

**Mitja Slavinec, Aleksander Zidanšek**

# **Fizika, narava, življenje**

Dodatek k učbenikoma za pouk fizike v 8. in 9. razredu  
osnovnošolskega izobraževanja

DZS

## 1.1 Uvod v fiziko

V fiziki se merijo različne fizikalne količine, kot so na primer dolžina, čas, hitrost, masa, energija ... Rezultat meritve se zapiše z merskim številom in fizikalno enoto. Na primer: meritev časa lahko zapišemo kot 15,3 s, meritev dolžine kot 8,62 m ali meritev hitrosti kot 51 km/h. Za meritve se uporabljajo različne merske priprave, na primer ura za meritev časa, merski trak za meritev dolžine ali tehtnica za meritev mase.

Napaka pri rezultatu meritve ima lahko različne vzroke. Lahko je meritev narobe zasnovana. Če merimo dolžino mize in narobe postavimo začetek merilnega traku, bo rezultat narobe. Druga možnost za napako je napaka merilca, ki narobe prebere rezultat meritve pri odčitavanju izmerjene vrednosti. Tretja možnost za napako je omejeno število decimalnih mest, ki ga lahko preberemo z merilne naprave. Obstaja še veliko drugih možnosti za napako, na primer, da merilna naprava ni dovolj natančna.

Pri meritvi se lahko pojavijo različne napake, ki vplivajo na rezultat. Zato je celotna napaka pri meritvi sestavljena iz vseh posameznih napak. Celotno napako lahko ocenimo tako, da seštejemo vse posamezne napake.

### ZGLED

*Oceni napako meritve dolžine mize. Miza je dolga okoli 120 cm, merimo jo z milimetrskim trakom. Ker merimo z milimetrskim trakom, meritev ne more biti bolj natančna kot na 1 mm, torej je zaokrožitvena napaka 1 mm. Če ima merski trak napako, ker ni popolnoma natančno umerjen, je možna dodatna sistemska napaka. Merska napaka je odvisna od spretnosti merilca. Najlažje jo ugotovimo tako, da meritev večkrat ponovimo in zapišemo vse izmerjene rezultate. Merski rezultati so navadno porazdeljeni v bližini prave vrednosti. Za naš primer je ta napaka navadno nekaj milimetrov. Celotna napaka je vsota posameznih napak, torej je velika nekaj milimetrov.*

## Pretvarjanje enot

V fiziki pogosto delamo z različnimi enotami. Te je treba pri računanju pretvoriti, tako da lahko količine med seboj primerjamo. Sledi nekaj zgledov, kako pretvarjamo količine:

### ZGLEDI

1. Padalec je skočil z balona z višine 39 km. Koliko je ta višina v metrih in koliko v milimetrih?

$$h = 39 \text{ km} = 39 \cdot 1000 \text{ m} = 39000 \text{ m} = 39000 \cdot 1000 \text{ mm} = 39000000 \text{ mm}$$

2. Voznik je natočil 20 litrov bencina. Nato je dotočil še dvajsetino kubičnega metra bencina. Koliko bencina je natočil?

$$V = 20 \text{ l} + (1/20) \cdot 1 \text{ m}^3 = 20 \text{ l} + (1/20) \cdot 1000 \text{ l} = 20 \text{ l} + 50 \text{ l} = 70 \text{ l}$$



Slika 1: Padalec.

## Sklepni račun

Sklepni račun uporabimo, kadar sta dve količini sorazmerni. Sledi nekaj zgledov.

### ZGLEDI

1. Elektrarna v enem letu porabi 12 000 ton premoga. Koliko premoga porabi v enem mesecu?

$$m_1 = 12000 \text{ t}, t_1 = 1 \text{ leto}, m_2 = ?, t_2 = 1 \text{ mesec}$$

Velja:  $m_1 : m_2 = t_1 : t_2$  in odtod:

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{t_2}{t_1} = 12000 \text{ ton} \cdot \frac{1 \text{ mesec}}{12 \text{ mesec}} = 1000 \text{ ton}.$$

2. Avto za pot po avtocesti do 100 km oddaljenega mesta porabi 7 litrov bencina. Koliko bencina porabi za pot do 300 km oddaljenega mesta?

$$V_1 = 7 \text{ l}, s_1 = 100 \text{ km}, V_2 = ?, s_2 = 300 \text{ km}$$

Velja:  $V_1 : V_2 = s_1 : s_2$  in odtod:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{s_2}{s_1} = 7 \text{ l} \cdot \frac{300 \text{ km}}{100 \text{ km}} = 21 \text{ l}.$$

## Velike in majhne razdalje

V astronomiji so razdalje zelo velike. Kot enoto zato uporabljajo dolžino poti, ki jo svetloba prepotuje v praznem prostoru v enem letu. Imenujemo jo **svetlobno leto**. Svetloba ima v praznem prostoru vedno enako hitrost, to je 299792458 m/s, ki je največja hitrost v naravi.

### ZGLED

Koliko metrov je svetlobno leto?

Eno leto ima 365,25 dni, en dan 24 ur, ena ura 3600 sekund.

Zato velja:

$$\text{svetlobno leto} = c \cdot t = 299792458 \text{ m} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}.$$

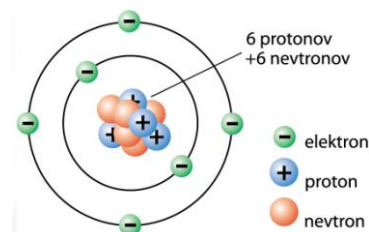
Ta enota je torej velika približno 10 bilijonov kilometrov.



Slika 2: Sončni sestav.

Drugi enoti za dolžino v astronomiji sta astronomska enota in parsek. Ugotovi sam, kako veliki sta.

V svetu atomov so razdalje bistveno manjše. Atomi so veliki okoli  $10^{-10}$  m, to je ena desetina nanometra (0,1 nm), saj je  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ . V zadnjem času se hitro razvija tehnologija na velikostni skali nanometra, ki ji rečemo nanotehnologija.



Slika 3: Atom.

### **VPRAŠANJA**

1. Zakaj imajo vse meritve v fiziki napako? Bi bilo možno narediti meritev, ki bi bila popolnoma točna?
2. Zakaj je treba pri računanju v fiziki pretvarjati med enotami?
3. Zakaj pri izračunu celotne napake seštevamo posamezne napake? Kaj se zgodi, če imajo posamezne napake nasproten predznak?

### **NALOGE**

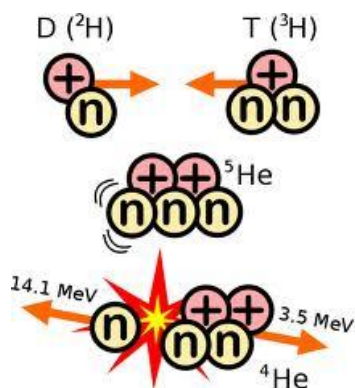
1. Pri meritvi časa tekača na 100 m s štoparico kaže ura stotinke sekunde. Merilec ima natančnost desetinko sekunde. Kolikšna je napaka pri meritvi?
2. Zaradi okvare na cevi izteče v eni uri 10 litrov vode. Koliko vode izteče v enem letu?
3. Koliko sekund je v enem stoletju?

## 1.2 Delo in energija

Človek za svoje aktivnosti potrebuje energijo, ki jo lahko dobi iz fosilnih ali jedrskih goriv ali pa iz obnovljivih energijskih virov. Obnovljivi viri so na videz okolju bolj prijazni kot neobnovljivi. Pri oceni vplivov na okolje je treba temeljito premisliti vse učinke posameznih virov. Les je na primer obnovljiv vir energije, a pretirano kurjenje lesa v mestih vseeno močno onesnažuje zrak. Zemeljski plin je neobnovljiv vir, a je pri gorenju dosti bolj čist in manj onesnažuje.

