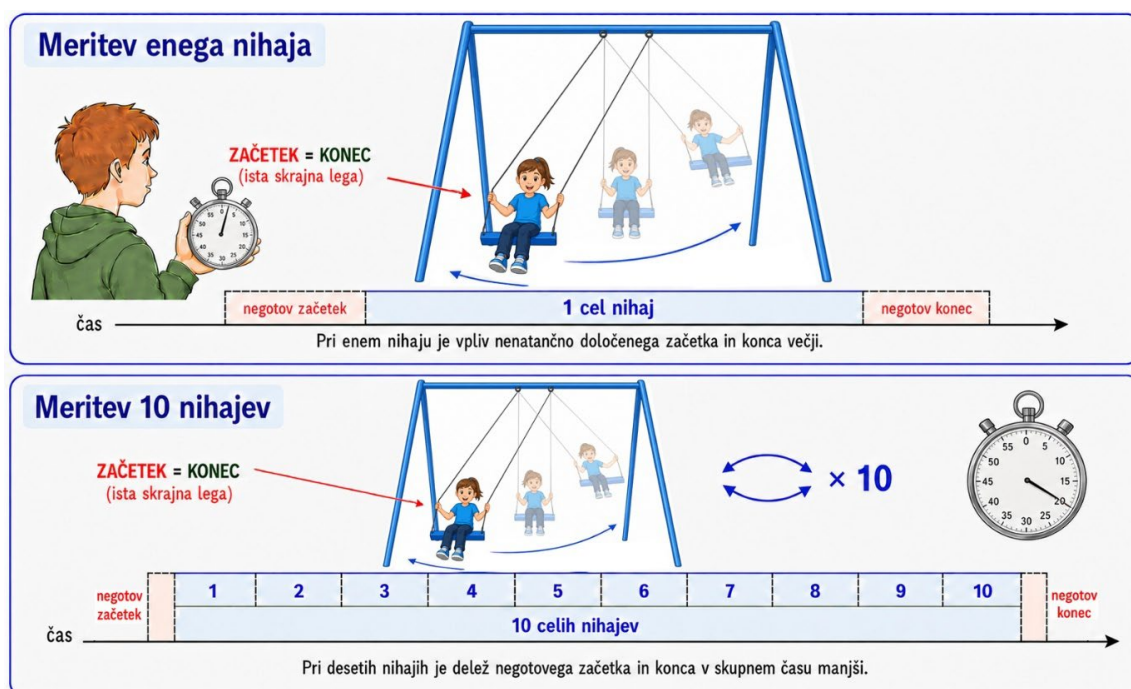
Merilne naprave so podaljški naših čutov. S pogledom težko presodimo, ali sta dve razdalji res enako dolgi, z dotikom pa ne moremo zanesljivo določiti, ali je ena posoda z vodo le malo toplejša od druge. Ravnila, tehtnice, štoparice, termometri in merilni valji nam omogočajo, da svoje zaznave izrazimo objektivneje in jih tudi natančno izmerimo. Vendar nobena meritev ni popolnoma natančna. Rezultat meritve je najboljša ocena vrednosti merjene količine, z njim pa je vedno povezana določena **merilna negotovost**. Na zanesljivost rezultata vplivajo najmanjša delitev merilne naprave, način odčitavanja, človekov odzivni čas in morebitno spreminjanje pogojev med poskusom. Najmanjša delitev merilne lestvice določa, kako majhne razlike lahko z napravo še razločimo. Z ravnilom, na katerem so najmanjše delitve milimetri, na primer ne moremo zanesljivo meriti stotink milimetra.

Nekatera odstopanja se od meritve do meritve spreminjajo. Imenujemo jih **naključna odstopanja**. Če merimo silo z dinamometrom, naprave morda ne držimo vsakič popolnoma enako, zato se rezultati nekoliko razlikujejo. Pri merjenju časa s štoparico na rezultat vpliva tudi človekov reakcijski čas. Vpliv naključnih odstopanj zmanjšamo tako, da meritev večkrat ponovimo, rezultate primerjamo in po potrebi določimo njihovo povprečno vrednost.

Druge odstopanja vplivajo na vse meritve na podoben način in povzročijo, da so rezultati vedno previsoki ali vedno prenizki. Imenujemo jih **sistematična odstopanja**. Pojavijo se lahko, če tehtnica pred merjenjem ne kaže ničle, če je merilna naprava nepravilno umerjena ali če merilno lestvico vedno opazujemo iz napačnega zornega kota. Takšnih odstopanj samo s ponavljanjem meritev ne odpravimo, temveč moramo popraviti merilno napravo ali način merjenja. Na primer, pri odčitavanju z analognih merilnih naprav mora biti oko v isti višini kot kazalec oziroma gladina merjene tekočine. Če lestvico opazujemo poševno, lahko odčitamo prenizko ali previsoko vrednost. Takšno odstopanje imenujemo **napaka paralakse** (slika 1.3).



Slika 1.3: Pravilno in nepravilno odčitavanje merilne lestvice. Poševen pogled povzroči napako paralakse: prava lega kazalca je 12,0 cm, pri poševnem pogledu pa navidezno odčitamo kot 11,5 cm ali 12,5 cm.



Slika 1.4: Merjenje nihajnega časa otroka na gugalnici.

Pri merjenju časa z ročno stoparico na rezultat vpliva tudi reakcijski čas človeka. Težko namreč povsem natančno določimo trenutek, ko meritev začnemo, in trenutek, ko jo končamo. To je posebej izrazito pri merjenju časa enega samega nihaja, saj negotovost pri določitvi začetka in konca predstavlja razmeroma velik delež celotne meritve. Zanesljivejši rezultat dobimo, če izmerimo čas več zaporednih nihajev in ga nato delimo s številom nihajev. V tem primeru sta nekoliko nenatančno določena predvsem začetek in konec celotne meritve, njun vpliv na izračunani nihajni čas pa je manjši (slika 1.4).

Fizikalno raziskovanje se začne z opazovanjem, nadaljuje merjenje in konča s preišljenim vrednotenjem rezultatov. Pri tem moramo izbrati ustrezno fizikalno količino in merilno napravo, rezultat pravilno zapisati s številsko vrednostjo in mersko enoto ter upoštevati, da je z vsako meritvijo povezana določena negotovost. Z večkratnim merjenjem, pravilnim odčitavanjem in nadzorovanjem pogojev dobimo zanesljivejše podatke, ki omogočajo objektivno primerjanje in razumevanje fizikalnih pojavov.



Vprašanja za preveritev razumevanja

1. V čem se fizikalno opazovanje razlikuje od merjenja in zakaj merjenje omogoča objektivnejši opis pojava?

2. Kaj je fizikalna količina? Navedite primer rezultata meritve ter v njem določite številsko vrednost in mersko enoto.

3. Zakaj rezultat meritve ni popoln, če zapišemo le številsko vrednost brez merske enote?

4. Kaj je mednarodni sistem enot SI in katere osnovne enote uporabljamo za merjenje dolžine, mase, časa, električnega toka in temperature?

5. Čemu služijo predpone pri merskih enotah? Pojasnite pomen predpon kilo-, centi- in mili- ter opozorite na pomen velikih in malih črk pri zapisu njihovih simbolov.

6. Kakšna je razlika med neposrednim merjenjem fizikalne količine in njenim določanjem na podlagi več drugih meritev? Navedite primer za oba postopka.

7. Zakaj nobena meritev ni popolnoma natančna in kateri dejavniki vplivajo na merilno negotovost?

8. V čem se razlikujejo naključna in sistematična odstopanja? Kako lahko zmanjšamo vpliv posamezne vrste odstopanj?

9. Kaj je napaka paralakse? Kako moramo opazovati merilno lestvico, da se ji izognemo?

10. Zakaj je nihajni čas pri uporabi ročne stoparice zanesljiveje določiti z merjenjem časa več zaporednih nihajev kot z merjenjem časa enega samega nihaja?

2 Gibanje in sile

Nosilna razlaga: Gibanje količinsko opišemo z merjenjem lege in časa. Če sile na telo niso v ravnovesju, se njegovo gibanje spremeni; če so sile v ravnovesju, telo miruje ali se giblje enakomerno premočrtno.

Ključni pojmi: lega • pot • čas • hitrost • pospešek • kroženje • sila • teža • Newtonovi zakoni

Vsak dan opazujemo gibanje. Hodimo, tečemo, vozimo kolo, mečemo žogo, se gugamo, odpiramo vrata in premikamo predmete. Gibanje je ena najbolj opaznih značilnosti sveta okoli nas. Telesa se ne gibljejo vedno enako: nekatera se gibljejo počasi, druga hitro, nekatera pospešujejo, druga pa se ustavljajo ali spreminjajo smer gibanja. Takšne pojave lahko najprej opišemo z besedami, fizika pa jih skuša opisati tudi količinsko, natančno in preverljivo.

V prejšnjem poglavju smo spoznali, da zanesljiv fizikalni opis temelji na **merjenju**. Gibanje je prvi primer, pri katerem to načelo neposredno uporabimo. Pri opisovanju gibanja merimo predvsem **čas** in **lego oziroma pot** telesa. Iz zaporednih meritev lege telesa v različnih trenutkih določimo hitrost, iz spreminjanja hitrosti s časom pa pospešek. Tako gibanja ne opisujemo več le z izrazi »počasi«, »hitro« ali »vedno hitreje«, temveč s fizikalnima količinama – hitrostjo in pospeškom. Obe izrazimo s številsko vrednostjo in mersko enoto.

2.1 Opis in merjenje gibanja

Za opis gibanja moramo najprej izbrati **opazovalni oziroma referenčni sistem**, določiti izhodišče in način merjenja časa. Telo se giblje, če se njegova lega glede na izbrani referenčni sistem s časom spreminja; če se ne spreminja, telo glede na ta sistem miruje. Isto telo je zato lahko za enega opazovalca v mirovanju, za drugega pa se giblje. Potnik, ki sedi na vlaku, na primer miruje

glede na sedež, hkrati pa se giblje glede na drevesa, hiše in pokrajino ob progi (slika 2.1, A). Pri gibanju v eni razsežnosti lego telesa opišemo s koordinato x , ki je funkcija časa t , torej $x(t)$. V prostoru pa lego splošneje opišemo z vektorjem lege.

Pri gibanju opazujemo tudi **tir gibanja**, to je črta, ki jo telo opiše med gibanjem. Če je tir raven, govorimo o premem gibanju, če je ukrivljen, pa o krivem gibanju (slika 2.1, B). Dolžino prepotovanega tira imenujemo **pot** in jo označimo s s . Spremembo lege med začetnim in končnim trenutkom opazovanja imenujemo **premik** ter jo v eni razsežnosti zapišemo kot $\Delta x = x_2 - x_1$. Pot in premik nista vedno enaka: če se telo vrne v začetno lego, je njegov premik enak nič, medtem ko je opravljena pot večja od nič.

Če izmerimo, da je telo v časovnem intervalu Δt opravilo pot Δs , dobimo **povprečno velikost hitrosti**. Ta pove, kolikšno pot telo v povprečju opravi v enoti časa:

$$v_{pov} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Če želimo opisati tudi smer gibanja, namesto poti uporabimo premik. Povprečna hitrost v eni razsežnosti je zato lahko pozitivna ali negativna:

$$\vec{v} = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Povprečna hitrost opisuje celoten časovni interval. Hitrost v izbranem trenutku pa dobimo tako, da časovni interval v mislih zmanjšujemo proti nič. Tako definiramo **trenutno hitrost**:

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Zapis dx/dt je **odvod lege po času**; dx in dt sta diferenciala lege in časa. Na grafu lege $x(t)$ je povprečna hitrost določena z naklonom sekante med dvema točkama, trenutna hitrost pa z naklonom tangente v izbrani točki. Pri enakomernem premočrtnem gibanju je hitrost stalna in velja $x(t) = x_0 + vt$. Osnovna enota za hitrost je meter na sekundo (m/s). V vsakdanjem življenju hitrost pogosto izražamo tudi v kilometrih na uro (km/h). Med enotama velja pretvorba $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$.

Da bi si lažje predstavljali, kaj pomenijo različne vrednosti hitrosti, lahko primerjamo nekaj gibanj iz narave, vsakdanjega življenja in tehnike (preglednica 2.1). Navedene hitrosti so le približne, saj se lahko glede na okoliščine precej spreminjajo. Razlike so izjemno velike: tektonske plošče se premaknejo le za nekaj

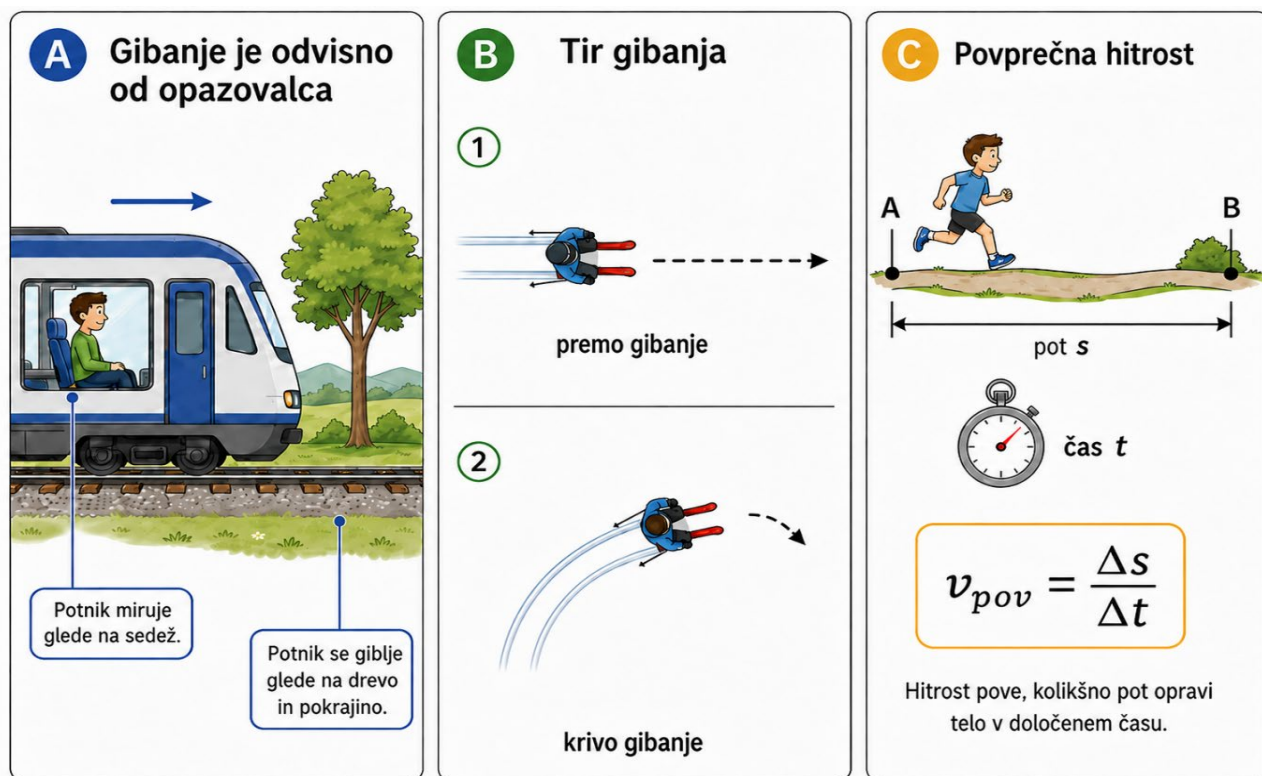
centimetrov na leto, umetni satelit pa lahko v eni uri prepotuje več deset tisoč kilometrov.

Preglednica 2.1: Približne značilne hitrosti nekaterih zelo počasnih in zelo hitrih gibanj. Vrednosti so zaokrožene in se lahko glede na posamezno telo ter okoliščine razlikujejo.

Gibajoče se telo	Primer gibanja	Približna hitrost
Tektonska plošča	premikanje Zemljine skorje	nekaj cm/leto
Polž	lezenje	nekaj cm/min
Človek	običajna hoja	približno 5 km/h
Človek – vrhunski sprinter	hiter tek	približno 35 km/h
Gepard	kratek hiter tek	približno 100 km/h
Hitri vlak	vožnja	približno 300 km/h
Potniško letalo	let	približno 900 km/h
Umetni satelit v nizki orbiti	kroženje okoli Zemlje	približno 28.000 km/h

2.2 Pospešek in spreminjanje gibanja

Doslej smo opisovali lego in hitrost telesa. Gibanje pa pogosto ni enakomerno: avtomobil spelje ali zavira, kolesar zavije, žoga pa po metu spremeni smer. Hitrost se lahko spreminja po velikosti, smeri ali hkrati po obeh. Fizikalna količina, ki opisuje časovno spreminjanje hitrosti, je **pospešek**. V splošnem sta hitrost in pospešek vektorski količini, zato je telo pospešeno tudi



Slika 2.1: Prikaz osnovnih značilnosti gibanja. A – Gibanje je odvisno od opazovalca: potnik na vlaku miruje glede na sedež, vendar se giblje glede na okolico. B – Tir gibanja je lahko raven ali ukrivljen; na sliki sta prikazana smučar, ki se giblje naravnost, in smučar, ki zavija. C – Z merjenjem poti in časa določimo povprečno velikost hitrosti.

takrat, ko se giblje z nespremenjeno velikostjo hitrosti, vendar spreminja smer.

Pospešek označimo s črko a . Če se hitrost med trenutkoma t_1 in t_2 spremeni za Δv , je povprečni pospešek enak spremembi hitrosti na časovno enoto:

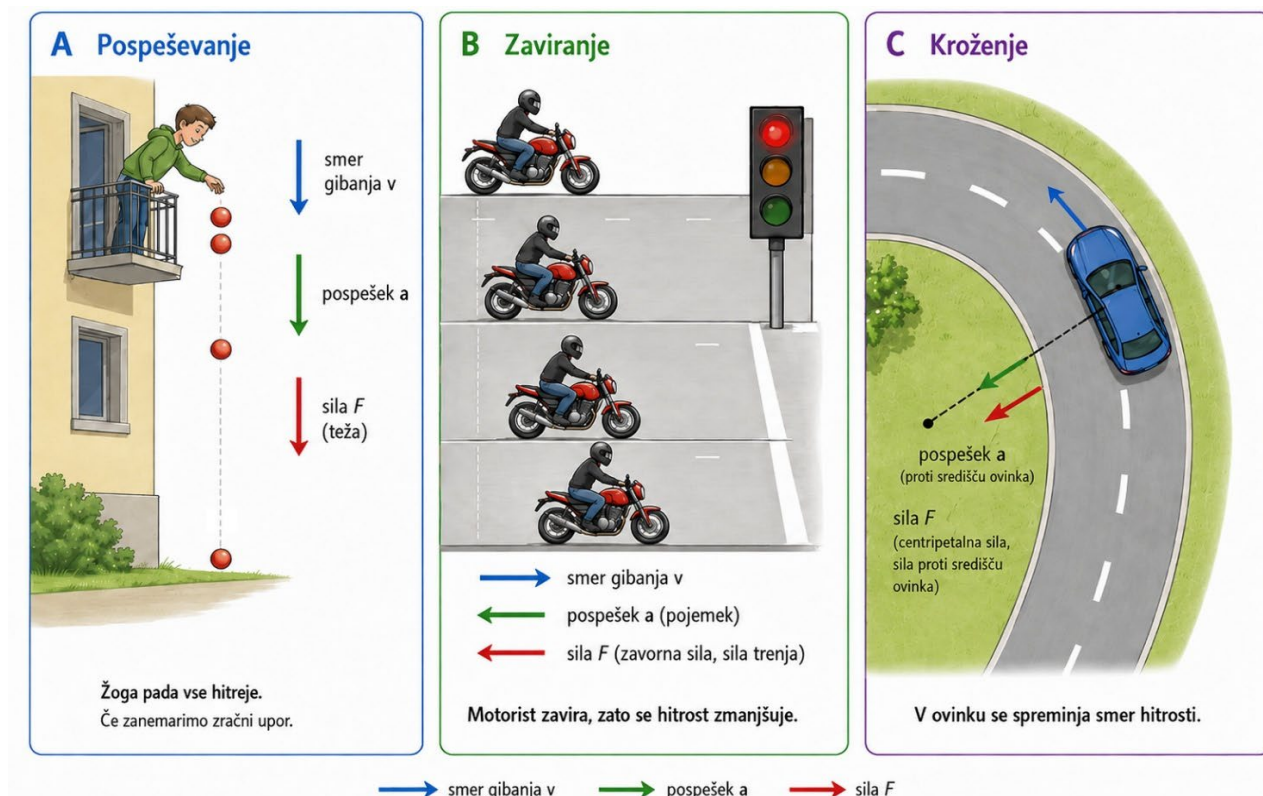
$$a_{\text{pov}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v(t_2) - v(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Trenutni pospešek je odvod hitrosti po času oziroma drugi odvod lege po času:

$$a(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Enota za pospešek je meter na sekundo na sekundo (m/s^2). Pospešek 1 m/s^2 pomeni, da se hitrost telesa vsako sekundo spremeni za 1 m/s . Pri premem gibanju pozitiven pospešek pomeni, da se hitrost v izbrani pozitivni smeri povečuje, negativen pospešek pa, da se zmanjšuje; predznak je zato odvisen tudi od izbrane smeri koordinatne osi. Pri premem gibanju s stalnim pospeškom velja $v(t) = v_0 + at$. Pospeševanje torej ne

pomeni le povečevanja velikosti hitrosti. Telo pospešuje tudi, kadar zavira ali spreminja smer. Na sliki 2.2 so prikazani trije značilni primeri: padanje žoge, zaviranje motorista in vožnja avtomobila skozi ovinek. **Poseben primer spreminjanja smeri med gibanjem je krožno gibanje.** Da se telo giblje po krožnici in ne nadaljuje naravnost, mora biti njegov pospešek usmerjen proti središču krožnice. Imenujemo ga **centripetalni pospešek**. Povzroča ga skupna sila v isti smeri, ki ji pravimo **centripetalna sila**. To ni posebna vrsta sile: pri avtomobilu v ovinku jo praviloma zagotavlja trenje med pnevmatikami in cesto, pri kamnu, privezanem na vrvi, sila napete vrvi, pri kroženju Lune okoli Zemlje pa gravitacijska sila. Pri vožnji skozi ovinek imamo pogosto občutek, da nas vleče navzven. Ta občutek v vsakdanjem jeziku pripišemo **centrifugalni sili**. Zaradi vztrajnosti bi naše telo nadaljevalo gibanje naravnost, medtem ko avtomobil spreminja smer. Sedež, vrata ali varnostni pas zato na telo delujejo s silo proti notranjosti ovinka, da se giblujemo skupaj z vozilom. Občutek, da nas vleče navzven, je torej posledica vztrajnosti, za zavijanje pa je potrebna centripetalna sila, usmerjena proti središču ovinka.



Slika 2.2: Trije značilni primeri pospešenega gibanja. A – Če zanemarimo zračni upor, se pri padanju žoge hitrost povečuje. B – Pri zaviranju se hitrost zmanjšuje. C – Pri vožnji skozi ovinek se spreminja smer hitrosti. Slika kaže povezavo med smerjo gibanja, pospeška in sile.

2.3 Sile okoli nas

Sila opisuje medsebojno delovanje teles. Ko potisnemo voziček, napnemo vrv, stisnemo vzmet ali udarimo žogo, eno telo deluje na drugo. Sila lahko spremeni hitrost ali smer gibanja telesa, lahko pa spremeni tudi njegovo obliko. Označimo jo s črko F , njena merska enota pa je newton (N).

Sila ima velikost, smer in prijemališče. Prijemališče sile je točka na telesu, v kateri sila deluje. Na slikah jo zato ponazarjamo s puščico: smer puščice kaže smer delovanja sile, njena dolžina pa lahko ponazarja velikost sile. Približno en newton je sila teže, ki na Zemlji deluje na predmet z maso okoli 100 gramov.

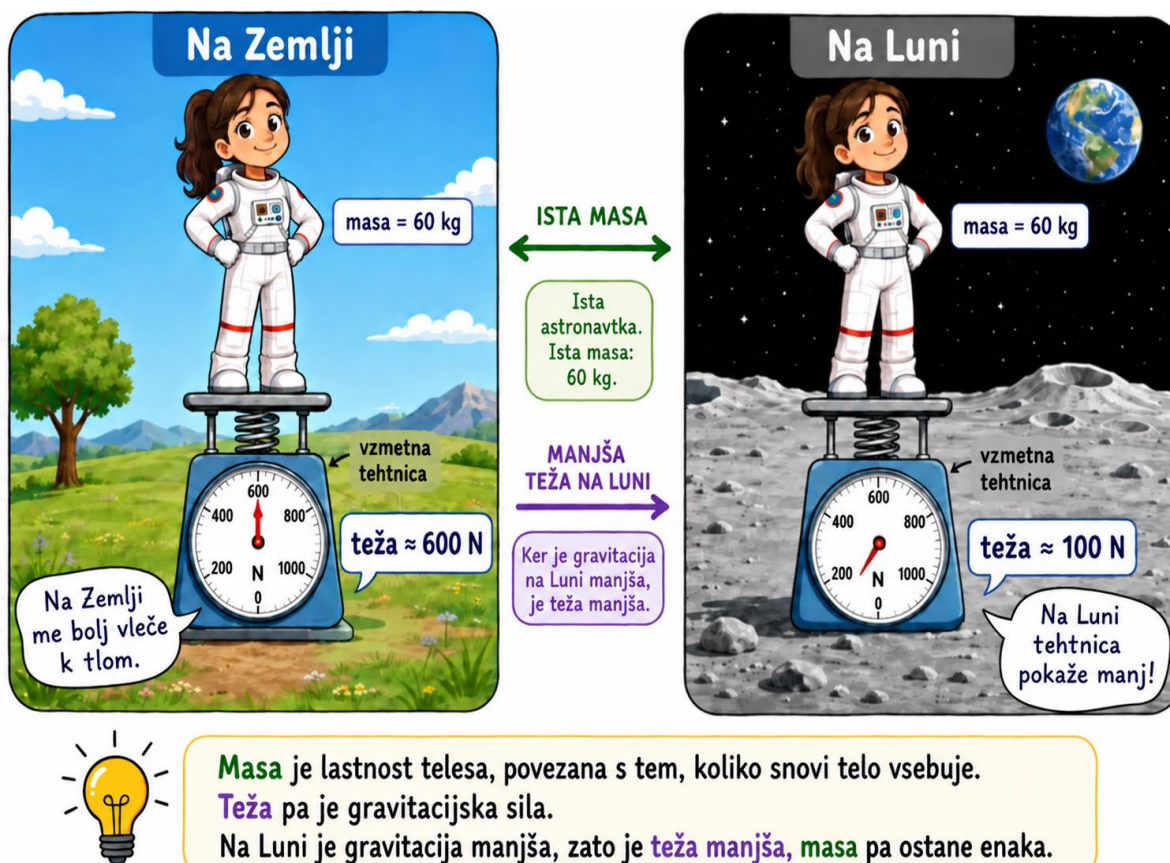
Na telesa lahko delujejo različne sile:

- **Teža** je gravitacijska sila, s katero Zemlja ali drugo nebesno telo privlači predmet. Usmerjena je proti središču nebesnega telesa.
- **Sila podlage** deluje na telo, ki se dotika tal, mize ali druge opore, in preprečuje, da bi telo prodrlo skozi podlago.

- **Sila napete vrvi** deluje vzdolž napete vrvi, vodnika ali niti.
- **Sila lepenja** preprečuje začetek drsenja, **sila trenja** pa nasprotuje drsenju med površinama. Lepenje omogoča oprijem pri hoji, teku in vožnji.
- **Zračni upor** nasprotuje gibanju telesa skozi zrak. Podobno v vodi deluje upor vode.
- **Prožnostna sila** nastane pri raztezanju ali stiskanju vzmeti, elastike in drugih prožnih teles.

Električne in magnetne sile lahko delujejo tudi brez neposrednega stika, vendar jih bomo podrobneje obravnavali v poznejših poglavjih.

Maso in težo v vsakdanjem govoru pogosto zamenjujemo, vendar ne pomenita istega. **Masa** je lastnost telesa, povezana s tem, koliko snovi telo vsebuje. Masa označujemo s črko m in merimo v kilogramih (kg). **Teža** je sila in jo merimo v newtonih. Na Zemlji velja $F_g = mg$, kjer je m masa telesa, g pa gravitacijski pospešek, ki je na Zemlji približno $9,8 \text{ m/s}^2$ in ga bomo zaokrožili na 10 m/s^2 . To pomeni, da na telo z maso 1 kg deluje na Zemlji teža približno 10 N.



Slika 2.3: Primerjava mase in teže na Zemlji in na Luni.



Slika 2.4: Primeri približnih velikosti sil iz vsakdanjega življenja in tehnike. Puščice prikazujejo smer delovanja sile; dejanske vrednosti so odvisne od okoliščin.

Masa telesa je na Zemlji, Luni ali katerem drugem planetu enaka, njegova teža pa se spreminja. Ker je gravitacija na Luni približno šestkrat šibkejša kot na Zemlji, je tudi teža človeka na Luni približno šestkrat manjša. Njegova masa pri tem ostane nespremenjena, kot prikazuje slika 2.3.

Sile, s katerimi se srečujemo, so lahko zelo različne. Za pritisk na stikalo zadostuje sila okoli enega newtona, pri udarcu teniškega loparja na žogico pa lahko sila doseže nekaj sto newtonov. Potisna sila velike rakete se meri že v milijonih newtonov oziroma meganewtonih (MN), kot prikazuje slika 2.4.

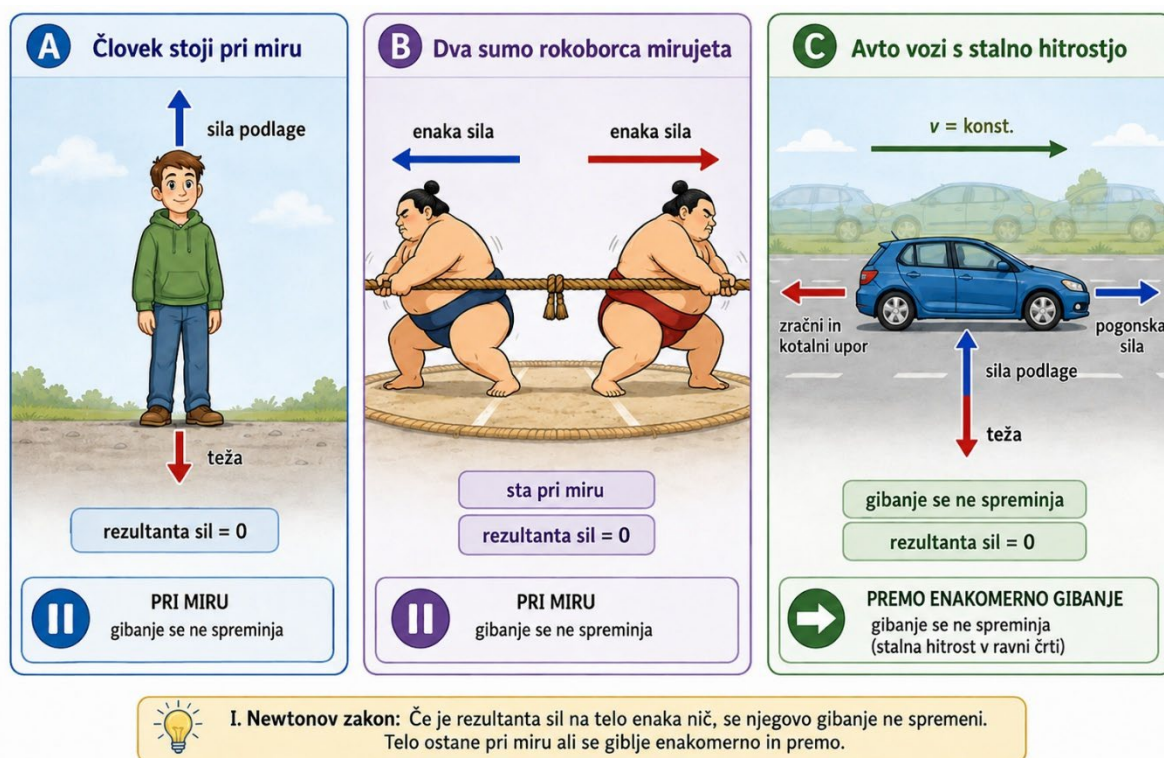
Ko na telo deluje več sil, je za njegovo gibanje pomemben njihov skupni učinek. Silo, ki ima enak učinek kot vse sile skupaj, imenujemo **rezultanta sil** oziroma skupna sila. Če je rezultanta enaka nič, so sile v ravnovesju; če ni, se gibanje telesa spremeni. Temeljne zakonitosti, ki povezujejo sile in gibanje, je v 17. stoletju oblikoval Isaac Newton. Danes jih poznamo kot tri Newtonove zakone.

2.4 Prvi Newtonov zakon – zakon vztrajnosti

Če je **rezultanta sil na telo enaka nič**, se njegovo gibanje ne spreminja: telo, ki miruje, ostane v mirovanju, telo, ki se giblje, pa nadaljuje enakomerno gibanje v ravni črti. Pri tem lahko na telo deluje več sil, vendar so te v ravnovesju, kot je prikazano na sliki 2.5. Prvi Newtonov zakon kaže, da sila ni potrebna za ohranjanje gibanja, temveč za njegovo spreminjanje. Predmeti se v vsakdanjem življenju pogosto ustavijo zato, ker nanje delujeta trenje in zračni upor. Brez teh sil bi se gibanje nadaljevalo. Lastnost telesa torej je, da ohranja stanje mirovanja ali enakomernega premega gibanja, kar imenujemo **vztrajnost**. Čim večja je masa telesa, tem večja je njegova vztrajnost.

2.5 Drugi Newtonov zakon – sila spreminja gibanje

Prvi Newtonov zakon opisuje primere, ko so sile, ki delujejo na telo, uravnotežene. Telo takrat miruje ali se giblje premo enakomerno. Kaj pa se zgodi, kadar sile niso uravnotežene? V tem primeru je rezultanta sil na

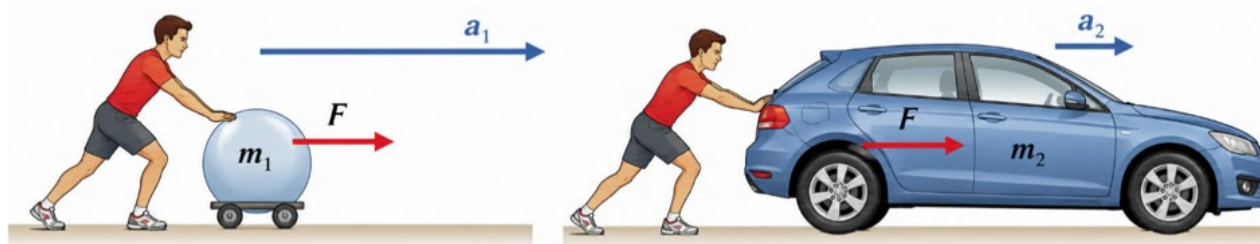


Slika 2.5: Primeri uravnoteženih sil pri prvem Newtonovem zakonu. A – Človek miruje, ker se njegova teža in sila podlage izravna. B – Na vsakega rokoborca delujeta sili napete vrvi proti sredini in nasprotno usmerjena sili lepenja med stopali in tlemi; ker se sili izravna, rokoborca mirujeta. C – Avtomobil vozi naravnost s stalno hitrostjo, ker pogonsko silo uravnotežita zračni in kotalni upor, v navpični smeri pa se izravna teža in sila podlage. V vseh treh primerih je rezultanta sil enaka nič, zato se gibanje teles ne spreminja.

telo različna od nič in gibanje telesa se spreminja. Telo lahko začne pospeševati, zavirati ali spreminjati smer gibanja. Takšno spreminjanje hitrosti imenujemo **pospešek**.

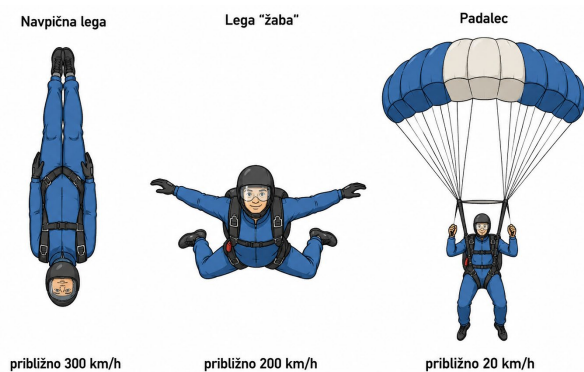
Drugi Newtonov zakon povezuje tri fizikalne količine: silo, maso in pospešek: $F_{\text{rez}} = ma$. Z F_{rez} tukaj označujemo **rezultanto vseh sil**, ki delujejo na neko telo. Čim večja je rezultanta sil, tem večji je pospešek telesa. Vendar je sprememba gibanja odvisna tudi od mase telesa. Telo z večjo maso je težje pospešiti ali ustaviti kot telo z manjšo maso. Pri enaki sili zato lažje telo dobi večji pospešek, težje pa manjšega, kot je ponazorjeno na sliki 2.6. Pomembna je tudi smer: telo pospešuje v smeri rezultante vseh sil, ki delujejo nanj.

Drugi Newtonov zakon lahko uporabimo tudi za razlago padanja skozi zrak. Če bi na telo delovala samo teža, bi njegova hitrost med padanjem nenehno naraščala. V zraku pa na gibajoče se telo deluje tudi **sila zračnega upora**, ki je usmerjena nasproti gibanju. Na padalca zato delujeta predvsem teža navzdol in zračni upor navzgor. Na začetku padanja je hitrost majhna, zato je majhen tudi zračni upor. Teža je večja od upora, rezultanta sil je usmerjena navzdol in padalec pospešuje. Z večanjem hitrosti se zračni upor povečuje, dokler ne postane enako velik kot teža. Tedaj je rezultanta sil enaka nič, pospeševanje preneha in padalec pada s stalno, tako imenovano **končno hitrostjo**. Velikost zračnega upora ni odvisna le od hitrosti, temveč tudi od gostote zraka, od oblike telesa ter njegove čelne



Slika 2.6: Zaradi potiskanja telesa z enako silo telo z manjšo maso bolj pospeši.

oziroma prečne površine, obrnjene proti toku zraka. Padalec v navpični legi zraku izpostavlja manjšo površino, zato je upor manjši in njegova končna hitrost večja. Ko razširi roke in noge v lego »žaba«, poveča prečno površino in s tem poveča zračni upor nanj, zato pada počasneje. Odprto padalo izpostavlja površino močno poveča in s tem končno hitrost zmanjša na vrednost, ki omogoča varen pristane (slika 2.7).

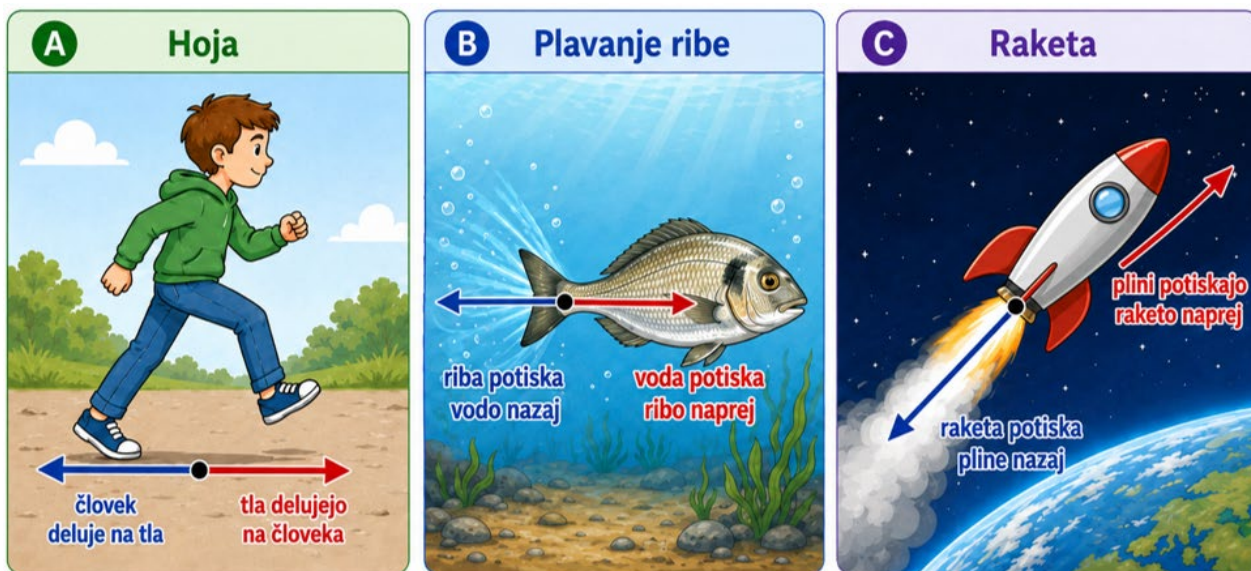


Slika 2.7: Vpliv lege telesa in velikosti prečne površine na končno hitrost padalca. Večja površina povzroči večji zračni upor in zato manjšo končno hitrost; odprto padalo jo še izraziteje zmanjša.

2.6 Tretji Newtonov zakon – sile nastopajo v parih

Drugi Newtonov zakon pove, kako rezultanta sil spremeni gibanje telesa. Tretji Newtonov zakon pa poudari, da sila nikoli ne nastopa sama. Kadar telo A deluje na telo B z neko silo, tudi telo B hkrati deluje na telo A z **enako veliko, vendar nasprotno usmerjeno silo**. Sili v takem paru delujeta na **različni telesi**, zato se med seboj ne izničita.

Primerov iz vsakdanjega življenja je veliko (slika 2.8). Pri hoji se z nogo odrinemo od tal. Stopalo potisne tla nazaj, tla pa z enako veliko silo v nasprotni smeri potisnejo človeka naprej. Brez dovolj velikega oprijema s podlago se ne moremo učinkovito odriniti, zato na ledu hitro zdrsnemo. Podobno riba z repom in plavutmi potiska vodo nazaj, voda pa ribo potiska naprej. Letalsko krilo med letom usmerja zrak navzdol, zrak pa na krilo deluje s silo navzgor in tako prispeva k vzgonu letala. Pri raketi plini z veliko hitrostjo iztekajo nazaj, iztekajoči plini pa raketo potiskajo naprej. Raketa zato za gibanje ne potrebuje zraka in lahko deluje tudi v vesolju. V vseh primerih gibanje omogoča medsebojno delovanje dveh teles: človeka in tal, ribe in vode, letala in zraka oziroma rakete in izpušnih plinov.



Če telo A deluje na telo B s silo, telo B deluje na telo A z enako veliko in nasprotno usmerjeno silo.

Slika 2.8: Primeri tretjega Newtonovega zakona iz vsakdanjega življenja in narave. A – Pri hoji človek potiska tla nazaj, tla pa njega naprej. B – Riba z repom potiska vodo nazaj, voda pa ribo naprej. C – Raketa potiska izpušne pline nazaj, plini pa raketo naprej. V vseh primerih sta sili enako veliki, nasprotno usmerjeni in delujeta na različni telesi.



Vprašanja za preveritev razumevanja

1. Zakaj moramo pri opisu gibanja vedno določiti referenčni sistem? Pojasnite s primerom telesa, ki glede na enega opazovalca miruje, glede na drugega pa se giblje.

2. Pojasnite razliko med tirom gibanja, potjo in premikom. Kaj se zgodi s potjo in premikom, če se telo vrne v začetno lego?

3. Kako določimo povprečno velikost hitrosti in kako se od nje razlikuje povprečna hitrost, pri kateri upoštevamo tudi smer gibanja?

4. Kaj je trenutna hitrost in kako jo na grafu lege v odvisnosti od časa povežemo z naklonom tangente?

5. Kaj opisuje pospešek? Pojasnite, zakaj ima telo pospešek tudi pri zaviranju in pri gibanju po krožnici, čeprav se pri kroženju velikost hitrosti ne spreminja.

6. Kaj je sila, katere značilnosti ima kot vektorska količina in kako jo ponazarjamo na sliki? Navedite nekaj primerov sil iz vsakdanjega življenja.

7. V čem se razlikujeta masa in teža? Kako se spremenita masa in teža istega človeka, če se z Zemlje premakne na Luno?

8. Kaj pove prvi Newtonov zakon o gibanju telesa, kadar je rezultanta vseh sil, ki delujejo nanj, enaka nič? Zakaj se predmeti v vsakdanjem življenju kljub temu pogosto ustavijo?