V zadnjem času razvijajo nove čiste energijske tehnologije, ki bi hkrati znižale ceno in zmanjšale okoljske vplive energije. Zelo hitro narašča uporaba zemeljskega plina, ki je čistejši od nafte in ki mu z razvojem tehnologije pridobivanja tudi pada cena. Pri vseh energijskih virih nove tehnologije prispevajo k zniževanju cene in zmanjševanju škodljivih vplivov na okolje. Pri izgorevanju fosilnih goriv vedno boljše čistilne naprave in pri vozilih katalizatorji znižujejo emisije škodljivih plinov. Uveljavljajo se tehnologije za utekočinjenje oziroma uplinjenje premoga, z novo tehnologijo vrtnanja so dostopne zaloge nafte in zemeljskega plina iz skrilavcev ter iz globokomorskih nahajališč več kilometrov globoko.

Pri jedrski energiji še vedno ni zadovoljivo rešeno vprašanje radioaktivnih odpadkov, veliko raziskav pa je posvečenih izdelavi fuzijskega reaktorja. Ta bi energijo pridobival pri zlitju težkih vodikovih jeder devterija in tritija z reakcijo, kot to poteka na Soncu. Mednarodno raziskovalno združenje ITER predvideva, da bodo zgradili prvi delujoči eksperimentalni fuzijski reaktor do leta 2046. Bistvena težava je predvsem pri razvoju novih materialov, ki morajo vzdržati visoke temperature dovolj časa. Ko bodo tehnološke ovire premagane, bo fuzijski reaktor omogočil pridobivanje poceni energije z majhnimi vplivi na okolje.



Slika 4: Reakcija devterija in tritija.



Slika 5: Tokamak.

Tudi na področju obnovljive energije tehnologija napreduje. Danes so najbolj razširjene hidroelektrarne, fotovoltaike, sončni kolektorji, vetrne elektrarne, izkoriščanje geotermalne energije, plimovanja in biomase. Njihova cena je visoka in navadno so potrebne visoke državne subvencije. Z razvojem tehnologije bo postala energija iz obnovljivih virov konkurenčna fosilnim gorivom. Perspektivne tehnologije za pridobivanje čiste in poceni energije so predvsem fotovoltaike nove generacije, ki imajo vedno večji izkoristek, v idealnih laboratorijskih razmerah celo nad 40 %. Prav

tako tudi hitro pada njihova cena. Hiter razvoj je tudi pri bakterijah in algah za proizvodnjo vodika. Da bodo konkurenčne, bo treba njihov izkoristek povečati za približno desetkrat.



Slika 6: Sončna elektrarna.



Slika 7: Bioreaktor za pridobivanje vodika.

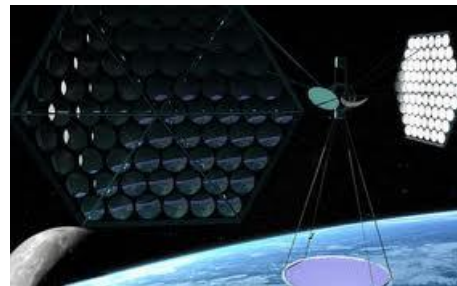
Tehnologija napreduje tudi pri prenosu in hranjenju energije. Gorivne celice so kemične naprave, ki jim dovajajo vodik, da proizvedejo enosmerni električni tok. Z razvojem gorivnih celic postaja vodik vedno bolj perspektiven način za hranjenje energije, ki jo na primer uporabljajo električni avtomobili, opremljeni z gorivnimi celicami.



Slika 8: Avto na gorivne celice.

Danes že obstaja tudi tehnologija za prenos enosmernega električnega toka na velike razdalje in z minimalnimi izgubami. Ocenjene izgube na 1000 km poti so manj kot 3 %. Za brezžični prenos energije so izgube precej večje. Za kratke razdalje so razvili brezžične polnilce za baterije, na primer za polnjenje nove generacije pametnih telefonov ali električnih avtomobilov, ki imajo izkoristek blizu 90 %.

Za brezžični prenos energije na velike razdalje uporabljajo mikrovalove, vendar današnja tehnologija pri prenosu navadno izgubi vsaj 30 % energije. Če bi izboljšali tehnologijo prenosa energije na velike razdalje, bi lahko ceno pridobljene energije iz fotovoltaiikov znižali s postavitvijo v kraje z večjo osvetljenostjo Sonca, na primer v puščave ali celo v Zemljino orbito.



Slika 9: Brezžični prenos energije.

#### VPRAŠANJA

1. Zakaj potrebujemo cenejše in čistejše energijske vire?
2. Kateri energijski viri so najbolj perspektivni v naslednjih 10 letih?
3. Kateri energijski viri so najbolj perspektivni v naslednjih 100 letih?

#### NALOGE

1. Kolikšna površina fotovoltaiikov z izkoristkom 20 % je potrebna za pridobitev moči 10 kW, če znaša gostota svetlobnega toka Sonca  $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ . Enota za moč je watt, ki ima simbol W. Naprava z močjo 1 W opravi v času 1 s delo 1 J.
2. Baterijo za telefon polnimo z brezžičnim polnilcem z izkoristkom 80 %. Kapaciteta baterije je 2100 mAh, cena električne energije pa 0,15 EUR na kWh. Za koliko se poveča cena energije za polnjenje prazne baterije glede na polnjenje z vrvičnim polnilcem?
3. Sončna elektrarna v puščavi je 2000 km oddaljena od mesta rabe energije. Elektrarna deluje s povprečno močjo 600 MW, izgube v daljnovodu pa so 3 % na 1000 km dolžine. Koliko energije se v 1 letu izgubi pri prenosu?

## 1.3 Fizika in okolje

V zadnjem stoletju je število prebivalcev na Zemlji zelo hitro raslo, od okoli ene milijarde leta 1900 do današnjih več kot sedem milijard. S tem se je povečal vpliv na okolje. Človekova dejavnost danes na nekaterih področjih ogroža naravno okolje, zato se ljudje trudijo za varovanje okolja in za trajnostni razvoj.

### **Trajnostni razvoj**

*Trajnostni razvoj zadovoljuje potrebe sedanje generacije, ne da bi ogrozili možnosti prihodnih rodov, da zadovoljijo svoje potrebe. Ta pojem je vpeljala Svetovna komisija za okolje in razvoj pod vodstvom nekdanje norveške premierke **Gro Harlem Brundtland** v letu 1987.*

Fizika ima pri tem dvojno vlogo:

1. Odkriva okoljske probleme, predvsem z merskimi tehnikami in računskimi modeli.
2. Prispeva k razvoju novih tehnologij za reševanje okoljskih problemov.

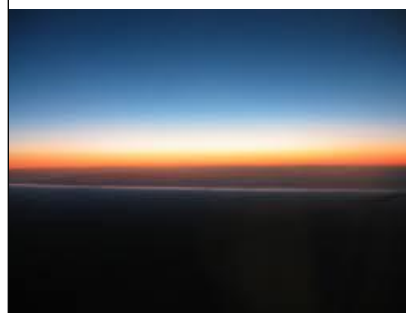
Sodoben življenjski slog povzroča izpuste različnih onesnaževal (polutantov) v okolje. S fizikalnimi meritvami se spremlja njihova pot od nastanka do končne razgradnje. V mestih je velik problem onesnažen zrak predvsem zaradi emisij iz prometa in ogrevanja. V večjih mestih poleg meteoroloških podatkov redno merijo tudi onesnaženje z dušikovimi oksidi, žveplom, ozonom in organskimi polutanti.



Slika 10: Merilna postaja.

Računski modeli omogočajo globlje razumevanje naravnih pojavov povezanih z onesnaževanjem, napovedovanje trendov in priporočila odločevalcem za ustrezno ukrepanje.

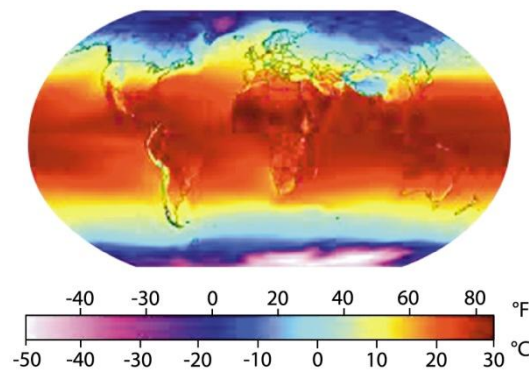
Primer uspešne rešitve okoljskega problema je bilo modeliranje ozona v stratosferi. Na višini okoli 20 do 50 km je namreč znatna koncentracija ozona, ki absorbira visokofrekvenčno UV svetlobo. V 70-ih letih 20. stoletja so izmerili bistveno znižano koncentracijo ozona v bližini južnega tečaja. Zato je bilo v južnih delih Avstralije več UV svetlobe, ki povzroča kožnega raka. Z modeliranjem kemijskih reakcij v stratosferi so ugotovili, da koncentracija ozona pada zaradi freonov, ki so jih uporabljali v sprejih in hladilnih sistemih. Njihovo uporabo so z Montrealskim protokolom prepovedali oziroma močno omejili. Koncentracija ozona v stratosferi se je povečala in velik okoljski problem je bil rešen.



Slika 11: Znatna koncentracija ozona v stratosferi močno absorbira UV svetlobo.



Globalni podnebni (klimatski) modeli napovedujejo gibanje povprečne temperature na Zemlji do leta 2100 v odvisnosti od vrste spremenljivk, ki so povezane z gospodarsko aktivnostjo. Globalni podnebni modeli napovedujejo veliko verjetnost nevarnih podnebnih sprememb, če ne bo v bližnji prihodnosti bistveno zmanjšano onesnaževanje in koncentracija toplogrednih plinov v atmosferi.

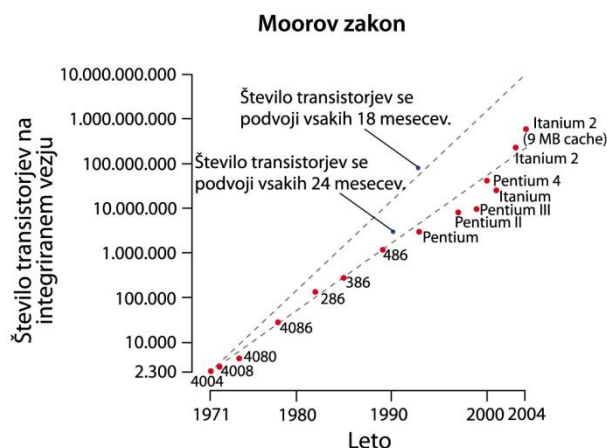


Slika 12: Povprečne letne temperature na Zemlji.

Problem onesnaženja in toplogrednih plinov postaja vedno bolj pomemben za nadaljnji razvoj človeštva. Onesnaženje je možno zmanjšati ali s spremembo obnašanja ali z novimi tehnologijami, lahko pa tudi s kombinacijo obojega.

Onesnaženje je mogoče zmanjšati tudi s krčenjem gospodarske aktivnosti. Ob gospodarski krizi leta 2009 so se globalne emisije toplogrednih plinov znižale za 0,3 %, v Evropi in Severni Ameriki pa celo za 7 %. Vedno več ljudi postaja pozornih na svoje obnašanje in ga spreminja na tak način, da se zmanjšuje njihov vpliv na okolje.

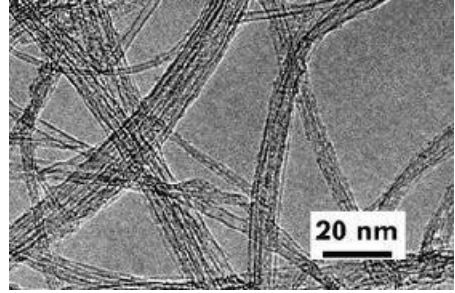
V zadnjem stoletju se je razvila vrsta novih tehnologij, ki so prispevale k zmanjšanju onesnaženja. Velik napredek so dosegli predvsem v informacijskih in komunikacijskih tehnologijah. Računalniki se že več desetletij razvijajo tako hitro, da se njihova zmogljivost podvoji na okoli 18 mesecev. S tem se zmanjša tudi njihova cena, velikost in raba energije ter s tem povezan vpliv na okolje. Seveda pa nižja cena elektronskih naprav tudi povečuje njihovo razširjenost, kar ob kratki življenjski dobi tudi povečuje elektronski



Slika 13: Zmogljivost računalnikov se hitro povečuje.

Tudi pri čistilnih napravah so dosegli velik napredek. V termoelektrarnah so se emisije žvepla znižale tudi za več kot 30-krat.

Hiter gospodarski razvoj povečuje tudi potrebo po vedno boljših tehnologijah. Na področju pridobivanja energije iščejo čiste in poceni energijske vire, v računalništvu razvijajo nove zamisli, kot so kvantni računalniki in nevronske mreže. Manjši računalniki namreč opravijo več dela z manj energije in manj naravnimi viri. Tudi napredek nanotehnologije in biotehnologije omogoča razvoj novih proizvodnih procesov, ki dosežejo boljše



Slika 14: Nanocevke.

rezultate z manj energije in materiala. Pri tem igra fizika bistveno vlogo, saj je za tehnološki razvoj potrebno temeljito znanje fizike, pogosto pa tudi nova fizikalna odkritja.

### VPRAŠANJA

1. Zakaj je treba varovati naravno okolje?
2. Kako k varovanju naravnega okolja prispeva fizika?
3. Kaj lahko sami storimo za zmanjšanje onesnaženja?

### NALOGE

1. Moč mikroprocesorjev pada približno sorazmerno z njihovo prostornino. Če današnji mikroprocesor potrebuje za delovanje moč 100 W, kolikšno moč mikroprocesorja lahko predvidevamo, ko se bo prostornina procesorja zmanjšala za 1000-krat?
2. Če se hitrost računalnikov podvoji v 18 mesecih, za kolikokrat se spremeni v 10 letih?
3. Če se je število ljudi povečalo z 1,6 milijarde leta 1900 na 6,1 milijarde leta 2000 in je rast prebivalstva eksponentna, koliko časa bi bilo potrebno za podvojitev števila ljudi? Rast prebivalstva ni več eksponentna in se bo predvidoma ustavila med 9 in 10 milijardami.

## 2.1 Odbojni in lomni zakon

### Zrcalni odboj svetlobe

Mojstri v igranju biljarda znajo biljardno kroglo udariti tako, da trči v drugo kroglo celo po dveh ali treh odbojih na robu mize. Če se krogla do roba mize prikotali pot topim kotom, se pod topim kotom tudi odbije, če ga doseže pod ostrim kotom, se tudi odbije pod ostrim kotom. Krogla se od roba mize odbije pod enakim kotom, kot se do njega prikotali. Enako kot biljardne krogle se na zrcalu odbija tudi svetloba.