9. Kako drugi Newtonov zakon povezuje rezultanto sil, maso in pospešek? Pojasnite tudi, kako padalec doseže končno hitrost in zakaj se ta po odprtju padala zmanjša.

10. Kaj pove tretji Newtonov zakon? Zakaj se sili v paru akcija–reakcija ne izničita? Pojasnite, kako se tretji Newtonov zakon kaže pri hoji, plavanju ribe in gibanju rakete.

3 Mehansko delo, energija, moč

Nosilna razlaga: Mehansko delo opisuje prenos energije z delovanjem sile na poti; energija se ne izgubi, temveč se prenaša, pretvarja in pogosto razprši v okolico.

Ključni pojmi: mehansko delo • energija • kinetična energija • gravitacijska potencialna energija • prožnostna energija • notranja energija • moč

3.1 Mehansko delo – prenos energije s silo

V prejšnjem poglavju smo silo spoznali kot vektorsko količino, ki lahko spremeni gibanje ali obliko telesa. Zdaj nas zanima, koliko energije se pri delovanju sile prenese. Če sila deluje na telo in se njeno prijemališče premakne, pravimo, da opravlja **mehansko delo**. Mehansko delo tako povezuje silo in energijo: sila opisuje medsebojno delovanje teles, delo pa količino energije, ki se pri tem prenese.

Naj se prijemališče sile $\vec{F}$ premakne za zelo majhen, diferencialni premik $d\vec{s}$. Diferencial mehanskega dela je skalarni produkt sile in premika:

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F \cos \alpha \, ds$$

Kot α označimo kot med smerjo sile in smerjo premika. Skalarni produkt pomeni, da k delu prispeva le komponenta sile v smeri gibanja. Če sila gibanje podpira, je delo pozitivno; če mu nasprotuje, je negativno; če je sila pravokotna na premik, je delo enako nič. Skupno delo vzdolž končne poti C dobimo s seštevanjem vseh diferencialnih prispevkov, torej z integralom:

$$A = \int_C \vec{F} \cdot d\vec{s}.$$

Pri konstantni sili in premem premiku se integral poenostavi v $A = F s \cos \alpha$. Če sta sila in premik vzporedna, velja $A = Fs$. Enota za delo je joule (J), pri čemer je $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$. Mehansko delo ni posebna oblika energije, temveč način njenega prenosa. Zato v fizikalnem smislu na primer ne opravljamo mehanskega dela na težki torbi, če jo samo držimo pri miru, čeprav se pri tem utrudimo.



Slika 3.1: Delavec z opravljanjem dela prenese energijo na voziček. Kinetična energija vozička se zato poveča (↑), delavcu pa se energija zmanjša (↓).

Če sila telo pospešuje v smeri gibanja, opravlja **pozitivno delo**. Če gibanje zavira, na primer sila trenja pri zaviranju, opravlja **negativno delo**. Če je sila pravokotna na premik, je njeno delo **enako nič**; tako podporna sila roke na torbo med vodoravno hojo v idealiziranem primeru ne opravlja dela. Na sliki 3.1

delavec na voziček deluje s silo in ga premakne, zato na njem opravi pozitivno delo. Del energije delavca se prenese na voziček in poveča njegovo kinetično energijo. Telesu, ki energijo z delom odda, se energija zmanjša, telesu, ki jo prejme, pa se poveča.

3.2 Energija in energijske pretvorbe

Energija je potrebna tudi za delovanje naprav, kot so avtomobili, telefoni, luči ali grelniki. S tega vidika je energija zelo pomemben fizikalni pojem, saj nam pomaga razumeti, zakaj se telesa lahko premikajo, segrevajo, svetijo, oddajajo zvok ali spreminjajo svojo obliko. Energijo merimo v enoti, ki jo imenujemo joule, označimo pa jo s črko J. Če ima neko telo več energije, lahko povzroči večjo spremembo: lahko se hitreje giblje, se bolj segreje ali opravi več dela.

Energijo lahko preprosto opišemo kot zmožnost povzročanja sprememb. Običajno je ne vidimo neposredno, vendar jo prepoznamo po njenih učinkih. Kadar brcnemo žogo, se žoga začne gibati. Za gibanje potrebuje energijo. Ko vodo v loncu segrevamo na štedilniku, voda prejema energijo, zato se njena temperatura zvišuje. Kadar prižgemo svetilko, se električna energija pretvarja v svetlobno energijo in

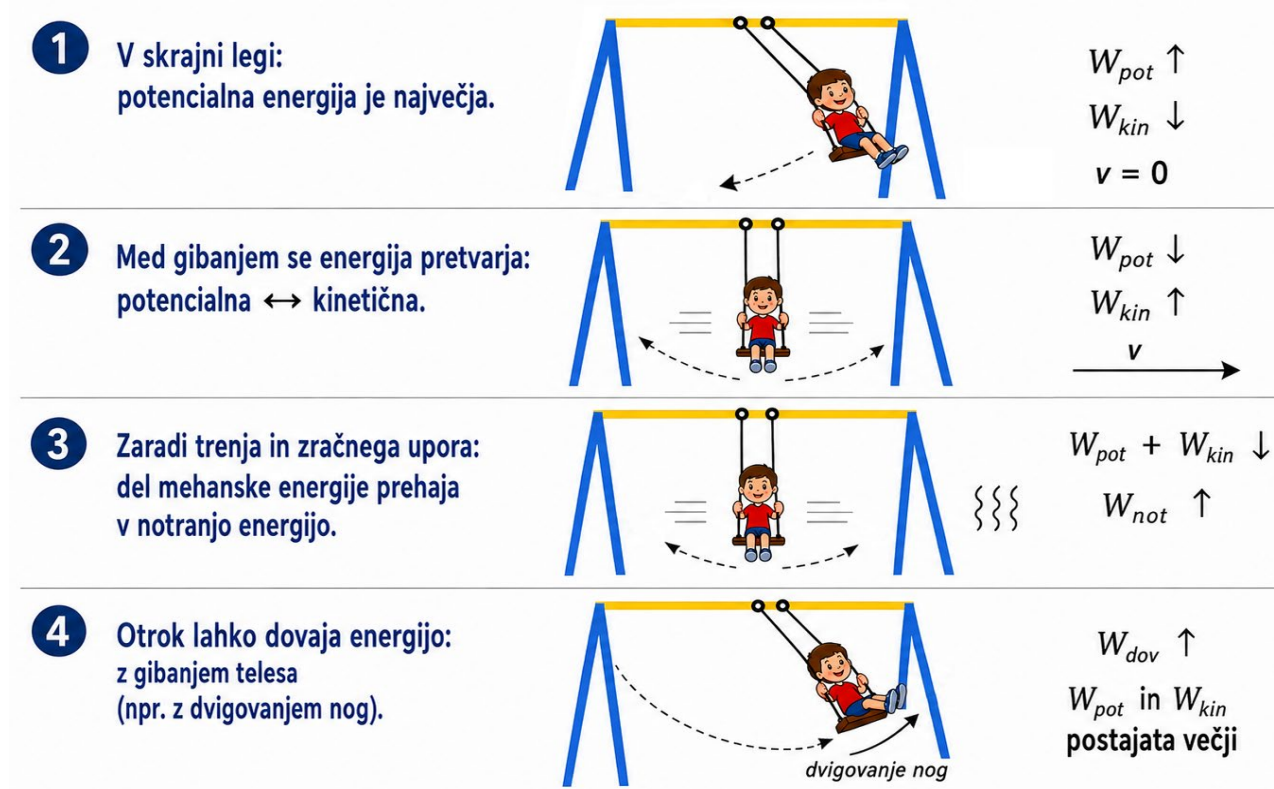
deloma tudi v toploto. Različni pojavi so torej povezani z **različnimi oblikami energije**.

Kinetično energijo imajo telesa, ki se gibljejo. Ima jo žoga, ki leti po zraku, otrok na kolesu ali voda, ki teče po strugi. Hitreje kot se telo giblje, več kinetične energije ima. Pri enaki hitrosti ima več kinetične energije tudi telo z večjo maso.

Potencialno energijo (gravitacijsko) ima telo zaradi svoje lege. Najpogosteje mislimo na telo, ki je dvignjeno nad tlemi. Knjiga na polici ima več potencialne energije kot ista knjiga na tleh. Če knjiga pade, se njena potencialna energija med padanjem pretvarja v kinetično energijo.

Prožnostno energijo imajo telesa, ki jih raztegemo, stisnemo ali ukrivimo, nato pa se lahko vrnejo v prvotno obliko. Shranjena je na primer v stisnjeni vzmeti, napeti gumici, upognjeni palici ali napetem loku. Ko navijemo avtomobilček na vzmet, v njegovi vzmeti shranimo prožnostno energijo.

Notranja energija je povezana s tem, kaj se dogaja v notranjosti snovi. Delci, iz katerih je snov sestavljena, se gibljejo in med seboj vplivajo. Ko telo segrevamo, se



Slika 3.2: Energijske pretvorbe pri nihanju gugalnice. Potencialna in kinetična energija se izmenično pretvarjata, del energije pa zaradi trenja in zračnega upora pretvarja v notranjo energijo.

njegova notranja energija povečuje. Voda v loncu ima po segrevanju več notranje energije kot hladna voda. Notranja energija se poveča tudi zaradi trenja: če si hitro drgnemo dlani, se te segrejejo.

Pri tem je najpomembnejše, da energija ne ostaja nujno ves čas v isti obliki. **Načelo ohranitve energije** pravi, da energija ne more nastati iz nič ali izginiti, temveč se lahko prenaša med telesi in pretvarja iz ene oblike v drugo. V baterijski svetilki se na primer kemična energija v bateriji pretvarja v električno energijo, ta pa v svetlobno in deloma v notranjo energijo, saj se svetilka nekoliko segreje. V našem telesu se kemična energija hrane pretvarja v energijo gibanja in notranjo energijo ter omogoča delovanje organov. Žoga, ki jo držimo visoko nad tlemi, ima gravitacijsko potencialno energijo, povezano z njenim položajem v Zemljinem gravitacijskem polju. Če jo spustimo, začne padati. Med padanjem se njena gravitacijska potencialna energija zmanjšuje, kinetična energija pa narašča. Tik preden žoga zadene tla, se giblje najhitreje.

Podoben primer je gugalnica. Ko je otrok na gugalnici v najvišji legi, ima največ potencialne energije. Ko se začne spuščati, se ta energija pretvarja v kinetično energijo. V najnižji točki se gugalnica giblje najhitreje. Nato se začne znova dvigati in njena kinetična energija se ponovno pretvarja v potencialno energijo. Če ne bi bilo trenja in zračnega upora, bi gugalnica nihala zelo

dolgo. V resničnem svetu pa zaradi trenja in zračnega upora del energije pri vsakem nihaju pretvarja v notranjo energijo okolice. Gugalnica zato počasi izgublja višino in se ustavi, če je ne poganjamo. Ko se otrok z nogami odriva od tal ali ga nekdo potisne, gugalnici dodajamo energijo in nihanje se lahko nadaljuje. Glavne energijske pretvorbe pri nihanju gugalnice so prikazane na sliki 3.2.

Pomembna oblika energije je tudi prožnostna energija. Povezana je s spremembo oblike prožnih teles. Ko stisnemo vzmet, napnemo elastiko ali raztegnemo lok, vložimo energijo v njihovo deformacijo. Ko vzmet ali elastiko spustimo, se skuša vrniti v prvotno obliko. Pri tem lahko svojo energijo prenese na drugo telo in ga premakne. To lahko opazimo pri avtomobilčku na vzmet. Ko ga navijemo, v notranjosti napnemo ali zavrtimo mehanizem, ki shrani prožnostno energijo. Ko avtomobilček spustimo, se ta energija pretvori v gibanje koles in avtomobilček se začne premikati. Med vožnjo se zaradi trenja v mehanizmu, kotalnega upora in zračnega upora kinetična energija postopoma pretvarja v notranjo, zato se avtomobilček nazadnje ustavi. Energijske pretvorbe so prikazane na sliki 3.3. Podoben pojav je zelo pomemben tudi pri pravih avtomobilih. Avtomobil ima zaradi velike mase in hitrosti veliko kinetične energije. Ko voznik zavira, morajo zavore to energijo zmanjšati. Pri tem se kinetična energija avtomobila zaradi trenja v zavorah

1 Dovedemo prožnostno energijo:



2 Prožnostna energija se pretvarja v kinetično energijo:



3 Kinetična energija se pretvarja v notranjo energijo:



Slika 3.3: Energijske pretvorbe v avtomobilčku na vzmet. Ko avtomobilček vlečemo s silo F , opravljamo delo in mu dovajamo energijo, ki se v vzmeti shrani kot prožnostna energija. Po sprostitvi se prožnostna energija pretvarja v kinetično, zato avtomobilček pridobi hitrost v . Zaradi uporov se kinetična energija postopoma pretvarja v notranjo energijo avtomobilčka in okolice.

pretvarja v notranjo energijo. Zato se zavorne ploščice in zavorni diski med zaviranjem segrejejo.

V vsakdanjem življenju pogosto govorimo tudi o drugih oblikah energije. Električna energija je pomembna pri številnih napravah, ki jih uporabljamo doma, v šoli in pri delu. Omogoča delovanje luči, računalnikov, telefonov, hladilnikov, grelnikov in številnih drugih naprav. Električne naprave pa energije ne »porabijo« tako, da bi izginila, ampak jo pretvarjajo v druge oblike. Žarnica na primer pretvarja električno energijo v svetlobno energijo in deloma v notranjo energijo, zato se segreje. Zvočnik jo pretvarja v gibanje membrane in zvok, ventilator pa v gibanje lopatic, pri čemer nastaneta tudi zvok in toplota.

Pomembna je tudi energija svetlobe. Največ je dobimo od Sonca. Sončna svetloba ogreva Zemljino površje, omogoča rast rastlin in poganja številne naravne procese, na primer izhlapevanje vode. Energijo svetlobe lahko uporabimo tudi neposredno. Sončne celice jo pretvarjajo v električno energijo, s katero lahko poganjamo naprave, polnimo baterije ali napajamo razsvetljavo.

Za živa bitja je posebej pomembna kemična energija, ki je shranjena v hrani. Telo jo uporablja za gibanje, rast, delovanje organov in vzdrževanje telesne temperature. Ko hodimo, tečemo ali dvigujemo predmete, se del energije iz hrane pretvori v kinetično energijo. Velik del kemične energije se pretvori v notranjo energijo telesa in okolice, zato se med telesno dejavnostjo segrevamo. Znojenje omogoča, da se z izhlapevanjem energija odvaja iz telesa v okolico in tako preprečuje pregrevanje.

3.3 Moč – hitrost opravljanja dela

Enako mehansko delo lahko opravimo v različnem času. Fizikalna količina **moč** pove, kako hitro opravljamo delo oziroma kako hitro se energija prenaša ali pretvarja. Povprečna moč v časovnem intervalu Δt je:

$$P_{\text{pov}} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Kadar se opravljanje dela s časom spreminja, vpeljemo **trenutno moč** kot časovni odvod dela. Ker velja: $dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}$ in je hitrost $v = ds/dt$, dobimo:

$$P(t) = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} = Fv \cos \alpha$$

Moč je torej odvisna od sile, hitrosti in kota med njima. Največja je, kadar sila deluje v smeri gibanja, pravokotna komponenta sile pa k moči ne prispeva. Enota za moč je **watt (W)**, pri čemer velja $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$. Dve osebi lahko na primer po stopnicah odneseta enako težak predmet na isto višino in opravita enako delo, vendar ima večjo moč tista, ki to opravi v krajšem času. Nekaj značilnih vrednosti moči je zbranih v preglednici 3.1.

Preglednica 3.1: Značilne moči nekaterih naprav in živih bitij. Navedene so približne značilne vhodne ali izhodne moči, zato vrednosti med seboj niso v vseh primerih neposredno primerljive.

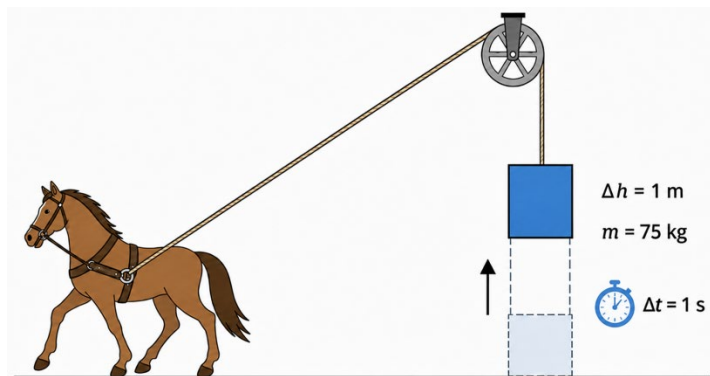
Naprava ali bitje	Primer uporabe/dejavnosti	Približna moč
Človek	zmerno fizično delo	0,1–0,2 kW
Človek	kratkotrajen zelo velik napor	0,5–1 kW
Konj	vleka ali tek	približno 0,75 kW
Žarnica	običajna razsvetljava	0,005–0,015 kW
Prenosni računalnik	običajno delovanje	0,03–0,1 kW
Sesalnik	čiščenje stanovanja	0,5–1,5 kW
Električni grelnik vode	segrevanje vode	1,5–2,5 kW
Avtomobil	motor osebnega avtomobila	50–150 kW
Lokomotiva (potniški vlak)	motorji med vožnjo	6000 kW

Preglednica 3.1 pokaže, da se značilne moči naprav in živih bitij razlikujejo za več velikostnih redov. Pogosto uporabljamo tudi enoto **kilovat (kW)**, pri čemer velja $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$. Majhna LED-sijalka ima moč le nekaj vatov, gospodinjske naprave imajo pogosto moč od nekaj sto vatov do nekaj kilovatov, motorji avtomobilov pa več deset ali celo več kot sto kilovatov.

Moč motorjev včasih še vedno navajamo tudi v konjskih močeh. Ta izraz izvira iz časa, ko so želeli zmogljivost parnih strojev primerjati z delom konj. Tako so si ljudje lažje predstavljali, kako močan je določen stroj.

Ena konjska moč pomeni približno tolikšno moč, kot bi jo potrebovali, da bi breme z maso 75 kg dvignili za 1 meter v 1 sekundi (slika 3.4). To zapišemo kot $1 \text{ KM} \approx 735,5 \text{ W}$. Danes v fiziki in tehniki moč običajno izražamo v vatih (W) ali kilovatih (kW). Pri avtomobilih

pa pogosto še vedno srečamo tudi konjske moči. K temu prispeva tudi dejstvo, da je številčna vrednost moči, izražena v konjskih močeh, večja: avtomobil z močjo **100 kW** ima približno **136 KM**, kar lahko pri oglaševanju deluje nekoliko bolj impresivno.



Slika 3.4: Shematski prikaz konjske moči: konj v 1 s dvigne breme z maso 75 kg za 1 m.



Vprašanja za preveritev razumevanja

1. Kaj v fiziki pomeni mehansko delo in pod katerima pogojem sila opravlja delo na telesu? Kako je mehansko delo povezano s prenosom energije?

2. Kako kot med silo in premikom vpliva na opravljeno delo? Pojasnite, kdaj je delo pozitivno, negativno ali enako nič, ter za vsak primer navedite zgled.

3. Zakaj človek v fizikalnem smislu ne opravlja mehanskega dela na težki torbi, če jo le drži pri miru, čeprav se pri tem utruja?

4. Razložite razliko med kinetično, potencialno, prožnostno in notranjo energijo. Od katerih lastnosti oziroma stanj telesa je odvisna posamezna oblika energije?

5. Kako se med padanjem žoge spreminjata njena gravitacijska potencialna in kinetična energija? Kaj se zgodi z energijo, ko žoga udari ob tla?

6. Opišite energijske pretvorbe pri nihanju gugalnice. Zakaj se gugalnica brez dodatnega poganjanja postopoma ustavi in kako ji otrok znova dovaja energijo?

7. Katere energijske pretvorbe potekajo v avtomobilčku na vzmet in pri zaviranju pravega avtomobila? Kakšno vlogo imajo pri teh pretvorbah trenje in drugi upori?

8. Zakaj ni popolnoma pravilno reči, da naprava energijo »porabi«? Pojasnite načelo ohranitve energije na primeru baterijske svetilke, električne naprave ali človeškega telesa.

9. Kaj je moč in v čem se razlikuje od mehanskega dela? Na primeru pojasnite, zakaj lahko dve osebi opravita enako delo, vendar imata različno moč.

10. Kaj pomenita enoti vat in kilovat ter kako je moč povezana s hitrostjo prenosa energije? Pojasnite tudi fizikalni pomen zveze med močjo, silo in hitrostjo gibanja.

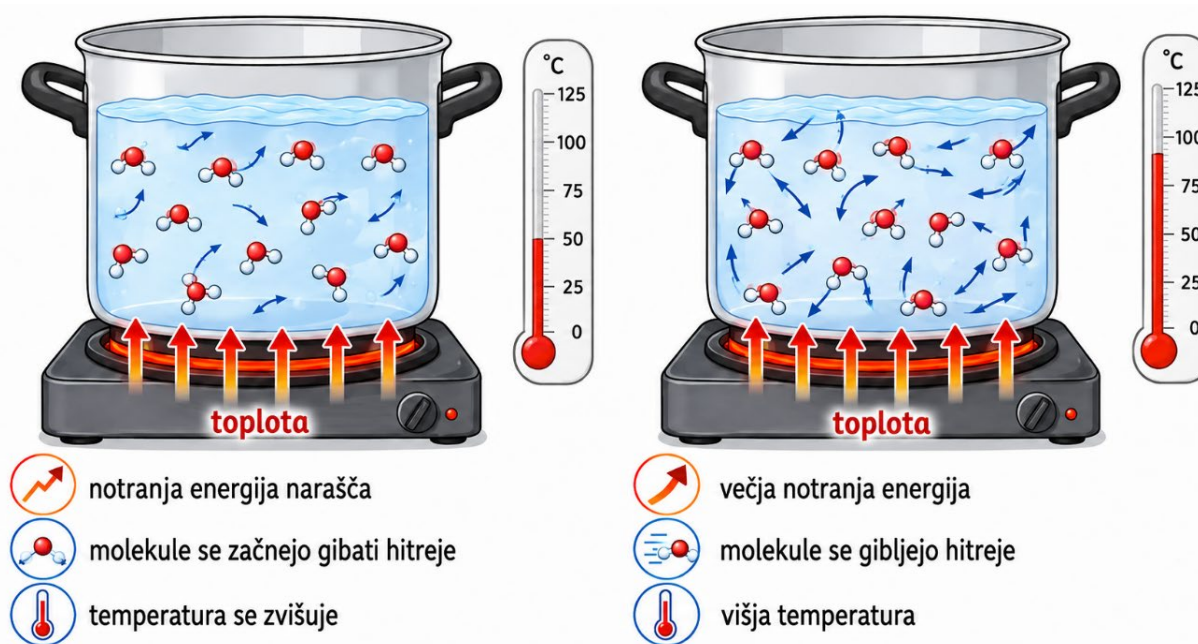
4 Toplota in toplotni tokovi

Nosilna razlaga: Višja temperatura pomeni živahnejše gibanje gradnikov snovi. Temperaturna razlika povzroči prenos energije, ki ga ljudje in drugi organizmi zmanjšujejo, povečujejo ali usmerjajo.

Ključni pojmi: temperatura • notranja energija • toplota • prevajanje • toplotna izolacija • sevanje • konvekcija

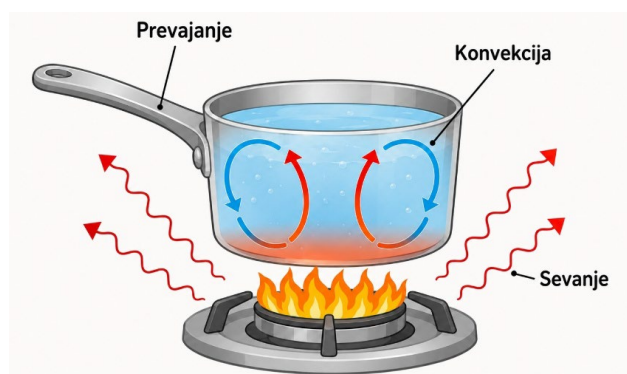
Notranja energija je povezana z gibanjem in medsebojnim delovanjem atomov in molekul, iz katerih je snov sestavljena. Tudi telo, ki miruje na mizi, ima notranjo energijo, saj se delci v njegovi notranjosti še vedno gibljejo. Kadar snov segrevamo, se njena notranja energija povečuje, gradniki snovi pa se gibljejo vse hitreje. Temperatura je povezana s povprečno kinetično energijo delcev in kaže, kako živahno se ti gibljejo. Dogajanje pri segrevanju ponazarja slika 4.1. Temperatura in notranja energija pa nista isto. Velik lonc tople vode ima več notranje energije kot majhna skodelica vode z enako temperaturo, čeprav imata enako temperaturo, saj je v loncu več vode.

Notranje energije ne smemo enačiti s toploto. Toplota pomeni prenos energije med telesi zaradi razlike v temperaturi. Energija se pri tem spontano prenaša s **toplejšega telesa na hladnejše**. Ko se vroč čaj ohlaja, del njegove notranje energije prehaja v skodelico, zrak in okolico. Ko se dotaknemo vroče skodelice, energija prehaja iz skodelice v našo roko. Če damo kocko ledu v toplo pijačo, energija prehaja iz pijače v led. Led zato prejema energijo in se začne taliti, pijača pa se ohlaja. Energija se pri tem ne izgubi, ampak se prerazporedi med pijačo, ledom in okolico.



Slika 4.1: Pri segrevanju vode se zaradi dovajanja energije v obliki toplote povečuje njena notranja energija.

Toplota se lahko prenaša na tri osnovne načine: s **prevajanjem**, **konvekcijo** in **sevanjem** (slika 4.2). Pri prevajanju se energija prenaša med sosednjimi deli snovi, pri konvekciji jo prenaša gibajoča se tekočina, pri sevanju pa se energija širi z elektromagnetnim valovanjem. V vsakdanjih pojavih pogosto hkrati poteka več načinov prenosa. Pri segrevanju vode v loncu se na primer toplota prevaja skozi kovinsko posodo, po vodi se raznaša s konvekcijo, vroča posoda in plamen pa energijo oddajata tudi s sevanjem. V nadaljevanju bomo najprej preučili, kako hitro se toplota prenaša, nato pa podrobneje spoznali posamezne načine prenosa.



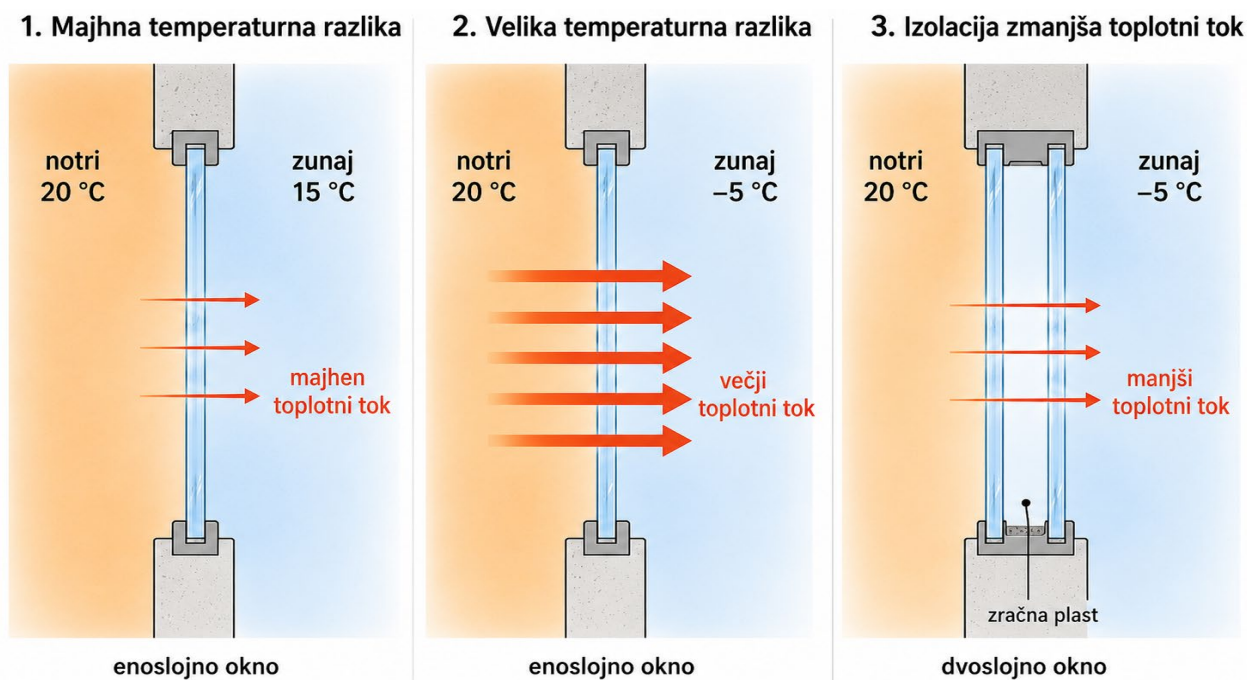
Slika 4.2: Trije osnovni načini prenosa toplote pri segrevanju vode: prevajanje skozi kovinsko posodo, konvekcija zaradi kroženja vode in sevanje vročega gorilnika ter posode v okolico.

4.1 Toplotni tok

Kadar sta telesi z različnima temperaturama v toplotnem stiku, se med njima prenaša energija. Pri tem ni pomembno le, koliko energije se prenese, temveč tudi, kako hitro prenos poteka. Hitrost prenosa energije v obliki toplote imenujemo toplotni tok. Ker pove, koliko energije se prenese v določenem času, ga merimo v vatih (W), enako kot moč, ki smo jo spoznali v prejšnjem poglavju. Toplotni tok je usmerjen od telesa z višjo temperaturo proti telesu z nižjo temperaturo. Čim večja temperaturna razlika, tem hitreje se energija praviloma prenaša. Ko se temperaturi izenačita, sta telesi v toplotnem ravnovesju in med njima ni več prenosa energije zaradi temperaturne razlike.

Na velikost toplotnega toka vpliva več dejavnikov:

- **temperaturna razlika** – večja razlika povzroči večji toplotni tok;
- **vrsta snovi** – skozi dobre toplotne prevodnike se energija prenaša hitreje kot skozi izolatorje;
- **velikost površine** – skozi večjo površino se lahko v istem času prenese več energije;
- **debelina plasti** – skozi debelejšo plast snovi se energija prenaša počasneje.



Slika 4.3: Ponazoritev toplotnega toka skozi okno.

Zato se na primer energija skozi tanko kovinsko steno prenaša veliko hitreje kot skozi debelo plast volne ali zraka. Kadar sta dve strani ločeni s snovjo ali predmetom, med njima pa je temperaturna razlika, se energija v obliki toplote prenaša s toplejše strani proti hladnejši. Hitrost tega prenosa imenujemo toplotni tok. Večja kot je temperaturna razlika, večji je praviloma tudi toplotni tok. Zato skozi enoslojno okno pozimi toplota iz prostora prehaja hitreje kot takrat, ko je zunanja temperatura le malo nižja od notranje.

Na velikost toplotnega toka poleg temperaturne razlike vplivajo tudi lastnosti snovi in debelina plasti, skozi katero se toplota prenaša. Če je okno dvoslojno, je med stekloma ujeta plast zraka, ki deluje kot toplotni izolator. Zaradi tega je toplotni tok manjši, izgube energije pa so manjše (slika 4.3).

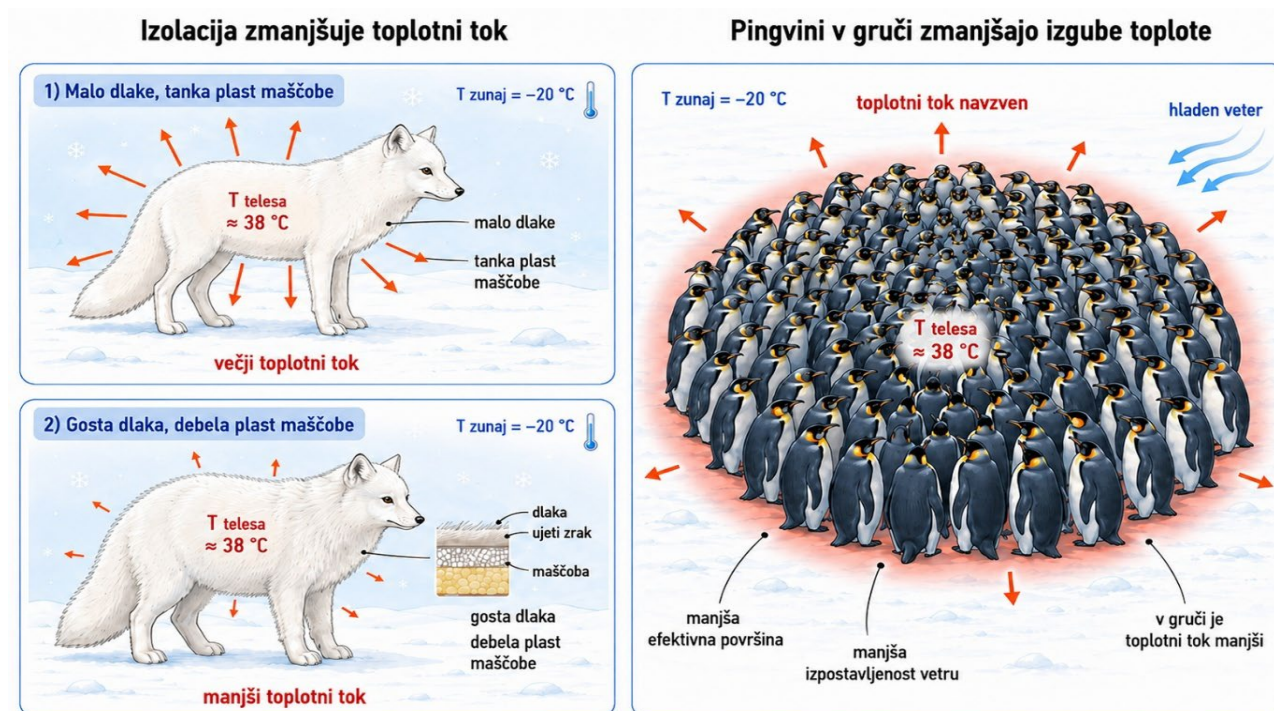
4.2 Kako živali zmanjšujejo izgubo toplote

Živali, ki živijo v hladnih okoljih, imajo telesno temperaturo precej višjo od temperature okolice, zato energija iz njihovega telesa prehaja navzven. Če ima žival na primer telesno temperaturo okoli $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura okolice pa je $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, je zaradi velike temperaturne razlike toplotni tok iz telesa v okolico zelo velik. Polarna lisica in polarni medved izgubo toplote zmanjšujeta z gostim kožuhom, tjulnji z debelo plastjo

podkožne maščobe, ptice pa z gostim perjem (slika 4.4). Kožuh in perje med vlakni zadržujeta mirujoč zrak, ki je slab prevodnik toplote, maščoba pa predstavlja dodatno izolacijsko plast. Če je telo toplejše od okolice, se energija prenaša iz telesa v okolico, toplotna izolacija pa ta prenos zmanjša. Pingvini izgubo energije dodatno zmanjšujejo tako, da se stisnejo v gosto gručo. Posamezen pingvin je tedaj z večjim delom telesa obdan z drugimi toplimi telesi, hladnemu zraku pa je izpostavljen le manjši del njegove površine. Skupina se zato obnaša podobno kot eno večje in kompaktnije telo, ki ima glede na svojo prostornino manjšo zunanjo površino. Tako se zmanjša učinkovita površina, skozi katero pingvini izgubljajo toploto, hkrati pa so manj izpostavljeni hladnemu vetru (slika 4.4).

4.3 Toplotni izmenjevalci

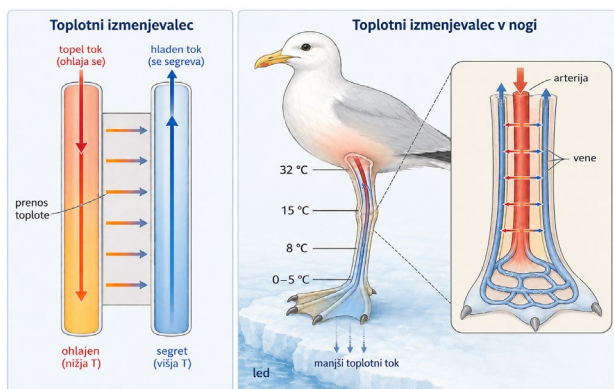
Toplotni izmenjevalec je naprava ali biološka struktura, ki omogoča prenos energije med dvema tokovima z različnima temperaturama. Tokova se pri tem praviloma ne pomešata, temveč toplota med njima prehaja skozi tanko ločilno steno. Topli tok se zato postopoma ohlaja, hladni pa segreva. Prenos je posebej učinkovit, kadar se tokova gibljeta v nasprotnih smereh, saj je vzdolž celotnega izmenjevalca med njima ohranjena temperaturna razlika. S toplotnimi izmenjevalci se srečujemo tudi v stavbah, na primer pri



Slika 4.4: Živali v hladnih okoljih zmanjšujejo izgubo toplote z izolacijo in vedenjskimi prilagoditvami.

prezračevanju z vračanjem toplote. Topel zrak, ki zapušča ogrevan prostor, odda del energije hladnemu svežemu zraku, ki prihaja od zunaj. Zrak v eni in drugi cevi se pri tem ne pomeša, vendar se sveži zrak pred vstopom v prostor segreje. Tako za njegovo dodatno ogrevanje porabimo manj energije.

Podoben princip izkoriščajo tudi ptice, ki stojijo na ledu ali v mrzli vodi. Topla arterijska kri teče iz telesa navzdol proti stopalom, tik ob njej pa se po venah proti telesu vrača hladnejša kri. Ker arterije in vene potekajo tesno druga ob drugi, se energija prenaša iz toplejše arterijske v hladnejšo vensko kri. Kri, ki prihaja v stopala, se tako postopoma ohlaja, vračajoča se kri pa se pred vstopom v telo segreva (slika 4.5). Stopala ptice imajo zato lahko temperaturo le nekaj stopinj nad temperaturo ledu, čeprav je njihova telesna temperatura mnogo višja. Manjša temperaturna razlika med stopali in ledom pomeni manjši toplotni tok v okolico. Protitočni toplotni izmenjevalec tako ne preprečuje ohlajanja stopal, temveč zmanjšuje izgubo energije in pomaga ohranjati toploto v notranjosti telesa.



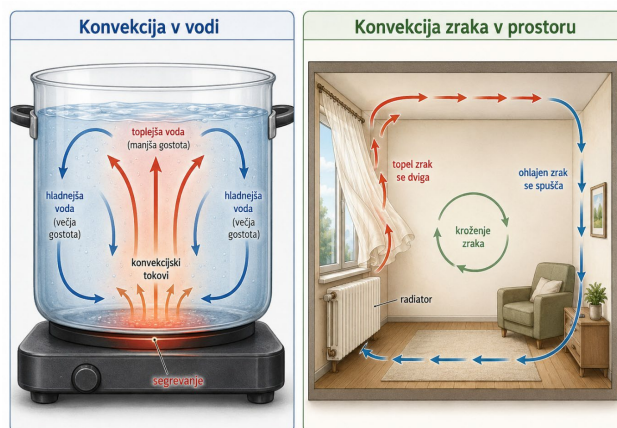
Slika 4.5: Protitočni toplotni izmenjevalec. Med tokovoma, ki se gibljeta v nasprotnih smereh, se vzdolž celotne poti prenaša energija. V ptičji nogi se toplota prenaša iz tople arterijske krvi v hladnejšo vensko kri.

4.4 Konvekcija

Konvekcija je način prenosa toplote v tekočinah, torej kapljevinah in plinih, pri katerem se energija prenaša z gibanjem tekočine. Pri prevajanju se energija prenaša skozi snov, ne da bi se ta kot celota premikala, pri konvekciji pa se segreti deli tekočine premikajo in s seboj prenašajo notranjo energijo. Oba načina prenosa pogosto potekata hkrati. Pri segrevanju vode v loncu kovinsko dno najprej s prevajanjem segreje vodo

neposredno nad seboj, nato pa se energija po vodi raznaša predvsem s konvekcijo. Pri segrevanju se večina snovi razteza. Enaka količina snovi zato zavzame nekoliko večjo prostornino in njena gostota se zmanjša. Segreti deli tekočine imajo manjšo gostoto, zato se začnejo dvigati, hladnejši del z večjo gostoto pa se spušča ter zasede njegovo mesto. Tako nastane kroženje, ki ga imenujemo **konvekcijski tok**. Gibanje je povezano z vzgonom, ki ga bomo podrobneje obravnavali pozneje.

Kadar takšno gibanje nastane samo zaradi temperaturnih razlik in z njimi povezanih razlik v gostoti, govorimo o **naravni konvekciji**. Dobro jo lahko opazujemo v posodi z mrzlo vodo, v katero položimo manjšo posodico z vročo obarvano vodo. Toplejša obarvana voda se dviga, nadomešča pa jo hladnejša voda, ki se spušča. Podobno kroženje nastaja v loncu, ki ga segrevamo od spodaj: toplejša voda se dviga, hladnejša pa se pomika proti dnu, kjer se segreje. Tako se energija postopoma razporeja po vsej vodi.

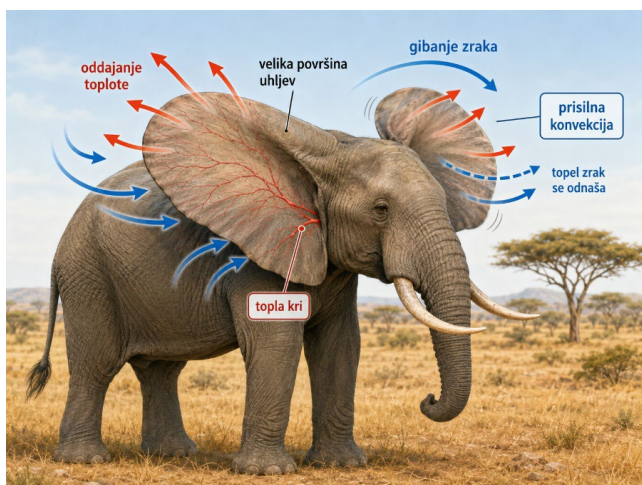


Slika 4.6: Konvekcija je prenos toplote z gibanjem tekočine. Pri segrevanju vode se toplejša voda z manjšo gostoto dviga, hladnejša pa se spušča, zato nastanejo konvekcijski tokovi. Podobno se tudi v prostoru toplejši zrak ob radiatorju dviga, ohlajeni zrak pa se drugje spušča in kroži po prostoru.

Naravna konvekcija poteka tudi v zraku. Zrak ob radiatorju se segreje, razširi in gostota se mu zmanjša, zato se dviga proti stropu. Med oddajanjem energije se postopoma ohlaja in se na drugem delu prostora začne spuščati. Hladnejši zrak se nato ob tleh vrača proti radiatorju, zato v prostoru nastane krožni tok zraka. Dviganje zraka nad radiatorjem lahko dobro zaznamo po premikanju zaves, ki visijo nad njim. Zaradi takšnega kroženja so radiatorji praviloma nameščeni nizko, klimatske naprave, iz katerih izhaja hladen zrak, pa

visoko. Pri konvekciji torej energija ne prehaja le med sosednjimi deli snovi, ampak jo gibajoča se voda ali zrak prenašata iz enega območja v drugo, kot je prikazano na sliki 4.6. Zaradi tega lahko konvekcija energijo po tekočinah raznaša precej hitreje, kot bi se prenašala zgolj s prevajanjem.

Do konvekcije ne pride nujno le po naravni poti, pri kateri gibanje tekočine povzroči temperaturne razlike in razlike v gostoti. Tok zraka ali vode lahko povzroči tudi zunanji vplivi, kot so veter, ventilator, črpalka ali mešanje; takrat govorimo o **prisilni konvekciji**. Gibajoča se tekočina ob površini nenehno odnaša segreto plast in jo nadomešča s hladnejšo, zato se toplotni tok poveča. Tako ventilator pospeši ohlajanje telesa, mešanje pa ohlajanje vroče pijače. Zelo nazoren primer so slonova ušesa: zaradi velike površine in goste mreže žil lahko skozi njih v okolico prehaja veliko toplote, z mahanjem pa slon še poveča tok zraka ob njih in s tem dodatno pospeši ohlajanje krvi (slika 4.7). Afriški sloni imajo praviloma večja ušesa kot azijski, kar je povezano tudi s prilagojenostjo na toplejša okolja.