#### POSKUS

Z laserjem posvetite na ravno zrcalo, položeno na mizo. Svetlobni curek naj delno oplazi mizo, tako da boste lahko opazovali njegovo pot. Narišite smer vpadnega in odbitega žarka ter pravokotnico na zrcalo v točki, kjer se žarek na njem odbije. Kakšna sta vpadni in odbiti kot? Poskus ponovite za različne vpadne kote!

Odboj svetlobe na zrcalu si ponazorimo s svetlobnimi žarki. Žarku vpadne svetlobe pravimo **vpadni žarek**, žarku odbite svetlobe pa **odbiti žarek**. Kot med vpadnim žarkom in pravokotnico na zrcalo (imenujemo jo tudi **vpadna pravokotnica**) imenujemo **vpadni kot**, kot med odbitim žarkom in vpadno pravokotnico pa **odbojni kot**.

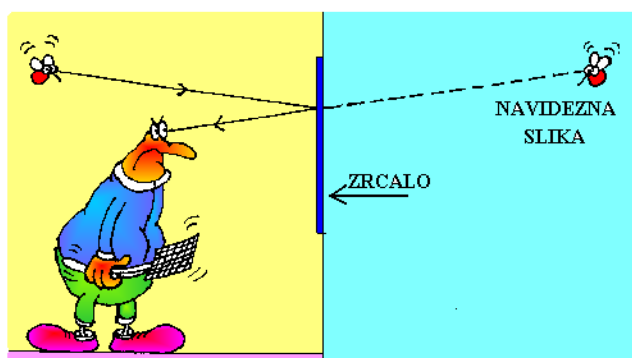
Iz poskusa smo se naučili, da sta vpadni in odbojni kot enaka. Svetloba se na ravnem zrcalu odbije pod enakim kotom kot je padla nanj. To zakonitost imenujemo **odbojni zakon**.

Značilnost zrcalnega odboja je, da se v zrcalu lahko vidimo. Za zrcalom vidimo navidezno **sliko predmeta**, ki je od zrcala **enako oddaljena** kot predmet. Slika je **enako velika**, kot je predmet, in **zrcalna** (levo roko vidimo kot desno in obratno).

Tako kot v zrcalu se lahko vidimo tudi na drugih gladkih površinah, npr. na spolirani kovini ali na vodni površini (spomnimo se basni o lakomnem psu).



Slika 1: Od ravnega zrcala se svetloba odbije; vpadni kot je enak odbojnemu.



Slika 2: V ravnem zrcalu vidimo navidezno in zrcalno sliko, ki je enako velika in od zrcala enako oddaljena kot predmet.

## Razpršeni odboj svetlobe

Na vodni površini se lahko vidimo le, če na njej ni valov. Če površina ni gladka, odboj na njej ni zrcalen in slike predmeta ne vidimo ali pa je zelo motna kot na primer na žlici, ki ni dovolj spolirana. Če si odboj svetlobe ponazorimo s svetlobnimi žarki, vidimo da se na gladkih površinah svetloba odbije le v eno smer, na hrapavih površinah pa se svetloba razprši. Takemu odboju pravimo **razpršeni odboj** ali **difuzni odboj**.

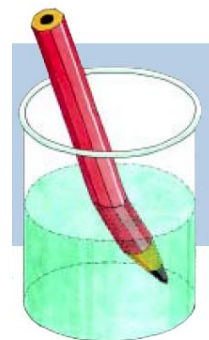
Slika (naravoslovje 7): a) odboj na gladki površini: svetloba se odbije le v eni smeri pod enakim kotom kot pade na površino; b) razpršeni odboj: svetlobni žarki se še zmeraj odbijajo pod enakim kotom kot padejo, vendar so zaradi neravnin po odboju razpršeni.

Na površini Lune se odbije veliko sončne svetlobe, saj polna luna zelo osvetli nočno nebo. Iz odbite svetlobe lahko zaznamo lunino obliko, barvo, svetlejša in temnejša področja, ne moremo pa se v Luni gledati kot v ogledalu.

## Lom svetlobe

### POSKUS

V steklen kozarec do polovice nalijemo vodo in vanj potopimo svinčnik ali leseno palico. Pogledamo v smeri svinčnika, potem pa še s strani. Kaj opazimo na meji med vodo in zrakom?



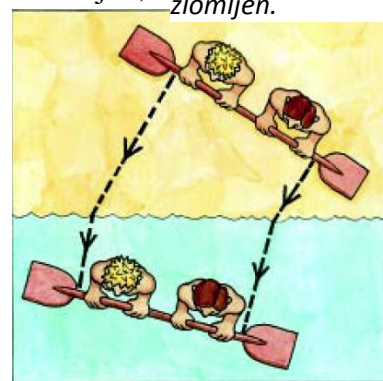
Svetloba se v vodi razširja počasneje kot v zraku, zato se ji na gladini spremeni smer razširjanja. Spremembo smeri razširjanja svetlobe pri lomu svetlobe lahko primerjamo s spremembo smeri hoje. Dva prijatelja držita veslo in se poševno približujeta morski obali. Ko začne prvi brodirati po vodi, hodi počasneje kot tisti na kopnem. Na sliki vidimo, da se jima zaradi tega spremeni smer gibanja.

Tudi svetloba se v vodi razširja počasneje kot v zraku, zato se ji na vodni gladini spremeni smer razširjanja. Svetlobni žarki se na gladini »zlomijo«, zato pravimo, da se **svetloba lomi**, pojav pa imenujemo **lom svetlobe**.

Slika 3: Svinčnik vidimo, kot da je zlomljen.

### POSKUSI

1. Na list papirja napišite svoje ime in priimek ter ju preberite v zrcalu. Na list prerišite zrcalni zapis, ki ga vidite v zrcalu. Kakšne so črke in kakšen je njihov vrstni red? Ta zrcalni zapis pogledajte v zrcalu. Kaj opazite?
2. Na dno jogurtovega lončka položi kovanec in se postavi tako, da ti rob kozarca zakriva pogled na kovanec. Miruj v tej legi, sošolec pa naj v kozarec previdno natoči vodo, tako da ne premakne kovanca. Kaj opaziš in zakaj? Nariši pot svetlobnih žarkov od kovanca do oči.
3. Prozorna steklena valja napolnite, prvega z oljem, drugega pa z vodo, in ju položite v večji stekleni posodi. V obe posodi potem do vrha natočite enako olje, kot ste ga nalili v prvi valj. Olje naj bo dovolj prozorno, da se lahko skozenj vidita posodi. Kateri valj je bolj viden, ali tisti, ki je napolnjen z vodo, ali tisti, ki je napolnjen z oljem? Zakaj?



Slika 4: Zaradi različne hitrosti se spremeni smer gibanja.

### VPRAŠANJA

1. Kakšna sta vpadni in odbojni kot pri zrcalnem odboju?
2. Pri frizerju ti z ogledalom za tvojo glavo pokažejo, kako so te ostrigli po vratu. Nariši, kako žarki potujejo v tem primeru od vratu do tvojih oči.

3. Nariši, kako se svetlobi spremeni smer pri prehodu iz vode v zrak?

#### **NALOGA**

4. Narišite, kako svetloba potuje skozi periskop. Kaj se zgodi, če zrcali v periskopu nista povsem vzporedni?

### **Povzetek**

**Svetloba se na površini snovi odbija. Če je površina gladka, je odboj zrcalen, drugače pa je odboj razpršen.**

**Pri prehodu iz ene snovi v drugo snov se svetlobi spremeni smer razširjanja, kar imenujemo lom svetlobe.**

### **NOVI POJMI**

- vpadni in odbiti žarek
- vpadni in odbojni kot
- odbojni zakon
- zrcalni in razpršeni odboj
- lom svetlobe

## 2.2 Lastnosti leč

### Lomni zakon

Naučili smo se, da se svetlobi na meji dveh snovi spremeni smer razširjanja. Pri prehodu v snov, v kateri se svetlobi hitrost zmanjša (**optično gostejše sredstvo**), se lomi k vpadni pravokotnici, pri prehodu v sredstvo, v katerem se svetlobi hitrost poveča (**optično redkejše sredstvo**), pa se lomi proč od vpadne pravokotnice.

Koliko se bo žarek na meji lomil, je odvisno od tega, za koliko se svetlobi pri prehodu meje spremeni hitrost. Količnik, s katerim izrazimo, za kolikokrat je hitrost svetlobe v praznem prostoru večja kot v snovi, imenujemo **lomni količnik** snovi.

### Leče

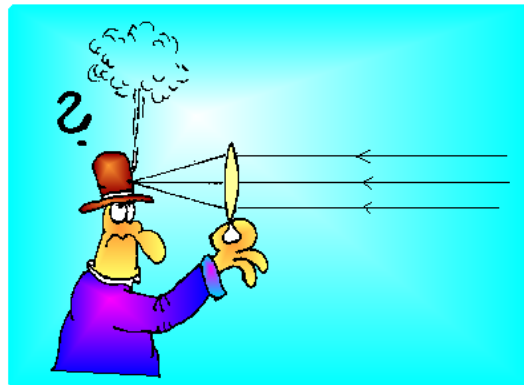
Lom svetlobe s pridom izkoriščamo pri mnogih optičnih pripravah. Najpomembnejša izmed njih je **leča**. Leče so narejene iz stekla ali plastike in so ukrivljene. Čim bolj kot so leče ukrivljene, tem bolj svetlobi spremenijo smer razširjanja.

Z lečami svetlobne žarke zbiramo v neko točko ali pa jih razpršimo v širok snop. Glede na to razlikujemo dve vrsti leč: **zbiralne** ali **konveksne leče** in **razpršilne** ali **konkavne leče**.

Slika 5: a) zbiralna ali izbočena leča  
b) razpršilna ali vbočena leča

### Gorišče leče

Z vzporedno svetlobo pravokotno posvetimo na zbiralno lečo. Pot svetlobe si ponazorimo s tremi žarki, kot prikazuje slika 6. Žarek, ki gre skozi središče leče, imenujemo **temenski žarek**, pravokotnica skozi sredino leče pa je **optična os**. Središčnemu žarku se smer ne spremeni, saj na lečo pade pod pravim kotom. Vsi drugi žarki pa se tako pri vходу kot pri izhodu iz leče lomijo proti središčnemu žarku. Proti robu je leča bolj ukrivljena, zato se tam žarki tudi bolj lomijo. Zaradi tega se po prehodu leče vsi žarki sekajo v eni točki, ki ji pravimo **gorišče leče**. Lastnost zbiralne leče je, da vzporedno svetlobo zbere v gorišču.



Slika 6: Zbiralna leča zbere vzporeden snop svetlobe v gorišču.

### Goriščna razdalja leče

Oglejmo si pot svetlobe skozi dve različno ukrivljeni leči. Bolj ukrivljena leča svetlobo lomi bolj in iz slike 7 lahko razberemo, da je zato gorišče tudi bližje leči. Razdaljo med goriščem in središčem leče imenujemo **goriščna razdalja leče**.

Slika 7: Bolj ukrivljene leče imajo krajšo goriščno razdaljo.

Goriščna razdalja je odvisna od ukrivljenosti leče in tudi od **lomnega količnika leče**. Večji je lomni količnik, bolj se svetloba lomi in krajša je goriščna razdalja.

## Razpršilna leča

Razpršilna leča žarkov ne zbira, ampak kot pove že ime, vzporeden snop svetlobe razprši. Ker žarki potujejo narazen, se ne morejo sekati, se pa sekajo njihovi podaljški. Iz slike 8 vidimo, da se pri razpršilni leči v gorišču ne sekajo žarki, ampak njihovi podaljški. Čim bolj je razpršilna leča ukrivljena, tem manjša je njena goriščna razdalja.

### POSKUSI

1. Zbiralno lečo postavite na mizo in nanjo posvetite z ozkim svetlobnim curkom v pravokotni smeri. Curek naj potuje tik ob mizi, tako da bo na njej lepo vidna njegova pot. Svetilo premikajte tako, da bo padala svetloba na lečo na različnih mestih, in zmeraj zarišite pot žarkov. Izmerite goriščno razdaljo.
2. Naredite podoben poskus kot prej, le da svetloba na lečo ne pada pravokotno ampak poševno. Uporabite lahko tudi svetilko z več svetlobnimi curki, ki lahko gredo narazen. Kaj opazite? Ali je goriščna razdalja leče odvisna od tega, ali je svetloba, s katero svetimo nanjo, vzporedna ali ne?

## Povzetek

**Na smer razširjanja svetlobe lahko vplivamo z optičnimi napravami. Najenostavnejše med njimi so leče, ki so lahko zbiralne ali razpršilne. Zbiralna leča vzporedne žarke zbere v eni točki, gorišču. Razdala med središčem leče in goriščem je goriščna razdalja. Razpršilna leča v gorišču zbere podaljške žarkov.**

## NOVI POJMI

- lomni zakon
- lomni količnik
- leče
- zbiralna ali konveksna leča
- razpršilna ali konkavna leča
- gorišče
- goriščna razdalja

## 2. 3 Preslikave z zbiralno lečo

### Preslikave

Če stojimo pred zrcalom, se v njem vidimo. Naša podoba se je preslikala za zrcalo, kjer je slika enako velika, vendar zrcalna. Če se pogledamo v notranji strani lepo spolirane žlice vidimo, da je naša slika obrnjena na glavo, za razliko od zunanje strani žlice, kjer je slika pokončna (ni obrnjena). Opazimo tudi, da je velikost slike odvisna od tega kako daleč od nas držimo žlico.

### Preslikave z zbiralno lečo

Predmetov pa ne preslikajo le ogledala ampak tudi leče. Z risanjem dveh značilnih žarkov bomo skonstruirali sliko predmeta. Zbiralna leča naj ima goriščno razdaljo  $f$ . Prvi žarek je vzporeden z osjo leče, zato ga imenujemo **vzporedni žarek**. Kot vsi vzporedni žarki bo za lečo potekal skozi gorišče. Drugi značilen žarek je **središčni žarek**, ki potuje skozi središče leče. Središčnemu žarku se pri prehodu skozi lečo smer ne spreminja.

Slika zbiralne leče se razlikuje, če je predmet od leče bolj ali manj oddaljen od njene goriščne razdalje.

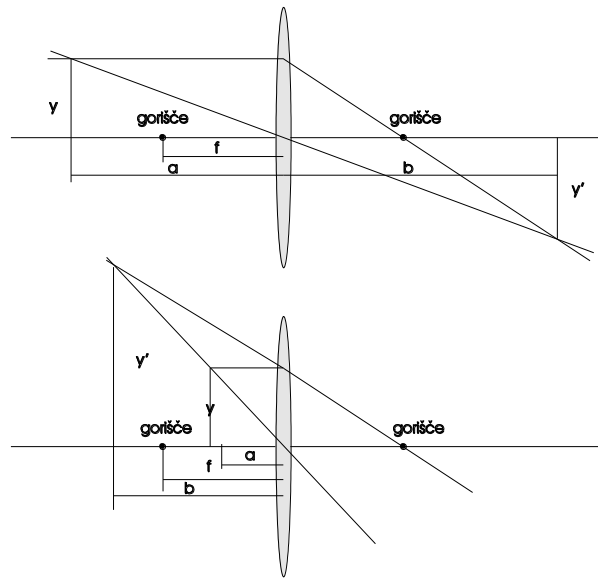
Narišimo sliko **oddaljenega predmeta**, to je predmeta, katerega oddaljenost od leče (na sliki smo to označili z  $a$ ) je večja od njene goriščne razdalje  $f$ . Skozi vrh predmeta z višino  $y$  narišimo vzporedni in središčni žarek. Na sliki 8 vidimo, da se sekata na neki razdalji  $b$  za lečo. V to točko se je **preslikal** vrh predmeta. Višino slike predmeta označimo z  $y'$ . Slika predmeta je **obrnjena**.