Slika 4.7: Slon oddaja veliko toplote prek velikih, dobro prekrvavljenih uhljev. Z mahanjem z ušesi poveča gibanje zraka ob njih, zato se topel zrak hitreje odnaša in se ohlajanje s prisilno konvekcijo okrepi.

4.5 Prenos toplote s sevanjem

Pri prevajanju in konvekciji je za prenos toplote potrebna snov. Pri **sevanju** oziroma radiaciji pa se energija prenaša z elektromagnetnim valovanjem, zato lahko potuje tudi skozi prazen prostor. Tako energija s Sonca prepotuje vesolje in segreva površje Zemlje. Sevanje občutimo tudi, kadar stojimo ob ognju, vroči

peči ali razgreti kovinski plošči: telo nas lahko segreva, čeprav se ga ne dotikamo. Vsa telesa oddajajo elektromagnetno sevanje. Pri temperaturah, s katerimi se običajno srečujemo, ga je največ v infrardečem delu spektra. Infrardečega sevanja z očmi ne vidimo, zaznajo pa ga na primer termokamere. Z višanjem temperature telo praviloma oddaja vse več energije; zelo vroča telesa začnejo sevati tudi vidno svetlobo in zažarijo.

Telesa sevanje ves čas hkrati oddajajo in sprejemajo. Človek ob ognju tako prejema sevanje vročega plamena, hkrati pa tudi sam oddaja sevanje proti ognju in hladnejši okolici (slika 4.8). Ker je ogenj bistveno toplejši, človek od njega prejme več energije, kot je v njegovo smer odda, zato je skupni prenos toplote usmerjen od ognja proti človeku. V hladnejšo okolico pa človek oddaja več energije, kot je iz nje prejema, zato tam toploto izgublja.



Slika 4.8: Ogenj in človek hkrati oddajata in sprejemata sevanje. Ker je ogenj toplejši, človek od njega prejme več energije, kot je v njegovo smer odda, zato je neto prenos energije usmerjen od ognja proti človeku.

4.6 Absorpcija, odboj in barva površine

Ko sevanje zadene površino telesa, se ga del absorbira, del pa odbije. Absorbirani del sevanja poveča notranjo energijo telesa, zato se to lahko segreje. Čim več vpadnega sevanja površina absorbira, tem več energije prejme. Pri prozornih snoveh lahko del sevanja tudi prehaja skozi snov. Na absorpcijo vplivajo lastnosti površine. Temne in matirane površine praviloma absorbirajo več Sončevega sevanja, svetle in bleščeče površine pa ga več odbijejo. Zato se črna majica na močnem soncu navadno segreje hitreje kot bela, svetle strehe in fasade pa pomagajo zmanjševati segrevanje stavb. Svetleče kovinske površine uporabljamo tudi

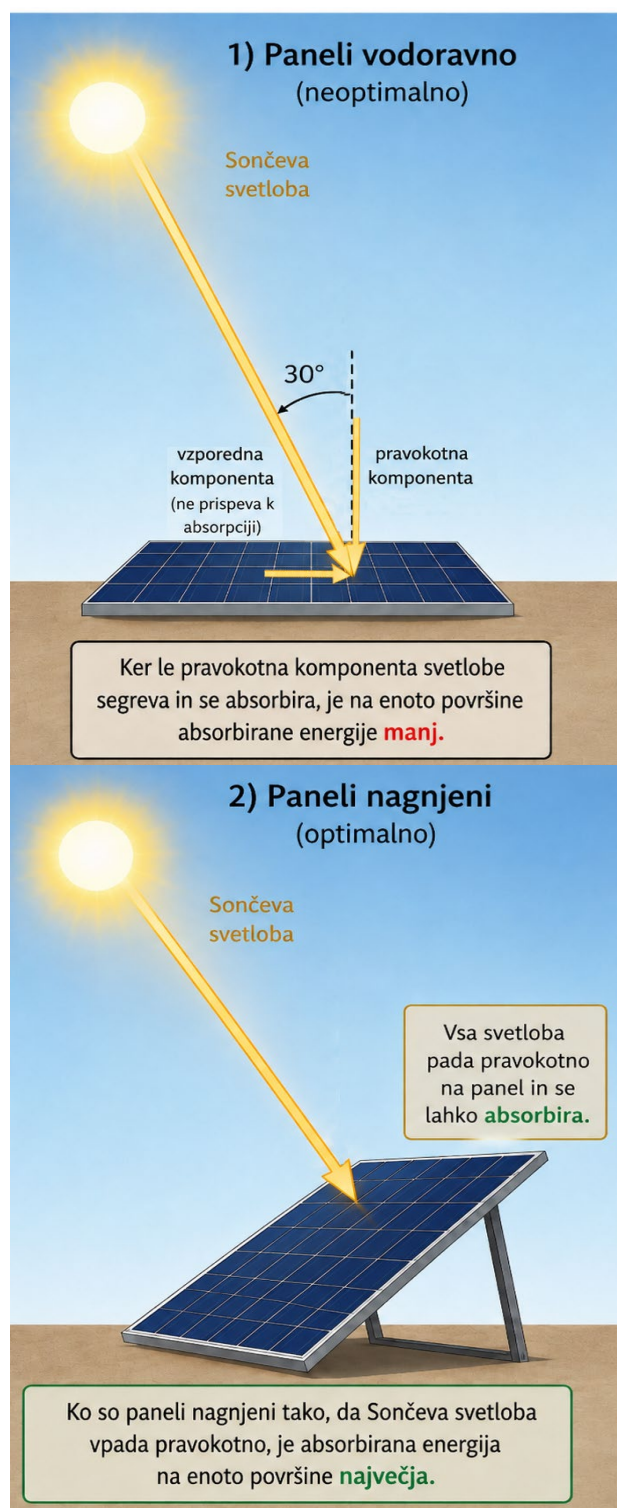
tam, kjer želimo zmanjšati prenos toplote s sevanjem, na primer v nekaterih izolacijskih folijah in termovkah.

Nekatera živa bitja lahko svoje segrevanje uravnavajo tudi s spreminjanjem barve telesa. Puščavski kameleon (*Chamaeleo namaquensis*) živi v okolju, kjer so jutra lahko hladna, dnevi pa zelo vroči. Zjutraj potemni stran telesa, obrnjeno proti Soncu (slika 4.9). Temnejša površina absorbira več sončnega sevanja, zato se kameleon hitreje segreje in lahko postane dejaven. Ko pa je vroče, stran telesa, obrnjeno proti Soncu, obarva svetleje, zato se več Sončevega sevanja odbije in se telo počasneje segreva. S spreminjanjem barve in usmerjenosti telesa lahko tako uravnava količino prejete Sončeve energije.



Slika 4.9: Puščavski kameleon uravnava segrevanje s spreminjanjem barve telesa. Temnejša stran absorbira več Sončevega sevanja in se hitreje segreva, svetlejša stran pa več sevanja odbije.

Količina energije, ki jo telo prejme s sevanjem, je odvisna tudi od **oddaljenosti od izvora**. Sevanje se med širjenjem razporeja po vedno večji površini, zato z razdaljo njegova intenziteta hitro upada. Če razdaljo od majhnega izvora podvojimo, se enaka oddana energija razporedi po približno štirikrat večji površini, zato na enako veliko telo pade le približno četrtnina prvotnega energijskega toka. To občutimo ob ognju ali infrardeči žarnici: že majhen odmik od vira lahko opazno zmanjša segrevanje. Podoben pojav je pomemben tudi v Osončju. Ker je Mars od Sonca približno poldrugikrat bolj oddaljen kot Zemlja, prejme na enako veliko površino manj kot polovico Sončevega sevanja, ki ga prejme Zemlja. Manjši prejeti energijski tok je eden od razlogov za njegove bistveno nižje temperature.



Slika 4.10: Količina absorbirane Sončeve energije je odvisna od kota vpada svetlobe na površino.

Na količino absorbirane energije **vpliva tudi kot**, pod katerim sevanje zadene površino. Največ energije na enoto površine prejme telo, kadar svetloba nanj vpade pravokotno. Pri poševnem vpadu se enak tok sevanja porazdeli po večji površini, zato posamezen del površine prejme manj energije. Zaradi tega se površina pri poševnem obsevanju segreva počasneje. To

upoštevamo tudi pri nameščanju sončnih panelov (slika 4.10). Ti proizvedejo največ električne energije, kadar je njihova površina usmerjena čim bolj pravokotno na smer Sončne svetlobe. Optimalni naklon je zato odvisen od geografske lege in višine Sonca na nebu,

nekateri sistemi pa položaj panelov čez dan samodejno prilagajajo. Tako povečajo količino prestreženega Sončevega sevanja in s tem količino proizvedene električne energije. Premislite, kako so sončni paneli postavljeni v krajih blizu ekvatorja.



Vprašanja za preveritev razumevanja

1. V čem se razlikujejo temperatura, notranja energija in toplota? Pojasnite, zakaj imata lahko dve količini vode enako temperaturo, vendar različno notranjo energijo.

2. V katero smer se spontano prenaša toplota med telesoma z različnima temperaturama in kaj pomeni, da sta telesi v toplotnem ravnovesju?

3. Primerjajte prevajanje, konvekcijo in sevanje. Kaj se pri posameznem načinu prenosa dogaja z energijo in ali je za prenos potrebna snov?

4. Kaj je toplotni tok, v kateri enoti ga merimo in od katerih štirih glavnih dejavnikov je odvisna njegova velikost?

5. Zakaj dvoslojno okno, debel kožuh ali plast podkožne maščobe zmanjšujejo izgubo toplote? Kakšno vlogo ima pri toplotni izolaciji mirujoč zrak?

6. Kako pingvini z zbiranjem v gosto gručo zmanjšujejo izgubo toplote? Pojasnite pomen izpostavljene površine in zaščitite pred vetrom.

7. Kako deluje protitočni toplotni izmenjevalec? Zakaj je prenos toplote učinkovit, kadar se tokova gibljeta v nasprotnih smereh? Pojasnite na primeru ptičje noge.

8. Kako nastane naravna konvekcija v vodi ali zraku in v čem se razlikuje od prisilne konvekcije? Pojasnite na primeru delovanja radiatorja, ventilatorja ali mahanja slonovih ušes.

9. Kako se toplota prenaša s sevanjem in zakaj lahko ta način prenosa poteka tudi skozi prazen prostor? Zakaj je skupni učinek sevanja prenos energije od ognja k človeku, čeprav seva tudi človek?

10. Kako barva in lastnosti površine, oddaljenost od vira ter kot vpada sevanja vplivajo na absorbirano energijo? Povežite razlago s črno in belo površino, puščavskim kameleonom ali postavitvijo sončnih panelov.

5 Snov in agregatna stanja

Nosilna razlaga: Snov je zgrajena iz delcev in se lahko pojavlja kot trdnina, kapljevina ali plin; voda v naravi kroži in pri tem prehaja med različnimi agregatnimi stanji.

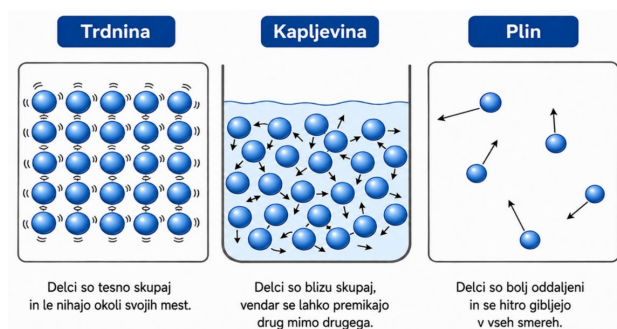
Ključni pojmi: snov • agregatno stanje • fazni prehod • tališče • vrelišče • izhlapevanje • kondenzacija • kroženje vode

5.1 Trdnine, kapljevine in plini

Vse, kar nas obdaja, je sestavljeno iz snovi. Voda, ki jo pijemo, in zrak, ki ga dihamo, sta primera snovi. Iz snovi so sestavljeni tudi kamni, rastline, živali, hrana, oblačila in predmeti, ki jih uporabljamo vsak dan. Snovi imajo različne lastnosti, vendar jih lahko glede na njihove značilnosti razvrstimo v **tri osnovna agregatna stanja**:

- **Trdnine** imajo svojo obliko in stalno prostornino. Primeri trdnin so kamnine, les, steklo in led.
- **Kapljevine** imajo stalno prostornino, nimajo pa svoje oblike. Prevzamejo obliko posode, v kateri so. Primeri kapljev in so voda, mleko in olje.
- **Plini** nimajo niti stalne oblike niti stalne prostornine. Razširijo se po vsem prostoru, ki jim je na voljo. Zrak v sobi zapolni sobo, zrak v plastenki pa plastenko. Plinov pogosto ne vidimo, vendar to ne pomeni, da jih ni. Tudi vodna para je plin.

Kapljevine in pline s skupnim imenom imenujemo tekočine, saj lahko tečejo in nimajo lastne oblike. Kapljevina je torej ena od dveh vrst tekočin. Razlike med trdninami, kapljevini in plini si lažje predstavljamo z delčnim pogledom na snov (slika 5.1).



Slika 5.1: Delčni prikaz treh agregatnih stanj snovi.

Snov je namreč zgrajena iz zelo majhnih delcev — **atomov ali molekul**. Ti delci so ves čas v gibanju, njihova razporeditev in gibanje pa sta v različnih agregatnih stanjih različna. V trdninah so delci navadno tesno skupaj in močno povezani, zato trdnina ohranja svojo obliko. Pri vodi je razporeditev v trdnem stanju nekoliko posebna, saj odprta kristalna zgradba ledu pušča med molekulami več praznega prostora; k tej lastnosti se bomo vrnili proti koncu poglavja. V kapljevinah so delci še vedno precej blizu, vendar lahko drsijo drug mimo drugega, zato kapljevine tečejo. V plinih so delci med seboj precej bolj oddaljeni in se hitro gibljejo v vse smeri, zato plini zapolnijo ves prostor, ki jim je na voljo.

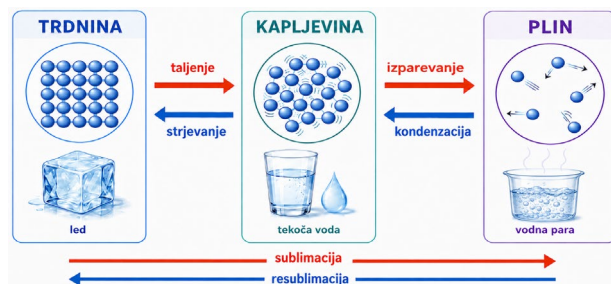
5.2 Prehodi med agregatnimi stanji

Snov lahko prehaja iz enega agregatnega stanja v drugo. Tem spremembam pravimo **prehodi med agregatnimi stanji** ali **fazni prehodi**. Največ izkušenj imamo s prehodi, ki jih povzroči sprememba temperature, čeprav, kot bomo pozneje videli, na prehode vplivajo tudi tlak in prisotnost primesi. Med osnovnimi agregatnimi stanji potekajo naslednji prehodi:

- **taljenje** – prehod snovi iz trdnega v kapljevinsko stanje,
- **strjevanje (ali zmrzovanje)** – prehod snovi iz kapljevinskega v trdno stanje,
- **izparevanje (ali vrenje)** – prehod snovi iz kapljevinskega v plinasto stanje,
- **kondenzacija** – prehod snovi iz plinastega v kapljevinsko stanje,
- **sublimacija** – prehod snovi iz trdnega neposredno v plinasto stanje,
- **resublimacija** – prehod snovi iz plinastega neposredno v trdno stanje.

Prehodi med agregatnimi stanji so na sliki 5.2 ponazorjeni na primeru vode: led predstavlja trdno, tekoča voda kapljevinsko, vodna para pa plinasto agregatno stanje. Enako poimenovanje prehodov uporabljamo tudi pri drugih snoveh. Pri določenem tlaku so nekateri prehodi povezani z značilnimi temperaturami. Temperaturo, pri kateri se trdnina tali, imenujemo **tališče**, temperaturo, pri kateri kapljevina vre, pa **vrelišče**. Pri čisti snovi sta to značilni temperaturi, vendar sta njuni vrednosti odvisni tudi od tlaka.

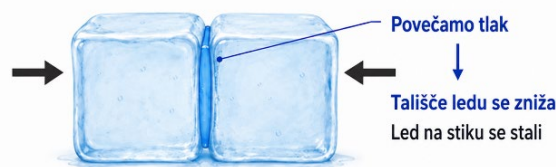
Prehod iz kapljevinskega v plinasto stanje imenujemo **izparevanje**. Izparevanje lahko poteka kot izhlapevanje ali kot vrenje. Pri **izhlapevanju** posamezni gradniki zapuščajo površino kapljevine, zato lahko poteka pri vseh temperaturah in ni vezano na vrelišče. Tako se mokro perilo suši tudi takrat, ko voda ne vre. Pri vrenju pa kapljevina prehaja v plinasto stanje po vsej svoji prostornini, kar opazimo kot nastajanje mehurčkov pare. Pri vrenju vode so ti mehurčki napolnjeni z vodno paro.



Slika 5.2: Shema prehodov med agregatnimi stanji na primeru vode. Led predstavlja trdno, voda kapljevinsko, vodna para pa plinasto agregatno stanje.

Na tej točki bi poudarili, da taljenja ne smemo mešati z raztapljanjem ali pogovorno besedo topljenjem. Taljenje in raztapljanje sta različna procesa. Pri taljenju se snov spremeni iz trdnega v kapljevinsko agregatno stanje, pri tem pa ostane ista snov. Led se na primer stali v vodo, vosek v tekoči vosek, sir v toplem sendviču pa se pri segrevanju zmehča in stali – se ne raztaplja. Pri raztapljanju se ena snov porazdeli med delce druge snovi in nastane raztopina. Sladkor ali sol se na primer raztopita v vodi, vendar pri tem ne nastaneta tekoči sladkor ali tekoča sol. Voda je topilo, sladkor oziroma sol pa topljenec. V vsakdanjem jeziku za oba pojavi pogosto uporabljamo izraz topljenje. Ker je ta dvoumen, bomo v učbeniku razlikovali med taljenjem kot spremembo agregatnega stanja in raztapljanjem kot nastankom raztopine.

1. Kocki ledu močno stisnemo skupaj



2. Pritisk popustimo

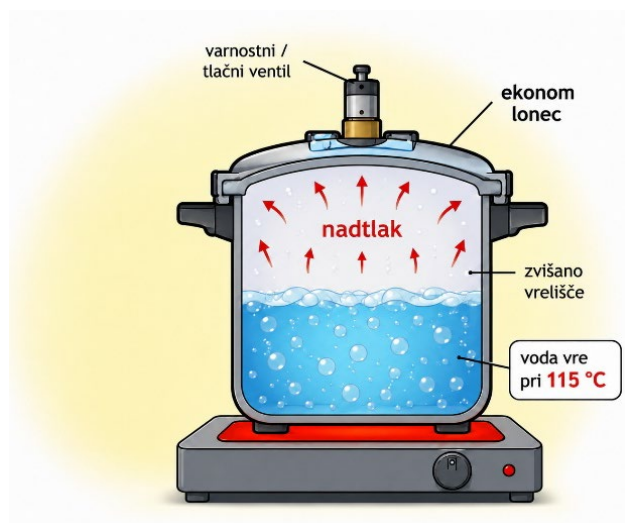


Slika 5.3: Prikaz vpliva tlaka na tališče ledu.

Tališče in vrelišče nista odvisna le od vrste snovi, temveč tudi od tlaka. Pri večini snovi se tališče z večanjem tlaka nekoliko zviša, voda pa je izjema: ker ima led manjšo gostoto kot tekoča voda, povečan tlak njegovo tališče nekoliko zniža. Če dve kocki ledu

močno stisnemo skupaj, se lahko led na stiku delno stali, po prenehanju pritiska pa voda znova zmrzne in kocki se sprimeta, kot je ponazorjeno na sliki 5.3.

Vpliv tlaka je zelo izrazit pri vrelišču. Kapljevina vre, ko tlak njene pare doseže tlak okolice. Pri višjem zunanjem tlaku mora zato doseči višjo temperaturo, pri nižjem tlaku pa zavre že pri nižji temperaturi. V ekonom loncu je tlak večji kot v okolici, zato voda vre pri temperaturi nad 100 °C in se hrana kuha hitreje, kot je ponazorjeno na sliki 5.4. Nasprotno pa lahko opazimo pri kuhanju v visokogorju. Zračni tlak se z nadmorsko višino zmanjšuje, zato je v visokogorju vrelišče vode nižje. Na vrhu Triglava, ki leži 2864 m nad morjem, voda v običajnih atmosferskih razmerah zavre pri približno 91 °C. Na vrhu Mount Everesta, na nadmorski višini 8849 m, pa zavre pri približno 70 °C. Natančna vrednost se nekoliko spreminja z vremenskimi razmerami, saj se spreminja tudi zračni tlak. Ker vrela voda v visokogorju ni tako vroča, se hrana kuha počasneje.



Slika 5.4: Prikaz vretja vode v ekonom loncu pri povišanem tlaku in temperaturi.

5.3 Voda v naravi in kroženje vode

Med snovmi, ki jih v naravi pogosto srečujemo v različnih agregatnih stanjih, ima posebno mesto voda. Najdemo jo v rekah, jezerih in morjih, v ledenikih in snegu, v tleh in ozračju ter v vseh živih bitjih. Omogoča življenje, sodeluje pri uravnavanju temperature in s svojim tokom, zmrzovanjem ter taljenjem nenehno preoblikuje Zemljino površje. V naravi se voda pojavlja v vseh treh osnovnih agregatnih stanjih:

- v kapljevinskem stanju jo najdemo v rekah, jezerih, morjih, podzemni vodi, dežnih kapljah in živih organizmih;
- v trdnem stanju se pojavlja kot led, ki ga v naravi najdemo v ledenikih in zamrznjenih vodah ter v obliki snega, slane, ivja in žleda;
- v plinastem stanju je v zraku prisotna kot vodna para, ki jo imenujemo tudi vodni hlapci.

Vodnih hlapov ne moremo neposredno videti. Bel oblak nad vročo vodo, megla in oblaki niso vodni hlapci, temveč jih sestavljajo drobne kapljice vode, pri nizkih temperaturah pa tudi ledeni kristali. Nastanejo, ko se vlažen zrak ohladi in del vodnih hlapov kondenzira. Podoben pojav lahko pozimi opazimo nad rekami: voda z gladine izhlapeva, vlažen zrak nad njo pa se ob mešanju z zelo hladnim okoliškim zrakom hitro ohladi. Pri tem nastanejo drobne kapljice, ki jih vidimo kot rečno meglo, kot je prikazano na sliki 5.5.



Slika 5.5: Prikaz rečne megle nad Dravo ob zelo hladnem vremenu. Temperatura Drave je približno 5 °C, temperatura zraka pa –17 °C. Z rečne gladine voda izhlapeva, topel in vlažen zrak pa se ob stiku z ledeno hladnim zrakom hitro ohladi. Vodni hlapci zato kondenzirajo v drobne kapljice ali ledene kristale, ki jih vidimo kot bele meglice.

Prehajanje vode med agregatnimi stanji je osnova kroženja vode v naravi, prikazanega na sliki 5.6. Sonce segreva morja, jezera, reke, tla in rastline, zato voda z njihovih površin izhlapeva in kot vodni hlapci prehaja v ozračje. Ko se vlažen zrak dviga, se ohlaja, vodni hlapci pa kondenzirajo v drobne kapljice ali ledene kristale, iz katerih nastajajo oblaki. Ko kapljice oziroma ledeni kristali dovolj zrastejo, se voda vrne na površje v obliki padavin. Del vode odteče po površju v potoke, reke, jezera in morja, del pa pronica v tla in postane

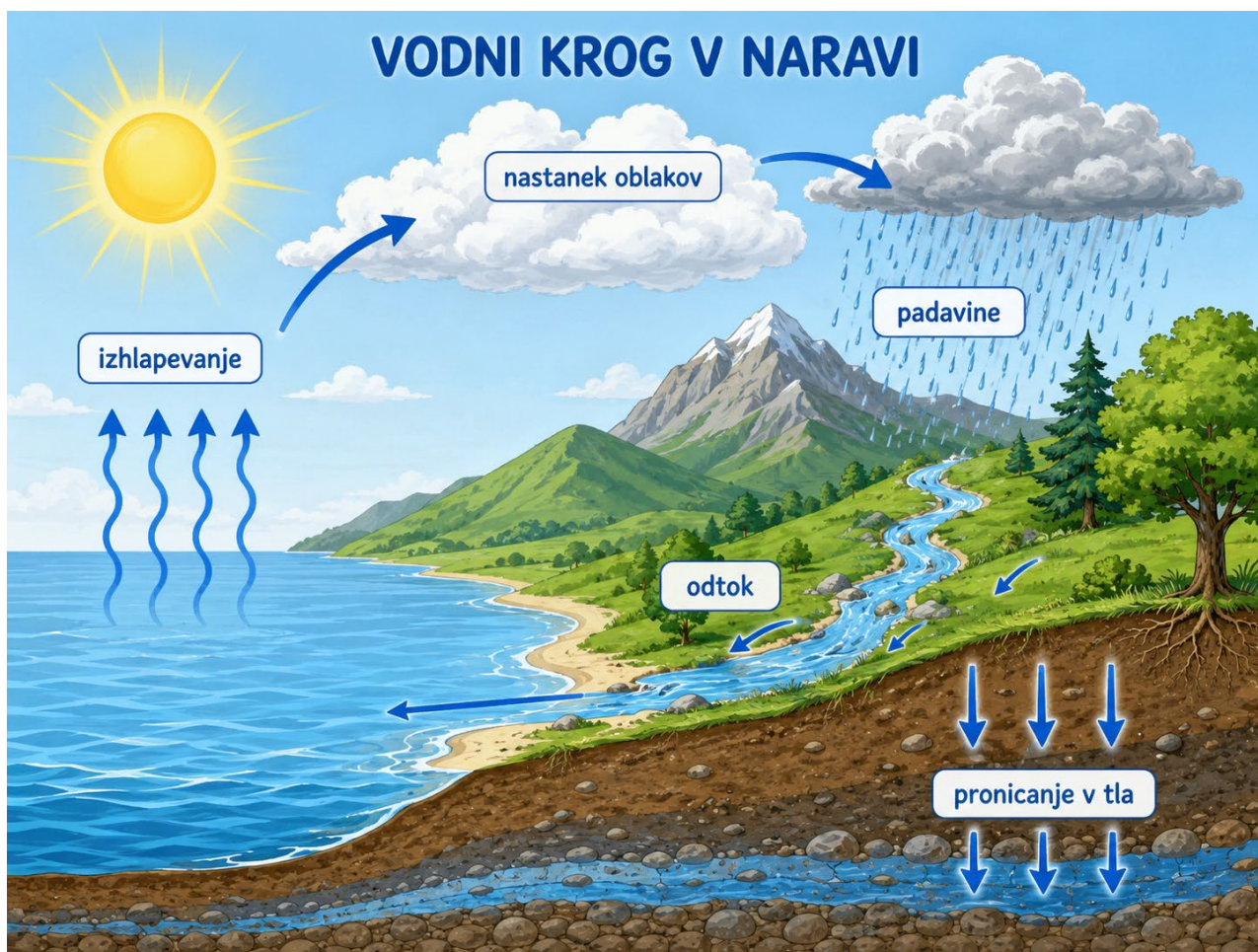
podzemna voda. V hladnih območjih se lahko dalj časa zadržuje tudi v obliki snega in ledu. S taljenjem, izhlapevanjem in ponovnimi padavinami se kroženje nadaljuje. Celoten proces poganja **Sončeva energija**, ki omogoča predvsem izhlapevanje vode in s tem vzdržuje kroženje vode v naravi.

5.4 Anomalija vode

Voda se pri ohlajanju obnaša nekoliko drugače kot večina snovi. Pri večini kapljev in se prostornina z nižanjem temperature zmanjšuje, njihova gostota pa povečuje. Pri vodi to velja le do približno 4 °C, ko doseže svojo največjo gostoto. Če jo ohlajamo še naprej proti ledišču, se začne ponovno raztezati in njena gostota se zmanjšuje. To posebno obnašanje imenujemo **anomalija vode**. Vzrok je povezan s posebno razporeditvijo molekul vode. Pri nižjih temperaturah se molekule vse bolj urejajo v bolj odprto strukturo, v kateri je med njimi nekoliko več praznega

prostora. Ob zmrzovanju se ta ureditev še izraziteje vzpostavi v kristalni zgradbi ledu. Prostornina se zato poveča, **led pa je manj gost od tekoče vode** in na njej plava.

Anomalija vode pomembno vpliva na dogajanje v jezerih in ribnikih pozimi. Ko se voda na površini ohlaja proti 4 °C, postaja gostejša in se spušča proti dnu, na njeno mesto pa prihaja toplejša voda. Ko temperatura površinske vode pade pod približno 4 °C, se njena gostota začne zmanjševati, zato ostaja pri površini. Tam se lahko še naprej ohlaja in nazadnje zmrzne. Jezera zato **zamrznejo najprej na površini**, ne na dnu. Nastala plast ledu plava na vodi in hkrati deluje kot razmeroma dober toplotni izolator, zato upočasni nadaljnje ohlajanje vode pod seboj. Pod ledom tako ostane tekoča voda, kar je zelo pomembno za preživetje vodnih organizmov v zimskem času. Plavanje ledu bomo podrobneje pojasnili pozneje pri obravnavi gostote in vzgona.



Slika 5.6: Kroženje vode v naravi.

3. V čem se izhlapevanje razlikuje od vrenja? Pojasnite, zakaj se mokro perilo lahko suši tudi pri temperaturi, ki je mnogo nižja od vrelišča vode.

4. Zakaj taljenje in raztapljanje nista isti pojav? Pojasnite razliko na primerih ledu, voska, soli ali sladkorja v vodi.

5. Kaj sta tališče in vrelišče ter zakaj nista odvisna samo od vrste snovi? Pojasnite tudi, zakaj lahko povečan tlak nekoliko zniža tališče ledu in povzroči, da se stisnjeni kocki ledu sprimeta.

6. Kako zunanji tlak vpliva na vrelišče vode? Razložite, zakaj se hrana v ekonom loncu skuha hitreje, v visokogorju pa počasneje.

7. Zakaj vodne pare oziroma hlapov ne moremo neposredno videti? Kaj v resnici sestavlja bel oblak nad vrelo vodo, meglo in oblake ter kako ti pojavi nastanejo?

8. Opišite kroženje vode v naravi in pri tem pojasnite vlogo Sončeve energije, izhlapevanja, kondenzacije, padavin, površinskega odtoka in pronicanja vode v tla.

9. V čem se voda pri ohlajanju in zmrzovanju razlikuje od večine drugih snovi? Pojasnite, zakaj ima največjo gostoto pri približno 4 °C in zakaj led plava na tekoči vodi.

10. Zakaj sta plavanje ledu in zamrzovanje jezer najprej na površini pomembna za preživetje vodnih organizmov pozimi? Povežite razlago z gostoto vode in izolacijskim učinkom ledene plasti.

6 Tlak, vzgon in tok tekočin

Nosilna razlaga: V kapljevinah in plinih je tlak, ki je odvisen od razmer v tekočini. Spreminjanje tlaka z globino povzroča vzgon, razlike v tlaku pa poganjajo tokove. Pri pretakanju so med seboj povezani tlak, hitrost tekočine in prečni prerez prostora, skozi katerega se tekočina pretaka, na primer cevi ali struge.

Ključni pojmi: tlak • hidrostatični tlak • gostota • vzgon • tok tekočine

6.1 Tlak

Ko telo deluje s silo na površino drugega telesa, je učinek sile odvisen tudi od velikosti površine, na katero je sila razporejena. Enaka sila, ki deluje na manjšo površino, ima večji učinek kot tedaj, ko je razporejena na večjo površino. Fizikalna količina, s katero opišemo ta učinek, je **tlak**. Tlak označujemo s črko p in ga določimo kot razmerje med silo, ki deluje pravokotno na površino, in velikostjo te površine:

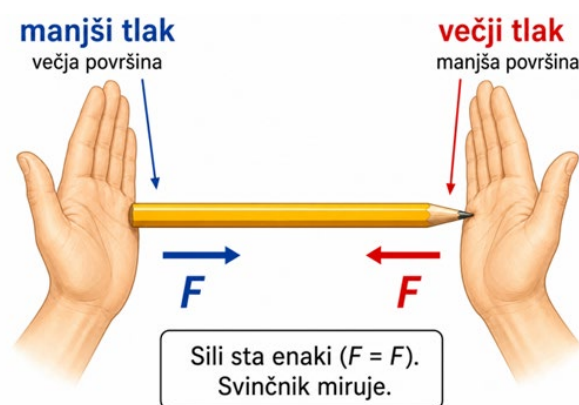
$$p = \frac{F}{S}.$$

Pri tem je F sila, S pa ploščina površine, na katero sila deluje. Tlak se poveča, če povečamo silo ali če enako silo razporedimo na manjšo površino. Enota za tlak je **pascal (Pa)**:

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

En pascal je torej tlak, ki ga povzroči sila enega newtona, enakomerno razporejena na površini enega kvadratnega metra. V praksi pogosto uporabljamo večje enote, na primer kilopascal (kPa) in bar. En bar je enak 100 kilopascalom oziroma 100.000 pascalom ($1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 100.000 \text{ Pa}$) in je približno enak običajnemu zračnemu tlaku ob morski gladini.

Ko z enako veliko silo pritiskamo na različno veliko površino, nastane različen tlak. To lepo prikazuje slika 6.1, kjer svinčnik z obeh strani deluje na dlani z enako veliko silo, vendar je na ošiljeni strani naležna površina mnogo manjša. Zato je tam tlak večji in svinčnik bolj »bode«, medtem ko je na topo odrezani strani zaradi večje naležne površine tlak manjši. Podobno oster nož lažje prereže hrano kot top, saj sila deluje na manjšo površino. Iz istega razloga imajo žebli in igle ostre konice. Nasprotno pa krplje, smuči in široke gosence gradbenih strojev povečajo površino, na katero deluje sila, zato je tlak manjši in se manj ugrezajo v mehka tla.



Slika 6.1: Enako veliki sili na svinčnik povzročita različen tlak.

6.2 Tlak v mirujoči tekočini

Tudi mirujoča tekočina ustvarja tlak. To pomeni, da tekočina zaradi svoje teže pritiska na dno in stene posode ter na telesa, ki so vanjo potopljena. Sila zaradi

tlaka v tekočini deluje pravokotno na površino in ni usmerjena le navzdol, ampak v vseh smereh. Zato voda pritiska tudi na stranske stene posode. V tekočini je tlak tem večji, čim globlje gremo. Globlje ležeče plasti tekočine namreč nosijo težo vseh plasti nad seboj.

Hidrostatični tlak je zato odvisen od globine in od gostote tekočine: gostejša tekočina pri enaki globini vodi do večjega tlaka. Na isti globini je tlak v isti tekočini enak.

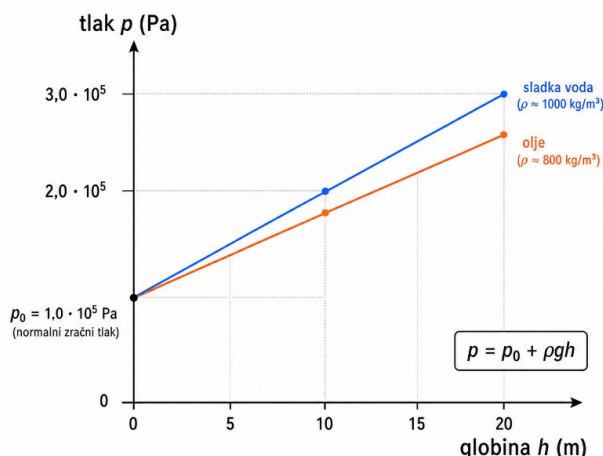
Hidrostatični tlak označujemo s p_h in ga zapišemo kot

$$p_h = \rho gh$$

Pri tem je ρ gostota tekočine, g težni pospešek, h pa globina pod gladino. Enačba pove, da se hidrostatični tlak povečuje z globino in da je večji v gostejših tekočinah. Pomembno je tudi, da se pri tekočini s stalno gostoto tlak z globino povečuje linearno. To pomeni, da se pri vsakem enakem povečanju globine tlak poveča za enak znesek. To lepo prikazuje slika 6.2, kjer sta narisani premici za dve različni kapljevini. Pri obeh tlak z globino narašča premo sorazmerno, vendar je premica za gostejšo kapljevino bolj strma. Pri tem moramo razlikovati med celotnim tlakom v tekočini in hidrostatičnim tlakom. Na gladini tekočine že deluje zračni tlak, ki ga označimo s p_0 , ki ga bomo podrobneje spoznali pozneje. To je tlak zraka v okolici, pri normalnih razmerah približno 10^5 Pa, torej 100 kPa. Zato tlak v tekočini na gladini ni enak nič, ampak je enak zračnemu tlaku. V primeru potapljanja globlje se temu začetnemu tlaku prišteva še tlak zaradi teže tekočine nad nami. Skupni tlak v tekočini zato zapišemo kot

$$p = p_0 + \rho gh$$

Člen ρgh predstavlja hidrostatični tlak, torej tisti del tlaka, ki nastane zaradi teže tekočine. V mnogih primerih nas zanima prav ta prispevek, zato ga obravnavamo posebej. V vodi se hidrostatični tlak približno poveča za 100 kPa na vsakih 10 m globine. Na globini 10 m je tako celotni tlak približno 200 kPa, od tega je 100 kPa zračni tlak in 100 kPa hidrostatični tlak vode. Na globini 20 m je celotni tlak približno 300 kPa, vendar je hidrostatični tlak, ki ga povzroča sama voda, le 200 kPa. Prav zato moramo biti pri uporabi pojma tlak vedno pozorni, ali govorimo o skupnem tlaku ali samo o hidrostatičnem tlaku.



Slika 6.2: Skupni tlak v kapljevini z globino linearno narašča. V gostejši kapljevini narašča hitreje, tlak na gladini pa je enak zračnemu tlaku p_0 .

Spreminjanje tlaka z globino nazorno ponazarja tudi poskus, prikazan na sliki 6.3, pri katerem voda izteka iz odprtih na različnih višinah. Iz najnižje odprtine ima curek pri iztekanju največjo hitrost, ker je tam tlak največji. Iz višje ležečih odprtih voda izteka šibkeje, saj je tlak manjši.

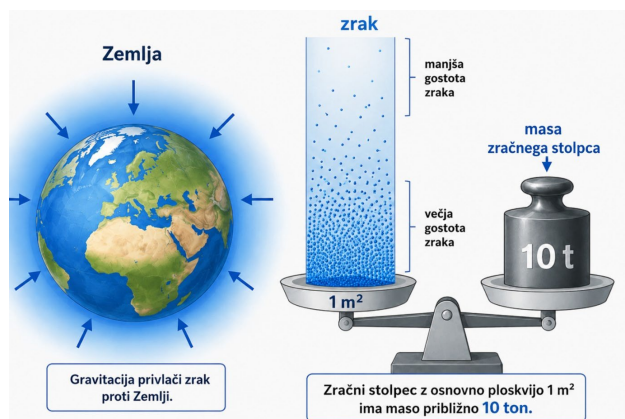


Slika 6.3: Iztekanje vode iz enako velikih lukenj v plastenki, ki so na različni globini.

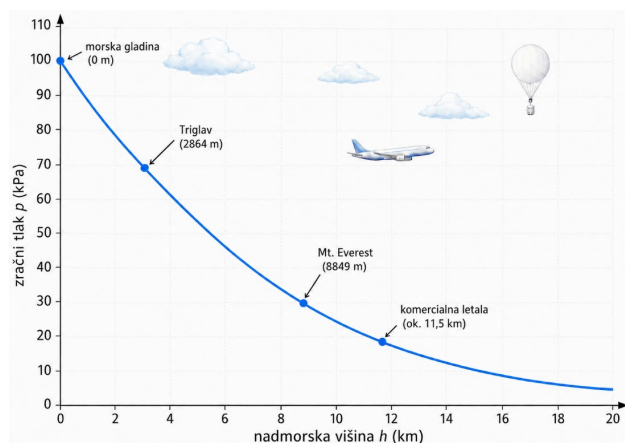
6.3 Zračni tlak

Tlak je značilen tako za kapljevine kot za pline. Tudi zrak ima maso, zato ga Zemlja zaradi gravitacije privlači k sebi. Ker zrak ni breztežen, njegova teža pritiska na Zemljino površje in na vsa telesa ob njej. Ta tlak imenujemo **zračni tlak** oziroma atmosferski tlak. Nad vsakim kvadratnim metrom Zemljinega površja si lahko predstavljamo visok stolpec zraka, ki sega skozi celotno ozračje. Teža tega zračnega stolpca je približno enaka

teži 10-tonskega bremena. Ker je razporejena na površino 1 m^2 , povzroča pri tleh tlak približno 10^5 Pa , kar ustreza normalnemu zračnemu tlaku. To je shematsko prikazano na sliki 6.4. Zračni tlak deluje na telesa z vseh strani. Čeprav je velik, ga običajno ne občutimo, saj je tlak v našem telesu približno uravnotežen z zunanjim tlakom. Spremembe opazimo predvsem takrat, ko se zračni tlak hitro spremeni, na primer med vzpenjanjem v gorah ali pri vzletu in pristanku letala, ko se nam lahko »zamašijo« ušesa.



Slika 6.4: Zračni stolpec nad površino 1 m^2 s svojo težo povzroča zračni tlak, ki je pri tleh približno 10^5 Pa .



Slika 6.5: Zračni tlak z nadmorsko višino pada eksponentno. Pri tleh se zmanjšuje hitreje, na večjih višinah pa počasneje; označene so tudi značilne višine, kot so Triglav, Mount Everest in območje letenja komercialnih letal.

Zrak je za razliko od kapljev in stisljiv, zato se zračni tlak z nadmorsko višino ne spreminja linearno, kot smo to videli pri hidrostatičnem tlaku v kapljevinah. Ker je zrak pri manjših nadmorskih višinah bolj stisnjen, je tam tudi gostejši. Zato se tlak pri tleh in na manjših višinah zmanjšuje razmeroma hitro, z naraščajočo višino pa vse počasneje. Takšno odvisnost lahko

opišemo z eksponentno funkcijo, kot kaže slika 6.5. Pri morsk gladini znaša približno 100 kPa , na vrhu Triglava je že opazno manjši, na vrhu Mount Everesta pa pade približno na tretjino vrednosti pri morsk gladini. Krivulja lepo pokaže, da je padec tlaka sprva strm, nato pa se z večjo nadmorsko višino postopno položi. Če smo na večji nadmorski višini, na primer v visokogorju, je nad nami krajši oziroma manjši stolpec zraka kot pri tleh. Ker ta stolpec zraka tehta manj, je tudi zračni tlak tam manjši, kot je prikazano na sliki 6.6.



Slika 6.6: Primerjava merjenja zračnega tlaka ob morsk gladini in v visokogorju. V merilniku je zaprt zrak z normalnim tlakom p_0 , ki služi kot primerjalna oziroma referenčna vrednost. Ob morsk gladini je zunanji zračni tlak približno enak p_0 , zato je membrana skoraj ravna in kazalec kaže približno 100 kPa . V visokogorju je zunanji zračni tlak manjši, zato tlak zaprtega zraka v merilniku membrano izboči navzven, kazalec pa pokaže manjšo vrednost, približno 75 kPa .

Delež kisika v zraku sicer ostane približno enak, vendar je zaradi manjšega tlaka v vsakem vdihu manj molekul kisika. Zato se lahko hitreje zadihamo, pri zelo velikih višinah pa se lahko pojavijo tudi znaki višinske bolezni.

6.4 Zračni tlak in vreme

Zračni tlak ni odvisen le od nadmorske višine. Tudi na istem kraju se s časom spreminja predvsem zaradi gibanja in prerazporejanja zračnih mas. Zrak je zmes plinov. Suh zrak sestavljata predvsem dušik (približno 78 %) in kisik (približno 21 %), vsebuje pa tudi argon in manjše količine drugih plinov. Delež vodne pare v zraku se spreminja. Molekula vode (H_2O) ima manjšo maso od molekule dušika (N_2) in molekule kisika (O_2). Pri enaki temperaturi in tlaku vodna para nadomesti del težjih delcev suhega zraka, zato ima enaka prostornina vlažnega zraka nekoliko manjšo maso in gostoto kot enaka prostornina suhega zraka. Vendar nizek zračni tlak ni preprosto posledica večje vlažnosti; spremembe tlaka so predvsem povezane z gibanjem zraka v ozračju.

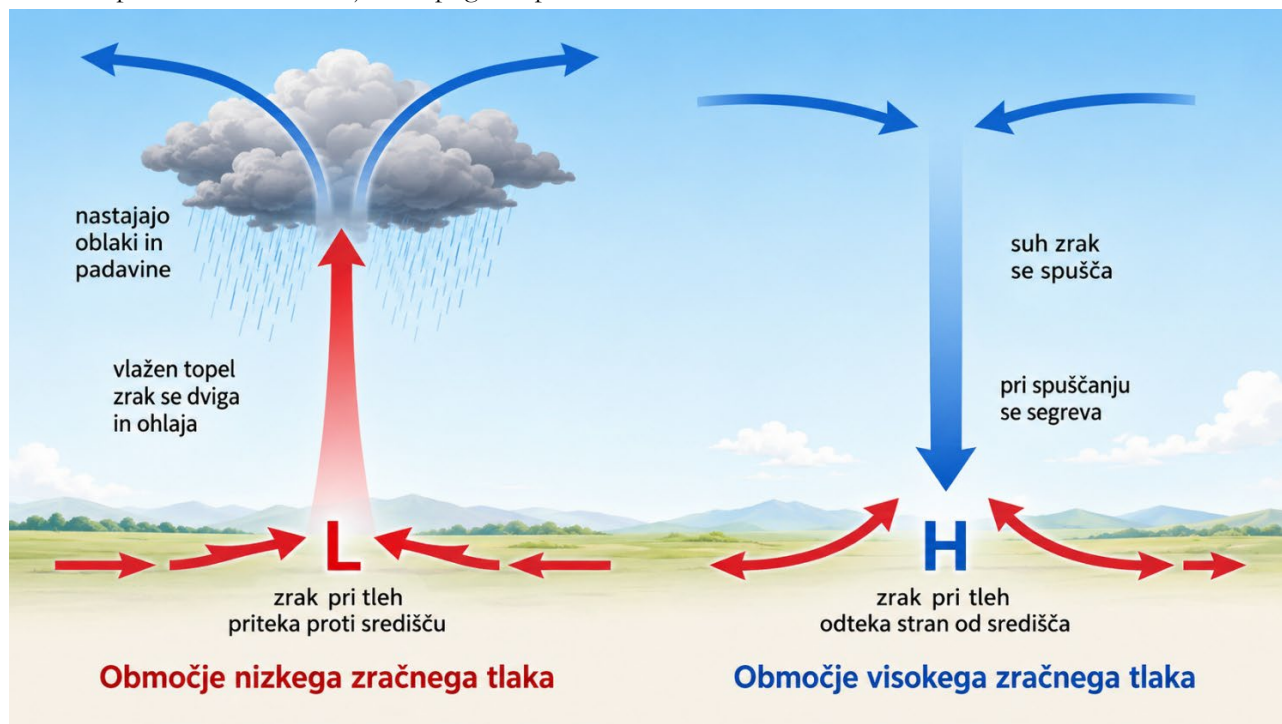
V območju nizkega zračnega tlaka, ki ga imenujemo tudi **ciklon**, zrak pri tleh praviloma priteka proti območju nižjega tlaka in se dviga. Med dviganjem se razteza in ohlaja, zato lahko vodna para kondenzira v oblake in padavine. Nizek tlak je zato pogosto povezan

z oblačnim, vetrovnim in nestanovitnim vremenom. V območju visokega tlaka oziroma **anticiklonu** se zrak navadno spušča, pri tem se segreva in oddaljuje od nasičenja, zato je nastajanje oblakov manj verjetno. Vreme se pogosto spremeni ob prehodu vremenskih front, ki so meje med zračnimi masami z različnimi lastnostmi. Ker je hladen zrak gostejši od toplega, ostaja nižje, topel zrak pa se ob fronti dviga nad njim. Zato se tlak pred prihodom ciklona ali fronte pogosto znižuje, poveča se oblačnost in lahko se pojavijo padavine. Naraščanje tlaka po prehodu fronte pa pogosto nakazuje umirjanje vremena. Proces sta shematsko prikazana na sliki 6.7.

Zračni tlak merimo z barometrom. V meteorologiji ga najpogosteje izražamo v hektopaskalih ali milibarih: $100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar}$. Normalni zračni tlak pri morski gladini je približno 1013 mbar oziroma $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

6.5 Vzgon in plovnost

Ko telo potopimo v tekočino, se pogosto zdi, kot da je v njej lažje. To opazimo pri plavanju, pri dvigovanju kamna pod vodo ali pri napihljivem obroču, ki nas drži na gladini. Razlog za to je **vzgon**, ki je neposredna posledica naraščanja tlaka z globino v mirujoči tekočini.



Slika 6.7: Shematski prikaz gibanja zraka v območju nizkega in visokega zračnega tlaka. V območju nizkega tlaka (L) zrak pri tleh priteka proti središču, se dviga, ohlaja ter lahko povzroči nastanek oblakov in padavin. V območju visokega tlaka (H) se zrak spušča, pri tem se segreva, pri tleh pa odteka stran od središča, zato je vreme navadno stabilnejše.

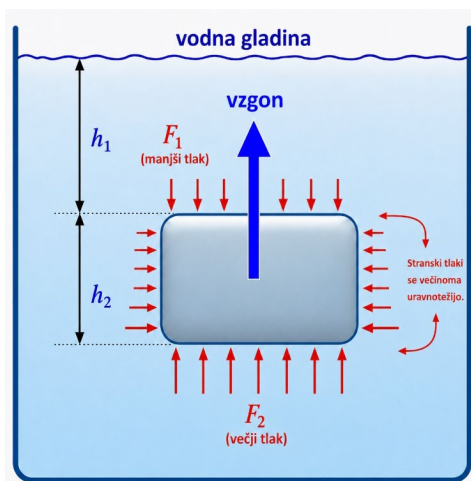
Na potopljeno telo zaradi tlaka delujejo sile okoliške tekočine z vseh strani, kot ponazarja slika 6.8. Na zgornjo ploskev telesa deluje tlak na manjši globini h_1 , zato je tam sila F_1 manjša. Na spodnjo ploskev deluje tlak na večji globini h_1 in h_2 , zato je sila F_2 večja. Stranske sile se med seboj izravnavajo, ker delujejo v nasprotnih smereh. Ker je sila na spodnjo ploskev večja od sile na zgornjo, je rezultanta sil okoliške tekočine na telo usmerjena navzgor. To rezultanto imenujemo vzgon. Njegovo velikost lahko zato zapišemo kot razliko med silo na spodnjo in silo na zgornjo ploskev:

$$F_{\text{vzg}} = F_2 - F_1$$

Podrobnejša analiza pokaže, da je vzgon enak teži tekočine, ki jo telo izpodrine. To je znano kot **Arhimedov zakon**. Zapišemo ga v obliki

$$F_{\text{vzg}} = \rho g V$$

Pri tem je ρ gostota tekočine, g težni pospešek, V pa prostornina izpodrinjene tekočine. Če je telo v tekočino potopljeno v celoti, je to prostornina potopljenega telesa. Če telo plava le deloma potopljeno, pa je izpodrinjena le potopljena prostornina. Iz te enačbe vidimo, da je vzgon večji v gostejših tekočinah in pri večji potopljeni prostornini telesa.

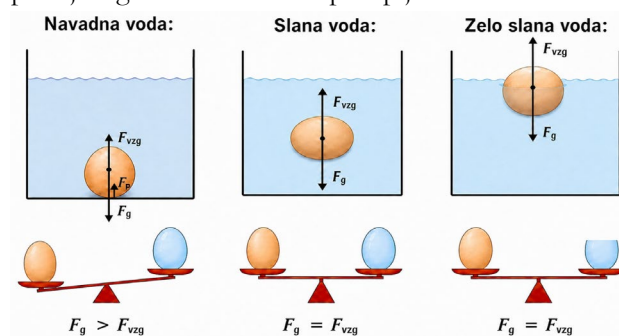


Slika 6.8: Vzgon na potopljeno telo. Ker je spodnja ploskev telesa globlje od zgornje, je tlak spodaj večji kot zgoraj, zato je sila navzgor večja od sile navzdol. Stranske sile se med seboj izravnavajo, skupni učinek pa je vzgon.

Vidimo, da je vzgon enak **teži izpodrinjene tekočine**. Ko telo potopimo v vodo, zavzame prostor, ki je bil prej zapolnjen z vodo. Če to naredimo v manjši posodi,

opazimo, da se gladina dvigne. Prostornina vode, ki jo je telo izpodrinilo in s tem povzročilo dvig gladine, je enaka prostornini potopljenega dela telesa. Če bi izpodrinjeno vodo zbrali in določili njeno težo, bi dobili prav velikost vzgona, ki deluje na telo. Zakonitosti vzgona bomo najlažje spoznali ob različnih primerih plavanja, lebdenja in potapljanja teles. Pri tem bomo primerjali težo telesa z vzgonom ter opazovali, kako na plovnost vplivata gostota tekočine in prostornina njenega izpodrinjenega dela.

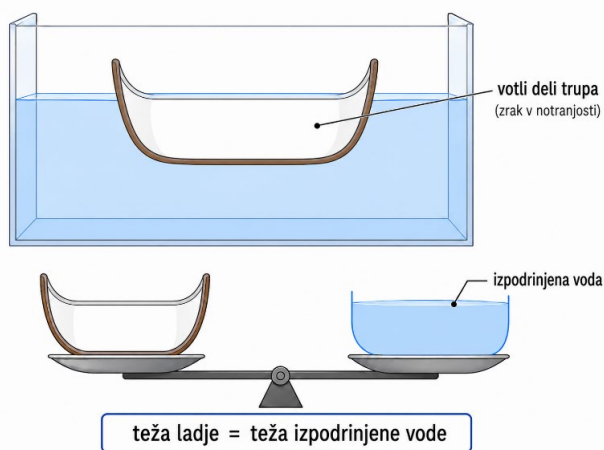
Preprost primer je jajce v vodi, kot prikazuje slika 6.9. V navadni vodi jajce potone, ker je njegova povprečna gostota večja od gostote vode. Med potapljanjem je vzgon F_{vzg} manjši od teže F_g , zato je rezultanta sil usmerjena navzdol. Ko jajce obmiruje na dnu, silo teže skupaj uravnovesita vzgon in sila podlage F_p . Če vodi postopoma dodajamo sol, se njena gostota povečuje. Ker je vzgon odvisen od gostote tekočine, začne na popolnoma potopljeno jajce delovati večji vzgon. Pri primerni koncentraciji soli postane gostota raztopine približno enaka povprečni gostoti jajca. Vzgon se takrat izenači s težo in jajce lebdi v vodi, ne da bi se dvigovalo ali potapljalo. Zelo slana voda ima večjo gostoto od povprečne gostote jajca, zato se jajce dvigne na gladino. Ko plava, sta njegova teža in vzgon ponovno enaka, vendar jajce ni več v celoti potopljeno. Pri večji gostoti tekočine že manjša izpodrinjena prostornina zagotovi dovolj velik vzgon, zato del jajca ostane nad gladino. Čim večja je gostota tekočine, tem manjši del plavajočega telesa mora biti potopljen.



Slika 6.9: Spreminjanje vzgona pri jajcu, potopljenem v navadno, slano in zelo slano vodo.

Naslednji primer je plavanje ladij. Ladje so pogosto izdelane predvsem iz jekla, ki je veliko gostejše od vode. Kljub temu ne potonejo, saj njihov trup ni poln, temveč vsebuje velike votle prostore, napolnjene z zrakom. Pri plavanju zato ni pomembna le gostota materiala, iz katerega je ladja izdelana, temveč povprečna gostota

celotne ladje, vključno z votlimi deli. Kot prikazuje slika 6.10, ladja izpodriva vodo s celotnim potopljenim delom trupa. Vodo torej izpodriva tudi del trupa, v katerem je zrak, in ne le kovina, iz katere je izdelana ladijska stena. Zaradi votle oblike lahko ladja izpodrine veliko prostornino vode, ne da bi se njena notranjost napolnila z vodo. Ko ladja mirno plava, je vzgon enak njeni teži. Po Arhimedovem zakonu to pomeni, da je teža izpodrinjene vode enaka teži ladje. Pri določeni potopljeni prostornini vzgon ni odvisen od mase ladje ali gostote materiala, iz katerega je izdelana, temveč od gostote vode in prostornine izpodrinjene vode. Velika masa ladje zato sama po sebi ne pomeni, da bo ladja potonila; pomembno je, da lahko izpodrine dovolj vode, da vzgon uravnesi njeno težo. Če ladjo dodatno natovorimo, se njena teža poveča, zato se nekoliko globlje potopi in izpodrine več vode. Ravnesje se ponovno vzpostavi, ko teža dodatno izpodrinjene vode ustreza povečani teži ladje.



Slika 6.10: Votel trup ladje izpodrine veliko prostornino vode, kar znatno poveča vzgon.

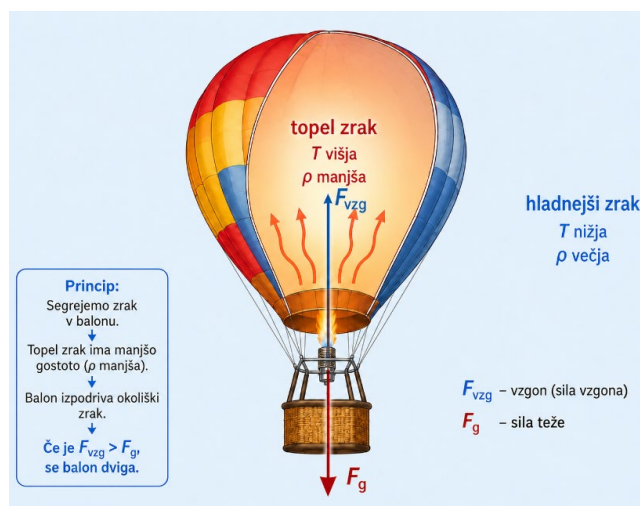
Zanimiv in pomemben primer je tudi plavanje ledu. Voda se pri zmrzovanju obnaša drugače kot večina snovi. Pri večini snovi se delci ob prehodu iz kapljevinskega v trdno stanje razporedijo tesneje, zato ima snov v trdnem stanju večjo gostoto kot v kapljevinskem. Pri vodi pa se ob zmrzovanju oblikuje bolj odprta kristalna zgradba, zato se njena prostornina poveča, gostota ledu pa postane manjša od gostote tekoče vode. Led zato plava, kot prikazuje slika 6.11. Ker je njegova gostota približno devet desetin gostote vode, je pod gladino potopljenega približno 90 % ledu, nad njo pa le okoli desetina. Ta posebnost je del anomalije vode. Tekoča voda ima največjo gostoto pri

približno 4 °C, kar pa je zelo pomembno za življenje v jezerih in drugih vodnih okoljih. Voda začne zmrzovati na površini, nastala plast ledu pa upočasni nadaljnje oddajanje toplote. Voda pod ledom zato ostane tekoča in vodnim organizmom omogoča preživetje tudi v mrzlih zimskih razmerah.



Slika 6.11: Zaradi manjše gostote led plava na vodi. Nad gladino je vidna le manjša, približno desetina njegove prostornine, večji del pa je skrit pod vodo.

Vzgon ne deluje na telesa le v kapljevinah, ampak v vseh tekočinah, torej tudi v plinih. Zato tudi na telesa v zraku deluje sila vzgona, ki je enaka teži izpodrinjenega okoliškega zraka. V večini vsakdanjih primerov je ta sila majhna, pri velikih in lahkih telesih pa lahko omogoči dvigovanje. Tak primer je balon na vroč zrak (slika 6.12). Zrak v ovoju balona segrevamo, zato se razširi in njegova gostota se zmanjša. V balonu je tako toplejši in redkejši zrak kot v okolici. Celoten balon izpodrine veliko prostornino hladnejšega in gostejšega zunanjega zraka, zato nanj deluje vzgon, ki je enak teži izpodrinjenega zraka. Balon se začne dvigovati, ko je vzgon večji od skupne teže ogretega zraka, ovoja balona, košare in tovora. Ko se velikosti sil izenačita, balon lebdi na približno stalni višini. Z dodatnim segrevanjem zraka se gostota zraka v balonu še zmanjša in balon se dvigne, pri ohlajanju zraka pa se začne spuščati. Podoben princip velja tudi za balon, napolnjen s helijem. Helij ima že pri enaki temperaturi manjšo gostoto od zraka, zato ga ni treba segrevati. Če je vzgon večji od skupne teže helija, ovoja balona in tovora, se balon dvigne.

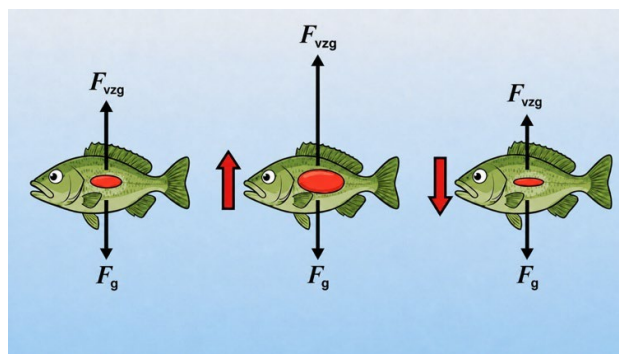


Slika 6.12: Princip delovanja balona na vroči zrak.

6.6 Uravnavanje plovnosti pri živalih

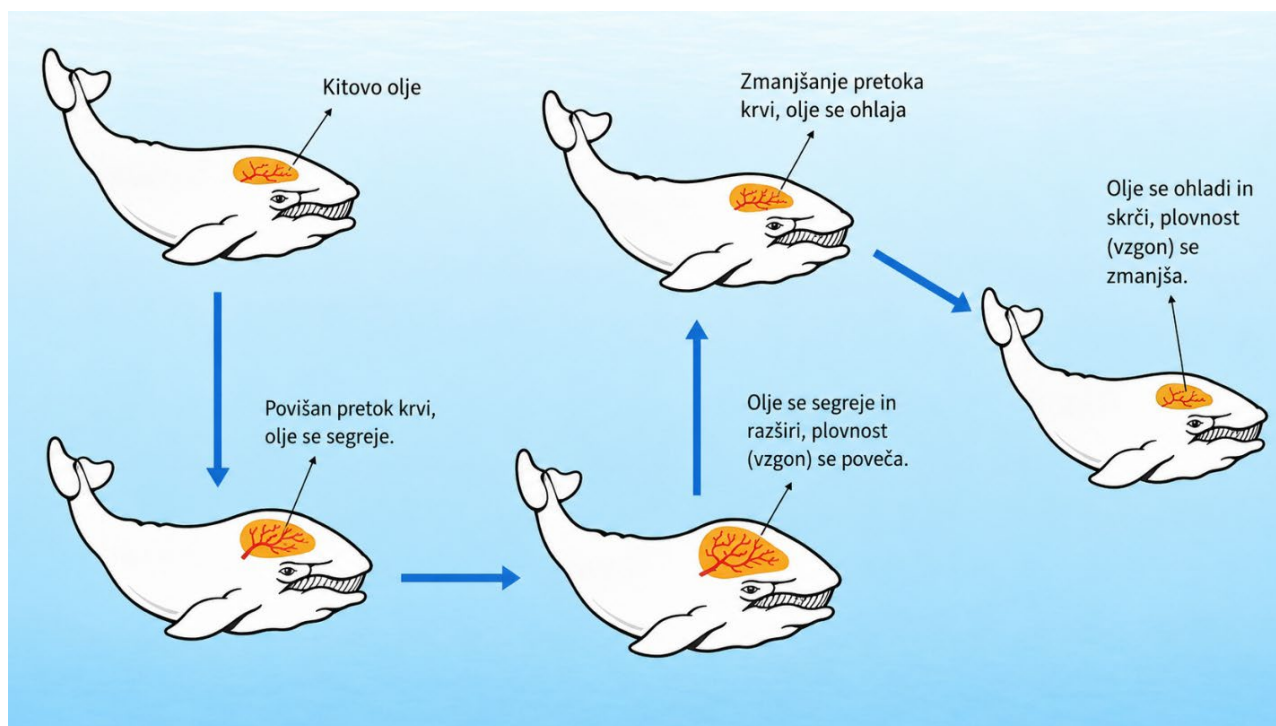
Živali, ki živijo v vodi, morajo svojo plovnost prilagajati tako, da se lahko dvigajo, spuščajo ali ostanejo na določeni globini. Pri tem uravnavajo razmerje med svojo težo in vzgonom. Če sta sili enaki, žival v vodi lebdi; če je vzgon večji od teže, se dviga, če je manjši, pa se spušča. Mnoge ribe kostnice imajo pod hrbtnico plavalni oziroma ribji mehur, napolnjen s plinom. S spreminjanjem količine plina oziroma prostornine mehurja spreminjajo prostornino in povprečno gostoto svojega telesa, ne da bi se njihova masa bistveno

spremenila. Kot prikazuje slika 6.13, se s povečanjem plavalnega mehurja poveča prostornina izpodrinjene vode in s tem vzgon, zato se riba začne dvigati. Ko se mehur zmanjša, riba izpodrine manj vode, zato se zmanjša tudi vzgon in riba se začne spuščati. Ko riba vzgon izenači s svojo težo, lahko na izbrani globini lebdi, ne da bi za ohranjanje položaja porabljala veliko energije.



Slika 6.13: Riba z uravnavanjem prostornine plina v plavalnem mehurju spreminja prostornino telesa in s tem vzgon.

Zelo zanimiv način uravnavanja plovnosti uporabljajo kiti glavači (*Physeter macrocephalus*). V njihovi glavi je velik prostor, napolnjen z oljnato snovjo. Po tej razlagi lahko glavač s spreminjanjem pretoka krvi vpliva na temperaturo te snovi in s tem na njeno prostornino ter gostoto. Ko se olje segreje, se nekoliko razširi, njegova

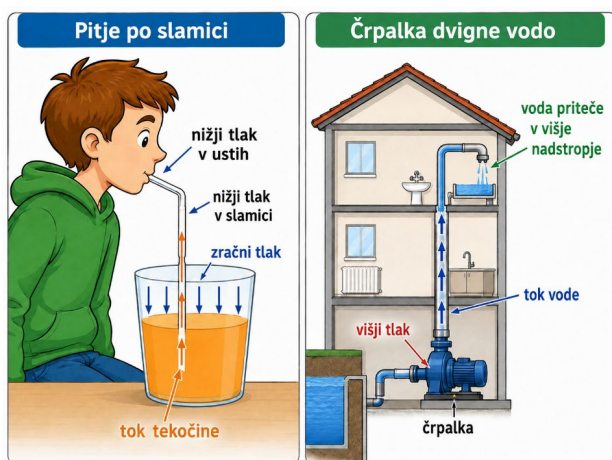


Slika 6.14: Pri kitih glavačih naj bi spremembe pretoka krvi vplivale na temperaturo oljne snovi v glavi, s čimer se uravnava plovnost. Segreto olje se razširi in poveča vzgon, ohlajeno olje pa se skrči in vzgon zmanjša.

gostota se zmanjša in vzgon se poveča; ko se ohladi, se skrči, njegova gostota se poveča in vzgon se zmanjša. To shematsko prikazuje slika 6.14. Povečan pretok krvi vodi do segrevanja olja, kar glavaču olajša dviganje, medtem ko zmanjšan pretok krvi povzroči ohlajanje olja in nekoliko manjši vzgon, kar olajša spuščanje. Ta princip sicer še ni v celoti raziskan.

6.7 Tok tekočin in tlačne razlike

Doslej smo tekočine obravnavali predvsem v mirovanju, vendar se kapljevine in plini lahko tudi pretakajo. Tok tekočine običajno povzroči **razlika v tlaku**: tekočina se začne premikati iz območja z višjim tlakom proti območju z nižjim. Čim večja je tlačna razlika, tem izrazitejši je praviloma tok. Pretakanje se nadaljuje, dokler obstaja tlačna razlika oziroma dokler jo vzdržuje zunanji vzrok, na primer črpalka, pihanje, segrevanje ali delovanje teže. To ponazarja slika 6.15. Pri pitju po slamici s pljuči in usti ustvarimo nižji tlak v ustni votlini in v slamici, zato zračni tlak, ki deluje na gladino pijače, potisne tekočino navzgor po njej. Podobno deluje tudi črpalka: v ceveh ustvari višji tlak in tako poganja vodo po vodovodnem sistemu tudi v višja nadstropja stavb. Tok tekočin srečamo na vsakem koraku. Po ceveh teče voda do pip in radiatorjev, po žilah se pretaka kri, pri dihanju se giblje zrak, tekočine pa tečejo tudi skozi slamice, brizge in različne gospodinjske naprave. Skupna značilnost teh primerov je, da se tekočina premika zaradi razlike tlakov, ki jo povzročijo črpalke, stiskanje, sesanje ali drugi zunanji vplivi.



Slika 6.15: Tok tekočine nastane zaradi razlike v tlaku. Pri pitju po slamici je tlak v ustih in slamici manjši od zračnega tlaka nad pijačo, pri črpalci pa višji tlak v cevi potiska vodo navzgor.

Tudi nastanek vetra je primer toka tekočine, ki ga povzročajo razlike v tlaku. Sonce Zemljinega površja ne segreva povsod enako, zato se zrak nad različnimi območji različno segreva. To je prikazano na sliki 6.16, kjer se podnevi kopno segreje bolj kot morje. Zrak nad kopnim se zato ogreje, razširi, postane redkejši in se začne dvigati. Ob tleh se tako nad kopnim vzpostavi nižji tlak, medtem ko je nad hladnejšim morjem zrak gostejši in tlak višji. Zaradi te razlike začne zrak ob površju teči od morja proti kopnemu – nastane veter. Višje v ozračju se del zraka vrača proti morju, zato se sklene kroženje zraka. Na splošno veter nastane zaradi razlik v zračnem tlaku: zrak se premika iz območij z višjim tlakom proti območjem z nižjim tlakom. Na njegovo smer in hitrost poleg tlačnih razlik vplivajo tudi vrtenje Zemlje, relief in trenje ob površju.



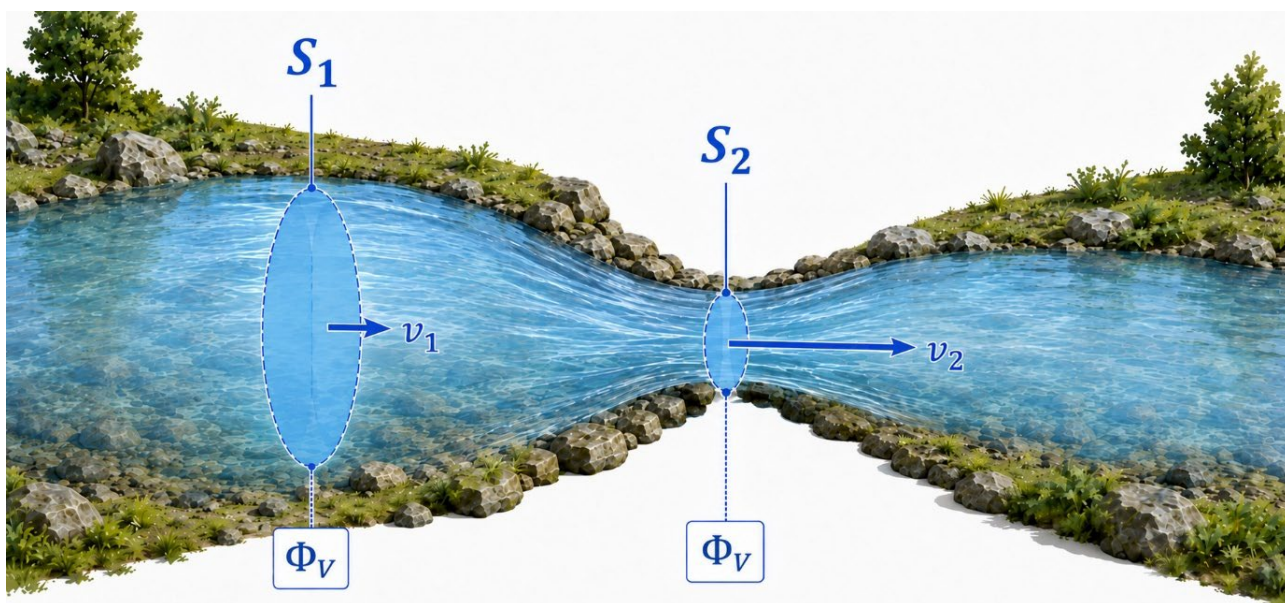
Slika 6.16: Nastanek vetra podnevi ob obali. V Sredozemlju takšen veter imenujemo maestral.

6.8 Prostorninski pretok in kontinuitetna enačba

Količino tekočine, ki v določenem času preteče skozi izbrani prečni prerez, opišemo s **prostorninskim pretokom**. Označimo ga s Φ_V in zapišemo

$$\Phi_V = \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

kjer je ΔV prostornina tekočine, ki skozi prerez preteče v časovnem intervalu Δt . Osnovna enota za prostorninski pretok je kubični meter na sekundo (m^3/s), v vsakdanjih primerih pa ga pogosto izražamo tudi v litrih na sekundo. Če tekočina skozi prerez s ploščino S teče s povprečno hitrostjo v , v času Δt prepotuje razdaljo $v\Delta t$. Skozi prerez tako preteče prostornina tekočine



Slika 6.17: Prikaz pretoka vode po rečni strugi. Prostorninski pretok Φ_V je skozi oba prečna prereza enak. Ker je v zoženem delu struge prečni prerez S_2 manjši od prereza S_1 , mora tam voda teči hitreje, zato velja $v_2 > v_1$.

$$\Delta V = Sv\Delta t,$$

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstanta}.$$

zato velja $\Phi_V = Sv$. Pri ustaljenem toku se tekočina vzdolž struge ne kopiči in ne izginja. Skozi vsak prečni prerez mora zato v enakem času preteči enaka prostornina tekočine. Za široki in zoženi del na sliki 6.17 tako velja

$$v_1 S_1 = v_2 S_2.$$

To zvezo imenujemo **kontinuitetna enačba**. Ker je prečni prerez zoženega dela manjši, $S_2 < S_1$, je tam hitrost tekočine večja $v_2 > v_1$. Kot prikazuje slika 6.17, voda skozi širši del teče počasneje, skozi zoženi del pa hitreje. Pretok Φ_V je na obeh mestih enak; spremeni se le razmerje med ploščino prečnega prereza in hitrostjo toka. Pri potoku ali reki upoštevamo celoten prečni prerez vodnega toka, ki je odvisen od njegove širine in globine.

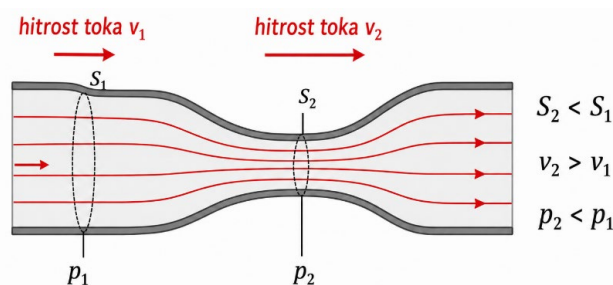
6.9 Hitrost toka in tlak – Bernoullijev pojav

Pri toku tekočine so med seboj povezani tlak, hitrost in višina. To zvezo opisuje **Bernoullijeva enačba**, ki izhaja iz ohranitve energije tekočine. Tokovnica je namišljena črta, ki v vsaki točki kaže smer gibanja tekočine. Pri ustaljenem toku se delci tekočine gibljejo vzdolž tokovnic. Za ustaljen tok idealne, nestisljive tekočine vzdolž iste tokovnice velja

Prvi člen predstavlja tlak, drugi člen gostoto kinetične energije toka, tretji pa gostoto potencialne energije. Če primerjamo dve mesti na enaki višini, kot je ponazorjeno na sliki 6.18, se zadnji člen ne spremeni, zato velja:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2.$$

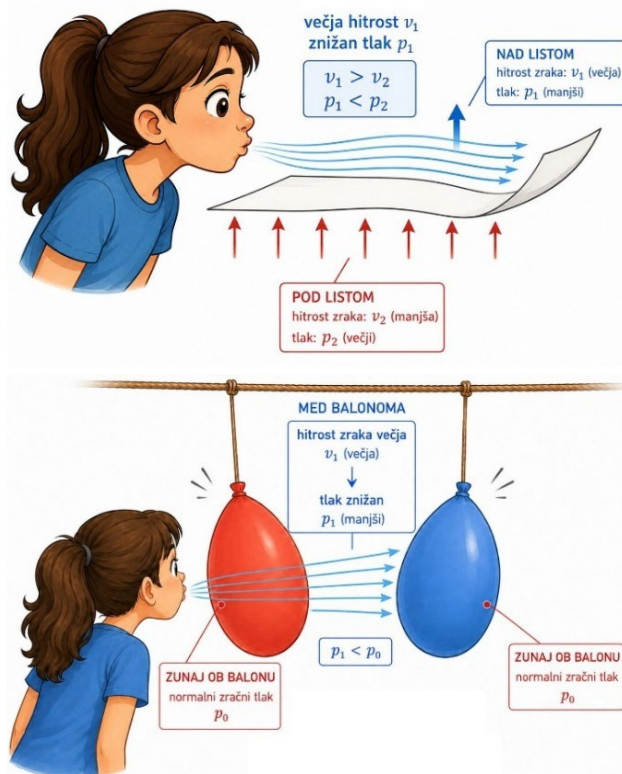
Če se tekočina v nekem delu giblje hitreje, je tam večji njen kinetični prispevek, tlak pa je manjši. V zoženem delu cevi, kjer zaradi kontinuitetne enačbe velja $v_2 > v_1$, iz Bernoullijeve enačbe pa potem sledi $p_2 < p_1$.



Slika 6.18: Bernoullijev pojav v zoženi cevi – večja hitrost toka je povezana z manjšim tlakom.

To povezavo med večjo hitrostjo toka in manjšim tlakom imenujemo Bernoullijev pojav. Ta pojav lahko preprosto ponazorimo z dvema poskusoma, prikazanima na sliki 6.19. Če pihamo nad listom papirja, se zrak nad njim giblje hitreje kot zrak pod njim. Tlak nad listom se zato zmanjša, medtem ko je pod njim večji. Nastala razlika v tlaku povzroči silo, usmerjeno navzgor, zato se list dvigne. Podobno se zgodi, če pihamo med dva balona, obešena na vrvicah. Zrak med njima se začne hitro gibati, zato je tam tlak manjši kot v mirujočem zraku na njunih zunanjih straneh. Večji zunanji tlak zato balona potisne drugega proti drugemu. Čeprav bi morda pričakovali, da ju bo pihanje razmaknilo, se zaradi Bernoullijevega pojava približata.

Zanimiv primer povezave med hitrostjo toka in tlakom je **Magnusov pojav**. Z njim se pogosto srečamo pri športih z žogo. Pri udarcu na gol lahko nogometaš žogo zavrti, zato njena površina vpliva na gibanje zraka okoli nje. Na eni strani žoge se vrtenje in tok zraka podpirata, zato zrak teče hitreje in je tlak manjši; na nasprotni strani je tok počasnejši in tlak večji. Zaradi razlike v tlakih na žogo deluje prečna sila, zaradi katere žoga zavije proti strani z nižjim tlakom in leti po ukrivljeni tirnici, kot prikazuje slika 6.20.



Slika 6.19: Bernoullijev pojav pri pihanju nad listom papirja in med dvema visečima balonom. Hitrejši tok zraka povzroči zmanjšanje tlaka in s tem silo zaradi razlike v tlakih.



Slika 6.20: Magnusov pojav pri vrteči se nogometni žogi. Razlika v hitrosti zraka in tlaku na obeh straneh žoge vodi do nastanka sile F , ki povzroči ukrivljen let.

Vprašanja za preveritev razumevanja



1. Kaj je tlak in kako je odvisen od sile ter površine, na katero sila deluje? Pojasnite razliko v tlaku na primerih ošiljenega svinčnika, ostrega noža, krpelj ali smuči.

2. Kako se tlak spreminja v mirujoči tekočini in zakaj se z globino povečuje? Pojasnite tudi, kako na hidrostatski tlak vpliva gostota tekočine.

3. V čem se razlikujeta hidrostatski in skupni tlak v tekočini? Pojasnite, zakaj skupni tlak na gladini ni enak nič in kako se spreminja z globino pri potapljanju v vodi.

4. Kaj je vzrok zračnega tlaka, zakaj ga običajno ne občutimo in zakaj se z nadmorsko višino zmanjšuje? Pojasnite tudi, zakaj je nizek zračni tlak pogosto povezan z oblačnim in nestanovitnim vremenom, visok tlak pa s stabilnejšim vremenom.

5. Kaj je vzrok vzgona na telo, potopljeno v tekočino? Z besedami izrazite Arhimedov zakon.

6. Pod katerimi pogoji telo v tekočini potone, lebdi ali plava? Povežite težo in vzgon s povprečno gostoto telesa in gostoto tekočine ter razložite to na primerih jajca v slani vodi in jeklene ladje z votlim trupom.

7. Kako živali in naprave uravnavajo plovnost? Primerjajte delovanje ribjega mehurja in balona na vroč zrak glede na spremembe prostornine, gostote, vzgona in teže.

8. Zakaj tekočina teče iz območja z višjim proti območju z nižjim tlakom? Pojasnite to načelo na primerih pitja po slamici, delovanja črpalke in nastanka vetra ob morski obali.

9. Kaj je prostorninski pretok in zakaj mora pri ustaljenem toku voda skozi ožji del struge teči hitreje kot skozi širši? Pojasnite s kontinuitetno enačbo.

10. Kako sta pri Bernoullijevem pojavu povezana hitrost toka in tlak? Pojasnite pojav na primeru pihanja nad listom papirja ali med dvema balonoma ter opišite, kako je z njim povezan ukrivljeni let vrteče se žoge.

7 Nihanje, valovanje in zvok

Nosilna razlaga: Nihanje je ponavljajoče se gibanje; valovanje je širjenje motnje in energije; zvok je valovanje, ki potrebuje snov.

Ključni pojmi: amplituda • nihajni čas • frekvenca • valovanje • valovna dolžina • zvok

7.1 Nihanje kot periodično gibanje

V naravi in vsakdanjem življenju pogosto opazimo gibanja, ki se vedno znova ponavljajo. Otrok na gugalnici se premika naprej in nazaj, struna na kitari trepeti, utež na vzmeti se dviga in spušča, srce ritmično utripa, zrak ob zvočniku pa niha sem in tja. Takšnemu ponavljajočemu se gibanju pravimo **nihanje**. Če se gibanje ponavlja v enakih časovnih presledkih, pravimo, da je periodično.

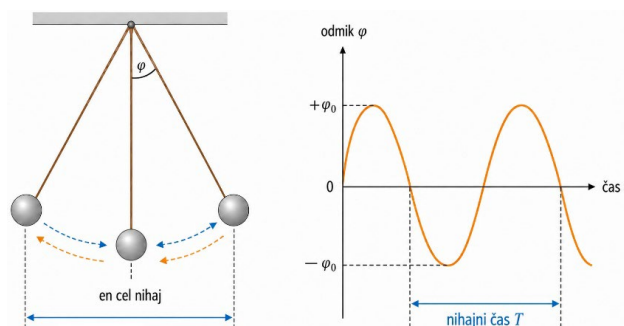
Nihanje si najlažje predstavljamo z nihalom, kot je prikazano na sliki 7.1. Nihalo niha okoli **ravnovesne lege**, to je lege, v kateri miruje, kadar ga ne zmotimo. Če kroglico odmaknemo vstran, tako da se vrv odkloni za kot φ , in jo spustimo, začne prehajati iz ene **skrajne lege** v drugo ter se pri tem vedno znova vrača skozi ravnovesno lego. Največji odklik od ravnovesne lege imenujemo **amplituda**; pri nihalu jo lahko opišemo kot največji kotni odklon, ki je na sliki označen z φ_0 .

Za opis nihanja je zelo pomemben tudi **nihajni čas**. To je čas, ki ga nihalo potrebuje za en cel nihaj – na primer od leve skrajne lege do desne skrajne lege in nazaj do leve. Nihajni čas označujemo s črko T , imenujemo pa ga tudi perioda nihala. Če nihalo za en cel nihaj potrebuje 2 sekundi, je njegov nihajni čas 2 s. S tem je tesno povezana še **frekvenca** ν , ki pove, koliko nihajev opravi telo v eni sekundi in je definirana kot

$$\nu = \frac{1}{T}$$

in jo merimo v **hercih (Hz)**. Če nihalo opravi en nihaj v 2 sekundah, je njegova frekvenca 0,5 Hz, kar pomeni, da opravi pol nihaja na sekundo oziroma en cel nihaj v dveh sekundah. Če pa bi opravilo 2 nihaja v eni sekundi, bi bila njegova frekvenca 2 Hz.

Desni del slike 7.1 prikazuje graf spreminjanja odklika (kotnega odklona) φ s časom t . Na vodoravni osi je prikazan čas, na navpični pa odklik nihala. Krivulja kaže, kako se odklik med nihanjem periodično spreminja: v skrajnih legah doseže vrednosti $+\varphi_0$ in $-\varphi_0$, med njima pa prehaja skozi vrednost 0, ko je nihalo v ravnovesni legi. Iz grafa lahko razberemo amplitudo in nihajni čas T , torej čas, po katerem se gibanje začne ponavljati na enak način. Takšen prikaz omogoča, da nihanje opazujemo ne le kot gibanje sem in tja, temveč tudi kot pravilno časovno spreminjanje odklika.



Slika 7.1: Nihanje nihala med skrajnima legama in graf časovnega spreminjanja odklika φ . Največji odklik φ_0 predstavlja amplitudo (največji kotni odklon), nihajni čas T pa je čas enega celotnega nihaja – na primer od leve skrajne lege do desne in nazaj do leve skrajne lege.

Periodično spreminjanje lege nihala lahko formalno opišemo s trigonometričnimi funkcijami. Pri manjših odklonih se odklik nihala s časom spreminja približno sinusno:

$$\varphi(t) = \varphi_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right).$$

Pri tem je $\varphi(t)$ odklik nihala v izbranem trenutku t , φ_0 največji odklik oziroma amplituda, T pa nihajni čas. Faktor 2π zagotavlja, da se sinusna funkcija v času enega nihajnega časa spremeni skozi celoten cikel in se nato začne ponavljati.