Iz konstrukcije žarkov (podobnih trikotnikov) razberemo, da je razmerje med velikostjo slike  $y'$  in velikostjo predmeta  $y$  enako, kot je razmerje med oddaljenostjo slike  $b$  in oddaljenostjo predmeta  $a$ . Tema razmerjema pravimo **povečava**. Slika je **povečana**.

Podobno skonstruirajmo še sliko **bližnjega predmeta**, če predmet stoji med lečo in goriščno razdaljo. V tem primeru se središčni in vzporedni žarek za lečo ne sekata, ampak gresta narazen in za lečo ne dobimo slike predmeta. Pomagamo si s podaljškoma žarkov. Če se žarka ne sekata si pomagamo z njunima podaljškoma. Na mestu, kjer se sekata podaljška žarkov, nastane **navidezna slika**.

### Razpršilna leča

Pri razpršilni leči igra gorišče podobno vlogo kot pri zbiralni leči. Razpršilna leča vzporeden snop svetlobe razprši tako, da se njihovi podaljški sekajo v gorišču. Ker se ne sekajo žarki, ampak le njihovi podaljški, je slika navidezna. Lastnost razpršilnih leč je, da je slika zmeraj pokončna, navidezna in pomanjšana.



Slika 8: Preslikava predmeta z zbiralno lečo. Slika predmeta je odvisna od tega, ali je predmet pred goriščem ali za njim.



## POSKUS

1. Na zbiralno lečo posvetite pravokotno tako, da na zaslonu za lečo dobite ostro sliko žarnice. Kako daleč od zaslona mora biti leča? Žarnico premaknite najprej malo v levo in potem še v desno. Kam se premakne slika? Ali je še zmeraj ostra? Kam se premakne slika, če žarnico premikate gor ali dol? Narišite pot žarkov v primerih, ko je žarnica na sredini leče in ko je premaknjena. Poskus naredite še z lečo, ki ima drugačno goriščno razdaljo.

## NALOGE

1. Pred zbiralno lečo z goriščno razdaljo 10 cm postavite 3 cm visok predmet. Predmet naj bo od leče oddaljen 15 cm. Načrtajte poti žarkov in določite, kje je slika predmeta ter kako velika je. Primerjajte razmerje velikosti slike in predmeta z razmerjem oddaljenosti slike in predmeta od leče! Kaj ugotovite?
2. Predmet iz prejšnje naloge približajte leči tako, da bo od nje oddaljen le 5 cm. Kje je v tem primeru slika predmeta in kako velika je?
3. Dve zbiralni leči, vsaka z goriščno razdaljo 10 cm, naj bosta med seboj oddaljeni 20 cm. Na prvo lečo posvetimo z vzporedno svetlobo. Načrtajte poti žarkov skozi obe leči in ugotovite, kakšno svetlobo dobimo po prehodu druge leče.
4. Kako velika je slika predmeta, ki ga dobimo z razpršilno lečo, če je predmet oddaljen od leče za dvakratno goriščno razdaljo? Pri konstrukciji uporabite vzporedni in središčni žarek.

## PROBLEM

1. Včasih so si čevljarji svetili s čevljarskimi lučkami, ki so imele svečo, okrog katere so bile nameščene štiri krogelne steklene bučke, napolnjene z vodo. Te kroglice so delovale kot zbiralne leče, da si je čevljar lahko usmeril svetlobo tja, kjer je šival čevlje. Narišite, kako se svetloba razširja skozi krogelne bučke, polne vode.

## Povzetek

**Zbiralna leča ustvari sliko predmeta, ki je odvisna od tega, kako daleč od leče je predmet. Slika oddaljenih predmetov je obrnjena in realna, slika bližnjih predmetov pa navidezna in pokončna.**

## NOVI POJMI

- vzporedni žarek
- središčni žarek
- povečava leče
- realna in navidezna slika

## 2.4 Camera obscura in fizikalni model očesa

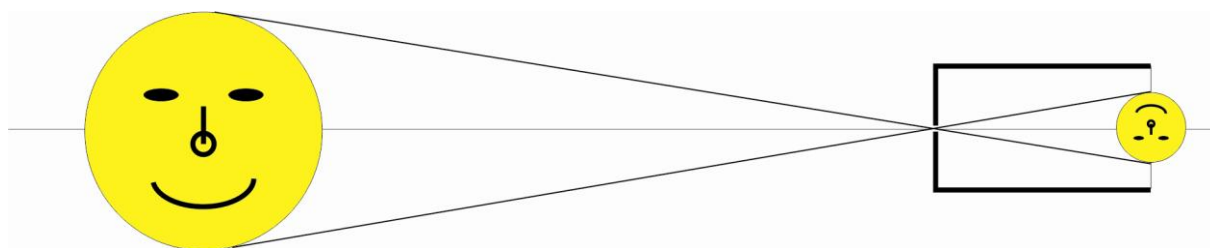
### Camera obscura

V vsakdanjem življenju se srečujemo z mnogimi optičnimi napravami. Ena najenostavnejših je **camera obscura**, ki si jo bomo izdelali in s poskusi spoznali, kako deluje.

#### POSKUS

Vzemi okrogel tulec (lahko kartonskega, na katerega so navite papirnate brisače) in odprtino na eni strani prelepi s črno folijo, na drugi strani pa s pavš papirjem. Na sredino črne folije z iglo naredi majhno luknjico. Skozi luknjico prihaja svetloba, pavš papir na drugi strani pa je zaslon, na katerega se projicira slika.

1. V temnem prostoru prižgi žarnico in na zaslonu opazuj sliko žarilne nitke.
2. Spreminjaj razdaljo med žarnico in camero obscura. Kaj opaziš?
3. Camero obscura usmeri proti Soncu in opazuj sliko. Pri tem bodi pazljiv, da z očmi neposredno ne pogledaš v Sonce.
4. Sliko na zaslonu primerjaj s sošolci, ki imajo daljšo ali krajšo camero obscura.
5. S sošolci primerjaj še, kako je svetlost slike odvisna od velikosti luknjice na črni foliji?



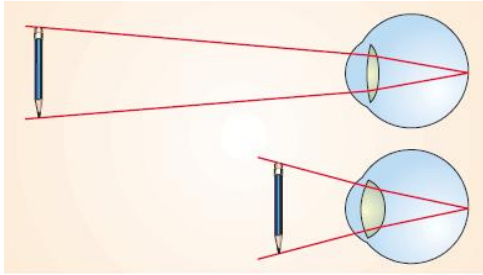
Slika 9: s Camero obscura lahko opazujemo sliko Sonca ali okolice.

Žarki od predmeta vstopajo v camero obscura skozi luknjico in nadaljujejo pot do nasprotni strani, zaslona, na katerem prikažejo sliko predmeta. Pri vstopu se v luknjici žarki križajo, zato je slika predmeta **obrnjena**. Iz slike 9 lahko tudi razberemo, da je velikost slike odvisna od dolžine camere obscura in njene oddaljenosti od opazovanega predmeta.