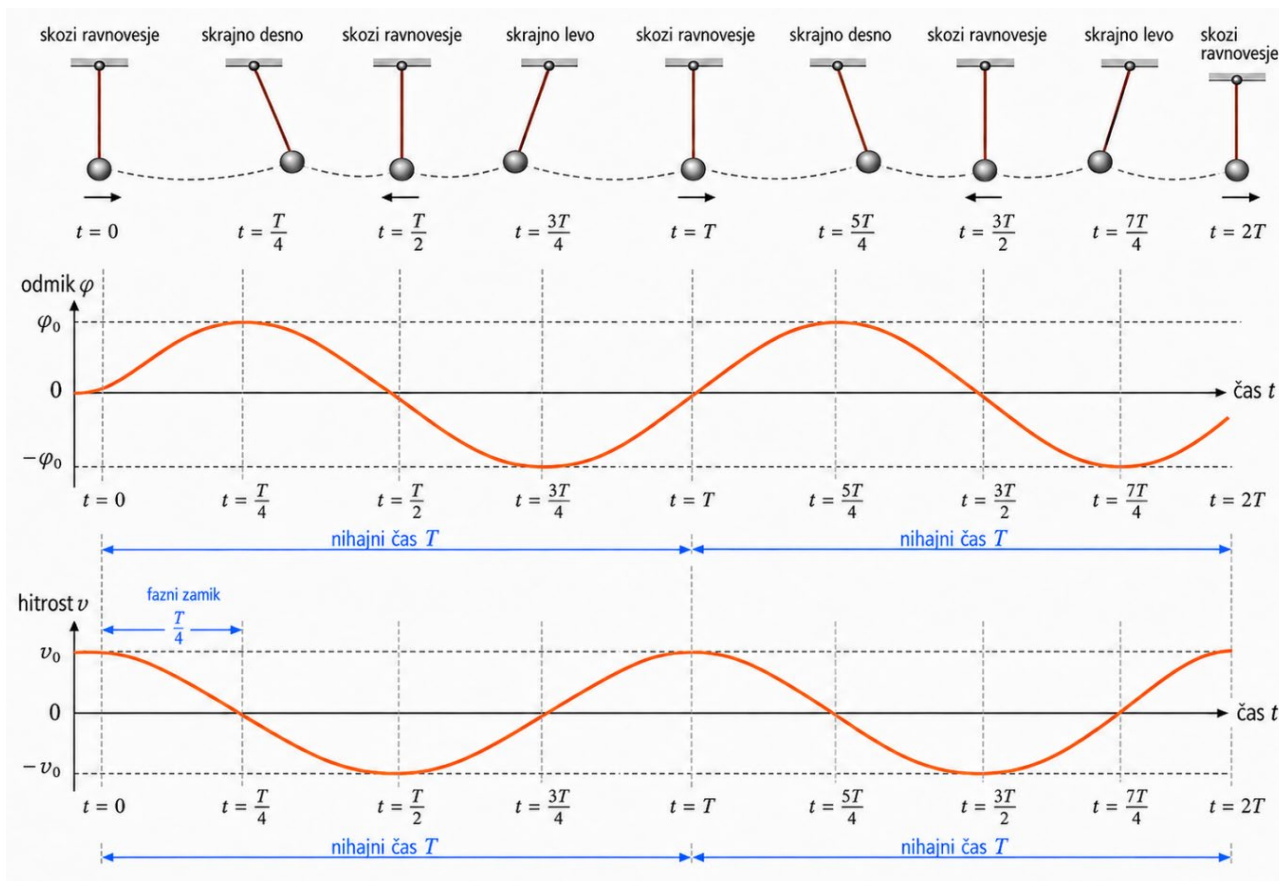
Tak zapis ustreza nihanju na sliki 7.1, pri katerem je nihalo ob času $t = 0$ v ravnovesni legi in se začne gibati proti pozitivni skrajni legi. Po četrtini nihajnega časa doseže odklik φ_0 , po polovici nihajnega časa znova preide skozi ravnovesno lego, po treh četrtinah doseže odklik $-\varphi_0$, po času T pa se vrne v začetno stanje. Enačba tako opisuje periodično ponavljanje odklika med vrednostma $-\varphi_0$ in $+\varphi_0$.

Iz enačbe za odklik lahko sklepamo tudi, kako se med nihanjem spreminja hitrost. Pri tem je pomembno

opaziti, da hitrost nihala ni ves čas enaka. V skrajnih legah se nihalo za trenutek ustavi, zato je tam njegova hitrost enaka nič. Ko pa prehaja skozi ravnovesno lego, se giblje najhitreje. To se ujema tudi z našo vsakdanjo izkušnjo pri gugalnici: na vrhu se gibanje za hip ustavi, na sredini pa je najhitrejšo. Hitrost nihala lahko tako zapišemo kot:

$$v(t) = v_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right).$$

Pri tem je v_0 največja hitrost nihanja, ki jo ima nihalo v ravnovesni legi. Enačba kaže, da se tudi hitrost spreminja periodično, vendar je glede na odklik zamaknjena za četrto periodo $T/4$, kar ustreza faznemu zamiku $\pi/2$. To pomeni, da sta odklik in hitrost fazno zamaknjena. Kot prikazuje slika 7.2, je ob največjem odkliku hitrost enaka nič. Ko je odklik enak nič, torej ko nihalo prehaja skozi ravnovesno lego, je hitrost največja po absolutni vrednosti. Pomemben je tudi njen predznak: pozitivna hitrost pomeni gibanje v eni smeri, negativna pa v nasprotni. Iz grafa hitrosti lahko razberemo ne le, kako hitro se telo giblje, temveč tudi smer njegovega gibanja.

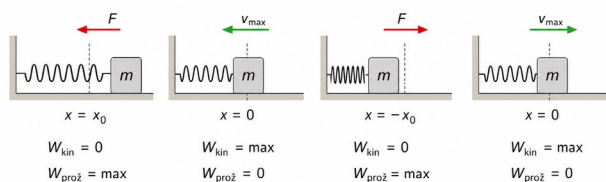


Slika 7.2: Nihanje nihala, prikazano z zaporednimi legami nihala ter z grafoma časovne odvisnosti odklika φ in hitrosti v .

7.2 Energijske pretvorbe pri nihanju

Pri nihanju nihala se energija izmenično pretvarja med potencialno in kinetično energijo. V skrajnih legah je nihalo najvišje, zato ima največ potencialne energije, njegova hitrost in kinetična energija pa sta enaki nič. Med gibanjem proti ravnovesni legi se potencialna energija pretvarja v kinetično; ob prehodu skozi ravnovesno lego je hitrost največja. Enako se dogaja pri otroku na gugalnici. Če gugalnico le odmaknemo in spustimo, se njena amplituda zaradi trenja v ležajih in upora zraka postopoma zmanjšuje, saj se del mehanske energije pretvarja v notranjo energijo okolice. Otrok pa lahko z usklajenim premikanjem nog in telesa opravlja delo ter gugalnici dovaja dodatno energijo. Če to počne v pravem trenutku, se amplituda nihanja povečuje.

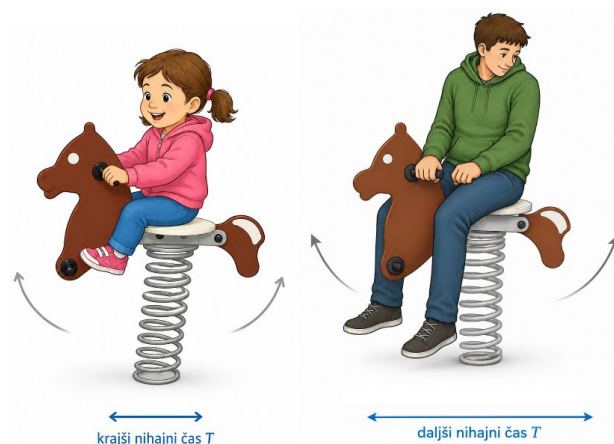
Tudi pri vzmetnem nihalu se med nihanjem nenehno pretvarjata kinetična in prožnostna energija, kar kaže slika 7.3. V skrajni desni legi ($x = x_0$) je hitrost telesa enaka nič, vzmet je najbolj raztegnjena, zato je kinetična energija enaka nič, prožnostna energija pa največja. Ko se telo začne gibati proti ravnovesni legi, se prožnostna energija pretvarja v kinetično. V ravnovesni legi ($x = 0$) je vzmet nestisnjena oziroma neraztegnjena, sila vzmeti je enaka nič, hitrost telesa pa največja, zato je tam kinetična energija največja, prožnostna pa najmanjša. Nato telo zaradi svoje hitrosti nadaljuje gibanje v levo, vzmet se začne stiskati in kinetična energija se znova pretvarja v prožnostno. V skrajni levi legi ($x = -x_0$) se telo za trenutek ustavi, hitrost je spet enaka nič, prožnostna energija pa ponovno doseže največjo vrednost. Nato se gibanje ponovi v nasprotni smeri. Tako kot pri nihalu tudi pri vzmetnem nihalu energija torej ne izgine, ampak se med nihanjem izmenično pretvarja iz ene oblike v drugo. Če trenje in druge izgube zanemarimo, se mehanska energija sistema ohranja.



Slika 7.3: Štirje značilni položaji vzmetnega nihala. V skrajnih legah je hitrost enaka nič, prožnostna energija pa največja; v ravnovesni legi je hitrost največja, sila vzmeti enaka nič, kinetična energija pa največja.

7.3 Od česa je odvisen nihajni čas?

Različna nihala ne nihajo enako hitro. Pri nitnem nihalu je nihajni čas odvisen predvsem od **dolžine vrvice in gravitacijskega pospeška**. Daljše nihalo niha počasneje in ima daljši nihajni čas, krajše pa hitreje. Pomembna je tudi gravitacija: kjer je gravitacijski pospešek manjši, je nihanje počasnejše. Na Luni bi zato isto nihalo imelo daljši nihajni čas kot na Zemlji. Masa uteži na nihajni čas idealnega nitnega nihala ne vpliva. Prav tako je pri majhnih odklonih nihajni čas skoraj neodvisen od začetne amplitude. Nihalo, ki ga odmaknemo nekoliko bolj, zato za en nihaj ne potrebuje bistveno več časa, čeprav opravi daljšo pot. Pri zelo velikih odklonih se nihajni čas nekoliko podaljša, vendar so pri običajnem nihanju te razlike majhne. Zato večja amplituda ne pomeni nujno tudi počasnejšega nihanja.



Slika 7.4: Primer vzmetne gugalnice z otrokoma z manjšo in večjo maso. Pri težjem otroku je nihajni čas daljši, zato gugalnica niha z nižjo frekvenco.

Pri vzmetnem nihalu je drugače kot pri nitnem nihalu. Njegov nihajni čas je odvisen predvsem od **mase** nihajočega telesa in **togosti vzmeti**. Pri isti vzmeti težje telo niha počasneje in ima daljši nihajni čas, medtem ko lažje telo niha hitreje. Pri isti masi pa bolj toga vzmet povzroči hitreje nihanje in krajši nihajni čas, saj telo močnejše vleče nazaj proti ravnovesni legi. Nihajni čas je torej značilnost celotnega nihajočega sistema in je odvisen od njegovih fizikalnih lastnosti. Podoben pojav lahko opazimo tudi pri otroški vzmetni gugalnici. Če na enaki gugalnici sedi lažji otrok, se gugalnica ziblje nekoliko hitreje, zato je njen nihajni čas krajši. Če pa na isti gugalnici sedi težji otrok, je nihanje počasnejše:

nihajni čas je daljši, frekvenca pa manjša. To je prikazano na sliki 7.4.

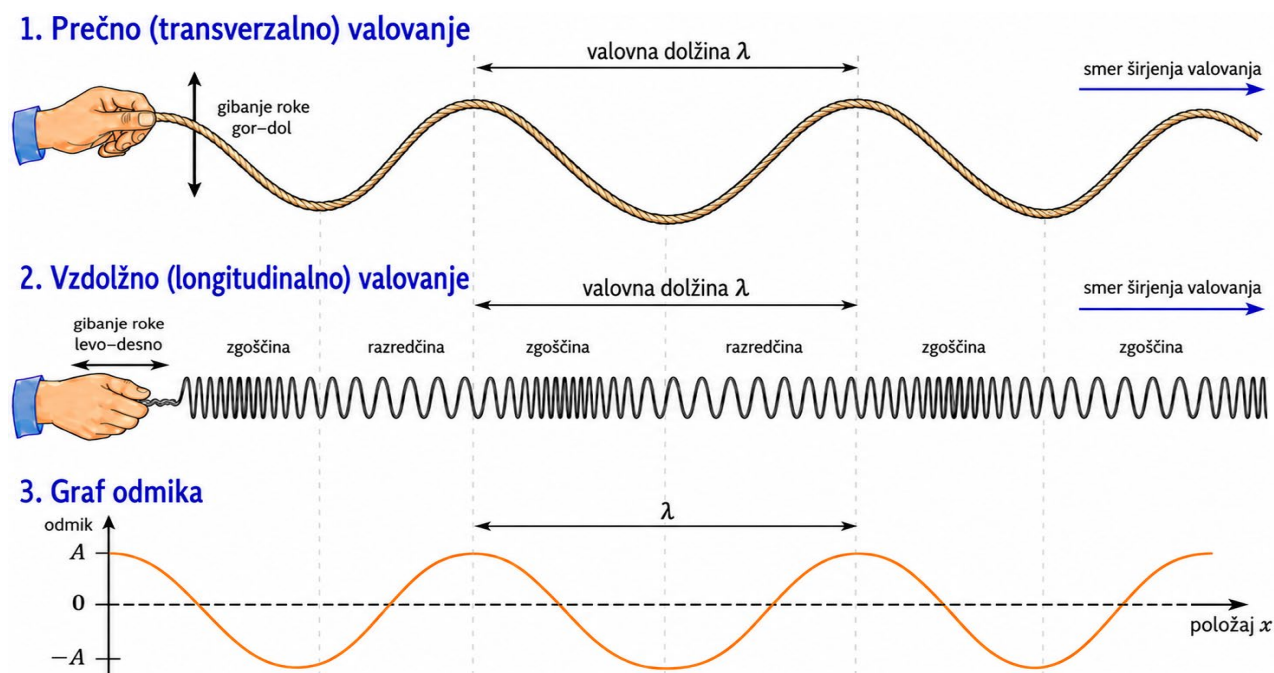
7.4 Valovanje

Doslej smo obravnavali nihanje posameznega telesa okoli ravnovesne lege. Če so posamezni deli snovi med seboj povezani, se lahko nihanje enega dela prenese na sosednje dele. Tako se motnja postopoma širi skozi prostor – po vrvi, vzmeti, vodni gladini, zraku ali drugi snovi. Takšnemu širjenju motnje pravimo valovanje. Pri tem se snov kot celota ne pomika skupaj z valom: posamezni deli snovi le nihajo okoli svojih ravnovesnih leg, po prostoru pa se širita motnja in z njo energija.

Glede na smer nihanja delov snovi ločimo **prečno oziroma transversalno in vzdolžno oziroma longitudinalno valovanje**, kot prikazuje slika 7.5. Pri prečnem valovanju deli snovi nihajo pravokotno na smer širjenja valovanja. Če konec vrvi premikamo gor in dol, se val širi vzdolž vrvi, posamezni deli vrvi pa se odmikajo navzgor in navzdol. Odmik je v tem primeru navpična razdalja posameznega dela vrvi od njegove ravnovesne lege. Pri vzdolžnem valovanju deli snovi nihajo v isti smeri, kot se valovanje širi. Če konec vzmeti izmenično potiskamo in vlečemo, se njeni ovoji premikajo levo in desno okoli svojih ravnovesnih položajev. Odmik je zato vzdolžen: pove, za koliko se

je posamezni del vzmeti premaknil vzdolž smeri njenega raztezanja. Pri tem nastajajo območja, kjer so ovoji bližje skupaj, imenovana **zgoščine**, in območja, kjer so bolj narazen, imenovana **razredčine**. Razdaljo med dvema zaporednima vrhovoma na vrvi oziroma med dvema zaporednima zgoščinama na vzmeti imenujemo valovna dolžina in jo označimo z λ . Graf na sliki 7.5 prikazuje prostorsko ponavljanje vala v izbranem trenutku. Na vodoravni osi je položaj x , navpična os pa ponazarja odmik od ravnovesne lege. Pri vrvi gre za prečni odmik navzgor ali navzdol, pri vzmeti pa za vzdolžni odmik vzdolž vzmeti.

Pri valovanju posamezni deli snovi nihajo okoli svojih ravnovesnih leg, motnja pa se pri tem širi skozi prostor. Z valovanjem se prenaša energija, medtem ko se snov kot celota ne premika skupaj z valom. Amplituda je največji odmik nihajočih delov snovi od ravnovesne lege, valovna dolžina λ pa razdalja med dvema zaporednima mestoma, ki nihata na enak način – na primer med dvema vrhovoma vala ali med dvema zaporednima zgoščinama, kot smo opredelili na sliki 7.5. Z valovno dolžino je neposredno povezana frekvenca valovanja. Ta pove, kolikokrat v eni sekundi zaniha posamezni del snovi, in je enaka frekvenci izvora, ki povzroča valovanje. Hitrost širjenja valovanja c je odvisna predvsem od lastnosti snovi, po kateri se val širi. Frekvenca, valovna dolžina in hitrost valovanja

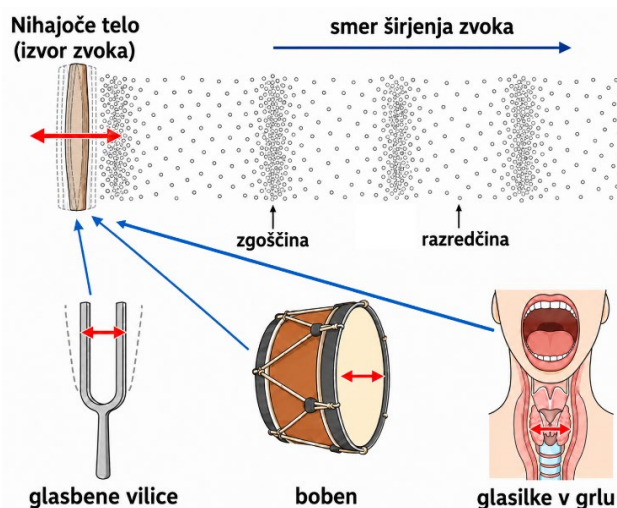


Slika 7.5: Prečno valovanje na vrvi in vzdolžno valovanje na vzmeti. Pri prečnem valovanju deli vrvi nihajo pravokotno na smer širjenja vala, pri vzdolžnem pa se deli vzmeti premikajo vzdolž smeri širjenja, pri čemer nastajajo zgoščine in razredčine. Valovna dolžina λ je razdalja med zaporednima mestoma, ki nihata na enak način.

so povezane: pri enaki hitrosti širjenja ima valovanje z večjo frekvenco krajšo valovno dolžino: $c = \lambda \nu$.

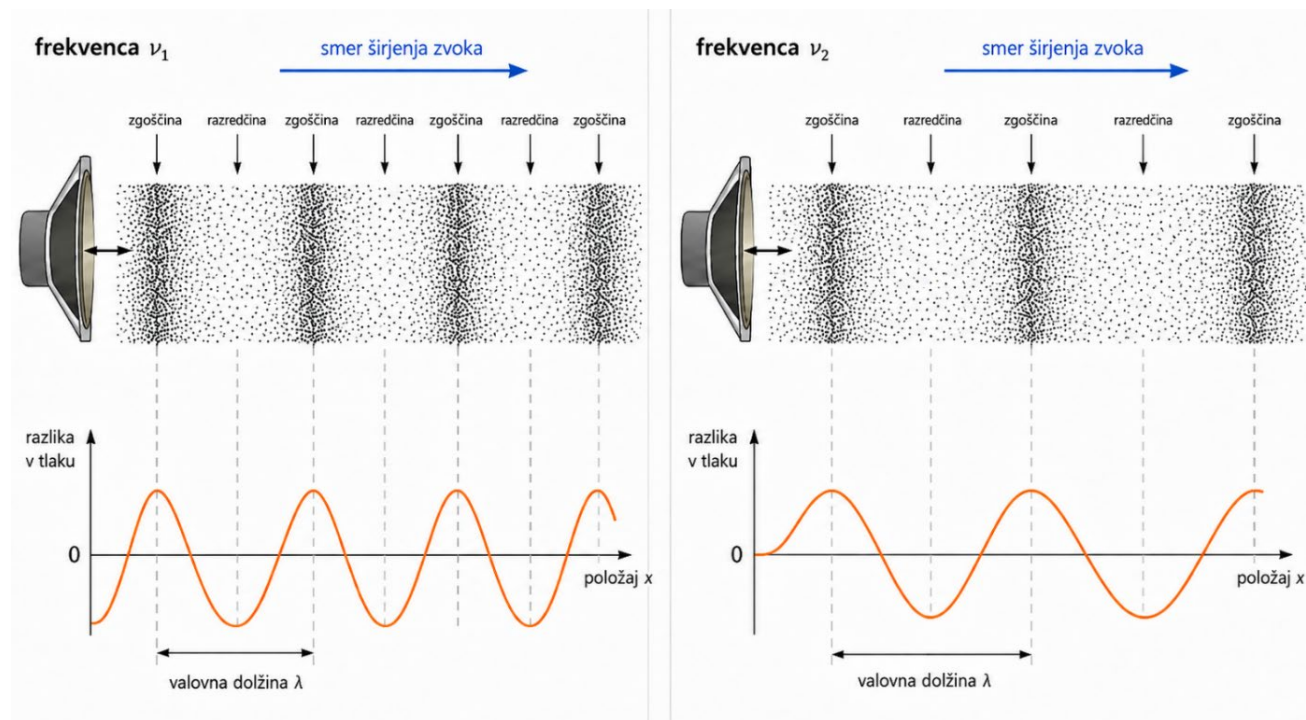
7.5 Zvok kot valovanje

Eden najpomembnejših primerov valovanja v vsakdanjem življenju je **zvok**. Nastane, kadar telo hitro niha in s tem povzroči nihanje okoliške snovi. V vsakdanjih okoliščinah se zvok najpogosteje širi po zraku. Zrak sestavljajo zelo majhni delci, ki se ob prehodu zvoka ne premikajo skupaj z valom, temveč nihajo naprej in nazaj okoli svojih ravnovesnih leg. Nastanek zvoka je shematsko prikazan na sliki 7.6. Če na primer udarimo po bobnu, začne njegova opna hitro nihati. Ko se pomakne naprej, potisne bližnje delce tesneje skupaj in nastane zgoščina, v kateri sta gostota in tlak zraka nekoliko večja. Ko se opna premakne nazaj, se delci bolj razmaknejo in nastane razredčina, kjer sta gostota in tlak manjša. Zaporedje zgoščin in razredčin se nato širi skozi zrak vse do naših ušes. Podobno nastaja zvok tudi pri nihanju glasilk, glasbenih vilic, strun ali pri premikanju membrane zvočnika. Ker delci zraka nihajo v isti smeri, kot se zvok širi, je zvok v zraku vzdolžno valovanje.



Slika 7.6: Nastanek zvoka. Nihajoče telo, na primer glasbene vilice, boben ali glasilke, povzroča izmenično nastajanje zgoščin in razredčin v zraku. Te se kot vzdolžno valovanje širijo proč od izvora zvoka.

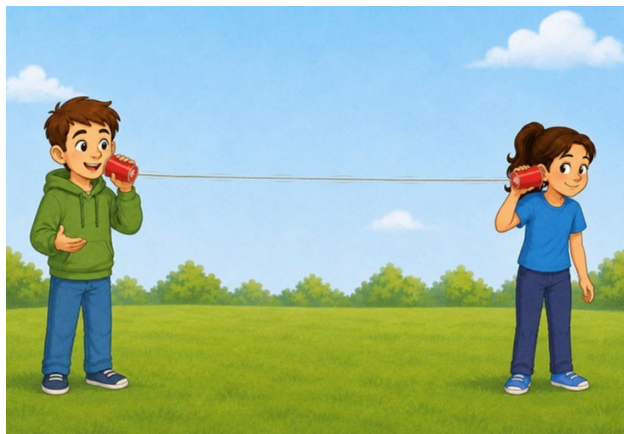
Ker delci zraka nihajo v isti smeri, kot se širi valovanje, je zvok v zraku vzdolžno oziroma longitudinalno valovanje. Na sliki 7.7 je širjenje zvoka ponazorjeno z izmenjujočimi se zgoščinami in razredčinami zraka ter z grafom razlike v tlaku. V **zgoščinah je tlak višji** od ravnovesnega, zato jim ustrezajo vrhovi krivulje, v **razredčinah pa je tlak nižji**, zato jim ustrezajo njene najnižje točke. Razdalja med dvema zaporednima zgoščinama oziroma razredčinama je valovna dolžina λ .



Slika 7.7: Širjenje zvoka z različno frekvenco po zraku. Nihanje membrane zvočnika povzroča izmenično nastajanje zgoščin in razredčin. Zvoku z večjo frekvenco ν_1 ustreza krajša valovna dolžina, zvoku z manjšo frekvenco ν_2 pa daljša. Graf prikazuje razliko med trenutnim in ravnovesnim zračnim tlakom.

V istem sredstvu se zvok z večjo frekvenco širi s krajšo valovno dolžino, zvok z manjšo frekvenco pa z daljšo, zato na sliki velja $v_1 > v_2$. Frekvenca določa predvsem višino tona, amplituda nihanja tlaka pa je povezana z **glasnostjo zvoka**. Pri tišjem zvoku enake frekvence bi bile zgoščine in razredčine manj izrazite, saj bi bile spremembe tlaka manjše; na grafu na sliki 7.7 bi zato imela krivulja manjšo amplitudo, njena valovna dolžina pa bi ostala enaka.

Zvok se lahko širi le po snovi, saj se prenaša z nihanjem njenih delcev. V brezračnem prostoru delcev, ki bi nihanje prenašali naprej, ni, zato se zvok po vakuumu ne more širiti. Tudi v vesolju je med planeti snovi izredno malo, zato tam običajnega zvoka ne bi slišali, četudi bi se v bližini zgodila zelo močna eksplozija. V vsakdanjem življenju o zvoku najpogosteje govorimo kot o valovanju, ki se širi po zraku, vendar se lahko zvok širi tudi po vodi in trdnih snoveh. Širjenje zvoka po trdni snovi ponazarja slika 7.8. Ko otrok govori v plastično posodico, zvočno valovanje povzroči nihanje njenega dna. Če je povezovalna vrstica napeta, se nihanje prenaša vzdolž nje do druge posodice, katere dno začne nihati in ponovno povzroči zvok v zraku ob ušesu poslušalca. Če je vrstica ohlapna ali se dotika ovire, se nihanje prenaša slabše in zvok je tišji.



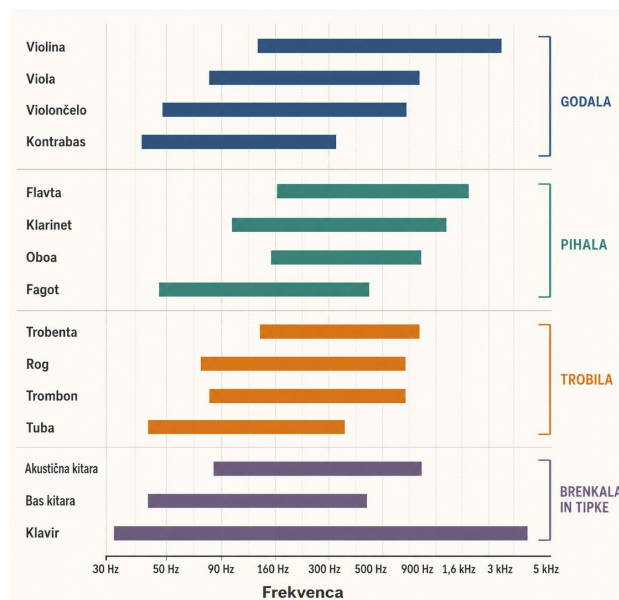
Slika 7.8: Telefon na vrvico. Nihanje dna prve posodice se po napeti vrstici prenese do druge posodice, kjer se ponovno pretvori v zvočno valovanje v zraku.

7.6 Višina tona, frekvenca in glasbila

Zvoki se ne razlikujejo le po glasnosti, temveč tudi po **višini tona**. Ta je povezana predvsem s frekvenco zvočnega valovanja. Zvok z večjo frekvenco zaznamo kot višji ton, zvok z manjšo frekvenco pa kot nižji ton.

Ker se zvok v zraku pri danih razmerah širi približno z enako hitrostjo, sta frekvenca in valovna dolžina povezani: **višji toni imajo krajšo valovno dolžino, nižji pa daljšo**.

To se odraža tudi v zgradbi glasbil. Večja glasbila, na primer kontrabas ali tuba, so praviloma namenjena ustvarjanju nižjih tonov. Njihovi večji nihajoči deli oziroma daljši resonančni prostori imajo nižje lastne frekvence, zato ustvarjajo zvok z daljšo valovno dolžino. Manjša glasbila, na primer violina ali pikolo, lažje ustvarjajo višje tone, ki imajo večjo frekvenco in krajšo valovno dolžino. Pri tem velikost glasbila ni edini dejavnik, vendar predstavlja pomembno osnovo njegovega tonskega območja.



Slika 7.9: Frekvenčni razponi izbranih glasbil. Prikazana so približna območja frekvenc, v katerih se najpogosteje pojavljajo toni posameznih glasbil; razponi se med različnimi družinami glasbil deloma prekrivajo.

Podobno opazimo pri strunah. Daljša in debelejša struna niha počasneje in oddaja nižji ton, krajša in tanjša pa hitreje ter oddaja višji ton. Zato so strune za nizke tone v klavirju dolge in debele, pogosto pa so tudi ovite s kovinsko žico, medtem ko so strune za visoke tone krajše in tanjše. Na frekvenco vpliva tudi napetost strune: bolj ko je struna napeta, hitreje niha in višji ton oddaja. Višino tona pri strunskih glasbilih zato spreminjamo s spreminjanjem dolžine nihajočega dela strune, njene debeline oziroma mase in napetosti.

Pri zvoku je pogosto pomembno tudi, v kakšnem frekvenčnem območju se posamezen vir zvoka oglaš. Človeško uho običajno zaznava frekvence približno med 20 Hz in 20 kHz. Osnovna frekvenca možkega govora je navadno približno med 85 in 180 Hz, pri ženskah pa približno med 165 in 255 Hz; otroški glasovi imajo še višje frekvence. Pri glasbilih so frekvenčna območja zelo različna in so povezana z njihovo zgradbo, velikostjo ter načinom nihanja. Slika 7.9 prikazuje frekvenčne razpone različnih glasbil. Posamezne družine glasbil imajo značilna tonska območja, ki se med seboj deloma prekrivajo.

7.7 Glasnost in zaznavanje zvoka

Kot smo omenili že prej, je glasnost zvoka povezana predvsem z amplitudo nihanja gradnikov snovi, po kateri se zvok širi. Pri zvoku v zraku se večja amplituda kaže kot večje spremembe zračnega tlaka in kot glasnejši zvok. Če boben udarimo močnejše, njegova opna niha z večjo amplitudo, zato povzroči izrazitejše zgoščine in razredčine ter glasnejši zvok. Tudi pri govorjenju lahko govorimo tiho ali glasno, odvisno od tega, kako močno nihajo glasilke in zrak okoli njih. Na zaznano glasnost vplivajo še oddaljenost od zvočnega vira, prostor, v katerem se zvok širi, višina tona in občutljivost poslušalčevega ušesa. Za osnovno razumevanje pa velja: večja amplituda nihanja praviloma pomeni glasnejši zvok.

Ljudje zaznavamo zvok z ušesi. Uhelj zbira zvočne valove in jih usmerja v sluhovod. Ti povzročijo nihanje tanke membrane, imenovane bobnič. Nihanje se prek treh drobnih slušnih koščic v srednjem ušesu prenese do notranjega ušesa. Tam povzroči gibanje tekočine v polžu in vzdraži posebne čutne celice, ki mehansko nihanje pretvorijo v električne oziroma živčne signale. Slušni živec jih prenese do možganov, kjer jih zaznamo in prepoznamo kot zvok.

Pri merjenju navadno ne določamo neposredno subjektivne glasnosti, temveč raven zvoka, ki jo izražamo v **decibelih (dB)**. Decibelska lestvica je **logaritemska**, zato povečanje za 10 dB pomeni desetkrat večjo jakost zvoka, človeško uho pa takšno razliko pogosto zazna približno kot podvojitve glasnosti. Vrednost 0 dB ne pomeni popolne tišine, temveč približno najtišji zvok, ki ga lahko zazna zdravo

človeško uho. Ker je decibelska lestvica logaritemska, že razmeroma majhno povečanje števila decibelov pomeni veliko povečanje jakosti zvoka. Poleg ravni zvoka je pomemben tudi čas izpostavljenosti: dolgotrajno ali ponavljajoče se poslušanje zvokov nad približno 85 dB lahko poškoduje sluh, pri še glasnejših zvokih pa lahko poškodbe nastanejo hitreje. Okvirne ravni nekaterih zvokov so navedene v preglednici 7.1.

Preglednica 7.1: Približne ravni nekaterih značilnih zvokov. Vrednosti so približne in se lahko spreminjajo glede na oddaljenost od vira, njegovo moč in razmere v okolici.

Izvir zvoka	Raven zvoka	Kolikokrat večja jakost kot na meji slišnosti
Meja slišnosti	0 dB	izhodišče (10^{-12} W/m ²)
Šešest listja	10 dB	10-krat
Šepet	20 dB	100-krat
Normalni pogovor	60 dB	10 ⁶ -krat oziroma milijonkrat
Prometna ulica	70 dB	10 ⁷ -krat oziroma desetmilijonkrat
Sesalnik za prah	80 dB	10 ⁸ -krat oziroma stomilijonkrat
Prva vrsta na rock koncertu	110 dB	10 ¹¹ -krat oziroma stomilijardokrat
Meja bolečine	130 dB	10 ¹³ -krat
Vzlet reaktivskega letala	140 dB	10 ¹⁴ -krat
Nevarnost predrtja bobniča	160 dB	10 ¹⁶ -krat

7.8 Barva zvoka

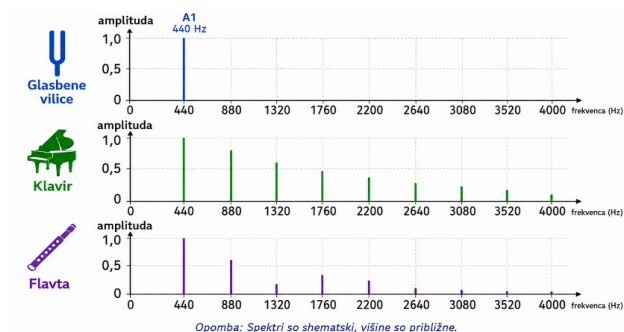
Dve glasbili lahko zaigrata ton z enako osnovno frekvenco in zato z enako višino, vendar ju kljub temu zlahka razlikujemo. Violina in flavta na primer pri istem tonu ne zvenita enako. Lastnost zvoka, po kateri prepoznamo različna glasbila ali glasove, imenujemo **barva zvoka**.

Zvok glasbila navadno ni sestavljen le iz ene frekvence. Poleg osnovne frekvence, ki določa višino tona, vsebuje tudi **višje harmonike**. Njihove frekvence so celoštevilski večkratniki osnovne frekvence: prvi višji harmonik ima dvakrat večjo frekvenco, naslednji trikrat večjo in tako naprej. Posamezni harmoniki so v zvoku različno močno zastopani. Pri enem glasbilu so nekateri izrazitejši, pri drugem šibkejši ali skoraj odsotni, zato imata lahko zvoka z enako osnovno frekvenco popolnoma različno barvo.

To lahko lepo prikažemo s frekvenčnim spektrom, ki pokaže, katere frekvence so prisotne v zvoku in kakšna je njihova jakost. To je ponazorjeno na sliki 7.10, kjer

so prikazani spektri istega tona pri glasbenih vilicah, klavirju in flavti. Pri vseh treh primerih je osnovna frekvenca enaka, zato slišimo enako višino tona. Razlika pa je v tem, kako močno so zastopani višji harmoniki, zato je barva zvoka pri vsakem viru drugačna.

Pri glasbenih vilicah je zvok zelo čist. V spektru zato vidimo le eno samo izrazito črto pri osnovni frekvenci. To pomeni, da zvok glasbenih vilic vsebuje skoraj samo en ton, višji harmoniki pa so zelo šibki ali skoraj odsotni. Tak zvok je zelo preprost in enakomeren. Pri klavirju in flavti pa je slika drugačna. Poleg osnovne frekvence se v spektru pojavijo tudi številni višji harmoniki. Pri klavirju jih je navadno več in so močnejše izraženi, zato je njegov zvok bogatejši in poln. Tudi flavta ima poleg osnovnega tona več višjih harmonikov, vendar so ti zastopani drugače kot pri klavirju. Prav ta različna porazdelitev harmonskih komponent povzroči, da klavir in flavta pri istem tonu ne zvenita enako. Iz spektra torej razberemo, da višino tona določa osnovna frekvenca, barvo zvoka pa predvsem prisotnost in jakost višjih harmonikov.



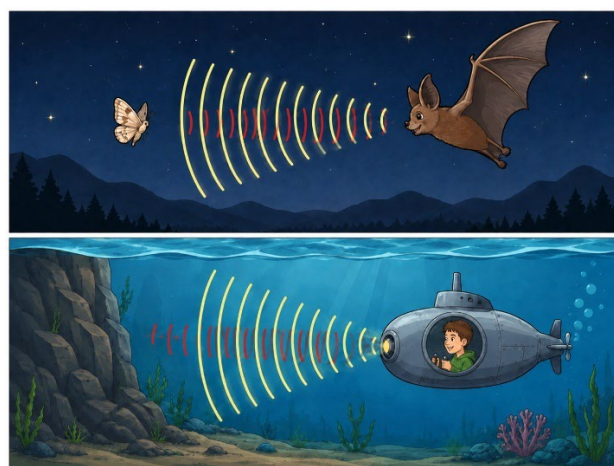
Slika 7.10: Frekvenčni spektri istega tona pri glasbenih vilicah, klavirju in flavti. Pri vseh treh je osnovna frekvenca enaka, vendar se zvoki razlikujejo po zastopanosti višjih harmonikov. Glasbene vilice oddajajo skoraj čist ton, medtem ko imata klavir in flavta bolj zapleten spekter, zato se njuna barva zvoka razlikuje.

7.9 Infrazvok in ultrazvok

Zvočno valovanje obstaja seveda tudi zunaj frekvenčnega območja, ki ga zaznava človeško uho. Valovanje s frekvenco, nižjo od približno 20 Hz, imenujemo **infrazvok**. Zaradi zelo nizke frekvence ga navadno ne slišimo, lahko pa pri dovolj veliki jakosti zaznamo tresenje ali pritisk. Infrazvok nastaja pri nekaterih obsežnih naravnih pojavih, na primer pri vulkanskih izbruhih, zato ga lahko uporabljamo tudi za spremljanje delovanja vulkanov. Infrazvok uporabljajo

tudi nekatere živali. Sloni proizvajajo globoko oglašanje, pri katerem osnovna frekvenca lahko sega pod 20 Hz. Takšni nizkofrekvenčni klici se širijo na velike razdalje in slonom omogočajo sporazumevanje na razdalji več kilometrov. Del nihanja se lahko prenaša tudi po tleh, sloni pa ga zaznavajo prek nog. Valovanje s frekvenco, višjo od približno 20 kHz, imenujemo **ultrazvok**. Človek ga ne sliši, zaznavajo pa ga številne živali. Psi lahko na primer zaznajo zvoke do približno 45–50 kHz.

Posebej zanimiva uporaba ultrazvoka je **eholokacija**, prikazana na sliki 7.11. Netopir med letom oddaja kratke visokofrekvenčne zvočne sunke, ki se odbijejo od ovir ali plena in se kot odmev vrnejo do njegovih ušes. Iz smeri odmeva in časa, ki preteče do njegove vrnitve, lahko določi lego ter oddaljenost predmeta, iz sprememb odmeva pa tudi njegovo gibanje in približno velikost. To mu omogoča lov tudi v popolni temi. Podoben način zaznavanja uporabljajo tudi delfini in drugi zobati kiti, ki z odmevi zvočnih klikov raziskujejo okolico in iščejo plen pod vodo. Na podobnem načelu deluje **sonar** na podmornici. Podmornica odda zvočni signal, ki se odbije od morskega dna, skal, drugih plovil ali predmetov in se vrne do sprejemnika. Iz časa potovanja odmeva lahko določi oddaljenost ovire, iz smeri prihoda pa njen položaj. To je posebno pomembno v velikih globinah, kjer je svetlobe zelo malo in je vidljivost slaba. Slika 7.11 tako ponazarja podobnost med naravno eholokacijo netopirja in tehnično uporabo sonarja.



Slika 7.11: Eholokacija pri netopirju in uporaba sonarja pri podmornici. Netopir oddaja ultrazvočne signale, ki se odbijejo od plena in se kot odmev vrnejo, zato lahko tudi v temi določi njegovo lego. Podobno podmornica s sonarjem oddaja zvočne valove ter na podlagi njihovega odboja določa oddaljenost ter položaj ovir ali predmetov v vodi.

Za konec še omenimo, da ima ultrazvok pomembno vlogo tudi v medicini. Pri **ultrazvočnem slikanju** naprava v telo pošilja visokofrekvenčne zvočne valove, ki se na mejah med različnimi tkivi različno odbijajo. Sprejemnik zazna njihove odmeve, računalnik pa iz časa in jakosti vrnjenih signalov sestavi sliko notranjosti

teles. Tako lahko zdravniki opazujejo organe, gibanje srca, pretakanje krvi in razvoj ploda med nosečnostjo. Ultrazvok omogoča prikaz dogajanja v realnem času, preiskava je praviloma neboleča, poleg tega pa ne uporablja ionizirajočega sevanja, kakršno se uporablja pri rentgenskem slikanju.



Vprašanja za preveritev razumevanja

1. Kaj pomeni, da telo niha periodično? Pojasnite pomen ravnovesne lege, amplitude, nihajnega časa in frekvence ter zvezo med nihajnim časom in frekvenco.

2. Kako se med enim nihajem spreminjata odmik in hitrost nihala? Kje je hitrost največja in kje enaka nič? Pojasnite, kako to razberemo iz grafov odmika in hitrosti v odvisnosti od časa.

3. Opišite energijske pretvorbe pri nihanju nitnega oziroma vzmetnega nihala. Zakaj se amplituda v resničnem sistemu brez dodatnega dovajanja energije postopoma zmanjšuje?

4. Od česa je odvisen nihajni čas nitnega nihala in od česa nihajni čas vzmetnega nihala? Pojasnite vpliv dolžine nihala, gravitacije, mase uteži in trdote vzmeti ter zakaj večja amplituda pri majhnih odklonih bistveno ne vpliva na nihajni čas.

5. V čem se valovanje razlikuje od nihanja posameznega telesa? Pojasnite, kaj se pri valovanju širi skozi prostor in zakaj se snov kot celota ne premika skupaj z valom.

6. Primerjajte prečno in vzdolžno valovanje. Kako pri obeh določimo valovno dolžino in kako so med seboj povezani frekvenca, valovna dolžina in hitrost širjenja vala?

7. Kako nastane zvok in zakaj je zvok v zraku vzdolžno valovanje? Pojasnite nastanek zgoščin in razredčin ter zakaj se zvok po vakuumu ne more širiti.

8. Katere fizikalne lastnosti zvoka določajo višino tona, glasnost in barvo zvoka? Povežite frekvenco z višino tona, amplitudo z glasnostjo ter osnovno frekvenco in harmonike z barvo zvoka.

9. Zakaj je decibelska lestvica logaritemska in kaj pomeni povečanje ravni zvoka za 10 dB? Zakaj pri ocenjevanju nevarnosti za sluh ni pomembna le raven zvoka, temveč tudi čas izpostavljenosti?

10. Kaj sta infrazvok in ultrazvok? Pojasnite, kako lahko iz časa vrnitve odmeva določimo oddaljenost predmeta ter kako ta princip uporabljajo netopirji, sonar in medicinsko ultrazvočno slikanje.

8 Električna in magnetizem

Nosilna razlaga: Električni tok v sklenjenem krogu in magnetne sile omogočajo delovanje številnih naprav ter pretvorbe energije.

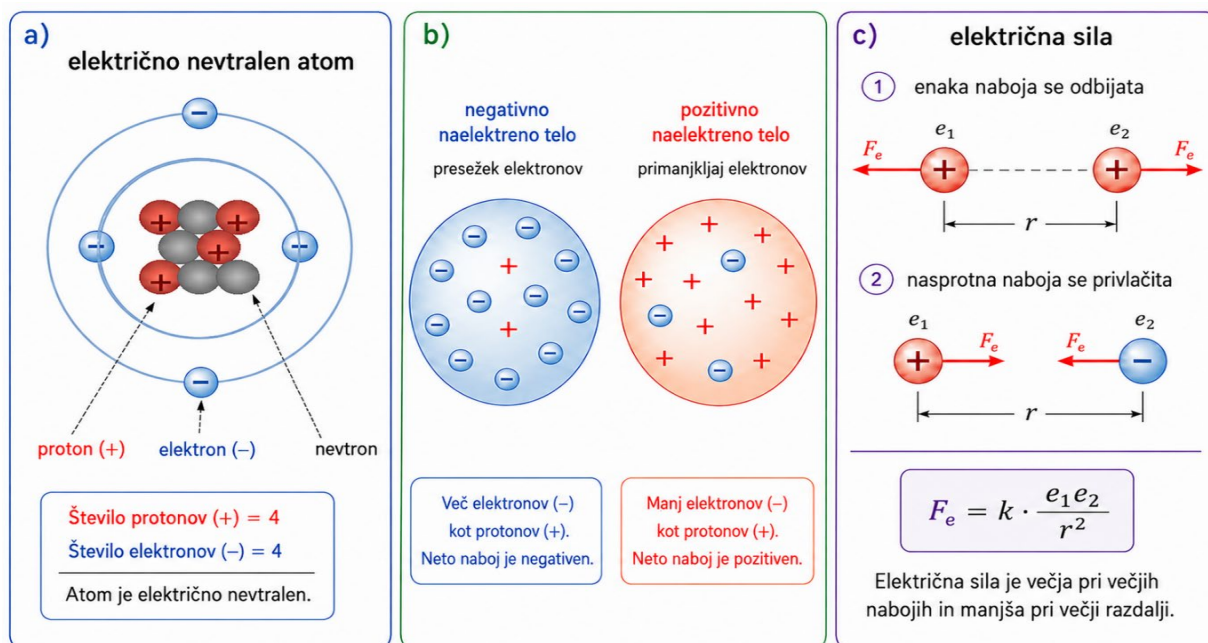
Ključni pojmi: električni naboj • električna sila • električni tok • električna napetost • električni upor • vodnik • električna moč • magnetno polje • elektromagnet • elektromotor

8.1 Električni naboj in električna sila

Električni naboj je osnovna lastnost delcev, iz katerih je zgrajena snov. Poznamo dve vrsti električnega naboja: **pozitivni** in **negativni** naboj. Proton ima pozitiven osnovni naboj, elektron pa enako velik negativni osnovni naboj. Nevtron je električno nevtralen. Protoni in nevtroni so vezani v atomskem jedru, elektroni pa so v njegovi okolici. Če je v atomu ali telesu število protonov in elektronov enako, se njihovi naboji med seboj izničijo in telo je **električno nevtravno**, kar je ponazorjeno na sliki 8.1a. Če ima telo presežek

elektronov, je negativno naelektreno, če mu elektronov primanjkuje, pa je pozitivno naelektreno (slika 8.1b). Pri naelektritvi običajno prehajajo elektroni z enega telesa na drugo, medtem ko protoni ostajajo vezani v atomskih jedrih.

Električni naboj označujemo s črko e in ga merimo v coulombih (C). En coulomb je enak eni ampersekundi: $1\text{ C} = 1\text{ As}$. Velikost naboja enega protona oziroma elektrona imenujemo **osnovni naboj** in ga označujemo z e_0 :



Slika 8.1: Električni naboj in električna sila. Nevtralen atom vsebuje enako število protonov in elektronov. Presežek elektronov povzroči negativno, njihovo pomanjkanje pa pozitivno naelektritev. Enaki naboji se odbijajo, nasprotni pa privlačijo.

$e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C. Proton ima naboj $+e_0$, elektron pa $-e_0$. Električni naboj telesa je vedno sestavljen iz celih večkratnikov osnovnega naboja. En coulomb je zato zelo velika količina naboja, saj ustreza naboju približno $6,24 \cdot 10^{18}$ elektronov.

Med naelektrenimi telesi deluje **električna sila**. Ta lahko deluje tudi na daljavo, ne da bi se telesi neposredno dotikali. Telesi z nabojema enakega predznaka se odbijata, telesi z nabojema nasprotnega predznaka pa se privlačita (slika 8.1c). Velikost električne sile med dvema majhnima naelektrenima telesoma opisuje **Coulombov zakon**:

$$F_e = k \frac{e_1 e_2}{r^2}$$

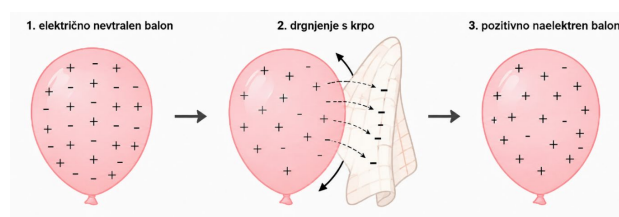
Pri tem je F_e velikost električne sile, e_1 in e_2 sta naboja teles, r pa razdalja med njima. Konstanta k je v praznem prostoru približno $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$, v zraku pa ima skoraj enako vrednost. Električna sila je večja, če sta naboja teles večja, in manjša, če sta telesi bolj oddaljeni. Če na primer enega od nabojev podvojimo, se sila podvoji. Če razdaljo med telesoma podvojimo, se sila zmanjša na četrtino prvotne vrednosti. Sila deluje v smeri premice, ki povezuje obe telesi. Telesi pri tem drugo na drugo delujeta z enako velikima, vendar nasprotno usmerjenima silama.

8.2 Naelektritev teles in elektrostatični pojavi

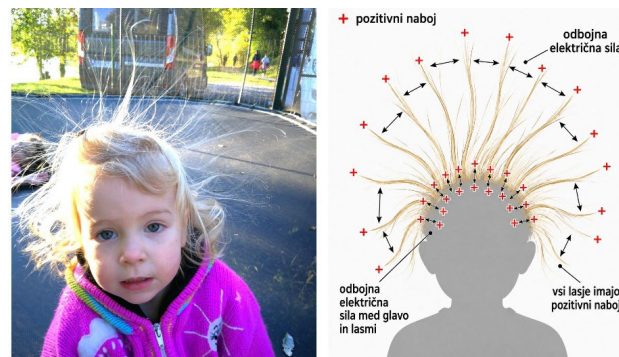
Telesa se lahko naelektrijo, kadar se pri stiku ali drgnjenju naboj prerazporedi oziroma prenese z enega telesa na drugo. Pogost primer je drgnjenje balona s krpo. Električno nevtralen balon ima sprva enako količino pozitivnega in negativnega naboja. Pri drgnjenju pa se del elektronov prenese z balona na krpo, zato na balonu ostane presežek pozitivnega naboja. Balon tako postane pozitivno naelektren, kar shematsko prikazuje slika 8.2.

Podoben pojav lahko opazimo tudi v vsakdanjem življenju. Pozimi ob slačenju sintetičnih oblačil pogosto zaslišimo prasketanje ali pa pri dotiku kovinske kljuke začutimo drobno iskro. Pri drgnjenju različnih materialov se namreč naboj prerazporedi, na telesu pa se lahko nabere tolikšna količina naboja, da se nato hitro prenese drugam. Temu hitremu prenosu naboja pravimo **razelektritev**. Naelektritev teles lahko

opazujemo tudi pri igri na toboganu ali trampolinu. Ob ponavljajočem se stiku, drgnjenju in ločevanju oblačil od plastične oziroma sintetične podlage se elektroni prenašajo z enega materiala na drugega. Ker plastika, umetna vlakna in ponjava trampolina slabo prevajajo električni naboj, ta ne odteče hitro v okolico, temveč se kopiči na otrokovem telesu. Posledica je lepo vidna na sliki 8.3: otrokovi lasje se naelektrijo z istovrstnim nabojem, zato med njimi delujejo odbojne električne sile. Posamezni lasje se med seboj odbijajo, odbija pa jih tudi enako naelektrena glava, zato se razmaknejo in štrlijo v različne smeri. Na shemi je zaradi preglednosti prikazan primer, pri katerem so glava in lasje pozitivno naelektreni.



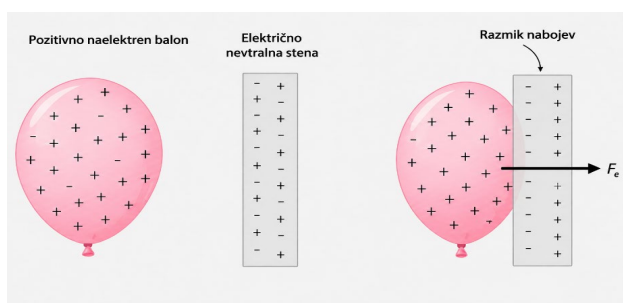
Slika 8.2: Shematski prikaz naelektritve balona z drgnjenjem. Pri drgnjenju se del elektronov prenese z balona na krpo, zato balon postane pozitivno naelektren.



Slika 8.3: Otrok se lahko pri skakanju po trampolinu naelektrijo zaradi ponavljajočega se stika in drgnjenja s ponjavo. Ker imajo lasje enak električni naboj, se med seboj odbijajo; odbojna sila med naelektreno glavo in lasmi jih dodatno usmerja navzven.

Ko se naelektreno telo približa drugemu telesu, se lahko v njem naboj **prerazporedi**, tudi če se telesi ne dotakneta. Ta pojav imenujemo **influenca**. Pri influenci se skupni naboj telesa navadno ne spremeni, spremenita pa se razporeditev pozitivnega in negativnega naboja ter s tem električne sile v telesu. Če se na primer negativno naelektreno telo približa električno nevtralnemu telesu, se negativni naboji v njem odmaknejo nekoliko stran, pozitivni pa ostanejo bližje. Tako nastane razmik nabojev: del telesa, ki je bližje zunanemu naboju,

postane navidezno bolj pozitiven, bolj oddaljeni del pa bolj negativen. Takšno prerazporeditev naboja lepo ponazarja primer balona, ki se oprime stene. Če je balon pozitivno naelektrjen, ker smo ga predhodno podrgnili, v električno nevtralni steni povzroči prerazporeditev nabojev, kot kaže slika 8.4. Ko ga približamo, se elektroni v steni nekoliko približajo balonu, zato ostane površina stene v njegovi bližini navidezno bolj negativna. Ker so nasprotni naboji bližje skupaj kot enaki, prevlada privlačna električna sila, zato se balon oprime stene.



Slika 8.4: Prerazporeditev naboja v steni zaradi pozitivno naelektrjenega balona. V steni se zaradi influence bliže balonu kopiči nasprotni naboj, zato se balon oprime stene.

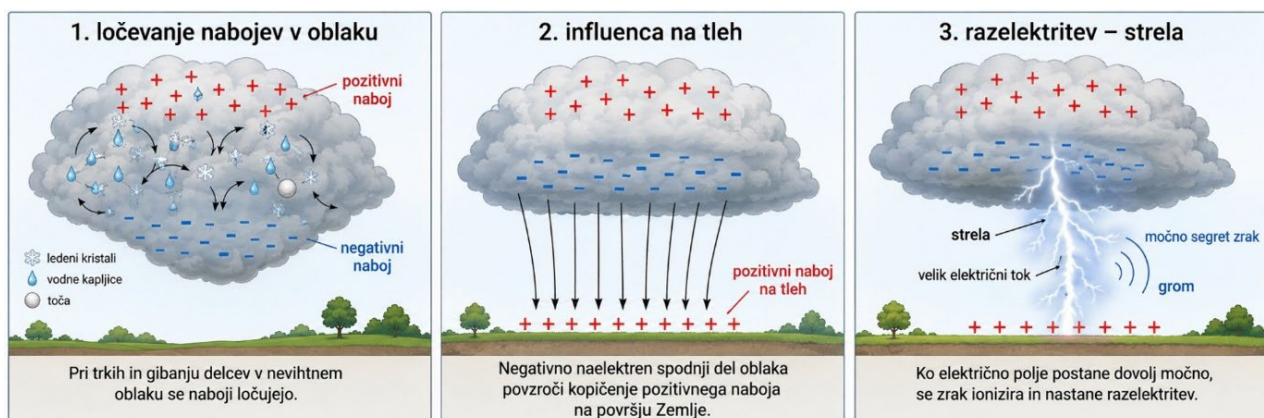
Kot smo že omenili, se nakopičeni električni naboj lahko nenadoma prenese na drugo telo ali v okolico; pride do razelektritve. Pri majhnih količinah naboja jo opazimo kot drobno iskro, na primer ko se po hoji po preprogi ali skakanju po trampolinu dotaknemo kovinskega predmeta. Če je razlika v naboju dovolj velika, električno polje ionizira zrak, ki za kratek čas postane prevoden, zato naboj steče skozenj. Na podoben način nastane tudi **strela**, le da gre pri njej za neprimerno večjo razelektritev. V nevihtnem oblaku se zaradi trkov in gibanja vodnih kapljic, ledenih kristalov

in zrn sodre naboji ločujejo, zato se zgornji in spodnji deli oblaka različno naelektrijo. Negativno naelektrjen spodnji del oblaka lahko z električno influenco povzroči kopičenje pozitivnega naboja na površju Zemlje. Celoten potek od ločevanja nabojev do razelektritve je shematsko prikazan na sliki 8.5. Ko postane električno polje med oblakom in tlemi ali med dvema deloma oblaka dovolj močno, se zrak ionizira in v njem nastane prevodna pot. Po njej steče velik električni tok, ki ga vidimo kot svetlobni blisk, strelo. Zrak ob poti strele se sunkovito segreje in razširi, pri čemer nastane udarni zvočni val, ki ga slišimo kot grom.

8.3 Električni tok in električna energija

Pri elektrostatičnih pojavih se električni naboj nabere na telesu in na njem praviloma miruje. V električnih napravah pa se nabiti delci usmerjeno gibljejo. Takšno usmerjeno gibanje električnega naboja imenujemo **električni tok**. Označujemo ga s črko I , njegova enota pa je **amper (A)**. Večji električni tok pomeni, da skozi izbrani presek vodnika v določenem času steče več naboja.

Da lahko električni tok teče, morajo biti v snovi prisotni delci z električnim nabojem, ki se lahko prosto premikajo. Imenujemo jih prosti **nosilci naboja**. V kovinah so to predvsem elektroni, ki se lahko gibljejo med atomi. Zato so kovine, na primer baker in aluminij, dobri električni prevodniki in jih uporabljamo za izdelavo električnih žic. Žica je navadno obdana s plastjo umetne mase ali gume, ki slabo prevaja električni tok in nas ščiti pred neposrednim stikom s kovinskim vodnikom. Električni tok pa ne teče samo po kovinah. V raztopinah soli, kislin in baz so prosti nosilci naboja



Slika 8.5: Nastanek strele. V nevihtnem oblaku se naboji ločijo, pri tleh pa se zaradi influence kopiči nasprotni naboj. Ko postane električno polje dovolj močno, pride do razelektritve v obliki strele, ki jo spremljata močno segret zrak in grom.

pozitivni in negativni ioni. Zato električni tok prevajata na primer slana voda in voda iz pipe, ki vsebuje raztopljene snovi, medtem ko je čista destilirana voda precej slabši električni prevodnik. Električni tok lahko pod posebnimi pogoji teče tudi skozi pline, če se ti **ionizirajo**. Tak primer je zrak v kanalu strele.

Električni tok omogoča **prenos električne energije** od vira do porabnika. Električna energija lahko v porabniku opravlja delo ali pa se pretvarja v druge oblike energije. V žarnici se pretvarja predvsem v svetlobno in notranjo energijo, v grelniku v notranjo energijo, v elektromotorju pa predvsem v kinetično energijo. V zvočniku se del električne energije pretvori v energijo nihanja in zvoka. Energijo za poznejšo uporabo lahko shranimo v drugih oblikah: v bateriji je na primer shranjena kot kemična energija, ki se ob priključitvi v električni krog pretvarja v električno energijo. Pomembno je, da se v porabniku ne porablja električni naboj. Nabiti delci se po sklenjenem krogu gibljejo naprej, porabnik pa prevzame energijo, ki se v njem pretvori v svetlobo, toploto, gibanje ali drugo obliko energije.

8.4 Sklenjeni električni krog

Električni tok lahko trajno teče le, če imajo nosilci naboja neprekinjeno pot. Zato potrebujemo sklenjeni električni krog. Če je krog kjer koli prekinjen, na primer zaradi odprtega stikala ali pretrgane žice, električni tok ne teče.

Preprost električni krog sestavljajo:

- vir električne energije, na primer baterija;
- električni vodniki, ki povezujejo posamezne dele kroga;
- porabnik oziroma pretvornik, v katerem se električna energija pretvarja v druge oblike energije;
- pogosto tudi stikalo, s katerim električni krog sklenemo ali prekinemo.

Porabnik je lahko žarnica, grelec, elektromotor, zvočnik ali druga električna naprava. Ker se v njem električna energija pretvarja v druge oblike, ga imenujemo tudi **pretvornik**. Električni tok in nabiti delci se pri tem ne porabljajo; vir krogu dovaja energijo, ki se v porabniku na primer pretvarja v svetlobo, toploto, gibanje ali zvok. Ko stikalo zapremo, sklenemo

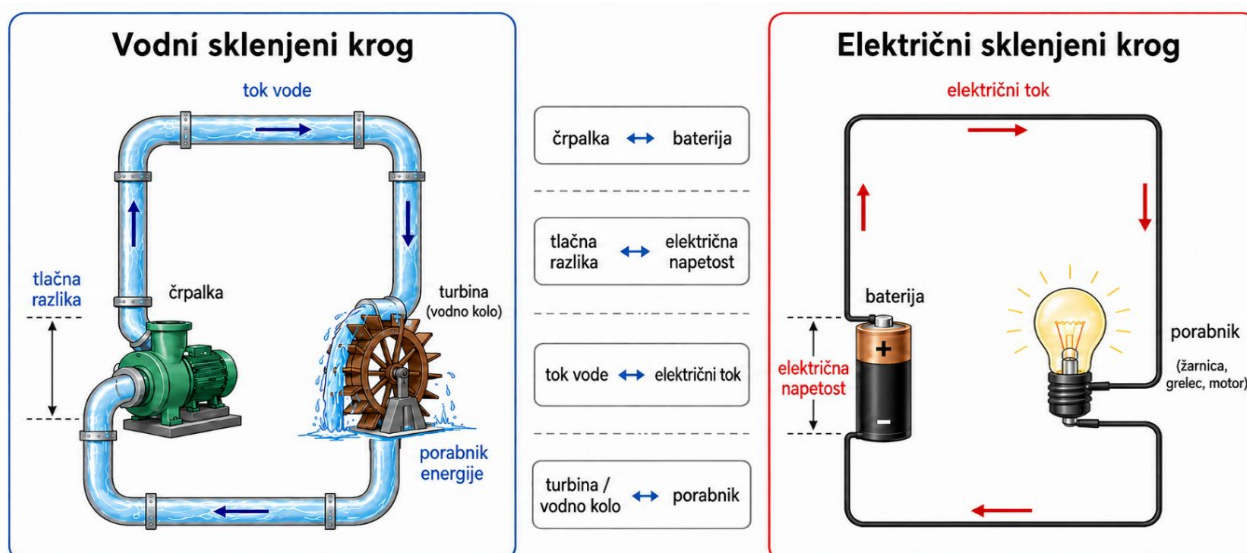
pot od enega priključka baterije skozi žice in porabnik nazaj do drugega priključka baterije. Električno polje se po krogu vzpostavi zelo hitro, elektroni v kovinskih žicah pa se začnejo usmerjeno gibati. Po dogovoru smer električnega toka označujemo od pozitivnega proti negativnemu priključku vira, čeprav se elektroni v kovini gibljejo v nasprotni smeri.

8.5 Električna napetost

Sama prisotnost prostih nosilcev naboja še ne zagotavlja električnega toka. Potreben je tudi vzrok, ki povzroči njihovo usmerjeno gibanje. To vlogo ima **električna napetost**. Označujemo jo s črko U , merimo pa jo v **voltih (V)**. Električna napetost pove, koliko energije lahko električni vir preda določeni količini naboja. Večja napetost pomeni, da se z enako količino električnega naboja prenese več energije. Baterija s pomočjo kemičnih procesov ločuje pozitivni in negativni naboj ter tako med svojima priključkoma vzdržuje električno napetost. Ko priključka povežemo v sklenjen električni krog, napetost povzroči električni tok.

Pomen napetosti si lahko ponazorimo z vodnim tokokrogom, ki je skupaj z električnim analogno prikazan na sliki 8.6. V ceveh lahko voda kroži le, če jo črpalka poganja in vzdržuje razliko v tlaku. Črpalka ima v vodnem tokokrogu podobno vlogo kot baterija v električnem krogu, razlika v tlaku pa je podobna električni napetosti. Večja tlačna razlika lahko povzroči močnejši tok vode, podobno kot lahko večja električna napetost v istem električnem krogu povzroči večji električni tok.

Pomembno vlogo v tej primerjavi ima tudi porabnik. V vodnem krogu tok vode poganja vodno kolo ali turbino, ki prevzame del energije vode. Podobno se v električnem krogu energija iz baterije prek električnega toka prenese do žarnice, grelnika, elektromotorja ali drugega porabnika. Voda pri prehodu skozi turbino ne izgine, temveč odda del energije in teče naprej. Prav tako se v električnem porabniku ne porablja električni naboj: nabiti delci se gibljejo naprej po sklenjenem krogu, električna energija pa se v porabniku pretvarja v svetlobno, notranjo, kinetično ali drugo obliko energije.

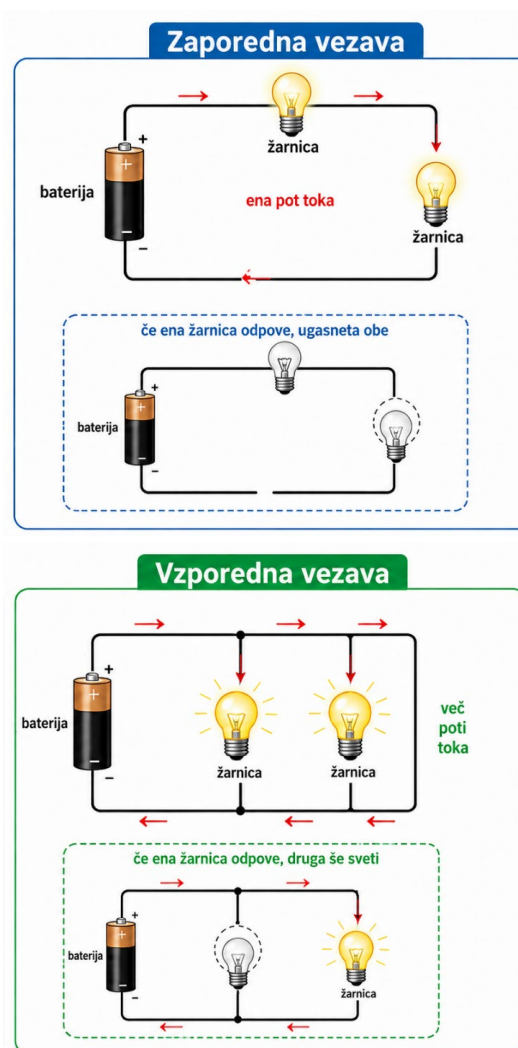


Slika 8.6: Primerjava vodnega in električnega sklenjenega kroga. Črpalka je podobna bateriji, tlačna razlika električni napetosti, tok vode električnemu toku, turbina oziroma vodno kolo pa električnemu porabniku.

8.6 Električni upor in vezja z več porabniki

Pri gibanju skozi snov nosilci naboja trkajo ob atome in druge delce, zato snov električni tok bolj ali manj ovira. Kako močno posamezen vodnik ovira električni tok, opisuje **električni upor**. Označujemo ga s črko R , njegova enota pa je ohm (Ω). Električni upor ni odvisen le od vrste snovi, iz katere je vodnik izdelan, temveč tudi od njegove dolžine, debeline in temperature. Lastnost materiala, ki pove, kako močno ta ovira električni tok, imenujemo **specifična električna upornost**. Baker in aluminij imata majhno specifično upornost in sta zato dobra električna prevodnika, električni izolatorji pa imajo zelo veliko specifično upornost. Pri enaki napetosti skozi vodnik z večjim električnim uporom teče manjši električni tok. Električni upor imajo tudi porabniki. Ko skozi žarnico ali grelnik teče električni tok, se del električne energije pretvarja v notranjo energijo.

V električni krog lahko vključimo več porabnikov. Glede na način njihove povezave razlikujemo **zaporedno** in **vzporedno vezavo**, kar prikazuje slika 8.7. Pri zaporedni vezavi so porabniki povezani drug za drugim, zato ima električni tok samo eno pot. Skozi vse porabnike teče enak električni tok, napetost vira pa se mednje porazdeli. Če v zaporedno vezavo dodamo več enakih žarnic, se skupni električni upor kroga poveča, električni tok se zmanjša in posamezne žarnice navadno žarijo šibkeje. Če se ena žarnica pokvari ali jo odstranimo, se električni krog prekine in ugasnejo vse,



Slika 8.7: Primerjava zaporedne in vzporedne vezave. Pri zaporedni vezavi teče tok po eni poti, pri vzporedni pa se razdeli med več vej. Če v zaporedni vezavi ena žarnica odpove, ugasnejo vse, pri vzporedni pa druge še naprej svetijo.

kot je prikazano na sliki 8.7. Takšno vezavo so pogosto uporabljale starejše verige lučk za novoletno drevo. Pri vzporedni vezavi je vsak porabnik priključen v svojo vejo električnega kroga. Električni tok se na razvejišču razdeli med posamezne veje, vsak porabnik pa je priključen na enako napetost vira. Porabniki zato lahko delujejo neodvisno: če eno žarnico ugasnemo ali se pokvari, druge še naprej žarijo. Tudi to ponazarja slika 8.7. Vzporedno so povezane električne naprave v naših domovih, zato lahko na primer ugasnemo eno svetilko, ne da bi s tem izključili hladilnik ali druge naprave.

8.7 Električna v domu: moč, poraba in varnost

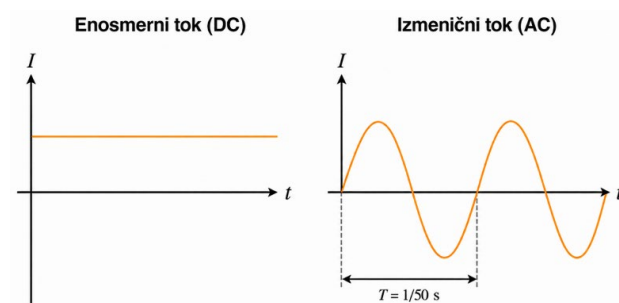
8.7.1 Enosmerni in izmenični električni tok

V dosedanjih primerih je električni tok poganjala baterija. Pri njej se smer električnega toka ne spreminja: tok po zunanjem delu električnega kroga ves čas teče od pozitivnega proti negativnemu priključku. Takšen tok imenujemo **enosmerni električni tok (DC)**. To ne pomeni nujno, da je njegova velikost ves čas popolnoma enaka, temveč predvsem, da se njegova smer ne obrne. Enosmerni tok zagotavljajo baterije, akumulatorji in sončne celice, uporabljajo pa ga tudi mobilni telefoni, računalniki ter številne druge elektronske naprave. Njegov preprosti shematski prikaz je podan na sliki 8.8.

V električnem omrežju je drugače. Tok v hišni napeljavi periodično spreminja velikost in smer, zato ga imenujemo **izmenični električni tok (AC)**. Tudi električna napetost med vodnikoma se pri tem periodično spreminja, kar je shematsko prikazano na sliki 8.8. V slovenskih gospodinjstvih je efektivna omrežna napetost približno 230 V, frekvenca pa 50 Hz. To pomeni, da se spreminjanje napetosti in toka v eni sekundi petdesetkrat ponovi. Ker se smer obrne dvakrat v vsakem ciklu, tok v eni sekundi smer zamenja stokrat. Na sliki 8.8 je pri izmeničnem toku označena tudi perioda T , ki pri frekvenci 50 Hz znaša $1/50$ s. Teh hitrih sprememb pri običajnem delovanju naprav ne opazimo. Izmenični tok je primeren za prenos električne energije od elektrarn do gospodinjstev, saj lahko njegovo napetost s transformatorji razmeroma preprosto zvišujemo in znižujemo. Višja napetost omogoča učinkovitejši prenos energije na velike

razdalje, pred uporabo v gospodinjstvih pa se napetost ponovno zniža.

Skozi številne naprave, ki jih priključimo v vtičnico, teče enosmerni tok. Polnilnik mobilnega telefona zato izmenično napetost iz omrežja prilagodi na precej nižjo vrednost in izmenični tok pretvori v enosmerne. Tako lahko z njim polnimo baterijo telefona, v kateri se prejeta energija shrani kot kemična energija. Podobno nalogo imajo napajalniki računalnikov, televizorjev in številnih drugih elektronskih naprav. Izmenični tok iz omrežja tako omogoča dovod električne energije do naših domov, posamezne naprave pa ga po potrebi pretvorijo v obliko, primerno za svoje delovanje.



Slika 8.8: Shematska primerjava enosmernega in izmeničnega toka. Pri enosmernem toku (DC) se smer toka ne spreminja, zato je njegov graf v odvisnosti od časa prikazan kot črta na isti strani osi. Pri izmeničnem toku (AC) se velikost in smer toka periodično spreminjata, zato graf periodično prehaja iz pozitivnih v negativne vrednosti. Označena je tudi perioda T ; pri frekvenci 50 Hz znaša $T=1/50$ s.

8.7.2 Hišna električna napeljava

Javno električno omrežje omogoča, da električne naprave v stavbi delujejo. Ko napravo vključimo in s tem sklenemo tokokrog, zaradi omrežne napetosti skozenjo steče električni tok. Z električnim delom se v napravo prenese energija, ki jo naprava pretvori v druge oblike. Preden se napeljava razveji do svetil, vtičnic in drugih naprav, je speljana skozi **električni števec**, ki meri v stavbo prejeta električna dela, ter skozi razdelilno omarico z varovalkami in drugimi zaščitnimi napravami. Od tam je napeljava razdeljena na več ločenih tokokrogov, na primer za razsvetljavo, vtičnice in zmogljivejše naprave. Naprave v hišni napeljavi so povezane **vzporedno**. Napetost med priključkoma vsake naprave je enaka omrežni napetosti, zato lahko naprave delujejo neodvisno. Če ugasnemo eno svetilko ali izklopimo eno napravo, druge še naprej delujejo. Ko

vkločimo več naprav, skozi vsako vejo teče tok, katerega velikost je odvisna od priključene naprave, tokovi posameznih vej pa se v skupnem vodniku seštevajo.

Vsak tokokrog je izdelan le za določeno največjo vrednost električnega toka. Če na isti tokokrog priključimo preveč naprav ali več porabnikov z veliko močjo, lahko nastane **preobremenitev**. Prevelik tok močnejše segreva vodnike, zaradi česar bi se lahko poškodovala izolacija ali celo nastal požar. Še večji tok lahko steče ob **kratkem stiku**, ko se vodnika z različno napetostjo neposredno povežeta po poti z zelo majhnim uporom. Pred prevelikim tokom napeljava varujejo **varovalke** oziroma odklopniki. Ko tok preseže dovoljeno vrednost, električni krog samodejno prekinejo. Varovalka tako predvsem ščiti vodnike in naprave pred pregrevanjem, ni pa namenjena zgolj varovanju posamezne priključene naprave. Po odpravi vzroka lahko odklopnik ponovno vključimo, pregorelo talilno varovalko pa je treba zamenjati.

Hišna napeljava vključuje tudi **zaščitni vodnik**, ki je povezan s kovinskimi deli naprav. Če se zaradi okvare kovinsko ohišje znajde pod napetostjo, zaščitni vodnik omogoči varnejšo pot toka in sproži delovanje zaščitne naprave. Dodatno zaščito predstavlja **zaščitno stikalo na diferenčni tok (FID-stikalo)**, ki primerja tok, ki priteka v tokokrog, s tokom, ki se iz njega vrača. Če del toka odteka po nepričakovani poti, na primer skozi poškodovano napravo ali človeka, stikalo napajanje hitro prekine. Varovalke torej predvsem varujejo napeljava pred prevelikim tokom, zaščitno stikalo pa zmanjšuje nevarnost električnega udara.

8.8 Električna moč in poraba energije

Električne naprave se razlikujejo po tem, kako hitro se vanje z električnim delom prenaša energija in kako hitro jo pretvarjajo v druge oblike. To opisuje **električna moč**. Označujemo jo s črko P , njena enota pa je **vat (W)**. Moč pove, koliko električnega dela A_{el} naprava prejme v določenem času:

$$P = \frac{A_{el}}{\Delta t}.$$

Naprava z večjo močjo v enakem času prejme več električnega dela in pretvori več energije. Električni grelnik z močjo 2000 W zato energijo pretvarja mnogo hitreje kot LED-sijalka z močjo 10 W. Pri isti omrežni napetosti skozi napravo z večjo močjo teče tudi večji električni tok.

Električno delo, ki ga naprava prejme, je odvisno od njene moči in časa delovanja: $A_{el} = P\Delta t$. V gospodinjstvih električne energije navadno ne izražamo v joulih, temveč v kilovatnih urah (kWh). Ena kilovatna ura je energija, ki jo porabnik z močjo 1 kW prejme v eni uri: $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$. Grelnik z močjo 2 kW, ki deluje pol ure, porabi 1 kWh električne energije. Enako količino energije porabi LED-sijalka z močjo 10 W, če sveti 100 ur. Kilovat je torej enota za moč, kilovatna ura pa enota za električno delo oziroma preneseno energijo. Električni števec meri skupno električno delo, prejeto iz omrežja, od katerega je odvisen tudi znesek na računu za elektriko. V preglednici 8.1 so podane približne električne moči nekaterih električnih naprav.

Preglednica 8.1: Značilne moči nekaterih električnih porabnikov. Navedene vrednosti so približne, saj se moč razlikuje med napravami in se lahko med njihovim delovanjem tudi spreminja.

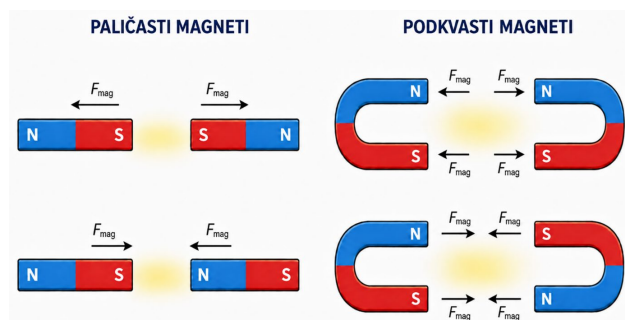
Električni porabnik	Značilna moč med delovanjem
LED-sijalka	5–15 W
Polnilnik mobilnega telefona	5–30 W
Prenosni računalnik	40–100 W
Televizor	50–150 W
Hladilnik med delovanjem kompresorja	50–200 W
Sesalnik	600–900 W
Mikrovalovna pečica	1000–1500 W
Pralni stroj med segrevanjem vode	1500–2200 W
Električni grelnik	1500–2500 W
Električni kuhalnik vode	1800–2400 W
Sušilni stroj	približno 700–3000 W
Polnjenje električnega avtomobila	približno 2,3–11 kW

8.9 Magnetizem in magnetna sila

Magnetizem je pojav, povezan z gibanjem električnih nabojev in z **magnetnimi lastnostmi delcev**, iz katerih je snov zgrajena. V posameznih atomih k magnetizmu prispevajo predvsem elektroni. V večini snovi so njihovi magnetni učinki usmerjeni neurejeno in se med seboj večinoma izničijo. V nekaterih snoveh, zlasti v železu, niklju in kobaltu, pa se lahko številne mikroskopske magnetne domene usmerijo podobno.

Takrat snov postane magnetna, pri trajnem magnetu pa se takšna urejenost ohrani tudi brez zunanje vpliva. Vsak magnet ima dva pola: **severni pol**, ki ga označujemo z N (*North*), in **južni pol**, ki ga označujemo s S (*South*). Magnetna sila je najizrazitejša v bližini polov. Enaka pola magnetov se odbijata, nasprotna pola pa se privlačita, kot prikazuje slika 8.9. Na oba magnetna delujeta enako veliki, vendar nasprotno usmerjeni magnetni sili F_{mag} . Magnetnih polov ne moremo ločiti: če magnet prelomimo na dva dela, ne dobimo samostojnega severnega in južnega pola, temveč dva manjša magnetna, od katerih ima vsak oba pola.

Magneti ne privlačijo vseh kovin. Močno delujejo predvsem na **feromagnetne snovi**, kot so železo, nikelj, kobalt in nekatere njihove zlitine. V takšnih snoveh obstajajo majhna območja, imenovana magnetne domene, znotraj katerih so magnetni učinki atomov podobno usmerjeni. V nenamagnetnem kosu železa so domene usmerjene različno, zato se njihovi učinki večinoma izničijo. Ko železo postavimo v magnetno polje, se del domen usmeri v smeri polja, zato se železo začasno namagnetni in ga magnet privlači. Pri nekaterih snoveh se del te urejenosti ohrani tudi po odstranitvi zunanega magnetna, zato lahko iz njih izdelamo trajne magnetne. Aluminij, baker in številne druge kovine se na magnetno polje odzovejo le zelo šibko, zato njihovega odziva pri običajnem poskusu navadno ne opazimo.



Slika 8.9: Magnetna sila med paličastimi in podkvastimi magneti. Enaka magnetna pola se odbijata, nasprotna pa se privlačita. Sili na oba magnetna sta enako veliki in nasprotno usmerjeni.

Magnetna sila deluje **na daljavo**, zato se magnetoma ni treba neposredno dotikati. Deluje lahko tudi skozi zrak ter skozi tanke plasti številnih nemagnetnih snovi, na primer papirja, plastike ali stekla. Njeno delovanje z oddaljenostjo slabi, zato je navadno najmočnejše

neposredno ob polih magnetna. Prostor okoli magnetna, v katerem lahko zaznamo magnetne učinke, imenujemo **magnetno polje**. Magnetnega polja ne vidimo neposredno, lahko pa njegovo obliko ponazorimo z železnimi opilki. Ko opilke potresemo okoli magnetna, se posamezni opilki začasno namagnetijo in usmerijo v smeri lokalnega magnetnega polja. Tako nastane značilen vzorec črt, ki je najgostejši v bližini polov, kjer je magnetno polje najmočnejše (slika 8.10).



Slika 8.10: Železni opilki se v magnetnem polju ravnega magnetna namagnetijo in uredijo v značilen vzorec. Najgostejše so razporejeni ob polih magnetna, kjer je magnetno polje najmočnejše.

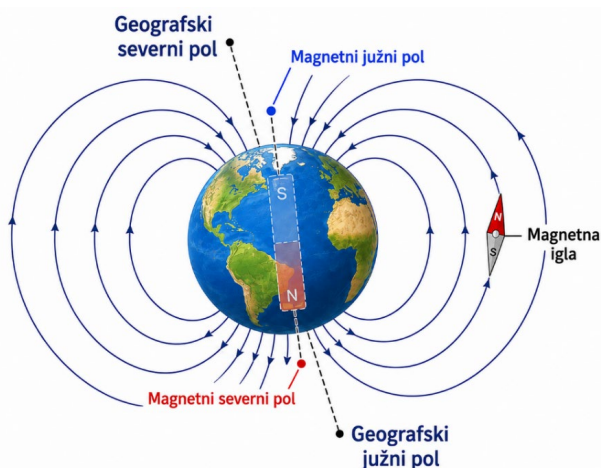
8.10 Zemljino magnetno polje in kompas

Tudi okoli Zemlje je magnetno polje, ki je v grobem podobno polju velikega magnetna. Glavni izvor tega polja je gibanje električno prevodne tekoče kovine, predvsem železa in niklja, v Zemljinem zunanjem jedru. Zaradi toplote iz notranjosti Zemlje se ta snov pretaka, vrtenje Zemlje pa njeno gibanje dodatno usmerja. Pri tem nastajajo električni tokovi, ti pa ustvarjajo Zemljino magnetno polje. Ta proces imenujemo **geodinamo**.

Zemljino magnetno polje je po obliki približno podobno polju paličastega magnetna, vendar ni popolnoma pravilno ali nespremenljivo. Magnetna os ni popolnoma poravnana z Zemljino vrtilno osjo, zato magnetna pola ne sovpadata z geografskima poloma. Na severni polobli je z vidika fizikalne polaritete Zemljin magnetni južni pol, na južni pa magnetni severni pol, kot je poenostavljeno prikazano na sliki 8.11. Položaja magnetnih polov se sčasoma počasi spreminjata.

Magnetna igla se v Zemljinem magnetnem polju obnaša podobno kot železni opilki v bližini magnetna: zavrti se

in poravna z lokalno smerjo magnetnega polja. Njen severni konec se zato usmeri približno proti geografskemu severu. Na tem načelu deluje **kompas**, v katerem se lahko magnetna igla skoraj prosto vrti. Ker smer Zemljinega magnetnega polja ni povsod popolnoma enaka smeri geografskega severa, kompas ne kaže vedno popolnoma natančno proti severu. Kot med tema smerema imenujemo magnetna deklinacija.



Slika 8.11: Poenostavljeni prikaz Zemljinega magnetnega polja. Zemljina magnetna os je nekoliko nagnjena glede na vrtilno os, zato magnetna pola ne sovpadata z geografskima. Magnetne silnice zunaj Zemlje izhajajo iz magnetnega severnega pola na južni polobli in vstopajo v magnetni južni pol na severni polobli. Magnetna igla se poravnava z lokalno smerjo magnetnega polja.

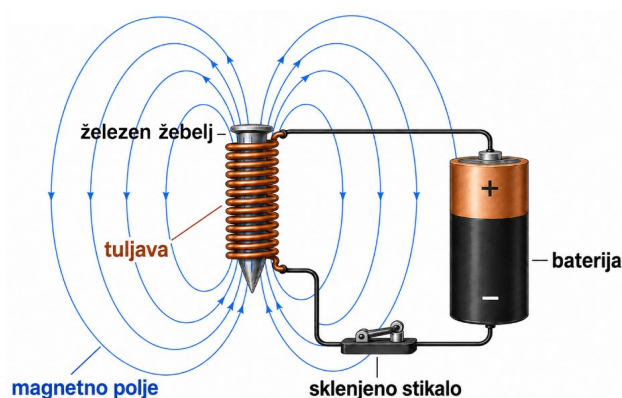
Zemljino magnetno polje je pomembno tako v tehniki kot v naravi. Kompasi ga že stoletja uporabljajo za orientacijo, danes pa magnetometri v mobilnih telefonih, letalih, ladjah in merilnih napravah zaznavajo smer in jakost polja. Z meritvami majhnih sprememb magnetnega polja lahko geologi raziskujejo kamninske plasti, iščejo nahajališča rud ter preučujejo zgradbo Zemljine skorje. Magnetno polje Zemlje preusmerja gibanje nabitih delcev Sončevega vetra in velik del njihovega toka usmeri okoli Zemlje. Tako pomaga varovati ozračje. Delci, ki prodrejo v zgornjo atmosfero predvsem v bližini polov, lahko povzročijo **polarni sij**.

Številne živali zaznavajo Zemljino magnetno polje ter si z njim pomagajo pri orientaciji. Ptice selivke z njim dopolnjujejo orientacijo po Soncu, zvezdah in pokrajini, morske želve pa si pri dolgih selitvah pomagajo z značilnostmi magnetnega polja posameznih območij. Magnetno zaznavanje so ugotovili tudi pri lososih, nekaterih žuželkah in drugih živalih. Magnetno polje jim tako predstavlja nekakšen naravni kompas, pri

nekaterih vrstah pa verjetno tudi grob »zemljevid« položaja.

8.11 Elektromagnet

Ko skozi žico teče električni tok, okoli nje nastane magnetno polje. Če žico navijemo v **tuljavo**, se magnetni učinek okrepi, ker se magnetna polja posameznih ovojev med seboj seštevajo. Še močnejši učinek dosežemo, če v tuljavo vstavimo železno jedro, na primer žebelj. Tako nastane **elektromagnet**. Delovanje elektromagneta prikazuje slika 8.12. Električni tok iz baterije teče skozi tuljavo, navito okoli železnega žeblja. Tok v tuljavi ustvari magnetno polje, ki namagnetni železno jedro, zato se žebelj začne obnašati kot magnet. Okoli njega nastane magnetno polje, podobno polju paličastega magneta. Smer magnetnega polja je odvisna od smeri toka, jakost elektromagneta pa lahko povečamo z večjim tokom, z več ovojji tuljave ali z ustreznim železnim jedrom.



Slika 8.12: Shema elektromagneta. Električni tok teče iz baterije skozi sklenjeno stikalo in tuljavo, navito okoli železnega žeblja. Tok v tuljavi ustvari magnetno polje in začasno namagnetni železno jedro, zato nastane elektromagnet.