V camero obscura, ki ima večjo luknjico, lahko vstopi več svetlobe, zato je slika bolj svetla. Pri manjših luknjicah je slika temnejša, vendar bolj ostra.

### Človeško oko

Oko je organ, ki zaznava svetlobo, deluje pa na enak način kot camera obscura. Svetloba v oko vstopa skozi luknjico, ki ji pravimo **zenica**. Za zenico je očesna leča, ki svetlobo usmerja na **mrežnico**, kjer so vidne čutnice (čepki in paličice), ki zaznavajo svetlobo. Posebnost očesa je, da zmeraj vidimo ostro, bodisi da gledamo stvari od blizu bodisi da se zazremo daleč proti obzorju. To je možno, ker se očesni leči lahko spreminja goriščna razdalja. Za spreminjanje goriščne razdalje očesne leče poskrbijo posebne mišice, ki leči spreminjajo ukrivljenost.



Slika 10: Očesne leče so edine leče, ki imajo spremenljivo goriščno razdaljo.

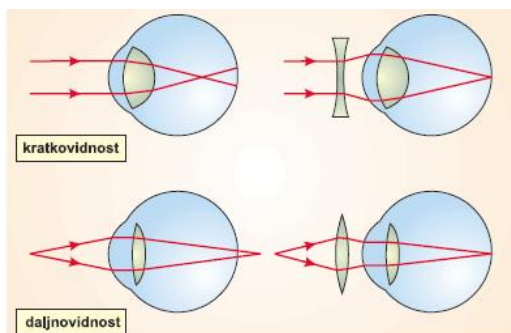
Oko se odlikuje tudi po tem, da lahko gledamo v zelo svetlem prostoru ali v mraku. Podnevi, ko je svetlo, zadostuje že majhna luknjica, da v oko vstopi dovolj svetlobe. Zato se zenica zapre, ponoči pa se zenica razširi, da v oko lahko vstopi čim več svetlobe. Oči so zelo občutljiv organ, zato nikoli ne smemo gledati neposredno proti Soncu. Zenica se ne more dovolj skrčiti in v oko lahko vstopi preveč svetlobe, ki ga trajno poškoduje. V nobenem primeru pa ne smemo v Sonce pogledati skozi daljnogled.

### Zanimivost

1. Ko stopimo v temen prostor, najprej nič ne vidimo, s časom pa zmeraj več in bolje. Zenica, ki je na začetku zaprta, se ne razširi v trenutku. Za to potrebuje nekaj časa, ravno toliko kot traja, da se oko privadi na temo. Obratno pa nekaj časa ne moremo gledati, če iz teme stopimo na sonce. Dokler se zenica ne skrči, v oko prihaja preveč svetlobe, zato trepalnice refleksno zapremo.
2. Človeško oko je sposobno razločevati barve, zato svet okrog nas vidimo v barvah. Sposobnost razločevanja barv se pri šibkejši svetlobi zmanjša. Ob večeru ali v mraku ne vidimo več barv tako izrazito in stvari se nam zdijo sive. To še posebej velja za bolj oddaljene predmete, saj se od njih odbije v naše oko manj svetlobe, kot se je odbije od bližnjih predmetov.

### Daljnovidnost in kratkovidnost

Če oko ni pravilne oblike ali če leča v očesu ni povsem zdrava, svetlobe ne zbere točno na mrežnici, ampak malo pred njo ali malo za njo. Takšni ljudje potem ne vidijo ostro. Pravimo, da so **kratkovidni** ali **daljnovidni**. Slabovidnost lahko dokaj enostavno popravimo z dodatnimi lečami v očalih ali s kontaktnimi lečami, ki jih damo v oči.



Slika 11: Očesna leča pri kratkovidnih ljudeh žarke zbere pred mrežnico, pri daljnovidnih pa za njo. Kratkovidni morajo zato nositi očala s konkavnimi, daljnovidni pa s konveksnimi lečami.

### VPRAŠANJA

1. Ali so žarki pri kratkovidnih ljudeh zbrani pred mrežnico ali za njo? Narišite potek žarkov.
2. Oglejte si leče v očalih, ki jih nosijo kratkovidni in daljnovidni ljudje. V katerih so konkavne leče, v katerih pa konveksne?

3. Zakaj ljudje, ki ne potrebujejo očal, vidijo svet okrog sebe megleno, če si nadenejo očala? Primerjajte to s sliko, ki jo vidijo slabovidni, ko gledajo brez očal!
4. Kateri fotoaparat zbere več svetlobe, tisti z večjo odprtino ali tisti, ki je daljši?
5. Ali bi pri daljši kameri obscuri bila slika Sonca večja, enaka ali manjša?

## **Povzetek**

**V camera obscura skozi luknjico vstopa svetloba, slika pa nastane na zaslonu. Podobno pri očesu svetloba vstopa skozi zenico, slika pa se projicira na mrežnico, kjer čepki in paličice zaznavajo svetlobo. Velikost zenice se prilagaja glede na svetlost okolice, ukrivljenost očesne leče in glede na to, ali opazujemo predmete od blizu ali daleč. Daljnovidnost in kratkovidnost lahko odpravimo z dodatnimi lečami. Oči so zelo občutljive in si jih lahko s premočno svetlobo trajno poškodujemo.**

## **NOVI POJMI**

- camera obscura
- oko
- zenica
- mrežnica
- kratkovidnost in daljnovidnost

## 2. 5 Projekcijski aparat, lupa, fotoaparar

### Optične naprave

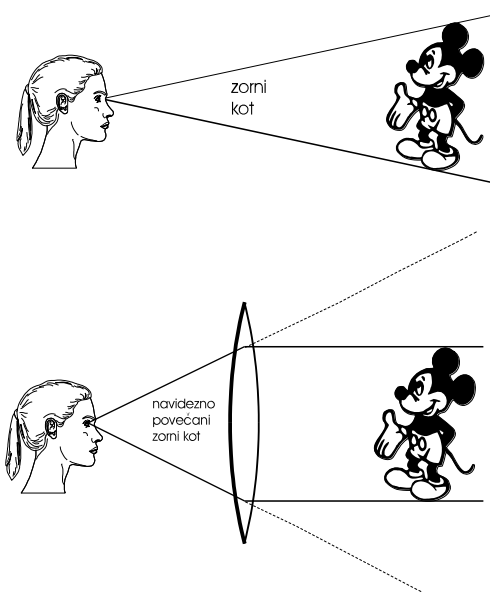
Optične naprave nam olajšajo gledanje majhnih ali oddaljenih predmetov, gledanje za ovire, omogočijo, da isto sliko lahko hkrati opazuje več opazovalcev, sliko lahko tudi shranijo. Osnovni gradniki optičnih naprav so leče ali zrcala. Eno najenostavnejših optičnih priprav, *camero obscuro* smo že spoznali. Pri opazovanju majhnih predmetov si pomagamo z **lupo** ali **mikroskopom**, pri opazovanju oddaljenih predmetov uporabimo **daljnogled** ali **teleskop**, **periskop** omogoča pogled za ali čez ovire, **fotoaparar** sliko shrani, **projektor** na primer v kinu pa sliko poveča, da jo lahko hkrati gleda cela dvorana.

*Slika 12: Nekaj optičnih naprav*

### Lupa (povečevalno steklo)

Kako velike vidimo predmete, je odvisno od kota, pod katerim jih gledamo. Temu kotu pravimo **zorni kot**. Če se predmetu približamo, se zorni kot poveča in predmet vidimo večji. Poljubno blizu pa se predmetu ne moremo približati, ker oko najbolje vidi nekako do razdalje 25 cm. Pri manjših razdaljah mišice v očesu ne morejo več dovolj ukriviti očesne leče in slika postane meglena. V tem primeru si pomagamo z **lupo**. Lupa ali povečevalno steklo je zbiralna leča, ki jo postavimo med predmet in oko. Iz slike 12 vidimo, da lupa poveča zorni kot in predmet vidimo povečan.

Kolikokrat nam lupa poveča predmet, tolikokrat vidimo sliko predmeta večjo od samega predmeta, kar imenujemo **povečava**. Povečava lupe je odvisna od njen goriščne razdalje in je lahko do 10-kratna ali večja.



*Slika 12: Ko gledamo skozi lupo, se nam zorni kot poveča, zato predmete vidimo večje, kot so v resnici.*



**F3-20**

*Slika 13: Z lupo sliko bližnjih predmetov vidimo povečano.*

Iz dveh lup, vsaka na enem koncu cevi, lahko sestavimo bolj zmogljivo optično napravo, **daljnogled**. Že ime pove, da ga uporabljamo za opazovanje oddaljenih predmetov. Tudi daljnogled poveča zorni kot, zato dobimo občutek, da nam daljnogled opazovane predmete

približa. Leči (lupi), ki je na tisti strani cevi, kjer imamo oko, pravimo **okular**, druga leča pa je **objektiv**. Daljnogled ima dve cevi, za vsako oko eno. Daljnogled, prilagojen za opazovanje vesolja, ima le eno cev in ga imenujemo **teleskop**. Povečava teleskopa je lahko tudi 500-kratna ali večja. Pri astronomskih opazovanjih jih je prvi uporabljal **Galileo Galilei**\*.

## Projekcijski aparat

Preprost projekcijski aparat si spoznal med igro likov senc, oblikovanih s prsti.

*Slika 14: Lik iz prstov pred žarnico ustvari senco, ki se povečana projicira na oddaljeno steno, kjer jo lahko več ljudi hkrati opazuje.*

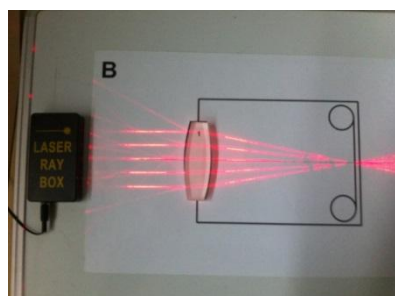
Na enak način delujejo tudi sodobni projekcijski aparati, le da imajo še leče, s katerimi nastavljam velikost in ostrino slike. Namesto lika iz prstov v projektorju posvetimo na prosojno sliko, ki jo projektor preslika na zaslon. Včasih so bile te slike prosojnice za grafoskop ali diapozitivi za diaprojektor, v sodobnih napravah pa sliko iz računalnika ustvari posebna snov, ki jo imenujemo **tekoči kristali**.

Projektor lahko v zelo kratkem času projicira različne slike drugo za drugo, ki se v našem očesu zlijejo v gibljive slike, kar vidimo kot film.

*Slika 15: Projektor sliko ali videoposnetek iz računalnika projicira na zaslon. Velikost slike je odvisna od oddaljenosti od zaslona.*

## Fotoaparat

Fotoaparat je optična priprava, s katero lahko sliko okolice shranimo in jo pozneje projiciramo ali naredimo fotografijo. Fotoaparat deluje na podoben način kot človeško oko. Na prednji strani fotoaparata je leča (**objektiv**), namesto zenice je luknjica (**zaslonka**), ki ji lahko spreminjamo velikost, namesto mrežnice pa ima svetlobni senzor z več milijoni tipal, ki sliko predmeta shrani na spominsko kartico.



*Slika 16: Pot žarkov skozi lečo do svetlobnega senzorja pri fotoaparatu.*

### VPRAŠANJA

1. Nad knjigo držite lupo in začnite brati. Kaj opazite, če lupo približujete ali oddaljujete od knjige? Kako morate spreminjati razdaljo, s katere gledate, da črke še vidite ostro?

### POSKUS

1. Ocenite zorni kot, pri katerem še lahko berete. Izmerite velikost črk in se oddaljajte od knjige, dokler še lahko preberete napisano. Izmerite, kako daleč od knjige ste takrat. Poskus ponovite še z večjimi črkami in primerjajte razmerje med velikostjo črk in oddaljenostjo knjige za različno velike črke. Zmeraj izberite novo besedilo, tako da ne boste vedeli, kaj piše, saj boste drugače brali že malo "na pamet".

## Povzetek

Optične naprave nam olajšajo gledanje predmetov, tako da povečajo zorni kot, pod katerim jih vidimo. Projektor sliko predmeta projicira, da jo hkrati vidi mnogo opazovalcev, fotoaparati pa sliko shrani.

## NOVI POJMI

zorni kot  
lupa  
mikroskop  
daljnogled  
teleskop  
periskop  
fotoaparati

\* **Galileo GALILEI** je bil italijanski astronom in fizik, rojen 15. 2. 1564 v Pisi, umrl 8. 1. 1642 blizu Firenc.

Galileja imamo za začetnika sodobne fizike. Ni le opazoval in razmišljal, ampak je začel meriti in iskati matematične zveze med količinami. V Galilejevem času merjenje ni bilo zelo popularno, saj ni bilo dovolj natančnih merilnih naprav. Znali so meriti dolžino in težo, čas so merili le v velikih enotah, ker ni bilo natančnih ur, temperature in tlaka pa sploh niso znali meriti. Galilei pa je znal svoje poskuse in teorijo tako razumljivo zapisati, da je eksperimentiranje postalo popularno.

Galilei je že leta 1581 opazil, da je nihajni čas nihala odvisen le od dolžine nihala. S tem je omogočil razvoj nihajnih ur. Leta 1586 je iznašel hidrostatično tehtnico, napravo za merjenje vodnega tlaka, leta 1600 pa je zgradil prvi preprost aparat za merjenje temperature. Na podlagi prvega odkritja je nastal Torricellijev **barometer**, na podlagi drugega pa je leta 1714 Fahrenheit naredil **termometer**, kot ga poznamo še danes. Galilejeve merilne naprave so omogočile količinsko preverjanje, kar je omogočilo, da se je razširila sodobna znanstvena metoda, ki temelji na preizkušanju predpostavk z merjenjem. Predpostavke imenujemo **hipoteze** in jih zapišemo v matematični obliki. Tiste hipoteze, ki "preživijo" eksperimentalni preizkus, postanejo **znanstvene teorije**.

Galilei je rad uporabljal tudi **teleskop** za astronomska opazovanja. Opazil je kraterje in gorovja na Luni, Saturnove "otroke", ki so se pozneje izkazali za obroče, in Jupitrove satelite. Ker je vse zvezde videl kot majhne točke, planeti pa so imeli končne razsežnosti, je sklepal, da so zvezde mnogo bolj oddaljene kot planeti.

Z opazovanjem Venerinih faz je pokazal, da planeti krožijo okoli Sonca. Venera spreminja svojo obliko kot Luna; včasih vidimo "polno Venero", drugič pa le Venerin krajec. Ko se Venera nahaja na drugi strani Sonca, je popolnoma osvetljena, vidimo "polno Venero"; ko se nahaja med Soncem in Zemljo, pa vidimo le majhen krajec. Ta krajec pa je navidezno večji od "polne Venere", ker je ob kraju Venera bližje Zemlji. S tem je bila potrjena **Kopernikova slika**, da se planeti gibljejo okoli Sonca.