Velika prednost elektromagneta je, da ga lahko za razliko od trajnega magneta preprosto **vključimo in izključimo**. Ko električni tok skozi tuljavo teče, elektromagnet deluje; ko tok prekinemo, njegov magnetni učinek večinoma izgine. Prav zato so elektromagneti zelo uporabni v tehniki, saj lahko njihovo delovanje natančno nadzorujemo. Elektromagnete najdemo v številnih napravah. Uporabljajo se na primer v električnih zvoncih, kjer elektromagnet premakne kovinski del in povzroči udarjanje kladivca. V relejih elektromagnet vklaplja ali izklaplja električni krog. V dvigalih za odpadno železo

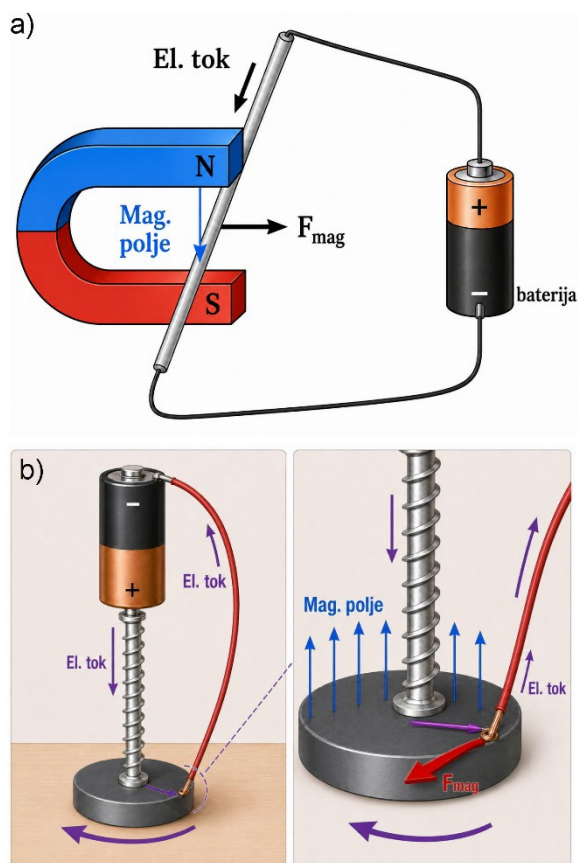
elektromagnet omogoča prijemanje, prenašanje in odlaganje predmetov iz železa ali jekla. Ko skozi njegovo tuljavo teče električni tok, predmete privlači in zadrži, ko tok izključimo, pa jih izpusti. Elektromagnetni pojav izkoriščajo tudi zvočniki, kjer električni tok v tuljavi povzroča spreminjajočo se magnetno silo, ki premika tuljavo in z njo membrano, in v električnih ključavnicah, kjer omogočajo odpiranje ali zapiranje vrat.

8.12 Elektromotor

Električni tok ne povzroča le segrevanja vodnikov ali delovanja elektromagnetov, temveč lahko povzroči tudi gibanje. Na tem temelji elektromotor – naprava, ki **prejeto električno delo pretvarja v mehansko delo**, najpogosteje v obliki vrtenja. Elektromotorji poganjajo številne naprave, od ventilatorjev, mešalnikov in igrač do pralnih strojev, električnih orodij in električnih avtomobilov.

Osnovna fizikalna zamisel je preprosta: če skozi vodnik teče električni tok in je vodnik v magnetnem polju, nanj deluje magnetna sila. Smer te sile je odvisna od smeri električnega toka in smeri magnetnega polja. Če sila deluje tako, da lahko telo zavrti, nastane navor, zaradi katerega se del sistema začne **vrteti**. Prav to je osnovno načelo delovanja elektromotorja. Pojav ponazarja del a) na sliki 8.13. Med poloma magneta je magnetno polje. Ko skozi poševni vodnik steče električni tok, nanj začne delovati magnetna sila F_{mag} . Sila je pravokotna tako na smer toka kot na smer magnetnega polja, zato vodnik potisne v določeno smer. Če vodnik ni togo pritrjen, se zaradi te sile lahko premakne.

V delu b) na sliki 8.13 je prikazan preprost model elektromotorja. Vodnik sklene električni krog, zato zaradi napetosti baterije električni tok teče skozi vodnik, magnet in vijak. Na mestu, kjer se vodnik dotika magneta, električni tok vstopi v magnet in teče skozi del magneta, ki je v magnetnem polju. Zato na ta del magneta deluje magnetna sila F_{mag} . Ker sila ne deluje skozi os vrtenja, ustvari navor, ki zavrti celoten sistem. V prikazanem primeru se zato magnet z vijakom začne vrteti. Takšna izvedba lepo pokaže bistvo: električni tok v magnetnem polju lahko povzroči vrtenje.



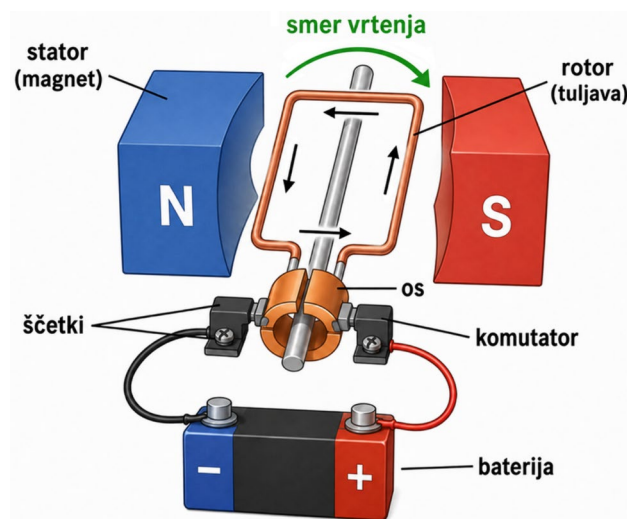
Slika 8.13: Osnovno načelo delovanja elektromotorja. a) Na vodnik, po katerem teče električni tok in je v magnetnem polju med poloma magneta, deluje magnetna sila F_{mag} . b) Preprost model elektromotorja: električni tok teče skozi vijak, magnet in žico; zaradi delovanja magnetne sile nastane navor, ki zavrti magnet z vijakom.

Spoznali smo, da lahko električni tok v magnetnem polju povzroči silo in s tem gibanje. V pravem elektromotorju je ta princip uporabljen na bolj urejen in tehnično dovršen način. Shematski prikaz preprostega elektromotorja kaže slika 8.14. Osrednji del elektromotorja je rotor, to je vrteči se del motorja. V prikazanem primeru je rotor tuljava, nameščena na osi. Okoli rotorja je stator, to je mirujoči del motorja, ki ustvarja magnetno polje. Na sliki 8.14 stator predstavljata dva magneta z nasprotnima poloma. Ko skozi tuljavo rotorja steče električni tok, na nasprotnih straneh tuljave delujeta magnetni sili v nasprotnih smereh. Ti sili ustvarita navor, zato se rotor začne vrteti.

Da se vrtenje ne ustavi po pol obratu, je potreben poseben element, imenovan **komutator**. Njegova naloga je, da po vsakem pol obratu spremeni smer električnega toka v tuljavi. Tako magnetni sili tudi po obratu še naprej povzročata vrtenje v isti smeri. Električni tok do vrteče se tuljave dovajata ščetki, ki

drsite po komutatorju. Vir električne energije je v prikazanem primeru baterija.

Na ta način elektromotor pretvarja električno energijo v mehansko energijo vrtenja. Del energije se pri tem pretvori tudi v notranjo energijo, del pa se prenese v okolico z zvokom, zato noben motor ni popolnoma idealen. Kljub temu so elektromotorji zelo učinkoviti in omogočajo zanesljivo poganjanje številnih naprav. Najdemo jih v ventilatorjih, mešalnikih, sesalnikih, pralnih strojih, električnih igračah, električnih orodjih in električnih vozilih.



Slika 8.14: Shematski prikaz preprostega enosmernega elektromotorja. Magnetno polje statorja deluje na rotor, po katerem teče električni tok, zato nastane navor in rotor se začne vrteti. Komutator pri vsakem pol obratu spremeni smer toka v tuljavi, ščetki pa dovajata električni tok iz baterije v vrteči se del motorja.



Vprašanja za preveritev razumevanja

1. Kaj pomeni, da je telo električno nevtralno, pozitivno ali negativno naelektreno? Pojasnite vlogo protonov in elektronov ter zakaj se pri običajnem naelektrenju med telesi prenašajo elektroni.

2. Kako med naelektrenimi telesi deluje električna sila? Pojasnite, kako sta njena smer in velikost odvisni od predznaka nabojev, velikosti nabojev in razdalje med telesoma.

3. Kako se telo lahko naelektri z drgnjenjem in kaj pomenita električna influenza ter razelektritev? Povežite te pojave z vsakdanjimi elektrostatičnimi pojavi ali z nastankom strele.

4. Kaj je električni tok in kateri pogoji morajo biti izpolnjeni, da lahko teče? Primerjajte nosilce naboja v kovinah in raztopinah ter pojasnite razliko med dogovorjeno smerjo električnega toka in smerjo gibanja elektronov v kovinski žici.

5. Kaj je električna napetost in kakšno vlogo ima vir, na primer baterija, v električnem krogu? Pojasnite analogijo med električnim krogom in vodnim tokokrogom z baterijo, črpalko, napetostjo in tlačno razliko.

6. Kaj je električni upor in kako vpliva na velikost električnega toka pri enaki napetosti? Primerjajte zaporedno in vzporedno vezavo porabnikov ter pojasnite, zakaj so gospodinjske naprave povezane vzporedno.

7. V čem se razlikujeta enosmerni in izmenični tok? Kaj pomenita podatka 230 V in 50 Hz za slovensko električno omrežje? Zakaj številne elektronske naprave kljub priključitvi na električno omrežje v notranjosti uporabljajo enosmerni tok?

8. Kaj pomenita električna moč in porabljena električna energija? Pojasnite razliko med enotama kW in kWh. Kako sta moč naprave in čas njenega delovanja povezana s količino porabljene energije?

9. Zakaj sta preobremenitev in kratek stik nevarna? Pojasnite razliko med nalogo varovalke oziroma odklopnika in nalogo zaščitnega stikala na diferenčni tok (FID-stikala).

10. Kako sta elektrika in magnetizem povezana? Pojasnite, kako električni tok ustvarja magnetno polje, kako deluje elektromagnet in kako magnetna sila na vodnik s tokom omogoči, da elektromotor električno energijo pretvarja v mehansko energijo.

[illegible]

9 Svetloba, barve in vid

Nosilna razlaga: Svetloba je elektromagnetno valovanje, ki se širi, odbija in lomi; optični sistemi jo usmerjajo, oko in možgani pa iz nje oblikujejo vidne in barvne zaznave.

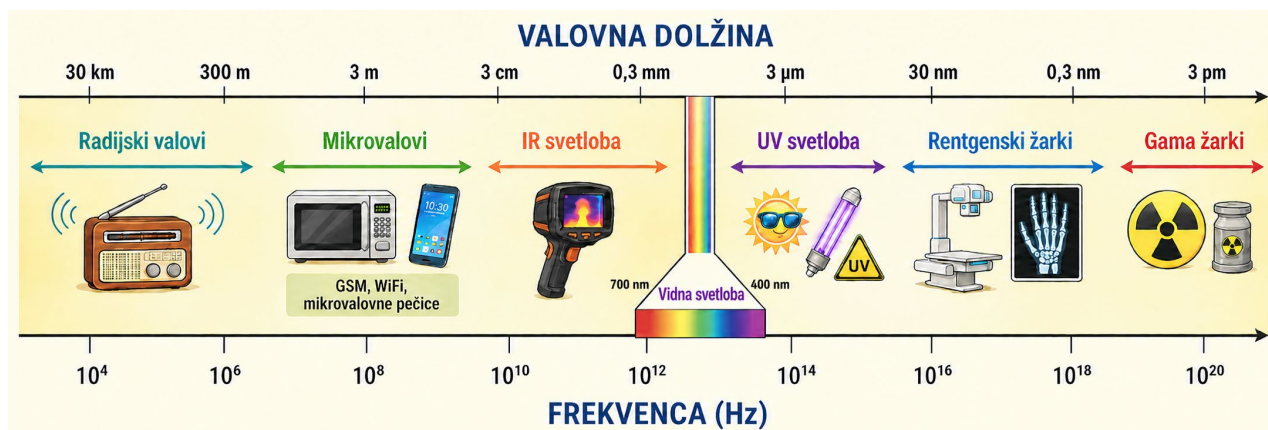
Ključni pojmi: svetlobni snop • odboj • lom • leča • spekter • zaznavanje barv • vid

9.1 Svetloba in svetila

Svetloba je oblika **elektromagnetnega valovanja**. V nasprotju z zvokom za širjenje ne potrebuje snovi, zato lahko svetloba Sonca potuje skozi skoraj prazen vesoljski prostor vse do Zemlje. Kot prikazuje slika 9.1, je vidna svetloba le majhen del mnogo širšega elektromagnetnega spektra, v katerega spadajo tudi radijski valovi, mikrovalovi, infrardeče in ultravijolično sevanje, rentgenski žarki ter sevanje gama. Posamezne vrste elektromagnetnega valovanja se med seboj razlikujejo po valovni dolžini in frekvenci: z naraščanjem frekvence se valovna dolžina manjša. Človeško oko zaznava le omejeno območje tega spektra, ki ga imenujemo **vidna svetloba**, in sicer približno med 400 nm in 700 nm, kot je posebej označeno na sliki 9.1.

V vakuumu se svetloba širi s hitrostjo $c \approx 3,00 \cdot 10^8$ m/s. Valovna dolžina λ in frekvenca ν sta povezani z enačbo $c = \lambda \nu$. V snovi je hitrost svetlobe manjša kot v vakuumu. Prozorna snov velik del svetlobe prepušča, prosojna jo prepušča in ob tem razprši, neprozorna pa je ne prepusti. Pri prehodu skozi prostor ali snov se svetloba lahko absorbira, odbije, lomi ali razprši. Prav ti procesi so osnova večine pojavov, ki jih obravnavamo v nadaljevanju.

Svetloba nam omogoča, da vidimo svet okoli sebe. Z njeno pomočjo prepoznavamo obraze in predmete, razločujemo njihove barve in oblike ter presojamo njihovo velikost, oddaljenost in gibanje. Da predmet vidimo, mora svetloba, ki jo predmet oddaja ali odbija, vstopiti v naše oči. V popolni temi zato predmetov ne vidimo, saj od njih v naše oči ne prihaja svetloba.



Slika 9.1: Elektromagnetni spekter obsega različne vrste elektromagnetnega valovanja. Le-te se med seboj razlikujejo po valovni dolžini in frekvenci. Vidna svetloba predstavlja le zelo majhen del spektra, med infrardečim in ultravijoličnim območjem.

Svetloba, ki osvetljuje okolico, izvira iz teles, ki jo sama oddajajo. Imenujemo jih **svetila** oziroma **svetlobni viri**. Med naravna svetila sodijo Sonce in druge zvezde, blisk, strele, žareča lava ter nekateri organizmi, na primer kresnice. Umetna svetila je izdelal človek; mednje spadajo sveče, električne žarnice, fluorescenčne sijalke, svetleče diode oziroma LED-svetila, zasloni in laserji. Svetloba v njih nastaja na različne načine, na primer zaradi visoke temperature, električnega toka, električnega razelektrenja ali kemijskih in bioloških procesov. Svetila moramo razlikovati od osvetljenih teles, ki svetlobe ne oddajajo sama, temveč svetlobo, ki pade nanje, odbijajo v okolico. Luna tako ni svetilo, čeprav na nočnem nebu sveti, saj odbija Sončevo svetlobo. Večino predmetov torej vidimo zato, ker se svetloba, ki se širi od vira, na njih odbije in nato vstopi v naše oko.

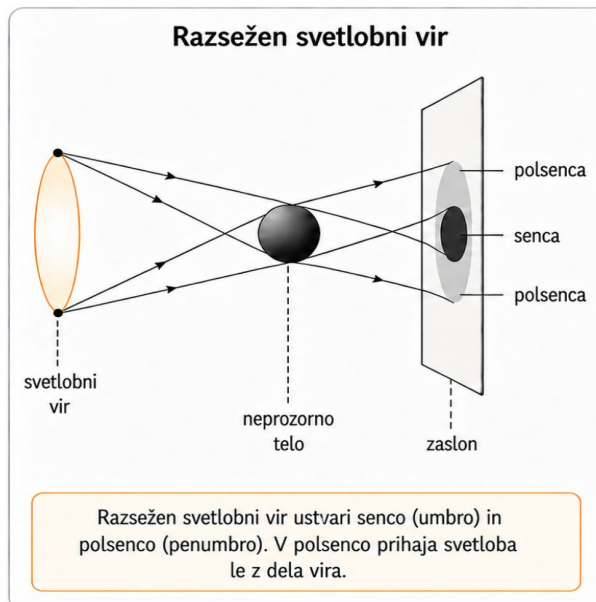
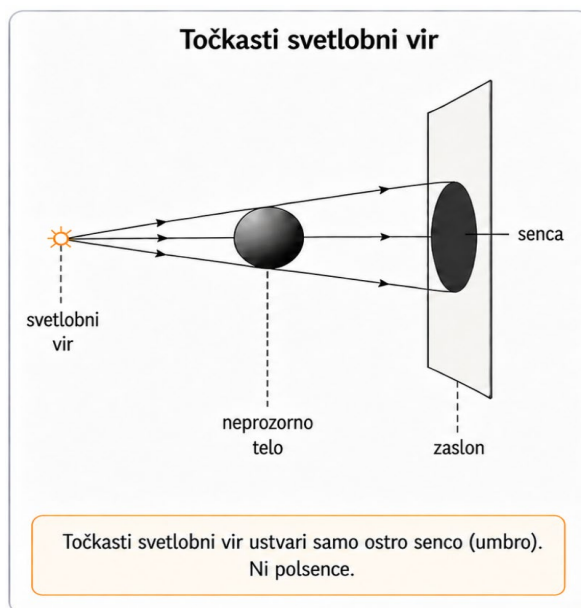
9.2 Širjenje svetlobe in sence

Svetloba se v enakomernem prozornem sredstvu, na primer v zraku, širi v ravnih linijah. Smer širjenja svetlobe pogosto ponazarjamo z **žarki** – usmerjenimi črtami, ki kažejo smer njenega širjenja. Takšno širjenje lahko opazimo pri snopih svetlobe iz svetilke ali laserskega kazalnika ter pri snopih sončne svetlobe, ki skozi odprtine med oblaki prodirajo proti tlu. Na sliki 9.2 so ti snopi dobro vidni, ker se del svetlobe na drobnih kapljicah vode in drugih delcih v zraku siplje proti našim očem.



Slika 9.2: Sončna svetloba, ki prodira skozi odprtine med oblaki. Njena premočrtna pot je vidna zaradi sipanja svetlobe na kapljicah vode in delcih v zraku.

Če svetlobi na poti stoji predmet, ta svetlobo prepreči, zato za njim nastane območje, kamor svetloba ne pride. To območje imenujemo **senca**.



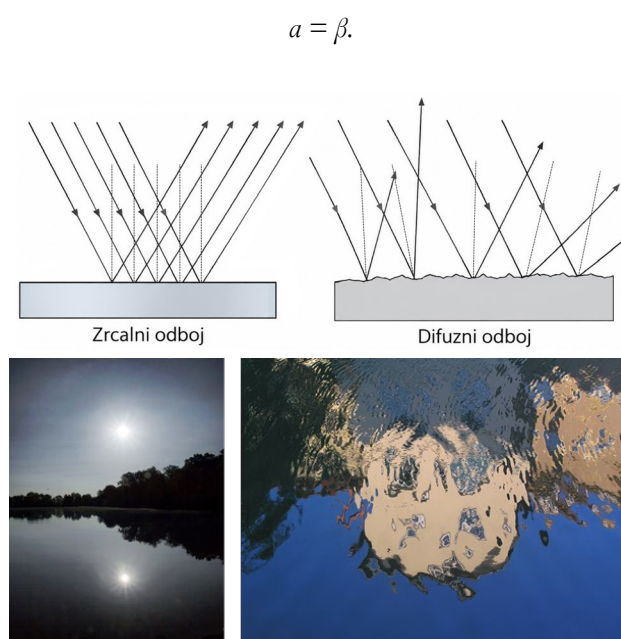
Slika 9.3: Nastanek sence in plosence. Točkast svetlobni izvor ustvari le ostro senco, razsežen svetlobni izvor pa poleg sence ustvari tudi plosenco, kamor prihaja svetloba le iz dela razsežnega svetlobnega vira.

Če svetlobo oddaja zelo majhen oziroma točkast svetlobni izvor, je senca praviloma ostra in jasno omejena. V vsakdanjem življenju pa so svetlobni izvori navadno razsežni, zato poleg sence nastane še **plosenca**. To je območje, kamor pride le del svetlobe, zato ni povsem temno, ampak le slabše osvetljeno. Kot prikazuje slika 9.3, pri točkastem svetlobnem viru nastane le senca, pri razsežnem svetlobnem viru pa opazimo osrednji temnejši del – senco – in svetlejši robni del, ki ga imenujemo plosenca. S sencami in plosencami se srečujemo pogosto: senco meče človek na soncu, drevo na travniku ali roka pred svetilko,

polsenco pa lahko opazimo na manj ostro omejenih robovih senc, na primer pri osvetlitvi bližnjega predmeta z žarnico. Posebej nazorno se pomen sence in plosence pokaže pri mrkih, ko Luna ali Zemlja delno ali v celoti zastre svetlobo.

9.3 Odboj svetlobe

Ko svetloba zadene mejo med dvema snovema, se del svetlobe odbije. Smer odboja opisujemo glede na pravokotnico na površino, ki jo imenujemo vpadna pravokotnica. Odbojni zakon pravi, da je **vpadni kot** α enak **odbojnemu kotu** β , vpadni svetlobni žarek, odbiti žarek in normala pa ležijo v isti ravnini:



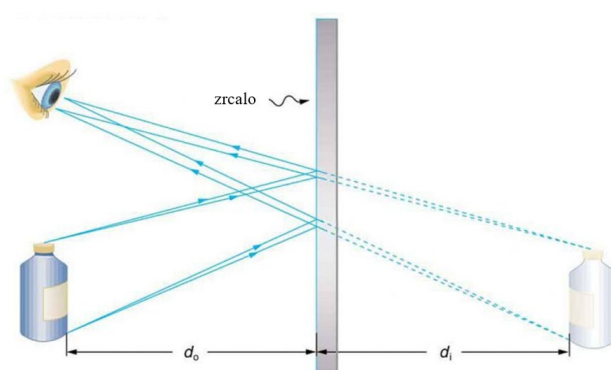
Slika 9.4: Zrcalni in difuzni odboj. Na gladki ravni površini se svetloba iz vzporednega snopa odbije v eni določeni smeri, na hrapavi pa v različnih smereh. Žarki na shemi ponazarjajo smeri širjenja vpadne in odbite svetlobe, črtkane črte pa vpadne pravokotnice. Spodnji fotografiji kažeta zrcalni odboj na mirni vodi in razpršen odboj na razgibani gladini.

Na gladki ravni površini so vpadne pravokotnice na vseh mestih enako usmerjene, zato se svetloba iz vzporednega snopa odbije v eni določeni smeri. Tak odboj imenujemo **zrcalni odboj**. Na hrapavi površini so vpadne pravokotnice na posameznih mestih različno usmerjene, zato se svetloba odbija v različnih smereh. To je **difuzni odboj**. Pomembno je, da tudi pri difuznem odboju na vsakem mestu velja zakon odboja: vpadni in odbojni kot sta enaka glede na tamkajšnjo vpadno pravokotnico. Razpršen videz nastane zaradi drobnih neravnin površine. Difuzni odboj je razlog, da

lahko večino predmetov vidimo iz različnih smeri. Prikaz obeh vrst odboja je na sliki 9.4.

9.4 Slika v ravnem zrcalu

Del svetlobe, ki od predmeta vpada na ravno zrcalo, se na njem odbije in vstopi v oko. Ker svetloba v oko vpada iz smeri zrcala, jo zaznamo, kot da prihaja iz točke za zrcalom. Tam vidimo **navidežno sliko**. Ker se svetloba za zrcalom v resnici ne zbira, navidezne slike ne moremo ujeti na zaslon. Slika je pokončna, enako velika kot predmet in je za zrcalom oddaljena toliko, kot je predmet pred njim. Predmet in njegova slika sta simetrična glede na ravnino zrcala (slika 9.5).



Slika 9.5: Nastanek navidezne slike v ravnem zrcalu. Odbito svetlobo oko zazna, kot da prihajaja iz slike za zrcalom; razdalji predmeta in slike od zrcala sta enaki.

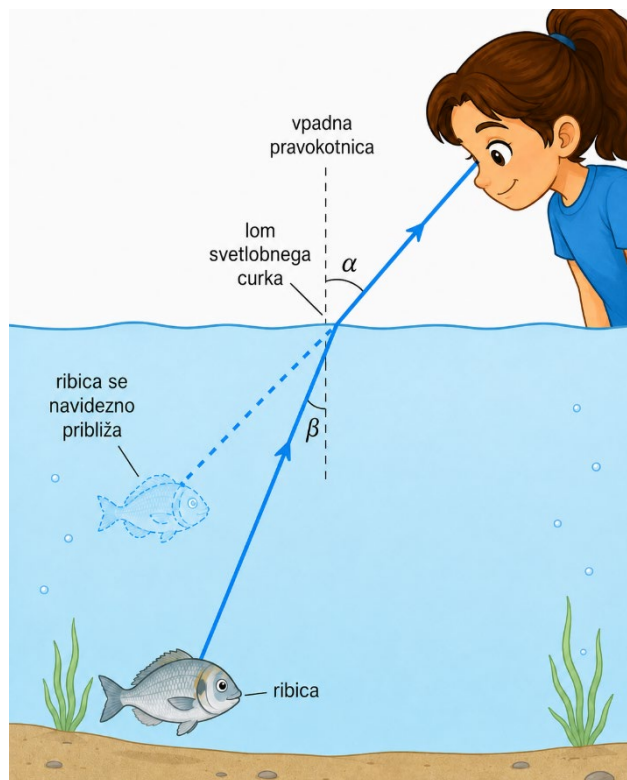
9.5 Lom svetlobe

Pri prehodu svetlobe iz ene prozorne snovi v drugo se spremeni njena hitrost, zato se spremeni tudi smer širjenja. Pojav imenujemo **lom svetlobe**. Optično lastnost snovi opisuje **lomni količnik** $n = c/v$, kjer je c hitrost svetlobe v vakuumu, v pa hitrost v snovi. Večji lomni količnik pomeni manjšo hitrost svetlobe v snovi. Smeri vpadnega in lomnega žarka povezuje **Snellov zakon**. Kota α in β merimo glede na normalo na mejo med snovema:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Ko svetloba prehaja iz zraka v vodo ali steklo, torej v snov z večjim lomnim količnikom, se svetloba lomi proti normali. Pri prehodu v nasprotni smeri se lomi stran od normale. Zaradi tega je potopljen predmet navidežno bližje gladini, kot je v resnici. Ribo zato

vidimo nekoliko višje, ker oko lomljene žarke podaljša po ravni črti nazaj v vodo (slika 9.6).



Slika 9.6: Navidezno spremenjena lega ribe zaradi loma svetlobe. Svetloba se ob izstopu iz vode lomi, zato se riba opazovalcu kaže bližje gladini.

9.6 Popolni odboj in optična vlakna

Če se svetloba širi iz optično gostejše v optično redkejšo snov, na primer iz stekla ali vode v zrak, se z večanjem vpadnega kota lomi vedno bolj stran od vpadne pravokotnice. Pri dovolj velikem vpadnem kotu ne preide več v optično redkejšo snov, temveč se v celoti odbije nazaj v optično gostejšo snov. Pojav imenujemo **popolni odboj**. Nastopi le pri prehodu iz snovi z večjim v padnem kotu, večjem od mejnega kota.

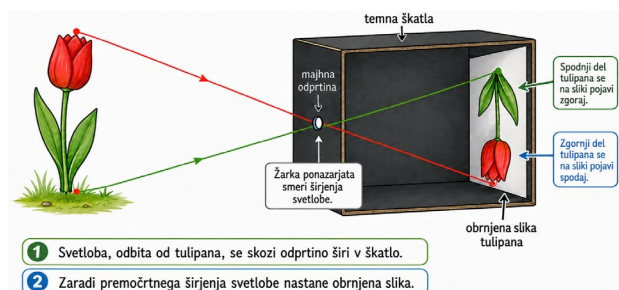
Na principu popolnega odboja delujejo optični vodniki oziroma optična vlakna. Svetloba potuje po njihovem prozornem jedru in se na meji z ovojem večkrat popolnoma odbija, kot je shematsko ponazorjeno na sliki 9.7. Tako lahko na velike razdalje prenaša informacije z zelo majhnimi izgubami. Optična vlakna uporabljamo v telekomunikacijah, internetu, medicinskih endoskopih in merilnih napravah.



Slika 9.7: Vodenje svetlobe s popolnim odbojem. Svetloba ostaja ujeta v prozornem vodniku in lahko sledi tudi ukrivljeni poti.

9.7 Nastanek slike: camera obscura in leče

Premočrtno širjenje svetlobe lahko zelo nazorno opazujemo pri camera obscuri: v temno škatlo skozi majhno odprtino vstopajo ozki snopi svetlobe iz različnih delov predmeta. Ker se žarki v odprtini prekrizajo, na nasprotni steni nastane realna, zmanjšana in obrnjena slika. Manjša odprtina da ostrejšo, vendar temnejšo sliko, saj skozi njo vstopi manj svetlobe. Na istem principu je zasnovan fotoaparat, le da namesto majhne odprtine običajno uporablja objektiv z lečami. Princip delovanja je ponazorjen na sliki 9.8

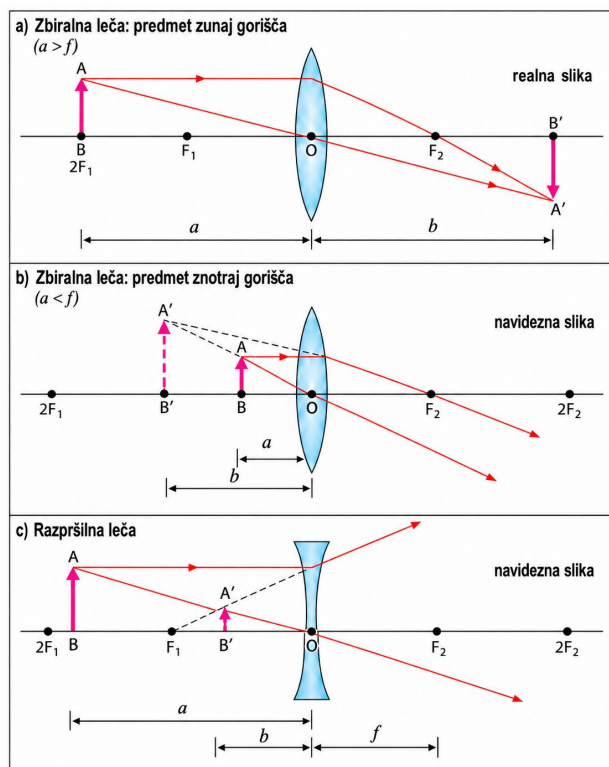


Slika 9.8: Nastanek slike v camera obscuri. Svetloba, ki se odbije od osvetljenega predmeta, se skozi majhno odprtino širi premočrtno. Svetloba iz zgornjega dela predmeta doseže spodnji del zadnje stene, svetloba iz spodnjega dela pa zgornji del, zato nastane obrnjena slika. Žarka na shemi ponazarjata smeri širjenja svetlobe.

Leča je prozorno optično telo z ukrivljenimi površinami, ki zaradi loma spreminja smer vpadne svetlobe. **Zbiralna ali konveksna leča** je v sredini debelejša kakor ob robu in vzporedne žarke zbere v gorišču. **Razpršilna ali konkavna leča** je v sredini tanjša ter vzporedne žarke razprši tako, kot da bi izhajali iz navideznega gorišča. Razdaljo med optičnim središčem leče O in goriščem F imenujemo **goriščna razdalja** f . Razdaljo predmeta od leče označimo z a , razdaljo slike od leče pa z b . V približku tanke leče so te

razdalje ob ustreznem dogovoru o predznakih povezane z enačbo:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}.$$



Slika 9.9: Preslikave pri lečah. Nastanek realne obrnjene slike pri zbiralni leči, kadar je predmet zunaj gorišča (a), navidezne povečane slike, kadar je predmet znotraj gorišča (b), ter navidezne pomanjšane slike pri razpršilni leči (c). Z neprekinjenimi črtami so prikazani svetlobni žarki, s črtkanimi pa njihovi navidezni podaljški. Predmet je ponazorjen s puščico AB, njegova slika pa s puščico A'B'.

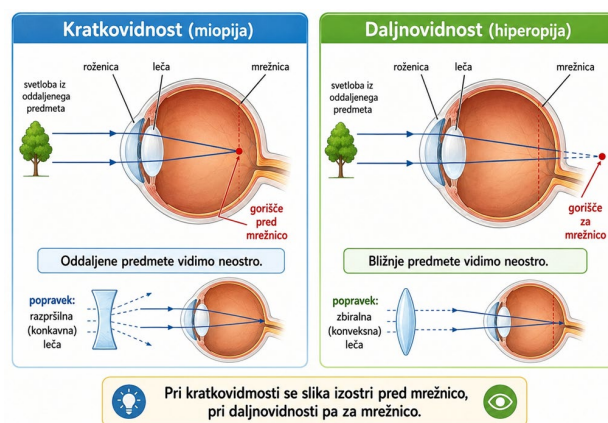
Lego in lastnosti slike lahko določimo s konstrukcijo značilnih svetlobnih žarkov, kot prikazuje slika 9.9. Žarek, ki na zbiralno lečo vpade vzporedno z optično osjo, po prehodu skozi lečo potuje skozi gorišče, žarek skozi optično središče pa se v približku tanke leče ne odkloni. Če je predmet pred zbiralno lečo zunaj gorišča, se žarka za lečo dejansko sekata in nastane realna, obrnjena slika, ki jo lahko ujame na zaslon. Če je predmet med goriščem in zbiralno lečo, se žarka za lečo razhajata, njuna podaljška nazaj pa se sekata na strani predmeta. Nastane navidezna, pokončna in povečana slika, kakršno opazujemo na primer skozi lupo. Pri razpršilni leči se žarki po prehodu skozi lečo vedno razhajajo; njihovi podaljški se sekajo med lečo in goriščem, zato nastane navidezna, pokončna in pomanjšana slika. Pri uporabi enačbe leče moramo

upoštevati tudi predznake. Za realni predmet pred lečo je $a > 0$. Zbiralna leča ima pozitivno goriščno razdaljo ($f > 0$), razpršilna pa negativno ($f < 0$). Če nastane realna slika na nasprotni strani leče, je $b > 0$, pri navidezni sliki, ki je na isti strani leče kot predmet, pa je $b < 0$.

9.8 Oko, vid in korekcija vida

Človeško oko je optični in biološki sistem. Največ svetlobe se lomi na roženici, očesna leča pa z majhnim spreminjanjem ukrivljenosti natančno prilagodi gorišče. To prilagajanje imenujemo akomodacija. Šarenica uravnava premer zenice in s tem količino svetlobe, ki vstopi v oko. Na mrežnici nastane realna, pomanjšana in obrnjena slika, svetlobno energijo pa pretvorijo v živčne signale fotoreceptorji. Paličice so zelo občutljive in omogočajo vid pri šibki svetlobi, čepki pa omogočajo barvni in podroben vid. Možgani signale iz obeh oči združijo in iz njih oblikujejo stabilno prostorsko zaznavo.

Pri kratkovidnosti se slika oddaljenih predmetov izostri pred mrežnico. Popravimo jo z razpršilno lečo. Pri daljnovidnosti se slika bližnjih predmetov izostri za mrežnico, zato uporabimo zbiralno lečo. Shematsko je to prikazano na sliki 9.10.



Slika 9.10: Kratkovidnost in daljnovidnost. Pri kratkovidnosti ostra slika predmeta nastane pred mrežnico, kar popravimo z razpršilno lečo; pri daljnovidnosti bi slika nastala za mrežnico, kar popravimo z zbiralno lečo.

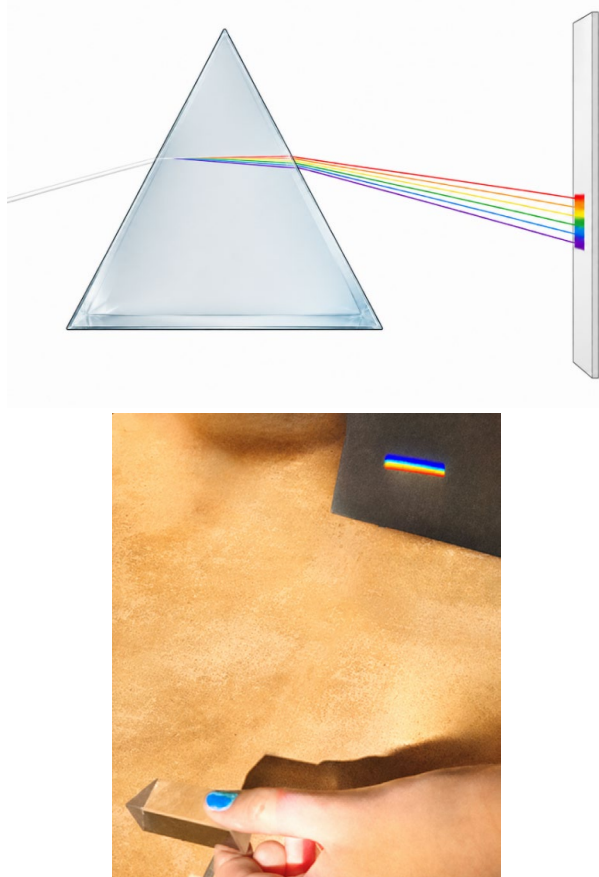
Jakost leče opisujemo z **optično močjo** D , ki je obratna vrednost goriščne razdalje v metrih:

$$D = 1/f$$

Enota optične moči je **dioptrija** (m^{-1}). Zbiralne leče imajo pozitivno, razpršilne pa negativno optično moč. S staranjem se prožnost očesne leče zmanjšuje in oko težje izostri bližnje predmete; pojav imenujemo starostna daljnovidnost ali presbiopija. Pri astigmatizmu pa se svetloba zaradi neenakomerne ukrivljenosti roženice ali leče ne izostri enako v vseh smereh.

9.9 Bela svetloba in spekter

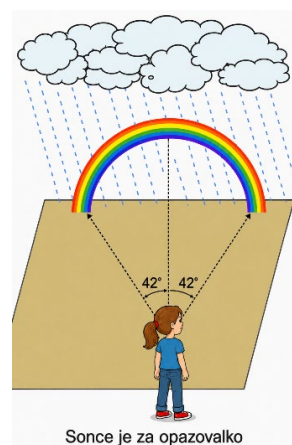
Bela svetloba je sestavljena iz številnih valovnih dolžin, ki jih zaznavamo kot različne barve. Ko bela svetloba prehaja skozi stekleno prizmo, se posamezne valovne dolžine lomijo nekoliko različno. Lomni količnik stekla je namreč odvisen od valovne dolžine. Pojav imenujemo **disperzija**. Vijolična svetloba se praviloma lomi bolj, rdeča pa manj, zato se bela svetloba razkloni v zvezni spekter. Barvna imena so dogovorjene oznake za dele spektra; med njimi ni ostrih fizikalnih meja, ampak postopni prehodi (slika 9.11).



Slika 9.11: Razklon bele svetlobe s prizmo. Različne valovne dolžine se v steklu lomijo različno, zato na zaslonu nastane barvni spekter.

9.10 Mavrica, halo in drugi pojavi v ozračju

Mavrica nastane, ko Sončeva svetloba vstopi v drobne vodne kapljice: ob vstopu se lomi in razkloni, nato se odbije na notranji površini kapljice, ob izstopu pa se ponovno lomi. Pri primarni mavrici je rdeča barva na zunanjem, vijolična pa na notranjem robu. Mavrco najlažje vidimo, kadar je Sonce za našim hrbtom, dežne kapljice pa pred nami. Vsak opazovalec vidi svetlobo iz nekoliko drugega niza kapljic, zato mavrica ni predmet na določenem mestu, temveč geometrijsko določena smer opazovanja (slika 9.12). Šibkejša sekundarna mavrica nastane po dveh notranjih odbojih; njen vrstni red barv je obrnjen.



Slika 9.12: Primarna in sekundarna mavrica. V kapljicah vode se svetloba lomi, razkloni in notranje odbije; sekundarna mavrica je šibkejša in ima obrnjen vrstni red barv.

Visoko v ozračju so lahko drobni šestkotni ledeni kristali, ki svetlobo lomijo podobno kot majhne prizme. Najpogostejši je 22-stopinjski halo, svetel obroč okoli Sonca ali Lune (slika 9.13). Ob straneh Sonca lahko nastaneta svetli barvni pegi, imenovani sosonci. Oblika pojava je odvisna od oblike in usmerjenosti ledenih kristalov. Mavrica torej nastaja predvsem v kapljicah tekoče vode, halo pa v ledenih kristalih.



Slika 9.13: Halo in sosonci. Lom svetlobe v ledenih kristalih lahko ustvari svetel obroč in svetli pegi ob straneh Sonca.

9.11 Barve predmetov in barvni vid

Barva predmeta ni samo lastnost predmeta samega. Odvisna je od **spektralne sestave svetlobe**, ki predmet osvetljuje, od tega, katere valovne dolžine predmet absorbira, odbija ali prepušča, ter od delovanja našega vidnega sistema. Rdeč predmet je pri beli svetlobi videti rdeč, ker močnejše odbija dolgovalovni del vidnega spektra, druge valovne dolžine pa večinoma absorbira. Isti predmet je lahko pod drugače obarvano osvetlitvijo videti povsem drugačen.

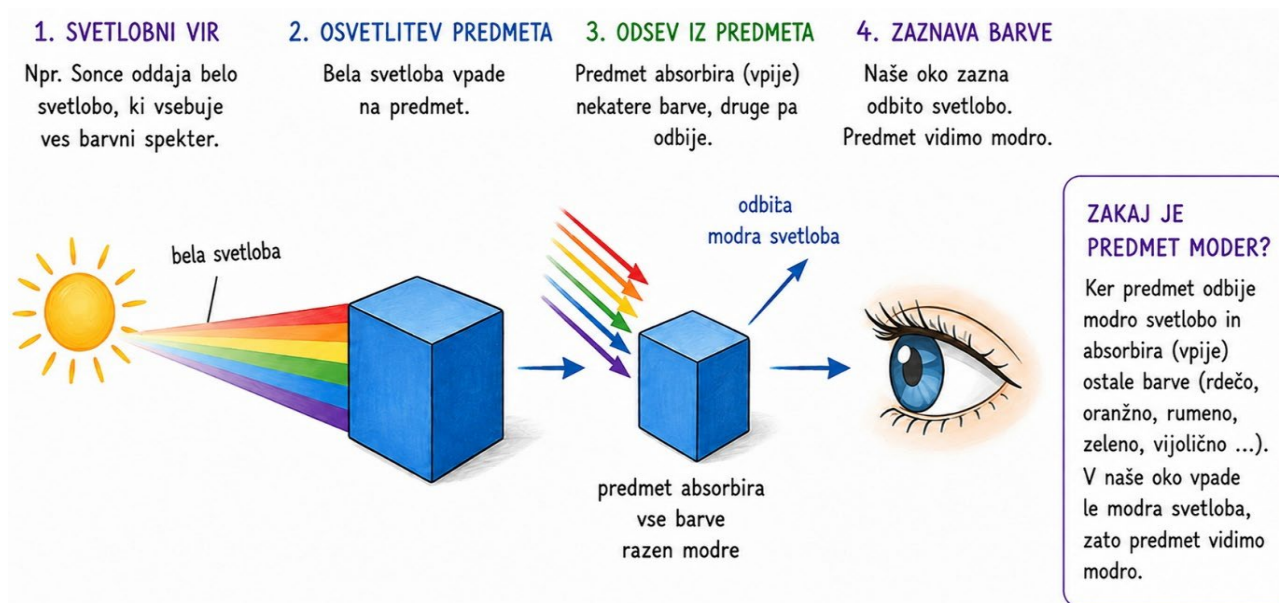
Barvna zaznava nastane v možganih na podlagi signalov, ki jih ustvarijo fotoreceptorji v mrežnici. Svetloba najprej pade na predmet, od njega pride v oko, fotoreceptorji v mrežnici pa se na svetlobo odzovejo in

pošljejo signale v možgane. Možgani nato iz teh signalov oblikujejo zaznavo barve. Zato v resnici ne vidimo le svetlobe same, temveč tudi njeno interakcijo s predmeti in odziv našega vidnega sistema. Slika 9.14 prikazuje to pot od svetlobnega vira do zaznave barve: svetlobni vir oddaja belo svetlobo, predmet del valovnih dolžin absorbira, del pa odbije proti očesu, kjer nastane barvna zaznava.

9.12 Seštevno (aditivno) mešanje barvne svetlobe

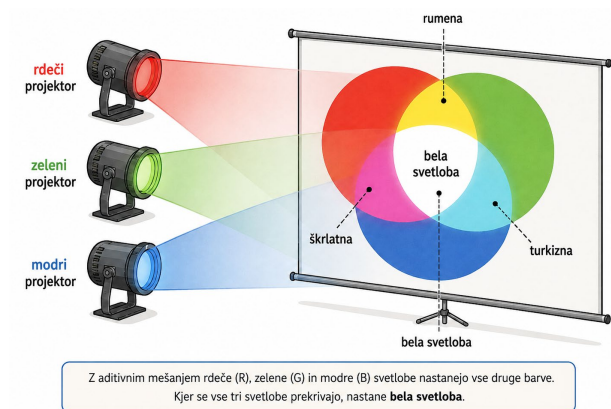
Svetlobni pojavi tako tvorijo povezano celoto: svetloba se od vira širi skozi prostor, na mejah snovi se odbija in lomi, optični sistemi pa z usmerjanjem svetlobe oblikujejo slike, oko pa svetlobo pretvori v živčne signale. Predmete in njihove barve zaznamo šele, ko možgani te signale povežejo z obliko, gibanjem, globino, osvetlitvijo in preteklimi izkušnjami. Kot smo videli pri mavrici, se lahko bela svetloba v kapljicah vode razkloni na različne barvne svetlobe. Lahko pa naredimo tudi obratno: z združevanjem barvnih svetlob dobimo nove barve in pri ustrezni kombinaciji tudi belo svetlobo. Takemu seštevajanju svetlob pravimo aditivno mešanje barvne svetlobe, ki je ponazorjeno na sliki 9.15.

Da so za takšno sestavljanje barv dovolj prav tri osnovne barve (rdeča, modra in zelena), je povezano z delovanjem našega očesa. V človeški mrežnici imamo tri glavne vrste čepnic, ki so najbolj občutljive za kratke,

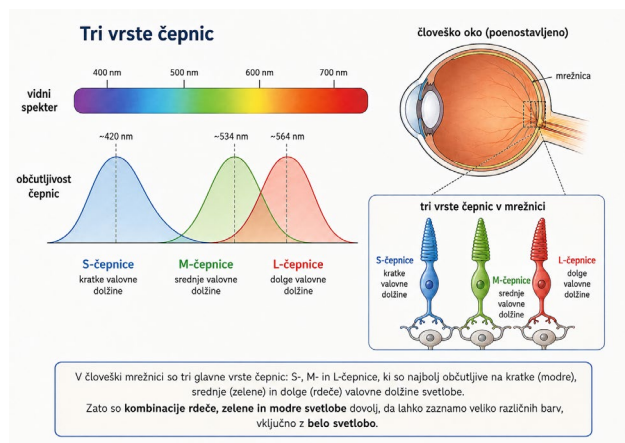


Slika 9.14: Od svetlobnega vira do zaznave barve. Predmet del vpadne svetlobe absorbira, del pa odbije proti očesu; možgani iz odziva fotoreceptorjev oblikujejo barvno zaznavo.

srednje in dolge valovne dolžine vidne svetlobe. Možgani iz primerjave njihovega odziva sestavijo občutek barve. Zato lahko z ustreznimi kombinacijami rdeče, zelene in modre svetlobe ustvarimo zelo veliko različnih barvnih zaznav, tudi zaznavo bele svetlobe (slika 9.16).



Slika 9.15: Aditivno mešanje barvne svetlobe. Z združevanjem rdeče, zelene in modre svetlobe dobimo mešanice barv; kjer se vse tri svetlobe prekrivajo, nastane bela svetloba. Po istem načelu delujejo tudi zasloni monitorjev, televizorjev in telefonov. Slika je prikazana poenostavljeno. Geometrija svetlobnih snopov in vpad svetlobe na platno namreč nista prikazana povsem realistično, temveč simbolično, z namenom prikaza osnovne ideje. V realnosti so projektorji nameščeni bolj pravokotno pred zaslonom, ki ga osvetljujejo, in razporejeni po višini, kot so prikazane svetlobe na zaslonu.



Slika 9.16: Tri vrste čepnic. S-čepnice, M-čepnice in L-čepnice so najbolj občutljive za kratke, srednje in dolge valovne dolžine. Njihovo skupno delovanje omogoča zaznavo širokega spektra barv ter pojasni, zakaj so kombinacije rdeče, zelene in modre svetlobe za naš vid tako pomembne.

Ker naš vidni sistem barve zaznava s primerjanjem odzivov različnih vrst čepnic, lahko z barvno svetlobo ustvarimo zanimive barvne učinke. Med njimi so barvne sence, ki jih lahko preprosto raziskujemo tudi z

otroki. Če belo površino (platno) osvetlimo z dvema barvnima projektorjema, se svetlobi v preseku združita (aditivno mešata) in predmet lahko zakrije svetlobo enega, drugega, ali obeh projektorjev. Slika 9.17 shematsko prikazuje nastanek barvnih senc pri osvetlitvi z rdečo in zeleno svetlobo. Kjer predmet zastre obe svetlobi, nastane črna senca; poleg nje pa nastaneta tudi rdeča (ko predmet zastre zeleno svetlobo) in zelena senca (ko predmet zastre rdečo svetlobo).



Slika 9.17: Barvne sence. Slika shematsko prikazuje nastanek barvnih senc pri osvetlitvi z rdečo in zeleno svetlobo. Kjer obe svetlobi dosežeta platno, nastane rumena osvetlitev. Kjer predmet zastre eno od svetlob, nastane senca v barvi druge svetlobe, kjer zastre obe svetlobi, pa nastane temna senca. Slika je prikazana poenostavljeno. Geometrija svetlobnih snopov in vpad svetlobe na platno namreč nista prikazana povsem realistično, temveč simbolično, z namenom prikaza osnovne ideje. V realnosti so projektorji nameščeni od zadaj za predmetom, ki ga osvetljujejo.

9.13 Odštevalno (subtraktivno) mešanje barv

Poleg aditivnega mešanja barvne svetlobe poznamo tudi odštevalno mešanje barv. Pri njem ne mešamo svetlobnih snopov, temveč bela svetloba prehaja skozi barvne snovi ali filtre. Vsak filter del spektra absorbira in tako od bele svetlobe nekaj »odšteje«, preostanek pa prepušča naprej. Barva, ki jo na koncu vidimo, je zato odvisna od tega, katere valovne dolžine lahko preidejo skozi vse uporabljene filtre (slika 9.18).

Odštevalnega mešanja ne smemo zamenjevati z aditivnim mešanjem. Pri aditivnem mešanju seštevamo svetlobe različnih barv, zato je značilno za projektorje, reflektorje, zaslone in druge svetlobne vire. Pri odštevalnem mešanju pa barvila ali filtri del bele svetlobe absorbirajo, del pa prepuščajo. Zato o

2. Kako premočrtno širjenje svetlobe pojasni nastanek sence in plosence? Primerjajte senco, ki jo ustvari točkast svetlobni vir, s senco pri razsežnem svetlobnem viru.

3. Kaj pravi odbojni zakon? V čem se razlikujeta zrcalni in difuzni odboj? Pojasnite tudi, zakaj je slika v ravnem zrcalu navidezna in je ne moremo ujeti na zaslon.

4. Zakaj se svetloba pri prehodu iz ene prozorne snovi v drugo lomi? Pojasnite pomen lomnega količnika in Snellovega zakona. Zakaj se predmet pod vodo zdi bližje gladini, kot je v resnici?

5. Pod katerimi pogoji nastane popolni odboj? Kako ta pojav omogoča vodenje svetlobe po optičnih vlaknih?

6. Kako zbiralna in razpršilna leča spreminjata smer vpadne svetlobe? Primerjajte realno in navidezno sliko ter pojasnite, kako nastaneta slika v temni kameri in slika na mrežnici očesa.

7. Kako oko izostri sliko in kako nastane vidna zaznava? Pojasnite vlogo roženice, očesne leče, mrežnice, paličic in čepnic ter razliko med kratkovidnostjo in daljnovidnostjo.

8. Zakaj se bela svetloba v prizmi razkloni v spekter in kako isti pojavi loma, disperzije in notranjega odboja sodelujejo pri nastanku mavrice? V čem se sekundarna mavrica razlikuje od primarne?

9. Od česa je odvisna barva, ki jo zaznamo pri predmetu? Pojasnite vlogo odbijanja in absorpcije svetlobe ter treh vrst čepnic. Kako je s tem povezano aditivno mešanje rdeče, zelene in modre svetlobe ter nastanek bele svetlobe na zaslonih?

10. V čem se aditivno in odštevalno mešanje barv bistveno razlikujeta? Pojasnite, zakaj pri prehodu bele svetlobe skozi rumeni in turkizni kozarček na koncu vidimo predvsem zeleno svetlobo, ter povežite to z mešanjem barvil, na primer vodenih barvic ali barvnih tušev.

Nosilna razlaga: Vrtenje Zemlje povzroča menjavanje dneva in noči, naklon njene osi pri kroženju okoli Sonca letne čase, gibanje in položaji Lune glede na Zemljo in Sonce pa lunine mene in mrke.

Opazovanje neba je človeka spremljalo od pradavnine. Po njem so se ravnali lovci, pomorščaki in popotniki, z opazovanjem Sonca in Lune pa so ljudje določali čas, letne čase in ritem vsakdanjega življenja. Astronomija je veda, ki proučuje nebesna telesa in pojave v vesolju. V tem poglavju se bomo omejili na tri telesa, ki jih najneposredneje opazujemo in katerih gibanje najbolj vpliva na življenje na Zemlji: Zemljo, Sonce in Luno.

Zemlja je planet, ki kroži okoli Sonca, Sonce pa je zvezda v središču Osončja in oddaja svetlobo. Luna je naravni satelit Zemlje. Medsebojne lege in gibanje teh treh teles pojasnita številne pojave, ki jih lahko opazujemo brez posebnih naprav: menjavanje dneva in noči, nastanek letnih časov, lunine mene ter sončev in lunin mrk. Hkrati prav opazovanje teh pojavov pokaže, kako pomembna sta v fiziki in astronomiji prostorski prikaz ter razumevanje gibanja.

Razumevanje Zemlje kot vesoljskega telesa se je močno poglobilo z razvojem vesoljskih raziskav. Leta 1957 je bil v orbito izstreljen prvi umetni satelit Sputnik 1, leta 1961 je Jurij Gagarin kot prvi človek obkrožil Zemljo, leta 1969 pa je človek prvič stopil na Lunino površje. Ti pomembni mejniki so omogočili, da Zemlje, Lune in gibanja nebesnih teles nismo več proučevali le z opazovanjem z Zemljinega površja, temveč tudi neposredno iz vesolja. Kot prikazuje slika 10.1, se je raziskovanje neba postopoma razvilo od preprostega opazovanja do uporabe umetnih satelitov, poletov v orbito in odprav na Luno. Takšne raziskave so močno

razširile naše razumevanje gibanja Zemlje ter njenih odnosov s Soncem in Luno. To znanje pa ni pomembno le za astronomijo in nadaljnje raziskovanje vesolja, temveč tudi za življenje na Zemlji, saj nam pomaga razumeti dan in noč, letne čase, merjenje časa ter druge naravne ritme, ki vplivajo na naše okolje in vsakdan.



Slika 10.1: Zemlja, Sonce, Luna in vesoljske raziskave. Opazovanje neba je vodilo do razvoja astronomije, satelitov, poletov v orbito in odprav na Luno. Velikosti nebesnih teles in njihove medsebojne razdalje na slikah niso prikazane v merilu.

10.1 Zemlja, Sonce in Luna kot vesoljska telesa

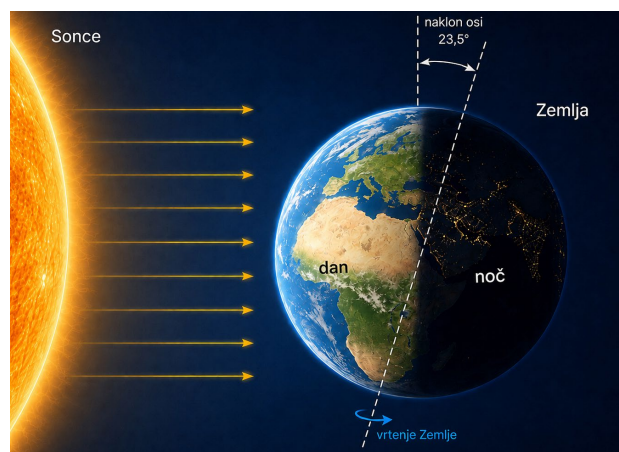
Zemlja je približno kroglasto telo s polmerom okoli 6370 km. V fizikalnem smislu sta za nas posebej pomembni dve njeni gibanji: **vrtenje okoli lastne osi** in **kroženje okoli Sonca**. Zemlja se okoli svoje osi

zavrti približno enkrat na dan, Sonce pa obkroži v približno enem letu. Njena os vrtenja ni pravokotna na ravnino tirnice, temveč je glede na pravokotnico **nagnjena za približno $23,5^\circ$** . Med kroženjem okoli Sonca ostaja usmerjena približno v isto smer v prostoru. Prav ta naklon in ohranjanje smeri osi sta ključna za nastanek letnih časov. Zemlja obkroži Sonce v približno 365,25 dneva. Ker koledarsko leto obsega celo število dni, razliko nadomeščamo s **prestopnimi leti**, pri katerih februarju dodamo en dan. Prestopni dan zato praviloma dodamo vsaka štiri leta.

Sonce je osrednja zvezda **Osončja** in glavni vir energije za Zemljo. Njegovo sevanje segreva Zemljino površje, poganja vremenske procese in kroženje vode ter rastlinam omogoča fotosintezo. Posredno je od Sončeve energije odvisna skoraj vsa živa narava na Zemlji.

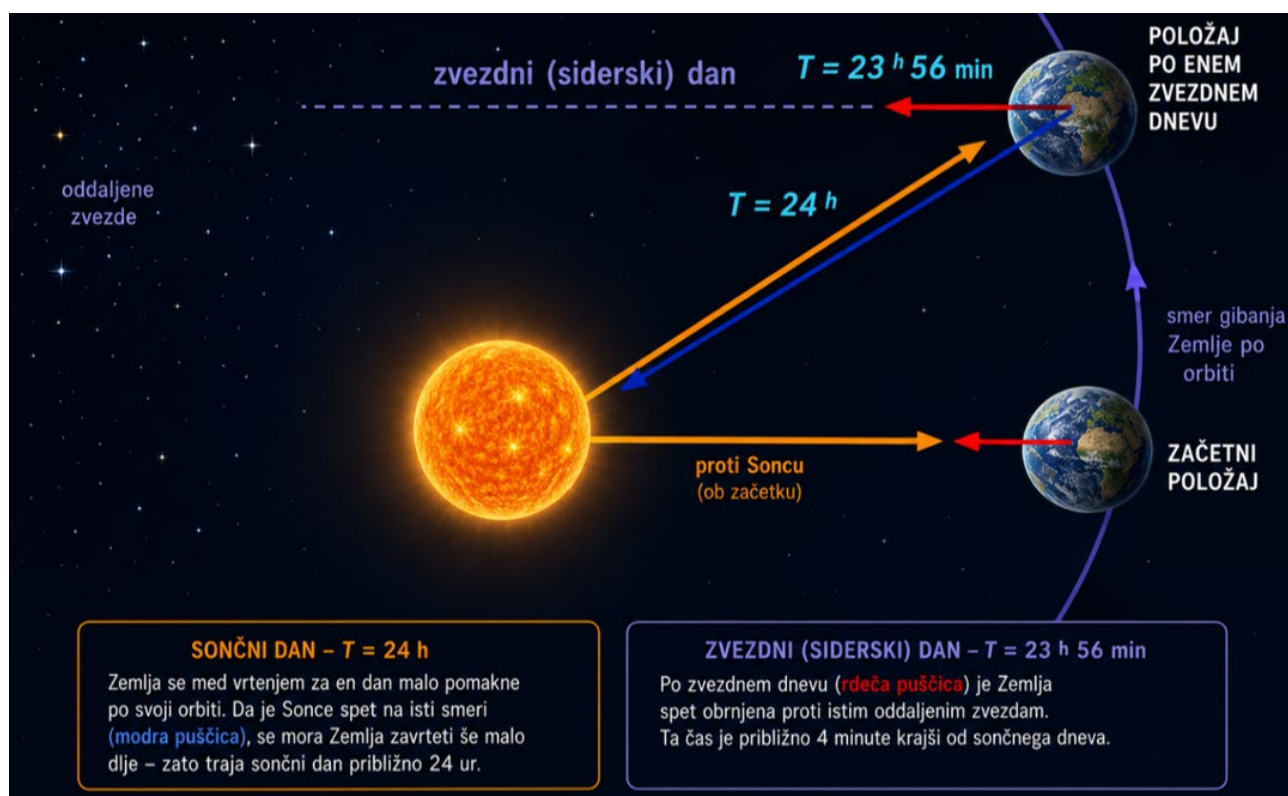
Luna je Zemljin naravni satelit. Sama ne oddaja svetlobe, temveč odbija Sončevo svetlobo. Njeno gibanje okoli Zemlje je povezano z luninimi menami in mrki, njeno gravitacijsko delovanje pa pomembno prispeva k plimovanju morij.

10.2 Dan in noč



Slika 10.2: Dan in noč. Sonce osvetljuje približno polovico Zemlje. Zaradi vrtenja Zemlje okoli njene osi se posamezno območje izmenično znajde na osvetljeni strani, kjer je dan, in na neosvetljeni strani, kjer je noč.

Sonce v vsakem trenutku osvetljuje približno polovico Zemlje. Na strani, obrnjeni proti Soncu, je dan, na nasprotni strani pa noč. Meja med osvetljenim in neosvetljenim delom Zemlje ni povezana z naklonom njene osi, temveč je odvisna od smeri, iz katere prihaja Sončeva svetloba. Ker se Zemlja vrti okoli svoje osi, se



Slika 10.3: Zvezdni in sončni dan. Zemlja se glede na oddaljene zvezde enkrat zavrti v približno 23 urah in 56 minutah. Ker se medtem nekoliko premakne tudi po tirnici okoli Sonca, mora opraviti še majhen dodaten zasuk, da je isti kraj ponovno obrnjen proti Soncu. Zato sončni dan traja približno 24 ur.

posamezni kraji na njenem površju izmenično pomikajo skozi osvetljeni in temni del. Tako nastaja menjavanje dneva in noči, kot prikazuje slika 10.2.

Čas vrtenja Zemlje lahko določimo glede na različna nebesna telesa. Če spremljamo njeno vrtenje glede na zelo oddaljene zvezde, se Zemlja v začetno lego vrne po približno 23 urah in 56 minutah. Temu času pravimo **zvezdni ali siderski dan**. V tem času pa se Zemlja nekoliko premakne tudi po svoji tirnici okoli Sonca. Če naj bo določen kraj ponovno obrnjen naravnost proti Soncu, se mora Zemlja zato zavrteti še za majhen dodatni kot. Povprečni **sončev dan** tako traja 24 ur oziroma približno štiri minute dlje od zvezdnega dneva.

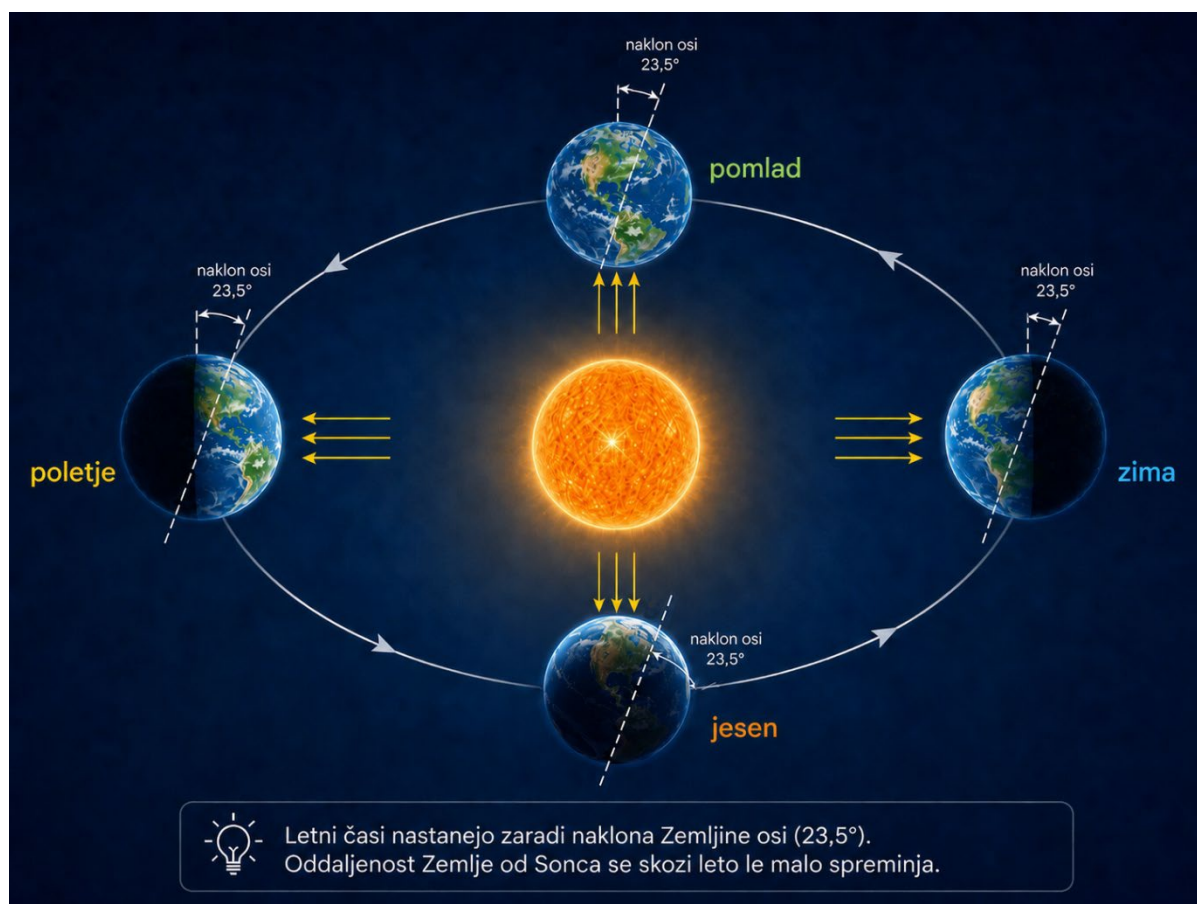
Razliko med obema načinoma merjenja dneva ponazarja slika 10.3. Po enem zvezdnem dnevu je Zemlja znova enako usmerjena glede na oddaljene zvezde, vendar zaradi premika po tirnici še ni povsem enako usmerjena proti Soncu. Šele po dodatnem zasuku se Sonce na nebu ponovno znajde v isti legi. Za merjenje časa v vsakdanjem življenju uporabljamo

sončni dan, zvezdni dan pa je pomemben predvsem pri astronomskih opazovanjih.

10.3 Letni časi

Letni časi ne nastanejo zato, ker bi bila Zemlja poleti bistveno bližje Soncu kot pozimi, temveč predvsem zaradi **naklona Zemljine osi**. Zemljina os je glede na pravokotnico na ravnino tirnice nagnjena za približno $23,5^\circ$ in med kroženjem okoli Sonca ostaja usmerjena približno v isto smer v prostoru. Zato je v enem delu leta proti Soncu bolj nagnjena severna, v drugem pa južna polobla, kot prikazuje slika 10.4.

Ko je severna polobla nagnjena proti Soncu, je Sonce na nebu višje, njegova svetloba pa vpada na površje bolj navpično. Enaka količina Sončevega sevanja se zato porazdeli po manjši površini, ki tako prejme več energije. Hkrati je Sonce dlje časa nad obzorjem, zato so dnevi daljši in je čas osvetlitve večji. Zaradi obeh učinkov severna polobla prejme več Sončeve energije in tam je poletje. Južna polobla je tedaj nagnjena proč od



Slika 10.4: Letni časi. Zaradi naklona Zemljine osi se med kroženjem okoli Sonca spreminjata kot vpada Sončevih žarkov in dolžina osvetlitve posamezne poloble. Ko je na severni polobli poletje, je na južni zima, čez približno pol leta pa se razmere obrnejo. Prikaz velikosti teles in njihovih razdalj ni v merilu.

Sonca: njegova svetloba zato vpada nanjo pod manjšim kotom, dnevi so krajši in prejme manj energije, zato je tam zima. Čez približno pol leta se položaj obrne – na severni polobli je zima, na južni pa poletje.

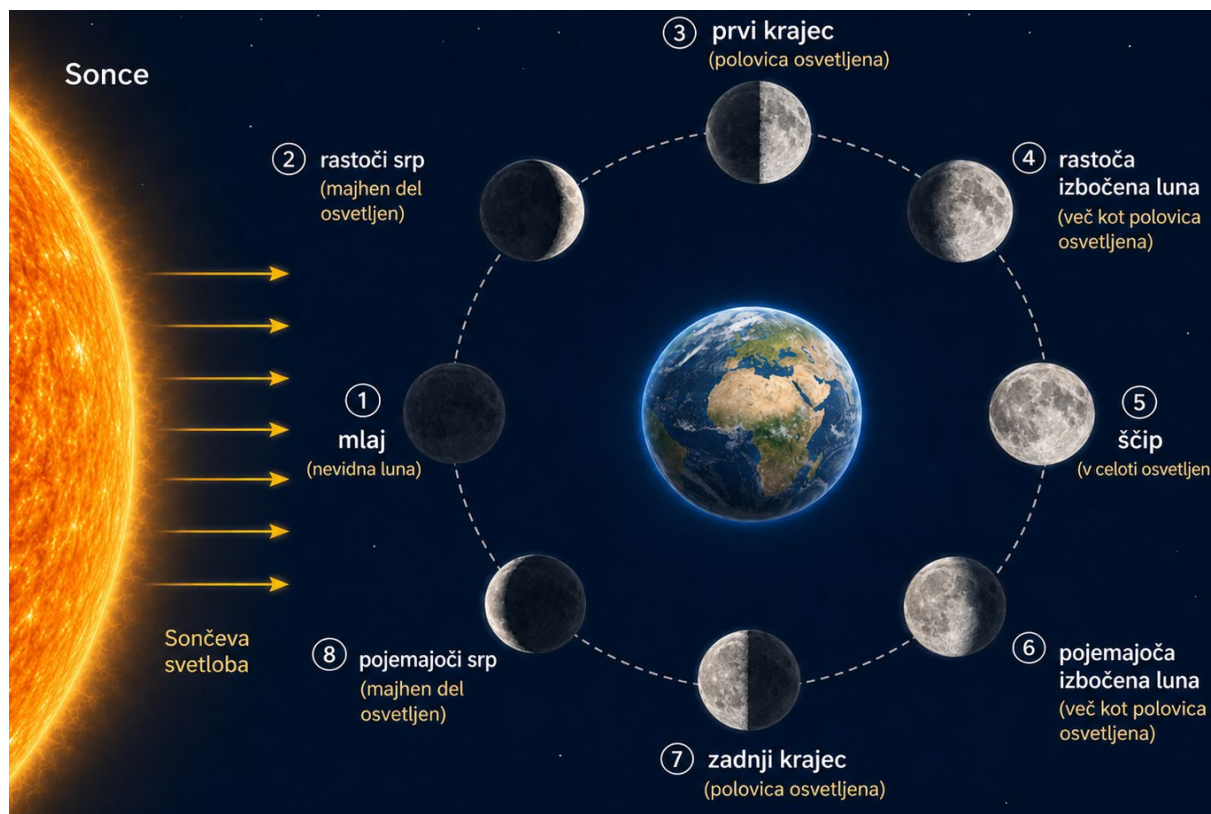
Dejstvo, da sta na severni in južni polobli hkrati nasprotna letna časa, jasno kaže, da jih ne povzroča oddaljenost Zemlje od Sonca. Obe polobli sta namreč v danem trenutku praktično enako oddaljeni od Sonca, vendar so zaradi naklona Zemljine osi razmere na njihju različne. Poleg tega je Zemlja Soncu najbližja v začetku januarja, ko je na severni polobli zima, najdlje pa v začetku julija, ko je tam poletje.

Okoli spomladanskega in jesenskega **enakonočja** nobena polobla ni izraziteje nagnjena proti Soncu. Dan in noč sta tedaj na večjem delu Zemlje približno enako dolga, obe polobli pa prejemata primerljivo količino Sončeve energije. Okoli **poletnega in zimskega solsticija** je ena od polobel najbolj nagnjena proti Soncu oziroma proč od njega. Takrat dosežeta dolžina dneva in višina Sonca na nebu svoji skrajni vrednosti.

10.4 Luna in lunine mene

Luna kroži okoli Zemlje in se hkrati vrti tudi okoli svoje osi. Zemljo glede na oddaljene zvezde obkroži v približno 27,3 dneva; temu času pravimo zvezdni ali siderski mesec. V približno enakem času se Luna tudi enkrat zavrti okoli svoje osi. Ker sta oba časa skoraj enaka, je njeno vrtenje sinhronizirano s kroženjem in zato z Zemlje vedno vidimo približno isto stran Lune. To pa ne pomeni, da je njena druga stran vedno temna – tudi njo izmenično osvetljuje Sonce. Ker se med enim Luninim obhodom okoli Zemlje tudi Zemlja premakne po svoji tirnici okoli Sonca, mora Luna do ponovitve enake medsebojne lege opraviti še del dodatne poti. Zato od enega mlaja do naslednjega preteče približno 29,5 dneva. Temu času pravimo sinodski mesec in po njem se ponavlja zaporedje Luninih men.

Luna ne oddaja lastne svetlobe, temveč **odbija Sončevo svetlobo**. Sonce vedno osvetljuje približno polovico Lune, z Zemlje pa zaradi spreminjanja njene lege vidimo različno velik del osvetljene polovice. Tako nastajajo Lunine mene, prikazane na sliki 10.5. Pri **mlaju** (prazna Luna) je Luna približno med Soncem in



Slika 10.5: Lunine mene. Luna ne oddaja lastne svetlobe, temveč odbija Sončevo svetlobo. Sonce vedno osvetljuje približno polovico Lune, zaradi spreminjanja njene lege glede na Zemljo in Sonce pa z Zemlje vidimo različno velik osvetljeni del njene površine. Zaporedje od mlaja prek prvega krajca in ščipa do zadnjega krajca se ponovi približno vsakih 29,5 dneva.

Zemljo, zato je proti nam obrnjena predvsem njena neosvetljena stran in je skoraj ne vidimo. Nato se pokaže rastoči srp, osvetljeni del pa se postopoma povečuje. Pri **prvem kraju** vidimo osvetljeno polovico navidezne Lunine ploskve, nato sledi rastoča izbočena Luna. Pri **ščipu** (polna Luna) vidimo osvetljeno celotno navidezno ploskev. Zatem se osvetljeni del zmanjšuje: sledijo pojemajoča izbočena Luna, **zadnji krajec** in pojemajoči srp, nato pa se zaporedje ponovno začne z mlajem.

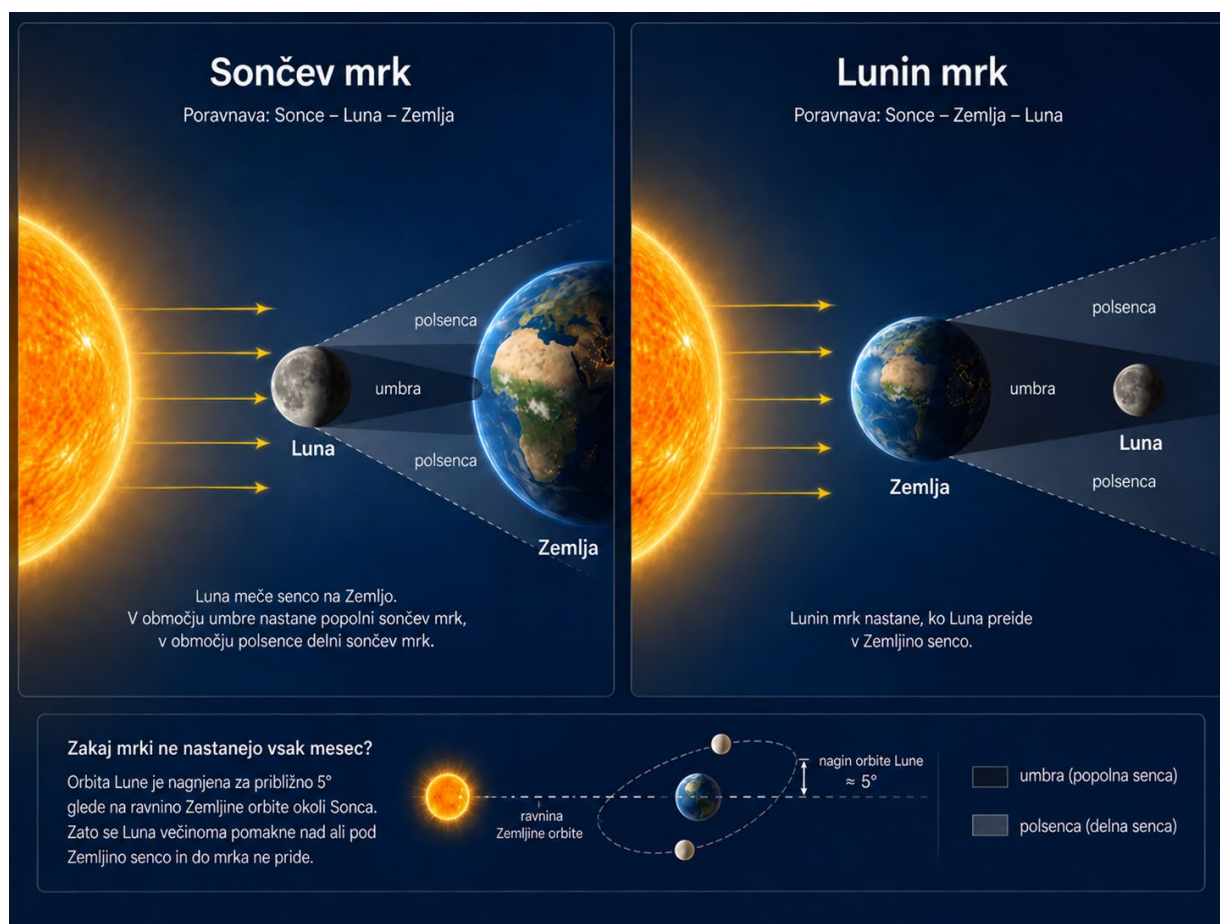
10.5 Sončev in lunin mrk

Mrki nastanejo, kadar so Sonce, Zemlja in Luna dovolj **natančno poravnani**. Pri tem eno od teles zaide v senco drugega ali pa njegova senca pade na drugo telo. Potek obeh vrst mrka prikazuje slika 10.6.

Sončev mrk nastane ob mlaju, ko se Luna znajde med Soncem in Zemljo ter njena senca pade na Zemljino površje. Opazovalci v ozkem območju **umbre** oziroma

popolne sence, kjer Luna Sonce popolnoma zakrije, vidijo popolni sončev mrk. V širšem območju plosence Luna zakrije le del Sončeve ploskve, zato tam opazujemo delni sončev mrk. Ker Lunina umbra doseže le majhen del Zemljinega površja, je popolni sončev mrk viden samo iz razmeroma ozkega pasu. **Lunin mrk** nastane ob ščipu, ko je Zemlja med Soncem in Luno ter Luna preide v Zemljino senco. Če celotna Luna vstopi v umbro, opazujemo popolni lunin mrk. Če v umbro vstopi le del Lune, je mrk delen, če Luna preide samo skozi Zemljino plosenco, pa govorimo o plosenčnem luninem mrku. Med popolnim luninim mrkom Luna pogosto postane rdečkasta, saj del Sončeve svetlobe preide skozi Zemljino ozračje, kjer se svetloba lomi, krajše valovne dolžine pa se močneje sipajo. Do Lune zato pride predvsem rdečkasta svetloba.

Mrki se ne pojavijo ob vsakem mlaju in ščipu. Ravnina Lunine tirnice je namreč glede na ravnino Zemljinega kroženja okoli Sonca nagnjena za približno 5° . Luna



Slika 10.6: Sončev in lunin mrk. Sončev mrk nastane, ko ob mlaju Lunina senca pade na Zemljo, lunin mrk pa, ko ob ščipu Luna preide v Zemljino senco. Zaradi približno 5° naklona Lunine tirnice mrki ne nastanejo vsak mesec, temveč le takrat, ko je Luna dovolj blizu enega od vozlov svoje tirnice.

zato večinoma potuje nekoliko nad ali pod zveznico med Soncem in Zemljo: ob mlaju njena senca navadno zgreši Zemljo, ob ščipu pa Luna obide Zemljino senco. Do mrka pride le takrat, ko je Luna ob mlaju ali ščipu dovolj blizu enega od dveh mest, kjer njena tirnica seka ravnino Zemljine tirnice. Ti mesti imenujemo **vozla Lunine tirnice**. Sončev in lunin mrk se razlikujeta tudi po območju, s katerega ju lahko opazujemo. Lunin mrk je viden skoraj z vse nočne polovice Zemlje, zato ga lahko hkrati spremlja veliko ljudi. Popolni sončev mrk pa je viden le iz ozkega pasu, po katerem se premika

Lunina umbra. Za posamezen kraj na Zemlji je zato popolni sončev mrk precej redek pojav.

Zemlja, Sonce in Luna tvorijo navidezno preprost, vendar izjemno poučen sistem. Z vrtenjem Zemlje pojasnimo menjavanje dneva in noči, z njenim kroženjem okoli Sonca in naklonom osi nastanek letnih časov, s kroženjem Lune okoli Zemlje lunine mene, s posebno poravnavo vseh treh teles pa mrke. To poglavje tako lepo pokaže, kako lahko iz vsakdanjega opazovanja neba postopoma pridemo do prostorskega in fizikalnega razumevanja gibanja nebesnih teles.



Vprašanja za preveritev razumevanja

1. Kateri dve osnovni gibanji Zemlje sta najpomembnejši za pojave, ki jih opazujemo na nebu, in kakšno vlogo ima približno $23,5^\circ$ nagnjena Zemljina os?

2. Kako vrtenje Zemlje okoli lastne osi povzroča menjavanje dneva in noči? Pojasnite, zakaj meja med dnevno in nočno stranjo Zemlje sama po sebi ni posledica naklona Zemljine osi.

3. V čem se razlikujeta zvezdni oziroma siderski dan in sončni dan? Zakaj sončni dan traja približno štiri minute dlje od zvezdnega dneva?

4. Zakaj nastanejo letni časi? Pojasnite, kako naklon Zemljine osi vpliva na kot vpada sončne svetlobe in dolžino dneva ter zakaj letnih časov ne povzroča spreminjanje oddaljenosti Zemlje od Sonca.

5. Kaj se dogaja ob enakonočjih in kaj ob solsticijih? Kako se pri teh legah spreminjata dolžina dneva in višina Sonca na nebu na posamezni polobli?

6. Zakaj z Zemlje vedno vidimo približno isto stran Lune? Pojasnite sinhronizirano vrtenje Lune ter razliko med siderskim mesecem približno 27,3 dneva in sinodskim mesecem približno 29,5 dneva.

7. Kako nastajajo Lunine mene? Pojasnite zaporedje od mlaja prek prvega krajca in ščipa do zadnjega krajca ter zakaj mene niso posledica Zemljine sence na Luni.

8. Kako nastane sončev mrk in kakšna je razlika med popolnim in delnim sončevim mrkom? Pojasnite pomen umbre in plosence ter zakaj je popolni sončev mrk viden le iz ozkega pasu na Zemlji.

9. Kako nastane lunin mrk in v čem se geometrija tega pojava razlikuje od sončevega mrka? Zakaj lahko Luna med popolnim luninim mrkom postane rdečkasta?

10. Zakaj sončev in lunin mrk ne nastaneta ob vsakem mlaju oziroma ščipu? Pojasnite pomen približno 5° naklona Lunine tirnice in vozlov ter zakaj je lunin mrk običajno viden z večjega območja Zemlje kot popolni sončev mrk.

ZAČETNO NARAVOSLOVJE – FIZIKA: UČBENIK ZA ŠTUDIJSKI PROGRAM PREDŠOLSKA VZGOJA

MARKO GOSAK, MARKO MARHL^{1, 2, 3}

¹ Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Maribor, Slovenija

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija

³ Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta, Maribor, Slovenija

marko.gosak@um.si, marko.marhl@um.si

Učbenik *Začetno naravoslovje – fizika* je namenjen predvsem študentom študijskega programa Predšolska vzgoja in drugim, ki se ukvarjajo z naravoslovnimi vsebinami v zgodnjem obdobju izobraževanja. Na konceptualno jasn, nazoren in strokovno korekten način obravnava temeljne fizikalne pojme, povezane z merjenjem, gibanjem in silami, energijo, toploto, snovjo, tlakom in vzgonom, nihanjem, valovanjem in zvokom, elektriko in magnetizmom, svetlobo, barvami in vidom ter osnovami astronomije. Matematična obravnava je omejena na najnujnejše, poudarek pa je na razumevanju pojavov, vsakdanjih primerih, opazovanju, merjenju in preprostih poskusih. Učbenik želi bodočim vzgojiteljem ponuditi zanesljivo fizikalno osnovo za samozavestno in strokovno pravilno približevanje naravoslovnih pojavov otrokom.

DOI

[https://doi.org/
10.18690/um.pef.4.2026](https://doi.org/10.18690/um.pef.4.2026)

ISBN

978-961-299-196-8

Ključne besede:

fizika,
začetno naravoslovje,
predšolska vzgoja,
naravoslovna pismenost,
fizikalni pojavi,
poskusi



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.pef.4.2026](https://doi.org/10.18690/um.pef.4.2026)

ISBN
978-961-299-196-8

Keywords:

physics,
introductory science,
preschool education,
scientific literacy,
physical concepts,
experiments

PRINCIPLES OF NATURAL SCIENCES – PHYSICS: TEXTBOOK FOR THE PRESCHOOL EDUCATION STUDY PROGRAMME

MARKO GOSAK, MARKO MARHL^{1,2,3}

¹ University of Maribor, Faculty of Medicine, Maribor, Slovenia

² University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor, Slovenia

³ University of Maribor, Faculty of Education, Maribor, Slovenia
marko.gosak@um.si, marko.marhl@um.si

Principles of Natural Sciences – Physics is primarily intended for students of the Preschool Education study programme and for others involved in early science education. It presents fundamental physical concepts in a clear, visual, and scientifically sound manner, covering measurement, motion and forces, energy, heat, matter, pressure and buoyancy, oscillations, waves and sound, electricity and magnetism, light, colour and vision, and basic astronomy. Mathematical treatment is kept to what is essential, while emphasis is placed on conceptual understanding, everyday phenomena, observation, measurement, and simple experiments. The textbook aims to provide future preschool teachers with a reliable foundation in physics that will help them explain natural phenomena to children accurately, confidently, and in an accessible way.





Univerza v Mariboru

Pedagoška fakulteta

iz recenzij...

Pomembna prednost učbenika je njegova premišljena prilagoditev študentom študijskega programa Predšolska vzgoja. Fizikalni pojmi so predstavljeni jasno, postopno in razumljivo, brez nepotrebne matematične zahtevnosti, vendar ob ohranjanju strokovne natančnosti. Razlage izhajajo iz opazovanja, merjenja in pojavov iz vsakdanjega življenja ter se smiselno navezujejo na otroško radovednost in raziskovanje narave. S tem učbenik bodočim vzgojiteljem ne posreduje le potrebnega znanja, temveč jim ponuja tudi dobro osnovo za primerno razlago naravoslovnih pojavov otrokom.

Marko Jagodič
II. gimnazija Maribor

... da se učbenik Začetno naravoslovje – fizika Marka Gosaka in Marka Marhla sklada s sodobnimi spoznanji stroke oziroma strok, ki opredeljujejo obravnavano področje. Recenzirani učbenik izpolnjuje kriterije za objavo. Doseganje predvidenih študijskih rezultatov, zapisanih v učnem načrtu predmeta Začetno naravoslovje, študijskega programa Predšolska vzgoja bo z uporabo recenziranega učbenika nedvomno učinkovitejše, poglobljenejše in za študente zanimivejše.

Jerneja Pavlin
Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta)