prof. dr. Lambe Barandovski
mr. Vera Zoroska

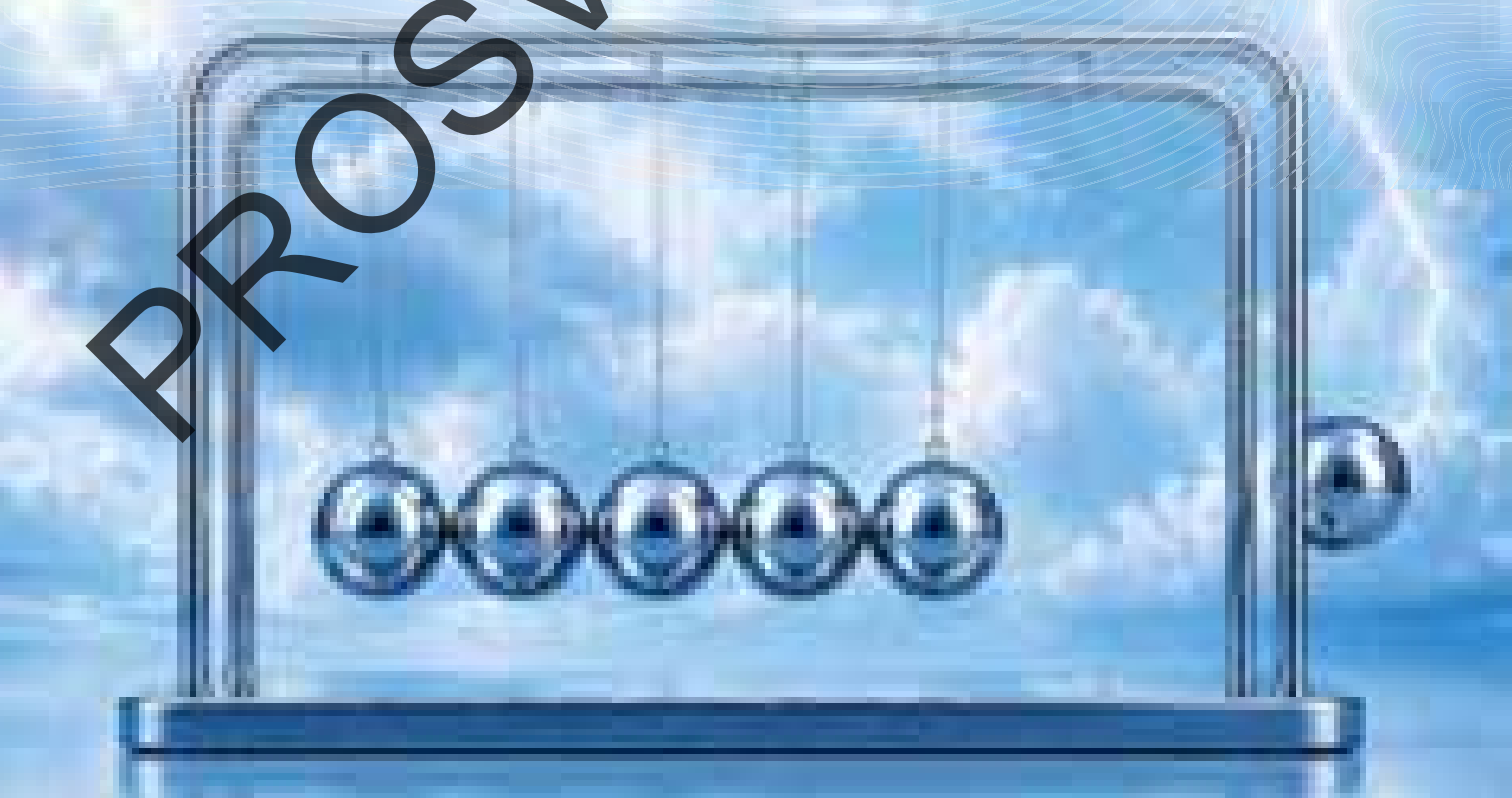


VIII

FIZIKA

ZA VIII RAZRED OSNOVNOG OBRAZOVANJA

PROSVETNO DELO



prof. dr. Lambe Barandovski
mr. Vera Zoroska

FIZIKA

ZA VIII RAZRED OSNOVNOG OBRAZOVANJA

PROSVETNO DELO

Prosvetnodelo

Skoplje, 2026

Autori

prof. dr. Lambe Barandovski – Institut za fiziku, Prirodno-matematički fakultet – Skoplje
Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“ – Skoplje
mr. Vera Zoroska – OOU „Hristo Uzunov“ – Ohrid

Recenzenti

prof. dr. Boce Mitrevski – Prirodno-matematički fakultet – Skoplje,
Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“ – Skoplje
prof. dr. Danica Krstovska – Prirodno-matematički fakultet – Skoplje,
Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“ – Skoplje
Katica Mitovska Hristovska – OOU „Kočo Racin“ – Skoplje

PROSVETNO DELO

Odlukom Nacionalne komisije za udžbenike u Republici Sjevernoj Makedoniji, donesenom dana 25.06.2026. godine, zavedenom pod brojem 26-766/1 dana 29.06.2026. godine u Ministarstvu obrazovanja i nauke Republike Sjeverne Makedonije, Pedagoška služba, odobrava se upotreba udžbenika za nastavni predmet Fizika za VIII razred osnovnog obrazovanja.

Dragi učenici,

Fizika je nauka koja nam pomaže da razumijemo svijet oko nas, počevši od najjednostavnijih pojava s kojima se svakodnevno susrećemo, do složenih prirodnih procesa koji se odvijaju u svemiru. Ovaj udžbenik je nastao s ciljem da vam pomogne da korak po korak upoznate fiziku ne samo kao skup formula i zakona nego kao naučnu disciplinu koja se neprestano razvija, doprinosi objašnjavanju svake prirodne pojave i primjenjuje se u stvarnom životu.

Udžbenik je strukturiran tako da se svaka lekcija logično nadovezuje na prethodnu. Pojmovi se uvode postepeno, uz jasne definicije, objašnjenja i primjere, a posebna pažnja posvećena je povezivanju fizičkih zakona s pojavama iz svakodnevnog života. Na ovaj način fizika postaje razumljiva, primjenjiva i zanimljiva.

Posebna karakteristika ovog udžbenika jeste to što, pored osnovnog teksta, sadrži:

- ❖ istraživačke aktivnosti i eksperimente,
- ❖ pitanja za razmišljanje koja vas podstiču da samostalno donosite zaključke,
- ❖ zadatke različitih nivoa težine,
- ❖ kratke rubrike „Zapamti“, koje ističu najvažnije ideje,
- ❖ primjere primjene fizike u tehnici, prirodi i svakodnevnom životu.

Ovakvim pristupom udžbenik od vas ne zahtijeva samo da pamtite činjenice nego vas ohrabruje da razmišljate, postavljate pitanja „zašto?“ i „kako?“, posmatrate, upoređujete i eksperimentišete. Fizika se ne uči samo iz knjige nego i istraživanjem.

Učenici, budite radoznali! Ne plašite se postavljati pitanja i praviti greške jer su greške dio učenja. Svaki veliki fizičar počeo je kao učenik koji se pitao zašto se nešto događa baš tako. Istražujte, eksperimentišite i razmišljajte kritički. Zakoni fizike nisu namijenjeni samo tome da se nauče nego da se otkriju, razumiju i primijene za buduća naučna i tehnološka otkrića, kojima će se svijet promijeniti nabolje.

Želimo vam uspješno i inspirativno putovanje kroz svijet fizike!

Autori

PROSVETNO DELO

LEGENDA

















PROSVETNO DELO

SADRŽAJ

TEMA 1 ENERGIJA 7
1.1. ENERGIJA I VRSTE ENERGIJE 8
1.2. PRETVARANJE ENERGIJE IZ JEDNE VRSTE U DRUGU 12
1.3. OBNOVLJIVI I NEOBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE 15
1.4. KINETIČKA ENERGIJA 20
1.5. GRAVITACIJSKA POTENCIJALNA ENERGIJA 24
1.6. ELASTIČNA POTENCIJALNA ENERGIJA 31
1.7. ZAKON O OČUVANJU MEHANIČKE ENERGIJE 35
1.8. ZAKON O OČUVANJU ENERGIJE 39
1.9. MEHANIČKI RAD 43
1.10. SNAGA I KOEFICIJENT KORISNOG DJELOVANJA 49
TEMA 1. PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE 55

TEMA 2 UNUTRAŠNJA ENERGIJA I TOPLOTA 57
2.1. GRAĐA SUPSTANCE 58
2.2. MEĐUČESTIČNI PROSTOR I MEĐUČESTIČNE SILE 62
2.3. AGREGATNO STANJE SUPSTANCE 66
2.4. TEMPERATURA. TEMPERATURNE SKALE 70
2.5. TOPLOTNO ŠIRENJE ČVRSTIH TIJELA 74
2.6. TOPLOTNO ŠIRENJE TEČNOSTI. ANOMALIJA VODE 78
2.7. TOPLOTNE PROMJENE KOD GASOVA 82
2.8. PROMJENE KOD GASOVA PRI KONSTANTNOJ TEMPERATURI 87
2.9. UNUTRAŠNJA ENERGIJA, TOPLOTA I TEMPERATURA 90
2.10. PRENOŠENJE TOPLOTE. KONDUKCIJA (TOPLOTNA PROVODLJIVOST) 94
2.11. PRENOŠENJE TOPLOTE KONVEKCIJOM (STRUJANJEM) I RADIJACIJOM (ZRAČENJEM) 97
2.12. SPECIFIČNI TOPLOTNI KAPACITET 102
2.13. TOPLOTNA RAVNOTEŽA. ZAKON O OČUVANJU ENERGIJE 106
TEMA 2. PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE 109

TEMA 3 ELEKTRICITET I MAGNETIZAM 111
3.1. GRAĐA ATOMA. ELEKTRIČNI NABOJI 112
3.2. NAELEKTRISAVANJE TIJELA 116
3.3. ELEKTRIČNO POLJE 120
3.4. ELEKTRIČNA STRUJA I IZVORI ELEKTRIČNE STRUJE 125
3.5. IZVORI ELEKTRIČNE STRUJE 129

PROSVETNO DELO

3.6. PROVODNICI, POLUPROVODNICI, IZOLATORI 133
3.7. MJERE ZAŠTITE PRI KORIŠTENJU ELEKTRIČNE STRUJE 136
3.8. ELEKTRIČNA STRUJA KROZ TEČNOSTI 139
3.9. STRUJA KROZ GASOVE I ELEKTRIČNE POJAVE U ATMOSFERI 143
3.10. EFEKTI ELEKTRIČNE STRUJE 147
3.11. MAGNETI I MAGNETNO POLJE 152
3.12. MAGNETNO POLJE ELEKTRIČNE STRUJE. ELEKTROMAGNET 157
TEMA 3. PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE 163

TEMA 4 SVJETLOST 165
4.1. PROSTIRANJE SVJETLOSTI 166
4.2. SJENE I POLUSJENE 169
4.3. ODBIJANJE SVJETLOSTI 174
4.4. RAVNO OGLEDALO I LIK KOD RAVNOG OGLEDALA 177
4.5. SFERNA OGLEDALA 182
4.6. KONSTRUKCIJA LIKOVA KOD SFERNIH OGLEDALA 186
4.7. PRELAMANJE SVJETLOSTI 191
4.8. TOTALNA REFLEKSIJA 196
4.9. OPTIČKA SOČIVA 202
4.10. KONSTRUKCIJA LIKOVA KOD SOČIVA 207
4.11. DISPERZIJA SVJETLOSTI 211
4.12. GRAĐA LJUDSKOG OKA 215
4.13. ADITIVNO I SUPTRAKTIVNO MIJEŠANJE BOJA 219
TEMA 4. PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE 223

INDEKS POJMOVA 225
ODGOVORI NA NEKE ZADATKE I PITANJA 231

PROSVETNO DELO

Tema 1:
ENERGIJA

Ova tema pomoći će ti da razumiješ svijet oko sebe: zašto se lopta odbija od podloge, kako je energija pohranjena u bateriji, zašto se umaramo kada trčimo i kako možemo koristiti energiju na pametan i održiv način.

Energija je nevidljiva, ali sveprisutna: u vjetru koji okreće lopatice vjetrenjača, u vodi koja pada s visine, u tijelu koje skače, u sunčevim zrakama koje omogućavaju život na Zemlji. Proučavanjem ove teme otkrit ćeš da postoje različiti oblici energije, kao što su kinetička, gravitacijska potencijalna, elastična, toplotna, svjetlosna, električna, ali ćeš ih naučiti i prepoznavati u svakodnevnim situacijama.

Moći ćeš izračunati koliko energije ima tijelo koje se kreće, razumjeti kako se energija pretvara iz jednog oblika u drugi i naučiti kako se prenosi. Također, naučit ćeš primjenjivati Zakon o očuvanju energije, koji nam govori da energija ne nastaje i ne nestaje, nego samo mijenja svoj oblik. Povezat ćeš mehanički rad koji vrši sila i način na koji taj rad mijenja energiju tijela.

PROSVETNO DELO

Rezultati učenja

Učenik/učenica će biti sposoban/sposobna:

- objasniti pojam energije i razlikovati različite oblike energije i različite izvore energije;
- određivati kinetičku energiju, gravitacijsku potencijalnu energiju i elastičnu potencijalnu energiju datih tijela;
- analizirati pretvaranje/transformaciju i prenošenje energije;
- primjenjivati zakon o očuvanju energije na primjerima iz stvarnih situacija;
- povezivati rad i energiju.

1.1. ENERGIJA I VRSTE ENERGIJE

POJMOVI

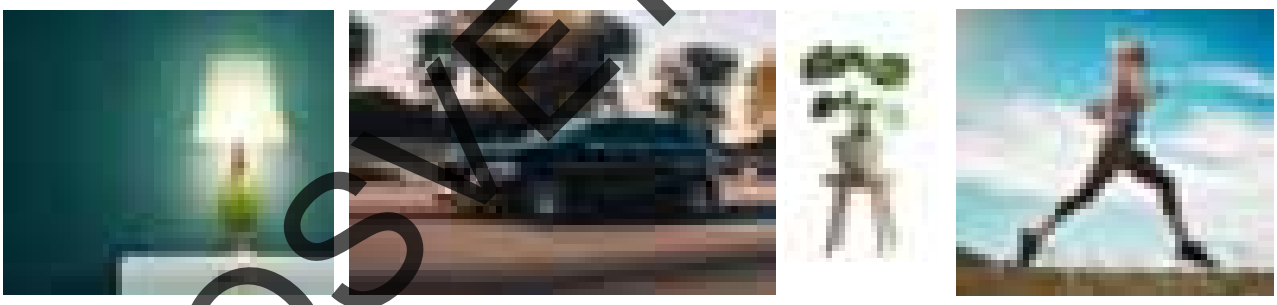
energija (*E*) | izvor energije | oblici energije | kinetička energija | gravitacijska potencijalna energija | unutrašnja energija

elastična potencijalna energija | džul (J) | električna energija | toplotna energija | hemijska energija | nuklearna energija

ENERGIJA I IZVORI ENERGIJE

Okruženi smo uređajima koji koriste energiju, kao što su mobilni telefon, svjetiljka, televizor, klima-uređaj, automobil itd. Energija je potrebna i biljkama, životinjama i ljudima. Svako od njih može izvršiti neki rad ili izazvati neku promjenu ukoliko ima energiju. Ako nema električne energije, svjetiljka ne svijetli, automobil bez goriva (ili ako je baterija prazna) ne može se kretati, biljka bez hrane i bez svjetlosti ne može rasti, čovjek, ako se ne hrani, ne može rasti i razvijati se, kretati se, raditi i stvarati.

Energija, zajedno sa supstancom i fizičkim poljem, predstavlja jedan od oblika u kojima se pojavljuje materija. Energija je sposobnost tijela ili sistema da vrši rad, odnosno da izazove promjenu.



Slika 1. Različite vrste energije. Svjetiljka koja svijetli, automobil u pokretu, biljka koja raste i čovjek koji trči.

Energija je izvedena fizička veličina i za nju koristimo oznaku E. Energija je skalarna veličina. Osnovna mjerna jedinica za energiju je 1 J (jedan džul). Okruženi smo tijelima i predmetima ili supstancama koji imaju različite vrste energije.

Za takva tijela, predmete ili supstance kažemo da su izvori energije. Čovjek koristi izvore energije jer se energija koju imaju može prenijeti s jednog na drugo mjesto, s jednog na drugo tijelo, pretvoriti iz jedne u drugu vrstu energije ili se može izvršiti mehanički rad. Izvori energije su vjetar, voda koja teče ili pada s neke visine, nafta, ugalj i prirodni gas, drvo i sve supstance koje mogu gorjeti, nuklearno gorivo, hrana koju unose živa bića, geotermalni izvori, morski valovi itd. Ipak, najveći i najvažniji izvor energije za cjelokupan

PROSVETNO DELO

život na Zemlji jeste Sunce. Bez njegove toplote i svjetlosti ne bi bilo biljaka, životinja, vode u pokretu, niti klime kakvu poznajemo. Najveći dio energije koju čovjek koristi posredno potječe od Sunca.

OBLICI (VRSTE) ENERGIJE

Energija se može pojaviti u različitim oblicima, zavisno od toga da li potječe od kretanja tijela ili od međudjelovanja između tijela ili čestica. Zbog toga energiju dijelimo na energiju kretanja (kinetičku) i energiju međudjelovanja tijela ili čestica (potencijalnu energiju).

Kinetička energija

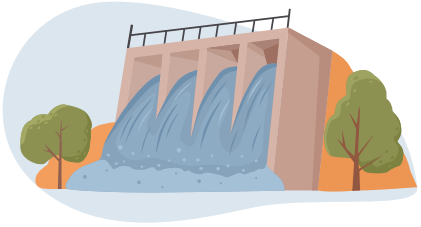
Svako tijelo koje se kreće ima kinetičku energiju. Kinetička energija tijela zavisi od njegove mase i brzine kojom se kreće. Kada se tijelo zaustavi, njegova kinetička energija ne nestaje – ona se pretvara u drugi oblik, najčešće u toplotu (zbog trenja između tijela koje se kreće i podloge). Primjeri tijela koja imaju kinetičku energiju su: automobil koji se kreće, lopta koja se kotrlja po podlozi, voda koja teče u rijeci, vjetrenjača koja se okreće kao rezultat puhanja vjetra.

Energija kao rezultat međudjelovanja

Ova energija ne pojavljuje se zbog kretanja tijela, nego zbog njegovog **položaja, stanja ili međudjelovanja između čestica u tijelu, ali i kao rezultat međudjelovanja tijela s drugim tijelima.** Ovdje spadaju sljedeće vrste energije koje mogu imati tijela ili supstance:

- **Gravitacijska potencijalna energija**

Tijelo ima energiju zato što se nalazi na nekoj visini iznad Zemlje. Što je tijelo na većoj visini iznad površine Zemlje i što je veća njegova masa, to je veća i njegova gravitacijska potencijalna energija. Gravitacijsku potencijalnu energiju ima voda koja je skupljena iza brane, jabuka koja se nalazi na grani itd.



Slika 2. Gravitacijska potencijalna i kinetička energija vode.

- **Elastična potencijalna energija**

Ovakvu energiju posjeduju tijela koja su izdužena ili sabijena u odnosu na svoje ravnotežno stanje, kao naprimjer sabijena opruga ili izdužena gumica, izdužena membrana napuhanog balona ili zategnuta tetiva luka.

- **Energija mehaničkih valova**

Zvuk, kao i valovi na vodi, predstavljaju mehaničke valove. Kod mehaničkih valova čestice sredine osciliraju, pri čemu predaju energiju susjednim česticama. Zvuk i valovi na vodi prostiru se od mjesta svog nastanka, pri čemu čestice prenose energiju s jednog na drugo mjesto.

PROSVETNO DELO

▪ **Hemijska energija**

Ova energija pohranjena je u supstancama, odnosno u vezama između atoma i molekula. Ova energija može se osloboditi pri hemijskim reakcijama – kao što su sagorijevanje goriva, varenje hrane ili uključivanje baterije u strujni krug.



Slika 3. Hemijska energija uglja.

Slika 3. Hemijska energija uglja.

▪ **Električna energija**

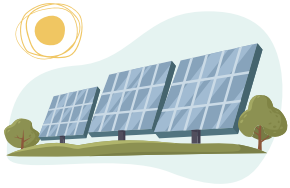
Javlja se kada se električni naboji kreću kroz provodnik. Ova energija je najčešće korišteni oblik u tehnologiji i može se lako pretvarati u druge oblike: svjetlosnu, toplotnu ili energiju zvučnih valova.

▪ **Unutrašnja i toplotna energija**

Unutrašnja energija je ukupna energija svih čestica od kojih je tijelo sastavljeno, a potječe od njihovog kretanja i međudjelovanja. Ako se čestice kreću većom brzinom, povećava se **toplotna energija** tijela, koja se prenosi s tijela s višom temperaturom na tijela s nižom temperaturom. Unutrašnju energiju posjeduje svako tijelo. Što je veća unutrašnja energija tijela, to je tijelo zagrijano na višu temperaturu.

▪ **Svjetlosna energija**

Ako se tijela previše zagriju, tada se dio toplotne energije može emitovati u obliku svjetlosne energije. Primarni izvor svjetlosne energije je Sunce, a u svakodnevnom životu svjetlost najčešće dobijamo od električnih svjetiljki.



Slika 4.
Svjetlosna energija.

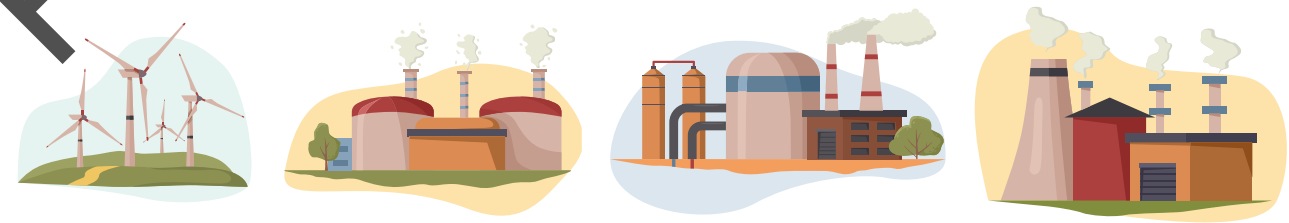
▪ **Nuklearna energija**



Slika 5.
Nuklearna energija.

Nuklearna energija oslobađa se pri reakcijama u atomskim jezgrama. Cjelokupna energija koju Sunce zrači potječe od energije koja nastaje procesima u jezgrama atoma na Suncu. Nuklearna energija na Zemlji koristi se za dobijanje električne energije u nuklearnim elektranama.

Često se kinetička energija i gravitacijska potencijalna energija, kao i energija koja se prenosi mehaničkim valovima, kao što su zvučni valovi i valovi na vodi, zajedničkim imenom nazivaju **mehanička energija**.



Slika 6. Energija vjetra, biomasa, geotermalna energija, prirodni gas.

PROSVETNO DELO



Slika 7. Različite vrste energije.

AKTIVNOST

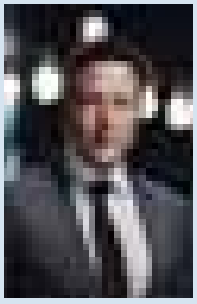
1. Energetska vrijednost hrane

Izaberi četiri prehrambena proizvoda iz frižidera i istraži koliko ćeš energije unijeti u organizam jedući 100 g svakog proizvoda. Jedenjem kojeg proizvoda ćeš unijeti najviše energije? Da li unesena energija u organizam zavisi samo od vrste proizvoda ili i od mase proizvoda koji si pojeo?

ZA 5+

Istraži koji se izvori energije koriste u našoj državi za dobijanje električne energije.

POZNATI NAUČNIK



Elon Musk (Elon Musk, 1971)

Elon Musk je američki poduzetnik i inovator čiji je rad dramatično promijenio industriju električnih vozila, baterijskih tehnologija i obnovljivih izvora energije. Rođen u Pretoriji, Južnoafrička Republika, Musk je od ranog uzrasta pokazivao veliko interesovanje za fiziku i inženjerstvo. Kasnije se preselio u SAD, gdje je na Univerzitetu u Pennsylvaniji stekao dvije univerzitetske diplome – jednu iz fizike, a drugu iz ekonomije. Njegovo obrazovanje omogućilo mu je da razumije potencijal baterijskih sistema i obnovljivih izvora energije. Putem svojih kompanija Musk je razvio najsavremenije litij-jonske baterije i solarne sisteme za domaćinstva i industrijsku proizvodnju električne energije. Danas njegove kompanije imaju ključnu ulogu u globalnom prelasku s fosilnih goriva na obnovljive izvore, čineći električnu energiju efikasnijom, čišćom i dostupnijom.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Za svaki korak koji napravimo trošimo približno 0,5 džula energije.

PITANJA I ZADACI

1. Koji izvori energije postoje u tvom neposrednom okruženju?
2. Navedi tri primjera iz svakodnevnog života kada tijelo ima energiju.
3. Koje tijelo ima veću kinetičku energiju: automobil koji se kreće brzinom od 10 m/s ili kamion koji se kreće istom brzinom?
4. Kakvu energiju dobijamo od Sunca?
5. Koje izvore energije svakodnevno koristiš?

ZAPAMTI

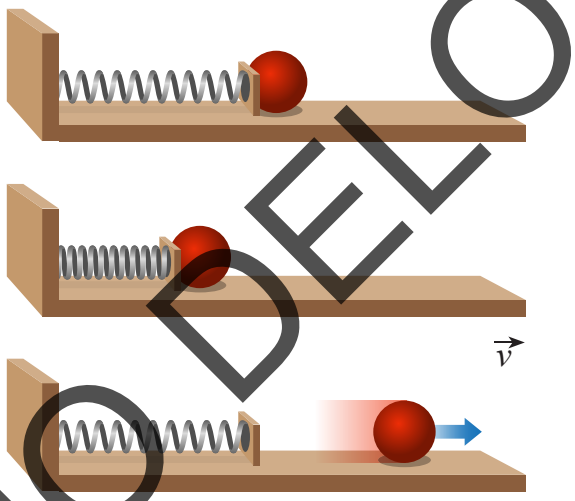
- Energija je sposobnost tijela ili sistema da vrši mehanički rad.
- Osnovna jedinica za energiju u Međunarodnom sistemu jedinica (SI) je džul (J).

PROSVETNO DELO

1.2. PRETVARANJE ENERGIJE IZ JEDNE VRSTE U DRUGU

Energija ima nekoliko značajnih svojstava. Osim što postoji u različitim oblicima (mehanička, električna, toplotna, hemijska ...), energija se može prenositi s jednog tijela na drugo ili s jednog mjesta na drugo i može se transformisati iz jedne vrste u drugu.

Sabijena opruga je primjer tijela koje ima elastičnu potencijalnu energiju. Kada je izdužena ili sabijena, iako miruje, ima sposobnost da pokrene neko tijelo. Kada pustimo oprugu prikazanu na Slici 1, ona se vraća u svoj prvobitni oblik i pokreće tijelo, pri čemu se elastična potencijalna energija pretvara u kinetičku energiju tijela. Kada se tijelo prestane kretati, energija se pretvara u toplotnu energiju kao rezultat trenja tijela s podlogom i česticama zraka.



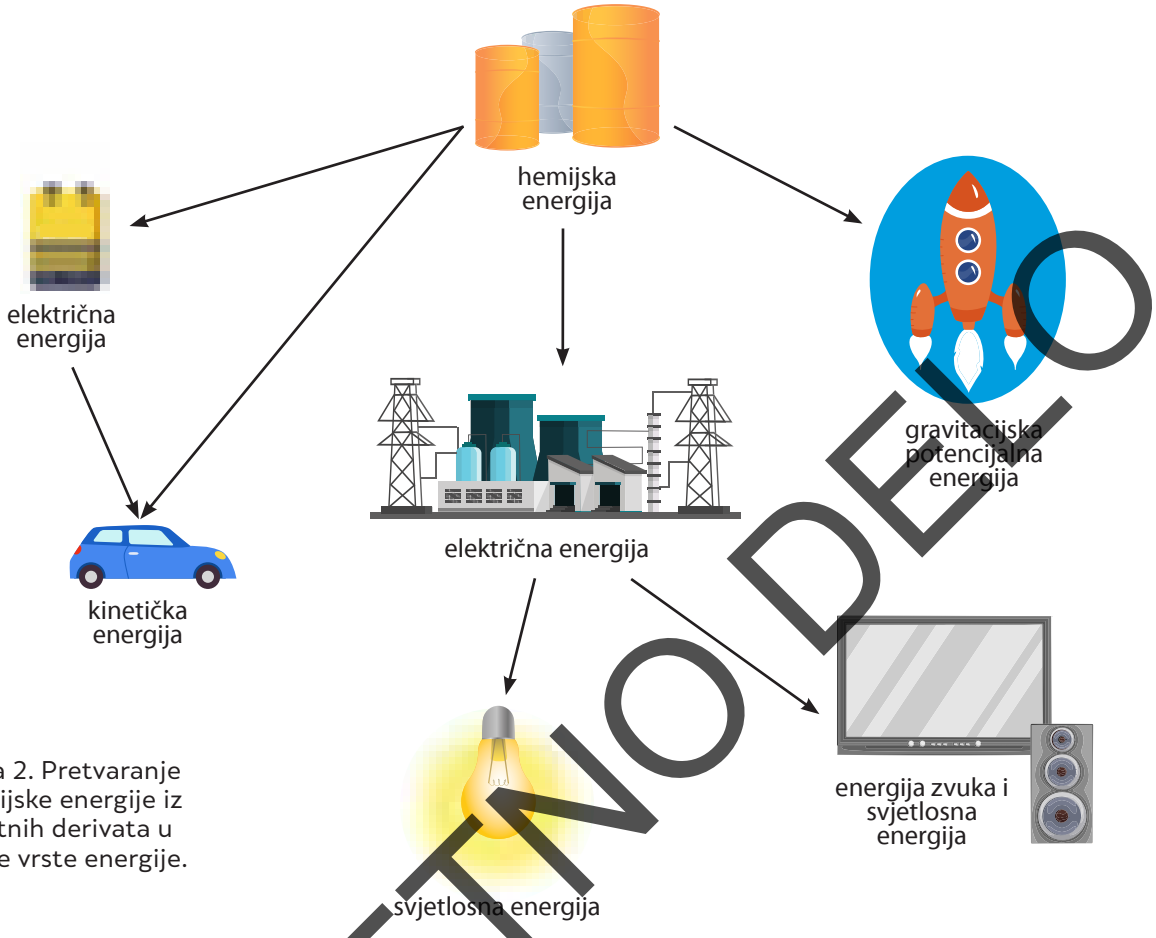
Slika 1. Pretvaranje elastične potencijalne energije u kinetičku energiju.

Kada vozimo bicikl, hemijska energija iz hrane pretvara se u kinetičku. Kada svjetiljka svijetli, električna energija pretvara se u svjetlosnu i toplotnu. Pri sagorijevanju benzina u automobilu dobija se kinetička i toplotna energija. Gravitacijska potencijalna energija vode u hidroelektranama najprije se pretvara u kinetičku energiju vode, a zatim u električnu energiju. Svjetlosnu energiju sa Sunca biljke koriste za stvaranje hrane, odnosno pretvaraju je u hemijsku energiju. Ovo pretvaranje energije iz jedne vrste u drugu osnova je svih procesa u prirodi i našoj svakodnevici.

Razumijevanje energije pomaže nam da shvatimo svijet i tehnologiju oko nas. Možemo naučiti kako rade mašine, kako se tijela kreću i kako možemo koristiti energiju na pametan i održiv način. Energija se može i pohranjivati ako postoji način da se sačuva za kasniju upotrebu. Neki oblici energije, kao što su hemijska, gravitacijska potencijalna energija i nuklearna energija, mogu se pohranjivati, a kinetička, električna i svjetlosna energija ne mogu se pohranjivati, pa se pretvaraju u druge oblike koji se lako pohranjuju.

Naprimjer, kinetička energija vode u hidroelektranama pretvara se u električnu energiju koja se, ukoliko se ne koristi u trenutku kada je proizvedena, može pretvoriti u hemijsku energiju pohranjenu u baterijama. Na sličan način i svjetlosna energija sa Sunca, primjenom fotonaponskih kolektora, pretvara se u električnu energiju koja se također može pohraniti kao hemijska energija u baterijama.

PROSVETNO DELO



Slika 2. Pretvaranje hemijske energije iz naftnih derivata u druge vrste energije.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Pretvaranje energije iz jedne vrste u drugu

Pusti kuglicu da se kotrlja niz nagnutu ravan i zabilježi šta se događa s njenom brzinom. Objasni kakvu energiju ima kuglica prije nego što je pustiš da se kreće niz nagnutu ravan. Koji se oblik energije mijenja tokom kretanja? Koja se energija smanjuje, a koja povećava? Kada se kuglica zaustavi na horizontalnoj površini, objasni u šta se pretvorila energija koju je kuglica imala na početku.

2. Stvaranje kratera

Uzmi nekoliko metalnih kuglica različitih masa, napravljenih od istog materijala, i posudu u kojoj se nalazi pijesak. Prvo pusti jednu od kuglica da pada s različitih visina i posmatraj koliki je prečnik kratera koji kuglica stvara u pijesku. Da li kuglica, ako je puštena da pada s veće visine, stvara krater većeg prečnika? U drugom dijelu ove aktivnosti pusti kuglice različitih masa da padaju s iste visine. Koja je kuglica stvorila krater najvećeg prečnika? U kakvu se energiju pretvorila gravitacijska potencijalna energija kada kuglica padne u pijesak?

3. Zašto se voda zagrijala?

Postavi dvije čaše s vodom: jednu na sunce, a jednu u hlad. Nakon 30 minuta izmjeri temperaturu vode u obje čaše. Objasni šta ovaj eksperiment pokazuje o transformaciji energije.

ZA 5+

Istraži kako funkcioniše hibridni automobil. Koja pretvaranja energije nastaju pri ubrzavanju i kočenju automobila?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Čak i kada sjedi i čita, učenik troši energiju. Ljudski mozak koristi oko 20 % ukupne hemijske energije koja se oslobađa u tijelu.

POZNATI NAUČNIK

James Prescott Joule (1818–1889)



Joule je bio engleski fizičar koji je živio u 19. stoljeću i još od djetinjstva pokazivao veliko interesovanje za eksperimente. Rođen je u gradu Salfordu, u Engleskoj. Iako nije imao klasično univerzitetsko obrazovanje, od mladosti se interesovao za elektricitet, magnetizam i toplotnu energiju. Radio je u laboratoriji koju je sam uredio u podrumu svoje kuće. U to vrijeme mnogi naučnici vjerovali su da je toplota posebna supstanca, nazvana „kalorik“, koja teče iz jednog tijela u drugo. Joule se nije slagao s tim. Pažljivim mjerenjima i brojnim eksperimentima pokazao je da toplota nije supstanca, nego oblik energije koji se javlja kada se vrši mehanički rad. Ovim otkrićem Joule je postavio temelje Zakona o očuvanju energije. U njegovu čast jedinica za energiju u SI nosi njegovo ime – džul (J).

PITANJA I ZADACI

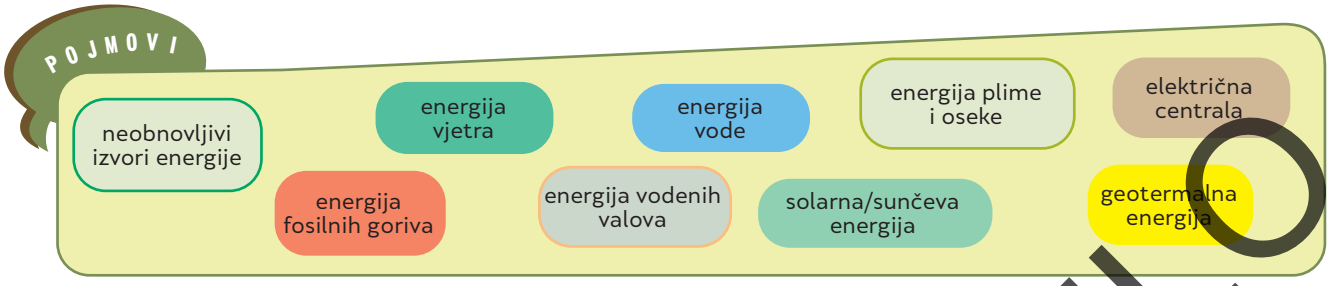
1. Navedi dva primjera pretvaranja hemijske energije u druge vrste energije.
2. Navedi dva primjera pretvaranja električne energije u druge vrste energije.
3. Postoje ručni satovi koji kao izvor energije ne koriste bateriju, nego koriste kretanje ruke. Kakve promjene energije nastaju kod ovakvih satova?
4. Objasni kakve se promjene energije događaju kada učenik skače na trampolini.
5. Zašto kažemo da najveći dio energije koju čovjek koristi posredno potječe od Sunca?

ZAPAMTI

- U svim prirodnim procesima događa se neko pretvaranje ili prenos energije.

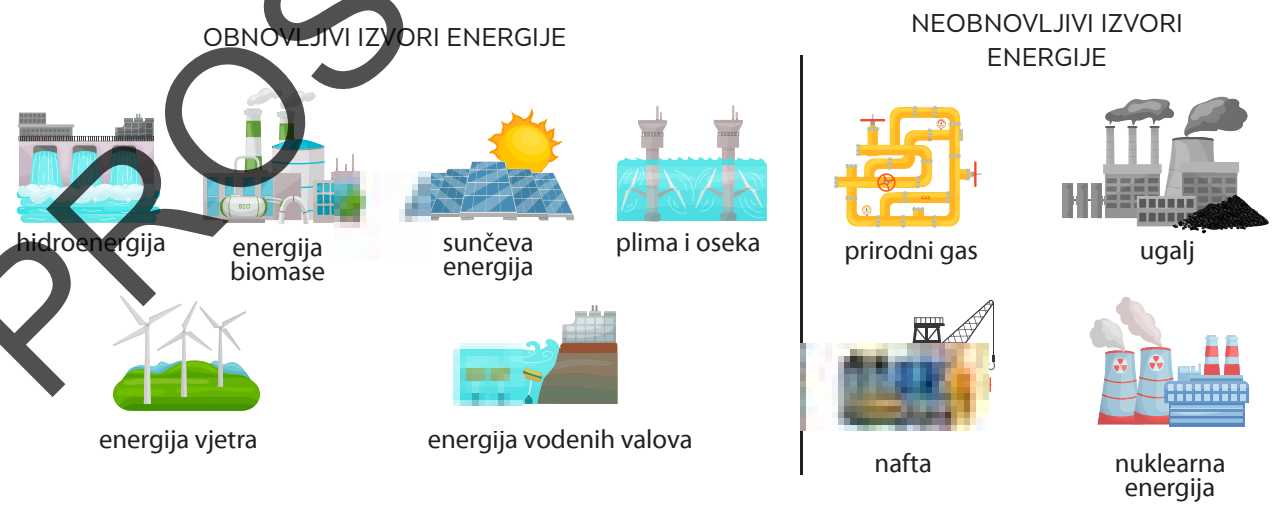
PROSVETNO DELO

1.3. OBNOVLJIVI I NEOBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE



Svako jutro, kada se probudimo i uključimo svjetlo, pustimo vodu iz česme ili zagrijavamo doručak, koristimo energiju. Ali odakle dolazi ta energija i hoće li je biti zauvijek? Priroda nam omogućava različite izvore energije, ali nisu svi jednako dostupni niti jednako sigurni za životnu sredinu. Neki izvori se neprestano obnavljaju i mogu se koristiti bez straha da će nestati, dok drugi postoje u ograničenim količinama i trebamo ih pažljivo koristiti. Prema tome, izvore energije dijelimo na **obnovljive i neobnovljive izvore energije**.

Obnovljivi izvori energije su oni koje priroda neprestano stvara i nadopunjava. Sunce svakog dana šalje ogromnu količinu svjetlosne i toplotne energije prema Zemlji. Vjetar je stalno prisutan zbog neravnomjernog zagrijavanja zraka na različitim mjestima na Zemlji, rijeke teku zahvaljujući vodi koja isparava i ponovo se vraća na Zemlju kao kiša. Ove prirodne pojave postoje milionima godina i nastavit će postojati. Zato se Sunce, vjetar i energija koja se dobija pomoću kretanja vode smatraju neiscrpnim izvorima. Ovdje možemo dodati i energiju iz biomase – organski otpad biljaka i životinja, kao i geotermalnu energiju koja potječe od toplote u unutrašnjosti Zemlje. Svi ovi izvori nazivaju se **čistim izvorima energije** jer se njihovim korištenjem ne izaziva zagađenje okoline niti se ispuštaju štetni gasovi u atmosferu.



Slika 1. Obnovljivi i neobnovljivi izvori energije.

PROSVETNO DELO

Neobnovljivi izvori energije formirali su se tokom miliona godina ispod površine Zemlje i njihove količine su ograničene. Neobnovljivi izvori su **fosilna goriva** – ugalj, nafta, prirodni gas. Fosilna goriva nastala su od ostataka drevnih biljaka i životinja koji su se tokom vremena pretvorili u supstance koje pri sagorijevanju oslobađaju veliku količinu toplotne energije, koja se zatim pretvara u mehaničku ili električnu energiju. Osim njih, u grupu neobnovljivih izvora spada i nuklearno gorivo, supstance koje pri cijepanju svojih atomskih jezgara oslobađaju energiju koja se koristi u nuklearnim **električnim centralama** za proizvodnju električne energije.



Slika 2. Topljenje glečera direktna je posljedica globalnog zagrijavanja.

Fosilna goriva, iako su trenutno najviše korištena, imaju ozbiljne nedostatke. Ovi izvori nastali su prije miliona godina i njihove količine su ograničene. Pri njihovom sagorijevanju oslobađaju se velike količine dima (u kojem ima ugljenmonoksida, ugljendioksida, sumpordioksida, azotnih oksida i veoma sitnih čvrstih čestica) koje zagađuju zrak i mijenjaju klimu na Zemlji. Ovaj proces dovodi do pojave koja se naziva efekt staklene bašte, pri čemu dio toplote koju Sunce šalje prema Zemlji ostaje „zarobljen“ u atmosferi. Kao posljedica toga, prosječna temperatura na Zemlji postepeno raste. Ovaj proces nazivamo globalnim zagrijavanjem.

Posljedice globalnog zagrijavanja već su primjetne. Topi se led na polovima i glečeri u planinama, što dovodi do porasta nivoa mora i poplava u priobalnim područjima. Klima na Zemlji se mijenja, neke regije suočavaju se sa sušama, a druge s obilnim kišama i nevremenom. Zagađenje iz fabrika i vozila dodatno pogoršava stanje kvaliteta zraka i zdravlja ljudi. Gasovi koji nastaju pri sagorijevanju fosilnih goriva stvaraju kisele kiše koje oštećuju tlo, biljke i zagađuju vode.

Za razliku od njih, obnovljivi izvori energije ne stvaraju štetne gasove. Solarni paneli pretvaraju **Sunčevu energiju** u električnu energiju bez zagađenja. Vjetrenjače koriste kinetičku **energiju vjetra** za stvaranje električne energije, a hidroelektrane pretvaraju kinetičku **energiju vode** u električnu energiju. Energija se može dobiti i iz kretanja **morskih valova**, koji neprestano nastaju pod



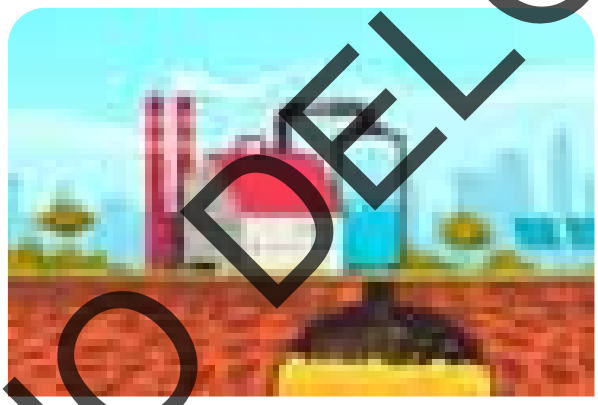
Slika 3. Solarni paneli za dobijanje električne energije iz sunčeve svjetlosti.

PROSVETNO DELO

utjecajem vjetra. Valovi nose veliku količinu mehaničke energije, koja se može iskoristiti postavljanjem posebnih plutajućih uređaja koji njihovu energiju pretvaraju u električnu energiju.

Osim toga, energija plime i oseke još je jedan zanimljiv i veoma stabilan izvor. Plima i oseka nastaju pod djelovanjem gravitacijskog privlačenja između Zemlje i Mjeseca, a periodično podizanje i spuštanje nivoa mora može se iskoristiti za pokretanje turbina u posebnim električnim centralama za plimu. Na taj način prirodno kretanje vode koje se neprestano ponavlja može se pretvoriti u električnu energiju.

Biomasa, kao što su drveće i neke industrijske kulture, kao i geotermalni izvori, mogu se koristiti za grijanje domova ili za proizvodnju biogoriva koja zamjenjuju fosilna goriva. Energija koja se dobija iz unutrašnjosti Zemlje, odnosno geotermalna energija, najviše se koristi na mjestima gdje postoje aktivni vulkani i topli izvori, pri čemu se cijeli gradovi griju na ovaj način.



Slika 4. Korištenje geotermalne energije.

Ipak, i obnovljivi izvori imaju svoja ograničenja. Proizvodnja električne energije iz Sunca zavisi od vremenskih prilika i dužine dana, vjetroelektrane ne mogu raditi bez vjetra, a izgradnja velikih hidroelektrana može negativno utjecati na životnu sredinu. Zato je najbolje rješenje kombinovano korištenje različitih izvora i neprestano usavršavanje tehnologija za njihovu efikasnu upotrebu.

Čovječanstvo se danas suočava s velikim izazovom – kako osigurati dovoljno energije za sve, a pritom sačuvati planetu za buduće generacije. Prelazak s fosilnih goriva na obnovljive izvore nije samo tehnološko nego i društveno i ekološko pitanje. Što se brže poveća upotreba čistih izvora energije, to će sporije napredovati globalno zagrijavanje i očuvat će se životna sredina.

Razumijevanje razlike između obnovljivih i neobnovljivih izvora energije nije samo dio fizike nego i dio naše svakodnevice. Odluke koje donosimo – hoćemo li koristiti javni prijevoz, ugasiti svjetlo kada ga ne koristimo ili postaviti solarni panel – mali su, ali važan doprinos stvaranju čišće i održivije budućnosti.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Sagorijevanje fosilnih goriva i zagađenje zraka

Uzmi jedan list papira i jedan list drveta ili suhu granu. Stavi ih u metalni tanjir ili posudu otpornu na toplotu. Neka nastavnik pažljivo zapali materijal, a odmah zatim ga pokrij staklenom teglom ili prozirnom plastičnom kutijom. Posmatraj šta se događa, šta će se pojaviti i šta će se dogoditi s prozirnošću kutije, odnosno tegle. Objasni kako je sagorijevanje u ovoj aktivnosti slično sagorijevanju fosilnih goriva u električnim centralama i prijevoznim sredstvima. Šta se dogodilo sa zrakom u tegli? Zašto se staklo zamaglilo?

2. Demonstracija efekta staklene bašte

Uzmi dvije plastične boce iste zapremine (naprimjer 1 litar) čiji čepovi imaju mali otvor u koji možeš postaviti termometar. U prvu bocu nemoj dodavati ništa, samo je zatvori čepom i stavi termometar u otvor na čepu. Zapremina ove boce ispunjena je samo zrakom. U drugu bocu, pomoću lijevka, stavi dvije kašičice sode bikarbone i dodaj 50 mL sirćeta. Odmah zatvori bocu čepom kroz koji je provučen termometar kako bi se zadržao nastali ugljendioksid. Ova boca imat će veću količinu ugljendioksida u odnosu na prvu bocu.

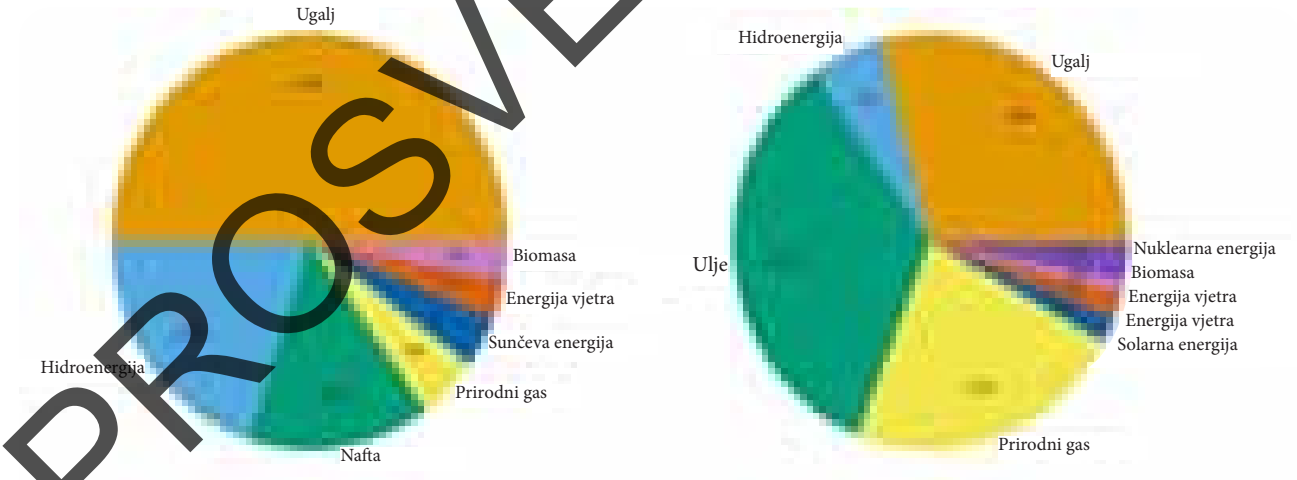
Postavi obje boce na isto rastojanje od električne lampe koja će služiti kao izvor „sunčeve" energije. Nakon 5–10 min izmjeri temperaturu gasa u obje boce. U kojoj boci je temperatura viša? Ako ste dobro izveli eksperiment, temperatura u boci s većom količinom ugljendioksida bit će viša jer taj gas više zadržava toplotu — isto kao što se to događa i u atmosferi Zemlje. Kako su rezultati ove aktivnosti povezani s globalnim zagrijavanjem? Šta možemo učiniti da smanjimo utjecaj ovih gasova?

3. Demonstracija topljenja leda na polovima

U ovoj aktivnosti istražit ćeš kako topljenje leda na kopnu utječe na nivo svjetskog mora, dok topljenje morskog leda ne izaziva značajnu promjenu. Uzmi dvije prozirne plastične čaše i napuni ih istom zapreminom vode. U prvu čašu stavi kockice leda direktno u vodu. Ove kockice leda predstavljat će morski led, odnosno led koji pluta u svjetskom moru. U drugu čašu postavi drvene štapiće iznad površine vode i stavi led na njih. Ovaj led predstavljat će led koji se nalazi na kopnu u svijetu.

Flomasterom ili trakom označi početni nivo vode u obje čaše. Ostavi čaše na sobnoj temperaturi ili na toplom mjestu dok se led ne otopi. U kojoj čaši se nivo vode povećao? Kako su rezultati ove aktivnosti povezani s topljenjem glečera na Grenlandu i Antarktiku? Šta će se dogoditi s priobalnim gradovima ako nivo okeana nastavi rasti?

PROSVETNO DELO



Slika 5. Procentualni udio različitih izvora energije u našoj državi – kružni dijagram prikazan lijevo i u svijetu – kružni dijagram desno, za 2024. godinu.

ZA 5+

Istraži koliko iznosi ukupna godišnja proizvodnja električne energije u našoj državi i koliki dio toga potječe iz obnovljivih izvora. Koji dijelovi naše države pogodni su za postavljanje solarnih električnih centrala, a koji za vjetroelektrane?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Na Islandu gotovo 100 % energije potječe iz obnovljivih izvora – pretežno iz geotermalnih izvora i hidroelektrana.

POZNATI NAUČNIK



Alexandre-Edmond Becquerel (1820–1891)

Becquerel je bio francuski fizičar, rođen u Parizu, koji je ostavio trajan naučni trag u istraživanjima svjetlosti, elektriciteta i materije. Potjecao je iz poznate naučne porodice: njegov otac Antoine-César Becquerel bavio se elektrohemijom i električnim pojavama, a njegov sin Henri Becquerel kasnije će postati poznat po otkriću radioaktivnosti.

Najpoznatiji Becquerelov doprinos jeste njegovo otkriće iz 1839. godine, kada je eksperimentalno posmatrao fotonaponski efekt: pojavu pri kojoj pod djelovanjem svjetlosti u određenom sistemu može doći do protjecanja struje. U svom klasičnom eksperimentu radio je s elektrolitičkom ćelijom u kojoj su elektrode bile osvijetljene, a rezultat je bio mjerljiv električni signal. To je bio prvi jasan dokaz da se svjetlosna energija može neposredno povezati s električnom pojavom, što predstavlja osnovu principa rada solarnih ćelija. Zbog toga se fotonaponski efekt ponekad naziva i „Becquerelov efekt“.

PITANJA I ZADACI

1. Objasni svojim riječima šta su obnovljivi, a šta neobnovljivi izvori energije. Navedi najmanje tri obnovljiva i tri neobnovljiva izvora energije.
2. Šta predstavlja biomasa i kako se može koristiti kao izvor energije?
3. Koje su posljedice prekomjerne upotrebe fosilnih goriva?
4. Šta je efekt staklene bašte i kako nastaje?
5. Objasni vezu između globalnog zagrijavanja i topljenja leda na polovima.

ZAPAMTI

- Energija se može dobijati iz različitih izvora u prirodi.
- Obnovljivi izvori energije su oni koji se prirodno nadopunjavaju i ne zagađuju okolinu – sunčeva energija, energija vjetra, vode i mehaničkih valova, energija plime i oseke, biomasa, geotermalna energija.
- Neobnovljivi izvori su ograničeni: ugalj, nafta, prirodni gas i nuklearno gorivo.
- Sagorijevanjem fosilnih goriva nastaju štetni gasovi koji dovode do efekta staklene bašte i globalnog zagrijavanja.
- Prelazak na obnovljive izvore neophodan je za održivu budućnost i zaštitu prirodne ravnoteže.

PROSVETNO DELO

1.4. KINETIČKA ENERGIJA

POJMOVI

Kinetička energija (E_k)



Slika 1. Kinetička energija vjetra pokreće lopatice vjetroturbina.

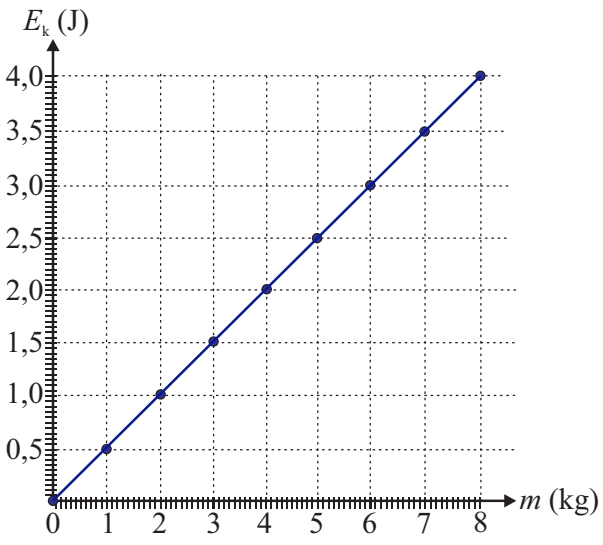
Svako tijelo koje se kreće ima energiju. Zamisli loptu koja se kotrlja ili vjetar koji puše. Ako ova tijela naiđu na prepreku, mogu izazvati promjenu – pokrenuti prepreku, promijeniti njen oblik ili je pak slomiti. Tako, kada vjetar (zračna masa koja se kreće) udara u lopatice vjetroturbine, njegova brzina se smanjuje, ali zato lopatice turbine počinju da se kreću. Ako lopta koja se kotrlja udari u elastičnu oprugu, tada će se opruga deformisati. Ovo pokazuje da je kretanje tijela povezano s mogućnošću da tijelo izvrši mehanički rad. Energija koju tijelo ima zbog svog kretanja naziva se kinetička energija. Kinetičku energiju jednog tijela označavamo sa E_k.

Od čega zavisi veličina kinetičke energije koju ima neko tijelo? Od dva tijela jednakih masa, veću kinetičku energiju ima tijelo koje se kreće većom brzinom. Ako se dvije kuglice različitih masa i jednakih brzina kotrljaju prema nepokretnoj opruzi, kuglica veće mase više će sabiti oprugu. Ako, pak, kuglice imaju istu masu, ali se kotrljaju različitim brzinama prema opruzi, tada će kuglica koja ima veću brzinu više sabiti oprugu. Kada voda koja pada s male visine u hidroelektrani ima određenu brzinu, proizvodi malu količinu električne energije. Ako pada s veće visine, njena brzina prije udara je veća, a time i kinetička energija. Zato se kod hidroelektrana grade visoke brane u kojima se akumulira voda kako bi se dobila veća energija.

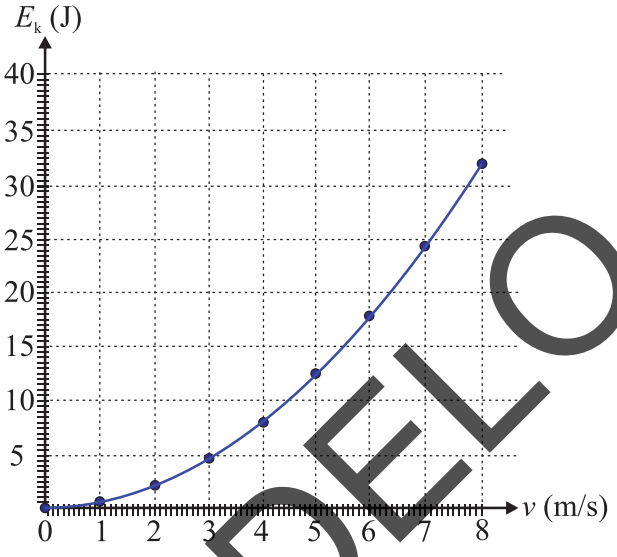
Iako kinetička energija zavisi od mase tijela i njegove brzine, ta zavisnost od brzine ipak nije direktno proporcionalna, nego se kinetička energija povećava direktno proporcionalno kvadratu brzine. Prema tome, ako znamo masu tijela m i njegovu brzinu v, njegovu kinetičku energiju možemo izračunati prema formuli:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

PROSVETNO DELO



Slika 2. Grafik zavisnosti kinetičke energije tijela od njegove mase je prava linija. Na grafiku je prikazana kinetička energija tijela čija brzina iznosi 1 m/s, a njegovu masu mijenjamo od 1 kg do 8 kg.



Slika 3. Grafik zavisnosti kinetičke energije tijela od brzine nije prava, nego kriva linija. Na grafiku je prikazana kinetička energija tijela mase 1 kg, čija se brzina povećava od 0 m/s do 8 m/s.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER 1.

Automobil mase 1500 kg kreće se kroz grad brzinom od 10 m/s, a na autoputu brzinom od 20 m/s.

a. Izračunaj kinetičku energiju automobila u oba slučaja.

6. Koliko puta je kinetička energija automobila kada se kreće na autoputu (E_{k2}) veća od kinetičke energije kada se automobil kreće kroz grad (E_{k1})?

Dato:

$m = 1500\,\text{kg}$

$v_1 = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$v_2 = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Traži se:

$E_{k1} - ?$

$E_{k2} - ?$

$n - ?$

a. Prema formuli za izračunavanje kinetičke energije za oba slučaja imamo:

$$E_{k1} = \frac{m \cdot v_1^2}{2} = \frac{1500\,\text{kg} \cdot \left(10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 75000\,\text{J} = 75\,\text{kJ},$$

$$E_{k2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} = \frac{1500\,\text{kg} \cdot \left(20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 300000\,\text{J} = 300\,\text{kJ}.$$

6. Odnos kinetičkih energija n iznosi:

$$n = \frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{300\,\text{kJ}}{75\,\text{kJ}} = 4.$$

Iz drugog dijela zadatka možemo zaključiti da se, ako se automobil kreće dvostruko većom brzinom, njegova kinetička energija povećava 4 puta.

Kada tijelo prestane da se kreće, njegova kinetička energija ne nestaje – ona se pretvara u drugi oblik energije, najčešće u toplotnu energiju zbog trenja tijela s drugim tijelima, podlogom ili zrakom. Zato se pri kočenju automobila zagrijavaju kočnice, a pri padu tijela na Zemlju kinetička energija tijela pretvara se u toplotnu energiju i energiju mehaničkog vala (zvuk).

AKTIVNOSTI

1. Zavisnost kinetičke energije od mase tijela

Na kraj nagnute ravni postavi prepreku od gline ili plastelina. S njenog vrha pusti da se kotrlja nekoliko kuglica različitih masa – naprimjer metalna, gumena i plastična. Ako se kuglice puste da se kotrljaju s iste visine, na kraju nagnute ravni imat će jednake brzine. Kada kuglice udare u prepreku, svaka kuglica ostavlja trag različite dubine. Koja je kuglica ostavila dublji trag u glini? Kakav zaključak možeš izvesti iz ove aktivnosti?

2. Zavisnost kinetičke energije od brzine kretanja

U ovoj aktivnosti koristi samo metalnu kuglicu iz prethodne aktivnosti i istu prepreku od gline, ali mijenjaj visinu s koje se kuglica pušta. Prvo se kuglica pušta s manje visine na nagnutoj ravni, a zatim s veće. Primijeti da je brzina kuglice veća kada se kuglica pušta s veće visine na nagnutoj ravni. Kada je dubina traga veća? Kakav zaključak možeš izvesti? Da li kinetička energija tijela zavisi od njegove brzine?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Kada meteorit uđe u atmosferu Zemlje, njegova kinetička energija pretvara se u toplotnu energiju zbog njegovog trenja s česticama u atmosferi. Kada se meteor dovoljno zagrije, dio te toplotne energije zrači kao svjetlosna energija, pa zato svijetli dok pada i vidimo ga kao „zvijezdu padalicu“.



ZA 5+

Brzina, koja je vektorska veličina i ima pravac, smjer i intenzitet, predstavlja mjeru za to koliki put tijelo prelazi za određeno vrijeme. Kada se jedno tijelo kreće po pravoj liniji i u svakom jednakom vremenskom intervalu prelazi isti put, kažemo da se tijelo kreće ravnomjerno pravolinijski. Brzina kod ravnomjernog pravolinijskog kretanja je konstantna, a može se izračunati izrazom:

$$v = \frac{s}{t},$$

gdje je s put izražen u metrima (m), a t vrijeme za koje je taj put pređen, izraženo u sekundama (s). Osnovna mjerna jedinica za brzinu je metar u sekundi (m/s). Naprimjer, ako biciklist pređe 100 metara za 10 sekundi, njegova brzina je 10 m/s.



PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716)



Leibniz je bio njemački filozof, matematičar i fizičar koji je u XVII stoljeću napravio značajan korak u razvoju ideje o energiji kretanja. On je jedan od prvih naučnika koji su shvatili da tijela koja se kreću imaju nešto što se može mjeriti, upoređivati i očuvati – nešto što danas nazivamo kinetičkom energijom.

Leibniz je uveo pojam koji je nazvao „vis viva“ („živa sila“), kako bi opisao efekt koji imaju kretanja tijela pri sudarima. Kroz eksperimente i proračune primijetio je da se, kada se tijela elastično sudaraju jedno s drugim, ne očuva samo proizvod mase i brzine ($m \cdot v$), kako su mislili njegovi savremenici, nego i proizvod mase i kvadrata brzine ($m \cdot v^2$). Ovaj rezultat bio je veoma iznenađujući za to vrijeme i izazvao je veliku raspravu među fizičarima. Danas znamo da je upravo ovaj izraz

$m \cdot v^2$ osnova formule za kinetičku energiju: $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$.

Iako Leibniz nije koristio pojam energije, njegov pojam „vis viva“ prvi je izrazio kvantitativni (mjerljivi) karakter kretanja. Također je primijetio da se pri sudarima između tijela dio „žive sile“ može pretvoriti u toplotu.

PITANJA I ZADACI

1. Ako se masa tijela udvostruči, kako će se promijeniti njegova kinetička energija pri istoj brzini?
2. Ako udvostručimo brzinu, koliko puta će se povećati kinetička energija tijela?
3. Kako se mijenja kinetička energija automobila kada se njegova brzina smanjuje?
4. Kolika je kinetička energija lopte mase 200 g koja se kreće brzinom od 3 m/s?
5. Ako se biciklist mase 80 kg kreće brzinom od 5 m/s, kolika je njegova kinetička energija? Sljedećeg dana isti biciklist vozi bicikl brzinom od 10 m/s. Koliko puta je veća brzina kojom se biciklist kretao drugog dana u odnosu na brzinu prvog dana? Koliko puta je bila veća kinetička energija biciklista drugog dana u odnosu na kinetičku energiju koju je imao prethodnog dana?

ZAPAMTI

- Svako tijelo koje se kreće ima kinetičku energiju.
- Kinetička energija zavisi od mase tijela i kvadrata njegove brzine.
- Kinetička energija je energija koju tijelo ima zbog svog kretanja.
- Kada se tijelo zaustavi, njegova kinetička energija ne nestaje – ona se pretvara u drugi oblik energije.

PROSVETNO DELO

1.5. GRAVITACIJSKA POTENCIJALNA ENERGIJA

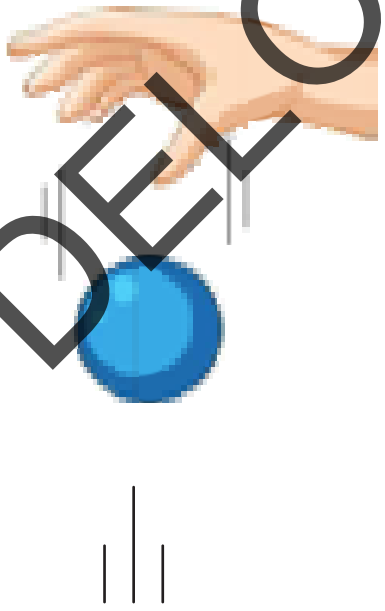
POJMOVI

gravitacijska potencijalna energija (E_{gp})

referentna ravan

Na svako tijelo koje se nalazi u blizini Zemljine površine djeluje sila Zemljine teže, i to vertikalno prema dolje, prema centru Zemlje. Da neko tijelo ne bi palo na površinu Zemlje, ono mora biti postavljeno na neku čvrstu podlogu ili pričvršćeno za konac. Ako uklonimo podlogu ili presiječemo konac, tijelo će početi padati prema površini Zemlje. Ako s određene visine pustimo tijelo da padne na plastelin ili pak na oprugu, primijetit ćemo da pri udaru tijelo deformiše plastelin ili sabija oprugu.

Tijelo koje može izazvati neku promjenu ili izvršiti neki rad, kao tijelo koje pada s neke visine, ima energiju. Ta energija naziva se **gravitacijska potencijalna energija** i to je energija koju tijelo ima zbog gravitacijskog međudjelovanja sa Zemljom, odnosno zbog djelovanja Zemljine teže. Gravitacijsku potencijalnu energiju najčešće označavamo sa E_{gp} a u fizici se često naziva i samo potencijalna energija i označava sa E_p.



Slika 1. Padanje tijela pod djelovanjem Zemljine teže.

PROSVETNO DELO

a) b) c)



Slika 2. Primjeri tijela koja imaju gravitacijsku potencijalnu energiju:

a) Kuglica koja pada s neke visine prema površini Zemlje, b) Tegovi koje je podigao sportista, c) Učenica koja klizi niz nagnutu ravan.

AKTIVNOSTI

1. Zavisnost potencijalne energije od mase tijela

Da bi istražio kako veličina gravitacijske potencijalne energije zavisi od mase tijela, izvedi jednostavan eksperiment s posudom napunjenom brašnom i dvije ping-pong loptice. Prva loptica ima manju masu, a druga neka bude napunjena rižom, pa će zbog toga imati veću masu. Posuda s brašnom poslužit će ti kao „detektor" energije: što je veća gravitacijska potencijalna energija loptice, to će dublji biti otisak koji će loptica ostaviti u brašnu. Prvu lopticu pusti da pada u brašno i izmjeri dubinu otiska koji je ostavila. Nakon što ravnalom poravnaš površinu brašna u posudi, u nju pusti drugu lopticu da pada s iste visine s koje je bila puštena i prva loptica. Koja je od dvije loptice napravila veći otisak? Koja je od dvije loptice imala veću gravitacijsku potencijalnu energiju?

2. Zavisnost gravitacijske potencijalne energije od visine s koje je tijelo pušteno da pada

Jednu od loptica pusti da pada u posudu s brašnom s nekoliko različitih visina. Naprimjer, sa 30 cm, 50 cm, 100 cm i 150 cm. U svakom slučaju izmjeri dubinu otiska u brašnu. Ne zaboravi poravnati površinu brašna prije svakog sljedećeg puštanja loptice. Šta primjećuješ? Da li je dubina traga veća kada se tijelo pusti s veće visine? U kojem slučaju je loptica imala najveću gravitacijsku potencijalnu energiju?

Ako si pažljivo izveo aktivnosti, sigurno si primijetio da je dublji otisak ostavila loptica veće mase i da dubina otiska zavisi od visine s koje je loptica puštena. Ili, drugim riječima, možemo reći da gravitacijska potencijalna energija zavisi direktno proporcionalno od mase i visine s koje je tijelo pušteno. Budući da tijela padaju u blizini površine Zemlje, potencijalna energija zavisi i od veličine Zemljinog ubrzanja:

$$g = 9{,}81\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot$$

Prema tome, tijelo mase *m*, podignuto na visinu h u odnosu na neku površinu, ima gravitacijsku potencijalnu energiju koja se izračunava formulom:

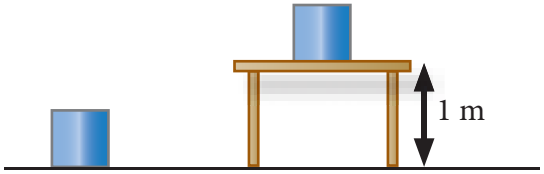
$$E_{\mathrm{gp}} = m \cdot g \cdot h\ .$$

Potencijalna energija uvijek se izračunava u odnosu na neku referentnu ravan ili referentni nivo. **Referentna ravan** je zamišljena ravan ili nivo od kojeg mjerimo visinu na kojoj se tijelo nalazi. To može biti: pod u učionici, površina klupe ili pak, kako se najčešće uzima, površina Zemlje. Uvijek kada izračunavamo potencijalnu energiju, moramo reći u odnosu na šta se posmatra položaj tijela, odnosno šta smo uzeli kao referentnu ravan.

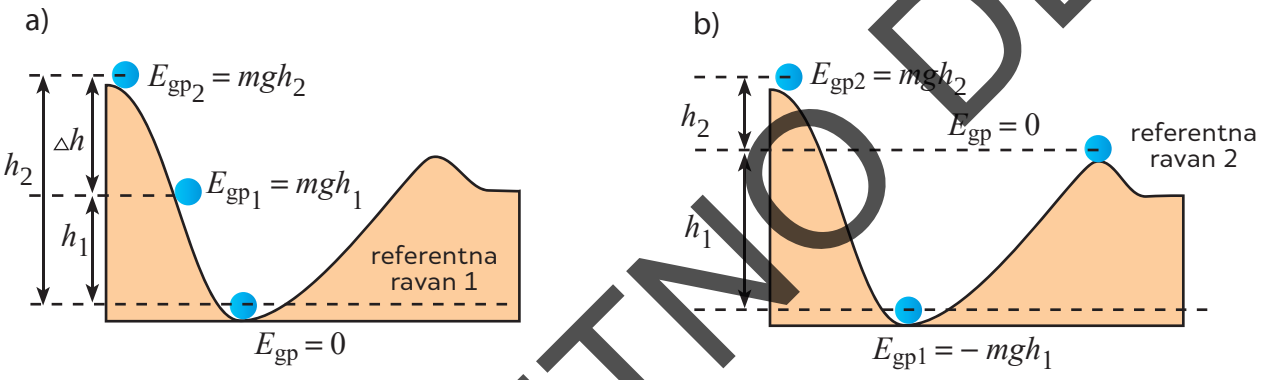
Gravitacijska potencijalna energija tijela koje se nalazi na referentnoj ravni iznosi 0 J. Na Slici 3 prikazana su tijela mase 1 kg koja su postavljena na površinu Zemlje i na klupu čija je visina 1 m. Ako kao referentnu ravan uzmemo površinu Zemlje, tada tijelo koje je postavljeno na površinu Zemlje ima potencijalnu energiju jednaku 0 J, a tijelo koje je postavljeno na klupu ima potencijalnu energiju jednaku 9,81 J. Ako, pak, kao referentnu ravan uzmemo površinu klupe, tada je gravitacijska potencijalna energija tijela u odnosu na površinu stola jednaka nula džula (0 J), a gravitacijska potencijalna energija tijela koje se nalazi na površini

PROSVETNO DELO

Zemlje iznosi -9,81 J. Na Slici 4 prikazano je kako se može izračunati potencijalna energija tijela u odnosu na dvije različite referentne ravni.

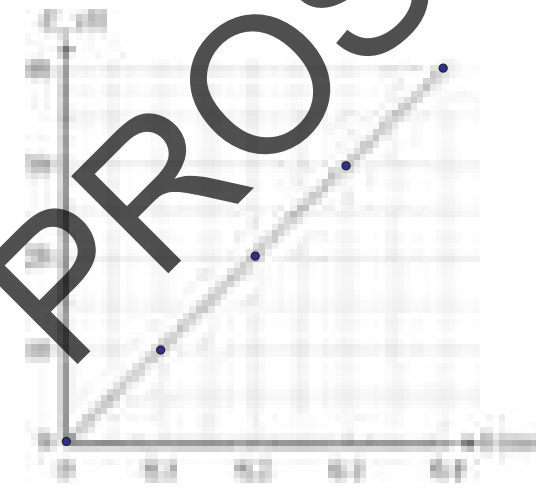


Slika 3. Gravitacijska potencijalna energija izračunava se u odnosu na izabranu referentnu ravan. Ako je referentna ravan površina Zemlje, tada prvo tijelo nema gravitacijsku potencijalnu energiju, a drugo tijelo ima gravitacijsku potencijalnu energiju.



Slika 4. Potencijalna energija tijela u odnosu na dva različita referentna nivoa. U prvom slučaju tijelo koje se nalazi na najnižoj tački u dolini ima 0 J gravitacijske potencijalne energije, a u drugom slučaju, zbog izbora druge referentne ravni, isto tijelo ima negativnu gravitacijsku potencijalnu energiju.

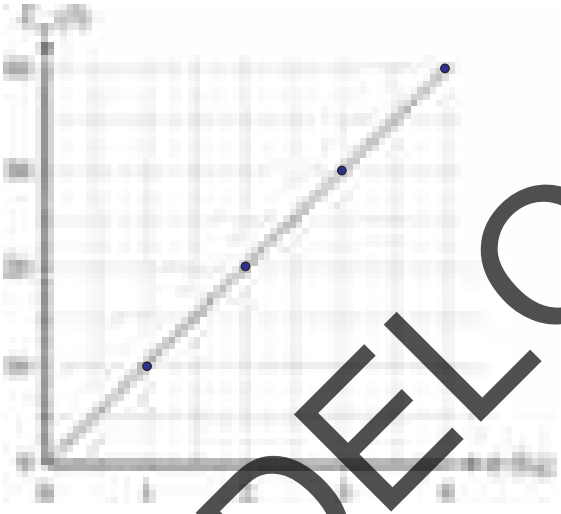
PROSVETNO DELO



Slika 5. Zavisnost gravitacijske potencijalne energije od visine tijela mase 10 kg.

Na Slici 5 dat je grafički prikaz zavisnosti gravitacijske potencijalne energije od visine na kojoj se nalazi tijelo mase 10 kg u odnosu na referentnu ravan. Grafik je prava linija. Primijetite da je koeficijent pravca prave (ili nagib prave) jednak težini tijela ($m \cdot g$).). Radi pojednostavljenja proračuna uzeto je da veličina Zemljinog ubrzanja iznosi 10 N/kg.

Na Slici 6 dat je grafički prikaz zavisnosti gravitacijske potencijalne energije od mase tijela. Tijelo se uvijek nalazi na istoj visini od 1 m iznad referentne ravni, a njegovu masu mijenjamo od 1 kg do 4 kg. Grafik je prava linija. Primijetite da je koeficijent pravca prave (ili nagib prave) jednak proizvodu Zemljinog ubrzanja i visine na kojoj se tijelo nalazi ($g \cdot h$). Radi pojednostavljenja proračuna uzeto je da veličina Zemljinog ubrzanja iznosi 10 N/kg.



Slika 6. Zavisnost potencijalne energije od mase tijela, ako se tijelo uvijek nalazi 1 m iznad referentne ravni.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER 1.

Izračunaj gravitacijsku potencijalnu energiju tijela mase 2 kg, u odnosu na površinu stola i u odnosu na pod, ako znaš da visina stola iznosi 0,8 m, a tijelo se nalazi na visini od 50 cm iznad stola. Za veličinu Zemljinog ubrzanja uzeti da iznosi $g = 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Dato:

$m = 2\,\text{kg}$
$h_1 = 50\,\text{cm} = 0{,}5\,\text{m}$
$h_2 = 0{,}8\,\text{m}$
$g = 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Traži se:

$E_{\text{gp1}} - ?$
$E_{\text{gp2}} - ?$

Ako se za referentnu ravan uzme površina stola, tada tijelo ima gravitacijsku potencijalnu energiju jednaku:

$$E_{\text{gp1}} = m \cdot g \cdot h_1 = 2\,\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0{,}5\,\text{m} = 9{,}81\,\text{J}.$$

Gravitacijska potencijalna energija u odnosu na površinu Zemlje iznosi:

$$E_{\text{gp2}} = m \cdot g \cdot (h_1 + h_2) = 2\,\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (0{,}5\,\text{m} + 0{,}8\,\text{m}) = 25{,}5\,\text{J}.$$

Pri rješavanju praktičnih zadataka veoma je važno odrediti promjenu gravitacijske potencijalne energije, odnosno koliko gravitacijske energije tijelo dobija ili gubi kada se kreće prema gore ili prema dolje u odnosu na referentnu ravan. Na Slici 4a prikazana je kuglica koja se kotrlja uz nagnutu ravan. U početnom trenutku njena gravitacijska potencijalna energija iznosila je: $E_{gp1} = m \cdot g \cdot h_1$ dok je u nekom kasnijem trenutku iznosila: $E_{gp2} = m \cdot g \cdot h_2$. Promjenu gravitacijske potencijalne energije označavamo sa ΔE_{gp} (Δ – čita se „delta“) i jednaka je:

$$\Delta E_{gp} = E_{gp2} - E_{gp1},$$

$$\Delta E_{gp} = m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1),$$

$$\Delta E_{gp} = m \cdot g \cdot \Delta h,$$

gdje je Δh razlika u visini između početnog i krajnjeg položaja. Ovaj izraz nam govori da: ako se tijelo podigne (poveća se visina na kojoj se nalazi u odnosu na referentnu ravan), njegova gravitacijska **potencijalna energija se povećava**, ali ako se tijelo spusti (smanji se visina na kojoj se nalazi u odnosu na referentnu ravan), njegova **gravitacijska potencijalna energija se smanjuje**.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER 2.

Učenik se penjao stepenicama s prvog na drugi sprat, pri čemu se njegova gravitacijska potencijalna energija povećala za 1471,5 J.

a. Ako je masa učenika 40 kg, izračunaj visinsku razliku između početnog i krajnjeg položaja učenika.

b. Ako visina jedne stepenice iznosi 0,125 m, izračunaj koliko se stepenica (n) učenik popeo.

Za veličinu Zemljinog ubrzanja uzeti da iznosi $g = 9{,}81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Dato:

$\Delta E_{gp} = 1471{,}5\,\text{J}$

$m = 40\,\text{kg}$

$h_1 = 0{,}125\,\text{m}$

$g = 9{,}81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Traži se:

$\Delta h - ?$

$n - ?$

a. Imajući u vidu formulu kojom se izračunava promjena potencijalne energije, možemo izračunati visinsku razliku između prvog i drugog sprata:

$$\Delta E_{gp} = m \cdot g \cdot \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\Delta E_{gp}}{m \cdot g} = \frac{1471{,}5\,\text{J}}{40\,\text{kg} \cdot 9{,}81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 3{,}75\,\text{m}$$

Ako je svaka stepenica visoka $h_1 = 0{,}125\,\text{m}$, tada je broj stepenica jednak ukupnoj visini na koju se student popeo podijeljenoj s visinom jedne stepenice:

$$n = \frac{\Delta h}{h_1} = \frac{3{,}75\,\text{m}}{0{,}125\,\text{m}} = 30.$$

Kao i u slučaju kinetičke energije, kada se potencijalna energija tijela smanji ili bude jednaka 0 J, ona ne nestaje, nego se pretvorila u drugu vrstu energije. Gravitacijska potencijalna energija tijela najčešće se pretvara u kinetičku i toplotnu energiju.

ZA 5+

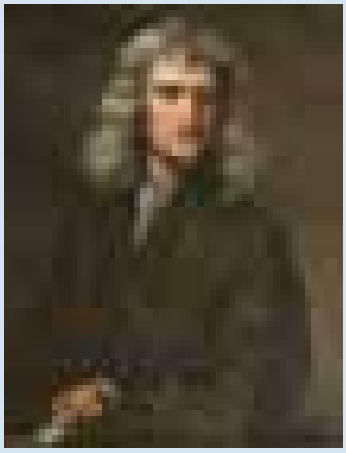
Gravitacijska potencijalna energija tijela izračunava se jednačinom: $E_{gp} = m \cdot g \cdot h$ samo ako se tijelo nalazi u blizini površine Zemlje, gdje se veličina Zemljinog ubrzanja može smatrati konstantnom. Ako se tijelo nalazi na velikoj udaljenosti od površine Zemlje, tada se njegova potencijalna energija može izračunati prema formuli:

$$E_{gp} = -\gamma \frac{Mm}{R+h}$$ gdje je:

naziva se univerzalna gravitacijska konstanta (γ – čita se „gama“), M je masa Zemlje, m je masa tijela, R je poluprečnik Zemlje, a h je visina tijela iznad površine Zemlje. U ovakvim slučajevima treba spomenuti da se ova potencijalna energija izračunava u odnosu na referentnu ravan koja je veoma daleko od Zemlje, gdje tijelo ne osjeća privlačno djelovanje Zemljine gravitacijske sile.

POZNATI NAUČNIK

Isaac Newton (1646–1727)



Newton je bio jedan od najutjecajnijih naučnika u historiji. Njegova otkrića u mehanici, svjetlosti i matematici promijenila su način na koji razumijemo svijet. Newton je naučnik koji je postavio temelje za razumijevanje gravitacijske potencijalne energije. U svom najvećem djelu „*Principia Mathematica*“ (1687) Newton je formulisao Zakon univerzalne gravitacije, prema kojem svako tijelo u svemiru privlači drugo tijelo silom koja zavisi od njihovih masa i rastojanja između njih. Ovaj zakon objašnjava zašto tijela padaju na površinu Zemlje, zašto se Mjesec kreće oko Zemlje i zašto se planete kreću oko Sunca.

Iako u vrijeme kada je Newton živio pojam „potencijalna energija“ nije bio definisan, njegov rad postavio je fizičke i matematičke temelje za njeno definisanje. Jedna od Newtonovih ideja bila je da se uvijek kada se tijelo podiže protiv gravitacije mora uložiti rad. Naučnici koji su radili poslije Newtona stanje u kojem tijelo može izvršiti rad nazvali su gravitacijskom potencijalnom energijom. Formula za gravitacijsku potencijalnu energiju tijela koje nije blizu površine Zemlje, a koja je data u dijelu Za 5+, direktno je povezana s Newtonovim zakonom gravitacije.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Najveća gravitacijska potencijalna energija objekta koji je napravio čovjek u odnosu na površinu Zemlje jeste gravitacijska potencijalna energija Međunarodne svemirske stanice koja kruži na visini od približno 400 km iznad površine Zemlje.

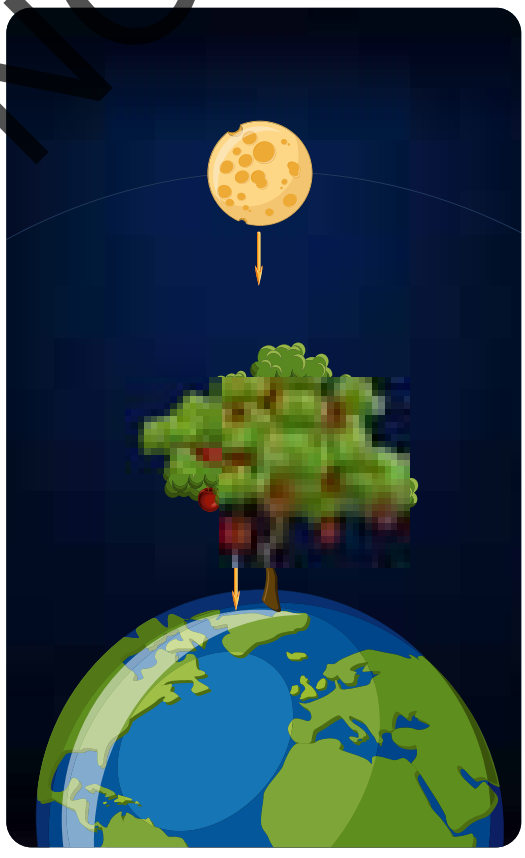
PROSVETNO DELO

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja gravitacijska potencijalna energija i od čega zavisi njena veličina?
2. Kako se mijenja potencijalna energija ako se tijelo podigne na dvostruko veću visinu?
3. Objasni šta predstavlja referentna ravan i zašto je važno navesti „u odnosu na šta“ izračunavamo gravitacijsku potencijalnu energiju.
4. U odnosu na pod, tijelo ima potencijalnu energiju 196,2 J. Ako se zna da je podignuto na visinu od 2 m, kolika je njegova masa?
5. Kutija mase 4 kg ima potencijalnu energiju 78,48 J u odnosu na pod.
6. a) Na kojoj visini se nalazi kutija?
7. b) Ako kutiju spustimo na polovinu te visine, kolika će biti njena nova potencijalna energija?
8. c) Kolika je promjena energije?
9. U posljednja dva zadatka za vrijednost Zemljinog ubrzanja uzeti da iznosi: $g = 9{,}81 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$.

ZAPAMTI

- Gravitacijska potencijalna energija je energija koju tijelo ima zbog svog položaja u gravitacijskom polju Zemlje.
- Gravitacijska potencijalna energija tijela zavisi direktno proporcionalno od mase tijela i visine u odnosu na referentnu ravan.
- Gravitacijska potencijalna energija izračunava se formulom $E_{\mathrm{gp}} = m \cdot g \cdot h$, gdje je m e masa, g gravitacijsko ubrzanje, a h visina u odnosu na referentnu ravan.
- Referentna ravan je zamišljena ravan ili nivo od kojeg mjerimo visinu na kojoj se tijelo nalazi.
- Promjena potencijalne energije zavisi od mase tijela m, veličine Zemljinog ubrzanja g i promjene visine Δh i izračunava se formulom m, $\Delta E_{\mathrm{gp}} = m \cdot g \cdot \Delta h$.



Slika 7. I Mjesec i jabuka imaju gravitacijsku potencijalnu energiju u odnosu na površinu Zemlje.

PROSVETNO DELO

1.6. ELASTIČNA POTENCIJALNA ENERGIJA

POJMOVI

deformacija

elastična potencijalna energija (E_{ep})

U 7. razredu učio si o djelovanju sile na elastičnu oprugu i o tome da se opruga, ako na nju djelujemo silom, izdužuje ili sabija. Osim opruga, u svakodnevnom životu neprestano se susrećemo s tijelima koja imaju elastična svojstva: gumice, elastični konopci, amortizeri u automobilima, trampoline itd. Ova tijela imaju jedno zajedničko svojstvo — kada ih izdužimo ili sabijemo, ona nastoje da se vrate u svoj prvobitni oblik. Da bi se to dogodilo, ova tijela moraju imati neku energiju u sebi. Upravo tu energiju nazivamo **elastična potencijalna energija**. Elastična potencijalna energija je vrsta potencijalne energije koju ima svako **deformisano elastično tijelo**.



Slika 1. Elastične deformacije opruge, balona i gumice.

Da bismo razumjeli elastičnu potencijalnu energiju, najprije trebamo razumjeti šta je deformacija. **Deformacija** je promjena oblika ili dužine tijela pod djelovanjem sile. Ako se tijelo nakon uklanjanja sile može vratiti u prvobitno stanje, deformacija je **elastična**. Ako oblik tijela ostane promijenjen nakon prestanka djelovanja sile, kao naprimjer savijena limenka, tada je riječ o **plastičnoj** deformaciji. U ovoj lekciji razmatrat ćemo samo energiju koju tijela imaju pri elastičnim deformacijama.

Što više istežemo ili sabijamo elastično tijelo, naprimjer oprugu (pri čemu ne dolazi do plastične deformacije), to više povećavamo njegovu elastičnu potencijalnu energiju. Elastičnu potencijalnu energiju označavamo sa E_{ep} i izračunavamo sljedećom formulom:

$$E_{ep} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}.$$

U ovoj formuli sa k je označena konstanta elastičnosti opruge izražena u N/m, a Δl je veličina izduženja ili sabijanja (deformacije). Iz ove formule možemo zaključiti dvije stvari, i to: što je veća deformacija, to više elastične potencijalne energije ima opruga i što je veća konstanta elastičnosti k, to se više energije pohranjuje u opruzi pri istoj deformaciji.

PROSVETNO DELO

S konstantom elastičnosti opruge upoznao si se u 7. razredu i naučio da je brojčano jednaka sili kojom treba djelovati na oprugu da bi ona promijenila svoju dužinu za jedinicu, odnosno:

$$k = \frac{F}{\Delta l}.$$

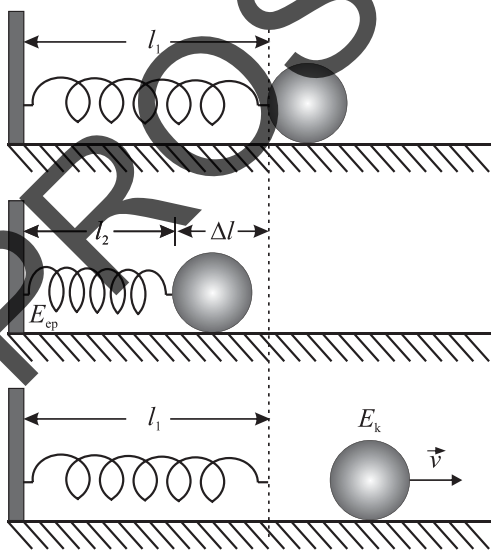
RIJEŠENI PRIMJER

Jedna opruga izdužuje se za 4 cm kada na nju djeluje sila od 2 N.

a) Odredi konstantu elastičnosti k opruge.

b) Izračunaj elastičnu potencijalnu energiju koju ova opruga dobija pod djelovanjem sile.

Dato:	a. U 7. razredu učio si da se opruge deformišu pod djelovanjem sile i da tu deformaciju možeš izračunati ako znaš konstantu elastičnosti opruge i veličinu izduženja, odnosno: $F = k \cdot \Delta l$.
$F = 2\,\mathrm{N}$ $\Delta l = 4\,\mathrm{cm} = 0{,}04\,\mathrm{m}$	Iz posljednje jednačine možemo odrediti konstantu elastičnosti opruge: $k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{2\,\mathrm{N}}{0{,}04\,\mathrm{m}} = 50\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}.$
Traži se:	b. Sada, kada znamo konstantu elastičnosti i izduženje opruge, možemo izračunati potencijalnu energiju izdužene opruge:
$k - ?$ $E_{ep} - ?$	$E_{ep} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2} = \frac{50\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} \cdot (0{,}04\,\mathrm{m})^2}{2} = 0{,}04\,\mathrm{J}.$



Slika 2. Elastična potencijalna energija kod sabijene opruge.

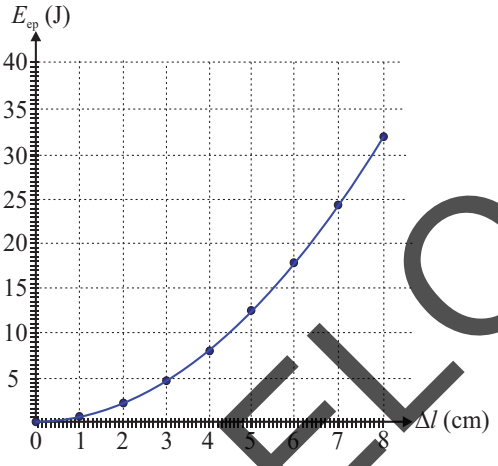
Na prvom crtežu na Slici 2 opruga je u nedeformisanom stanju, pri čemu je njena dužina l_1. Na drugom crtežu opruga je sabijena i njena dužina je l_2. Veličina sabijanja iznosi: $\Delta l = l_1 - l_2$.

Na trećem crtežu opruga je ponovo u prvobitnom nedeformisanom stanju. Elastična potencijalna energija predata je lopti i pretvorila se u kinetičku energiju.

Na Slici 3 dat je grafik zavisnosti elastične potencijalne energije od izduženja za oprugu s konstantom elastičnosti: $k = 10000\,\mathrm{N/m}$. Kao i kod zavisnosti kinetičke energije od brzine, i ovaj grafik je kvadratna kriva, odnosno parabola.

PROSVETNO DELO

Elastična potencijalna energija važna je u mnogim mehanizmima: u automobilskim amortizerima, u lukovima i strijelama, u satovima na navijanje, u svim mehaničkim sistemima koji privremeno pohranjuju energiju kako bi je kasnije mogli osloboditi. Kada se tijelo vrati u početno nedeformisano stanje, njegova elastična potencijalna energija ne nestaje – ona se pretvara u drugi oblik energije, najčešće u toplotnu energiju, zbog trenja tijela s drugim tijelima ili se predaje nekom drugom tijelu u obliku kinetičke energije.



Slika 3. Zavisnost elastične potencijalne energije opruge od izduženja.

AKTIVNOSTI

1. Balon i komadići papira

Zategnite balon preko cilindra koji je otvoren s obje strane, napravljenog od kartona ili plastike. Na zategnuti balon postavite male komadiće papira ili zrna riže. S donje strane pažljivo zategni membranu balona i pusti je. Šta se dogodilo s tijelima koja su bila postavljena na membranu? U koju se vrstu energije pretvorila elastična potencijalna energija izdužene membrane?

2. Gumica i novčić

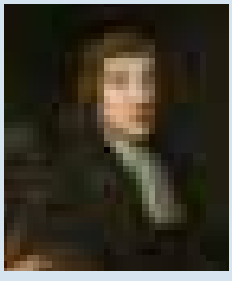
Između dva čvrsto zakucana eksera na drvenoj dasci zavežite gumicu. Stavite novčić na gumicu i, držeći novčić, izdužite gumicu. Šta se događa s novčićem kada pustite gumicu? Koja su se pretvaranja energije dogodila? U sljedećim pokušajima izdužite gumicu malo više nego u prethodnom pokušaju. Šta primjećujete? Da li je pri većem izduženju novčić prešao veći put? Nacrtajte grafik zavisnosti pređenog puta od izduženja gumice. Da li je grafik prava linija?

3. Automobil na oprugu

Uzmi automobil-igračku koji će se, ako ga povučeš unazad i pustiš, početi kretati naprijed. Razmisli šta se nalazi u ovoj igrački što dobija energiju kretanjem unazad? Koje transformacije energije nastaju kada pustimo automobil da se kreće? Da li pređeni put automobila zavisi od toga koliko je bio povučen unazad?

POZNATI NAUČNIK

Robert Hooke (1635–1703)



Hooke je bio engleski naučnik koji je dao jedan od najznačajnijih doprinosa razumijevanju elastičnosti. On je prvi formulisao zakon koji danas poznajemo kao Hookeov zakon. Hooke je primijetio da je kod mnogih materijala, opruga i elastičnih tijela veličina deformacije proporcionalna sili koja je izaziva.

Ovo otkriće je osnova formule: $F = k \cdot \Delta l$. Ovaj zakon ne samo da objašnjava kako se opruge ponašaju nego predstavlja osnovu za proučavanje materijala koji se koriste za izgradnju mostova, zgrada i mjernih instrumenata. Također, Hooke je projektovao mašine, satove i jedan je od osnivača mikroskopske biologije. Hooke je prvi upotrijebio riječ „ćelija“ da opiše najmanje građevne jedinice od kojih su izgrađeni organizmi.

PROSVETNO DELO

ZA 5+

Budući da oprugu možemo izduživati ili sabijati, opisujemo je kao elastično tijelo. Međutim, u prirodi se gotovo svi materijali: metali, plastika, drvo, kamen, pa čak i ljudske kosti, mogu deformisati. Ova vrsta deformacije je veoma mala i često neprimjetna, ali je fizika opisuje fizičkom veličinom koja je karakteristična za svaki od materijala. Ova fizička veličina naziva se Youngov modul elastičnosti i označava se sa E. On predstavlja svojstvo materijala i ne zavisi od oblika ili veličine tijela.

Što je veći Youngov modul, to je materijal tvrđi i manje se izdužuje pod djelovanjem sile. Ukoliko je poznat Youngov modul elastičnosti, može se izračunati koliko će se izdužiti tijelo dužine l i poprečnog presjeka S pod djelovanjem sile F. Formula kojom se može izračunati relativno izduženje je:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}.$$

Poznavanje Youngovog modula koristi se pri projektovanju mostova, aviona, automobila, sportske opreme i medicinskih implantata.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Opruga u hemijskoj olovci pri pritiskanju prstom dobija veoma malu energiju, približno 0,001 J. Ova energija dovoljna je da opruga potisne vrh hemijske olovke prema vani i unutra.

PITANJA I ZADACI

1. Šta je elastična deformacija? Objasni na vlastitom primjeru kada se neko tijelo vraća u prvobitni oblik.
2. Opruga se izdužuje za Δl. Koliko puta će se povećati potencijalna energija opruge ako je izdužimo dvostruko više?
3. Opruga s konstantom elastičnosti 100 N/m izdužena je za 0,05 m. Izračunaj njenu elastičnu potencijalnu energiju.
4. Kolika je elastična potencijalna energija opruge ako je njena konstanta 50 N/m, a opruga sabijena za 4 cm?
5. Gumica se izdužuje za 3 cm, a zatim za još 3 cm. Koliko puta će se povećati elastična potencijalna energija gumice drugi put u odnosu na prvo izduženje?

ZAPAMTI

- Deformacija je svaka promjena oblika ili veličine tijela. Deformacije mogu biti elastične i plastične.
- Elastična potencijalna energija je energija koju ima deformisano elastično tijelo. Tijelo dobija tu energiju kada se izdužuje ili sabija.
- Elastična potencijalna energija oslobađa se kada se tijelo vraća u prvobitni oblik.
- Formula za izračunavanje elastične potencijalne energije je: $E_{ep} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$, gdje je sa E_{ep} označena elastična potencijalna energija (izražena u J), k je konstanta elastičnosti (izražena u N/m), a Δl je izduženje ili deformacija (izražena u m).

PROSVETNO DELO

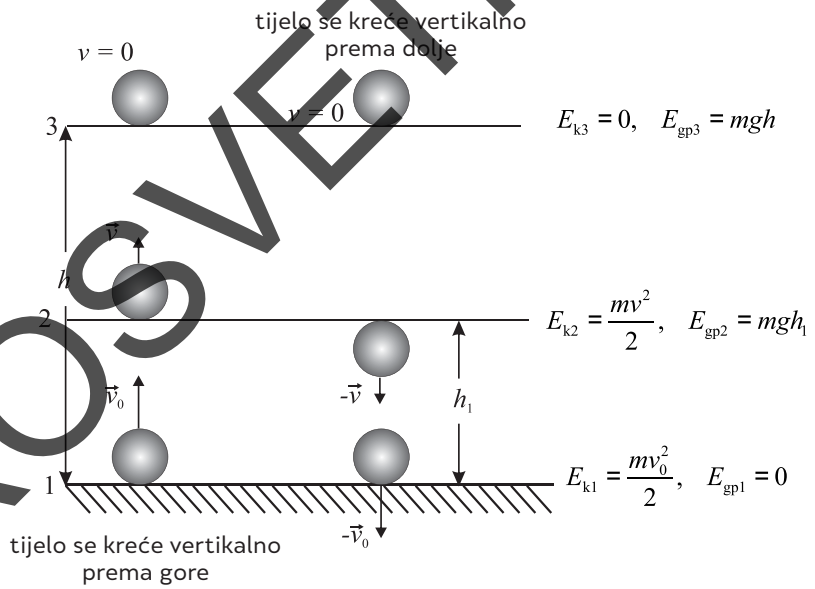
1.7. ZAKON O OČUVANJU MEHANIČKE ENERGIJE

POJMOVI

mehanička energija | izolovani sistem | zakon o očuvanju mehaničke energije

U prethodnim lekcijama učili smo da tijelo može imati kinetičku energiju kada se kreće i potencijalnu energiju kada se nalazi na nekoj visini iznad referentne ravni ili kada je elastično deformisano. Ova dva oblika energije (kinetička i potencijalna energija) zajedno čine **mehaničku energiju** tijela. Mehanička energija ne nestaje niti nastaje iznova, nego se pretvara iz jednog oblika u drugi. Ako kretanje tijela ili pojave posmatramo ne uzimajući u obzir efekte sila trenja, tada kažemo da tijelo ili pojavu posmatramo kao **izolovani sistem** ili se može reći da je izolovani sistem fizički sistem koji sa svojom okolinom ne razmjenjuje ni materiju ni energiju.

U izolovanom sistemu važi jedan od najvažnijih zakona u fizici: **Zakon o očuvanju mehaničke energije**. Prema ovom zakonu, ako na tijelo ne djeluju sile trenja i otpora zraka, ukupna mehanička energija ostaje ista. To znači da se zbir potencijalne i kinetičke energije ne mijenja.



Slika 1. Pretvaranje kinetičke energije u gravitacijsku potencijalnu energiju tijela bačenog vertikalno prema gore.

Prema ovom zakonu, ukupna mehanička energija tijela se očuva i možemo je zapisati kao zbir njegove kinetičke i potencijalne energije, odnosno:

$$E = E_k + E_p = \text{const},$$

gdje je sa E označena ukupna mehanička energija tijela, E_k je kinetička energija tijela, a E_p je

PROSVETNO DELO

potencijalna energija, koja može biti elastična ili gravitacijska. Razmotrimo kako se mijenja energija kuglice koju bacamo vertikalno prema gore nekom početnom brzinom v_0, kao što je prikazano na Slici 1.

U početnom trenutku tijelo ima samo kinetičku energiju. Kako se tijelo podiže, tako se smanjuje njegova kinetička energija, ali se zato povećava gravitacijska potencijalna energija. U najvišoj tački putanje brzina tijela je nula, pa tijelo nema kinetičku energiju. U ovoj tački tijelo ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju. Kada tijelo počne padati prema dolje, smanjuje se njegova gravitacijska potencijalna energija, a zato se povećava njegova kinetička energija. U trenutku prije udara u površinu, sva gravitacijska potencijalna energija pretvorila se u kinetičku energiju tijela. Za bilo koje dvije tačke putanje kretanja tijela možemo zapisati:

$$E_1 = E_2 ,$$

gdje je sa E_1 označena ukupna mehanička energija tijela u prvoj proizvoljnoj tački putanje, a sa E_2 je označena ukupna mehanička energija tijela u drugoj proizvoljnoj tački putanje. Istu jednačinu možemo zapisati i pomoću kinetičkih i potencijalnih energija koje tijelo ima u dvije tačke:

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} .$$

Sa E_{k1} i E_{p1} označene su kinetička i potencijalna energija u prvoj tački, a sa E_{k2} i E_{p2} kinetička i potencijalna energija tijela u drugoj tački putanje. Budući da je ukupna energija tijela u tački 1 jednaka kinetičkoj energiji tijela, a u tački 3 tijelo ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju, tada prema Zakonu o očuvanju mehaničke energije možemo zapisati:

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} = m \cdot g \cdot h .$$

Ako želimo zapisati zakon u tački 1 i u tački koja se nalazi na visini h_1 iznad površine Zemlje, imamo:

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h_1 .$$

RIJEŠENI PRIMJER

Kuglica mase 0,2 kg pušta se da pada prema površini Zemlje s visine od 1,5 m bez početne brzine. Pretpostavljamo da nema trenja i otpora zraka. Kolika je njena brzina neposredno prije nego što dotakne pod? Za veličinu Zemljinog ubrzanja uzeti da iznosi $g = 9{,}81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Dato:	
$m = 0{,}2\,\text{kg}$ $h = 1{,}5\,\text{m}$ $g = 9{,}81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$	Kuglica u početnom trenutku ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju, dok u trenutku neposredno prije udara u površinu ima samo kinetičku energiju. U skladu sa Zakonom o očuvanju mehaničke energije u izolovanom sistemu, imamo: $E_{p1} = E_{k2} .$ Iz posljednje jednačine za brzinu dobijamo: $m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} .$

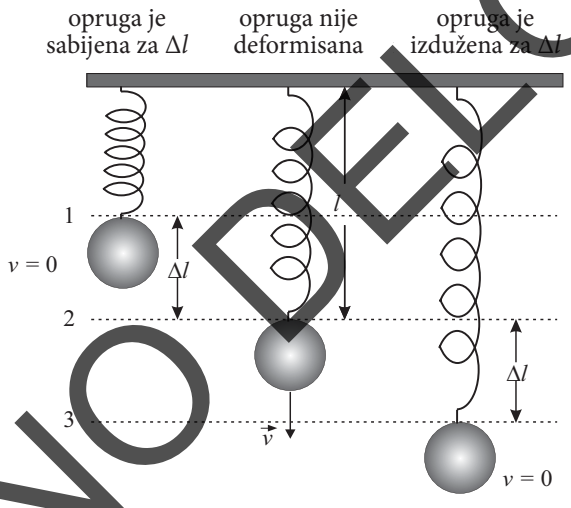
PROSVETNO DELO

Traži se:	$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1{,}5\,\text{m}} = 5{,}43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
$v - ?$	Primijetili ste da za rješavanje ovog zadatka nije bilo potrebno znati vrijednost mase tijela, što znači da brzina kojom će tijelo pasti na podlogu, u odsustvu sile otpora zraka, ne zavisi od mase tijela.

Na Slici 2 prikazano je tijelo koje je pričvršćeno za oprugu. Ukupna energija ovog sistema je zbir elastične potencijalne energije i kinetičke energije kuglice. Ako sa Δl označimo deformacije opruge u prvoj i trećoj tački, a sa v označimo brzinu koju ima pričvršćena kuglica kada opruga nije izdužena, prema Zakonu o očuvanju mehaničke energije, za ove tri tačke možemo zapisati:

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} = E_{k3} + E_{p3},$$

$$\frac{k \cdot \Delta l^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}.$$



Slika 2. Pretvaranje energije iz elastične potencijalne u kinetičku energiju i obrnuto kod izolovanog sistema sastavljenog od opruge i tijela mase m.

AKTIVNOST

1. Pretvaranje energije kod matematičkog klatna

Objesite malu metalnu kuglicu na nerastezljivu nit, a nit pričvrstite pomoću držača za horizontalnu ravan. Ovakav sistem u fizici naziva se matematičko klatno. Pomjerite kuglicu iz ravnotežnog položaja i pustite je. Kretanje ovog sistema se ponavlja. Ovakvo kretanje naziva se oscilatorno kretanje. Objasni kakvu energiju ima kuglica neposredno prije nego što je pustiš da oscilira. Kada kuglica ima maksimalnu kinetičku energiju? Pustite kuglicu s različitih visina i izračunajte brzinu kojom kuglica prolazi kroz ravnotežni položaj. Nacrtajte grafik zavisnosti brzine koju kuglica ima u ravnotežnom položaju od visine s koje je puštena. Da li je grafik prava linija? Da li je matematičko klatno izolovani sistem? Da li će se kuglica nakon izvjesnog vremena prestati kretati?

ZA 5+

Zakon o očuvanju mehaničke energije može se primijeniti pri sudarima dva tijela koja se pri sudaru ne deformišu niti sljepljuju. Ovakvi sudari nazivaju se elastični sudari. Primjer elastičnog sudara je sudar dvije bilijarske kugle ili dva kamena u igri curling. Ako možemo zanemariti sile trenja, za rješavanje problema koji uključuju sudare možemo primijeniti Zakon o očuvanju mehaničke energije.

PROSVETNO DELO

ZANIMLJIVE ČINJENICE

U svemiru, gdje nema zraka i trenja, mehanička energija tijela očuva se gotovo savršeno, pa se sateliti mogu kretati istom brzinom oko Zemlje bez trošenja energije.

POZNATI NAUČNIK

Galileo Galilei (1564–1642)



Galilei je bio jedan od najhrabrijih naučnika u historiji, čovjek koji se usudio provjeriti prirodne zakone eksperimentom, a ne samo razmišljanjem. U Galileijevo vrijeme vjerovalo se da „teža tijela padaju brže od lakših". Galilei je posumnjao u ovu tvrdnju i počeo posmatrati kako padaju različiti predmeti. Poznat je eksperiment s tijelima koja je puštao da padaju s Kosog tornja u Pizi, gdje je Galilei pustio dvije kugle različitih masa da padaju s iste visine. Suprotno očekivanjima tadašnjih filozofa, obje kugle stigle su do podnožja tornja gotovo u isto vrijeme. Tu se pojavljuje njegova najvažnija spoznaja: ideja o očuvanju mehaničke energije. Galilei je primijetio da se, kada tijelo pada, njegova potencijalna energija postepeno pretvara u kinetičku energiju. Galilei je zaključio da bi, kada bi se tijela kretala u bezračnom prostoru gdje nema otpora zraka, sva tijela padala s istim ubrzanjem i ukupna mehanička energija tijela ostala nepromijenjena.

PITANJA I ZADACI

1. Zamisli da možeš baciti loptu istom početnom brzinom na Zemlji i na Mjesecu. Imajući u vidu da je na Mjesecu gravitacijsko ubrzanje šest puta manje, objasni u kojem slučaju će se lopta podići na veću visinu u odnosu na referentnu ravan.
2. Koje dvije vrste energije čine mehaničku energiju?
3. Mala ledena kometa kreće se oko planete po eliptičnoj orbiti. U najudaljenijoj tački orbite ima kinetičku energiju od 2000 J i gravitacijsku potencijalnu energiju od 8000 J. Kolika je njena kinetička energija kada se nađe u tački gdje je potencijalna energija 6000 J?
4. Kuglica se baca vertikalno prema gore. U jednoj tački kretanja kuglica je na visini od 0,2 m iznad referentne ravni i ima brzinu od 3 m/s. Kolika će biti njena brzina u tački na visini od 0,6 m ako možeš zanemariti trenje sa zrakom?
5. Kuglica se kotrlja s vrha nagnute ravni visine 1 m. Izračunaj brzinu koju će kuglica imati na kraju nagnute ravni.

U posljednja dva zadatka uzmi da Zemljino ubrzanje iznosi: $g = 9{,}81\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$.

ZAPAMTI

- Mehanička energija je zbir kinetičke i potencijalne energije tijela.
- Kada nema trenja i otpora zraka, kretanje tijela može se posmatrati kao izolovani sistem.
- U izolovanom sistemu važi Zakon o očuvanju mehaničke energije: ukupna mehanička energija ostaje konstantna.
- Kod sistema s oprugom ukupna mehanička energija je zbir elastične potencijalne energije i kinetičke energije.

PROSVETNO DELO

1.8. ZAKON O OČUVANJU ENERGIJE

POJMOVI

Zakon o očuvanju energije

Pri svakom kretanju tijela postoji trenje s česticama zraka ili pak trenje s podlogom po kojoj se tijelo kreće. U ovim slučajevima kažemo da sistem nije izolovan, nego da može razmjenjivati energiju s okolinom.

Razmotrimo sanke koje klize po snijegu niz nagnutu ravan koja prelazi u horizontalnu podlogu na dnu brda. Spuštanjem niz brdo sankama se smanjuje gravitacijska potencijalna energija i dio te energije pretvorit će se u kinetičku energiju, ali dio energije pretvorit će se u toplotu kao rezultat trenja sanki sa snijegom i trenja s česticama zraka. Kada se sanke budu kretale po horizontalnoj površini, njihova kinetička energija će se smanjivati i na kraju će se prestati kretati. Kažemo da se kinetička energija potpuno pretvorila u toplotu. U 7. razredu učio si da je trenje sila koja se suprotstavlja kretanju. Kada se dvije površine dodiruju i kreću jedna preko druge, stvara se toplota. Ta toplota je rezultat pretvaranja dijela mehaničke energije u toplotnu energiju.

U ovakvim slučajevima mehanička energija se ne očuva u potpunosti, nego dio nje prelazi u toplotnu energiju. Ali čak i tada, ako uzmemo u obzir sve oblike energije, ukupna energija sistema ostaje ista. To je osnova još općenitijeg zakona, Zakona o očuvanju energije. Zakon o očuvanju energije možemo zapisati pomoću Zakona o očuvanju mehaničke energije, odnosno:

$$E_1 = E_2 + Q,$$

gdje je sa E_1 to označena ukupna mehanička energija tijela u proizvoljnoj prvoj tački putanje, dok je sa E_2 označena ukupna mehanička energija tijela u proizvoljnoj drugoj tački putanje, a Q je mehanička energija koja se pretvara u toplotu.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER

Učenik i sanke ukupne mase 40 kg nalaze se na vrhu brda visokog 12 m. Učenik se sankama spušta niz padinu i kreće prema podnožju brda. Zbog trenja sa snijegom, 30 % početne potencijalne energije pretvara se u toplotu, a ostatak u kinetičku energiju.

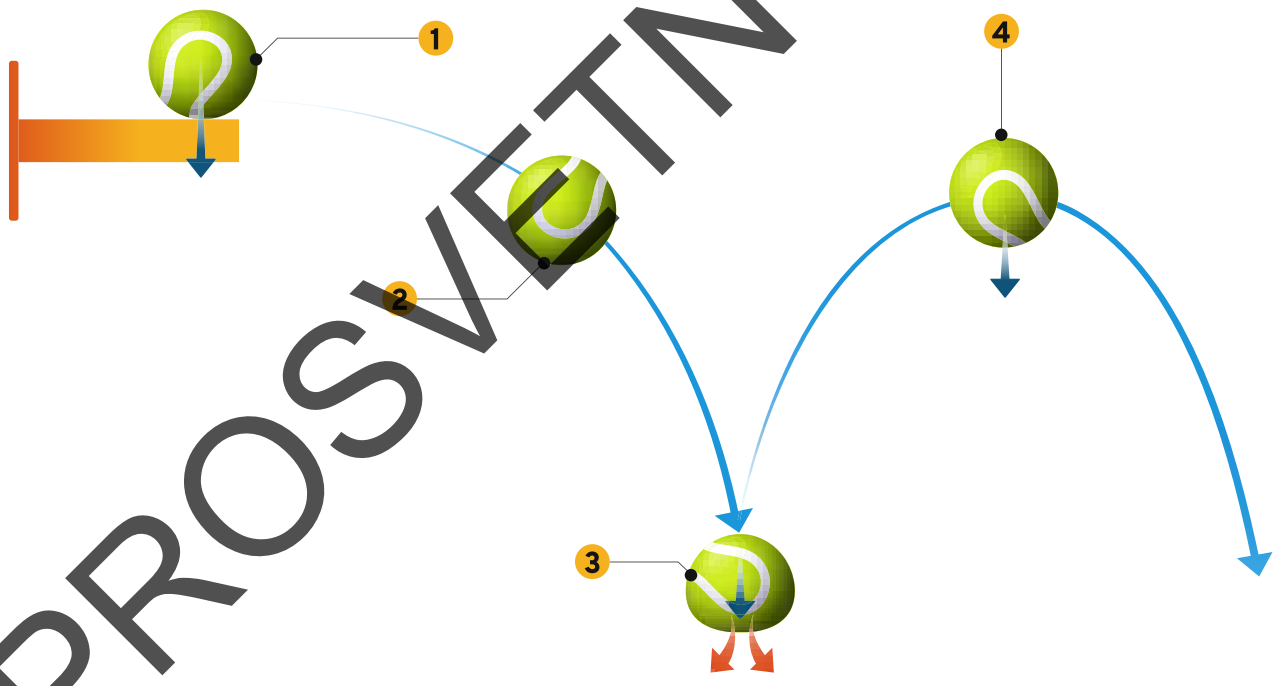
a) Kolika je početna gravitacijska potencijalna energija sanki i učenika na vrhu brda?

b) Izračunaj koliko se gravitacijske potencijalne energije pretvorilo u toplotu?

c) Kolika je brzina sanki neposredno prije nego što stignu do podnožja?

Za veličinu Zemljinog ubrzanja uzeti da iznosi $g = 9{,}81\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$:

Dato:	a) Na vrhu brda učenik sa sankama ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju: $E_{gp1} = m \cdot g \cdot h = 40\,\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 12\,\text{m} = 4709\,\text{J}$
$m = 40\,\text{kg}$ $h = 12\,\text{m}$ $g = 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}}$ $k = 30\,\% = 0{,}3$	b) Budući da se radi o sistemu koji nije izolovan, dio početne gravitacijske energije pretvara se u toplotu, odnosno: $Q = k \cdot E_{gp} = 0{,}3 \cdot 4709\,\text{J} = 1413\,\text{J}.$
Traži se:	c) Koristeći Zakon o očuvanju energije, imamo: $E_{gp1} = E_{k2} + Q\,,$ $E_{gp1} = \frac{m \cdot v^2}{2} + Q\,,$ $v = \sqrt{\frac{2}{m}\left(E_{gp1} - Q\right)} = \sqrt{\frac{2}{40\,\text{kg}}\left(4709\,\text{J} - 1413\,\text{J}\right)} = 12{,}8\,\text{m/s}\,.$
$E_{gp1} - ?$ $Q - ?$ $v - ?$	



Slika 1. Odskakanje teniske loptice.

PROSVETNO DELO

Na Slici 1 prikazana su pretvaranja energije koja nastaju kada teniska loptica pada s određene visine i odskače od podloge. U početnom položaju (1) loptica ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju. Tokom pada gravitacijska potencijalna energija se smanjuje, ali se povećava kinetička energija loptice (2). Kada loptica udari u podlogu (3), mijenja se njen

oblik. Kinetička energija pretvara se u elastičnu potencijalnu energiju. Vraćanjem u prvobitni oblik, elastična potencijalna energija pretvara se u kinetičku energiju. U najvišoj tački (4) loptica će ponovo imati samo gravitacijsku potencijalnu energiju. Loptica neće odskočiti do visine s koje je puštena jer se dio mehaničke energije pretvara u toplotu zbog trenja loptice sa zrakom i podlogom pri udaru u nju.

Razumijevanje Zakona o očuvanju energije pomaže nam da razumijemo mnoge prirodne pojave: padanje tijela, kretanje planinskih rijeka, rad mašina, ali nam i omogućava da saznamo kako se energija prenosi s jednog tijela na drugo i preraspodjeljuje u prirodi. To je osnova za daljnje proučavanje mehanike, energetike i tehnike.

AKTIVNOST

1. Proučavanje Zakona o očuvanju energije pomoću interaktivne internetske stranice

PhET Interactive Simulations je besplatna obrazovna platforma koju je kreirao Univerzitet Colorado Boulder (University of Colorado Boulder). Projekat je pokrenuo dobitnik Nobelove nagrade za fiziku Carl Wieman s ciljem da fizički zakoni postanu razumljiviji kroz interaktivne, vizuelne i istraživačke simulacije. Stranica sadrži više od 150 simulacija iz fizike, hemije, biologije, matematike i geologije (nauke o Zemlji). Stranici možeš pristupiti putem sljedećeg linka: https://phet.colorado.edu/.

Na internetskoj stranici https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park postavljena je simulacija „Energetski skejt-park“ (Energy Skate Park), koja će ti omogućiti da istražuješ Zakon o očuvanju mehaničke energije, odnosno kako se potencijalna energija pretvara u kinetičku energiju i obrnuto, pri kretanju skejtera po različitim stazama. Možeš mijenjati masu skejtera, izabrati različite staze po kojima će se kretati, mijenjati veličinu gravitacijskog ubrzanja i posmatrati grafikone potencijalne, kinetičke i ukupne mehaničke energije. U aplikaciji možeš uključiti i silu trenja i proučavati Zakon o očuvanju energije, odnosno kako se tokom kretanja dio energije pretvara u toplotu.

ZA 5+

Kada se dva tijela sudare i pritom nastane deformacija njihovog oblika ili sljepljivanje, kažemo da su se tijela plastično sudarila. U ovom slučaju ne važi Zakon o očuvanju mehaničke energije. Kod plastičnih sudara, zbog deformacija, dolazi do promjene njihove unutrašnje energije, odnosno dio kinetičke energije pretvara se u toplotu ili energiju zvuka. Kod ovih sudara važi Zakon o očuvanju energije.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Perpetuum mobile ili „vječna mašina“ bio bi uređaj koji proizvodi više energije nego što troši. To znači da bi stvarao energiju „ni iz čega“, što direktno krši Zakon o očuvanju energije. Danas je poznato da ne postoji poznata pojava u prirodi u kojoj se energija pojavljuje ili nestaje. Prvi crteži „vječnih mašina“ pojavljuju se još u XIII stoljeću, kada su izumitelji zamišljali točkove s različitim težištima ili vodene

PROSVETNO DELO

sisteme koji bi se sami kretali. U srednjem vijeku, pa čak i u XIX stoljeću, mnogi talentovani inženjeri pokušavali su nadmudriti prirodu, ali svaki pokušaj bio je neuspješan. Danas u naučne institute još uvijek pristižu prijedlozi za izgradnju ovakvih mašina, koje po pravilu odmah odbijaju jer krše osnovne zakone fizike.

POZNATI NAUČNIK

Julius Robert von Mayer (1814–1878)



Julius Mayer bio je njemački ljekar i fizičar koji je prvi jasno formulisao princip da se energija ne može stvoriti niti uništiti — ona se samo pretvara iz jednog oblika u drugi. Ovaj princip danas poznajemo kao Zakon o očuvanju energije, a Mayer je jedan od njegovih najvažnijih tvoraca.

Zanimljivo je da je Mayer do ove ideje došao ne u laboratoriji, nego na brodu, posmatrajući boju krvi mornara u tropskim predjelima. Naime, krv u venama s manjom količinom kisika svjetlija je od krvi u kojoj ima veća količina kisika. Veća količina kisika prisutna je kod ljudi koji rade u hladnim predjelima zbog veće potrebe organizma za stvaranjem toplote. Von Mayer je primijetio da organizam proizvodi manje toplote u toploj klimi, što ga je navelo na razmišljanje o tome kako tijelo pretvara energiju iz hrane u mehanički rad i toplotu. Iz ovih posmatranja Mayer je zaključio da energija nikada ne nestaje, nego samo mijenja oblik. Godine 1842. objavio je prvu formulaciju Zakona o očuvanju energije, tvrdeći da su toplota i mehanički rad samo različiti oblici jedne te iste veličine.

PITANJA I ZADACI

1. Da li Zakon o očuvanju energije u sebi sadrži Zakon o očuvanju mehaničke energije? U kojem slučaju su oba zakona identična?
2. Kroasan pada sa stola na pod. Zašto je njegovo krckanje pri udaru dokaz da mehanička energija nije nestala? U šta prelazi?
3. Tijelo pada s visine od 5 m na pod. Izračunajte toplotnu energiju koja se oslobodila nakon udara tijela u podlogu, smatrajući da se pri padu ne stvara zvuk.
4. Lopta mase 0,15 kg pada s visine od 2,0 m. Nakon udara u podlogu podiže se do visine od 1,2 m. Kolika je mehanička energija koja se pri udaru pretvorila u toplotu i zvuk?
5. Kuglica mase 0,3 kg kotrlja se niz nagnutu ravan visine 1,8 m. Početna brzina kojom se kuglica počela kotrljati na vrhu ravni bila je 1 m/s. Tokom kretanja 20 % ukupne energije gubi se kao toplota. Kolika je brzina kuglice na kraju nagnute ravni?

ZAPAMTI

- Kada postoji trenje između tijela i zraka ili podloge, sistem nije izolovan i dio mehaničke energije pretvara se u toplotnu energiju.
- U neizolovanom sistemu mehanička energija se ne očuva.
- Zakon o očuvanju energije općenitiji je od Zakona o očuvanju mehaničke energije: energija nikada ne nestaje i ne nastaje, nego se samo pretvara iz jednog oblika u drugi.

PROSVETNO DELO

1.9. MEHANIČKI RAD

POJMOVI

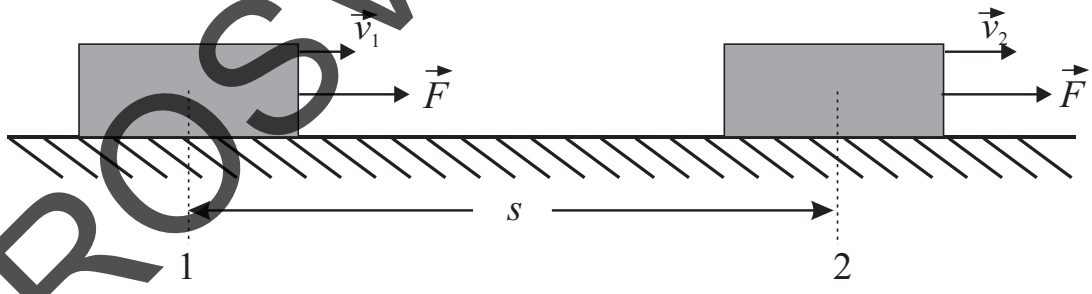
mehanički rad (A)

U svakodnevnom životu često kažemo da „radimo“ – kada pišemo domaći zadatak, kopamo u bašti ili pomjeramo namještaj. Ali u fizici riječ rad ima veoma precizno značenje. Mehanički rad vrši se samo kada se pod djelovanjem sile neko tijelo pomjera. Ako guramo masivan ormar i on se ne pomjera s mjesta, iako smo se umorili, u fizičkom smislu kažemo da nije izvršen mehanički rad jer se tijelo nije pomjerilo. Ukoliko, pak, istom silom djelujemo na tijelo manje mase i uspijemo ga pomjeriti, tada je izvršen mehanički rad jer je na tijelo prenesena energija.

Rad je mjera za to koliko se energije prenosi na tijelo na koje djeluje sila. Što je veća sila ili veće rastojanje na kojem se tijelo pomjera (pomjeranje tijela) pod djelovanjem te sile, to je izvršen veći mehanički rad. Na Slici 1 prikazano je pomjeranje jednog tijela u pravcu i smjeru djelovanja sile. Mehanički rad označavamo sa A i izračunavamo sljedećom formulom:

$$A = F \cdot s,$$

gdje je sa F označena veličina sile koja vrši rad, a s je veličina pomjeranja u smjeru sile. Osnovna jedinica za mehanički rad je džul (J). Rad od 1 J izvršen je kada sila od 1 N pomjeri tijelo za 1 m. To je veoma mala količina rada. Pomoću formule možete izračunati da će se za podizanje čokolade mase 100 g na visinu od 1 m izvršiti rad od približno 1 J. Zato se u praktičnim situacijama rad izražava u kJ ili MJ.



Slika 1. Sila F vrši mehanički rad, pomjerajući tijelo iz položaja 1 u položaj 2.

Kada vršimo rad, mijenjamo energiju tijela. Ako podignemo knjigu s poda na policu, nad knjigom je izvršen rad i ona dobija veću gravitacijsku potencijalnu energiju. Kada guramo kolica naprijed, sila kojom djelujemo na tijelo povećava kinetičku energiju kolica. Pri izduživanju opruge vršimo rad koji se pretvara u elastičnu potencijalnu energiju opruge. Zato kažemo da je mehanički rad uvijek povezan s prenošenjem ili promjenom energije.

PROSVETNO DELO

Prema Zakonu o očuvanju energije, energija ne može nastati niti nestati, nego se samo pretvara iz jednog oblika u drugi ili prenosi s jednog tijela na drugo. Kada tijelo vrši rad, ono predaje dio svoje energije; kada se nad njim vrši rad, tijelo dobija energiju. Naprimjer, kada jedno tijelo pada s određene visine na površinu Zemlje, na tijelo djeluje gravitacijska sila Zemlje. Kažemo da gravitacijska sila vrši rad, pri čemu se gravitacijska potencijalna energija tijela smanjuje. Ako mi podižemo tijelo s referentne ravni na neku visinu, tada se rad koji mi vršimo pretvara u gravitacijsku potencijalnu energiju tijela.

Rad može biti pozitivan, negativan ili jednak nuli. Pozitivan rad imamo kada su djelovanje sile i pomjeranje u istom smjeru. Imajući ovo u vidu, u prethodnom primjeru možemo reći da gravitacijska sila vrši pozitivan rad kada tijelo pada. Negativan rad vrši se kada sila djeluje suprotno od kretanja. Sila trenja uvijek je usmjerena u suprotnom smjeru od smjera brzine tijela, pa je prema tome mehanički rad koji vrši sila trenja pri kretanju negativna veličina.

Mehanički rad jednak je nuli ako se tijelo ne pomjera ili pak ako sila djeluje pod pravim uglom u odnosu na smjer u kojem želimo pomjeriti tijelo, isto kao kada držimo masivan ruksak i ne pomjeramo ga.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER 1.

Učenik gura kutiju s knjigama po horizontalnoj ravni silom od 60 N, pri čemu se kutija pomjera 6 m u smjeru djelovanja sile. Sila trenja iznosi 20 N.

a) Koliki rad vrši učenik?

b) Koliki rad vrši sila trenja?

c) Kolika je ukupna promjena mehaničke energije kutije?

Dato:

$s = 6\,\text{m}$

$F = 60\,\text{N}$

$F_{tr} = 20\,\text{N}$

$g = 9{,}81\,\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Traži se:

A_1 - ?

A_{tr} - ?

ΔE - ?

a. Mehanički rad koji vrši učenik iznosi:

$$A_1 = F \cdot s = 60\,\text{N} \cdot 6\,\text{m} = 360\,\text{J}.$$

b. Rad sile trenja je negativan jer je djelovanje sile trenja u suprotnom smjeru od pomjeranja:

$$A_{tr} = -F_{tr} \cdot s = -20\,\text{N} \cdot 6\,\text{m} = -120\,\text{J}.$$

c. Promjena mehaničke energije jednaka je ukupnom radu koji su izvršile obje sile

$$\Delta E = A_1 + A_{tr} = 360\,\text{J} - 120\,\text{J} = 240\,\text{J}.$$

Primijetili ste da je ova promjena ukupne mehaničke energije zapravo promjena kinetičke energije tijela jer se tijelo kreće po horizontalnoj ravni.

Primijetili ste da je ova promjena ukupne mehaničke energije zapravo promjena kinetičke energije tijela jer se tijelo kreće po horizontalnoj ravni.

Važno je znati da rad ne zavisi od oblika puta, nego samo od početnog i krajnjeg položaja

tijela. Posljednji zaključak omogućava nam da vršimo rad manjom silom. Bez obzira na to podižemo li određeni predmet vertikalno prema gore ili ga guramo uz nagnutu ravan, ukoliko smo predmet podigli na istu visinu u odnosu na referentnu ravan, tada je izvršeni rad jednak po veličini. Ono što se mijenja jeste veličina sile kojom trebamo djelovati.

Zato je jedan od najstarijih i najvažnijih načina da se olakša vršenje mehaničkog rada upotreba kose ravni ili rampe. Ona omogućava da se mnogo manjom silom podigne teret na istu visinu nego kada bi se podizao vertikalno prema gore. Zamisli da trebaš podići kutiju mase 50 kg na visinu od 1 m. Ako je podigneš prema gore, trebaš djelovati silom jednakom težini kutije. Ali ako koristiš nagnutu ravan dužine 5 m, sila kojom djeluješ mnogo je manja, iako je put duži. Ukupni rad je isti jer u oba slučaja tijelo dobija istu gravitacijsku potencijalnu energiju, ali je rad pomoću rampe mnogo lakši za izvođenje. Formula za rad pokazuje nam i zašto:

$$A = F \cdot s \quad \Rightarrow \quad F = \frac{A}{s}$$

Ako je pomjeranje veće, potrebna sila je manja – i zato su nagnute ravni i duge staze na brdima toliko korisne u svakodnevnom životu. Na Slici 2 prikazano je podizanje lopte na neku visinu i guranje iste lopte uz nagnutu ravan do iste visine. U drugom slučaju lopta se pomjera više u odnosu na početni položaj, ali je zato sila kojom se djeluje manja.



Slika 2. U oba slučaja izvršen je isti rad.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER 2.

Tijelo mase 30 kg treba podići na visinu od 1 m.

a) Izračunaj mehanički rad koji je potreban da se tijelo podigne vertikalno prema gore.

b) Kolika sila treba djelovati na tijelo ako se koristi nagnuta ravan dužine 4 m za njegovo podizanje na istu visinu? Trenje tijela s ravni zanemariti.

Za veličinu Zemljinog ubrzanja uzeti da iznosi: $g = 9{,}81\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$.

Dato:	a. Da bi se tijelo podiglo prema gore, treba djelovati silom jednakom težini tijela, odnosno:
$m = 30\,\text{kg}$ $s_1 = 1\,\text{m}$ $s_2 = 4\,\text{m}$ $g = 9{,}81\,\frac{\text{N}}{\text{kg}}$	$A = F \cdot s_1 = G \cdot s_1 = m \cdot g \cdot s_1 = 30\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1\,\text{m} = 294{,}3\,\text{J}.$ b. Isti rad sada treba izvršiti kada se tijelo gura uz nagnutu ravan, ali sada, da bi se podiglo na visinu od 1 m, potrebno je tijelo pomjeriti za 4 m duž nagnute ravni. Za silu koja treba djelovati na tijelo imamo:
Traži se:	$A = F_2 \cdot s_2 \;\Rightarrow\; F_2 = \frac{A}{s_2} = \frac{294{,}3\,\text{J}}{4\,\text{m}} = 73{,}6\,\text{N}.$
$A - ?$ $F_2 - ?$	

AKTIVNOST

1. Nagnuta ravan i vučna sila

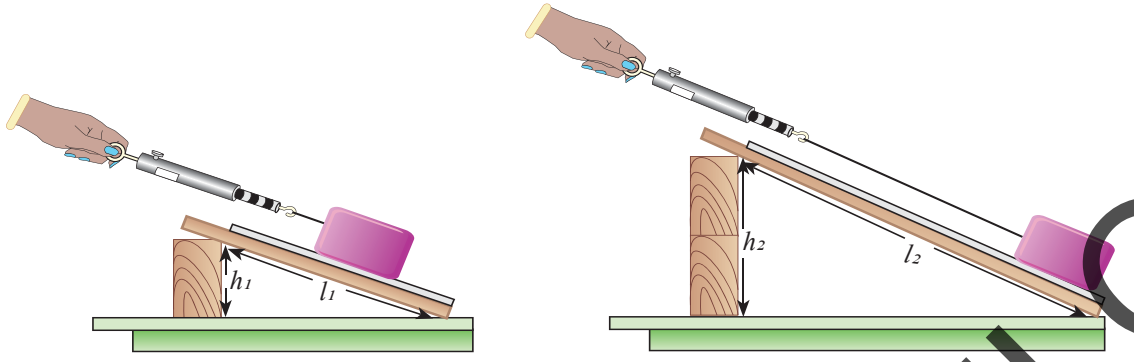
Uzmi drvenu dasku dužine približno jednog metra, mala kolica ili teg i dinamometar koji će ti pokazati kolikom silom trebaš djelovati da bi povukao tijelo u određenom pravcu. Prvo postavi dasku gotovo vertikalno, kao improvizovanu malu „liticu". Zakači dinamometar za kolica ili teg i počni pažljivo vući tijelo prema gore konstantnom brzinom. Dinamometar pokazuje potrebnu silu da podigneš tijelo na određenu visinu, što je jednako težini tijela.

U drugom dijelu ove aktivnosti postavi jedan kraj daske na drveni blok, tako da daska sada predstavlja nagnutu ravan. Izmjeri visinu na koju si podigao dasku i njenu ukupnu dužinu, ove dvije veličine pokazat će ti koliko je nagib strm. Ponovo zakači dinamometar za kolica i vuci kolica uz nagnutu ravan konstantnom brzinom. Da li je sila kojom djeluješ manja ili veća od sile kojom si podizao tijelo vertikalno prema gore? Postupak vučenja tijela uz nagnutu ravan ponovi za veće nagibe nagnute ravni. Za svaki nagib izmjeri silu kojom vučeš tijelo. Šta možeš zaključiti? Rezultate mjerenja unesi u tabelu:

	Visina h (cm)	Dužina l (cm)	Količnik $\frac{h}{l}$	Vučna sila F (N)	Težina G (N)	Količnik $\frac{F}{G}$
1.						
2.						
3.						

Kako se mijenja sila kojom si vukao pri promjeni visine? Da li je vučna sila uvijek manja od težine? Kakva je veza između odnosa h/L i potrebne sile? Zašto nagnuta ravan olakšava podizanje?

PROSVETNO DELO

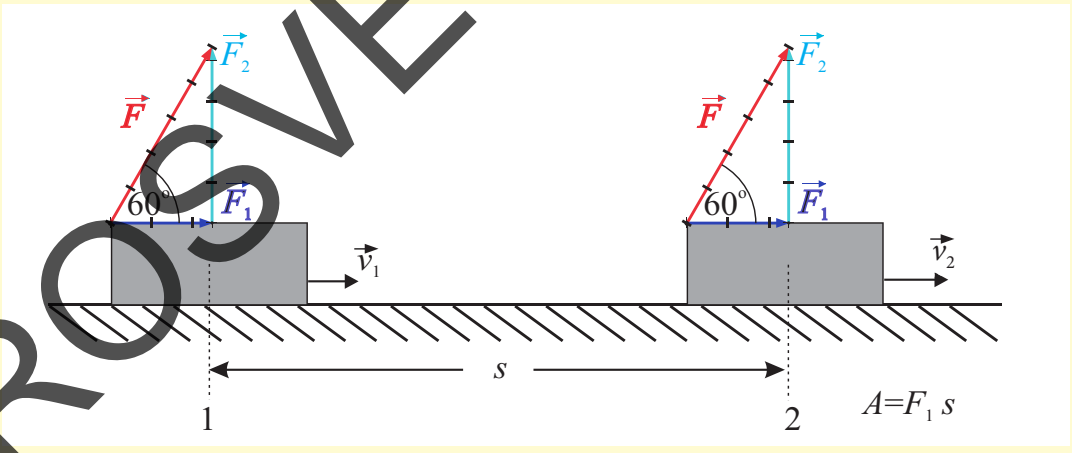


Slika 3. Kretanje tijela konstantnom brzinom po nagnutoj ravni.

ZA 5+

U mnogim stvarnim situacijama sila ne djeluje u pravcu kretanja. Naprimjer, kada vučemo kofer za ručku ili kada vučemo sanke užetom, sila zaklapa određeni ugao s horizontalnom površinom. Ali tijelo se kreće u jednom određenom smjeru. Zbog toga ne vrši rad cijela sila, nego samo ona komponenta koja pokreće tijelo u pravcu željenog pomjeranja. Da bismo izračunali rad sile koja djeluje pod određenim uglom u odnosu na pomjeranje, potrebno je odrediti komponentu sile koja je u pravcu pomjeranja.

Na Slici 4 ispod prikazano je djelovanje sile $F = 5$ N pod uglom od 60° u odnosu na horizontalnu površinu. Ako se sila razloži na komponente, od kojih je jedna u pravcu pomjeranja F_1, a druga pod pravim uglom u odnosu na pomjeranje F_2, lako se može odrediti da horizontalna komponenta iznosi 2,5 N. Rad ove komponente sile može se izračunati formulom za mehanički rad. Rad vertikalne komponente sile jednak je nuli jer je pod pravim uglom u odnosu na pomjeranje.



Slika 4. Rad sile koja djeluje pod uglom u odnosu na pomjeranje tijela.

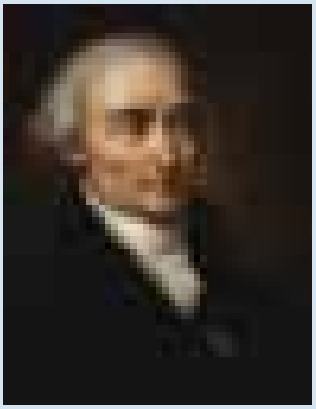
ZANIMLJIVE ČINJENICE

Planinske staze su duge upravo zato što su „prirodne kose ravni". Iako se planinari kreću dužim putem, koriste manju silu da bi se popeli na vrh planine.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

Joseph-Louis Lagrange (1736–1813)



Lagrange je bio jedan od najvećih evropskih matematičara i fizičara. Rođen u Torinu, Italija, još kao mladić bio je fasciniran pitanjem: „Šta određuje kretanje tijela?“ Umjesto da proučava kretanja samo pomoću sila, kao Newton, Lagrange je shvatio da se kretanje može mnogo jasnije objasniti ako se prati kako se mijenja energija tijela i koliko je rada potrebno za to kretanje. On je bio prvi koji je razumio vezu između kinetičke energije, potencijalne energije i mehaničkog rada. Lagrange je pokazao da se tijelo uvijek kreće po putanji duž koje se vrši najmanji mogući rad, što je kasnije postalo osnova moderne mehanike (dijela fizike koji povezuje rad, energiju i kretanje tijela).

PITANJA I ZADACI

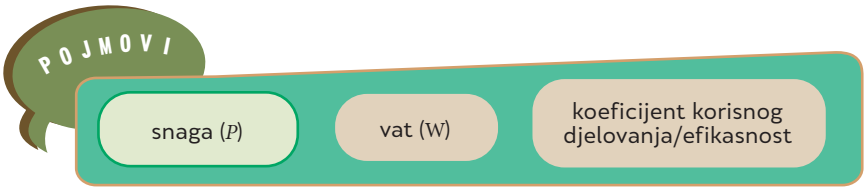
1. Zašto kažemo da nije izvršen mehanički rad ako se tijelo ne kreće, iako djeluje sila?
2. Kada sila vrši negativan mehanički rad nad tijelom? Navedi primjer.
3. Zašto je ukupni rad pri podizanju tereta na neku visinu isti i korištenjem nagnute ravni i pri direktnom vertikalnom podizanju tereta?
4. Kolica se guraju po podu silom od 10 N i pritom se pomjeraju za 2,5 m. Koliki je rad izvršen? Ako znaš da je sila trenja iznosila 1 N, izračunaj koliki rad je izvršila sila guranja.
5. Lift podiže kutiju mase 25 kg na peti sprat, na visinu od 12 m.
6. a) Koliki rad vrši lift pri podizanju kutije?
7. b) Ako je za ovo podizanje liftu potrebna energija od 8 kJ, koliko je energije izgubljeno na trenje, otpor i zagrijavanje mehanizama?

ZAPAMTI

- Mehanički rad vrši se samo kada se tijelo pomjera pod djelovanjem sile.
- Mehanički rad izračunava se formulom $A = F \cdot s$, gdje je sa A označen mehanički rad, F je sila, a s je veličina pomjeranja tijela u smjeru sile.
- Osnovna jedinica za rad je džul (J).
- Kada sila vrši mehanički rad, mijenja se energija tijela.
- Izvršeni mehanički rad ne smanjuje se upotrebom kose ravni, nego se smanjuje sila koja je potrebna za izvršavanje rada.
- Mehanički rad može biti pozitivan, negativan ili jednak nuli u zavisnosti od smjera kretanja i pravca i smjera djelovanja sile.
- Mehanički rad, energija i kretanje neraskidivo su povezani, a svaka promjena energije rezultat je izvršenog rada.

PROSVETNO DELO

1.10. SNAGA I KOEFICIJENT KORISNOG DJELOVANJA



SNAGA

U svakodnevnom životu često kažemo da neka mašina „radi brže“ ili da je „snažnija“ od druge. Ponekad dva učenika izvršavaju isti rad. Naprimjer, penju se na isti sprat u školi, ali jedan od njih stiže na sprat za 10 s, a drugi za 20 s. Iako su oba učenika izvršila mehanički rad jednake veličine, jedan od njih završio je rad brže i kažemo da ima veću snagu.

Ili, pak, neka dvije svjetiljke svijetle jednu minutu. Jedna troši manje energije od druge. Iako je vrijeme isto, druga svjetiljka potrošila je više energije, što znači da ima veću snagu.

U fizici nam snaga pokazuje koliko se rada izvrši u jedinici vremena, ali i koliko se energije potroši ili pretvori u drugu vrstu u jedinici vremena. Ako je rad isti, ali je vrijeme kraće, tada je snaga veća.

Snagu u fizici označavamo sa P i izračunavamo kao količnik izvršenog rada A i vremena za koje je taj rad izvršen:

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

Može se reći i da snaga predstavlja brzinu kojom se izvršava neki rad. Ako se rad izrazi u J, a vrijeme u s, tada dobijamo jedinicu za snagu – vat (W). Jedan vat predstavlja snagu kada se izvrši rad od 1 J za vrijeme od 1 s.

Snaga se može definisati i preko potrošene ili prenesene energije s jednog tijela na drugo. Ako sa E označimo energiju koja je potrošena ili predata drugom tijelu, tada se snaga može izračunati prema formuli:

$$P = \frac{E}{t}.$$

Zato svjetiljke, aparati, motori i električni uređaji uvijek imaju oznaku svoje snage izražene u W ili kW – upravo da pokažu kojom brzinom troše ili pretvaraju energiju. Pomoću snage veoma lako možemo objasniti razlike između uređaja. Prašinu možemo skupiti i ručnom četkom, kao i usisivačem. Međutim, usisivač ima motor mnogo veće snage i zato za kratko vrijeme izvršava isti rad za koji bi nam ručno bilo potrebno mnogo više vremena.

Isto važi i za dvije svjetiljke: ako svjetiljke imaju različitu snagu, svjetiljka veće snage svijetlit će jače jer u jednoj sekundi pretvara više električne energije u svjetlost.

Ako znamo kolika je snaga nekog uređaja, tada možemo izračunati koliki se rad može izvršiti u određenom vremenskom intervalu. Rad možemo izračunati prema formuli:

PROSVETNO DELO

$$A = P \cdot t\,.$$

Iz posljednje jednačine možemo zaključiti da rad od 1 J izvrši uređaj/mašina čija snaga iznosi 1 W za vrijeme od 1 s. Zato se često rad umjesto u J izražava u vat-sekundama (Ws) ili kilovat-satima (kWh). Potrošena električna energija u domaćinstvima mjeri se u kWh. $1\,\text{kWh} = 1000\ \text{W} \cdot 3600\ \text{s} = 3600000\ \text{J}$.

Električni uređaj/mašina	Snaga
LED svjetiljka	5–15 W
Laptop	30–90 W
Frižider	100–250 W
Električni bojler	1500–3000 W
Klima-uređaj	2500–5500 W
Električni bicikl (e-bike)	200–500 W
Električni automobil	100–350 kW
Putnički avion	20–75 MW
Svemirske rakete	2,5–23 GW

Tabela 1. U tabeli su dati rasponi snage nekih elektronskih uređaja/mašina.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER 1.

Učenica mase 40 kg penje se stepenicama na visinu od 2 m za vrijeme od 5 s. Kolika je njena snaga? Za veličinu Zemljinog ubrzanja uzeti da iznosi: $g = 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Dato:	Da bi se učenica popela stepenicama prema gore, treba izvršiti rad jednak povećanju njene potencijalne energije:
$m = 40\,\text{kg}$ $h = 2\,\text{m}$ $t = 5\,\text{s}$ $g = 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}}$	$A = E_p = m \cdot g \cdot h = 40\,\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 2\,\text{m} = 784{,}8\,\text{J}$. Njena snaga iznosi: $P = \frac{A}{t} = \frac{784{,}8\,\text{J}}{5\,\text{s}} = 157\,\text{W}$.
Traži se:	
$P - ?$	

KOEFICIJENT KORISNOG DJELOVANJA

U stvarnom svijetu nijedna mašina ili uređaj ne pretvara svu unesenu energiju u koristan rad. Dio energije uvijek se gubi (najčešće u obliku toplote i stvaranja zvuka). Što su ti gubici energije manji, kažemo da je mašina efikasnija.

Pri pomjeranju tijela guranjem konstantnom silom, koristan rad je rad sile koja gura i povećava kinetičku energiju tijela, ali osim ovog rada, mora se savladati i rad sile trenja.

Da bismo izmjerili koliko je neka mašina ili uređaj efikasan u korištenju unesene energije ili pak pokazali koliki dio ukupnog izvršenog rada otpada na koristan rad, u fizici je uvedena fizička veličina **koeficijent korisnog djelovanja** ili **efikasnost**. Koeficijent korisnog djelovanja je količnik korisnog rada (A_k) i ukupnog uloženog rada (A_{vk}). Koeficijent korisnog djelovanja je bezdimenzionalna veličina i obično se označava sa η (čita se „eta“):

$$\eta = \frac{A_k}{A_{vk}} .$$

Taj koeficijent može se izraziti i u procentima:

$$\eta = \frac{A_k}{A_{vk}} \cdot 100\,\% .$$

Koeficijent korisnog djelovanja može se izračunati i kao količnik **korisne energije** i **uložene energije**, izražen u procentima.

$$\eta = \frac{E_k}{E_{vk}} \cdot 100\,\% .$$

Ako neka mašina ili uređaj ima koeficijent korisnog djelovanja od 80 %, to znači da se 80 % energije koju je mašina iskoristila pretvorilo u ono što nam je potrebno, a 20 % se izgubilo u obliku toplote, zvuka ili vibracija.

Naprimjer, neka je efikasnost svjetiljke sa žarnom niti 10 %. To znači da od ukupne potrošene električne energije svjetiljka 10 % pretvara u svjetlosnu energiju, a čak 90 % se gubi u obliku toplote. Kod električnih uređaja visoka efikasnost znači manju potrošnju električne energije; kod motora veća efikasnost znači dobijanje veće vučne sile uz manje goriva.

Uređaj/mašina/motor	Koeficijent korisnog djelovanja
Električni motor (naizmjenična struja)	85–95 %
Električni motor (istosmjerna struja)	75–90 %
Svjetiljka sa žarnom niti	5–10 %
Halogena svjetiljka	10–20 %
LED svjetiljka	40–60 %
Električni grijač	99 %
Benzinski motor	20–30 %
Dizel-motor	30–40 %
Električni bicikl	60–80 %
Električni automobil	70–90 %

Tabela 2. U tabeli su dati rasponi koeficijenta korisnog djelovanja za neke uređaje.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER 2.

Svjetiljka troši 60 J energije za 1 sekundu. Od toga se samo 12 J pretvara u svjetlost, a ostatak u toplotu.

a) Koliki je koeficijent korisnog djelovanja svjetiljke?

b) Koliko se energije u svjetiljci pretvara u toplotu?

Dato:	a. Koeficijent korisnog djelovanja svjetiljke iznosi:
$E_u = 60\,\text{J}$ $E_k = 12\,\text{J}$ $t = 1\,\text{s}$	$\eta = \frac{E_k}{E_u} \cdot 100\% = \frac{12\,\text{J}}{60\,\text{J}} \cdot 100\% = 20\%.$ b. Energija koja se pretvara u toplotu je razlika između ukupne energije koju svjetiljka troši i svjetlosne energije:
Traži se:	$Q = E_u - E_k = 60\,\text{J} - 12\,\text{J} = 48\,\text{J}.$
$\eta - ?$ $Q - ?$	

AKTIVNOSTI

1. Izračunavanje tvoje snage

Popni se školskim stepenicama do prvog sprata. Štopericom izmjeri vrijeme potrebno da izvršiš ovaj rad. Metrom izmjeri visinsku razliku između dva sprata, a na vagi izmjeri svoju masu. Izračunaj rad koji si izvršio penjući se na prvi sprat, a zatim i svoju snagu.

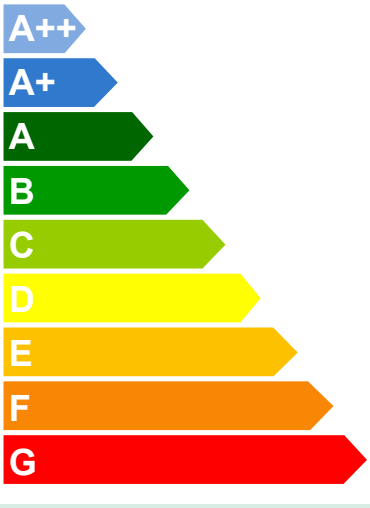
Pokušaj sljedeći put, bez trčanja, popeti se na prvi sprat, ali sada krećući se većom brzinom. Ponovo izmjeri vrijeme za ovu aktivnost i izračunaj svoju snagu u ovom slučaju. Šta možeš zaključiti? U kojem slučaju ti je trebalo više vremena? Da li je rad koji si izvršio u oba slučaja jednak? Da li je tvoja snaga bila jednaka u oba slučaja?

2. Koeficijent korisnog djelovanja kod električnih uređaja

Kod električnih uređaja visoka efikasnost (ili visok koeficijent korisnog djelovanja) znači manju potrošnju električne energije; kod svjetiljki veća efikasnost znači da će svjetiljka zračiti više svjetlosti, pritom trošeći manje električne energije.

Zato svi električni uređaji imaju oznake kao što su „A“, „A+“, „A++“, „B“, „C“ itd. Ove oznake predstavljaju koeficijent korisnog djelovanja uređaja. Na Slici 1 data je shema ovih oznaka, odnosno klasa potrošača.

Istraži koliki koeficijent korisnog djelovanja predstavlja svaka od oznaka, odnosno klasa. Izaberi jedan električni uređaj iz svog doma, pa istraži koliko energije troši za jedan sat kada je uključen. Dakle, trebaš otkriti koja je njegova oznaka za koeficijent korisnog djelovanja i koliki se dio ukupne energije koju uređaj troši pretvara u korisnu energiju.



Slika 1. Shema oznaka za različite klase potrošača.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

James Watt (1736–1819)



Watt je bio škotski izumitelj i inženjer koji je ostavio ogroman utjecaj na razvoj tehnike i industrije. Rođen u Greenocku, Škotska, još kao dijete pokazivao je veliku radoznalost za rad različitih mehanizama: rano je naučio rastavljati i popravljati satove, mehaničke igračke i male alate.

Watt je radio kao proizvođač naučnih instrumenata na Univerzitetu u Glasgowu. Tamo je prvi put došao u kontakt s parnim mašinama, koje su u to vrijeme bile veoma neefikasne i trošile ogromnu količinu energije, a vršile mali koristan rad.

Najveći Wattovi doprinosi nauci i tehnici jesu poboljšanje (povećanje koeficijenta korisnog djelovanja) parne mašine, uvođenje pojma snage u nauku i industriju, ali je i postavio osnovu za moderno razumijevanje energije, rada i tehnoloških uređaja. On je redizajnirao parnu mašinu tako što je povećao njen koeficijent korisnog djelovanja.

Zahvaljujući njegovim poboljšanjima, parna mašina postala je pravi motor koji je pokretao industrijsku revoluciju: fabrike, rudnike, brodove i željeznicu. U njegovu čast jedinica za snagu nazvana je vat (W).

ZA 5+

Koristeći osnovnu formulu za izračunavanje snage:

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

možemo izvesti i drugu formulu za njeno izračunavanje ukoliko iskoristimo formulu za izračunavanje mehaničkog rada: $A = F \cdot s$. Ako ovu formulu za rad uvrstimo u izraz za snagu, dobijamo:

$$P = \frac{F \cdot s}{t}.$$

Imajući u vidu da količnik pomjeranja i vremena za koje je to pomjeranje izvršeno predstavlja brzinu kojom se tijelo kretalo, odnosno:

$$v = \frac{s}{t},$$

uvrštavanjem u izraz dobijamo:

$$P = F \cdot v.$$

Ovo je veoma važna formula jer nam govori da snaga zavisi od dvije veličine: sile koja djeluje na tijelo i brzine kojom se tijelo kreće pod djelovanjem te sile. Naprimjer, motori kod automobila i kamiona, pri istoj snazi, „vuku" većom silom prema naprijed ukoliko je njihova brzina kretanja manja. Zato pri penjanju uz uzbrdice vozači smanjuju brzinu vozila kako bi dobili veću vučnu silu motora.

2. Koeficijent korisnog djelovanja ne mora se izračunavati samo preko rada ili energije. U slučajevima kada radimo s mašinama koje neprestano vrše rad, kao što su: motori, pumpe, električni uređaji ili transportni sistemi, mnogo ga je lakše izračunati preko snage. U ovakvom slučaju koeficijent korisnog djelovanja izračunava se formulom:

$$\eta = \frac{P_k}{P_{vk}} \cdot 100\,\%.$$

PROSVETNO DELO

gdje je: P_k snaga koju mašina daje u obliku korisnog rada, P_{vk} je ukupna snaga koju mašina prima iz izvora energije (električne, hemijske ili mehaničke).
Do ove jednačine možemo doći i ako brojnik i nazivnik u formuli za koeficijent korisnog djelovanja, zadat preko izvršenog rada, podijelimo s vremenom, znajući da odnos rada i vremena daje snagu.



ZANIMLJIVE ČINJENICE

James Watt izražavao je snagu u jedinicama „konjska snaga“ (HP). Jedna konjska snaga jednaka je 745,7 W. I danas se ponekad snaga automobilskih motora izražava u ovoj jedinici.



PITANJA I ZADACI

1. Objasni svojim riječima šta je snaga. Mogu li dvije mašine koje izvršavaju isti rad imati različitu snagu? Zašto?
2. Zašto nijedna mašina ili uređaj nema koeficijent korisnog djelovanja od 100 %?
3. Trljaj dlanove jedan o drugi nekoliko sekundi. Koliki si koristan rad izvršio? Koliki je koeficijent korisnog djelovanja ove aktivnosti?
4. Jedan učenik podiže ruksak mase 5 kg na visinu od 2 m za 4 s. Kolika je njegova snaga?
5. Motor troši 5000 J električne energije za 10 s. Njegov koeficijent korisnog djelovanja je 40 %.
6. a) Koliko korisne energije daje motor?
7. b) Kolika je njegova snaga?
8. c) Koliko se energije gubi u obliku toplote?



ZAPAMTI

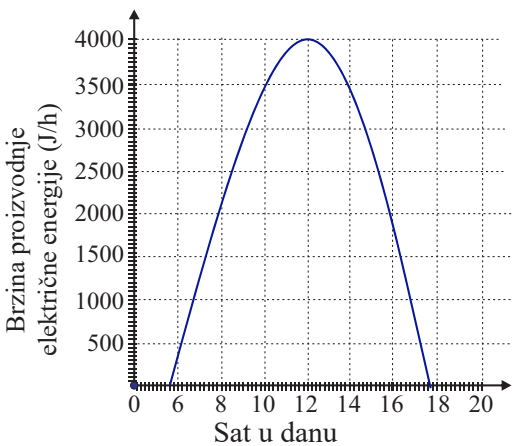
- Snaga je količnik izvršenog rada i vremena za koje se taj rad vrši.
- Osnovna mjerna jedinica za snagu u SI je jedan vat (1 W).
- Koeficijent korisnog djelovanja izračunava se kao količnik korisnog rada i ukupnog izvršenog rada.
- Nijedna mašina ne pretvara svu uloženu energiju u koristan rad. Dio energije uvijek se gubi (trenje, toplota, zvuk).

PROSVETNO DELO

TEMA 1.
PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE

PROSVETNO DELO

1. Šta predstavlja izvor energije? Navedi tri izvora energije.
2. Zašto se fosilna goriva smatraju neobnovljivim izvorima energije?
3. Efekt staklene bašte dovodi do:
   a) Smanjenja temperature
   b) Globalnog zagrijavanja
   c) Veće mase Zemlje
   d) Sporijeg kretanja zraka.
4. Zašto se kinetička energija tijela koje pada prema površini Zemlje neprestano povećava?
5. Opiši kako se mijenja potencijalna energija pri padu tijela s određene visine.
6. Kako se izračunava elastična potencijalna energija?
7. Objasni kada sila koja djeluje na tijelo ne vrši mehanički rad?
8. Koja je razlika između korisne i uložene energije?
9. Srce koristi hemijsku energiju za pumpanje krvi. U periodu od 30 min srce izvrši mehanički rad od 3 kJ. Ako je u istom periodu tijelo potrošilo 30 kJ hemijske energije:
   a) Koliki procenat energije odlazi na rad srca?
   b) Koliko se energije pretvorilo u toplotu?
   c) Objasni zašto su toplotni gubici važni za održavanje tjelesne temperature.
10. Solarni panel prima 1000 J od Sunca za 1 min. U istom vremenu proizvodi 220 J električne energije, pri čemu se 150 J apsorbuje kao toplota u panelu, a ostatak se reflektuje.
    a) Izračunaj koliko se energije reflektuje od panela?
    c) Koliki je procentualni udio reflektovane energije?
11. Dat je grafik koji pokazuje brzinu kojom se proizvodi električna energija na jednom malom solarnom panelu tokom dana u jedinicama džul na sat (J/h).
    a) Odredi u kojem periodu dana panel proizvodi najviše energije.
    b) U kojem periodu dana panel ne proizvodi električnu energiju?
    c) U koliko sati panel proizvodi električnu energiju od 1000 J/h?
    d) Objasni zašto je proizvodnja energije niska ujutro i navečer.



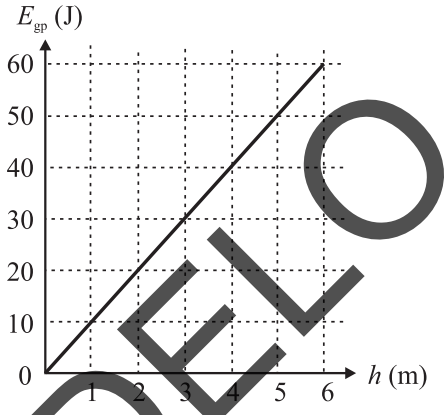
12. Automobil mase 900 kg kreće se brzinom od 40 km/h, a zatim brzinom od 80 km/h.
    a) Izračunaj kinetičku energiju automobila u oba slučaja.
    b) Koliko puta je veća kinetička energija kada se automobil kreće brzinom od 80 km/h u poređenju s kretanjem brzinom od 40 km/h?

U svim zadacima u nastavku, ako nije drugačije navedeno, uzeti da veličina Zemljinog ubrzanja iznosi:

$$g = 9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

13. Skijaš mase 70 kg spušta se niz padinu planine i dostiže brzinu od 12 m/s. Krećući se po ravnoj površini, njegova brzina smanjila se na 8 m/s. Izračunaj promjenu kinetičke energije skijaša.

14. Na grafiku je prikazana zavisnost gravitacijske potencijalne energije tijela nepoznate mase podignutog na različite visine u odnosu na referentnu ravan. Odredite nagib prave i pomoću dobijene vrijednosti izračunajte masu tijela. Za veličinu Zemljinog ubrzanja u ovom zadatku uzmi da iznosi: $g = 10\frac{\text{N}}{\text{kg}}$.



15. Za tijelo nepoznate mase izmjerena je gravitacijska potencijalna energija (Egp) kada je tijelo postavljeno na različite visine (h) u odnosu na referentnu ravan. Rezultati mjerenja dati su u tabeli desno.

h (m)	E_{gp} (J)
0	0
0,5	10
1,0	20
1,5	30
2,0	40

a) Nacrtaj grafik zavisnosti gravitacijske potencijalne energije od visine na kojoj se tijelo nalazi.

b) Očitaj s grafika: kolika je gravitacijska potencijalna energija tijela kada se nalazi na visini od 1,2 m iznad referentne ravni?

c) Izračunaj nagib grafika i pomoću te vrijednosti odredi masu tijela.

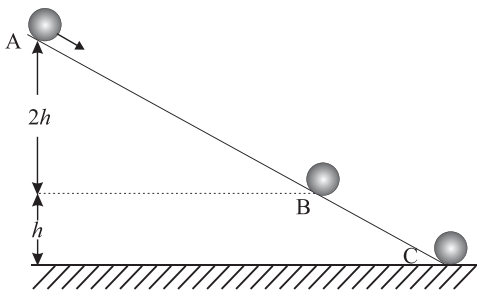
Za veličinu Zemljinog ubrzanja u ovom zadatku uzmi da iznosi: $g = 10\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

17. Dvije opruge imaju konstante elastičnosti 50 N/m i 100 N/m. Obje se izdužuju za isto rastojanje od 0,08 m.

a) Izračunaj elastičnu energiju za svaku oprugu.

b) Koliko puta je veća elastična potencijalna energija opruge s većom konstantom?

16. Tijelo je pušteno da se kotrlja niz nagnutu ravan. U tački A njegova kinetička energija iznosi 20 J, dok njegova kinetička energija u tački B iznosi 60 J. Izračunaj kinetičku energiju tijela u tački C na kraju nagnute ravni. Kolika je bila potencijalna energija tijela u tački A? Trenje s podlogom i zrakom može se zanemariti.



17. Ventilator izvrši rad od 4500 J za 1 minutu.

a) Izračunaj snagu ventilatora.

b) Koliki rad će ventilator izvršiti za 10 minuta ako snaga ostane ista?

18. Učenik mase 45 kg ide stepenicama i za 6 s penje se na visinu od 2,4 m.

a) Izračunaj izvršeni rad.

b) Izračunaj snagu učenika.

c) Ako njegovo tijelo proizvodi 20 % više energije od izvršenog rada (zbog gubitaka), kolika je ukupna potrošena energija?

19. Čovjek podiže teg mase 20 kg na visinu od 0,7 m za vrijeme od 0,8 s.

a) Izračunaj rad.

b) Izračunaj snagu podizanja.

c) Ako su mišići iskoristili samo 25 % hemijske energije, koliko je energije potrošilo tijelo?

PROSVETNO DELO

Tema 2:
UNUTRAŠNJA ENERGIJA I TOPLOTA

Iako tijela oko nas miruju, u njima postoji neprekidno kretanje. Svaka građevna čestica tijela ili supstance vibrira, kreće se i razmjenjuje energiju s ostalim česticama. Zbog kretanja građevnih čestica i njihovih međudjelovanja kažemo da tijela i supstance imaju unutrašnju energiju.

Proučavanjem ove teme otkrit ćeš da su upravo čestična građa i unutrašnja energija ključ za razumijevanje agregatnih stanja: čvrstog, tečnog i gasovitog, kao i njihovih svojstava. U ovoj temi naučit ćeš kako se mjeri temperatura i zašto je osnovna jedinica za temperaturu u SI jedan kelvin, a ne °C.

Naučit ćeš povezivati promjene pritiska, zapremine i temperature s ponašanjem čestica: zašto se gasovi šire, zašto tečnosti teku i zašto čvrsta tijela zadržavaju oblik. Razumjet ćeš da toplota nije supstanca koja teče, nego energija koja se prenosi s jednog tijela na drugo. Upoznat ćeš tri načina prenošenja toplote: kondukciju, konvekciju i radijaciju i naučit ćeš kako toplota sa Sunca dolazi do Zemlje iako je najveći dio prostora između njih bezračan.

PROSVETNO DELO

Rezultati učenja

Učenik/učenica će biti sposoban/sposobna:

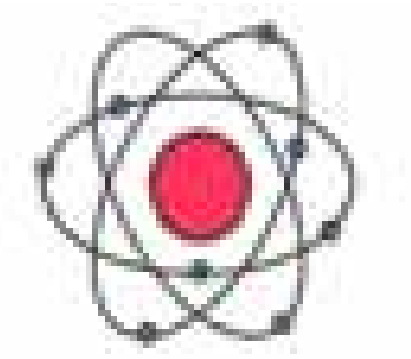
- objašnjavati agregatna stanja i svojstva supstanci na osnovu njihove čestične građe;
- povezivati promjene pritiska, zapremine i temperature kod čvrstih tijela, tečnosti i gasova s njihovom čestičnom građom;
- povezivati pojmove unutrašnja energija i toplota;
- objašnjavati načine prenošenja toplote.

2.1. GRAĐA SUPSTANCE

POJMOVI

građevne čestice | Brownovo kretanje | atom | hemijski element | elektron | čestični model | molekula | spoj | atomsko jezgro | elektronski omotač

Svaki predmet oko nas, voda koju pijemo, zrak koji dišemo, kamen i drvo, sastavljen je od veoma malih čestica. Još prije više od dvije hiljade godina starogrčki filozof Demokrit razmišljao je šta će se dogoditi ako uzmemo neki predmet i počnemo ga dijeliti na sve manje i manje dijelove. Pretpostavio je da mora postojati najmanja **građevna čestica**, toliko mala da se više ne može podijeliti. Ovu česticu nazvao je **atom**, što na starogrčkom znači „nedjeljiv". Iako je tada to bila samo filozofska misao, bez ikakve naučne potvrde, mnogo kasnije, u 19. stoljeću, engleski naučnik John Dalton oživio je ideju o atomu i stvorio **čestični model** građe supstance, odnosno postavio temelje naučne teorije koja se danas naziva **čestična teorija** ili **atomska teorija**.

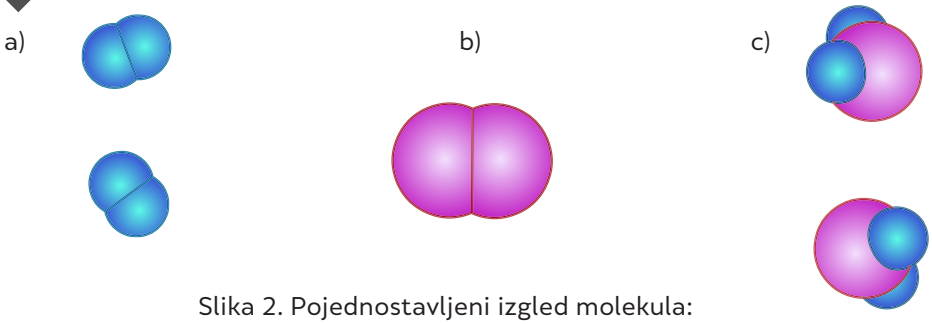


Slika 1. Jednostavan prikaz atoma – jezgro oko kojeg se nalaze elektroni.

Prema ovoj teoriji, **hemijski elementi** izgrađeni su samo od jedne vrste čestica koje se nazivaju atomi. Danas znamo da i atomi imaju svoju strukturu – **atomsko jezgro** i **elektrone** koji kruže oko jezgra. Prostor u kojem se mogu naći elektroni naziva se **elektronski omotač** atoma. Atomi jednog hemijskog elementa međusobno su identični, ali se atomi različitih elemenata međusobno razlikuju.

Dva ili više atoma mogu se povezivati u **molekule** koje su najmanje građevne jedinice jedne supstance i nosioci fizičkih i hemijskih svojstava **spoja**. Kao i atomi, molekule različitih spojeva se razlikuju, ali su molekule istog spoja međusobno identične.

Molekule su sastavljene od dva ili više istih ili različitih atoma. Primjeri molekula izgrađenih od atoma iste vrste su molekula vodika (H_2), molekula kisika (O_2). Ove molekule izgrađene su od dva atoma vodika, odnosno od dva atoma kisika.



Slika 2. Pojednostavljeni izgled molekula: wa) vodika, b) kisika, c) vode.

PROSVETNO DELO

Primjeri molekula sastavljenih od različitih atoma su molekula vode (H_2O) i molekula ugljendioksida (CO_2). Molekula vode izgrađena je od dva atoma vodika i jednog atoma kisika, dok je molekula ugljendioksida izgrađena od jednog atoma ugljika i dva atoma kisika. U prirodi se mogu pronaći i molekule koje su sastavljene od hiljada atoma, kao što su proteini ili molekule polimera (plastika).

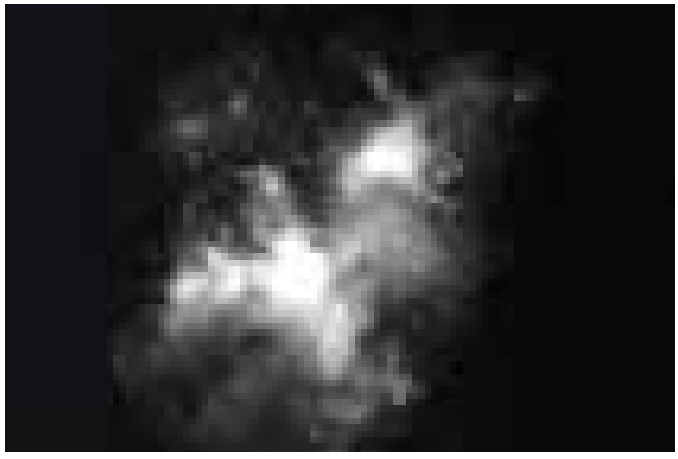
Atomi i molekule toliko su mali da se ne mogu vidjeti ni najmoćnijim optičkim mikroskopima. Veličina različitih atoma je različita, ali možemo smatrati da iznosi približno 0,1 nanometar ($0{,}1 \cdot 10^{-9}$ m), što znači da bi se u jednom milimetru moglo poredati jedan do drugog približno 10 miliona atoma. Molekule, koje su sastavljene od dva ili više atoma, nešto su veće, ali ipak ostaju u rasponu od nekoliko nanometara. Masa atoma također je veoma mala: naprimjer, jedan atom vodika ima masu od približno $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg, a mala molekula, kao što je voda, ima masu koja je približno 18 puta veća od te vrijednosti.

Atomi i molekule ne miruju. Oni su u neprestanom kretanju. Naprimjer, ako u prostoriji ostavimo otvorenu bočicu nekog parfema, nakon izvjesnog vremena miris će se moći osjetiti u svim dijelovima prostorije. Ako u čašu s vodom dodamo malo boje, nakon izvjesnog vremena cijela tečnost će se obojiti.

Kod gasova čestice se međusobno neprestano sudaraju jedna s drugom, mijenjaju pravac, smjer i intenzitet brzine kojom se kreću, pa se zato njihovo kretanje naziva i haotično kretanje. Kod čvrstih tijela čestice se ne kreću translatorno, nego samo osciliraju oko ravnotežnih položaja, dok kod tečnosti građevne čestice osciliraju oko ravnotežnih položaja, ali se mogu i translatorno kretati.

Brownovo kretanje: dokaz kretanja čestica

Dim je sastavljen od miliona malih čvrstih čestica i sitnih kapljica tečnosti. Ako pogledate dim pod mikroskopom, kao što je prikazano na Slici 3, primijetit ćete čestice dima koje reflektuju svjetlost. Njihovo kretanje u zračnoj sredini liči na izlomljenu liniju. Čestica dima dovoljno je velika da se može primijetiti, ali ima veoma malu masu. Zbog male mase, ona može lako mijenjati pravac i smjer kretanja pri sudarima s okolnim česticama (molekulama gasa).

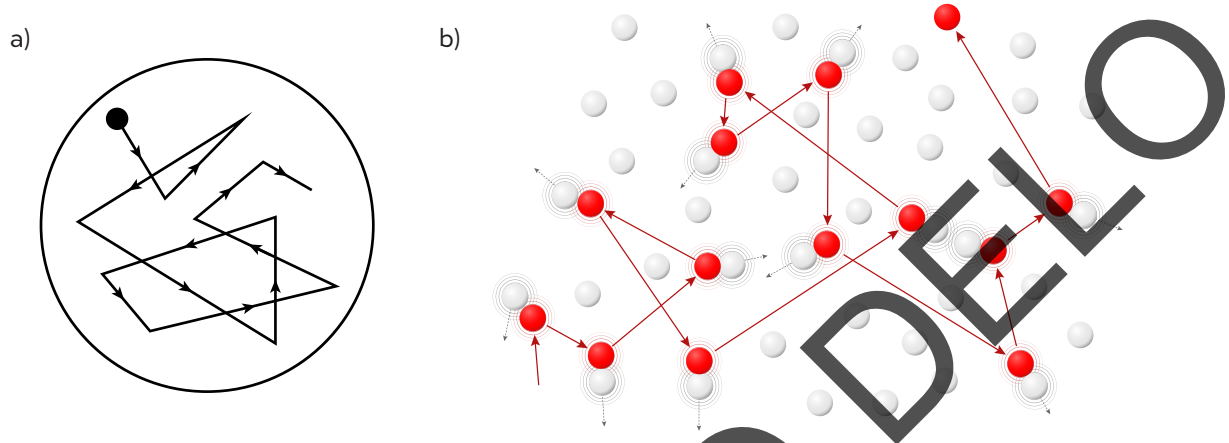


Slika 3. Čestice dima posmatrane pod mikroskopom.

Ovakvo kretanje poznato je kao **Brownovo kretanje**, nazvano u čast naučnika Roberta Browna, koji ga je 1827. godine prvi primijetio posmatrajući kretanje polena postavljenog na kap vode. Kretanje polena po površini vode koje je Brown posmatrao posljedica je neprestanih sudara molekula vode s polenom.

PROSVETNO DELO

Kada se građevne čestice gasa ili tečnosti sudaraju sa sitnim tijelima (npr. polenom na površini vode ili česticom prašine u zraku), ona mijenjaju pravac i smjer njihovog kretanja. Teorija koja proučava kretanje građevnih čestica naziva se molekularno-kinetička teorija i ona daje objašnjenje Brownovog kretanja.



Slika 4. a) Grafički prikaz kretanja čestice polena u Brownovom eksperimentu, b) Pojednostavljeni prikaz haotičnog kretanja jedne posmatrane čestice kao rezultat međudjelovanja s drugim česticama sredine.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Kretanje čestica u zraku

U jednom uglu učionice poprskajte parfem ili dezodorans. Nakon izvjesnog vremena primjećuje se da miris nije ostao samo tamo, nego se proširio svuda po prostoriji. Ovo pokazuje da se čestice dezodoransa kreću haotično i raspoređuju po cijeloj učionici. Aktivnost se može izvesti i s mirisnim štapićima. Šta možeš zaključiti o kretanju čestica parfema?

2. Kretanje čestica u tečnosti

U čašu s vodom dodaj jednu kap prehrambene boje. Nakon izvjesnog vremena primijetit ćeš da se voda u čaši polako boji. Na kraju je sva voda u čaši ravnomjerno obojena. Šta se dogodilo s česticama boje? Da li se kreću samo čestice boje ili i čestice vode?

ZA 5+

Građevne čestice gasova kreću se veoma velikom brzinom, do nekoliko stotina metara u sekundi. Istraži kako su naučnici uspjeli izmjeriti brzinu građevnih čestica gasova i da li se sve čestice kreću istom brzinom.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Srednja brzina molekula zraka veća je od 600 m/s.

POZNATI NAUČNIK

Demokrit (približno 470 – približno 380. p. n. e.)



Demokrit je bio starogrčki filozof iz grada Abdere, poznat kao jedan od najvećih mislilaca svog vremena. On je prvi razvio potpunu teoriju atomizma, ideju koja, iako potječe iz antičkog svijeta, danas je poznata kao osnova savremene atomske fizike. Prema Demokritu, cijeli svijet izgrađen je od dva elementa: atoma i praznog prostora.

Iako nije imao naučne instrumente da dokaže svoju pretpostavku, Demokrit je smatrao da su atomi vječni, neuništivi i uvijek u kretanju. Razlikuju se po obliku i veličini, a njihovim spajanjem nastaju sve supstance oko nas. Prema njemu, nepravilni atomi s oštrim rubovima stvaraju grube i čvrste materijale, dok se glatki i zaobljeni povezuju s mekanim i lakim supstancama.

Demokrit je također vjerovao da se atomi neprestano kreću kroz beskonačni prostor. Kada se sudare, oni se spajaju i nastaju nove supstance. Na ovaj način objašnjavao je promjenjivost prirode, nastajanje i pretvaranje supstanci iz jedne vrste u drugu. Njegova ideja da „ništa ne nastaje ni iz čega i ništa ne nestaje“ začuđujuće je slična savremenom Zakonu o očuvanju energije i mase.

PITANJA I ZADACI

1. Šta je atom i zašto se kaže da je osnovna građevna jedinica hemijskog elementa?
2. Šta je molekula i po čemu se razlikuje od atoma?
3. Navedi primjer molekule sastavljene od istih atoma i primjer molekule sastavljene od različitih atoma. Prisjeti se onoga što si učio na časovima hemije.
4. Šta je Brownovo kretanje?
5. Da li čestice ikada miruju?

ZAPAMTI

- Supstance su izgrađene od veoma sitnih čestica.
- Čestice su u neprestanom kretanju.
- Atom je najmanja čestica hemijskog elementa.
- Molekula je najmanja čestica spoja i nosilac je njegovih fizičkih i hemijskih svojstava.
- Molekule su sastavljene od dva ili više istovrsnih ili različitih atoma.

PROSVETNO DELO

2.2. MEĐUČESTIČNI PROSTOR I MEĐUČESTIČNE SILE

POJMOVI

međučestični prostor | međučestične sile | difuzija | međumolekularni prostor | međumolekularne sile

Svaka supstanca i svako fizičko tijelo, bez obzira na to da li je u čvrstom, tečnom ili gasovitom agregatnom stanju, izgrađeno je od ogromnog broja građevnih čestica, atoma, iona ili molekula koji međusobno djeluju i između kojih postoji prazan prostor. Prazan prostor između čestica naziva se međučestični prostor. Ovaj prostor ima važnu ulogu u većini svojstava supstanci.

AKTIVNOST

1. Simulacija međučestičnog prostora

Stavi u jednu veću čašu nekoliko ping-pong loptica. One simbolizuju raspored čestica jedne supstance – nazvane supstanca A. Zatim u istu čašu dodaj grah čija će zrna simbolizovati čestice supstance B. Na kraju u čašu stavi pijesak koji će simbolizovati čestice treće supstance – supstance C. Šta primjećuješ? Da li su zrna graha prodrla u prostor između loptica? Da li su čestice pijeska popunile prazne prostore između zrna graha?

Iz ove aktivnosti možeš zaključiti da **građevne čestice jedne supstance prodiru između čestica druge**, popunjavajući prazne prostore. Ovaj model pokazuje da i kod supstanci postoje **prazni međučestični prostori** koji se mogu popuniti pri miješanju dvije ili više različitih supstanci.

Slična pojava može se posmatrati kada se spužva natopi vodom. Voda prodire u praznine između vlakana spužve.

AKTIVNOST

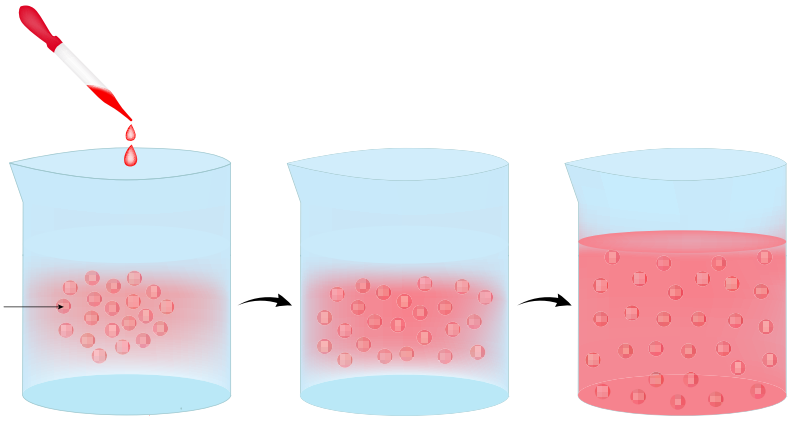
2. Miješanje vode i alkohola

U menzuru stavi 20 mL vode. Zatim dodaj još 20 mL alkohola. Kolika je ukupna zapremina smjese? Menzuru zatvori i protresi tako da se tečnosti u njoj dobro izmiješaju. Ponovo izmjeri zapreminu smjese. Da li je ova zapremina veća, manja ili jednaka početnoj zapremini? Šta možeš zaključiti?

Nakon miješanja dvije tečnosti primjećuje se da je ukupna zapremina manja od 40 mL. Ovo se događa zato što molekule vode prodiru između molekula alkohola, popunjavajući prazne međučestične prostore. Budući da su osnovne građevne čestice vode i alkohola molekule, prostor između molekula nazivamo i **međumolekularni prostor**.

Zapremina smjese smanjila bi se i bez protresanja menzure, ali bi proces trajao duže. Spontano miješanje čestica dvije ili više supstanci naziva se **difuzija**. Difuzija je najbrža kod gasova, a kod čvrstih tijela odvija se najsporije.

PROSVETNO DELO



Slika 1. Difuzija molekula boje u vodi.

Neka fizička svojstva tijela mogu se objasniti čestičnom teorijom. Naprimjer, može se reći da je jedno fizičko tijelo cjelina sastavljena od velikog broja čestica koje međusobno djeluju. Ova međudjelovanja nazivaju se **međučestične sile**. Tijelo ima masu jer svaka čestica ima određenu masu i ima zapreminu jer čestice zauzimaju određeni prostor, a između njih postoji i međučestični prostor.

Fizička svojstva, kao što su oblik, čvrstoća, elastičnost ili sposobnost tečenja, zavise upravo od veličine međučestičnog prostora i veličine, odnosno intenziteta međučestičnih sila.

Gustina jedne supstance je količnik njene mase i zapremine koju ta masa zauzima. Supstance kod kojih su čestice veoma blizu jedna drugoj, odnosno imaju mali međučestični prostor, imaju veliku gustinu. Naprimjer, metali imaju veliku gustinu jer su čestice u njima raspoređene u pravilne strukture. S druge strane, građevne čestice kod gasova veoma su udaljene jedna od druge, što dovodi do veoma male gustine.

Iako su čestice u neprestanom kretanju, tijela se ne raspadaju na pojedinačne čestice. Razlog za to je postojanje međučestičnih sila. Ako je supstanca izgrađena od molekula, sile koje djeluju između njih nazivamo **međumolekularne sile**. One mogu biti privlačne ili odbojne i zahvaljujući njima čvrsta tijela zadržavaju svoj oblik, tečnosti mogu teći, a gasovi se mogu komprimovati (sabijati).

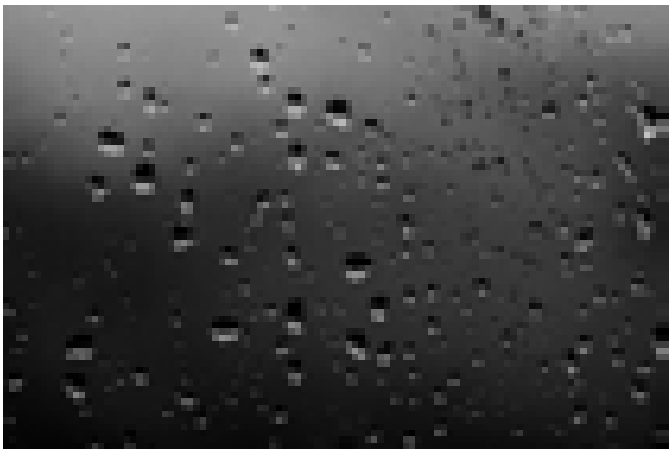
Međumolekularne sile nisu isto što i hemijske veze između atoma u molekulama; one su mnogo slabije, ali dovoljno intenzivne da odrede agregatno stanje supstance. U čvrstim tijelima one su veoma velike, pa čestice mogu samo oscilirati oko svojih ravnotežnih položaja. U tečnostima sile su manje intenzivne nego kod čvrstih tijela, pa se čestice mogu kretati jedna pored druge, što omogućava njihovo tečenje. Kod gasova međumolekularne sile gotovo su zanemarive, pa se čestice slobodno kreću u prostoru.

Drugim riječima, razlike u veličini međumolekularnih sila i veličini međumolekularnog prostora objašnjavaju zašto je led čvrst, voda teče, a vodena para se širi kroz zrak.

Međumolekularne sile djeluju na veoma malim rastojanjima, manjim od 0,000001 cm. Naprimjer, ako slomimo komad krede i pokušamo ponovo sastaviti dijelove, to nam neće uspjeti. Molekule ne možemo približiti na takvo rastojanje na kojem će djelovati privlačne međumolekularne sile.

Kod mekših materijala može se postići takvo približavanje molekula, odnosno sljepljivanje. Na površinu željezne cijevi lako se nanosi boja četkom. Pritom se čestice boje pribli-

PROSVETNO DELO

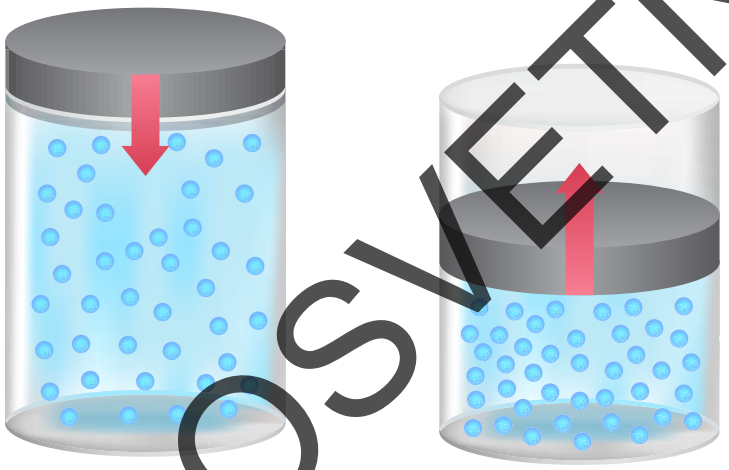


Slika 2. Međumolekularne sile. Pod djelovanjem kohezivnih međumolekularnih sila nastaju kapljice vode. Pod djelovanjem adhezivnih međumolekularnih sila kapljice vode mogu se zalijepiti za površinu stakla.

žavaju na rastojanja na kojima djeluju međumolekularne privlačne sile.

Privlačne međumolekularne sile mogu biti kohezivne i adhezivne sile. Kohezivne sile su međumolekularne sile koje drže zajedno molekule iste supstance. Zbog kohezivnih sila tečnosti formiraju kapljice, a čvrsta tijela zadržavaju svoj oblik. Adhezivne sile su privlačne sile između molekula različitih supstanci. One objašnjavaju zašto se voda „lijepi“ za staklo ili zašto se tinta upija u papir (Slika 2).

Međumolekularne sile nisu samo privlačne – one mogu biti i odbojne kada su molekule previše blizu jedna drugoj. Zbog odbojnih sila čvrsta tijela ne mogu se lako zgnječiti ili, pak, ne možemo mnogo smanjiti zapreminu zraka zatvorenog u posudi s klipom (Slika 3).



Slika 3. Sabijanjem zraka u posudi smanjuje se međumolekularni prostor između molekula zraka i pojavljuju se međumolekularne odbojne sile koje se suprotstavljaju daljnjem sabijanju zraka. Ako se na klip ne djeluje silom vertikalno prema dolje, on će se podići prema gore pod djelovanjem odbojnih međumolekularnih sila.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

3. Proučavanje difuzije gasova pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Difuzija“ (Diffusion) na internetskoj stranici: https://phet.colorado.edu/sims/html/diffusion/latest/diffusion_all.html i u obje zatvorene posude stavi određeni broj čestica jedne i druge supstance.

U simulaciji možeš mijenjati veličinu čestica, njihovu masu, kao i temperaturu supstance. Ukloni prepreku koja razdvaja dvije posude i objasni šta se događa. Kakvo je kretanje čestica? Zapiši kako se mijenja raspodjela čestica u obje posude tokom vremena. Promijeni temperaturu supstance. Da li se difuzija odvija brže u odnosu na vrijeme kada je temperatura bila niža? Kakve sile djeluju između čestica kada se međusobno sudare?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Prirodni mirisi cvijeća šire se zahvaljujući difuziji i slabim molekularnim silama.

ZA 5+

Kada se molekule približavaju ili udaljavaju jedna od druge, mijenja se njihova potencijalna energija. Istraži kako se mijenja potencijalna energija između dvije molekule u zavisnosti od njihovog međusobnog rastojanja i kako to utječe na to hoće li međumolekularna sila biti privlačna ili odbojna.

POZNATI NAUČNIK

Robert Brown (1773–1858)



1827. godine, primijetio je nešto neobično: čestice polena u vodi kretale su se haotično, nepravilno i neprestano, bez postojanja neke vidljive sile koja ih pokreće. On je pažljivo ponavljao svoja posmatranja s različitim materijalima, česticama prašine, sitnim česticama pigmenata, i primijetio da je kretanje uvijek prisutno, nezavisno od vrste čestica. Danas to slučajno i neprestano kretanje nazivamo Brownovo kretanje.

Iako Brown nije mogao objasniti pojavu, njegovo otkriće bilo je izuzetno važno. Zapravo, to je bio prvi jasan eksperimentalni dokaz da su materijali sastavljeni od ogromnog broja nevidljivih čestica koje su u neprestanom kretanju. Kasnije su Albert Einstein i Jean Baptiste Perrin teorijski opisali ovo kretanje i matematički pokazali da je haotično kretanje čestica posljedica sudara molekula tečnosti, čime je konačno potvrđeno da je supstanca izgrađena od čestica.

PITANJA I ZADACI

1. Šta je difuzija?
2. Navedi jedan primjer iz svakodnevnog života u kojem se primjećuje difuzija.
3. Zašto je difuzija važna za žive organizme?
4. U dvije čaše od po 200 ml stavljamo vodu i ulje. Masa ulja je manja. Šta možeš reći o gustini i čestičnoj strukturi ove dvije supstance?
5. Zašto se plastična boca napunjena zrakom može stisnuti, a plastična boca napunjena vodom gotovo nikako ne može?

ZAPAMTI

- Između čestica svake supstance postoji međučestični prostor i djeluju međučestične sile.
- Difuzija je dokaz da se čestice kreću i da između njih postoji prazan prostor.
- Gustina supstance zavisi od veličine međučestičnog prostora.
- Međumolekularne sile određuju agregatno stanje i fizička svojstva supstance.

PROSVETNO DELO

2.3. AGREGATNO STANJE SUPSTANCE

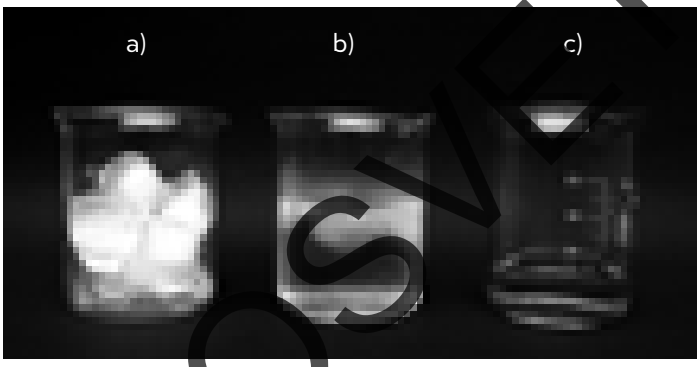
POJMOVI

agregatno stanje | čvrsto tijelo | tečnost | gas | kristalno tijelo | amorfno tijelo

Agregatno stanje supstance je oblik u kojem supstanca postoji pri određenoj temperaturi i pritisku. Od agregatnog stanja zavisi i način na koji su čestice (atomi, molekule ili ioni) raspoređene u supstanci i kako se kreću. Postoje tri agregatna stanja u kojima se supstance mogu nalaziti: **čvrsto, tečno** i **gasovito**. U različitim agregatnim stanjima čestice imaju različita međučestična rastojanja, djeluju različite međučestične sile i sloboda kretanja čestica je različita. Zbog toga se oblik, zapremina i fizička svojstva supstance razlikuju u različitim agregatnim stanjima.

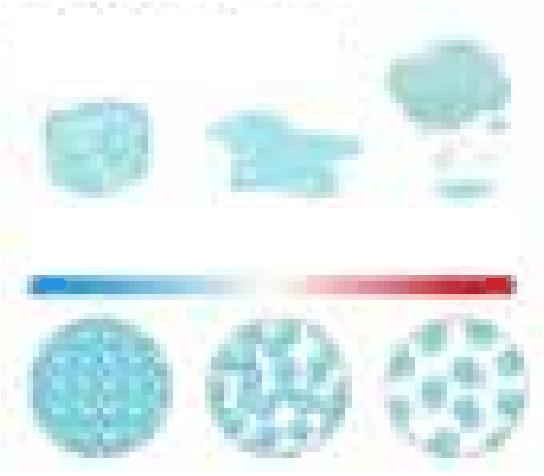
Voda, kada je zamrznuta, nalazi se u čvrstom agregatnom stanju, kada je na sobnoj temperaturi, nalazi se u tečnom agregatnom stanju, a kada voda ispari, kažemo da je prešla u gasovito agregatno stanje. Voda u čvrstom agregatnom stanju ima stalnu zapreminu i oblik i ne može se lako deformisati ili teći. U tečnom agregatnom stanju voda teče i nema stalan oblik, nego poprima oblik posude u kojoj se nalazi. Kada je voda u gasovitom agregatnom stanju ili u obliku vodene pare, nema stalnu zapreminu i ispunjava cjelokupan raspoloživi prostor.

Iako ista supstanca izgleda veoma različito u svakom od tri agregatna stanja, dio njenih



Slika 1. Voda u a) čvrstom, b) tečnom i c) gasovitom agregatnom stanju (led, tečna voda, vodena para). Topljenjem leda voda prelazi u tečno agregatno stanje. Dio molekula iz tečnosti, koje su blizu površine, isparavanjem prelazi u okolni zrak.

fizičkih svojstava može se objasniti na osnovu njene čestične građe. Prema ovoj teoriji materija je izgrađena od malih čestica (građevnih jedinica) koje se nalaze u stanju neprestanog kretanja. Čestice međusobno djeluju privlačnim međučestičnim silama kada se nalaze na malim međusobnim rastojanjima, ali te sile se smanjuju s povećanjem međučestičnog prostora. Ako čestice približimo na veoma mala međusobna rastojanja, tada se pojavljuju odbojne sile.



Slika 2. Raspored molekula vode u čvrstom, tečnom i gasovitom agregatnom stanju.

PROSVETNO DELO

Čvrsta tijela, tečnosti i gasovi

Kod **čvrstih tijela** čestice su raspoređene veoma blizu jedna drugoj i organizovane su u pravilan prostorni raspored. One se ne mogu slobodno kretati, nego samo osciliraju oko svojih ravnotežnih položaja. Međučestični prostor je mali, a međumolekularne sile koje djeluju između čestica su velike. Zato se čvrsta tijela teško deformišu (izdužuju ili sabijaju) i zadržavaju svoj oblik i zapreminu nepromijenjenim.

Kod **tečnosti,** čestice (najčešće molekule) također su blizu jedna drugoj, ali nemaju pravilan prostorni raspored kakav imaju čestice kod čvrstih tijela. Međumolekularni prostor je mali, ali je ipak veći nego kod čvrstih tijela. Međumolekularne sile su dovoljno jake da čestice ostanu blizu jedna drugoj, ali nedovoljno jake da ih zadrže u pravilnom rasporedu kao kod čvrstih tijela. Zato tečnosti imaju stalnu zapreminu, ali mijenjaju oblik, poprimajući oblik posude u kojoj se nalaze.

Molekule kod tečnosti mogu se kretati u grupama od nekoliko molekula i kliziti jedna pored druge. Svaka molekula ili grupa molekula pri kretanju u jednom smjeru djeluje na druge molekule kojima prenosi dio energije, zbog čega se i one počinju kretati u istom smjeru.

Kod **gasova** čestice (najčešće molekule) udaljene su na mnogo većim rastojanjima u poređenju s rastojanjima između čestica kod čvrstih tijela i tečnosti. Međumolekularni prostor je mnogo veći u poređenju s veličinom samih molekula, a međumolekularne sile su zanemarivo male. Može se reći da međumolekularne sile djeluju samo pri sudaru, mijenjajući pravac, smjer njihovog kretanja i brzinu kojom se molekule kreću.

Zato se čestice u gasovima slobodno kreću u svim smjerovima i velikom brzinom. Gasovi nemaju stalnu zapreminu i ispunjavaju sav prostor (zapreminu) koji im je dostupan. Veliki međučestični prostor kod gasova omogućava njihovo komprimovanje, odnosno smanjenje njihove zapremine. Raspored molekula vode u tri agregatna stanja dat je na Slici 2.

Unutrašnja struktura čvrstih supstanci

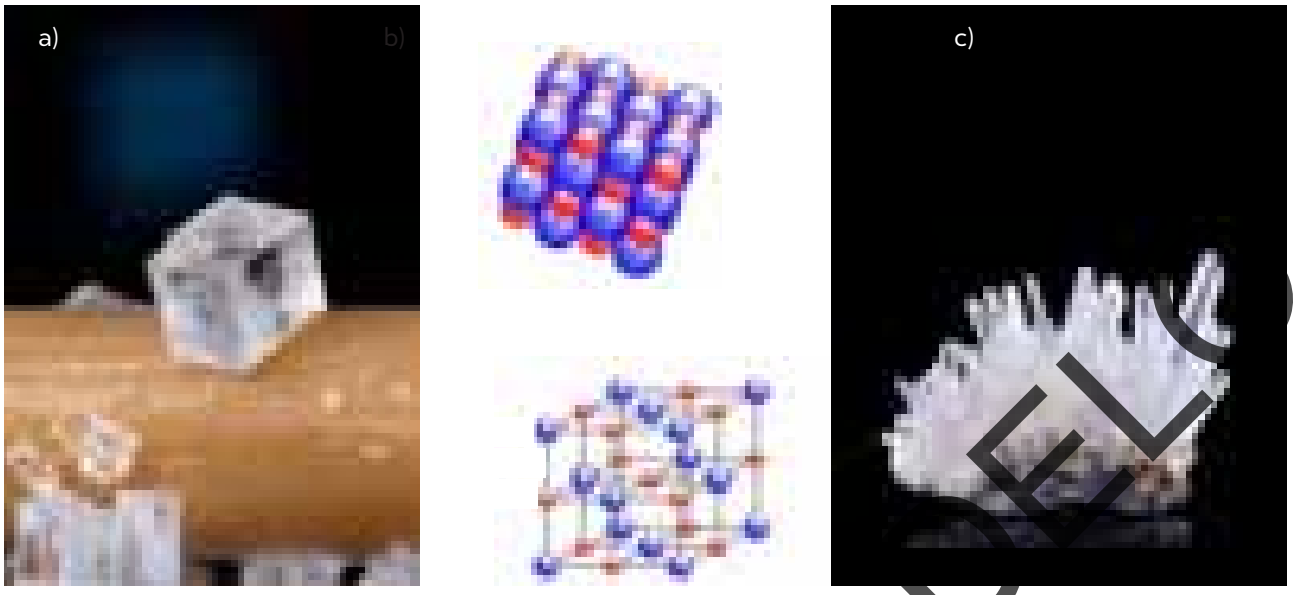
U zavisnosti od rasporeda čestica, čvrste supstance možemo podijeliti u dvije velike grupe: kristalne i amorfne.

Kod čvrstih supstanci koje imaju **kristalnu strukturu**, čestice su raspoređene u pravilan i periodičan prostorni raspored. Ova pravilna struktura, nazvana **kristalna rešetka**, ponavlja se u svim pravcima tijela ili supstance. Zato ove supstance imaju oštre rubove, ravne površine i često pravilne geometrijske oblike.

Ako posmatramo zrnce soli, primijetit ćemo da ono ima gotovo pravilan geometrijski oblik kvadra. Ovaj oblik potječe od pravilnog rasporeda građevnih jedinica natrija i hlora u kristalnoj rešetki soli. Bez obzira na to koliko je zrnce soli malo ili veliko, ioni natrija i hlora raspoređeni su naizmjenično, kao što je shematski prikazano na Slici 3a.

Kristalnu strukturu imaju i svi metali, šećer, kvarc i dijamant. Od kristalne strukture supstance zavise njena fizička svojstva, kao što su tačno određena temperatura topljenja, tvrdoća, specifični toplotni kapacitet, indeks prelamanja (za prozirne supstance) i drugo.

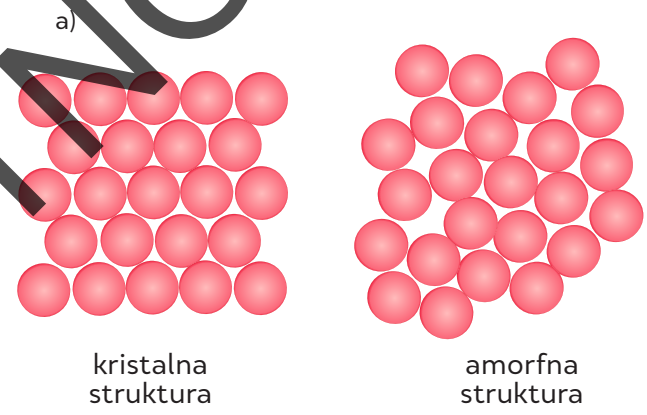
PROSVETNO DELO



Slika 3. a) Zrnce soli posmatrano mikroskopom.
b) Pravilan raspored iona natrija i hlora u kristalnoj rešetki soli. c) Kristali kvarca.

Amorfna tijela nemaju ovakav pravilan raspored čestica. Građevne čestice kod amorfnih tijela samo u malom dijelu prostora imaju pravilan raspored, ali ne svuda. Također, ne postoji periodična uređenost čestica. Na Slici 4a dat je primjer rasporeda čestica kod kristalnog i amorfnog tijela.

Amorfna tijela, iako su čvrsta, istovremeno se mogu ponašati i kao čvrsta tijela i kao tečnosti. Grafit, smola, plastika, vosak i asfalt primjeri su amorfnih tijela. Ona nemaju tačno određenu temperaturu topljenja; umjesto toga, postepeno omekšavaju pri zagrijavanju. Ako se komad smole razbije na sitne komade i ostavi u posudi, nakon nekoliko mjeseci komadi će se zalijepiti i poprimiti oblik posude, što je svojstvo tečnosti. Amorfna tijela mogu i veoma sporo teći, što je još jedno svojstvo slično svojstvima tečnosti.



Slika 4. a) Poređenje rasporeda čestica kod tijela s kristalnom strukturom i kod tijela s amorfnom strukturom. b) Smola je u čvrstom agregatnom stanju, ali budući da ima amorfnu strukturu, može sporo teći.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Kristalne i amorfne supstance

Uzmi nekoliko materijala koje svakodnevno koristiš: so ili šećer, plastičnu kašiku ili kredu. Stavi ih na sto i pokušaj od svakog materijala odlomiti manji komad. Potrudi se opisati njihov oblik: da li imaju oštre rubove, ravne strane i liče li na pravilne geometrijske strukture.

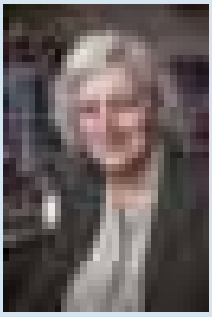
Pogledaj zrnce soli ili šećera lupom ili mikroskopom i primijetit ćeš oštre granice između ravnih površina. Uporedi ova zrnca s komadom plastike. Da li i komad plastike ima oštre rubove ili ravne strane? Pokušaj formulisati vlastito pravilo: kako ćeš prepoznati kristalno, a kako amorfno tijelo samo na osnovu izgleda malih komada tog tijela?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Voda u oblacima može istovremeno postojati kao led, tečne kapljice i vodena para.

POZNATA NAUČNICA

Dorothy Crowfoot Hodgkin (1910–1994)



Dorothy Hodgkin bila je britanska hemičarka koja je usavršila tehniku ispitivanja kristalne strukture materijala rendgenskim zracima (zracima veoma velike energije) i prva odredila atomske strukture nekoliko značajnih biomolekula. Ona je odredila strukturu holesterola, penicilina i, najpoznatije, vitamina B12.

Njen rad podstakao je veliki razvoj hemije i medicine. Za svoja otkrića dobila je Nobelovu nagradu za hemiju 1964. godine i smatra se jednom od najvažnijih naučnica u 20. stoljeću.

PITANJA I ZADACI

1. Zašto led ima stalan oblik, a voda poprima oblik posude?
2. Kako se mijenja kretanje čestica kada tijelo prelazi iz čvrstog u tečno stanje?
3. Objasni zašto se gasovi komprimuju mnogo lakše nego tečnosti.
4. Navedi primjer iz svakodnevnog života koji dokazuje postojanje međučestičnog prostora kod gasova.
5. Zašto je svijeća amorfno tijelo, a so kristalno tijelo?

ZAPAMTI

- Agregatno stanje supstance zavisi od rasporeda, kretanja i međudjelovanja čestica.
- Agregatno stanje supstance posljedica je veličine međučestičnog prostora i jačine međučestičnih sila.
- U čvrstim tijelima čestice su na malim međusobnim rastojanjima i osciliraju oko svojih ravnotežnih položaja.
- U tečnostima čestice osciliraju i mogu se kretati jedna pored druge.
- Kod gasova čestice su na velikim međusobnim rastojanjima i slobodno se kreću u svim pravcima i smjerovima.
- Prema unutrašnjoj strukturi čvrsta tijela dijele se na kristalna i amorfna.

PROSVETNO DELO

2.4. TEMPERATURA. TEMPERATURNE SKALE

POJMOVI

temperatura (t) | Celzijusova temperaturna skala | Celzijusovi stepeni (°C) | Kelvinova temperaturna skala | termometar | kelvin (K) | apsolutna nula (T_0) | apsolutna temperatura

Svakodnevno, bez mnogo razmišljanja, kažemo da je voda topla, zrak vani hladan ili da se tijelo „zagrijava“. Ali šta znači da je jedno tijelo više ili manje zagrijano? Da li su, ako dodirnemo drvenu i metalnu kašičicu koje su postavljene na istom stolu, jednako zagrijane ili osjećate da je drvena kašičica toplija od metalne?

Da bismo mogli objektivno procijeniti zagrijanost nekog tijela, u fizici je uvedena fizička veličina temperatura. Temperatura je mjera stepena zagrijanosti tijela ili supstanci. Ona je jedna od sedam osnovnih fizičkih veličina u Međunarodnom sistemu jedinica (SI).

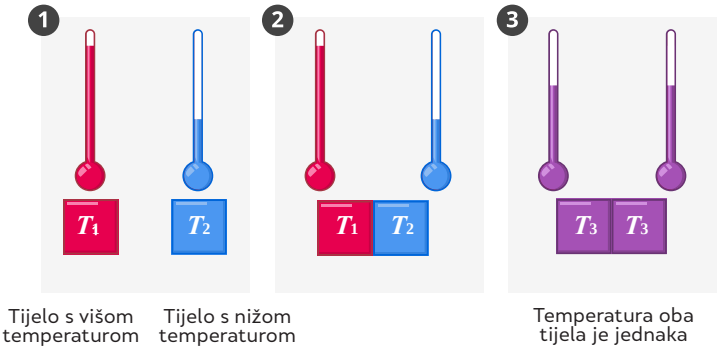
Na pitanje za šta je temperatura tijela mjera možemo odgovoriti koristeći čestičnu teoriju. Čestice u svakom tijelu (atomi, ioni i molekule) nalaze se u neprestanom kretanju. Kod čvrstih tijela čestice osciliraju oko ravnotežnih položaja, dok se kod tečnosti i gasova čestice mogu kretati i translatorno.

Čestice u bilo kojem od tri agregatna stanja imaju kinetičku energiju koja može biti različita za svaku česticu. Budući da ne možemo izmjeriti brzinu (a time ni izračunati kinetičku energiju) svake čestice, možemo smatrati da se sve čestice kreću nekom srednjom brzinom i da imaju srednju kinetičku energiju.

Zagrijavanjem tijela povećavamo srednju kinetičku energiju čestica i obrnuto – njegovim hlađenjem srednja kinetička energija čestica se smanjuje.

Imajući ovo u vidu, možemo reći da je temperatura mjera srednje kinetičke energije građevnih čestica. Zagrijavanjem se povećava srednja kinetička energija čestica, a time i temperatura tijela, dok se hlađenjem smanjuje srednja kinetička energija čestica, a time se smanjuje i temperatura tijela.

Ako se zagrijano tijelo postavi u dodir s hladnijim tijelom, dolazi do hlađenja prvog tijela i zagrijavanja drugog. Nakon izvjesnog vremena oba tijela imat će istu temperaturu.



Slika 1. Prenošenje toplotne energije s tijela više temperature na tijelo niže temperature.

Temperaturne skale

Da bismo izmjerili temperaturu, potrebna nam je temperaturna skala kojom će se izmjeriti stepen zagrijanosti tijela. U nauci i svakodnevnom životu najčešće se koriste dvije temperaturne skale: **Celzijusova temperaturna skala** i **Kelvinova temperaturna skala**.

PROSVETNO DELO

Celzijusova temperaturna skala, koju je stvorio švedski naučnik Anders Celsius, zasniva se na karakterističnim tačkama vode: temperaturi smrzavanja i temperaturi ključanja vode. Celsius je ovaj interval podijelio na 100 dijelova, pri čemu je dobijena mjerna jedinica od jednog **Celzijusovog stepena**.

Tako je prema Celzijusovoj skali temperatura smrzavanja vode (ili topljenja leda) 0 °C, a temperatura ključanja vode 100 °C, izmjerene pri normalnom atmosferskom pritisku. Temperatura niža od 0 °C ima negativnu brojčanu vrijednost. Naprimjer, standardna temperatura za zamrzivač je -18 °C. Sve temperature koje mjerimo u svakodnevnom životu, meteorološka prognoza temperature zraka i mnoga naučna mjerenja temperatura dati su u ovoj skali. Kada označavamo temperaturu izmjerenu u Celzijusovim stepenima, tada koristimo oznaku t.

U nauci, posebno u fizici, potrebna je skala koja je direktno povezana s energijom čestica. Takva skala je **Kelvinova temperaturna skala**. Ona ne počinje od proizvoljne tačke, nego od temperature na kojoj bi čestice imale najmanju moguću energiju. To je temperatura na kojoj će kretanje čestica prestati. Ova temperatura naziva se **apsolutna nula** (označavamo je sa T_0) i ima vrijednost -273,15 °C. U Kelvinovoj skali ta temperatura definisana je kao nula kelvina (0 K). Kada temperaturu izražavamo u kelvinima, tada smo izmjerili apsolutnu temperaturu tijela i koristimo oznaku T. Zbog toga je i osnovna mjerna jedinica u Međunarodnom sistemu jedinica kelvin (K).

Pretvaranje temperature iz jedne temperaturne skale u drugu vrši se prema sljedećoj formuli:

$$T(\mathrm{K}) = t(^{\circ}\mathrm{C}) + 273{,}15\,.$$

Koristeći gornju formulu, možemo izračunati da je temperatura smrzavanja vode 273,15 K, a temperatura ključanja vode iznosi 373,15 K.

Iz posljednjeg možemo zaključiti da je **promjena temperature** ista, nezavisno od toga da li ćemo je izraziti u Celzijusovim stepenima ili kelvinima. Ako smo zagrijali vodu od temperature smrzavanja do temperature ključanja, promijenili smo joj temperaturu za 100 °C, odnosno za 100 K.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER

Da li je temperatura od 15 °C viša ili niža od 290,15 K?

Dato:	Da bismo uporedili temperature, možemo ili t_1 izraziti u kelvinima ili, pak, T_2 izraziti u Celzijusovim stepenima. Ispod su izvršena oba pretvaranja:
$t_1 = 15\ ^{\circ}\mathrm{C}$ $T_2 = 290{,}15\,\mathrm{K}$	$T_1(\mathrm{K}) = t_1(^{\circ}\mathrm{C}) + 273{,}15 = 288{,}15\,\mathrm{K}$, $t_2(^{\circ}\mathrm{C}) = T_2(\mathrm{K}) - 273{,}15 = 17\ ^{\circ}\mathrm{C}$.
Traži se da li:	Možemo zaključiti da je $t_1 < t_2$ odnosno: $T_1 < T_2$.
$t_1 > T_2$	

Termometri

Mjerni uređaji kojima mjerimo temperaturu nazivaju se termometri. Pri konstrukciji svakog termometra (Slika 2a) iskorišteno je neko svojstvo materijala koje zavisi od temperature.

Kod živinog i alkoholnog termometra iskorišteno je svojstvo tečnosti da povećavaju svoju zapreminu s povećanjem temperature. Tečnost je smještena u usku staklenu ili plastičnu posudu koja na dnu ima rezervoar. Kada se tečnost u rezervoaru zagrijava, ona se širi i podiže kroz cjevčicu. Pored cjevčice postavljena je graduirana skala na kojoj svaki podjeljak odgovara određenoj temperaturi.

Očitavanjem visine stuba tečnosti na graduiranoj skali mjerimo temperaturu. Danas se sve manje koriste živini termometri jer su živina isparenja koja se oslobađaju pri razbijanju termometra štetna za zdravlje čovjeka.

S druge strane, alkoholni termometri ne mogu se koristiti za mjerenje visoke temperature jer alkohol isparava na 80 °C. Najčešće se koriste digitalni termometri kod kojih se temperatura očitava na ekranu (Slika 2b), a u sastavu digitalnog termometra nalazi se supstanca ili tijelo čija se električna svojstva mijenjaju s promjenom temperature.

a) b)



Slika 2. a) Izgled termometra s tečnošću. Tečnost može biti alkohol ili živa.
b) Digitalni termometar s metalnom sondom.

AKTIVNOSTI

1. Proučavanje zavisnosti srednje kinetičke energije čestica od temperature kod gasova pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Difuzija“ (Diffusion) na internetskoj stranici: ttps://phet.colorado.edu/sims/html/diffusion/latest/diffusion_all.html, gdje se u obje zatvorene posude nalazi određeni broj čestica jedne i druge supstance.

Neka temperatura u prvoj posudi bude veoma visoka, a u drugoj posudi smanji je koliko simulacija dozvoljava. Kako se promijenila srednja brzina kojom se kreću čestice u prvoj i drugoj posudi? Kakav zaključak možeš izvesti o vezi između srednje kinetičke energije čestica i temperature?

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

Lord Kelvin (William Thomson, 1824–1907)



Lord Kelvin bio je jedan od najznačajnijih fizičara 19. stoljeća. Njegov najveći doprinos povezan je s razumijevanjem toplote kao oblika energije i definisanjem pojma apsolutne nule, odnosno najniže moguće temperature pri kojoj je kinetička energija čestica jednaka nuli. Kelvin je prvi shvatio potrebu za temperaturnom skalom koja se neće zasnivati na svojstvima neke određene supstance (kao kod Celzijusove skale), nego na fundamentalnim zakonima prirode. Tako je predložio apsolutnu temperaturnu skalu, koja počinje od 0 K i nezavisna je od bilo kakvih fizičkih promjena supstance.

Njegov rad postavio je temelje modernog shvatanja toplote, energije i unutrašnjih procesa u materiji.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Najniža temperatura dobijena u laboratoriji iznosi 38 pK, odnosno 0,000000000038 K.

ZA 5+

Fahrenheitova skala je jedna od tri najčešće korištene temperaturne skale u svijetu (zajedno s Celzijusovom i Kelvinovom). Predložio ju je njemački fizičar Daniel Gabriel Fahrenheit 1724. godine.

Na ovoj skali tačka smrzavanja vode određena je na 32 °F, a tačka ključanja vode na 212 °F pri normalnom atmosferskom pritisku. To znači da između dvije tačke ima 180 stepeni, što je čini gušće podijeljenom od Celzijusove temperaturne skale. Za pretvaranje temperature iz Celzijusovih stepeni (°C) u Fahrenheitove stepene (°F) koristi se formula:

$$T_{\mathrm{F}}(\mathrm{F}) = \frac{9}{5} \cdot t(^{\circ}\mathrm{C}) + 32\,.$$

U nekim zemljama Fahrenheitova skala koristi se češće od Celzijusove skale.

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja temperatura?
2. Zašto se apsolutna nula smatra najnižom mogućom temperaturom?
3. Termometar pokazuje -5 °C. Kolika je temperatura tijela izražena u kelvinima?
4. Ako jedan naučni eksperiment zahtijeva da temperatura u laboratoriji bude 250 K, izračunaj kolika treba biti temperatura u laboratoriji izražena u °C?
5. Na planini je temperatura -5 °C, a u dolini 12 °C. Kolika je razlika u temperaturi u °C i K? Šta primjećuješ iz proračuna?

ZAPAMTI

- Temperatura je mjera srednje kinetičke energije čestica u supstanci.
- Termometar je uređaj kojim se mjeri temperatura.
- Temperaturu izražavamo u Celzijusovim stepenima ili kelvinima.
- Temperatura je jedna od sedam osnovnih veličina u Međunarodnom sistemu jedinica.

PROSVETNO DELO

2.5. TOPLOTNO ŠIRENJE ČVRSTIH TIJELA

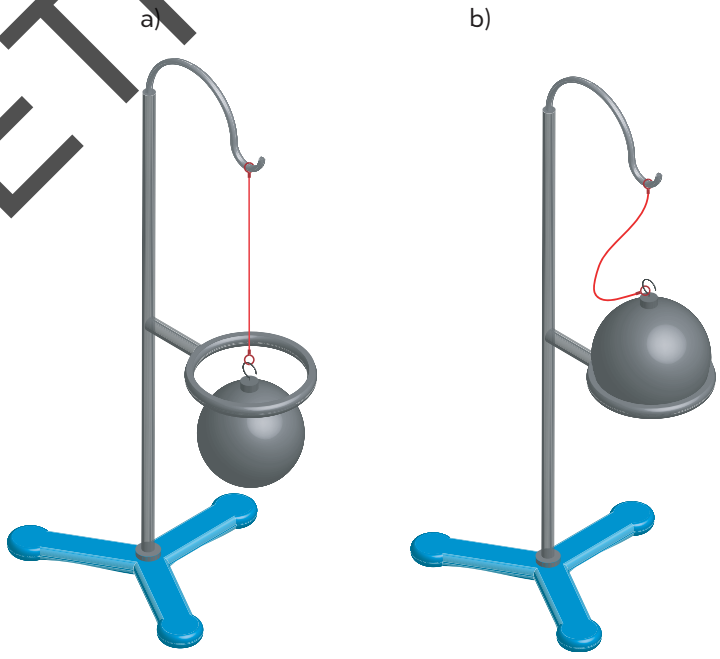
POJMOVI

toplotno širenje

Najveći dio čvrstih tijela pri zagrijavanju se širi, odnosno njihova zapremina se povećava, a pri hlađenju se skupljaju, odnosno njihova zapremina se smanjuje. Iako su kod čvrstih tijela čestice raspoređene veoma blizu jedna drugoj i njihovo kretanje je ograničeno, ipak se udaljavaju jedna od druge pri povećanju temperature zbog povećanja njihove srednje kinetičke energije. Ovo udaljavanje dovodi do povećanja zapremine tijela. Proces povećanja zapremine tijela pri povećanju njegove temperature naziva se **toplotno širenje**.

Toplotno širenje može izazvati promjenu zapremine kod tijela ili promjenu dužine kod „izduženih" predmeta, odnosno predmeta kod kojih je jedna dimenzija mnogo veća od druge dvije. Kada se tijelo zagrijava, njegova zapremina se povećava, a pri hlađenju se smanjuje. Kod predmeta kao što su žice, cijevi ili šipke, zagrijavanjem se povećava njihova dužina, a pri hlađenju se smanjuje. Iako ove promjene nisu veoma velike, one su važne i moraju se uzeti u obzir pri mnogim inženjerskim konstrukcijama. U nekim slučajevima zbog toplotnog širenja ili skupljanja može doći do lomljenja ili kidanja materijala.

Zapreminsko širenje tijela može se demonstrirati metalnom kuglicom i metalnim prstenom, pri čemu je prečnik kuglice malo manji od prečnika prstena, kao što je prikazano na Slici 1. Kada kuglica nije zagrijana, lako prolazi kroz metalni prsten, ali ako je zagrijemo pomoću špiritusne lampe ili plamenika, tada neće proći kroz otvor. Zagrijavanjem su građevne čestice kuglice dobile energiju, povećale svoju brzinu, a time se povećao i međučestični prostor, što rezultira povećanjem zapremine kuglice. Ako kuglicu ostavimo da se ohladi, ona će ponovo moći slobodno prolaziti kroz metalni prsten.



Slika 1. Kuglica prolazi kroz prsten kada je na sobnoj temperaturi (a), ali ne i kada se zagrije (b).

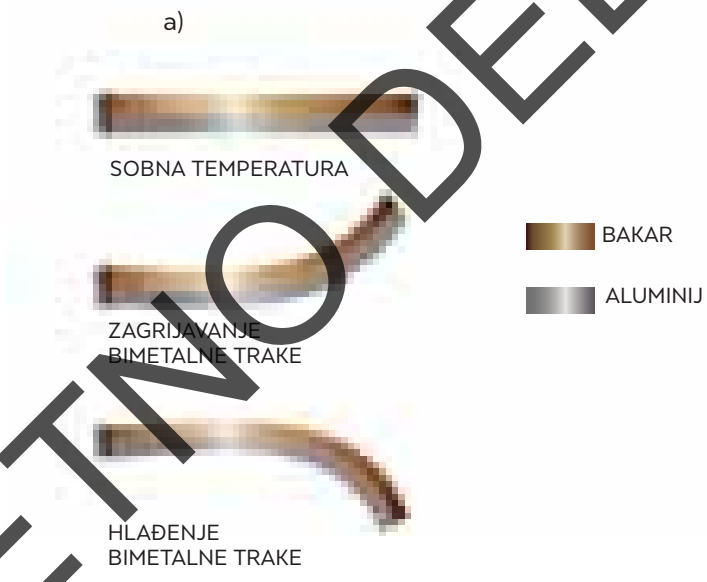
Promjena zapremine čvrstog tijela povezana je i s njegovom gustinom. Gustina tijela predstavlja količnik mase i zapremine tijela. Pri zagrijavanju tijela povećava se njegova zapremina, a smanjuje njegova

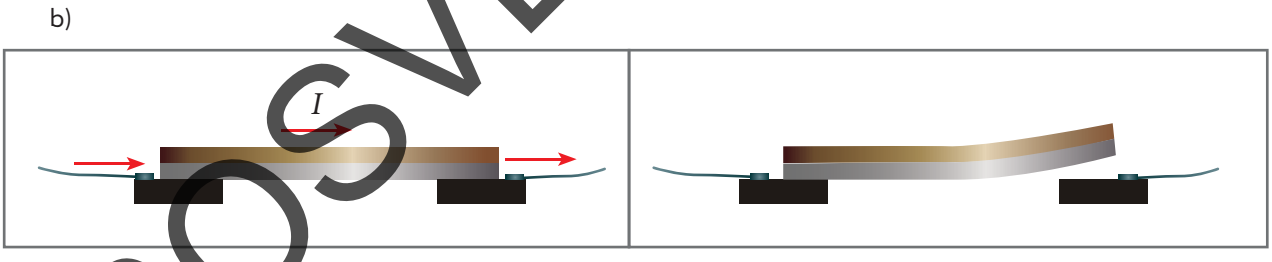
PROSVETNO DELO

gustina i obrnuto, smanjenjem temperature smanjuje se zapremina tijela, a time se povećava njegova gustina.

Širenje čvrstih tijela pri zagrijavanju nalazi primjenu u tehnici. Širenje metala pri zagrijavanju i njihovo skupljanje pri hlađenju iskorišteno je kod bimetalne trake. Bimetalna traka sastoji se od dvije metalne šipke koje su čvrsto spojene cijelom svojom dužinom. Na Slici 2 prikazana je bimetalna traka sastavljena od aluminija i bakra koji se različito izdužuju pri povećanju temperature. Pri sobnoj temperaturi traka je prava. Kada se temperatura poveća, budući da se aluminij izdužuje više od bakra, traka se savija prema gore. Ako se temperatura smanjuje, aluminij se skuplja više od bakra, pa se traka savija prema dolje.

Bimetalna traka koristi se kao prekidač u strujnom kolu (Slika 2), u termostatima (uređajima za automatsko regulisanje temperature), kod grijaćih tijela, kao što su grijalica, električna pećnica ili bojler. Kada se postigne određena temperatura, bimetalna traka se savija i prekida strujno kolo. Kada se temperatura smanji, bimetalna traka vraća se u prvobitni položaj i ponovo zatvara kolo.



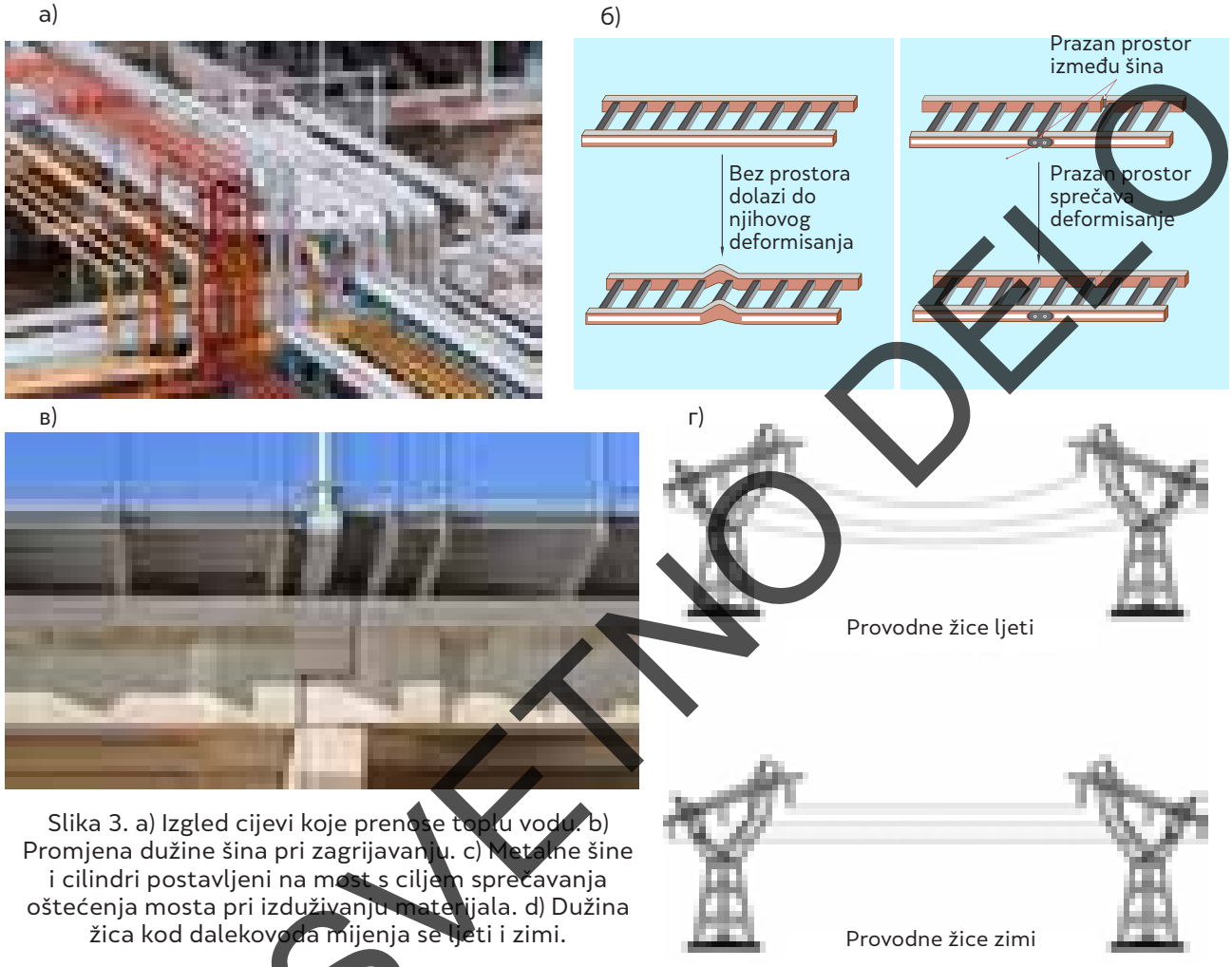


Slika 2. a) Bimetalna traka od aluminija i bakra. b) Prekidač od bimetalne trake.

Promjena dimenzija kod čvrstih tijela pri promjeni temperature može imati i štetne posljedice. Čovjek koristi različite načine kako bi smanjio negativne posljedice koje proizlaze iz promjene zapremine tijela. Cijevi koje služe za provođenje tople vode ili pare na pojedinim mjestima su savijene (Slika 3a). Na taj način omogućava se slobodno izduživanje dugih dijelova cijevi, bez njenog oštećenja.Ljeti, pri visokim temperaturama, metalne šine se šire i mogu se iskriviti. Zato inženjeri ostavljaju male praznine između njih, kako bi bilo prostora za širenje (Slika 3b). Metalne šine i cilindri (Slika 3c) dio su sistema koji omogućava mostu da se širi i skuplja bez oštećenja. Ako ne postoji prostor za to kretanje, može doći do pukoti-

PROSVETNO DELO

na, naprezanja ili kidanja konstrukcije. Ljeti su provodne žice između dalekovoda za prenos električne energije labavije jer se metal širi. Zimi, kada je hladno, one se zatežu jer se metal skuplja (Slika 3d).



Slika 3. a) Izgled cijevi koje prenose toplu vodu. b) Promjena dužine šina pri zagrijavanju. c) Metalne šine i cilindri postavljeni na most s ciljem sprečavanja oštećenja mosta pri izduživanju materijala. d) Dužina žica kod dalekovoda mijenja se ljeti i zimi.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Posmatranje toplotnog širenja kod metalne žice

Zategni metalnu žicu između dva stativa i na sredinu postavi teg mase 500 g. Izmjeri visinu na kojoj se nalazi donji dio tega u odnosu na površinu stola. Žicu zagrijavaj fenom ili svijećom (pažljivo i pod nadzorom nastavnika) cijelom njenom dužinom kako se ne bi pregrijala na jednom mjestu. Pažljivo isključi fen ili ugasi svijeću i ponovo izmjeri visinu na kojoj se nalazi donji rub tega u odnosu na površinu stola. Šta primjećuješ? Da li je teg na manjoj visini u odnosu na sto? Ostavi žicu da se ohladi i ponovo izmjeri visinu na kojoj se teg nalazi. Da li je ta visina različita od početne visine? Kakav zaključak možeš izvesti?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Ajfelov toranj u ljetnom periodu približno je 15 cm viši u odnosu na visinu koju ima u zimskom periodu.

POZNATI NAUČNIK

Jean Peltier (1785–1845)



Peltier je dao značajan doprinos ranom proučavanju toplotnih procesa u metalima. Njegova sistematska ispitivanja zagrijavanja, hlađenja i toplotnih deformacija kod metalnih spojeva postavila su temelje za razvoj Teorije prenosa toplote u čvrstim tijelima. Ova istraživanja kasnije su se pokazala ključnim za objašnjenje pojava kao što su toplotno širenje, promjena električnog otpora s promjenom temperature i ponašanje materijala pri velikim promjenama temperature.

ZA 5+

Ako tijelo ima dužinu koja je mnogo veća od preostale dvije dimenzije, tada možemo tačno odrediti njegovu dužinu l, ako znamo dužinu tijela l_0 na 0 °C i temperaturu t na koju se tijelo zagrijava (izraženu u °C), prema formuli:

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot t).$$

Sa α označen je koeficijent linearnog širenja koji je različit za različite supstance. Koeficijent linearnog širenja bakra iznosi $1,65 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$, dok za aluminij iznosi $2,3 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$. Iz posljednjih podataka može se jasno primijetiti zašto se aluminij izdužuje više od bakra pri zagrijavanju oba metala na istu temperaturu.

PITANJA I ZADACI

1. Zašto se gustina metalne kuglice smanjuje kada se ona zagrijava?
2. Šta se događa s česticama u bimetalnoj traci kada temperatura raste?
3. Da li se sva čvrsta tijela šire jednako?
4. Metalna šipka dužine 1 m zagrijava se i izdužuje za 1,2 mm. Kolika je njena dužina nakon zagrijavanja?
5. Aluminijska šipka dužine 2 m zagrijava se, pa se izdužila za 0,5 % svoje dužine. Koliko se šipka izdužila?

ZAPAMTI

- Toplotno širenje posljedica je povećane kinetičke energije čestica pri zagrijavanju i promjene veličine međučestičnog prostora.
- Čvrsta tijela mijenjaju svoju dužinu i zapreminu s promjenom temperature.
- Pri zagrijavanju čvrstih tijela zapremina se povećava, a gustina smanjuje; pri hlađenju zapremina se smanjuje, a gustina povećava.
- Bimetalna traka se savija zbog različitog toplotnog izduživanja metala.
- Termostati koriste bimetalnu traku koja služi kao prekidač za automatsko regulisanje temperature.

PROSVETNO DELO

2.6. TOPLOTNO ŠIRENJE TEČNOSTI. ANOMALIJA VODE

POJMOVI

anomalija vode

Kao i čvrste supstance, tako i tečnosti mijenjaju svoju zapreminu ukoliko se zagrijavaju ili hlade. Jednostavnim eksperimentom može se demonstrirati širenje tečnosti pri povećanju njihove temperature. U dvije tikvice stavljene su jednake količine vode i alkohola, obojene s nekoliko kapi boje kako bi se jasno razlikovale. Tikvice su zatvorene čepovima kroz koje je provučena tanka staklena cjevčica i postavljene su u posudu sa zagrijanom vodom, kao što je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Tikvica s alkoholom obojenim plavo i tikvica s vodom obojenom crveno postavljene u posudu sa zagrijanom vodom.

Nakon kratkog vremena primjećuje se da se u obje cjevčice nivo tečnosti počinje podizati. To znači da se pri zagrijavanju njihova zapremina povećava, odnosno da se povećanjem temperature tečnost širi. Ova pojava može se objasniti čestičnom teorijom. Zagrijavanjem tečnosti u tikvicama molekule vode i alkohola dobijaju veću kinetičku energiju. Kao rezultat povećane kinetičke energije, one se kreću većom brzinom i međusobnim sudaranjem povećavaju međumolekularni prostor. Povećanje međumolekularnog prostora posmatramo kao povećanje zapremine tečnosti koje se zagrijavaju.

Ali da li se sve tečnosti šire jednako? Ako pažljivo uporediš dvije tikvice, primijetit ćeš da se zapremina alkohola pri zagrijavanju na istu temperaturu povećala više nego zapremina vode. Drugi zaključak koji možemo izvesti iz ovog eksperimenta jeste da različite tečnosti imaju različitu sposobnost toplotnog širenja. Ako se tikvice ostave duže vrijeme, temperatura vode u širokoj posudi će se smanjivati, a time i zapremina vode i alkohola u tikvicama. Možemo zaključiti da se tečnosti šire pri zagrijavanju i skupljaju pri hlađenju, ali ne povećavaju sve tečnosti jednako svoju zapreminu pri zagrijavanju niti je jednako smanjuju pri hlađenju. Širenje tečnosti pri zagrijavanju iskorišteno je kod termometara s tečnošću.

Kao i kod čvrstih tijela, tako se i pri zagrijavanju tečnosti njihova zapremina povećava, što znači da se njihova gustina smanjuje. Obrnuto, ako se tečnost hladi, zapremina tečnosti se smanjuje, što znači da se njena gustina povećava.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Izrada modela termometra

Plastičnu bocu napuni vodom do tri četvrtine njene visine, u kojoj si prethodno rastvorio nekoliko kapi prehrambene boje. Bocu zatvori čepom na kojem je napravljen otvor. Kroz otvor provuci plastičnu slamku za sok i potopi je u vodu oko 2–3 cm. Plastelinom ili silikonom pričvrsti slamku na mjestu gdje prolazi kroz čep kako ne bi bilo protoka zraka. Objema rukama dodirni bocu na dijelu u kojem se nalazi zrak i drži ruke na boci nekoliko minuta. Šta primjećuješ? Da li je voda počela da se podiže u slamci? Da li bi korištenjem tanje slamke efekt bio vidljiviji?

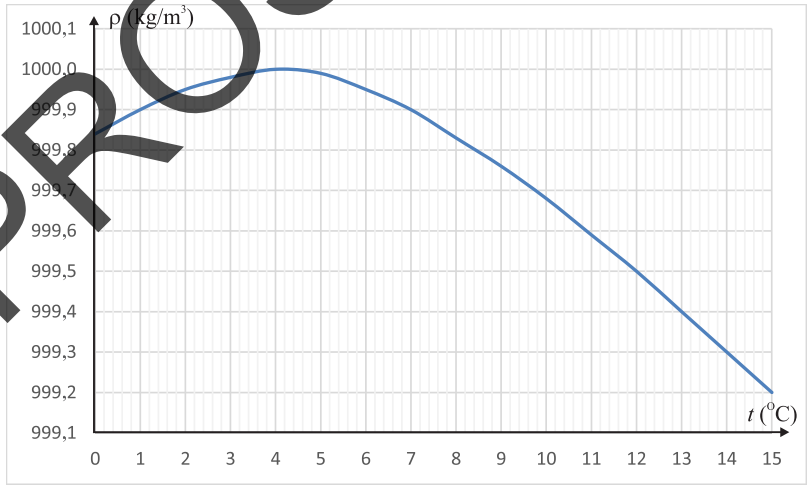
Anomalija vode – izuzetak koji održava život

Zaključak koji smo izveli ranije – da se sve tečnosti šire pri zagrijavanju, a skupljaju pri hlađenju – nije zakon, nego pravilo. Od pravila mogu postojati izuzeci, pa i od ovog pravila možemo pronaći jedan izuzetak koji je od suštinskog značaja za život na Zemlji.

Kod vode, smanjenjem njene temperature smanjuje se i njena zapremina, ali samo do temperature od 4 °C. Zbog toga je gustina vode najveća na 4 °C. Ako se nastavi sa smanjivanjem temperature vode od 4 °C do 0 °C, ona se širi, a njena gustina se smanjuje. Ova pojava naziva se anomalija vode.

Anomaliju vode možemo objasniti time što se na temperaturi ispod 4 °C između atoma vodika molekula vode pojavljuju intenzivne međumolekularne sile. Pod djelovanjem ovih sila molekule se počinju raspoređivati u kristalne strukture koje zauzimaju veći prostor. Zato se zapremina povećava, a gustina smanjuje.

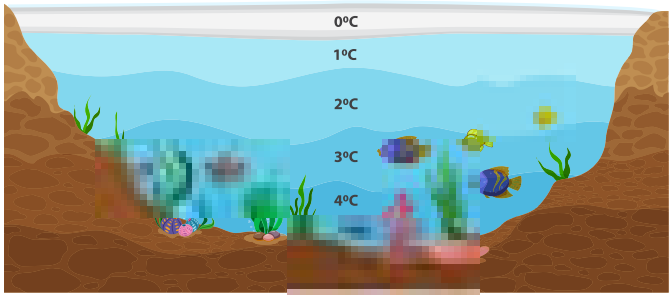
Na Slici 2 dat je grafik zavisnosti gustine vode od temperature. Iz grafika se može vidjeti da je gustina vode najveća na 4 °C i iznosi 1000 kg/m³. Na 0 °C voda se pretvara u led. U tom slučaju sve molekule su raspoređene u kristalnu rešetku, pa se zapremina dodatno povećava, što dovodi do još većeg smanjenja gustine. Budući da led ima manju gustinu od vode, on pluta na površini vode.



Slika 2. Zavisnost gustine vode od njene temperature.

Ovo neobično ponašanje vode ključno je za život na Zemlji.

PROSVETNO DELO



Slika 3. Anomalija vode razlog je održavanja vodenih ekosistema zimi.

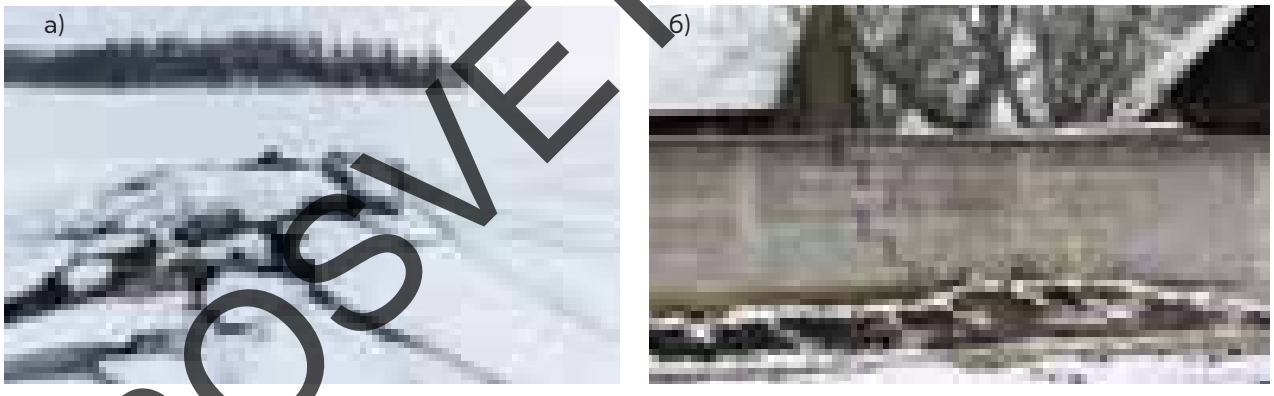
Ovo neobično ponašanje vode ključno je za život na Zemlji.

Zimi se voda u morima i jezerima počinje hladiti, pri čemu se prvo hladi voda na površini. Postajući gušća, ona se spušta prema dolje, a toplija voda se podiže prema gore. Ovaj proces se ponavlja sve dok se voda na površini ne ohladi na 4 °C. Ispod 4 °C voda na površini ima manju gustinu i više se ne spušta prema dolje.

Ako se voda na površini ohladi na 0 °C, ona se smrzava. Ispod sloja leda ostaje voda u tečnom agregatnom stanju, pri čemu je voda temperature 4 °C na dnu mora i jezera. To što se dno mora i jezera nikada ne smrzava omogućava preživljavanje vodenih biljaka i životinja.

U prirodi anomalija vode dovodi i do drugih posljedica. Tako širenje vode pri smanjenju njene temperature od 4 °C do 0 °C i njeno smrzavanje izazivaju pukotine u stijenama i njihovo usitnjavanje, pojavu klizišta i raspadanje stjenovitih masiva.

U svakodnevnom životu ovo može dovesti do oštećenja vodovodnih cijevi zimi, pukotina na putevima, lomljenja staklenih boca s tečnostima u zamrzivaču. Također može dovesti do mehaničkih kvarova sistema u automobilima ako se ne koristi antifriz za sprečavanje smrzavanja vode u hladnjaku.



Slika 4. a) Oštećenje asfaltnog puta pri širenju vode i njenom smrzavanju.
b) Oštećena betonska ograda zbog širenja vode.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK



Linus Pauling (1901–1994)

Linus Pauling bio je naučnik njemačko-američkog porijekla i jedan je od najutjecajnijih hemičara i naučnih komunikatora 20. stoljeća. Njegov rad je osnova savremenog razumijevanja hemijskih veza i molekularne strukture. Pauling je prvi sistematski objasnio ulogu vodikovih veza u strukturi vode i leda, pokazujući da su ove specifične međumolekularne sile odgovorne za neobična svojstva vode. Upravo njegove analize i modeli omogućili su da se razumije zašto led ima kristalnu strukturu, a zbog toga i manju gustinu od vode.

Osim velikih naučnih doprinosa, Pauling je jedan od rijetkih naučnika koji su dobili dvije Nobelove nagrade: Nobelovu nagradu za hemiju (1954) za svoja istraživanja hemijske veze i strukture molekula, kao i Nobelovu nagradu za mir (1962) za svoju aktivnu kampanju protiv nuklearnih testiranja. Time Pauling ostaje jedini čovjek u historiji koji je samostalno dobio dvije Nobelove nagrade u različitim oblastima.

ZA 5+

Zapremina tijela ili tečnosti pri zagrijavanju V može se tačno odrediti ako se zna njegova zapremina V_0 na 0 °C i temperatura t na koju se tijelo zagrijava (izražena u °C), prema formuli:

$$V = V_0(1 + \beta \cdot t).$$

Sa β označen je koeficijent zapreminskog širenja koji je različit za različite supstance. Što je koeficijent zapreminskog širenja materijala od kojeg je tijelo napravljeno veći, to se više povećava zapremina tijela ili tečnosti pri zagrijavanju. Izuzetak od ovog pravila je voda u temperaturnom intervalu od 0 °C do 4 °C.

Koeficijent zapreminskog širenja vode na sobnoj temperaturi iznosi $1{,}1 \cdot 10^{-3}\ °C^{-1}$, dok za alkohol iznosi $1{,}1 \cdot 10^{-3}\ °C^{-1}$. Iz posljednjih podataka može se jasno primijetiti zašto se alkohol širi više od vode pri zagrijavanju obje tečnosti na istu temperaturu.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Ako ne bi postojala anomalija vode, tada bi se jezera, mora i okeani potpuno smrzavali i živi svijet u njima nikada ne bi ni nastao.

PITANJA I ZADACI

1. Šta se događa sa zapreminom tečnosti kada se ona zagrijava?
2. Kako možemo eksperimentalno pokazati da se tečnosti šire pri zagrijavanju?
3. Zašto led pluta na površini vode umjesto da potone?
4. Zašto bocu s vodom ne treba puniti do vrha prije stavljanja u zamrzivač?
5. Na grafiku na Slici 2 prikazana je zavisnost gustine vode od temperature.
6. a) Odredi na kojoj temperaturi je gustina vode maksimalna.
7. b) Šta se događa s gustinom vode kada se temperatura smanjuje ispod 4 °C?
8. c) Na kojim temperaturama gustina vode iznosi 999,9 kg/m^3?
9. d) Kolika je gustina vode na temperaturi od 13 °C?

ZAPAMTI

- Pri zagrijavanju tečnosti povećavaju svoju zapreminu. Različite tečnosti različito se šire.
- Povećanje zapremine znači smanjenje gustine tečnosti.
- Anomalija vode je pojava koja se javlja kod njene gustine. Za razliku od drugih tečnosti, voda ima najveću gustinu pri 4 °C, a ne na tački smrzavanja (0 °C).
- Anomalija vode od ogromnog je značaja za prirodu i život jer omogućava vodenim ekosistemima da prežive pri niskoj temperaturi.

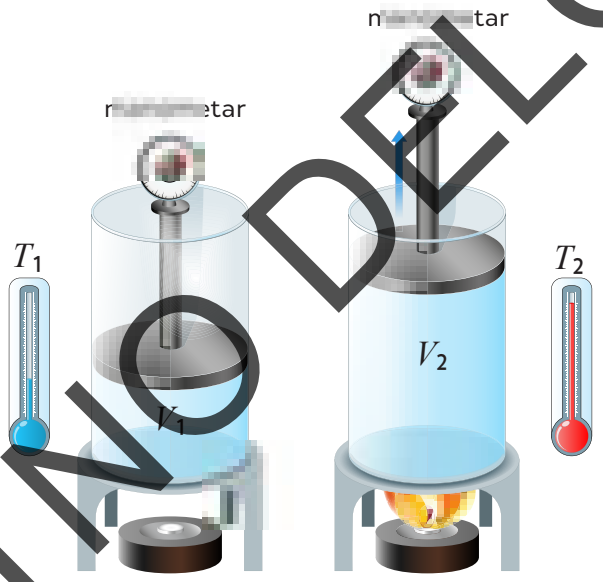
PROSVETNO DELO

2.7. TOPLOTNE PROMJENE KOD GASOVA

Promjena zapremine gasova s promjenom temperature (Charlesov zakon)

Gasovi su supstance koje se po svojim svojstvima veoma razlikuju od čvrstih tijela i tečnosti. Gasovi zauzimaju cjelokupan prostor koji im je na raspolaganju, pa se zato njihova zapremina može lako promijeniti.

Neka jedan gas bude zatvoren klipom koji se može slobodno kretati. Ako gas zagrijavamo kao što je prikazano na Slici 1, primijetit ćemo da će se s povećanjem temperature gasa klip početi kretati prema gore, odnosno doći će do povećanja zapremine gasa. U ovom slučaju, kao i kod čvrstih tijela i tečnosti, povećanjem temperature gasa povećava se i njegova zapremina. Ako prestanemo zagrijavati gas, smanjenjem temperature doći će i do smanjenja zapremine gasa.



Slika 1. Povećanje zapremine gasa s povećanjem njegove temperature. Pritisak gasa ostaje konstantan.

Kada se gas zagrijava, njegove čestice imaju veću kinetičku energiju i kreću se brže. Zbog bržeg kretanja čestice češće i intenzivnije udaraju u zidove posude i u klip. Pritom se klip kreće prema gore, a gas povećava zapreminu pri stalnom (konstantnom) pritisku.

Ako je prije zagrijavanja temperatura gasa iznosila T_1 (izražena u kelvinima), a zapremina gasa bila V_1, nakon zagrijavanja gasa na temperaturu: $T_2 = 2 \cdot T_1$ primjećuje se da će gas imati zapreminu: $V_2 = 2 \cdot V_1$. Ako temperaturu gasa povećamo tri puta, tada će se njegova zapremina povećati tri puta.

Može se primijetiti da je količnik zapremine gasa i njegove temperature pri konstantnom pritisku gasa konstantna vrijednost. To znači da je zapremina gasa direktno proporcionalna njegovoj temperaturi (konstantu proporcionalnosti označit ćemo sa k). Posljednji zaključak naziva se Charlesov zakon o toplotnom širenju gasova pri konstantnom pritisku. Charlesov zakon možemo zapisati i kao:

$$\frac{V}{T} = k \quad \Rightarrow \quad V = k \cdot T \ .$$

Na grafiku na Slici 2 prikazano je zagrijavanje gasa na temperaturu od 270 K do 330 K. Zapremina gasa povećala se sa 180 cm³ na 220 cm³. Grafik je prava linija, a to je dokaz da

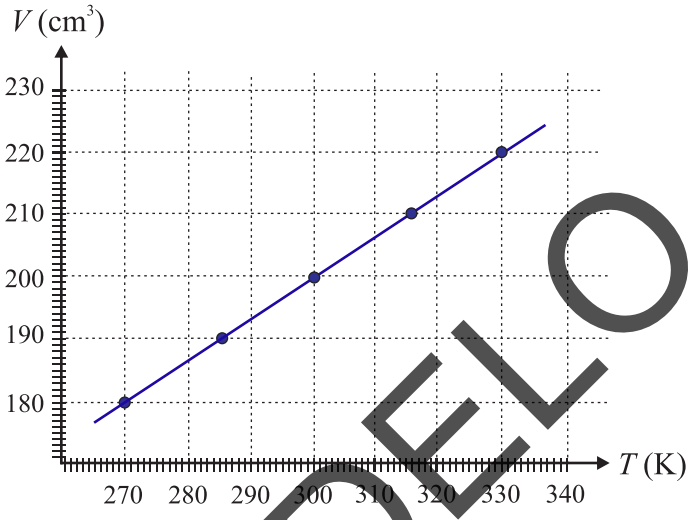
PROSVETNO DELO

je zapremina gasa direktno proporcionalna njegovoj temperaturi.

Charlesov zakon može se iskoristiti za određivanje konačne zapremine pri zagrijavanju gasa ako su poznate njegova početna zapremina, početna temperatura i krajnja temperatura na koju smo zagrijali gas, prema jednačini:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Dokaz toplotnog širenja gasova je ispuhana lopta ostavljena na suncu. Nakon izvjesnog vremena izgleda kao da se sama napuhala. Kod balona s korpom, prije polijetanja balon se puni zagrijanim zrakom.

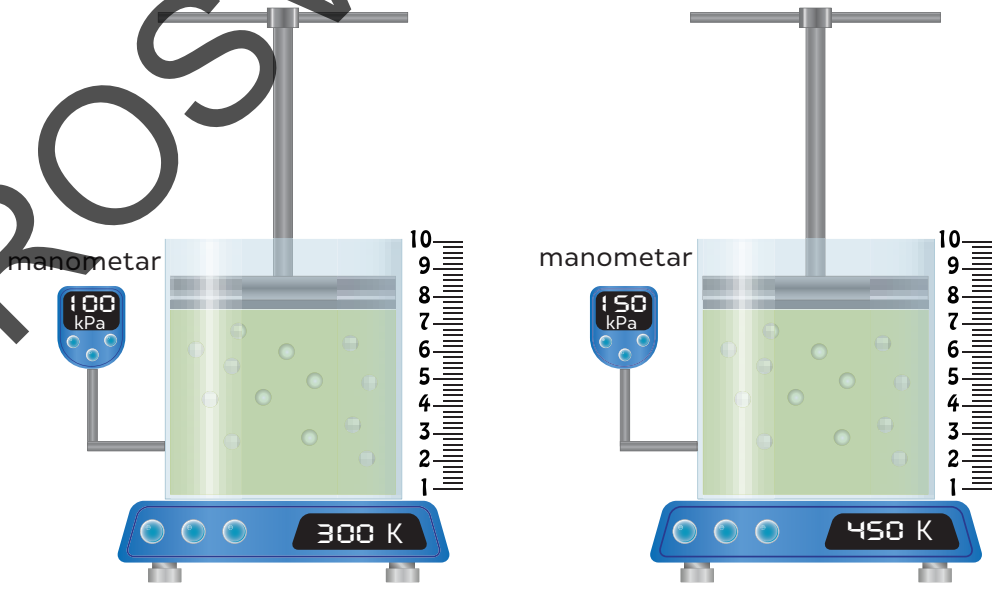


Slika 2. Zavisnost zapremine gasa od njegove temperature.

Promjena pritiska gasova s promjenom temperature (Gay-Lussacov zakon)

Ako je gas zatvoren u posudi čija se zapremina ne mijenja, tada zagrijavanje gasa ili povećanje njegove temperature izaziva povećanje pritiska gasa.

Na Slici 3 prikazana je posuda koja je zatvorena klipom koji se ne može kretati. U početnom trenutku, kada je gas bio zagrijan na temperaturu od 300 K, pritisak gasa koji pokazuje



Slika 3. Povećanje pritiska gasa s povećanjem njegove temperature.

PROSVETNO DELO

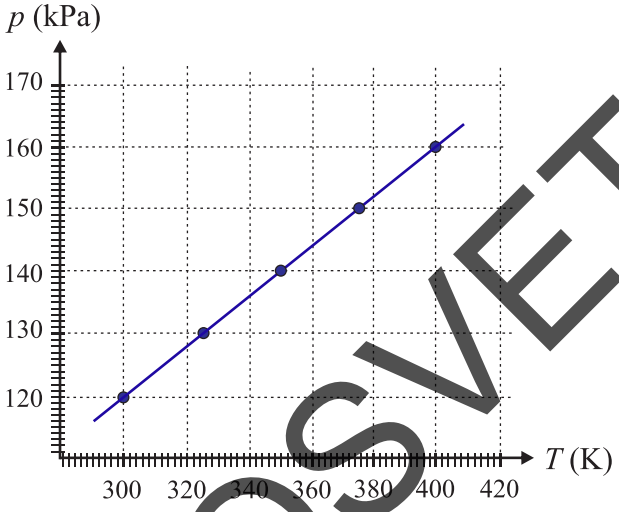
manometar iznosio je 100 kPa. Nakon zagrijavanja gasa na temperaturu od 450 K, pritisak gasa povećao se na 150 kPa.

Budući da je zapremina posude konstantna (ne može se promijeniti), a temperatura se povećava, čestice ponovo dobijaju više energije i kreću se brže. Budući da nemaju dodatni prostor za širenje, broj udara u klip i zidove se povećava, čime se povećava i pritisak u posudi. Zato, kada se temperatura povećava, a zapremina je nepromijenjena, pritisak gasa se također povećava.

Ako je prije zagrijavanja temperatura gasa iznosila T_1 (izražena u kelvinima), a pritisak gasa bio p_1, nakon zagrijavanja gasa na temperaturu: $T_2 = 2 \cdot T_1$ primjećuje se da će gas imati pritisak: $p_2 = 2 \cdot p_1$. Može se primijetiti da je količnik pritiska gasa i njegove temperature pri konstantnoj zapremini konstantna vrijednost (konstantu proporcionalnosti sada ćemo označiti sa K i ona ne zavisi od temperature i pritiska gasa). Ili, drugim riječima, pritisak gasa direktno je proporcionalan njegovoj temperaturi.

Posljednji zaključak naziva se Gay-Lussacov zakon o promjeni pritiska gasa pri zagrijavanju u uslovima konstantne zapremine. Gay-Lussacov zakon možemo zapisati i kao:

$$\frac{p}{T} = K \quad \Rightarrow \quad p = K \cdot T .$$



Slika 4. Zavisnost pritiska gasa od njegove temperature.

Na grafiku na Slici 4 prikazano je zagrijavanje gasa na temperaturu od 300 K do 400 K. Pritisak gasa povećao se sa 120 kPa na 160 kPa. Grafik je prava linija, a to je dokaz da pritisak gasa direktno proporcionalno zavisi od njegove temperature.

Gay-Lussacov zakon može se iskoristiti za određivanje konačnog pritiska pri zagrijavanju gasa ako su poznati njegov početni pritisak, početna temperatura i krajnja temperatura na koju smo zagrijali gas, prema jednačini:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} .$$

Dokaz povećanja pritiska gasa s povećanjem temperature su plastične boce koje se, ako su napunjene gaziranim pićima, deformišu ili eksplodiraju ukoliko se ostave na suncu. Pritisak u gumama automobila povećava se ako je automobil ostavljen na suncu. Na plinskim bocama koje su napunjene prirodnim gasom napisano je da se čuvaju dalje od izvora toplotne energije.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER

Posuda zatvorena klipom sadrži zrak zapremine 0,001 m^3 na temperaturi od 270 K.

a) Gas je bio zagrijan do temperature od 540 K. Ako se klip pomjerio prema gore, izračunajte zapreminu gasa nakon zagrijavanja.

b) Kada je gas bio na temperaturi od 540 K, njegov pritisak iznosio je 100000 Pa. Gas je bio

ohlađen do temperature od 270 K, pri čemu se klip zaglavio i nije se pomjerao prema dolje. Izračunajte koliki je bio pritisak gasa nakon njegovog hlađenja.

Dato:	a) Gas se zagrijava pri konstantnom pritisku, pa zato imamo: $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = V_1\frac{T_2}{T_1} = 0,001\,\mathrm{m}^3 \cdot \frac{540\,\mathrm{K}}{270\,\mathrm{K}} = 0,002\mathrm{m}^3.$
[illegible]	b) Budući da se klip ne kreće, ne može doći do promjene zapremine gasa, pa se zato mijenja njegov pritisak. Za pritisak u konačnom stanju imamo: $\frac{p_2}{T_2}=\frac{p_3}{T_3} \Rightarrow p_3 = p_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 100000\,\mathrm{Pa} \cdot \frac{270\,\mathrm{K}}{540\,\mathrm{K}} = 50000\,\mathrm{Pa}.$
Traži se:	
$V_2 - ?$ $p_3 - ?$	

POZNATI NAUČNIK

Jacques Charles (1746–1823)



Francuski naučnik Charles poznat je po svom eksperimentalnom radu s toplim zrakom i gasovima. On je prvi sistematski proučavao promjene zapremine gasova s promjenom temperature, koristeći precizno izrađene balone i zatvorene posude ispunjene zrakom. Iako sam nije objavio formulu za toplotno širenje gasova, njegove rezultate kasnije je matematički obradio Gay-Lussac, pa tako danas Charlesov zakon nosi njegovo ime.

Osim u fizici, Charles je bio inovator i u zrakoplovstvu. Konstruisao je prvi balon napunjen vodikovim gasom i sam poletio u njemu, otvarajući put modernoj aeronautici.

AKTIVNOSTI

1. Ispitivanje toplotnog širenja gasova

Na otvor prazne plastične boce stavi balon. Bocu stavi u posudu s toplom vodom. Šta primjećuješ? Da li se balon počeo napuhavati? Šta to pokazuje o gasu koji se zagrijava? Zatim bocu stavi pod mlaz vode iz česme. Šta se dogodilo? Da li se zapremina balona smanjila sa smanjenjem temperature gasa?

2. Ispitivanje Charlesovog i Gay-Lussacovog zakona pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Svojstva gasa“ (Gas Properties) na internetskoj stranici:

https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_all.html i aktiviraj simulaciju „Idealan“ (Ideal). Imaš zadatak da istražiš zavisnost između pritiska, zapremine i temperature gasa. Prvo postavi zapreminu na konstantnu vrijednost i mijenjaj temperaturu gasa. Za svaku temperaturu u svesku zapiši koliki je bio pritisak gasa. Da li pritisak raste direktno proporcionalno s temperaturom? Kolika je konstanta proporcionalnosti? Promijeni broj čestica gasa i ponovo provjeri da li važi Gay-Lussacov zakon.

Zatim uključi mogućnost promjene zapremine i primijeti koliki je pritisak gasa. Ako zagriješ gas –

PROSVETNO DELO

odnosno ako povećaš njegovu temperaturu, povećat će se pritisak gasa. Pokušaj povećati zapreminu posude tako da manometar pokaže vrijednost pritiska koju je gas imao prije zagrijavanja. Šta primjećuješ? Da li je trebalo povećati zapreminu gasa da bi pritisak ostao konstantan? Ponovi postupak pri različitim temperaturama.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Prva uspješna letjelica s toplim zrakom podigla se s površine Zemlje 1783. godine.

ZA 5+

Idealan gas je model gasa kod kojeg možemo smatrati da čestice imaju zanemarivo malu zapreminu u odnosu na međučestični prostor i da međusobno djeluju samo pri sudarima.

Svi realni gasovi, kao što su kisik, azot ili zrak, mogu se smatrati idealnim gasovima ako nisu zagrijani na veoma visoku temperaturu i ako njihov pritisak nije mnogo veći od normalnog atmosferskog pritiska.

Kod gasova se istovremeno mogu mijenjati i pritisak, zapremina i temperatura. Naprimjer, kada se balon ispunjen toplim zrakom podiže u zrak, tada se temperatura okolnog zraka smanjuje s visinom. Vanjski pritisak također se smanjuje s visinom, a zapremina balona se povećava.

U ovakvom slučaju, za dva stanja gasa (naprimjer, za dvije visine na kojima se nalazi balon iz primjera) možemo zapisati sljedeću jednačinu:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2},$$

gdje su sa p_1, V_1 i T_1 označeni pritisak, zapremina i temperatura gasa u prvom stanju, a sa p_2, V_2 i T_2 pritisak, zapremina i temperatura gasa u drugom stanju.

PITANJA I ZADACI

1. Šta je zajedničko čvrstim tijelima, tečnostima i gasovima kada se zagrijavaju?
2. Gas ima zapreminu 2 L na temperaturi od 300 K. Kolika će biti zapremina gasa ako ga zagrijemo na 600 K pri nepromijenjenom pritisku?
3. Zračni balon ima zapreminu od 20 L na temperaturi od 10 °C. Na kojoj temperaturi će gas imati zapreminu 40 L ako su promjene izvršene pri konstantnom pritisku?
4. U posudi stalne zapremine pritisak gasa iznosi 270 kPa na 27 °C. Koliki će biti pritisak na 127 °C?
5. Odredi koliko puta će se povećati pritisak gasa pri konstantnoj zapremini ako se zagrije sa 50 °C na 100 °C.

ZAPAMTI

- Zapremina date količine gasa pri konstantnom pritisku direktno je proporcionalna temperaturi.
- Pritisak određene količine gasa pri konstantnoj zapremini direktno je proporcionalan temperaturi.

PROSVETNO DELO

2.8. PROMJENE KOD GASOVA PRI KONSTANTNOJ TEMPERATURI

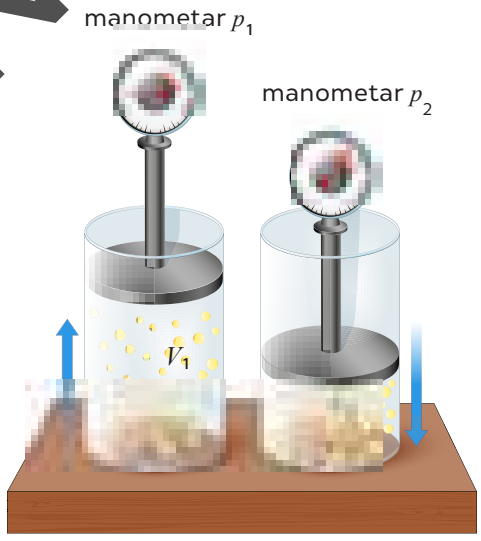
Promjene kod gasova pri konstantnoj temperaturi – Boyle-Mariotteov zakon

Gasovi se sastoje od ogromnog broja molekula koje se kreću haotično u svim smjerovima, različitim brzinama. Te čestice neprestano udaraju u zidove posude u kojoj se gas nalazi. Upravo ovi udari čestica u zidove stvaraju pritisak gasa koji djeluje u svim pravcima i smjerovima. Što češće i većom brzinom molekule udaraju u zidove, to je pritisak gasa veći.

U prethodnoj lekciji vidjeli smo šta se događa s gasom kada se mijenja njegova temperatura: pri zagrijavanju molekule dobijaju veću kinetičku energiju i to dovodi do promjene zapremine ili pritiska. U ovoj lekciji razmotrit ćemo šta se događa kada je temperatura gasa konstantna ili stalna, a mijenjamo zapreminu gasa.

Promjena zapremine i pritiska pri konstantnoj temperaturi

Neka određena količina gasa bude zatvorena u cilindričnoj posudi s pokretnim klipom, kao na Slici 1. Smatrajmo da je temperatura gasa konstantna. U početnom stanju gas ima zapreminu V_1, a pritisak gasa je p_1. Zatim polako pritiskamo klip prema dolje, tako da se gas sabija (komprimuje) i zauzima manju zapreminu V.



Slika 1. Povećanje pritiska gasa sa smanjenjem njegove zapremine pri konstantnoj temperaturi.

Budući da se temperatura ne mijenja, kinetička energija molekula ostaje ista, odnosno njihova srednja brzina se ne mijenja. Međutim, sada je zapremina manja, molekule imaju manji međumolekularni prostor, pa mnogo češće udaraju u zidove posude i u klip. Broj sudara se povećava, a time se povećava i pritisak gasa. Možemo zaključiti da se pri konstantnoj temperaturi, ako se zapremina gasa smanjuje, njegov pritisak povećava. Također, ako se zapremina gasa povećava, pritisak se smanjuje. Veća zapremina znači i veći međumolekularni prostor. Zbog toga se broj sudara s klipom smanjuje, što znači da se i pritisak smanjuje.

Prva mjerenja zavisnosti između zapremine i pritiska pri konstantnoj temperaturi izvršili su Robert Boyle i Edme Mariotte. Oni su primijetili da za datu količinu gasa na istoj temperaturi proizvod pritiska i zapremine ostaje konstantan, odnosno:

PROSVETNO DELO

$$p \cdot V = C,$$

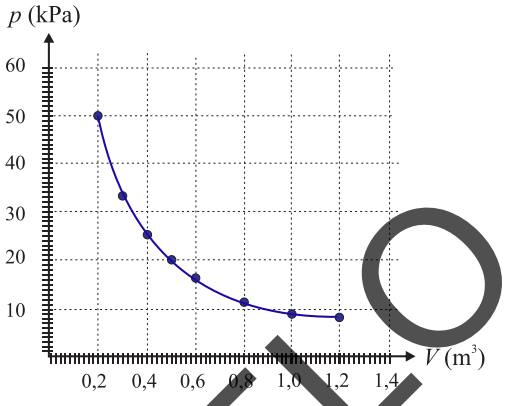
gdje je C konstanta proporcionalnosti koja ne zavisi od zapremine ili pritiska gasa.

Boyle-Mariotteov zakon pokazuje da su pritisak i zapremina obrnuto proporcionalni. Na grafiku na Slici 2 prikazano je smanjenje pritiska gasa sa 50 kPa na 8,3 kPa. Zapremina gasa povećala se sa 0,2 m^3 до 1,2 m^3.

Ako razmatramo dva stanja istog gasa pri istoj temperaturi, tada imamo:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Pomoću ove jednačine možemo izračunati konačni pritisak ako se promijeni zapremina gasa pri konstantnoj temperaturi ili obrnuto – pronaći zapreminu gasa ako znamo kako se promijenio pritisak.



Slika 2. Zavisnost pritiska gasa od njegove zapremine pri konstantnoj temperaturi.

Dokaz promjene pritiska gasa s promjenom zapremine imamo kod pumpe za gume na biciklu: pritiskanjem klipa smanjujemo zapreminu zraka unutar pumpe, pa pritisak raste i zrak ulazi u gumu. Pri ronjenju pod vodom pritisak na ronioca se povećava, pa se zapremina zraka u plućima smanjuje. Drugi primjer je dokaz da se s promjenom pritiska mijenja i zapremina gasa.

RIJEŠENI PRIMJER

Gas zapremine 0,15 m^3 komprimuje se sve dok se njegov pritisak ne poveća 2,5 puta. Izračunaj konačnu zapreminu gasa ako se promjena vrši pri konstantnoj temperaturi.

Dato:	Budući da se promjena kod gasa vrši pri konstantnoj temperaturi, za zapreminu gasa nakon kompresije imamo:
$\frac{p_2}{p_1} = 2,5$ $V_1 = 0,15\,\text{m}^3$	$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} = 0,15\,\text{m}^3 \cdot \frac{1}{2,5} = 0,06\,\text{m}^3.$
Traži se:	
$V_2 = ?$	

ZA 5+

Zrak je smjesa gasova. Svaki gas u smjesi ima „svoj“ pritisak. Ovo vodi do jednog od najvažnijih zakona u fizici gasova, poznatog kao Daltonov zakon parcijalnih pritisaka.

Prema ovom zakonu, ukupni pritisak smjese gasova jednak je zbiru parcijalnih (pojedinačnih) pritisaka svih gasova u njoj. Drugim riječima, svaki gas „doprinosi“ dijelu pritiska, a svi zajedno daju ukupni pritisak.

Naprimjer, ako je smjesa sastavljena od tri gasa, možemo zapisati: $p_{\text{вкупно}} = p_1 + p_2 + p_3$ gdje su p_1, p_2 i p_3 parcijalni pritisci svakog od gasova. parcijalni pritisci svakog od gasova.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Istraživanje zavisnosti pritiska od zapremine gasa

Uzmi praznu špricu i zatvori otvor prstom. Pritisni klip da smanjiš zapreminu. Čestice se češće sudaraju sa zidovima i prstom, odnosno pritisak se povećava. Šta osjećaš na prstu? Sada povećaj zapreminu – izvuci klip prema van. Šta sada osjećaš na prstu? U kojem slučaju je pritisak bio veći?

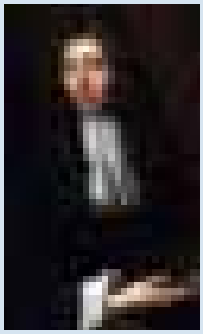
2. Ispitivanje Boyle-Mariotteovog zakona pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Svojstva gasa“ (Gas Properties) na internetskoj stranici: https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_all.html i aktiviraj simulaciju „Idealan“ (Ideal).

Izaberi zatvorenu posudu s gasom. Postavi temperaturu na konstantnu vrijednost (i ne mijenjaj je!). Pomoću kontrole za zapreminu smanjuj i povećavaj zapreminu posude. Posmatraj manometar koji pokazuje pritisak gasa.

Zapiši vrijednosti zapremine i pritiska za nekoliko različitih zapremina gasa. Podatke unesi u tabelu i nacrtaj grafik zavisnosti pritiska od zapremine gasa. Da li je tvoj grafik sličan grafiku sa Slike 2?

POZNATI NAUČNIK



Robert Boyle (1627–1691)

Robert Boyle bio je engleski prirodnjak koji se smatra jednim od osnivača moderne hemije i eksperimentalne fizike. Njegovi eksperimenti sa zrakom dokazali su da zrak nije „kontinuum“, kako se mislilo, nego je sastavljen od čestica i ima određena fizička svojstva.

U svojim istraživanjima Boyle je koristio pneumatsku pumpu kojom je ispitivao svojstva gasova pri različitim pritiscima i zapreminama. Upravo kroz ove eksperimente Boyle je otkrio zavisnost između pritiska i zapremine gasa pri konstantnoj temperaturi – zavisnost koja danas nosi njegovo ime.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Pri normalnom disanju dijafragma mijenja zapreminu grudnog koša i pluća, čime se mijenja pritisak u plućima, pa zrak ulazi u njih ili izlazi iz njih.

PITANJA I ZADACI

1. Kakva je zavisnost između pritiska i zapremine gasa pri konstantnoj temperaturi?
2. Kako će se promijeniti pritisak gasa ako se zapremina smanji dva puta, a temperatura ostane ista?
3. Gas ima pritisak 100 kPa i zapreminu 2 L. Koliki će biti pritisak gasa pri konstantnoj temperaturi ako se zapremina smanji na 1 L?
4. Zračni mjehur u jezeru ima zapreminu 50 cm^3 na površini (pritisak 100 kPa). Na većoj dubini pritisak je 150 kPa. Kolika je bila zapremina mjehura ako je temperatura zraka u mjehuru konstantna?
5. Gas ima pritisak 100000 Pa i zapreminu 600 mL. Kolika će biti zapremina ako se pritisak smanji za 25 % pri konstantnoj temperaturi?

ZAPAMTI

- Pritisak gasa rezultat je udara njegovih čestica u zidove posude.
- Ako se zapremina gasa smanji, pritisak gasa pri konstantnoj temperaturi se povećava.
- Ako se zapremina gasa poveća, pritisak gasa pri konstantnoj temperaturi se smanjuje.

PROSVETNO DELO

2.9. UNUTRAŠNJA ENERGIJA, TOPLOTA I TEMPERATURA

POJMOVI

unutrašnja energija | toplota (*Q*) | razmjena toplote | toplotna ravnoteža

Već znamo da je svaka supstanca izgrađena od ogromnog broja građevnih čestica, atoma, iona ili molekula koje su u neprestanom kretanju. Nezavisno od toga da li je supstanca ili tijelo u čvrstom, tečnom ili gasovitom agregatnom stanju, građevne čestice nikada ne miruju. Upravo njihovo kretanje i međudjelovanje daju jednu od najvažnijih fizičkih veličina u fizici, a to je unutrašnja energija.

Unutrašnja energija jednog tijela je ukupna energija svih njegovih čestica: kinetička energija čestica zbog oscilovanja ili kretanja i potencijalna energija zbog međudjelovanja između njih. Što je viša temperatura tijela, to je veća srednja kinetička energija čestica, a time i unutrašnja energija. Zato topla voda ima veću unutrašnju energiju od hladne vode iste mase.



Slika 1. Zbog ogromne unutrašnje energije gejziri izbacuju vodu.

U unutrašnju energiju ne ulaze kinetička i gravitacijska energija tijela kao cjeline. Ako se predmet nalazi na podlozi i podignemo ga na neku visinu, mijenjamo gravitacijsku potencijalnu energiju tijela, ali ne i njegovu unutrašnju energiju.

Temperatura je mjera stepena „zagrijanosti“ tijela, odnosno mjera srednje kinetičke energije čestica. Važno je razumjeti da temperatura nije mjera ukupne unutrašnje energije. Tako dva tijela mogu imati istu temperaturu, ali ako nemaju istu masu ili ako su izgrađena od različitih supstanci, imat će različitu unutrašnju energiju.

Ukupna potencijalna energija čestica kod različitih supstanci je različita i njena vrijednost zavisi od količine supstance.Unutrašnja energija tijela može se promijeniti na dva načina: vršenjem rada ili razmjenom toplote. Ako na jako užarenu ringlu električnog šporeta poprskamo kapljice vode, može se posmatrati kako kapljice poskakuju – što znači da je unutrašnja energija ringle izvršila rad, a dio unutrašnje energije u obliku toplote predao se kapljicama jer se one zagrijavaju i voda iz njih isparava.

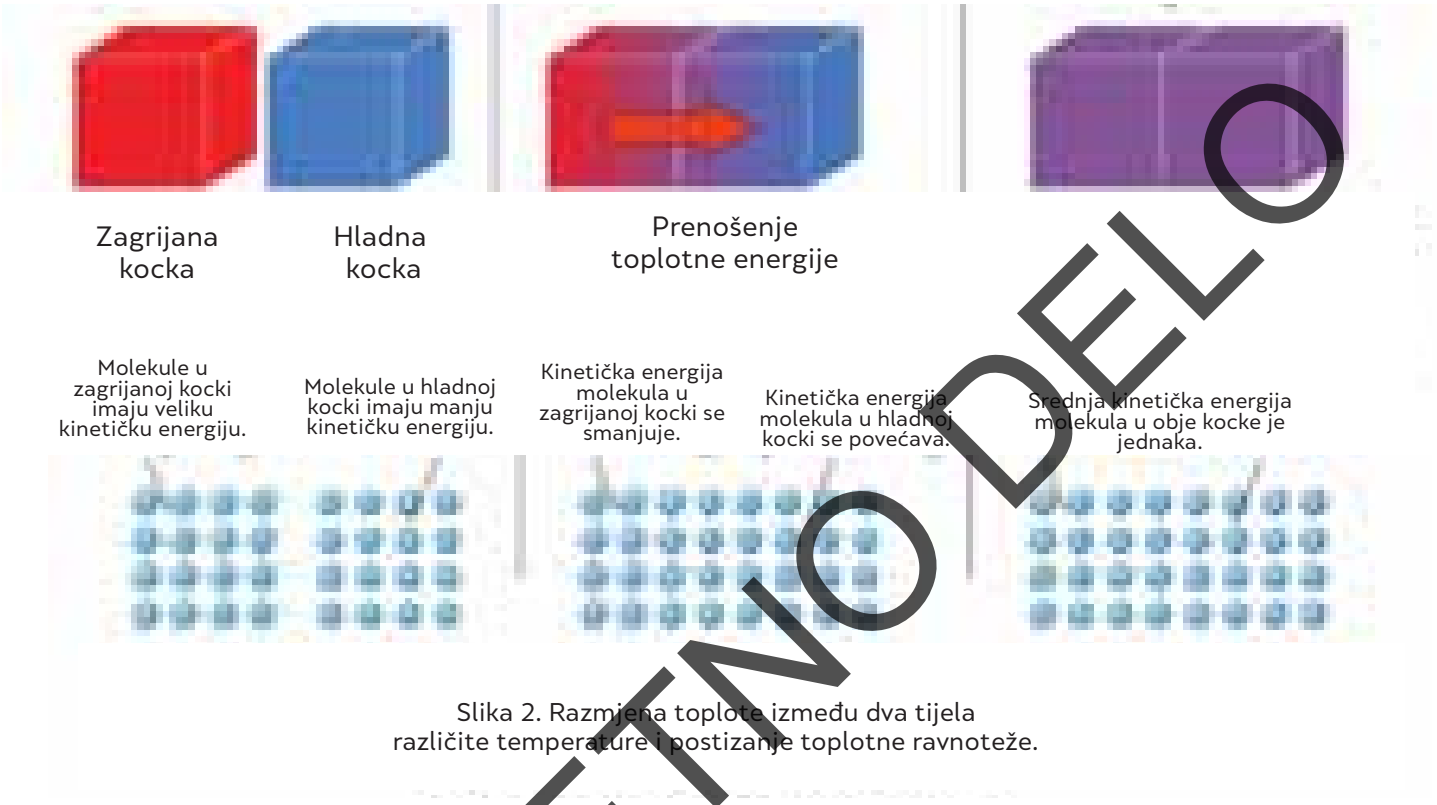
U oba slučaja dolazi do smanjenja unutrašnje energije ringle. Unutrašnja energija tijela može se povećati i vršenjem rada. Ako protrljate jednu ruku o drugu, tada se mehanički rad koji ste izvršili pretvorio u unutrašnju energiju.

Toplota (*Q*) ili **toplotna energija** je energija koja se prenosi s jednog tijela na drugo zbog razlike u temperaturi dva tijela. Toplotna energija se spontano uvijek prenosi s tijela više temperature na tijelo niže temperature.

Kada se između dva tijela vrši **razmjena toplote**, temperatura tijela s višom temperaturom se smanjuje, a zauzvrat se temperatura tijela s nižom temperaturom povećava. Kada

PROSVETNO DELO

oba tijela budu na istoj temperaturi, prestaje razmjena toplotne energije i kaže se da su tijela u **toplotnoj ravnoteži.**



Slika 2. Razmjena toplote između dva tijela različite temperature i postizanje toplotne ravnoteže.

Promjena unutrašnje energije tijela kao posljedica razmjene toplote zapisuje se formulom:

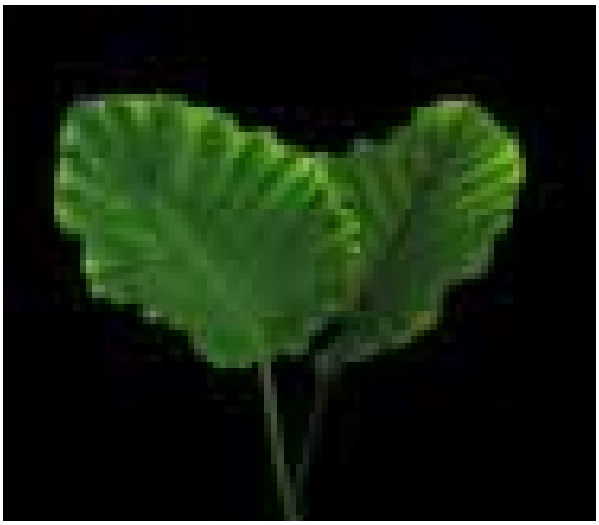
$$E_2 - E_1 = Q \text{ ili } \Delta E = Q \cdot$$

gdje je sa E_1 označena početna unutrašnja energija tijela, E_2 je konačna unutrašnja energija tijela, a Q je toplotna energija koju je tijelo predalo ili primilo. Druga jednačina identična je prvoj. Sa ΔE označena je promjena unutrašnje energije tijela. Sa ΔE označena je promjena unutrašnje energije tijela. Istovremeno, Q je i toplotna energija koju je primilo manje zagrijano tijelo, kao i toplotna energija koju je predalo toplije tijelo.

Kada tijelo prima toplotnu energiju, njegova unutrašnja energija se povećava. Kada predaje toplotnu energiju, njegova unutrašnja energija se smanjuje.

Jedan jednostavan primjer ilustruje ovo: ako se metalna kašika stavi u toplu supu, toplota se prenosi sa supe na kašiku. Tokom vremena kašika postaje topla, ne zato što supa „prelazi“ u kašiku, nego zato što čestice supe putem sudara predaju dio svoje energije kašici. Na taj način unutrašnja energija kašike se povećava, a supa se hladi.

PROSVETNO DELO



Slika 3. Listovi biljke koja uspijeva u tropskim predjelima.

Posebno je zanimljiv slučaj hlađenja pri isparavanju. Kada tečnost isparava, najbrže molekule, odnosno molekule s najvećom kinetičkom energijom, napuštaju njenu površinu i prelaze u gasovito stanje. Zbog toga molekule koje su ostale u tečnosti sada imaju manju srednju kinetičku energiju, pa se temperatura tečnosti smanjuje.

Zato se koža hladi kada znoj isparava. Slično tome, ako stavimo malo alkohola na kožu, površina odmah postaje hladna jer alkohol isparava mnogo brže od vode i oduzima veću količinu toplote od kože.

Priroda neprestano koristi ovaj mehanizam: isparavanje s površine okeana smanjuje srednju temperaturu Zemlje, zatim se biljke „hlade“ isparavanjem vode iz listova (Slika 3), a psi isplažuju jezik radi bržeg hlađenja isparavanjem.

Unutrašnja energija, toplota i temperatura tri su povezana, ali različita pojma. Temperatura je mjera srednje kinetičke energije čestica, unutrašnja energija je zbir ukupne kinetičke i potencijalne energije svih čestica, a toplota opisuje energiju koja se prenosi između tijela zbog razlike u njihovoj temperaturi.

Razumijevanje veze između njih osnova je za proučavanje svih procesa povezanih sa zagrijavanjem, hlađenjem i promjenama agregatnog stanja.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Kada pušemo u topao čaj da se ohladi, zapravo ubrzavamo isparavanje.

ZA 5+

Ako se gasu dovede toplotna energija, ta toplota koristi se za zagrijavanje gasa, odnosno za povećanje unutrašnje energije gasa, a dio te toplotne energije koristi se za vršenje rada ukoliko gas može povećavati svoju zapreminu.

Naprimjer, ako gasu koji se nalazi u posudi s pokretnim klipom dovedemo toplotnu energiju, ona će se koristiti za povećanje unutrašnje energije (povećanje temperature gasa), a dio će se potrošiti na vršenje mehaničkog rada, odnosno na pomjeranje klipa.

Ovaj zaključak naziva se Prvi zakon termodinamike i dat je sljedećom formulom:

$$Q = \Delta E + A,$$

gdje je sa Q označena dovedena toplotna energija gasu, ΔE je promjena unutrašnje energije, a sa A označen je izvršeni rad.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

Edme Mariotte (oko 1620–1684)



Mariotte je bio francuski fizičar i svećenik, član Francuske akademije nauka i jedan od pionira eksperimentalne fizike u Evropi. Mariotte je bio prvi koji je eksperimentalno dokazao da zrak ima masu, a proučavao je i pojave povezane s kretanjem vode u biljkama, kao i zakone padanja tijela u različitim sredinama.

Najznačajniji Mariotteov doprinos je nezavisno otkriće veze između pritiska i zapremine gasa pri konstantnoj temperaturi. Iako je Robert Boyle objavio isti zakon nekoliko godina ranije u Engleskoj, Mariotte je potvrdio i proširio rezultat, savršeno formulišući da je pri konstantnoj temperaturi proizvod pritiska i zapremine određene količine gasa konstantan.

Otuda se zakon danas naziva Boyle-Mariotteov zakon. Ovaj zakon direktno je povezan s unutrašnjom energijom gasa jer je temperatura mjera srednje kinetičke energije čestica. Zakon važi samo ako je temperatura konstantna.

AKTIVNOST

1. Hlađenje pri isparavanju

Natopi dva komada pamuka: jedan vodom, drugi alkoholom. Komade pamuka postavi na staklene pločice i termometrom mjeri temperaturu pločice. Kod koje staklene pločice se temperatura brže smanjuje? Šta možeš zaključiti iz rezultata mjerenja?

PITANJA I ZADACI

1. Zašto dva tijela različite mase na istoj temperaturi imaju različitu unutrašnju energiju?
2. Šta će se dogoditi s temperaturom vode ako bismo magično mogli „zadržati“ sve molekule koje bi inače isparile?
3. Kako se uspostavlja toplotna ravnoteža između dva tijela različite temperature?
4. Tijelo s početnom unutrašnjom energijom od 2000 J prima 800 J toplote, a zatim predaje 300 J okolini. Odredi njegovu unutrašnju energiju nakon ovih promjena.
5. Čaša toplog čaja temperature 70 °C ostavlja se u prostoriji u kojoj je temperatura 20 °C. Opiši proces uspostavljanja toplotne ravnoteže i navedi šta se događa s unutrašnjom energijom čaja.

ZAPAMTI

- Unutrašnja energija je ukupna energija svih čestica u tijelu.
- Unutrašnja energija povećava se s povećanjem temperature.
- Toplota je energija koja se prenosi između tijela zbog razlike u njihovim temperaturama.
- Toplota se spontano uvijek prenosi s toplijeg na hladnije tijelo sve dok se ne uspostavi toplotna ravnoteža.
- Pri isparavanju tečnost se hladi jer najbrže molekule napuštaju površinu.

PROSVETNO DELO

2.10. PRENOŠENJE TOPLOTE. KONDUKCIJA (TOPLOTNA PROVODLJIVOST)

POJMOVI

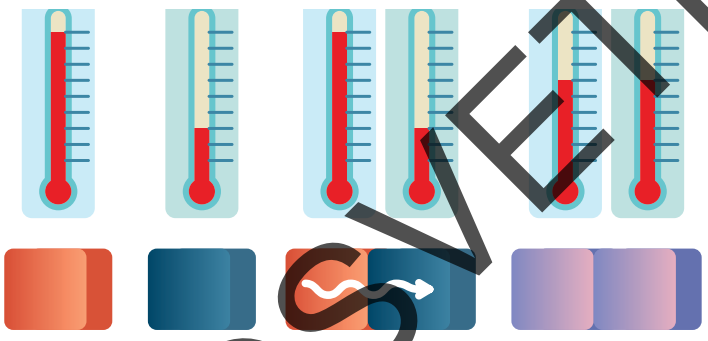
toplotna provodljivost/kondukcija | toplotni provodnici | toplotni izolatori

Toplota predstavlja energiju koja se uvijek prenosi s tijela više na tijelo niže temperature, sve dok se ne uspostavi toplotna ravnoteža. U prirodi i tehnologiji postoje tri osnovna načina prenošenja toplote: **kondukcija (toplotna provodljivost), konvekcija (strujanje) i radijacija (zračenje)**.

Iako se na sva tri načina prenosi energija, oni se odvijaju na različite načine i zavise od svojstava supstance. Ovdje ćemo se detaljnije zadržati samo na toplotnoj provodljivosti.

Toplotna kondukcija (toplotna provodljivost)

Kondukcija predstavlja prenošenje toplote bez prenošenja supstance s jednog mjesta na drugo. Kada se jedan kraj metalne kašike stavi u topao čaj, osjećamo da se polako zagrijava cijela kašika sve do njenog drugog kraja koji držimo u ruci.



Slika 1. Prenošenje toplotne energije kondukcijom.

Razlog je to što čestice na toplom kraju kašike dobijaju toplotnu energiju od čaja i povećavaju svoju srednju kinetičku energiju. Ta energija se putem sudara sa susjednim česticama u kristalnoj rešetki prenosi na sve čestice duž cijele kašike. Što duže kašika stoji u čaju, to će se više zagrijati. Prenošenje toplotne energije prestaje kada tijela budu imala istu temperaturu.

Na Slici 1 prikazano je prenošenje toplotne energije između dva tijela zagrijana na različite temperature.

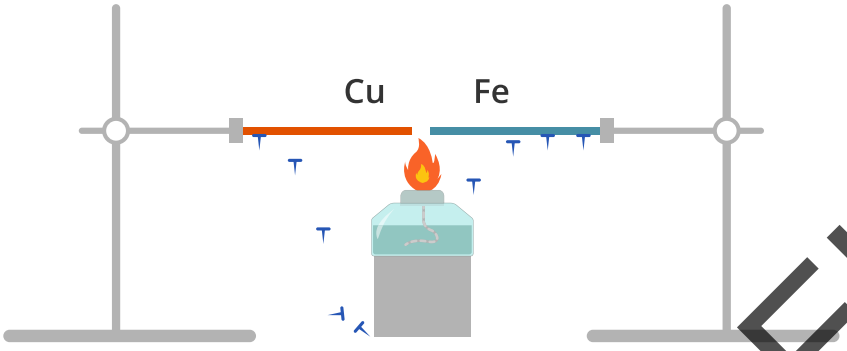
Toplotnu provodljivost lako ćemo pokazati sljedećim eksperimentom prikazanim na Slici 2. Na stative su pričvršćene metalne šipke na koje su pomoću voska pričvršćeni mali metalni ekseri na jednakim rastojanjima. Krajeve šipki zagrijavamo svijećom. Obje šipke postavljene su na istoj visini i na istom rastojanju od svijeće.

Kratko vrijeme nakon zagrijavanja primjećuje se da se vosak počinje topiti i ekseri počinju padati. Prvo padaju oni koji su najbliži plamenu, a zatim jedan po jedan i preostali.

Slobodni krajevi šipki koji su u neposrednom dodiru s plamenom najviše se zagrijavaju. U tim dijelovima šipki molekule se počinju brže kretati, njihova srednja kinetička energija se povećava i prenosi na susjedne čestice. Temperatura se povećava duž cijelih šipki.

PROSVETNO DELO

U ovom eksperimentu može se primijetiti da će ekseri s bakarne šipke brže pasti. Ova činjenica dokaz je da materijali ne prenose toplotu jednako.



Slika 2. Toplotna provodljivost kod dvije metalne šipke od bakra i željeza.

Toplotni provodnici i toplotni izolatori

Materijali se značajno razlikuju prema tome koliko dobro provode toplotu.

Toplotni provodnici su materijali koji prenose toplotu. Najbolji provodnici su metali: srebro, bakar, aluminij, čelik. Zato se neki od njih koriste za izradu posuđa za kuhanje, radijatora i izmjenjivača toplote.

Toplotni izolatori su materijali koji slabo provode toplotu. Materijali kao što su drvo, plastika i guma imaju veoma slabu toplotnu provodljivost i zato se koriste kao izolatori. Također, zrak i gasovi su dobri toplotni izolatori jer između čestica postoji veliko međučestično rastojanje, pa se one rijetko sudaraju.

Materijali kao što su vuna, perje i stiropor zadržavaju zrak u malim porama i služe za toplotnu izolaciju. Zato se drške posuđa za kuhanje izrađuju od plastike ili drveta, a zimske jakne su ispunjene perjem.

Toplotni izolatori i klimatske promjene

Jedni od najvećih potrošača energije u domaćinstvima su grijaća tijela. Kada objekti nemaju dobru toplotnu izolaciju, gubici toplote su veliki, što dovodi do povećane potrošnje električne energije ili fosilnih goriva. Ovo ne samo da povećava potrošnju nego povećava i emisiju ugljendioksida – gasa koji doprinosi globalnom zagrijavanju.

Zbog toga se upotreba kvalitetnih toplotnih izolatora smatra jednom od značajnih mjera za smanjenje klimatskih promjena. Postavljanje stiropora s vanjske strane domova, kao i prozora s dvostrukim staklom odvojenim slojem zraka, samo su neki od načina smanjenja gubitka toplote.

Energetski efikasni domovi ne samo da troše manje energije nego imaju i bolju unutrašnju mikroklimu, što direktno utječe na zdravlje i udobnost ljudi.

PROSVETNO DELO

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Srebro je metal koji je najbolji toplotni provodnik, ali se rijetko koristi zbog svoje visoke cijene.

AKTIVNOST

1. Komad leda na različitim materijalima

Stavi komad leda na pločicu od metala (bakra ili željeza), drveta, plastike, stakla i stiropora. Komadi leda neka budu približno istog oblika i veličine. Posmatraj kako se komadi leda tope. Koji se od njih otopio prvi, a koji posljednji? Prema dobijenim rezultatima klasifikuj materijale na toplotne provodnike i toplotne izolatore.



ZA 5+

Količina toplote koja će se kondukcijom prenijeti kroz materijal debljine d može se opisati sljedećom formulom: $Q = k \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{d} \cdot t$, gdje je Q toplotna energija koja je prošla kroz materijal za vrijeme t, S je veličina površine kroz koju se prenosi toplota, ΔT je razlika temperature s obje strane materijala, a k se naziva koeficijent toplotne provodljivosti materijala. Koeficijent toplotne provodljivosti različit je za različite materijale. Što je njegova vrijednost veća, to je materijal bolji toplotni provodnik.

POZNATI NAUČNIK



Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768–1830)

Fourier je bio francuski matematičar i fizičar koji je istraživao toplotnu provodljivost. Još kao mladić pokazivao je veliko zanimanje za fiziku i matematiku. Godine 1822. objavio je knjigu *Analitička teorija toplote*, u kojoj je formulisao Zakon toplotne provodljivosti, kojim je objasnio kako se toplota prenosi kroz različite materijale.

Fourier je prvi objasnio i efekt staklene bašte na Zemlji.

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja kondukcija i kako se toplota prenosi kod čvrstih tijela?
2. U jednoj ruci imaš komad drveta, a u drugoj komad metala. Ako su oba tijela prethodno bila u istoj prostoriji (na istoj temperaturi), zašto osjećaš da je komad metala hladniji?
3. Zimi ljudi nose višeslojnu odjeću. Koji proces prenošenja toplote je smanjen ovim postupkom i zašto je zrak između slojeva toliko važan?
4. Metalna šipka zagrijana je na jednom kraju do 150 °C. Nakon nekoliko minuta drugi kraj dostiže 40 °C. Kako se odvija prenošenje toplotne energije kroz šipku?
5. Kako dvostruko staklo na prozorima smanjuje kondukciju i povećava energetsku efikasnost?

ZAPAMTI

- Kondukcija (toplotna provodljivost) je proces prenošenja toplote s jednog na drugo mjesto na tijelu ili s jednog tijela na drugo, ako su tijela u kontaktu.
- Pri kondukciji se prenosi energija, ali ne i supstanca.
- Toplotni provodnici omogućavaju prenošenje toplotne energije, a toplotni izolatori sprečavaju prenošenje toplote.

PROSVETNO DELO

2.11. PRENOŠENJE TOPLOTE KONVEKCIJOM (STRUJANJEM) I RADIJACIJOM (ZRAČENJEM)

POJMOVI

strujanje/konvekcija | zračenje/radijacija | apsorpcija

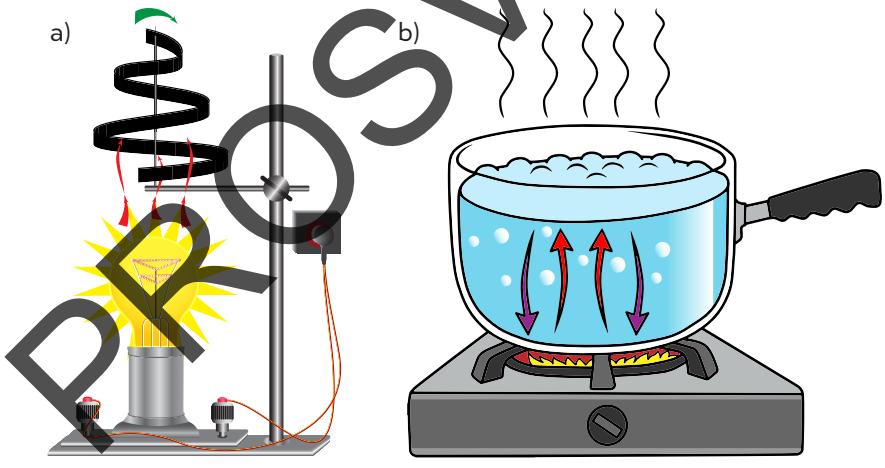
Toplota se s jednog tijela na drugo može prenositi na više načina, zavisno od toga mogu li se čestice u supstanci kretati ili ne i postoji li između tijela materijalna sredina. Kod čvrstih materijala toplota se najčešće prenosi toplotnom provodljivošću. Međutim, u tečnostima i gasovima, gdje se čestice mogu kretati, prenošenje toplotne energije najčešće se vrši strujanjem, odnosno **konvekcijom**.

Osim ova dva načina, postoji i treći način prenošenja toplote, a to je **zračenje**, odnosno **radijacija**. Toplotna energija zračenjem se može prenijeti i u vakuumu. Razumijevanje ova dva procesa važno je za objašnjavanje prirodnih pojava, klime, kao i za razumijevanje savremene tehnološke opreme.

Konvekcija (strujanje)

Kada se neki dio gasa ili tečnosti zagrije, čestice u tom dijelu dobijaju veću kinetičku energiju, počinju se brže kretati i udaljavaju se jedna od druge. Zbog povećanja zapremine, gustina toplog dijela tečnosti ili gasa se smanjuje, pa se on podiže prema gore.

Na njegovo mjesto dolazi hladnija, gušća tečnost (ili gas), koja se zatim zagrijava i nastavlja se kretati prema gore. Tako nastaje kružno kretanje gasa ili tečnosti. **Strujanje ili konvekcija** je proces prenošenja toplote premještanjem čestica supstance s jednog mjesta na drugo.



Slika 1. Konvekcija toplote a) u zraku b) u vodi.

Ovaj proces može se posmatrati svakodnevno. Ako ruku približimo iznad plamena svijeće, odmah ćemo osjetiti tople struje zraka koje se podižu prema gore. Ako iznad električne svjetiljke postavimo laganu papirnu spiralu, ona će se početi okretati jer se topli zrak kreće prema gore i pokreće papir.

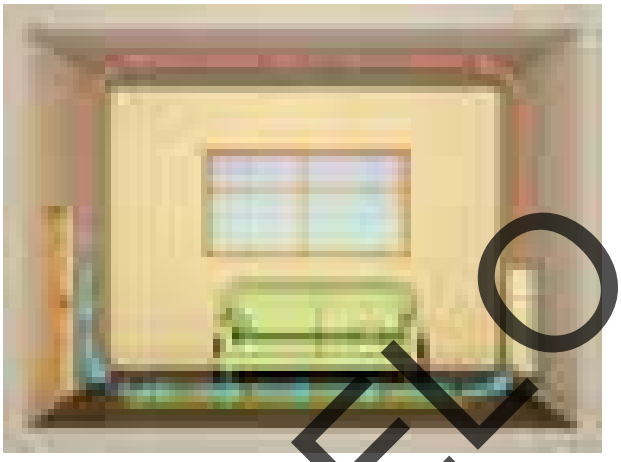
Slično se odvija i prenošenje toplote u posudi s vodom. Kada zagrijavamo posudu na dnu, topla voda se kreće prema gore, a hladna se spušta prema dolje, stvarajući jasno vidljive struje ukoliko u vodu stavimo malo boje ili ako u nju stavimo drvenu piljevinu.

PROSVETNO DELO

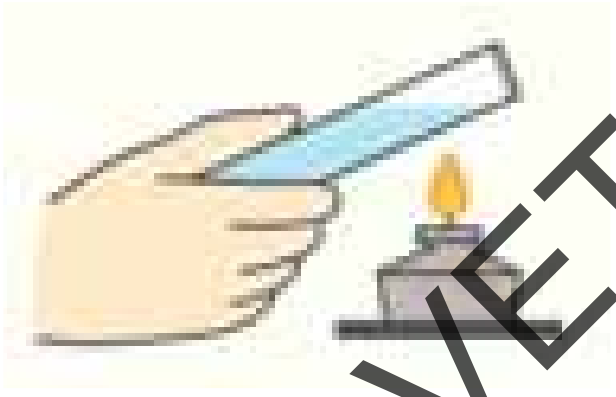
Konvekcija ima ogroman značaj i u prirodi. Vjetar je rezultat strujanja ogromne mase zraka. Topli slojevi zraka podižu se prema gore, a hladni se spuštaju na površinu Zemlje.

U morima i okeanima postoje konvektivne struje koje prenose toplotu i omogućavaju biološku ravnotežu. Najpoznatiji primjer konvektivnog kretanja je Golfska struja, koja predstavlja kretanje tople vode duž obale Zapadne Evrope, čineći klimu u ovim područjima mnogo toplijom i pogodnijom za život.

U domaćinstvima centralno grijanje funkcioniše pomoću konvekcije: radijatori zagrijavaju okolinu tako što se topli zrak podiže prema gore, a hladni se spušta i ponovo zagrijava.



Slika 2. Konvekcija toplotne energije u domu.



Slika 3. Ako se tečnost zagrijava u gornjem dijelu epruvete, toplotna energija neće se prenijeti prema dnu epruvete.

Važno je razumjeti da se konvekcija može pojaviti samo kod tečnosti i gasova jer se kod njih čestice mogu translatorno kretati.

Ako se tečnosti ili gasovi zagrijavaju odozgo, tada gornji slojevi, nakon što se zagriju, ostaju gore zbog male gustine, a hladni slojevi ostaju dolje i ne mogu se podići. Pri ovakvom zagrijavanju toplota se ne prenosi ravnomjerno, pa zato tečnosti i gasove uvijek treba zagrijavati odozdo kako bi se omogućilo strujanje.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Konvekcija kod tečnosti

U širu prozirnu posudu naspi vodu sobne temperature. Na jedan kraj posude stavi plastičnu bocu s toplom vodom. Na suprotni kraj stavi plastičnu bocu s ledom. U blizini boce s toplom vodom nakapaj nekoliko kapi crvene prehrambene boje. U vodu kod boce s ledom nakapaj nekoliko kapi plave prehrambene boje. Posmatraj kretanje boja. Kako se kreće crvena boja, a kako plava? Šta možeš zaključiti o gustini tople i hladne vode?

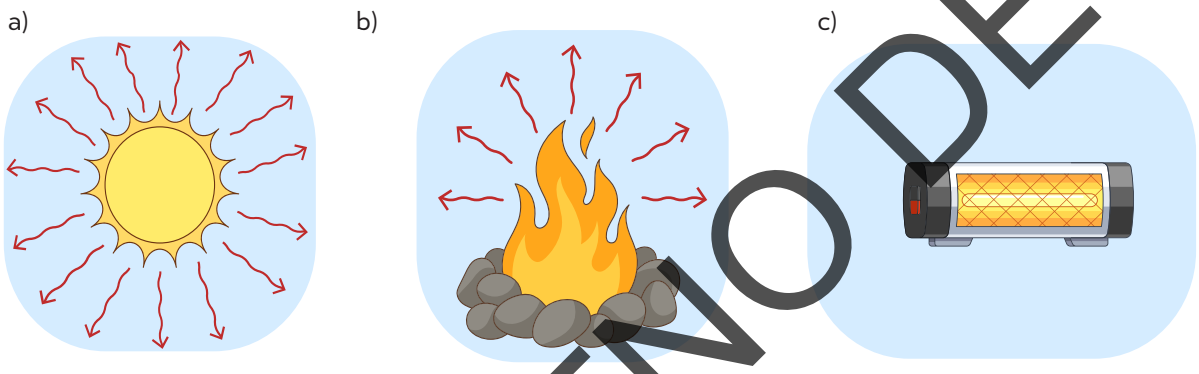
2. Konvekcija kod gasova

Na rastojanju od gotovo 40 cm postavi dvije posude, pri čemu se u jednoj nalazi led, a u drugoj vruća voda. Neka nastavnik zapali mirisne štapiće kako bi stvorio dim. Približi štapiće posudama bez dodirivanja.Kakvo je kretanje dima kada je štapić u blizini tople posude, a kakvo kada je u blizini hladne posude? Šta možeš zaključiti o gustini zraka u blizini tople i hladne posude?

Radijacija (zračenje)

Postoje situacije kada se toplota prenosi iako između tijela nema zraka, druge sredine ili pak tijela nisu u kontaktu. Ovo je moguće zahvaljujući zračenju ili radijaciji, procesu pri kojem se toplota prenosi toplotnim zracima.Prenošenje dijela unutrašnje energije s jednog tijela na drugo toplotnim zracima naziva se zračenje. Zračenje se može odvijati i u vakuumu. Naprimjer, Sunce zagrijava Zemlju zračenjem.

Zračenje se lako može osjetiti i u svakodnevnom životu. Kada stojimo pored logorske vatre ili termoakumulacione peći, toplota stiže do nas, iako zrak između nas i izvora nije zagrijan i slab je toplotni provodnik.



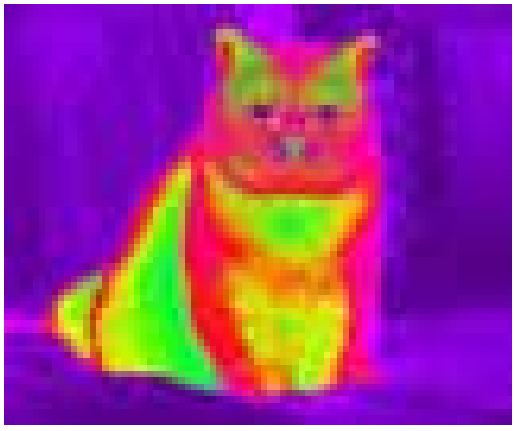
Slika 4. Prenošenje toplote zračenjem
a) sa Sunca b) od logorske vatre c) od grijalice.

Sva zagrijana tijela emituju toplotne zrake, kao što su Sunce, električna svjetiljka, peć, pa čak i naše tijelo. Što je viša temperatura nekog tijela, to je veća i količina svjetlosti i toplote koju zrači.

Površina tijela također ima veliku ulogu u procesu zračenja. Tamne i hrapave površine apsorbuju toplotnu energiju mnogo brže od svijetlih i glatkih. Zato se rezervoari za gorivo boje svijetlim bojama kako bi apsorbovali manje toplote, a ljudi ljeti nose svijetlu odjeću kako bi izbjegli pregrijavanje.

Zračenje je korisno i kada želimo zadržati toplotu. Termos ima dvostruke zidove i između njih se nalazi razrijeđen zrak kako bi se spriječila toplotna provodljivost, a unutrašnja površina je ogledalska, što smanjuje apsorpciju toplotnih zraka. Tako se sprečava gubitak toplote i tečnosti dugo ostaju tople.

Termalne kamere su uređaji koji omogućavaju da „vidimo“ toplotu, odnosno toplotno zračenje koje tijela emituju. Koriste se u medicini, građevinarstvu i sigurnosti.



Slika 5. Slika dobijena termalnom kamerom.

PROSVETNO DELO

Svako tijelo emituje toplotno zračenje. Termalna kamera registruje ove zrake i pretvara ih u termalnu sliku s različitim bojama prema temperaturi. Topli dijelovi prikazuju se crveno/žuto, a hladni plavo/ljubičasto (Slika 5).

AKTIVNOSTI

3. Utjecaj boje na zagrijavanje

Napuni vodom dvije iste limenke. Jednu limenku omotaj bijelim papirom, a drugu crnim papirom. Postavi limenke na sunčano mjesto ili ih osvijetli svjetiljkom. Izmjeri temperaturu vode u obje limenke na početku. Svakih 5 minuta izvrši mjerenje temperature u obje limenke. Napravi pet mjerenja. Grafički predstavi zavisnost temperature od vremena za bijelu i crnu limenku. Šta možeš zaključiti? Koja se limenka brže zagrijava?

4. Mjerenje temperature kod različitih materijala

Istovremeno izloži sunčevoj svjetlosti ili svjetlosti električne lampe komade asfalta, betona, pijeska, trave, zemlje, stakla, lima i slično. U istim vremenskim intervalima izmjeri temperaturu svakog materijala.

Iste materijale stavi u hlad i ponovo izmjeri njihovu temperaturu. Dobijene vrijednosti prikaži tabelarno i grafički. Analiziraj rezultate i poveži toplotna svojstva različitih građevinskih materijala s njihovim utjecajem na globalno zagrijavanje i klimatske promjene.

ZA 5+

Kada jedno toplo tijelo zrači energiju, ta energija se širi u svim smjerovima i raspoređuje na sve veću površinu kako se udaljavamo od izvora. Što se posmatrač ili drugo tijelo nalazi dalje, to će manji dio ukupne emitovane energije stići do njega. Zato se intenzitet zračenja, koji predstavlja toplotnu energiju koju jedno tijelo prima po jedinici svoje površine u jedinici vremena, smanjuje proporcionalno recipročnoj vrijednosti kvadrata rastojanja. Matematički, zavisnost između intenziteta zračenja I i rastojanja od izvora r opisuje se formulom:

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

gdje je P ukupna emitovana energija u sekundi (snaga) tijela, a $\pi = 3{,}14$.

Iz ove formule može se vidjeti da ako rastojanje od izvora povećamo dva puta, intenzitet postaje četiri puta manji.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Tamne pješčane pustinje tokom dana mogu se zagrijati iznad 70 °C, a tokom noći temperatura se smanjuje i do 10 °C.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

Josef Stefan (1835–1893)



Slovenski fizičar Josef Stefan jedan je od osnivača savremene Teorije toplotnog zračenja. On je eksperimentalno utvrdio da je snaga zračenja koju emituje jedno zagrijano tijelo po jedinici površine proporcionalna četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature.

Ovo otkriće danas je poznato kao Stefan-Boltzmannov zakon, jer je u objašnjenju toplotnog zračenja značajan doprinos dao i austrijski naučnik Ludwig Boltzmann.

Stefan je svojim radom pomogao da se razumije priroda toplotnih zraka i uloga površine i temperature tijela pri zračenju. Njegovo istraživanje osnova je za razvoj termosa, termičke izolacije, toplotnih i klimatskih modela. Koristi se i danas za izračunavanje zračenja zvijezda, uključujući i Sunce.

PITANJA I ZADACI

1. Zašto se konvekcija ne može pojaviti kod željezne šipke, ali može kod vode?
2. Zašto je zrak u sobi bliže plafonu topliji, a bliže podu hladniji?
3. U pustinji temperatura zraka tokom dana dostiže 45 °C, a navečer pada ispod 10 °C. Objasni kako zračenje i konvekcija utječu na ove ekstremne temperaturne razlike.
4. Zašto radijator brzo zagrijava zrak u prostoriji uprkos tome što je zrak slab provodnik toplote?
5. Opiši načine prenošenja toplotne energije u situaciji prikazanoj na slici.



ZAPAMTI

- Strujanje ili konvekcija je proces prenošenja toplote premještanjem čestica supstance s jednog mjesta na drugo.
- Prenošenje toplote strujanjem pojavljuje se kod tečnosti i gasova.
- Prenošenje toplotne energije s jednog tijela na drugo toplotnim zracima naziva se zračenje.
- Zračenje toplotnih zraka zavisi od temperature tijela i svojstava njegove površine.

PROSVETNO DELO

2.12. SPECIFIČNI TOPLOTNI KAPACITET

POJMOVI

specifični toplotni kapacitet (c)

Svako tijelo može povećati ili smanjiti temperaturu primanjem ili predavanjem toplote. Međutim, tijela napravljena od različitih supstanci ne zagrijavaju se istom brzinom. Ako se ista količina toplote dovede dvama tijelima koja su na istoj početnoj temperaturi, ona će se zagrijati do različitih temperatura. Naprimjer, ljeti, na plaži, možemo primijetiti razliku u temperaturi između pijeska i vode. Iako pijesak i vodu u jezeru od jutra zagrijava Sunce, pijesak je mnogo zagrijaniji od vode. Razlog tome je što voda ima veliki specifični toplotni kapacitet, a pijesak mali.

Specifični toplotni kapacitet je fizička veličina koja pokazuje koliko je toplote potrebno da se temperatura 1 kg mase neke supstance promijeni za 1 °C. Naprimjer, da bi se temperatura 1 kg vode povećala za 1 °C, potrebno je 4190 J toplote, a za 1 kg željeza za istu promjenu temperature potrebno je samo 450 J. Ako se voda, odnosno željezo, hlade za 1 °C, tada će predati isto toliko energije koliko su primili pri zagrijavanju. Osnovna mjerna jedinica za specifični toplotni kapacitet je $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}}$ ili $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^{o}\mathrm{C}}$ (prisjetite se da je temperaturna razlika od 1 K jednaka temperaturnoj razlici od 1 °C).

Veliki specifični toplotni kapacitet vode ima ogroman utjecaj na klimu. Okeani, mora i jezera, svojim velikim toplotnim kapacitetom, smanjuju razliku između dnevne i noćne temperature kopna u njihovoj blizini. U svakodnevnom životu, pak, primjećujemo da se metalne posude brzo zagrijavaju, ali je vodi u njima potrebno mnogo više vremena da proključa, što je još jedan dokaz da potrebna količina toplote zavisi i od vrste supstance.

U tabeli ispod date su vrijednosti specifičnih toplotnih kapaciteta nekih supstanci. Primjećujemo da voda, zbog velikog specifičnog toplotnog kapaciteta, ima izuzetno veliku sposobnost skladištenja toplote u obliku unutrašnje energije, a željezo veoma malu.

Supstanca	Specifični toplotni kapacitet c izražen u J/(kg·°C)
Voda	4190
Ulje	2000
Željezo	450
Aluminij	900
Beton	800

Tabela 1. Specifični toplotni kapaciteti nekih supstanci.

PROSVETNO DELO

Potrebna toplota Q za zagrijavanje jednog tijela (ili supstance) zavisi od njegove mase, od toga koliko želimo povećati njegovu temperaturu i od toga od koje je supstance napravljeno. To je dato sljedećom formulom:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \ ,$$

gdje je m masa tijela, c specifični toplotni kapacitet supstance od koje je tijelo napravljeno, t_1 početna temperatura tijela, a t_2 temperatura do koje će se tijelo zagrijati. Istu količinu toplote tijelo će morati predati da bi se ohladilo s temperature t_2 na temperaturu t_1.

Formula se može zapisati i u sljedećem obliku:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t ,$$

gdje je Δt promjena temperature tijela: $\Delta t = t_2 - t_1$.

U eksperimentalnim uslovima formula se može lako provjeriti. Ako na električnom rešou istovremeno zagrijavamo 250 g vode i 500 g vode u jednakim posudama, primijetit ćemo da se voda veće mase zagrijava sporije, odnosno njena temperatura sporije raste. U skladu s formulom, za postizanje iste temperature voda veće mase treba primiti veću količinu toplotne energije.

Ako, pak, izmjerimo vrijeme potrebno da se voda zagrije sa sobne temperature na 50 °C i sa 50 °C na 100 °C, vidjet ćemo da je potrebno više vremena da se voda zagrije za drugu temperaturnu razliku. Ovo potvrđuje da toplotna energija koju treba dovesti zavisi i od veličine temperaturne promjene.

Ako na električni rešo postavimo dvije posude s jednakim masama vode i ulja, koje su bile na sobnoj temperaturi, i neprestano mjerimo temperaturu, primijetit ćemo da se ulje mnogo brže zagrijava od vode. Ovo vodi do zaključka da promjena temperature zavisi i od vrste supstance. Jednaka masa vode i ulja prima istu količinu toplote, ali ulje brže dostiže višu temperaturu jer ima manji specifični toplotni kapacitet.

RIJEŠENI PRIMJER

Izračunaj koliko toplotne energije treba dovesti vodi mase 250 g da bi se zagrijala sa sobne temperature koja iznosi 20 °C na 90 °C. Specifični toplotni kapacitet vode uzmi iz tabele na prethodnoj stranici.

Dato:

$m = 250\,\text{g} = 0,25\,\text{kg}$

$t_1 = 20\,^\circ\text{C}$

$t_2 = 90\,^\circ\text{C}$

$c = 4190\,\dfrac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}}$

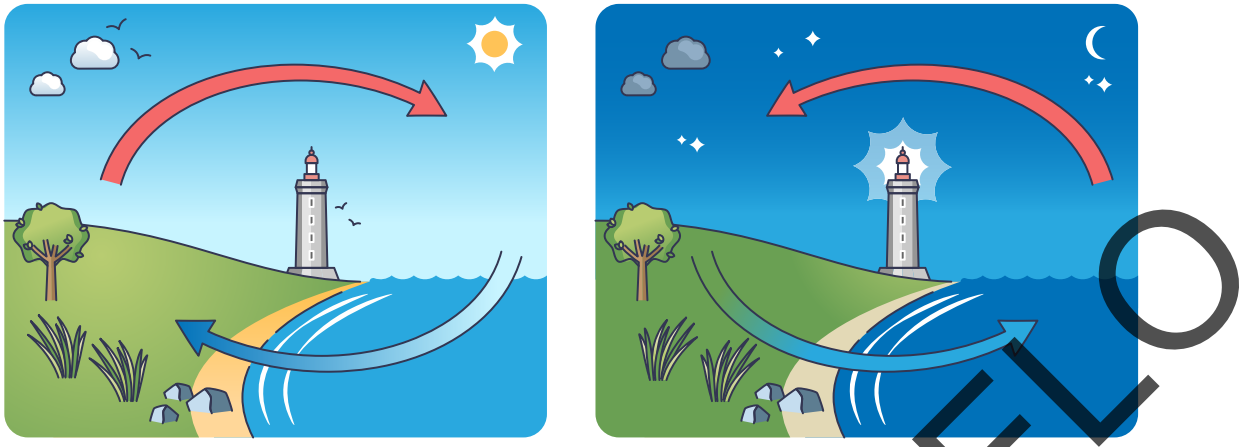
Traži se:

$Q - ?$

Količina toplote koju treba dovesti vodi je:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 0,25\,\text{kg} \cdot 4190\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}} \cdot \left(90\,^\circ\text{C} - 20\,^\circ\text{C}\right) = 73325\,\text{J} .$$

PROSVETNO DELO



Slika 1. Strujanje zraka s kopna prema moru i obrnuto, danju i noću.

Brzina zagrijavanja supstanci ima važnu ulogu u prirodi. Primjer za to je strujanje zraka u blizini morske obale, koje se pojavljuje zbog razlike u zagrijavanju i hlađenju kopna i mora. Budući da se kopno danju zagrijava brže od vode, zrak iznad kopna se podiže, a hladniji zrak s mora puše prema kopnu.

Noću se događa suprotno. Budući da se voda u moru sporije hladi, zrak iznad mora se podiže, a hladni zrak s kopna kreće se prema moru, odnosno hladan vjetar puše prema moru. Ovakva pojava može se primijetiti i u blizini jezera.

Zbog svog velikog specifičnog toplotnog kapaciteta, voda ima važnu ulogu u regulisanju klime. Strujanje zraka direktna je posljedica neravnomjernog zagrijavanja i hlađenja kopna i mora.

Značaj specifičnog toplotnog kapaciteta ogroman je u tehnici, energetici i svakodnevnom životu. U domaćinstvima se zna da će se ulje zagrijati brže od vode, pa zato pazimo kada kuhamo. U industriji sistemi za hlađenje moraju biti precizno projektovani – prema toplotnom kapacitetu tečnosti koje se koriste. U energetici se, pak, vrše detaljni proračuni o tome koliko je toplotne energije potrebno da bi se povećala temperatura velikih količina vode u termoelektranama ili industrijskim postrojenjima.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Brzina zagrijavanja supstance zavisi od njene mase.

Zagrijavaj dvije mase vode (250 g i 500 g) u jednakim posudama na električnom rešou. Svake dvije minute očitaj temperaturu vode u posudama. Rezultate unesi u tabelu. Izvrši pet mjerenja i nacrtaj grafik zavisnosti temperature vode od vremena zagrijavanja. Šta možeš zaključiti iz dobijenih rezultata?

2. Zagrijavanje različitih supstanci

Zagrijavaj jednake mase vode i ulja u jednakim posudama na električnom rešou. Svake dvije minute očitaj temperaturu vode i ulja. Rezultate unesi u tabelu. Izvrši pet mjerenja i nacrtaj grafik zavisnosti temperature vode i ulja od vremena zagrijavanja. Šta možeš zaključiti iz dobijenih rezultata? Da li je grafik identičan onom iz prve aktivnosti ili postoje neke razlike? Postavi hipotezu zašto se rezultati razlikuju.

ZA 5+

Često se za različita tijela definiše i toplotni kapacitet tijela koji pokazuje kolika je količina toplote potrebna da se zagrije cijelo tijelo. Prema tome, toplotni kapacitet za dato tijelo je proizvod specifičnog toplotnog kapaciteta supstance c od koje je tijelo izgrađeno i njegove mase, odnosno: $C = c \cdot m$.

Potrebna toplota da bi se tijelo zagrijalo za temperaturnu razliku Δt, kada je dat toplotni kapacitet, izračunava se sljedećom formulom:

$$Q = C \cdot \Delta t.$$

Toplotni kapacitet nekog tijela pokazuje koliko toplotne energije to tijelo treba primiti ili predati da bi se njegova temperatura promijenila za 1 °C.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Najveći specifični toplotni kapacitet ima vodik (H_2), pa je zato i jedan od najboljih toplotnih izolatora. Specifični toplotni kapacitet vodika iznosi 14300 J/(kg • K).

POZNATI NAUČNIK

Joseph Black (1728–1799)



Joseph Black bio je škotsko-irski ljekar i hemičar koji je prvi uveo pojam specifičnog toplotnog kapaciteta. On je došao do zaključka da je različitim supstancama potrebno dovesti različitu količinu toplotne energije kako bi se postigla ista promjena temperature. Njegovi eksperimenti pokazali su da voda ima izuzetno veliki specifični toplotni kapacitet, što je kasnije postalo osnova za razumijevanje klimatskih procesa i sistema grijanja.

Također, Black je otkrio i koncept latentne toplote, opisujući da pri topljenju ili isparavanju supstanca može primiti velike količine toplote bez promjene svoje temperature. Ova otkrića imala su ogroman utjecaj na razvoj mašinstva, medicine i industrije.

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja specifični toplotni kapacitet?
2. Od kojih veličina zavisi količina toplote koju jedno tijelo prima ili predaje za odgovarajuću promjenu njegove temperature?
3. Koliko je toplote potrebno da 1 kg vode poveća temperaturu za 5 °C?
4. Željezna kocka mase 2 kg zagrijava se sa 20 °C na 80 °C. Izračunaj primljenu toplotu.
5. Jedan metalni blok mase 0,5 kg ima specifični toplotni kapacitet c = 500 J/(kg • °C). Koliko će se promijeniti njegova temperatura ako apsorbuje 5000 J toplote?

ZAPAMTI

- Specifični toplotni kapacitet je fizička veličina koja pokazuje koliko je toplote potrebno da se temperatura 1 kg neke supstance promijeni za 1 °C.

Potrebna toplotna energija za zagrijavanje jednog tijela zavisi od mase tijela m, od promjene temperature Δt i od specifičnog toplotnog kapaciteta c supstance od koje je tijelo napravljeno. Izračunava se formulom $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$.

PROSVETNO DELO

2.13. TOPLOTNA RAVNOTEŽA. ZAKON O OČUVANJU ENERGIJE

POJMOVI

kalorimetar

Kada se dva tijela različitih temperatura dovedu u kontakt, započinje prenošenje toplote s tijela više temperature na tijelo niže temperature sve dok se njihove temperature ne izjednače. Ovo stanje, u kojem više nema prenošenja toplotne energije između tijela, naziva se toplotna ravnoteža. Temperatura koju tijela imaju u trenutku izjednačavanja naziva se temperatura toplotne ravnoteže.

Proces izjednačavanja temperature odvija se u skladu sa Zakonom o očuvanju energije, koji glasi: Količina toplote koju predaje toplije tijelo jednaka je količini toplote koju prima hladnije tijelo, odnosno:

$$Q_1 = Q_2 \ ,$$

gdje je sa Q_1 označena toplota koju predaje toplije tijelo, a Q_2 je toplota koju prima hladnije tijelo.

Imamo tijelo mase m_1 koje je zagrijano na temperaturu t_1 i ima specifični toplotni kapacitet c_1. To tijelo predaje toplotnu energiju drugom tijelu mase m_2 koje je na temperaturi $t_2 < t_1$ i ima specifični toplotni kapacitet c_2. Smatrat ćemo da se energija prenosi samo s prvog na drugo tijelo i da nema gubitka toplotne energije u okolinu.

Nakon uspostavljanja toplotne ravnoteže oba tijela bit će na temperaturi t $(t_2 < t < t_1)$, koju možemo odrediti koristeći Zakon o očuvanju energije. Ako predata toplota prvog tijela iznosi $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t)$,a toplota koju prima drugo tijelo je: $Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)$, možemo zapisati:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2) \ .$$

Procesi predavanja, primanja toplote i izjednačavanja temperature mogu se pratiti i eksperimentalno pomoću kalorimetra. To je izolovana posuda namijenjena mjerenju toplotnih razlika bez gubitka energije u okolinu. U kalorimetru se miješaju supstance (tečnosti ili tečnost i čvrsta supstanca) različitih temperatura, pri čemu izmjerena temperatura toplotne ravnoteže omogućava izračunavanje toplote, mase ili specifičnog toplotnog kapaciteta neke od supstanci.Pri radu s



Slika 1. a) Kalorimetar s miješalicom b) Određivanje toplotnog kapaciteta čvrstog tijela pomoću kalorimetra.

PROSVETNO DELO

kalorimetrom u njega se postavlja termometar kako bi se pratila promjena temperature tečnosti, a kalorimetri obično imaju i miješalicu kako bi se postigla ravnomjerna raspodjela toplote u tečnosti (Slika 1).

RIJEŠENI PRIMJER

U kalorimetru se nalazi 0,25 kg vode na temperaturi od 20 °C. U kalorimetar se unosi metalna kuglica mase 0,15 kg na temperaturi od 70 °C. Temperatura toplotne ravnoteže bila je 23 °C. Izračunaj specifični toplotni kapacitet metala od kojeg je kuglica napravljena. Specifični toplotni kapacitet vode iznosi $4190\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^{\circ}\mathrm{C}}$.

Dato:

$m_1 = 0{,}15\,\mathrm{kg}$

$m_2 = 0{,}25\,\mathrm{kg}$

$t_1 = 70\,^{\circ}\mathrm{C}$

$t_2 = 20\,^{\circ}\mathrm{C}$

$t = 23\,^{\circ}\mathrm{C}$

$c_2 = 4190\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^{\circ}\mathrm{C}}$

Traži se:

$c_1 - ?$

Budući da je kuglica na višoj temperaturi od vode, ona predaje toplotu, a voda tu toplotu prima. Koristeći Zakon o očuvanju energije, imamo:

$$Q_1 = Q_2,$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2),$$

$$c_1 = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)}{m_1 \cdot (t_1 - t)},$$

$$c_1 = \frac{0{,}25\,\mathrm{kg} \cdot 4190\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^{\circ}\mathrm{C}} \cdot (23\,^{\circ}\mathrm{C} - 20\,^{\circ}\mathrm{C})}{0{,}15\,\mathrm{kg} \cdot (70\,^{\circ}\mathrm{C} - 23\,^{\circ}\mathrm{C})} = 446\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^{\circ}\mathrm{C}}.$$

Toplotna ravnoteža je proces koji se neprestano događa oko nas. Kada se čaša tople vode ostavi na stolu, ona predaje toplotu okolnom zraku sve dok se njena temperatura ne izjednači s temperaturom prostorije, pri čemu će se zrak neznatno zagrijati. Tijela neprestano razmjenjuju toplotu s okolinom sve do postizanja toplotne ravnoteže.

POZNATI NAUČNIK

Pierre-Simon Laplace (1749–1827))



Pierre-Simon Laplace bio je francuski matematičar i fizičar, poznat po ogromnom doprinosu mehanici, astronomiji i termodinamici. Zajedno s Antoineom Lavoisierom razvio je prvi ledeni kalorimetar, uređaj koji je mjerio toplotu koju tijelo oslobađa pri hemijskim reakcijama pomoću količine otopljenog leda. Ovaj uređaj predstavlja početak moderne kalorimetrije.

Laplace je prvi pokazao da se toplota može izmjeriti. Također, radio je na matematičkom formulisanju toplotnih procesa, ostavljajući trajan trag u razvoju nauke.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Led dodat u čašu sa sokom prima veliku količinu toplote dok se topi, a njegova temperatura održava se približno na 0 °C.

PROSVETNO DELO

ZA 5+

Kada jedno tijelo prelazi iz čvrstog u tečno stanje (topljenje) ili iz tečnog u gasovito stanje (isparavanje), njegova temperatura može ostati nepromijenjena, iako se tijelo zagrijava, odnosno neprestano mu se dovodi toplota. Energiju koja se koristi za raskidanje veza između čestica, a ne za povećanje temperature, nazivamo latentna toplota ili skrivena toplota. Latentna toplota topljenja je količina energije potrebna da se otopi jedinica mase supstance bez promjene temperature. Latentna toplota isparavanja još je veća jer se čestice moraju potpuno osloboditi iz tečnosti kako bi prešle u gas.

Latentna toplota topljenja ili isparavanja može se izračunati formulom:

$$Q = m\lambda,$$

gdje je Q toplota koju tijelo prima pri topljenju ili isparavanju, m je masa supstance, a λ je specifična latentna toplota topljenja ili isparavanja izražena u J/kg. Latentna toplota topljenja leda iznosi 334000 J/kg, a latentna toplota isparavanja vode iznosi 2260000 J/kg.

AKTIVNOST

1. Izrada kalorimetra i određivanje specifičnog toplotnog kapaciteta tijela ili tečnosti

Da bi izradio jednostavan kalorimetar, uzmi dvije tegle različite veličine tako da manja može stati u veću. U prostor između dvije tegle postavi izolacioni materijal, kao što su stiropor, pamuk ili tkanina, kako bi se smanjio gubitak toplote.

Na poklopcima tegli napravi male otvore kroz koje ćeš moći provući termometar za mjerenje temperature. U unutrašnju teglu stavi vodu poznate mase, čiju ćeš temperaturu izmjeriti termometrom.

Zatim u kalorimetar stavi topao ili hladan predmet (metalnu kocku), poznate mase, čiju ćeš temperaturu prije stavljanja u kalorimetar također izmjeriti. Poklopci obje tegle neka budu zatvoreni tokom mjerenja. Izmjeri temperaturu toplotne ravnoteže i izračunaj specifični toplotni kapacitet tijela. Specifični toplotni kapacitet vode je poznat.

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja toplotna ravnoteža?
2. Kako se toplota prenosi između dva tijela različitih temperatura?
3. Kako glasi Zakon o očuvanju energije u procesu toplotne ravnoteže?
4. U kalorimetru se nalazi 200 g vode na temperaturi od 80 °C, u koju se stavlja 100 g vode na temperaturi od 20 °C. Izračunaj temperaturu toplotne ravnoteže. Pritom pretpostavljamo da nema gubitka toplote u okolinu.
5. Ako se nepoznati metal mase 120 g, zagrijan na 100 °C, stavi u 200 g vode na 20 °C, a ravnotežna temperatura iznosi 24 °C, izračunaj specifični toplotni kapacitet metala. Pritom treba smatrati da nema gubitka toplote u okolinu.

ZAPAMTI

- Kada se dva tijela zagrijana na različite temperature dovedu u kontakt, toplota se prenosi s toplijeg na hladnije tijelo, odnosno s tijela više na tijelo niže temperature.
- Prenošenje toplotne energije traje sve dok oba tijela ne postignu toplotnu ravnotežu.
- Količina toplote koju predaje toplije tijelo jednaka je količini toplote koju prima hladnije tijelo, ako nema gubitaka u okolinu.

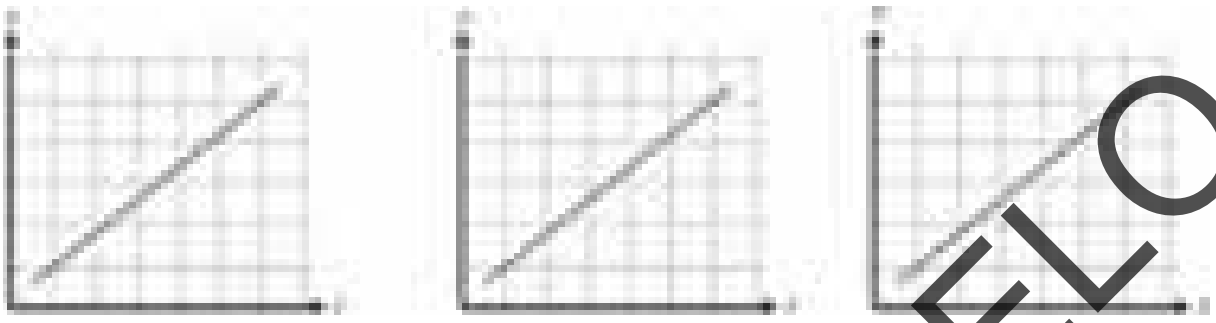
PROSVETNO DELO

TEMA 2.
PITANJA I ZADACI
ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE

1. Nabroj tri supstance izgrađene od atoma i tri od molekula.
2. Ako dvije supstance imaju jednaku masu i različitu gustinu, šta se može reći o njihovoj zapremini? Objasni pomoću čestičnog modela.
3. Zašto se gasovi mogu komprimovati, a tečnosti i čvrsta tijela ne?
4. Objasni kako se miris hrane brzo širi kroz kuhinju.
5. Zašto med teče „sporije“ od vode? Kako je to povezano s međumolekularnim silama?
6. Kako se mijenjaju raspored i kretanje čestica kada čvrsto tijelo prelazi u tečnost?
7. Jedna supstanca se topi na tačno određenoj temperaturi, a druga omekšava s povećanjem temperature i istovremeno se može nalaziti i u tečnom i u čvrstom agregatnom stanju. Šta se može reći o unutrašnjoj strukturi materijala?
8. Objasni zašto temperatura u °C može biti negativna, a u K ne može.
9. U laboratoriji temperatura se povećala sa 298 K na 308 K.
   a) Za koliko K se povećala temperatura?
   b) Koliko iznosi ovo povećanje u °C?
10. U eksperimentu se prati hlađenje vode sa 80 °C na 20 °C. Izmjereno je da voda gubi 5 °C svakih 10 minuta. Nacrtaj grafik zavisnosti temperature vode od vremena. Šta predstavlja nagib grafika?
11. Tačka topljenja žive je 234,32 K, dok tačka ključanja iznosi 629,85 K. U kojem agregatnom stanju se nalazi živa na temperaturi od −45 °C, a u kojem na 370 °C?
12. Zašto staklene boce mogu pući ako se napune ključalom vodom?
13. Dužina bakarne žice zagrijavanjem se povećala sa 50,00 cm na 50,06 cm. Koliko iznosi promjena dužine?
14. Čelični cilindar mase 2 kg i zapremine 0,00025 m^3 zagrijava se i zapremina se povećava za 0,2 %.
   a) Kolika je zapremina cilindra nakon njegovog zagrijavanja?
   b) Kako se mijenja gustina cilindra njegovim zagrijavanjem?
15. Zašto se različite tečnosti ne šire jednako pri istoj promjeni temperature?
16. Kako se toplotno širenje tečnosti koristi u tečnim termometrima?
17. Posuda sadrži 1 L vode na 20 °C. Kolika će biti zapremina vode ako se nakon njenog zagrijavanja povećala za 0,2 %?
18. U cilindru s klipom nalazi se zrak zapremine 1,2 L na temperaturi od 300 K. Temperatura gasa povećava se na 450 K pri konstantnom pritisku.
   a) Izračunaj novu zapreminu.
   b) Izračunaj koliko puta se promijenila gustina zraka.
19. Pritisak automobilske gume je 220 kPa pri temperaturi od 15 °C. Nakon vožnje temperatura zraka u gumi povećala se na 75 °C.
   a) Koliki će biti pritisak?
   b) Da li je sigurno voziti ako guma može izdržati maksimalni pritisak od 300 kPa?
20. Gas ima početni pritisak od 100 kPa i zapreminu 3 L. Kolika će biti zapremina ako se pritisak poveća na 150 kPa pri konstantnoj temperaturi?

PROSVETNO DELO

21. U cilindru s klipom nalazi se 500 cm³ gasa pod pritiskom od 80 kPa. Klip se kreće tako da zapremina postaje 125 cm³. Koliki će biti pritisak gasa?
22. Na kojem od grafika ispod je prikazan proces pri kojem se zapremina gasa ne mijenja?



23. Zašto nam je hladnije kada je majica koju nosimo vlažna?
24. Dva tijela imaju jednaku temperaturu. Da li tijela imaju jednaku unutrašnju energiju?
25. Za isparavanje 1 g vode potrebno je 2260 J energije. Izračunaj smanjenje unutrašnje energije učenika s čije su kože isparila 2 g vode.
26. Zašto je ljeti bolje nositi svijetlu odjeću, a zimi tamnu?
27. U dvije male boce stavlja se jednaka količina vode na temperaturi od 50 °C. Prvu bocu omotavamo aluminijskom folijom, a drugu vunenom tkaninom. Nakon 15 minuta temperatura vode u prvoj boci smanjila se za 15 °C, a u drugoj za 5 °C. Koji materijal je bolji toplotni izolator i zašto?
28. U sobi visine 3 m temperatura zraka na podu je 22 °C, a ispod plafona 27 °C. Kako konvekcija stvara takvu raspodjelu temperature? Šta će se promijeniti ako se radijatori kojima se zagrijavala prostorija postave više?
29. Može li se u vakuumu toplota prenositi konvekcijom?
30. U stakleniku je izmjerena temperatura od 25 °C kada je temperatura izvan staklenika bila 4 °C. Objasni kako radijacija i konvekcija zajedno stvaraju ovu razliku. Zašto toplota „ostaje zarobljena“ unutra?
31. Izračunaj toplotnu energiju koju će osloboditi kocka leda sa stranicom od 5 cm ako se njena temperatura poveća sa −20 °C na −5 °C. Gustina leda iznosi 990 kg/m³, a specifični toplotni kapacitet leda 210 J/(kg • °C).
32. Metalno tijelo mase 0,5 kg hladi se sa 150 °C na 50 °C. Specifični toplotni kapacitet supstance od koje je tijelo izgrađeno iznosi 380 J/(kg • °C).
    a) Koliko je toplote tijelo izgubilo?
    b) Za koliko mu se smanjila unutrašnja energija?
33. Koje tijelo skladišti više toplote: 1 kg vode ili 1 kg željeza, zagrijani na istu temperaturu?
34. Zašto je klima u priobalnim područjima blaža nego u unutrašnjosti kontinenata?
35. Istraživač zagrijava 0,2 kg tečnosti A i 0,2 kg tečnosti B istom električnom pločom. Nakon 3 minute temperatura tečnosti A povećala se za 18 °C, a temperatura tečnosti B za 9 °C. Koja tečnost ima veći specifični toplotni kapacitet i koliko puta?
36. U 300 g vode na 25 °C stavlja se metalni predmet mase 150 g na 100 °C. Nakon izvjesnog vremena postiže se ravnotežna temperatura od 32 °C. Izračunaj specifični toplotni kapacitet metala ako je poznat specifični toplotni kapacitet vode.

PROSVETNO DELO

Tema 3:
ELEKTRICITET I MAGNETIZAM

U ovoj temi proučit ćeš kako se tijela naelektrišu i kako međusobno djeluju putem električnog polja. Razumjet ćeš da električna struja nije samo „žičica koja svijetli“, nego kretanje čestica koje se može pojaviti u nekim čvrstim tijelima, tečnostima i gasovima, te ćeš naučiti prepoznavati je po njenim efektima – svjetlosti, toploti, magnetizmu. Znat ćeš odrediti smjer struje u strujnom kolu i objasniti kako nastaje i teče.

Steći ćeš znanje o tome kako se zaštititi od strujnog udara, jer fizika brine i o našoj sigurnosti. Razmotrit ćeš svojstva magneta, njihove polove i međusobna djelovanja s magnetnim poljem te ćeš otkriti da su magnetne sile jednako stvarne i važne kao elektrostatičke.

Naučit ćeš povezivati električne i magnetne pojave i praviti poređenja između njih, otkrivajući da su one dio jedne velike priče, elektromagnetizma, koji je osnova savremene tehnologije. Od kompasa koji pokazuje sjever do motora koji pokreću svijet, razumjet ćeš da su ove nevidljive sile uvijek oko nas i neprestano oblikuju našu svakodnevicu.

PROSVETNO DELO

Rezultati učenja

Učenik/učenica će biti sposoban/sposobna:

- objašnjavati promjene pri naelektrisavanju tijela i njihovo međudjelovanje putem električnog polja;
- identifikovati protjecanje električne struje u metalima, tečnostima i gasovima putem njenih efekata, određivati smjer električne struje u strujnom kolu i objašnjavati njeno protjecanje/nastajanje;
- preduzimati mjere zaštite od strujnog udara;
- objašnjavati svojstva magneta i postojanje magnetnih sila putem njihovih međudjelovanja u magnetnom polju;
- povezivati električne i magnetne pojave i praviti poređenja između njih.

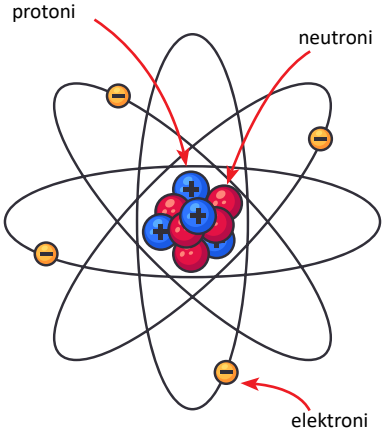
3.1. GRAĐA ATOMA. ELEKTRIČNI NABOJI

POJMOVI

atom | elektronski omotač | elektron | neutron | elementarni električni naboj | atomsko jezgro | ion | proton | kulon | količina elektriciteta | pozitivni ion – kation | negativni ion – anion

Građa atoma

Do kraja 19. stoljeća atomi su smatrani najmanjim građevnim česticama materije, odnosno česticama od kojih su sastavljeni hemijski elementi. Svaki hemijski element ima karakterističan atom s jedinstvenim karakteristikama. Prema najjednostavnijem modelu, atomi se mogu zamisliti kao veoma male čestice loptastog oblika.



Slika 1. Najjednostavniji grafički prikaz atoma – u jezgru se nalaze protoni i neutroni, a elektroni kruže oko jezgra.

Kasnije, krajem 19. i početkom 20. stoljeća, otkriveno je da atom, iako izuzetno mali, nije nedjeljiv, nego ima vlastitu unutrašnju strukturu. Danas znamo da se svaki atom sastoji od centralnog dijela nazvanog jezgro i elektrona koji se kreću oko njega. Prostor u kojem se mogu naći elektroni oko jezgra naziva se elektronski omotač.

Jezgro ima veliku gustinu i masu i u njemu se nalaze protoni i neutroni. Protone i neutrone zajedničkim imenom nazivamo nukleoni („nucleus“ na latinskom znači jezgro). Karakteristično je to da je kod svakog atoma broj protona jednak broju elektrona.

Atomi različitih elemenata razlikuju se prema broju protona u jezgru, a time i prema broju elektrona u elektronskom omotaču. Tako, naprimjer, atom vodika ima jedan proton u jezgru i jedan elektron u elektronskom omotaču, a atom kisika ima tačno osam protona i osam elektrona.

Na Slici 1 prikazan je atom s četiri protona u jezgru i četiri elektrona u omotaču. To je atom berilija (Be). Svaki element u Periodnom sistemu ima atome s tačno određenim brojem protona u jezgru, odnosno elektrona u elektronskom omotaču.

AKTIVNOST

1. Istraživanje atoma

O građi Periodnog sistema elemenata učio si na časovima hemije. Redni broj elementa u Periodnom sistemu jednak je broju protona u jezgru atoma tog elementa. Razmotri koliko protona imaju različiti elementi. Koji element ima atom s najvećim brojem protona u svom jezgru? Pokušaj ilustrovati neke od atoma lakših jezgara, kao što su Li, C, N, O. Broj neutrona u jezgrima neka bude jednak broju protona.

PROSVETNO DELO

Dvije vrste naboja

Naboj je karakteristika, odnosno svojstvo nekih čestica, slično masi. Neke čestice posjeduju to svojstvo, a druge ne. Čestice koje imaju naboj nazivamo naelektrisane čestice. Često se naelektrisane čestice nazivaju i nosioci naboja.

Eksperimentalno je utvrđeno da se u prirodi susreću samo dvije vrste naboja i prihvaćeno je da ih nazivamo pozitivni naboj i negativni naboj. Protoni imaju pozitivan naboj, elektroni negativan, a neutroni nemaju naboj i za njih kažemo da su elektroneutralni.

Električni naboj predstavlja fizičku veličinu koja se može izmjeriti. Koristi se i drugi termin, a to je količina elektriciteta. Simbol za količinu elektriciteta je q, a osnovna mjerna jedinica je jedan kulon $(1\ \mathrm{C})$. Preciznim eksperimentalnim mjerenjima utvrđeno je da je u prirodi najmanja moguća količina elektriciteta naboj elektrona i protona i da iznosi $1,6\cdot10^{-19}$ C .Ova količina elektriciteta nazvana je elementarni električni naboj.

Naboj je skalarna veličina. Ako je tijelo pozitivno naelektrisano, njegovu količinu elektriciteta zapisujemo kao pozitivnu veličinu, ali ako je tijelo negativno naelektrisano, njegovu količinu elektriciteta zapisujemo kao negativnu veličinu.

Tako za naboj protona možemo zapisati:

i $q_{\mathrm{p}} = +1,6\cdot10^{-19}\ \mathrm{C}$, a za naboj elektrona možemo zapisati: $q_{\mathrm{e}} = -1,6\cdot10^{-19}\ \mathrm{C}$. U prirodi ne postoji druga vrsta električnog naboja.

Budući da je broj protona i elektrona u atomu jednak, možemo zaključiti da je atom kao cjelina elektroneutralan. Zato su supstance i tijela u prirodi elektroneutralni, kao što su zrak, voda, balon, kosa, odjeća, češalj i mnogi drugi.

Kada je jedno tijelo elektroneutralno, to ne znači da u tijelu nema naboja, naprotiv, u njemu postoje i pozitivni i negativni naboji, samo što su oni u ravnoteži.

Čestice u sastavu atoma drže se zajedno kao pozitivne i negativne djelovanjem sila između njih. U jezgru između protona i protona, protona i neutrona te između neutrona i neutrona djeluju jake privlačne nuklearne (jezgrene) sile i zato protoni ili neutroni ne mogu lako napustiti jezgro.

S druge strane, sile koje drže elektrone oko jezgra slabije su od nuklearnih sila. Zato je mnogo lakše da jedan ili više elektrona napuste atom. Elektroni koji su najdalje od jezgra najlakše mogu napustiti atom jer je za njihovo uklanjanje potrebna najmanja energija.

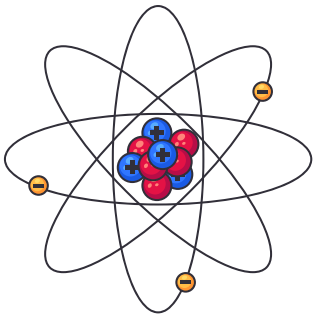
Kada jedan ili više elektrona napuste atom, tada taj atom postaje pozitivni ion (kation). Odvojeni elektroni mogu se vezati za neutralan atom i tada taj atom postaje negativni ion (anion).

Dakle, naelektrisani atom koji ima manjak ili višak elektrona nazivamo ion. Proces u kojem od neutralnog atoma nastaje ion nazivamo ionizacija.

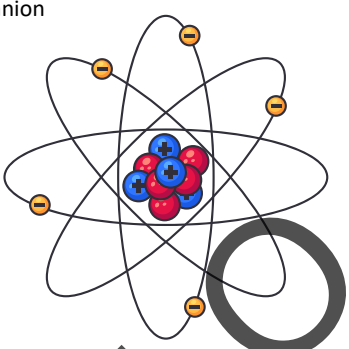
Osim što elektroni mogu napustiti atom, oni mogu napustiti jedno tijelo i preći na drugo tijelo. Na takav način dobijamo naelektrisana tijela. Naelektrisano tijelo ima ili višak elektrona ili manjak elektrona.

PROSVETNO DELO

a) kation



b) anion

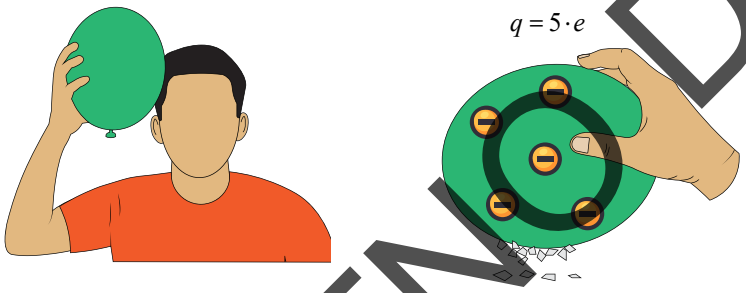


Slika 2.

a) Kation – broj elektrona manji je od broja protona.

b) Anion – broj elektrona veći je od broja protona.

Ako ima višak elektrona, tijelo je negativno naelektrisano. Ako ima manjak elektrona, ono je pozitivno naelektrisano.



Slika 3. Nakon trljanja balona o kosu, na njega je prešlo 5 negativnih elementarnih električnih naboja.

Iz eksperimenta prikazanog na Slici 3 možemo zaključiti da naboj bilo kojeg tijela možemo izraziti formulom:

$$q = n \cdot e,$$

pri čemu je n broj elementarnih električnih naboja (pozitivan cijeli broj), a e je veličina elementarnog električnog naboja.

RIJEŠENI PRIMJER

Koliko elementarnih naboja sadrži količina elektriciteta od 1 C.

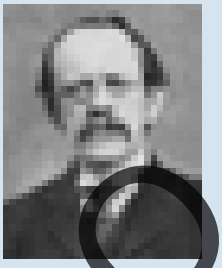
Dato:	a. Broj elementarnih električnih naboja koji se nalaze na tijelu koje je naelektrisano nabojem od 1 C je:
$q = 1\text{C}$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$ Traži se: $n - ?$	$q = n \cdot e \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{1\text{C}}{1,6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}} = 6,25 \cdot 10^{18}$

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Više od 99,9 % mase atoma nalazi se u jezgru. Elektron ima masu koja je približno 1836 puta manja od mase protona i približno 1839 puta manja od mase neutrona.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK



Joseph John Thomson (1856–1940)

Thomson je bio engleski fizičar koji je ostavio dubok trag u razvoju moderne atomske fizike. On je 1897. godine proveo niz eksperimenata kojima je pokazao da atom nije nedjeljiva čestica. U svojim eksperimentima primijetio je čestice veoma male mase i negativnog električnog naboja.

Ove čestice danas se nazivaju elektroni i prve su građevne čestice atoma koje je čovjek otkrio. Thomson je svojim otkrićem razbio mit o atomu kao nedjeljivoj čestici i otvorio vrata modernoj Teoriji atoma.

Osim što je otkrio elektron, Thomson je predložio jedan od prvih modela strukture atoma – poznati model atoma „puding s grožđicama“, u kojem su elektroni ugrađeni u pozitivno naelektrisano jezgro veličine atoma, slično zrnima grožđica stavljenim na površinu pudinga.

Thomson je dobio Nobelovu nagradu za fiziku 1906. godine za svoja istraživanja električne provodljivosti kod gasova.

ZA 5+

Ako je jedno tijelo naelektrisano pozitivnim, a drugo negativnim nabojem, pri međusobnom dodiru dolazi do preraspodjele tog naboja. Ako su oba tijela naelektrisana jednakom količinom naboja, ali suprotnog predznaka, nakon dodira oba tijela postaju elektroneutralna. Ako dodirnemo dva tijela jednakih dimenzija, pri čemu prvo tijelo ima naboj q1, a drugo tijelo q2, svako od tijela nakon dodira imat će naboj koji se može izračunati jednačinom:

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

Posljednja jednačina važi samo ako tijela imaju jednake dimenzije. Ako su tijela naelektrisana nabojima suprotnog predznaka, naboj pozitivno naelektrisanih tijela treba uzeti kao pozitivnu veličinu, a naboj negativno naelektrisanih tijela kao negativnu veličinu.

Preraspodjela naboja u zatvorenom sistemu nastaje prema Zakonu o očuvanju električnog naboja, prema kojem se ukupni naboj u izolovanom sistemu ne mijenja.

PITANJA I ZADACI

1. Ako je broj protona u jezgru atoma i broj elektrona u elektronskom omotaču jednak, koliki je ukupni naboj atoma?
2. Koja čestica u jezgru nema električni naboj?
3. Jedno tijelo ima manjak od $5 \cdot 10^{12}$ elektrona. Da li je pozitivno ili negativno naelektrisano?
4. Koliko elementarnih naboja sadrži električni naboj od $3,2 \cdot 10^{-19}$ C?
5. Izračunaj električni naboj ako tijelo ima višak od $5 \cdot 10^{12}$ elektrona.

ZAPAMTI

- Atom je izgrađen od atomskog jezgra (protona i neutrona) oko kojeg se kreću elektroni.
- Najveći dio mase atoma nalazi se u atomskom jezgru.
- U prirodi postoje dvije vrste naboja (pozitivni i negativni).
- Osnovna mjerna jedinica za količinu elektriciteta je jedan kulon (1 C).
- Naboj elektrona naziva se elementarni električni naboj.

PROSVETNO DELO

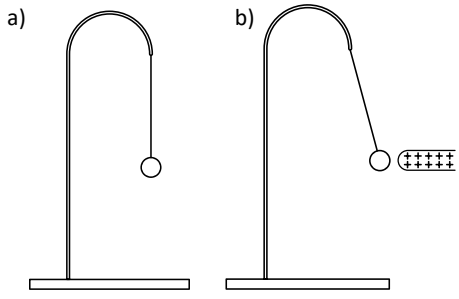
3.2 NAELEKTRISAVANJE TIJELA

POJMOVI

električna influencija/indukcija | elektroskop | elektrometar

Naelektrisana tijela

Jedna od sila koje djeluju na daljinu jeste elektrostatička sila koja djeluje između tijela koja su naelektrisana. Ako su dva tijela naelektrisana istom vrstom naboja (kažemo istoimeno naelektrisana), ona se odbijaju, a ako su naelektrisana suprotnim električnim nabojima (kažemo raznoimeno naelektrisana), tijela se privlače. Da bismo utvrdili da li je neko tijelo naelektrisano, koristimo međudjelovanje s drugim naelektrisanim tijelom.



Slika 1. a) Elektrostatičko klatno u ravnotežnom položaju, b) Pri približavanju naelektrisanog tijela elektrostatičkom klatnu, kuglica se otklanja iz ravnotežnog položaja.

Da li je tijelo naelektrisano, najjednostavnije se može provjeriti elektrostatičkim klatnom (Slika 1a). Elektrostatičko klatno je lagana kuglica napravljena od stiropora, pluta ili srži biljke zove, koja je obješena o konac koji ne provodi naboj. Pri približavanju naelektrisanog tijela kuglici, ona se pomjera, odnosno tijelo privlači kuglicu, kao što je prikazano na Slici 1b. Ako kuglici elektrostatičkog klatna približimo nenaelektrisano tijelo, ona se ne pomjera iz ravnotežnog položaja.

Drugi uređaj za utvrđivanje da li je neko tijelo naelektrisano jeste elektroskop. On se sastoji od dva metalna dijela koja nisu u dodiru. Prvi dio je unutrašnja šipka s metalnom kuglicom na vrhu (glava elektroskopa), koja se na donjem dijelu završava s dva tanka metalna listića, kao što je prikazano na Slici 2a. Da bi se izbjegli vanjski utjecaji, metalni listići smješteni su u cilindričnoj metalnoj kutiji koja je s obje strane zatvorena staklom. Ova kutija postavljena je na izolatorsko postolje.

Kada elektroskop nije naelektrisan, listići nisu razmaknuti. Ako se glava elektroskopa dodirne elektroneutralnim tijelom, položaj listića ostat će nepromijenjen. Ako na elektroskop dovedemo naboj dodirivanjem glave naelektrisanim tijelom, naboj se raspoređuje po unutrašnjoj šipki i listićima. Budući da se metalni listići istoimeno naelektrišu, oni se odbijaju, kao što je prikazano na Slici 2b. Ako su listići otklonjeni iz početnog položaja, možemo zaključiti da je tijelo kojim smo dodirnuli glavu elektroskopa naelektrisano.

Elektroskop sa skalom nazivamo elektrometar. Njime ne samo da možemo odrediti da li je neko tijelo naelektrisano nego možemo odrediti i veličinu naboja tijela kojim dodirnemo glavu elektrometra. Na Slici 3 prikazan je elektrometar kada je dodirnut pozitivno naelektrisanim tijelom. Elektrometar pokazuje otklon kazaljke. Na graduiranoj skali može se očitati veličina naboja.

PROSVETNO DELO

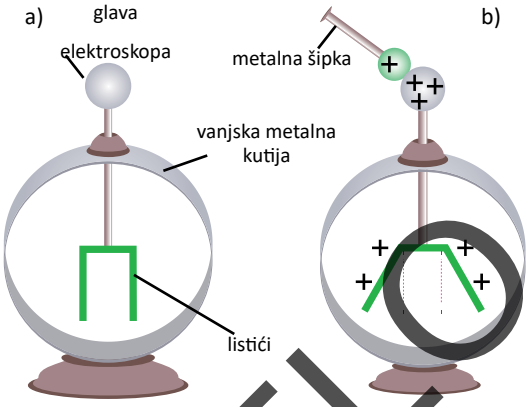
Naelektrisavanje tijela

Tijela se mogu naelektrisati na nekoliko načina: trenjem dva tijela, dodirom naelektrisanog tijela s nenaelektrisanim i elektrostatičkom influencijom.

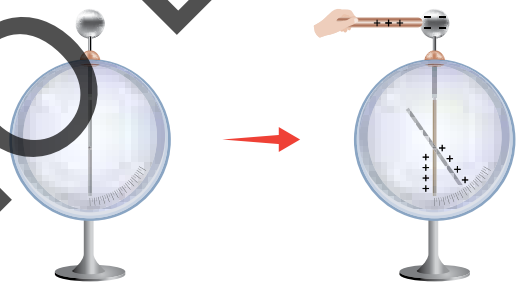
Naelektrisavanje tijela trenjem

Ako protrljamo plastičnu ili staklenu šipku vunenom krpom i približimo šipku sitnim listićima papira ili kosi, tada će listići papira i kosa biti privučeni prema šipki.

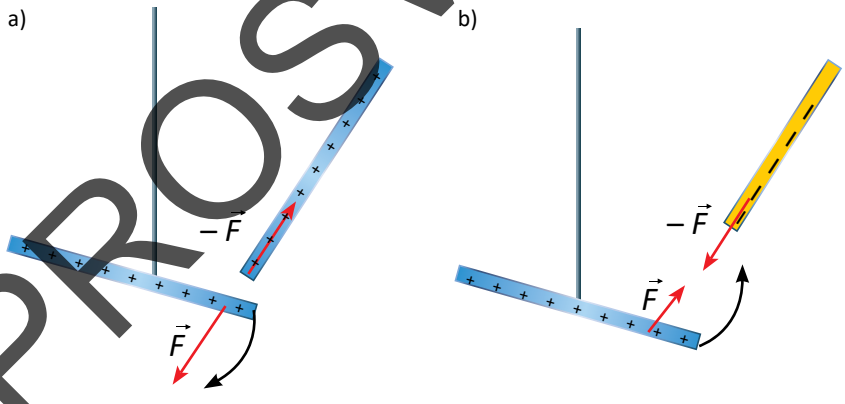
Ako dvije staklene šipke protrljamo vunenom krpom i jednu objesimo o konac tako da se može slobodno okretati, a zatim joj približimo drugu staklenu šipku, primijetit ćemo da se one odbijaju (Slika 4a). Međutim, ako staklenoj šipki koja je obješena o konac približimo plastičnu šipku, također protrljanu vunenom krpom, primijetit ćemo suprotan efekt, odnosno šipke se privlače (Slika 4b).



Slika 2. a) Elektroskop b) Tijelo kojim smo dodirnuli glavu elektroskopa je naelektrisano – metalni listići su razdvojeni.



Slika 3. Elektroskop i određivanje veličine naboja tijela kojim smo dodirnuli glavu elektrometra.



Slika 4. a) Odbijanje dvije naelektrisane staklene šipke
b) Privlačenje naelektrisane staklene i plastične šipke.

Trenjem se elektroneutralna tijela mogu naelektrisati. Staklena i plastična šipka naelektrisane su raznoimenim nabojima. Staklena šipka protrljana vunenom krpom naelektriše se pozitivno, jer je dio elektrona pri trenju sa stakla prešao na vunenu krpu. Plastična šipka protrljana vunenom krpom naelektriše se negativno jer je dio elektrona s vunene krpe prešao na plastičnu šipku.

PROSVETNO DELO

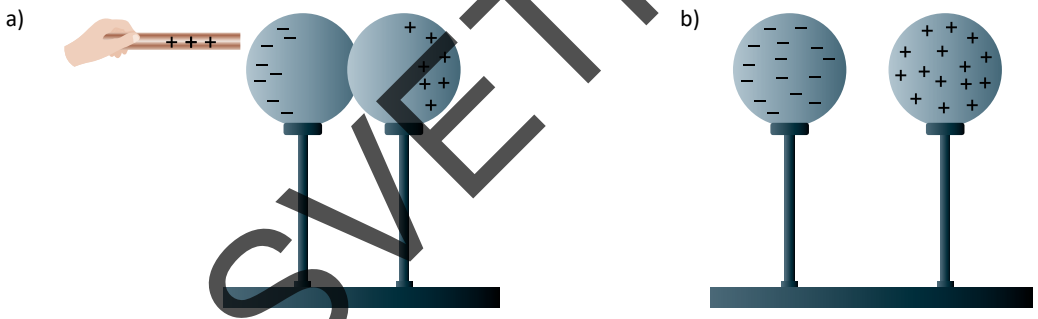
Naelektrisavanje tijela dodirom

Ako nenaelektrisano tijelo dodirnemo tijelom koje smo već naelektrisali, tada će se naboj rasporediti na oba tijela, tako da će nakon razdvajanja tijela dio naboja ostati na jednom tijelu, a dio na drugom. Ako nenaelektrisanu staklenu šipku, postavljenu na konac kao u prethodnom slučaju, dodirnemo drugom naelektrisanom šipkom i zatim ih razdvojimo, obje šipke bit će pozitivno naelektrisane. Ako pokušamo približiti jednu šipku drugoj, primijetit ćemo da će se one međusobno odbijati.

Naelektrisavanje tijela električnom influencijom

Ako dvjema metalnim kuglama koje se dodiruju, postavljenim na izolatorski stativ, približimo tijelo koje je, naprimjer, pozitivno naelektrisano, tada će se slobodni elektroni pod djelovanjem privlačne elektrostatičke sile kretati prema pozitivno naelektrisanom tijelu. Na taj način metalna kugla koja je bliže tijelu imat će višak elektrona, a udaljenija kugla imat će manjak elektrona.

Dok držimo naelektrisano tijelo u blizini prve kugle i malo razdvojimo spojene metalne kugle, tada će prva kugla biti negativno naelektrisana, a druga kugla pozitivno naelektrisana. Ovakav način naelektrisavanja moguć je samo kod metala i naziva se naelektrisavanje električnom influencijom ili električnom indukcijom.



Slika 5. Naelektrisavanje električnom influencijom; a) Prvoj kugli približeno je pozitivno naelektrisano tijelo, pa dolazi do naelektrisavanja tijela; b) Razdvajanjem kugli, tijela ostaju trajno naelektrisana jednakim nabojima suprotnog predznaka.

AKTIVNOST

1. Naelektrisavanje elektroskopa na dva načina

Protrljaj staklenu šipku vunenom krpom i dodirni njome glavu nenaelektrisanog elektroskopa. Šta primjećuješ? Kakvim nabojem je naelektrisan elektroskop? Razelektriši elektroskop tako što ćeš ga dodirnuti prstom.

Sada naelektriši elektroskop influencijom. Približi staklenu šipku, koju si ponovo protrljao vunenom krpom, glavi elektroskopa. Primijetit ćeš da su se listići razdvojili. Objasni pojavu. Gdje se sakupio negativni naboj elektroskopa, a gdje postoji manjak negativnih naboja?

Dok je šipka u blizini glave, dodirni glavu elektroskopa prstom. Na taj način negativni naboji prenose se u Zemlju. Ukloni prst i staklenu šipku. Kako je sada naelektrisan elektroskop?

PROSVETNO DELO

ZA 5+

Kada se dva naelektrisana tačkasta tijela nalaze u vakuumu, sila kojom međusobno djeluju zavisi od njihovih naboja i od rastojanja između njih. Sila kojom djeluju naboji naziva se Kulonova sila i njena veličina može se izračunati formulom:

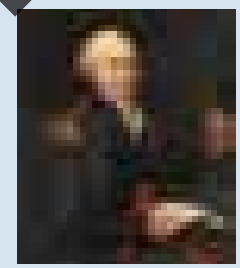
$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2},$$

gdje je sa F označena sila kojom tijela međusobno djeluju, *q1* i *q2* su veličine naboja, a *r* je rastojanje između dva naboja. Sa *k* označavamo konstantu proporcionalnosti, koja za vakuum iznosi:

$$k = 9\cdot 10^9 \frac{\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}^2}{\mathrm{C}^2}.$$

Budući da je svaka sila međudjelovanje između dva tijela, možemo zaključiti da Kulonova sila djeluje na oba naboja.

POZNATI NAUCNIK



Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806)

Coulomb je bio francuski inženjer i fizičar čija su istraživanja postavila temelje elektrostatike. Izradom svoje poznate torzione vage, Coulomb je prvi uspio otkriti od čega zavisi sila međudjelovanja između naelektrisanih tijela. Na osnovu ovih mjerenja formulisao je Kulonov zakon, prema kojem je sila između dva naelektrisana objekta proporcionalna proizvodu njihovih naboja i obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja između njih.

Ovaj zakon je fundamentalan za razumijevanje svih elektrostatičkih pojava. U čast njegovog rada, osnovna SI jedinica za električni naboj nazvana je kulon (C).

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Elektroskop je napravljen prije više od 400 godina i još uvijek se koristi na isti način.

PITANJA I ZADACI

1. Zašto se metalni listići elektroskopa razdvajaju kada približimo naboj?
2. Kako možeš utvrditi da li je nepoznato tijelo pozitivno ili negativno naelektrisano?
3. Dvije metalne kugle su u kontaktu. Približavamo pozitivno naelektrisano tijelo prvoj kugli, a zatim razdvajamo kugle. Opiši naboje obje kugle nakon razdvajanja.
4. Objasni razliku između elektrometra i elektroskopa.
5. Na koja tri načina se tijela mogu naelektrisati?

ZAPAMTI

- Naelektrisano tijelo je tijelo koje ima višak ili manjak elektrona.
- Istoimeni naboji se odbijaju, raznoimeni se privlače.
- Elektroskop je instrument kojim se može provjeriti da li je tijelo naelektrisano.
- Tijela se mogu naelektrisati trenjem, dodirom i influencijom.

PROSVETNO DELO

3.3. ELEKTRIČNO POLJE

POJMOVI

električno polje | električna sila | električne linije sile

Prisustvo nekog naboja u datoj tački mijenja sredinu ili prostor oko tog naboja. Iako to svojim čulima ne možemo osjetiti, ipak putem eksperimenata i istraživanja možemo otkriti šta se događa u prostoru oko datog električnog naboja.

Možemo početi poređenjem i razmotriti pojavu s kojom ste se već susreli. Na svako tijelo koje se nalazi u blizini Zemlje djeluje gravitaciona sila usmjerena vertikalno prema dolje. Ta sila ne bi djelovala kada Zemlja ne bi postojala.



Slika 1. Pravac i smjer djelovanja gravitacione sile Zemlje

Prostor oko Zemlje ima drugačija svojstva od prostora u svemiru, gdje nema zvijezda ili planeta. Kažemo da oko Zemlje postoji gravitaciono polje (Slika 1). Zbog gravitacionog polja Zemlje, tijela se privlače prema njenoj površini. Iako gravitaciono polje postoji u prostoru oko svakog tijela koje ima masu, u blizini Zemlje gravitaciono polje Zemlje je najveće.

Na Slici 1 prikazan je smjer gravitacione sile koja djeluje na tijelo koje se nalazi u gravitacionom polju Zemlje. Nacrtani vektori usmjereni su prema centru Zemlje, odnosno u radijalnom pravcu (vektori su normalni na površinu Zemlje).

Slično stvaranju gravitacionog polja oko Zemlje, i oko svakog naboja ili naelektrisanog tijela mijenja se prostor, odnosno kažemo da postoji električno polje. Za istraživanje električnog polja koristimo probni naboj. To je tačkasti naboj, po dogovoru pozitivan.

Sada, ako u prostor u kojem postoji električno polje dovedemo probni naboj, na taj naboj djelovat će sila koju nazivamo elektrostatička sila. Ako u prostoru u koji dovedemo probni naboj nema električnog polja, tada na njega ne djeluje elektrostatička sila.

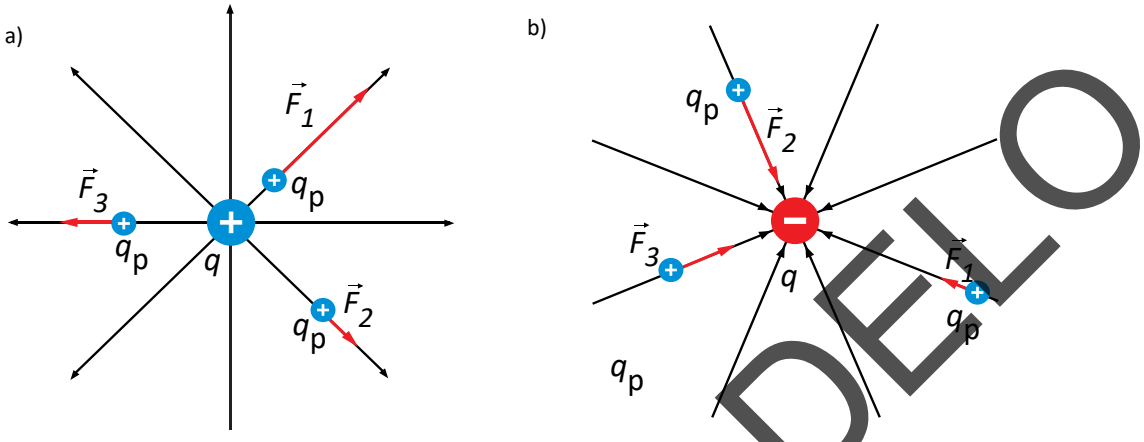
Ako pozitivno naelektrisanom tijelu približimo pozitivan probni naboj, tada će na taj naboj djelovati odbojna elektrostatička sila i on će nastojati da se udalji od tijela.

Obrnuto, ako negativno naelektrisanom tijelu približimo probni naboj, na njega će djelovati privlačna elektrostatička sila i on će biti privučen prema negativno naelektrisanom tijelu.

Na Slici 2a prikazan je probni naboj (q_p) doveden blizu pozitivno naelektrisanog tijela, a na Slici 2b isti probni naboj doveden blizu negativno naelektrisanog tijela. Na slici su

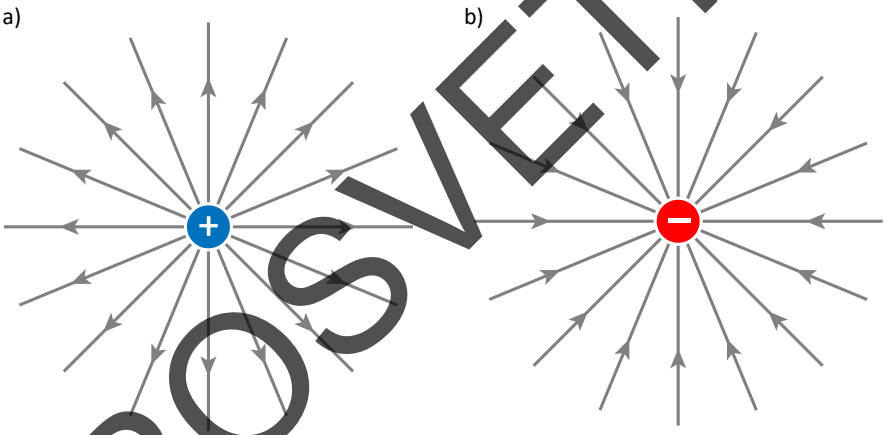
PROSVETNO DELO

prikazani i pravac i smjer sila koje djeluju na naboj.Elektrostatičke sile koje u oba slučaja djeluju na probni naboj, kao i gravitacione sile koje djeluju na tijelo u blizini Zemljine površine, imaju radijalni pravac.



Slika 2. Pravac i smjer elektrostatičke sile koja djeluje na probni naboj ako je tijelo naelektrisano a) pozitivno, b) negativno.

Za opisivanje elektrostatičkog polja koristimo električne linije sile. To su zamišljene linije duž čijeg pravca i u čijem smjeru djeluje električna sila na probni naboj. Prema tome, električne linije sile pružaju se u radijalnim pravcima od tijela i izlaze s površine pozitivnog, a završavaju se na površini negativnog naboja, kao što je prikazano na Slici 3.

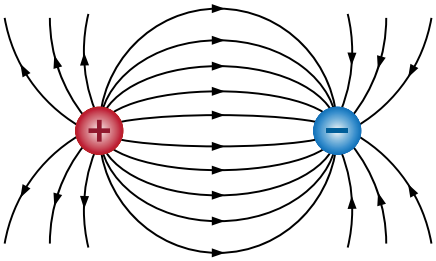


Slika 3. Električne linije sile kod a) pozitivnog naboja b) negativnog naboja.

Električne linije sile su otvorene linije i mogu biti prave i krive linije. Na osnovu gustine linija možemo odrediti gdje je električno polje jače. Veća gustina linija znači i veću jačinu polja. Broj linija sile koje prolaze kroz jedinicu površine na datom mjestu u prostoru određuje jačinu električnog polja.

Na Slici 4 prikazane su linije sile sistema od dva naboja dovedena na malo međusobno rastojanje. Može se primijetiti da linije sile imaju smjer od pozitivnog prema negativnom naboju i da su krive linije. U blizini naboja jačina električnog polja je najveća (zato što ima najviše linija sile po jedinici površine u prostoru), a što se više udaljavamo od naboja, jačina električnog polja se smanjuje.

PROSVETNO DELO



Slika 4. Linije sile kod sistema od dva raznoimena naboja.

Električno polje oko tačkastog naboja nije homogeno, odnosno nema istu jačinu u svakoj tački oko naboja. Na mjestima bližim naboju polje ima veću jačinu. Što se više udaljavamo od naboja, polje slabi.

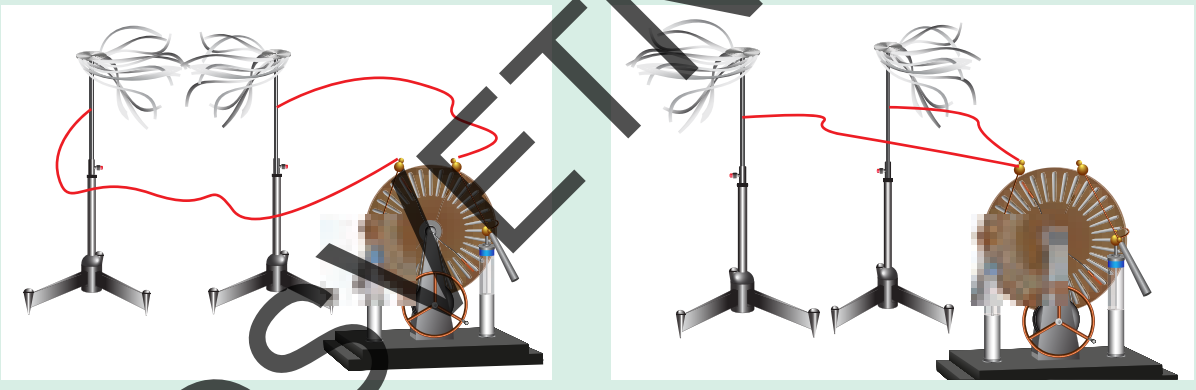
AKTIVNOST

1. Proučavanje električnih linija sile

Postavi dvije papirne kićanke na podlogu od izolatora. Primijeti kakve su papirne trake kada metalna kugla na kićanki nije naelektrisana.

Zatim metalne kugle obje kićanke spoji s krajevima influentne mašine ili Van de Graaffovog generatora, ako ga ima u školi. Posmatraj položaj papirnih listića kada su obje kićanke raznoimeno naelektrisane.

Umjesto papirnih listića, kićanke mogu biti od tekstila, naprimjer vune. Zatim obje kićanke spoji s istim polom influentne mašine. Posmatraj položaj papirnih listića kada su obje kićanke istoimeno naelektrisane.

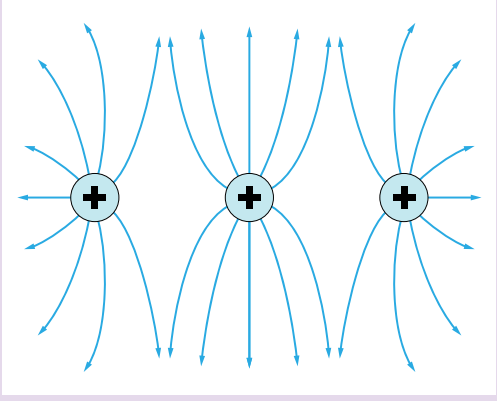


RIJEŠENI PRIMJER

Skiciraj električne linije sile sistema od tri tačkasta pozitivno naelektrisana naboja. Naboji su postavljeni na pravoj.

Rješenje: Budući da su svi naboji pozitivno naelektrisani, električne linije sile trebaju izlaziti iz njih.

Nadalje, budući da smatramo da u blizini ovog sistema nema negativnih naboja, ove linije trebaju se pružati daleko. Također, trebaš imati na umu da se linije ne sijeku jedna s drugom, kao što je prikazano na slici.



PROSVETNO DELO

Električne linije sile ne postoje kao stvarne linije u prostoru, nego su model koji nam pomaže da prikažemo polje. Linije sile ipak možemo vizualizovati, naprimjer, kao u aktivnosti s naelektrisanim kićankama.

AKTIVNOST

2. **Proučavanje jačine električnog polja pomoću interaktivne internetske stranice**

Otvori simulaciju „Naboji i polja“ (Charges and Fields) na internetskoj stranici:

https://phet.colorado.edu/en/simulations/charges-and-fields

Postavi jedan pozitivan tačkasti naboj i prikaži linije sile. Posmatraj pravce i smjerove električnih linija sile. Dodaj još jedan pozitivan naboj i primijeti kako se mijenjaju električne linije sile. Dodaj jedan negativan naboj između dva naboja i objasni kako se polje promijenilo dodavanjem trećeg naboja.

Pokušaj stvoriti situaciju u kojoj je polje približno homogeno. Stvori električna polja sistema naboja koji imaju različite veličine.

ZA 5+

Jačina električnog polja *E* u nekoj tački jednaka je sili *F* koja djeluje na jedinični probni naboj q_p. Prema tome, jačinu električnog polja možemo izračunati formulom:

$$E = \frac{F}{q_p}.$$

Jedinica za jačinu električnog polja je njutn po kulonu (N/C).

Ako u posljednju jednačinu uvrstimo jednačinu kojom se izračunava Kulonova sila međudjelovanja između dva naboja koja se nalaze u vakuumu, za jačinu električnog polja koje stvara naboj *q* na rastojanju *r* od naboja dobijamo:

$$E = k \cdot \frac{q}{r^2}.$$

Drugi način opisivanja električnog polja jeste električni potencijal. Potencijal u jednoj tački pokazuje koliku potencijalnu energiju ima jedinični probni naboj kada je postavljen na rastojanju r od naboja koji stvara polje.

Prema tome, za potencijalnu energiju koju ima probni naboj možemo zapisati:

.

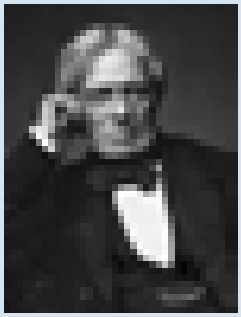
Potencijal koji stvara naboj q na rastojanju r od njega izračunava se sljedećom formulom:

.

Jedinica za električni potencijal je 1 džul po kulonu (1 J/C). U čast velikog italijanskog fizičara Alessandra Volte, ova jedinica naziva se i volt ($1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} = 1\mathrm{V}$) U obje jednačine sa *k* označavamo konstantu proporcionalnosti, koja za vakuum iznosi: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{C}^2}$. Jačina polja i potencijal dva su različita, ali povezana načina opisivanja električnog polja koje stvara dati naboj. Jačina polja, kao i sila, vektorska je veličina, a potencijal je skalarna veličina.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK



Michael Faraday (1791–1867)

Michael Faraday bio je engleski fizičar i hemičar koji je ostavio ogroman trag u razvoju elektriciteta i magnetizma. Potječe iz siromašne porodice i nije imao formalno visoko obrazovanje, ali je velikom radoznalošću i upornošću postao jedan od najvećih eksperimentatora u historiji nauke. On je prvi sistematski proučavao magnetne i električne pojave i pokazao da su one duboko povezane.

Faraday je uveo pojam polja kako bi objasnio kako djeluju sile u prostoru oko naboja i magneta. Umjesto da zamišlja „mistično" djelovanje na daljinu, zamišljao je linije sile, odnosno linije duž kojih će sila djelovati na mali probni naboj ili na magnet. Ovaj pojam danas je osnova cjelokupne nauke o elektricitetu i mnogi uređaji (elektromotori, transformatori, generatori) zasnivaju se na zakonima koje je Faraday eksperimentalno otkrio.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Elektrostatički filteri u fabričkim dimnjacima stvaraju jaka električna polja kako bi „uhvatili" naelektrisane čestice prašine i dima.

PITANJA I ZADACI

1. Kako se ostvaruje beskontaktno međudjelovanje između dva naboja?
2. Šta predstavljaju električne linije sile?
3. Objasni zašto uzimamo da električne linije sile izlaze iz pozitivnog naboja, a ulaze u negativni.
4. Kako određujemo jačinu polja pomoću električnih linija sile?
5. Tri tačkasta naboja postavljena su na pravoj, pri čemu su slijeva nadesno naboji:
   $q1 = +q$, $q2 = +q$, i $q3 = -q$.
   a) Nacrtaj kako bi izgledale linije sile sistema naboja.
   b) U kojem dijelu prostora polje ima najveću jačinu?

ZAPAMTI

- Svako naelektrisano tijelo stvara električno polje u prostoru oko sebe.
- Električne linije sile su zamišljene linije duž kojih je usmjerena električna sila koja djeluje na pozitivan probni naboj.
- Ako na probni naboj ne djeluje elektrostatička sila, u tom dijelu prostora nema električnog polja.
- Linije sile izlaze s površine pozitivnog naboja i završavaju se na površini negativnog naboja.
- Što su linije sile gušće, to je električno polje jače u tom dijelu prostora.
- Električno polje koje stvara tačkasti naboj je nehomogeno.

PROSVETNO DELO

3.4. ELEKTRIČNA STRUJA I IZVORI ELEKTRIČNE STRUJE

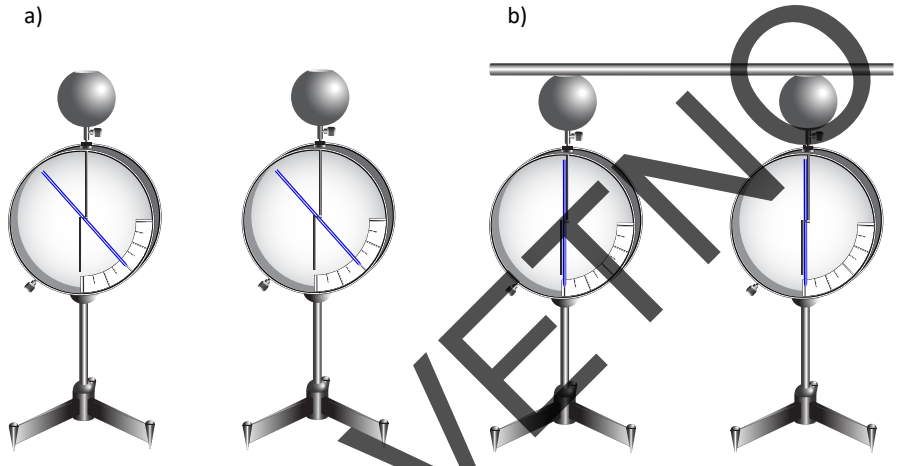
POJMOVI

slobodni elektroni | električna struja | usmjereno kretanje | provodljivost

naizmjenična struja | jednosmjerna struja | strujno kolo | smjer struje

U svakodnevnom životu neprestano se susrećemo s električnom strujom. Električni uređaji i aparati, kao što su sijalice, frižideri i računari, mogu funkcionisati samo ako su povezani na električnu mrežu i kroz njih teče struja. Da bismo razumjeli šta predstavlja električna struja, trebamo prvo razmotriti električne naboje i njihovo kretanje.

Ako se dva elektrometra naelektrišu jednakom količinom električnog naboja, ali suprotnog predznaka, njihove kazaljke pokazivat će jednak otklon. Jedan elektrometar ima višak elektrona, a drugi manjak elektrona.



Slika 1. Protok električne struje a) Elektrometri su bili naelektrisani jednakom količinom raznoimenih naboja b) Nakon spajanja metalnom šipkom nisu naelektrisani.

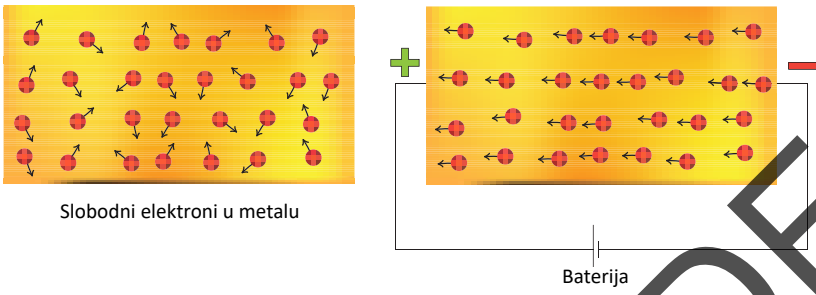
Kada se glave oba elektrometra spoje metalnom šipkom, kazaljke se vraćaju u početni položaj, odnosno oba elektrometra su elektroneutralna. Ovo pokazuje da su se električni naboji pokrenuli kroz metal i da to kretanje prestaje kada ni na prvom elektroskopu nema viška elektrona niti na drugom manjka elektrona.Time se pokazuje da kroz metal teče električna struja.

Kod metala postoji veliki broj slobodnih elektrona, odnosno elektrona koji nisu vezani za neki atom i mogu se slobodno kretati. Pod djelovanjem električnih polja koja stvaraju elektrometri, slobodni elektroni iz metalne šipke počinju se kretati od elektrometra s viškom elektrona prema elektrometru gdje postoji manjak elektrona. Zato kroz metale može teći električna struja.

Za supstance kroz koje može teći električna struja kažemo da imaju svojstvo električne provodljivosti.

PROSVETNO DELO

Kada metal nije u električnom polju, slobodni elektroni u njemu kreću se u svim pravcima (takozvano haotično ili toplotno kretanje). Kada se metal unese u električno polje, tada se elektroni počinju usmjereno kretati, kao što je prikazano na Slici 2. Upravo ovo usmjereno kretanje elektrona u metalima predstavlja protjecanje električne struje.

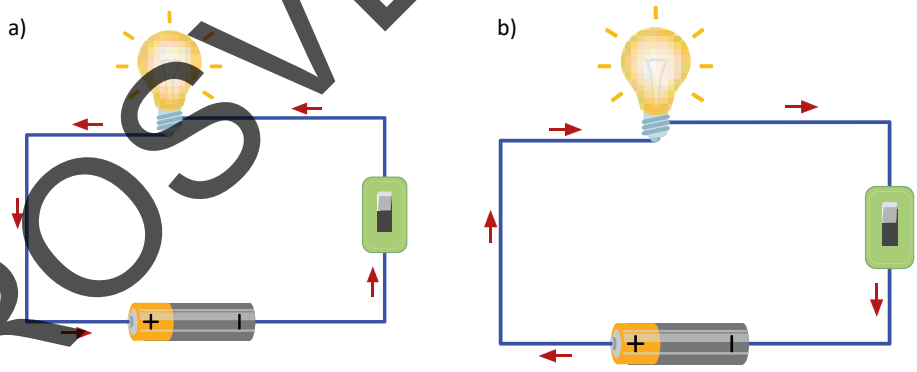


Slika 2. a) Haotično kretanje slobodnih elektrona u metalu b) Usmjereno kretanje slobodnih elektrona pod djelovanjem električnog polja koje stvara baterija.

Strujno kolo i smjer električne struje

Najjednostavnije strujno kolo (Slika 3) sastoji se od električnog izvora (naprimjer, baterije), metalnih žica kroz koje se kreću električni naboji, prekidača struje u kolu i potrošača električne energije (kao što su sijalica, motor ili LED-dioda).

Budući da su kod metala slobodni elektroni nosioci naboja koji se usmjereno kreću, u takvom kolu struja teče od negativnog pola izvora prema pozitivnom polu. Međutim, davno, kada se započelo s istraživanjem električne struje, malo se znalo o nosiocima naboja koji se usmjereno kreću.



Slika 3. Jednostavno strujno kolo a) Strelicama je prikazano usmjereno kretanje elektrona b) Strelicama je prikazan smjer tehničke struje.

Prva hipoteza bila je da se pozitivni naboji usmjereno kreću kroz supstance. Danas, iako znamo da to nije slučaj u mnogim situacijama, pri proučavanju protjecanja struje u strujnim kolima uzimamo da je smjer protjecanja struje od pozitivnog prema negativnom polu baterije.

Ovaj smjer naziva se dogovoreni smjer struje ili tehnički smjer struje i odgovara smjeru kretanja pozitivnih naboja.

PROSVETNO DELO

Da bi električna struja tekla u strujnom kolu, potrebno je ispuniti nekoliko uslova. Najprije, strujno kolo treba biti zatvoreno, bez prekida. Zatim, supstance kroz koje teče struja u strujnom kolu trebaju imati slobodne naboje. I konačno, mora postojati izvor koji će na svojim krajevima održavati stalno električno polje.

Struja ne teče samo kroz tijela u čvrstom agregatnom stanju. Provodna sredina kroz koju teče električna struja može biti u tečnom ili gasovitom agregatnom stanju. Metalne žice primjeri su supstanci kroz koje teče struja, a nalaze se u čvrstom agregatnom stanju.

Rastvori soli, kiselina i baza primjeri su supstanci u tečnom agregatnom stanju koje imaju električnu provodljivost. Pod određenim uslovima struja može teći i kroz gasove, kao što je slučaj pri električnom pražnjenju ili munji kroz zrak.

Jednosmjerna i naizmjenična struja

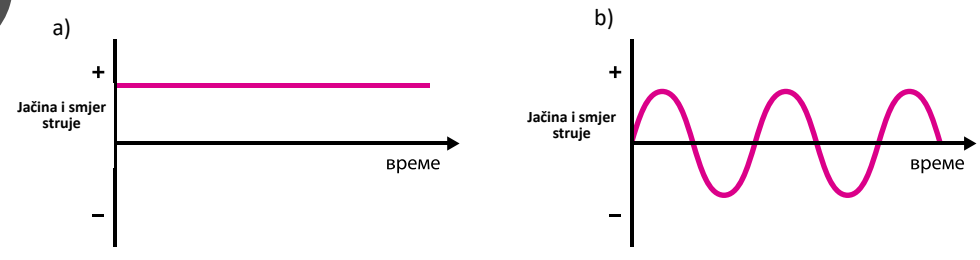
U zavisnosti od načina na koji izvor stvara električno polje, razlikujemo jednosmjernu (ili istosmjernu struju) i naizmjeničnu struju. Jednosmjerna struja teče u strujnom kolu kada u njega povežemo bateriju. Naboji se neprestano kreću u jednom smjeru. Ako jednosmjerna struja ima istu jačinu tokom vremena, kažemo da je riječ o stalnoj struji.

Naizmjenična struja, koju dobijamo uključivanjem potrošača u električnu mrežu, periodično mijenja i veličinu i smjer protjecanja. Električne centrale proizvode naizmjeničnu struju, dok baterije i solarni paneli omogućavaju protjecanje jednosmjerne struje.

Kakvu će struju stvarati neki izvor zavisi od načina na koji se jedna vrsta energije (mehanička, toplotna, svjetlosna ili hemijska) pretvara u električnu.

Potrošači električne energije obično se dijele na električne uređaje kroz koje može teći jednosmjerna struja, kao što su LED-sijalice, romobili, električni automobili, i električne uređaje koji funkcionišu na naizmjeničnu struju, kao što su frižider i električni bojler.

Postoje i mnogi električni uređaji koji koriste naizmjeničnu struju iz mreže, ali je unutar uređaja pretvaraju u jednosmjernu struju, kao što su računari.



Slika 4. Grafički prikaz a) Stalne jednosmjerne struje b) Naizmjenične struje.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Sijalica zasvijetli gotovo trenutno jer se električno polje u provodnicima uspostavlja veoma brzo, iako je brzina elektrona od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara u sekundi.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Proučavanje jačine i smjera protjecanja struje pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Sastavljanje strujnih kola AC – Virtuelna laboratorija“ (Circuit Construction Kit: AC - Virtual Lab) na internetskoj stranici:

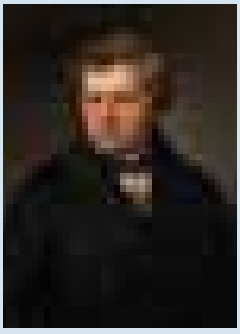
https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab

Pomoću žica poveži potrošač (sijalicu) s izvorom jednosmjerne struje (baterijom). Da li sijalica svijetli?

U desnom uglu aplikacije postavi da struja bude vidljiva, a zatim u jednom slučaju posmatraj kretanje elektrona (odaberi opciju „electrons“), a u drugom slučaju odaberi tehnički smjer struje (odaberi opciju „conventional“).

Šta primjećuješ? Kakvi su smjerovi kretanja elektrona u strujnom kolu, a kakav je smjer tehničke struje?

POZNATI NAUČNIK



Georg Ohm (1789–1854)

Ohm je bio njemački fizičar koji je značajno doprinio razumijevanju električnih pojava. On je pažljivo proučavao protjecanje električne struje kroz različite provodnike i prvi eksperimentalno utvrdio matematičku vezu između električnog polja u provodniku izraženog padom napona, jačine struje i električnog otpora – vezu koja je danas poznata kao Ohmov zakon.

Njegova otkrića omogućila su pravilno projektovanje električnih kola i uređaja, a u njegovu čast osnovna mjerna jedinica za električni otpor nosi naziv om (Ω).

ZA 5+

Jačina električne struje I predstavlja količnik količine naboja q koji prolazi kroz poprečni presjek provodnika u određenom vremenskom intervalu *t*. Jačinu struje možemo izračunati formulom:

$$I = \frac{q}{t}$$

PITANJA I ZADACI

1. Šta je električna struja?
2. Koja je razlika između toplotnog i usmjerenog kretanja elektrona?
3. Koji smjer uzimamo za smjer električne struje?
4. Navedi dva uređaja koja rade na jednosmjernu i dva koja rade na naizmjeničnu struju.
5. Navedi dva primjera protjecanja struje kroz gasove.

ZAPAMTI

- U odsustvu električnog polja naboji u provodniku kreću se haotično.
- Kada se na krajevima provodnika stvori električno polje, naboji se kreću usmjereno.
- U strujnom kolu elektroni se kreću od negativnog prema pozitivnom polu izvora.
- Tehnički smjer struje uzet je po dogovoru i to je smjer protjecanja od pozitivnog prema negativnom polu izvora.
- Električna struja može biti jednosmjerna i naizmjenična.

PROSVETNO DELO

3.5. IZVORI ELEKTRIČNE STRUJE

POJMOVI

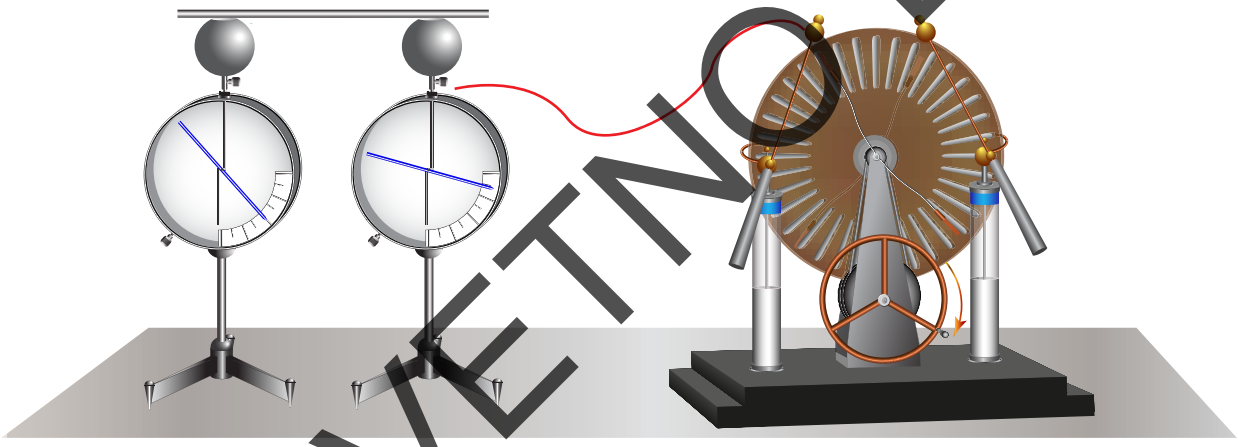
električni izvor

galvanski element

U prethodnoj lekciji razmatrali smo protjecanje električne struje kroz metalnu šipku nakon povezivanja elektrometara koji su bili raznoimeno naelektrisani. Međutim, protjecanje struje bilo je kratkotrajno, što se može primijetiti po tome što se kazaljka elektrometra odmah spustila u položaj koji pokazuje da elektrometar nije naelektrisan.

Višak negativnih naboja s jednog elektrometra brzo je prošao kroz metalnu šipku na drugi elektrometar. Nakon preraspodjele naboja nema električnog polja u provodniku, nakon čega struja prestaje teći.

Ako na jednom kraju metalne šipke nema viška naboja, tada nema šta stvarati to polje. Kada u provodniku postoji električno polje, ono omogućava kretanje naboja s jednog na drugi kraj provodnika.



Slika 1. Stvaranje stalnog električnog polja pomoću influentne mašine.

Da bi električna struja nastavila teći kroz provodnik, potrebno je stalno održavati električno polje. Jedan način da se to postigne jeste da na jedan elektrometar stalno dovodimo električni naboj.

Naprimjer, jedan elektrometar možemo povezati s jednim krajem influentne mašine. Okretanjem ručice mašine stvaramo elektrone koji se preko provodnika prenose na drugi elektrometar i struja neprestano teče.

Zapravo, na taj način mehanički rad pretvaramo u električnu energiju. Influentna mašina služi samo za demonstraciju stvaranja električnog polja i struje, ali nije praktičan izvor električne struje.

U stvarnosti, da bi se održalo protjecanje struje, koristimo uređaje u kojima je uskladištena hemijska energija. Takvi uređaji, povezani u strujno kolo, omogućavaju da struja neprestano teče.

Ovakav uređaj naziva se električni izvor, odnosno izvor električne struje. U svakom električnom izvoru neka vrsta energije pretvara se u električnu energiju. To pretvaranje može biti iz mehaničke u električnu, iz toplotne u električnu, iz svjetlosne u električnu, iz hemijske u električnu i slično.

PROSVETNO DELO

Galvanski element

Baterije su dio naše svakodnevice. Nalaze se u daljinskom upravljaču, računarskom mišu, zidnom satu, mnogim dječijim igračkama, mobilnom telefonu, računaru, električnom romobilu, električnom automobilu, robotima i mnogim drugim uređajima.

U prirodi postoji samo nekoliko izvora električne struje, kao što su, naprimjer, munja i neke podvodne životinje, poput električne jegulje. Međutim, za čovjeka su ovi izvori nedostupni, kratkotrajni i nepraktični za korištenje.

Zato je potreba za izvorima struje koje je napravio čovjek bila očigledna. Prvi uspješni pokušaji povezani su s radom dvojice italijanskih naučnika Luigija Galvanija i Alessandra Volte u drugoj polovini 18. stoljeća.

Tokom vremena izvori jednosmjerne struje bili su poboljšani, ali osnovni princip ostao je isti, a to je pretvaranje hemijske energije u električnu energiju. Zajedničkim imenom ovakve izvore nazivamo galvanski elementi ili hemijski izvori struje.

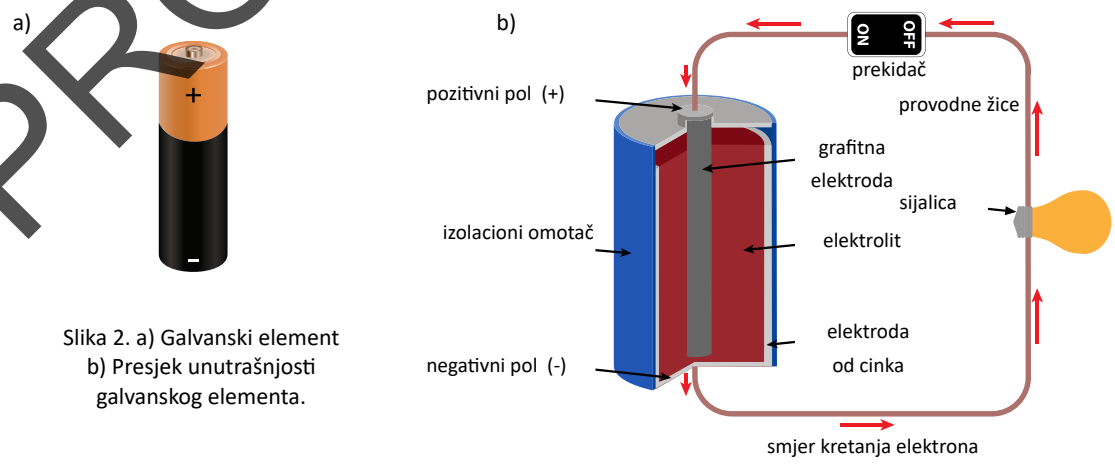
Galvanski element je uređaj u kojem se hemijska energija spontano pretvara u električnu energiju. Drugim riječima, to je izvor električne struje koji radi zahvaljujući kontrolisanim hemijskim reakcijama između različitih supstanci.

Na Slici 2 prikazan je galvanski element (elektrohemijska ćelija) koji najčešće ima cilindrični oblik. Galvanski element je uređaj koji služi kao izvor jednosmjerne električne struje, a njegova konstrukcija je takva da omogućava odvijanje hemijskih reakcija. Ima dva pola: pozitivni i negativni.

U najčešće korištenim galvanskim elementima vanjska metalna kutija izrađena je od cinka i ona je negativna elektroda, a u sredini baterije nalazi se ugljična (grafitna) šipka koja služi kao pozitivna elektroda.

Između dvije elektrode nalazi se elektrolit koji omogućava protok iona. Ovi dijelovi zajedno omogućavaju hemijske reakcije bez direktnog kontakta elektroda. Svaki galvanski element s vanjske strane obavijen je izolacionim materijalom.

Kada je galvanski element povezan u strujno kolo, u elektrolitu započinje hemijska reakcija, pri čemu cink (negativna elektroda) oslobađa elektrone.



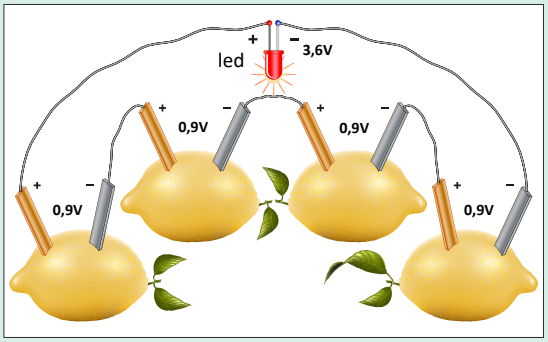
Slika 2. a) Galvanski element
b) Presjek unutrašnjosti galvanskog elementa.

PROSVETNO DELO

Ovi elektroni ne mogu proći kroz unutrašnjost baterije, pa se zato kreću kroz strujno kolo, odnosno od negativnog prema pozitivnom polu, pritom prenoseći energiju potrošaču koji je povezan u kolu. Istovremeno, elektrolit omogućava unutrašnje kretanje iona (atoma iz kojih su oslobođeni elektroni), čime se zatvara kolo i unutar galvanskog elementa omogućava neometano protjecanje struje u strujnom kolu.

Tako galvanski element stvara stalan protok elektrona sve dok ima dovoljno hemijske energije za oslobađanje elektrona iz atoma u elektrolitu. Kada u galvanskom elementu više nema hemijske energije, kažemo da se ispraznio.

AKTIVNOST



1. Podijelite se u grupe. Svaka grupa ima nekoliko LED-sijalica različitih boja, 4 limuna, 4 bakarne i 4 cinkove pločice i provodne žice.

Od ovih materijala za rad svaka grupa treba napraviti bateriju, odnosno sistem od četiri galvanska elementa povezana serijski. Električna shema povezivanja kola data je na slici.

Ovakav sistem predstavlja izvor struje i LED-sijalica će svijetliti. Istražite zašto struja teče kroz ovako dobijeno kolo. U kolo povežite različit broj limuna. U kojem slučaju sijalica svijetli najjače?

Galvanski element i baterija

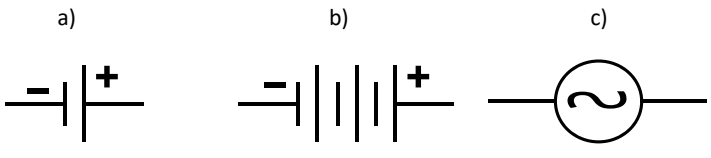
Izvor struje koji sadrži dva ili više povezanih galvanskih elemenata nazivamo baterija. Sigurno primjećujete da pojmovi koje koristimo u naučnoj terminologiji i oni u svakodnevnom govoru ponekad nemaju isto značenje.

Naprimjer, za jedan galvanski element od 1,5 V neodgovarajuće koristimo naziv baterija.

Na Slici 3a dat je simbol za galvanski element kao izvor jednosmjerne električne struje, na Slici 3b dat je simbol za bateriju, odnosno sistem od dva ili više galvanskih elemenata povezanih serijski, a na Slici 3c dat je simbol za izvor naizmjenične struje.

Danas je razvoj baterija u punom zamahu. Mnogi naučnici rade na stvaranju baterija koje će moći skladištiti velike količine električne energije u obliku hemijske energije. Potreba za takvim baterijama proizlazi iz sve većeg korištenja solarne energije za proizvodnju električne energije.

Solarni paneli proizvode električnu energiju tokom dana, koja će se, ako se skladišti u obliku hemijske energije u baterijama, moći koristiti i tokom noći.



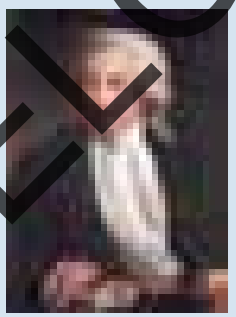
Slika 3. a) Simbol kojim se označava galvanski element b) Simbol za bateriju c) Simbol za izvor naizmjenične struje.

PROSVETNO DELO

Dodatno se istražuju i nove supstance za proizvodnju baterija koje neće zagađivati prirodu. Dio baterija koje se danas koriste sadrži otrovne supstance, pa zato njihovo prekomjerno korištenje i neodgovarajuće odlaganje u otpad može imati štetne posljedice po zdravlje čovjeka.

Zato baterije nikada ne treba rastavljati, čak ni kada su prazne, a uvijek kada se istroše, treba ih odlagati u posebne kontejnere namijenjene za baterije.

POZNATI NAUČNIK



Luigi Galvani (1737–1798)

Galvani je bio italijanski ljekar, anatom i prirodnjak koji je odigrao ključnu ulogu u otkrivanju fiziološkog djelovanja električne struje. Radeći kao profesor anatomije u Bolonji, Galvani je izvodio eksperimente s mišićima i nervima žaba i primijetio da se njihovi mišići grče kada se dodiruju metalnim predmetima.

Zaključio je da u živim organizmima postoji posebna vrsta elektriciteta, koju je nazvao „životna električna energija“, smatrajući da nervni sistem stvara i prenosi električne signale.

Iako je kasnije Alessandro Volta drugačije objasnio ulogu izvora električne struje u ovim eksperimentima, Galvanijev rad bio je presudan za razvoj elektrofiziologije – nauke koja proučava električne pojave u živim tkivima.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Smatra se da je prvi elektrolitni galvanski element u historiji napravljen u drevnom Babilonu. „Bagdadska baterija“ je arheološki artefakt star 2000 godina, za koji se smatra da je bio prvi izvor električne struje koji je napravio čovjek.

ZA 5+

U galvanskom elementu stvara se elektromotorna sila (EMS) – fizička veličina koja karakteriše sposobnost izvora da pokreće električne naboje. Ova veličina zapisana je na svakom galvanskom elementu i izražava se u voltima (V).

Istraži kakva je veza između elektromotorne sile izvora i jačine struje u strujnom kolu.

PITANJA I ZADACI

1. Zašto je struja koja teče između dva elektrometra kratkotrajna?
2. Zašto je u strujnom kolu potreban izvor električne struje?
3. Koja je uloga elektrolita u galvanskom elementu?
4. Koja je razlika između galvanskog elementa i baterije?
5. Navedi dva primjera izvora jednosmjerne struje.

ZAPAMTI

- Izvor električne struje je uređaj koji omogućava da struja neprestano teče kroz kolo.
- Galvanski element je uređaj u kojem se hemijska energija pretvara u električnu energiju.
- Galvanski element je izvor jednosmjerne struje.
- Baterija je sistem od dva ili više galvanskih elemenata.

PROSVETNO DELO

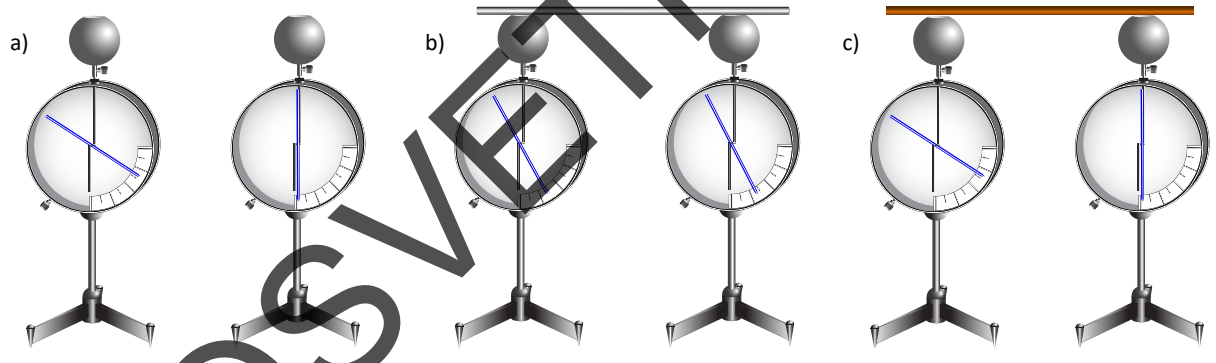
3.6. PROVODNICI, POLUPROVODNICI I IZOLATORI
POJMOVI

POJMOVI

provodnik | galvanski element | izolator

Različite supstance imaju različita fizička svojstva koja zavise od hemijskog sastava, unutrašnje strukture i od veza između atoma. Jedno od najvažnijih svojstava supstanci jeste njihova sposobnost da provode naboje.

Ako naelektrišemo elektrometar i metalnom šipkom ga spojimo s drugim nenaelektrisanim elektrometrom, primijetit ćemo da će se otklon kazaljke prvog elektrometra smanjiti, a otklon kazaljke drugog elektrometra povećati, kao što je prikazano na Slici 1. Ako je prvi elektrometar bio negativno naelektrisan, tada će dio tih elektrona, preko metalne šipke, preći na drugi elektrometar. Ako je, pak, prvi elektrometar bio pozitivno naelektrisan, dio slobodnih elektrona s drugog elektrometra preći će na prvi. U oba slučaja kažemo da električna struja teče kroz metal. Ako ponovimo eksperiment, ali sada spajajući elektrometre drvenom ili plastičnom šipkom, vidjet ćemo da se drugi elektrometar ne naelektriše, što znači da kroz ove materijale ne teče električna struja.



Slika 1. a) Naelektrisan i nenaelektrisan elektrometar b) Slobodni elektroni usmjereno se kreću kroz metalnu šipku c) Kroz plastičnu šipku nema usmjerenog kretanja elektrona.

Prema električnoj provodljivosti, supstance se dijele na provodnike, poluprovodnike i izolatore.

Provodnici i izolatori

Provodnici su supstance koje provode električnu struju. Takvi su metali koji imaju veliki broj slobodnih elektrona i dobro provode električnu struju. Najbolji provodnici među metalima su srebro, zlato i bakar. Kod metalnih provodnika, prenosioci naboja su slobodni elektroni. Metali imaju kristalnu strukturu. Neki elektroni, posebno oni koji su udaljeniji od jezgra, nisu čvrsto vezani za jezgro.

PROSVETNO DELO

To znači da u čvorovima kristalne rešetke postoje pozitivni joni, odnosno atomi kojima nedostaje jedan ili više elektrona. Ti elektroni ponašaju se kao slobodni i mogu se kretati između atoma. Kada se na krajevima metalnog provodnika stvori električno polje, slobodni elektroni u metalu počinju se usmjereno kretati.

Provodnici su i elektroliti, odnosno rastvori soli, baza i kiselina, pri čemu su nosioci naboja pozitivni i negativni joni. Joni u elektrolitima nastaju kao rezultat međudjelovanja između čestica vode i supstance rastvorene u vodi.

Gasovi u normalnim uslovima nisu provodnici, ali u njima mogu nastati slobodni elektroni i pozitivni joni, čijim usmjerenim kretanjem električna struja može teći kroz gasove.

Izolatori, kao što su plastika, guma, porculan, keramika, staklo, papir i suho drvo, ne provode električnu struju. U njima nema slobodnih prenosilaca naboja. Takve supstance, čak i ako imaju slobodne naboje (naprimjer, ako smo ih naelektrisali trenjem), oni se ne mogu slobodno kretati. Izolatori su i gasovi, kao i zrak u normalnim uslovima. Ipak, treba spomenuti da pri jakim električnim poljima ili ako se gasovi zagriju na visoku temperaturu, kroz njih može teći električna struja.



Slika 2. Provodne žice koje se koriste u elektrotehnici napravljene su od metala (najčešće bakra) i izolirane su od vanjske sredine izolatorom.

Poluprovodnici

Neke supstance pod određenim uslovima mogu se ponašati kao izolator, a pod drugim uslovima kao provodnik. Naprimjer, suho drvo je izolator, ali vlažno drvo može biti provodnik. Staklo je u normalnim uslovima izolator, ali se pri visokoj temperaturi ponaša kao provodnik. Zbog ovakvih promjena pri vanjskim uslovima, ne možemo povući oštru granicu između provodnika i izolatora. Pri povoljnim vanjskim uslovima, kod određenih supstanci može se povećati broj slobodnih nosilaca naboja.



Slika 3. Fluorescentne svjetiljke, općepoznate kao „neonke“, izvori su svjetlosti, pri čemu električna struja teče kroz razrijeđeni gas.

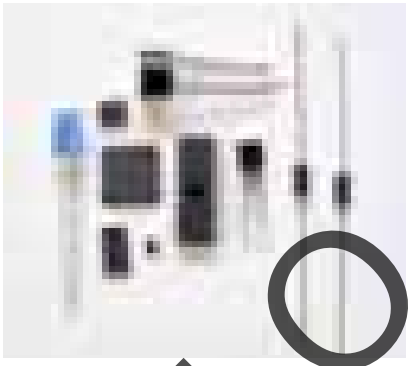
Poluprovodnici, kao što su silicij i germanij, imaju električnu provodljivost koja zavisi od temperature, od primjesa (ili nečistoća) u njihovom sastavu, pa imaju veliku primjenu u elektronici. Ove supstance su izolatori pri niskoj temperaturi, ali se njihova provodljivost povećava s povećanjem temperature, jer se na taj način povećava broj slobodnih nosilaca naboja. Poluprovodnici su osnova industrijske elektronike, automatike i robotike. Poluprovodnički uređaji (diode, tranzistori, integrisana kola) imaju malu potrošnju energije, a osnovni su dio gotovo svakog električnog uređaja.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Izolator ili provodnik

Materijale koje vidiš u svojoj učionici podijeli na provodnike i izolatore. Uporedi svoje rezultate s rezultatima koje su dobili drugi učenici. U kojim elektronskim uređajima koji se nalaze u učionici smatraš da ima poluprovodnika? Diskutuj o svom odgovoru.



Slika 4. Poluprovodnički strujni elementi: diode, tranzistori i integrisana kola.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Ako je metal dobar električni provodnik, najčešće je i dobar toplotni provodnik.

POZNATI NAUČNIK



William Shockley (1910–1989)

Shockley je bio američki fizičar i inženjer koji je napravio revoluciju u svijetu elektronike. Zajedno s Johnom Bardeenom i Walterom Brattainom, stvorio je prvi tranzistor 1947. godine, koji predstavlja mali poluprovodnički uređaj koji može pojačavati ili uključivati/isključivati električnu struju. Ova inovacija zamijenila je veliku, lako kvarljivu i energetski neefikasnu elektronsku cijev koja se do tada koristila u radioaparatima i elektronskim uređajima. Za njihov zajednički rad, Shockley i njegove kolege dobili su Nobelovu nagradu za fiziku 1956. godine, što je predstavljalo priznanje za jedan od najvažnijih izuma 20. stoljeća. Utjecaj tranzistora je ogroman: on je osnovni gradivni element u integrisanim kolima, mikročipovima i procesorima koje danas koristimo u svakom računaru, mobilnom telefonu, kalkulatoru, robotu ili pametnom uređaju.

PITANJA I ZADACI

1. Šta su provodnici i gdje se koriste?
2. U kojim slučajevima izolator može postati provodnik?
3. Zašto je zrak u normalnim uslovima izolator?
4. Zašto kažemo da je munja proticanje struje kroz gas?
5. Zašto su važni poluprovodnici?

ZAPAMTI

- Supstance koje dobro provode električnu struju nazivaju se električni provodnici.
- Supstance koje ne provode električnu struju nazivaju se električni izolatori.
- Poluprovodnici su supstance kod kojih se pri određenim vanjskim uslovima može povećati broj slobodnih nosilaca naboja.

PROSVETNO DELO

3.7 MJERE ZAŠTITE PRI KORIŠTENJU ELEKTRIČNE STRUJE

POJMOVI

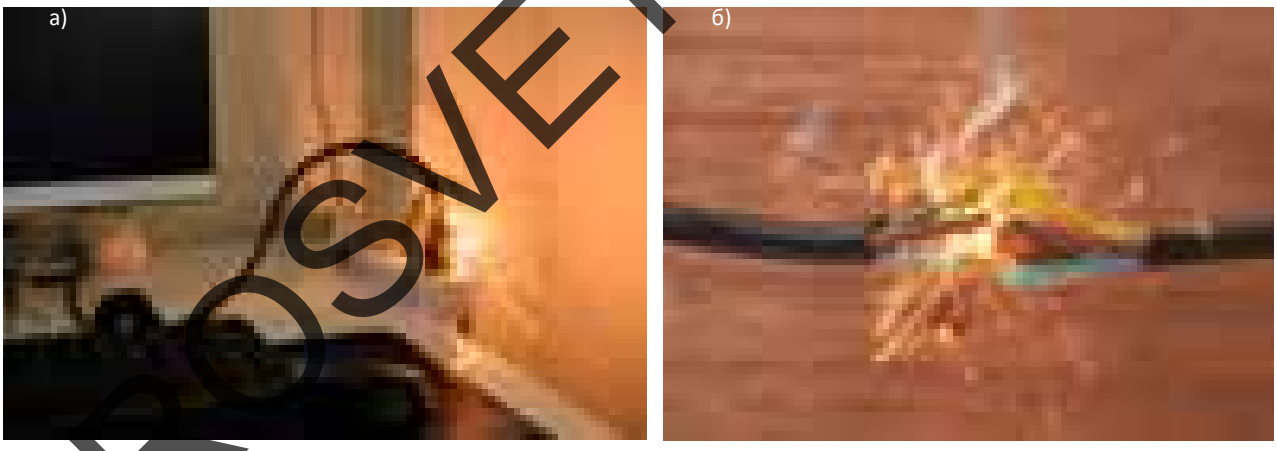
strujni udar

kratki spoj

Električna struja ima veliki značaj u domaćinstvima, industriji, zdravstvu i komunikacijama. Ona omogućava osvjetljenje, grijanje, rad električnih aparata i razvoj savremene tehnologije. Međutim, iako je veoma korisna, električna struja može biti i opasna ukoliko se ne koristi pravilno. Zbog toga treba poštovati odgovarajuće mjere zaštite pri njenom korištenju.

Zaštita pri korištenju električne struje

Najveća opasnost od električne struje je strujni udar, koji može izazvati ozbiljne povrede, opekotine, pa čak i smrt. Pri strujnom udaru električna struja prolazi kroz ljudsko tijelo. Strujni udar može nastati pri dodiru oštećenih električnih uređaja, neizoliranih provodnika ili pri korištenju električnih aparata u vlažnoj sredini. Osim toga, nepravilnom upotrebom električne struje mogu nastati i požari. Uzroci mogu biti različiti. Naprimjer, kratki spoj nastaje kada dva provodnika povezana s dva pola izvora dođu u direktan kontakt, a da između njih nije povezan neki potrošač.



Slika 1. a) Kratki spoj zbog preopterećenosti električne instalacije.

b) Kratki spoj kao rezultat izolacijskog materijala kojim su obloženi provodni kablovi.

Kratki spoj može nastati i ako dođe do dodira dva provodnika povezana s dva pola izvora zbog oštećenja izolacijskog materijala kojim su obloženi. U ovakvim slučajevima dolazi do proticanja veoma velike struje, pri čemu se mogu zapaliti zaštitni izolacijski slojevi provodnika. Drugi uzrok požara može biti preopterećenje električne instalacije, odnosno uključivanje mnogo potrošača istovremeno na isti priključak ili isti produžni kabl.

Jedna od najvažnijih mjera zaštite je dobra izolacija električnih provodnika. Provodne

PROSVETNO DELO

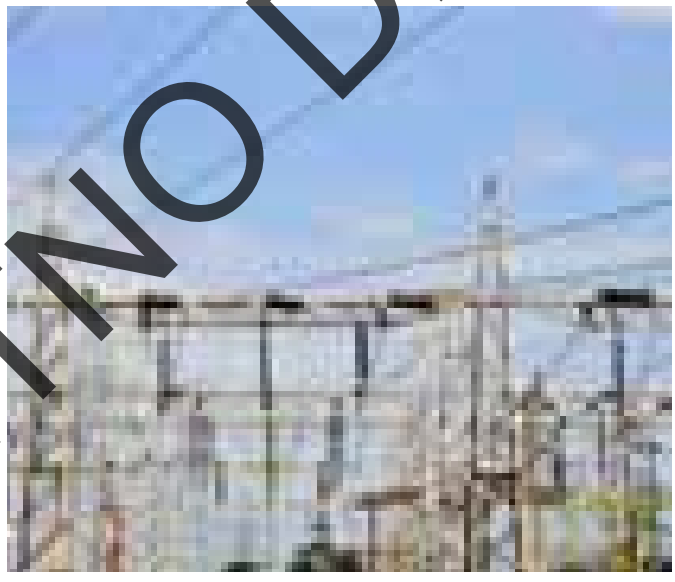
žice trebaju biti obložene izolacijskim materijalima koji sprečavaju direktan dodir s metalom. Također, u električnim instalacijama koriste se osigurači i automatski prekidači koji prekidaju struju u slučaju preopterećenja ili kratkog spoja. Veoma važna mjera zaštite je uzemljenje. Uzemljenjem se metalni dijelovi električnih uređaja povezuju sa zemljom, čime se omogućava da se, ukoliko kroz uređaj protekne velika struja, ona provede u zemlju i spriječi električni udar.



Slika 2. Osigurači – automatski prekidači električne struje pri kratkom spoju u domovima.



Slika 3. Znak upozorenja za područje gdje je moguća pojava strujnog udara (obično u blizini dalekovoda, velikih transformatora, željezničkih pruga).



Slika 4. Rizik od strujnog udara na mjestima s velikim brojem dalekovoda veoma je velik i zabranjeno je kretanje u tim područjima.

Pri korištenju električnih uređaja u domaćinstvu, neophodno je poštovati određena pravila. Ne treba dodirivati električne uređaje vlažnim rukama, niti ih koristiti u blizini vode. Oštećeni kablovi i priključci ne trebaju se upotrebljavati i odmah ih treba zamijeniti, a aparate uvijek treba isključivati iz struje kada se ne koriste ili kada nismo u domu. Nije dozvoljeno preopterećivanje priključaka uključivanjem previše uređaja, jer to može izazvati pregrijavanje i požar.

Osobe koje rade s električnim instalacijama i uređajima moraju koristiti zaštitnu opremu, kao što su izolacijske rukavice, gumena obuća i odgovarajući izolirani alati. Prije svake intervencije ili popravke električnog uređaja, obavezno je isključivanje iz izvora struje i provjera da li zaista nema struje. Rad s električnim instalacijama i popravku električnih uređaja obavezno trebaju obavljati samo stručno osposobljene osobe.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

Thomas Edison (1847–1931)



Edison je bio američki izumitelj koji je imao ogroman utjecaj na razvoj električnih sistema. On je usavršio električnu sijalicu i stvorio prvi praktični sistem za distribuciju električne energije u gradovima. Tako se električna struja mogla sigurno koristiti u domovima i radionicama, što je predstavljalo prekretnicu u svakodnevnom životu. Također, Edison je razvio osigurače, prekidače i standarde za zaštitu od strujnog udara i požara. Njegov rad doveo je do stvaranja prvih kućnih električnih instalacija s jasnim sigurnosnim pravilima.

AKTIVNOST

1. **Opasnosti od strujnog udara**

Analiziraj nekoliko svakodnevnih situacija: korištenje fena za kosu u kupatilu, dodirivanje utičnice vlažnim rukama, korištenje oštećenog produžnog kabla. Za svaku situaciju diskutuj s učenicima iz razreda postoji li opasnost od strujnog udara i zašto. Koje mjere predostrožnosti treba preduzeti kako bi se izbjegao strujni udar u navedenim situacijama?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Ptice se mogu odmarati na električnim kablovima bez doživljavanja strujnog udara sve dok su im obje noge na jednom električnom kablu.

ZA 5+

Ljudsko tijelo sadrži veliku količinu vode i rastvorenih soli, pa može provoditi električnu struju. Kada struja prolazi kroz tijelo, ona može izazvati grčeve mišića, poremećaj rada srca i oštećenje nervnog sistema. Istraži električnu provodljivost ljudskog tijela, kao i rad defibrilatora koji strujnim udarom može vratiti normalan rad srca kod pacijenata sa srčanim zastojem.

PITANJA I ZADACI

1. Kako kratki spoj može izazvati požar?
2. Kakvu ulogu ima izolacija električnih žica?
3. Zašto uzemljenje štiti ljude od strujnog udara?
4. Zašto ne treba povezivati mnogo potrošača na isti produžni kabl?
5. Kakvu opremu trebaju nositi radnici koji vrše popravku električnih uređaja ili električnih instalacija?

ZAPAMTI

- Strujni udar nastaje kada električna struja prolazi kroz ljudsko tijelo.
- Kratki spoj izaziva proticanje veoma velike struje i može dovesti do požara.
- Izolacija, osigurači i uzemljenje osnovne su mjere zaštite.

PROSVETNO DELO

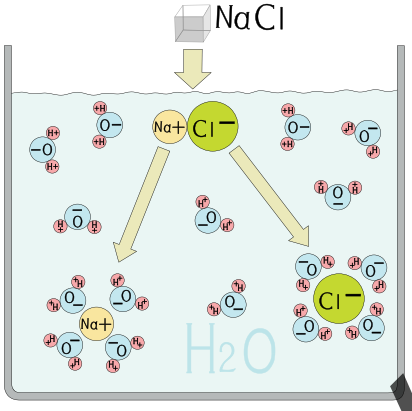
3.8. ELEKTRIČNA STRUJA KROZ TEČNOSTI

POJMOVI

elektrolitička disocijacija, anion, anoda, katoda, elektrolit, jon, elektroda, kation, elektroliza, galvanizacija

Električna struja može teći i kroz tečnosti, s tom razlikom što su u tečnostima nosioci naboja **pozitivno naelektrisani joni (kationi) i negativno naelektrisani joni (anioni).**

Neke od čistih tečnosti, kao što je destilirana voda, jesu izolatori, a tečnosti koje mogu provoditi električnu struju su vodeni rastvori soli, baza i kiselina. Vodeni rastvor soli, baze ili kiseline naziva se elektrolit. Pri rastvaranju soli, baze ili kiseline u vodi, rastvorena supstanca razlaže se na jone. Taj proces naziva se elektrolitička disocijacija.



Slika 1. Elektrolitička disocijacija čestice natrijevog hlorida u vodi.

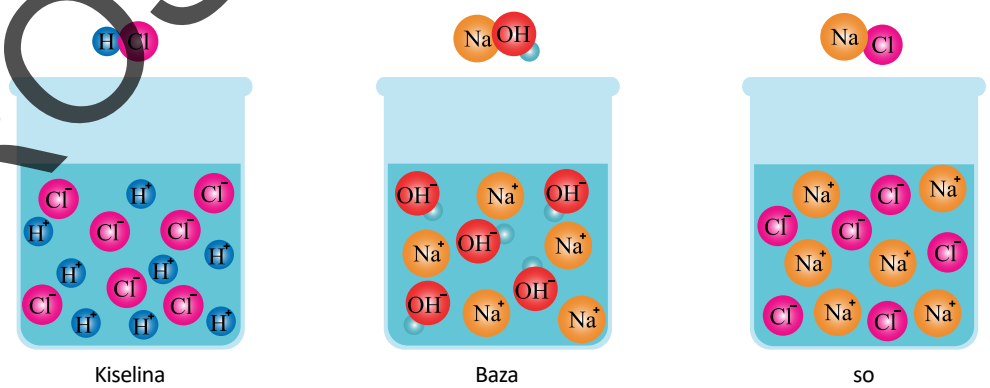
Naprimjer, ako se u vodu stavi kuhinjska so (natrijev hlorid, NaCl), tada se disocira na pozitivne jone natrija i negativne jone hlora. Na Slici 1 prikazana je elektrolitička disocijacija čestice natrijevog hlorida. Kretanje jona u rastvoru je haotično.

Također, baze i kiseline u vodi disociraju na jone. Ispod su date hemijske jednačine za elektrolitičku disocijaciju hlorovodonične kiseline (HCl), natrijevog hidroksida (NaOH), koji predstavlja bazu, i natrijevog hlorida (NaCl), koji je so.

$$HCl \Leftrightarrow H^+ + Cl^-$$

$$NaOH \Leftrightarrow Na^+ + OH^-$$

$$NaCl \Leftrightarrow Na^+ + Cl^-$$



Slika 2. Elektrolitička disocijacija kiseline, baze i soli u vodi.

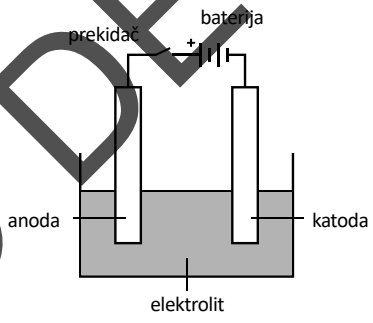
Rastvor koji sadrži jone – **elektrolit** – može provoditi električnu struju.

PROSVETNO DELO

Naprimjer, morska voda, zbog prisustva više minerala i soli koji stvaraju jone, provodi struju bolje u poređenju s vodom iz česme.

U posudu u kojoj se nalazi elektrolit stavimo dvije metalne ili grafitne šipke (Slika 3) (šipke se ne smiju dodirivati). Šipke povežimo u strujno kolo s izvorom struje (baterijom) i prekidačem. Ovako postavljene šipke u elektrolitu nazivaju se elektrode.

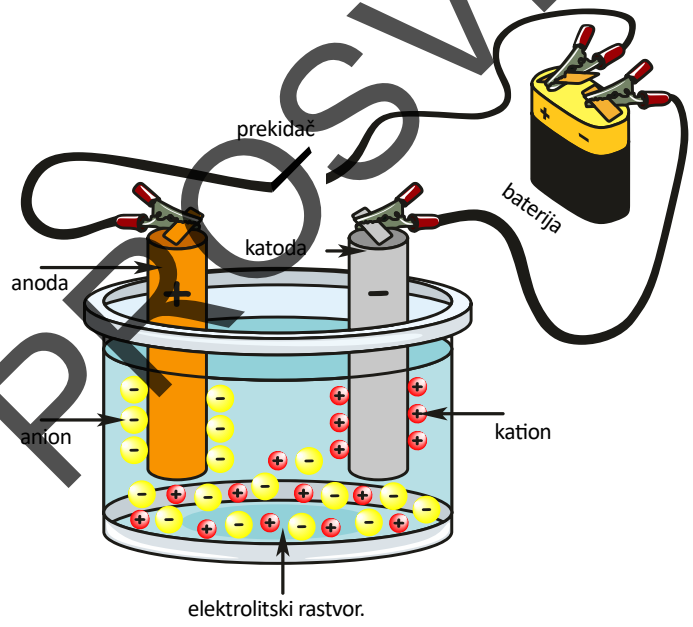
Elektroda koja je povezana s pozitivnim polom baterije naziva se pozitivna elektroda (anoda), a elektroda povezana s negativnim polom baterije jeste negativna elektroda (katoda). Ako zatvorimo vanjski dio strujnog kola, tada će se između elektroda u elektrolitu stvoriti električno polje. Pod djelovanjem tog polja pozitivni joni (kationi) kreću se prema katodi, koja je negativno naelektrisana (ima višak elektrona), a negativni joni (anioni) kreću se prema anodi. To predstavlja električnu struju kroz tečnosti, odnosno usmjereno kretanje pozitivnih i negativnih jona u električnom polju.



Slika 3. Proticanje struje kroz elektrolit.

Smjer struje, kao i kod metalnih provodnika, po dogovoru se uzima od pozitivnog prema negativnom polu izvora. Kada joni stignu do elektroda, oni će se neutralizirati. Pozitivni joni će primiti elektrone od katode, a negativni joni će predati elektrone anodi. Dobijene čestice mogu se nataložiti na elektrodama ili učestvovati u drugoj (sekundarnoj) reakciji s elektrodom ili, pak, s elektrolitom.

Na katodi se najčešće izdvajaju metalni joni ili vodonik, a na anodi se mogu izdvajati nemetali ili kisik, u zavisnosti od vrste elektrolita. Ovakvo usmjereno kretanje jona u elektrolitu predstavlja električnu struju u tečnosti (Slika 4).



Slika 4. Proticanje električne struje kroz elektrolit.

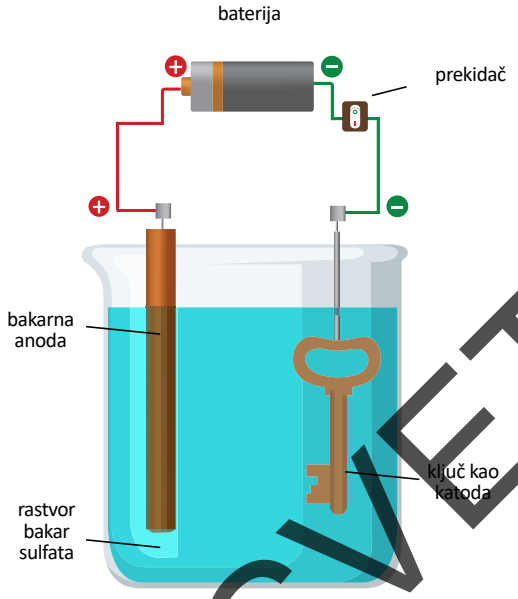
Pri proticanju električne struje kroz elektrolit, osim električnog, javlja se i hemijsko djelovanje struje. Ovo djelovanje naziva se elektroliza. Tokom elektrolize na elektrodama se odvijaju hemijske reakcije pri kojima se određene supstance izdvajaju ili talože. Tako se elektrolizom hlorovodonične kiseline na katodi izdvaja vodonik, a na anodi hlor. Elektrolizom bakar sulfata ($CuSO_4 \Leftrightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-}$), na katodi se taloži bakar, a na anodi, ako je ona od bakra, dolazi do formiranja novih čestica bakar sulfata, odnosno kažemo da se anoda rastvara.

PROSVETNO DELO

Važna praktična primjena elektrolize je galvanizacija. Galvanizacija je proces pri kojem se na površinu jednog metala nanosi tanak sloj drugog metala pomoću električne struje. Galvanizacija se koristi za zaštitu metala od korozije, za postizanje dekorativnog efekta i za povećanje njihove čvrstoće. Naprimjer, željezni predmeti oblažu se cinkom da ne hrđaju ili hromom da budu sjajni.

Predmet koji želimo obložiti povezuje se kao katoda, a metal kojim se vrši oblaganje povezuje se kao anoda. Obje elektrode potapaju se u elektrolit koji sadrži jone istog metala kojim želimo oblagati. Kada kroz rastvor protekne električna struja, joni metala s anode kreću se prema katodi i talože na njenoj površini, stvarajući zaštitni ili dekorativni sloj.

Na Slici 5 prikazana je galvanizacija ključa bakrom. Ključ je povezan kao katoda, dok je anoda bakarna pločica. Obje elektrode potopljene su u bakar sulfat. Pozitivni joni bakra s anode talože se na ključu, čime se ključ oblaže slojem bakra.



Slika 5. Galvanizacija bakrom.

Elektroliza se koristi i za dobijanje važnih supstanci – naprimjer, iz slane vode elektrolizom se dobijaju hlor i natrijev hidroksid, supstance koje su osnova mnogih industrijskih procesa. U proizvodnji aluminija elektroliza je jedini način da se dobije metal iz njegove rude. Od akumulatora u automobilima, pa sve do litij-jonskih baterija u mobilnim telefonima, elektrolit je dio koji omogućava skladištenje hemijske energije, a zatim i usmjereno kretanje nosilaca naboja.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Proticanje električne struje kroz elektrolit

U staklenu čašu stavi destiliranu vodu. U vodu potopi dvije grafitne ili metalne elektrode koje ćeš povezati s baterijom, prekidačem i malom sijalicom. Da li sijalica zasvijetli kada je prekidač uključen? Šta ćeš zaključiti o proticanju struje kroz destiliranu vodu? Zatim, u destiliranu vodu dodaj malo obične soli i promiješaj kašičicom. Uključi prekidač. Da li sijalica zasvijetli? Šta ćeš zaključiti na osnovu svijetljenja sijalice o proticanju struje kroz rastvor?

2. Pobakravanje predmeta

Potopi metalni predmet (naprimjer, ključ) povezan kao katoda i komad bakra kao anodu u rastvor bakar sulfata. Elektrode poveži u strujno kolo s baterijom i prekidačem. Uključi struju prekidačem i ostavi je da teče kroz kolo 20 minuta. Šta primjećuješ? Da li se na ključu nataložio bakar? Za šta se može iskoristiti galvanizacija?

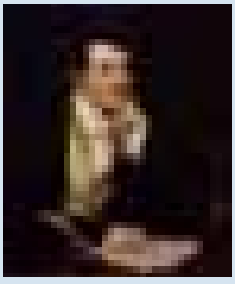
ZA 5+

Masa nataloženog metala m na katodi proporcionalna je jačini struje I i vremenu tokom kojeg se vrši galvanizacija. Ona se može izračunati prema sljedećoj formuli: $m = k \cdot I \cdot t$, gdje je k konstanta proporcionalnosti koja ima različitu vrijednost za različite rastvorene supstance

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Galvanizacija je otkrivena u XIX stoljeću.

POZNATI NAUCNIK



Humphry Davy (1778–1829)

Humphry Davy bio je engleski hemičar i fizičar, jedan od pionira elektrohemije i eksperimentalne primjene elektrolize. On je prvi pokazao da se električna struja može koristiti za razlaganje jedinjenja na njihove osnovne komponente. Primjenom elektrolize, Davy je uspio izolirati nekoliko novih hemijskih elemenata, među kojima su natrij, kalij, kalcij, magnezij i barij – metali koji su do tada bili nepoznati u čistom obliku. Svojim radom pokazao je da se hemijske veze mogu prekinuti električnom strujom, što je bio ključni korak u razumijevanju elektrolize kao procesa.

Davyjeva istraživanja postavila su osnovu za razvoj industrijske elektrolize i snažno utjecala na daljnji rad Michaela Faradaya, koji je bio njegov učenik.

PITANJA I ZADACI

1. Šta su elektroliti i zašto mogu provoditi električnu struju?
2. Kako se nazivaju elektrode povezane s pozitivnim i negativnim polom izvora struje?
3. Ako želimo izvršiti pobakravanje metalnog predmeta, gdje trebamo postaviti taj predmet (na anodu ili na katodu) i zašto?
4. Zašto električna struja kroz tečnosti predstavlja vezu između fizike i hemije?
5. Šta će se dogoditi s procesom elektrolize ako umjesto jednosmjerne struje (iz baterije) upotrijebimo naizmjeničnu struju iz utičnice? Da li će se joni moći trajno taložiti na jednoj elektrodi?

ZAPAMTI

- Proces stvaranja slobodnih električnih naboja (pozitivnih i negativnih jona) u rastvoru naziva se elektrolitička disocijacija.
- Tečnost koja sadrži jone i provodi električnu struju jeste elektrolit.
- Pozitivni joni (kationi) u zatvorenom strujnom kolu kreću se prema negativnoj elektrodi (katodi).
- Negativni joni (anioni) u zatvorenom strujnom kolu kreću se prema pozitivnoj elektrodi (anodi).
- Proces razlaganja supstanci pomoću električne struje poznat je kao elektroliza.
- Galvanizacija je tehnološki proces oblaganja metalnog predmeta drugim metalom.

PROSVETNO DELO

3.9. ELEKTRIČNA STRUJA KROZ GASOVE I ELEKTRIČNE POJAVE U ATMOSFERI

POJMOVI

jonizacija | jonizatori | slobodni elektroni | joni | munja | grom | gromobran

Električna struja kroz gasove

Električna struja može teći kroz čvrste supstance, kao što su metalni provodnici, i kroz tečnosti (elektrolite). Nosioci naboja kod metala su slobodni elektroni, a kod elektrolita joni. Ali, može li struja teći i kroz gasove?

Poznato je da su gasovi izgrađeni od molekula i atoma koji su elektroneutralni. Drugim riječima, gasovi ne sadrže slobodne nosioce naboja. Zato, u normalnim uslovima, kroz njih ne teče struja. Ovaj zaključak u skladu je i s našim iskustvom. Naime, ako u nekom dijelu strujnog kola postoji prekid, tada kroz njega ne teče struja. Gdje god nastane prekid, prostor između dva kontakta ispunjen je zrakom koji je dobar izolator.

Slično zraku, svi gasovi u normalnim uslovima su izolatori. Ipak, mogući su i takvi uslovi pri kojima će se u gasu stvoriti slobodni nosioci naboja. Sve što je potrebno jeste da ima dovoljno energije da se iz neutralnih atoma ili molekula izbiju elektroni. Atom ili molekula iz koje je otrgnut elektron postaje pozitivan jon. Međutim, elektron se može pridružiti i neutralnom atomu ili molekuli i tako nastaje negativan jon. Na taj način dobijaju se joni i slobodni elektroni.

Taj proces dobijanja jona i elektrona iz neutralnih atoma ili molekula naziva se jonizacija. Energija za jonizaciju može se dobiti zagrijavanjem gasa na visoku temperaturu, zračenjem velike energije koje prolazi kroz gas, jakim električnim poljem, sudarima s brzim česticama i slično. Svaki uređaj ili izvor koji osigurava energiju potrebnu za jonizaciju gasova naziva se jonizator.

U Aktivnosti 1, zbog visoke temperature plamena, zrak u njegovoj blizini je joniziran.

AKTIVNOST

1. Termički jonizator

Naelektriši elektrometar negativnim nabojem. U blizinu glave elektrometra približi upaljenu svijeću. Polako i pažljivo puši u svijeću (bez da je ugasiš) tako da se plamen usmjeri prema glavi elektrometra. Posmatraj šta se dešava s otklonom kazaljke elektrometra. Objasni eksperimentalnu činjenicu koju si primijetio. Sada razmisli šta će se desiti s otklonom kazaljke elektrometra ako je on, umjesto negativnim, bio naelektrisan pozitivnim nabojem?



Zrak postaje provodnik termičkom jonizacijom.

PROSVETNO DELO

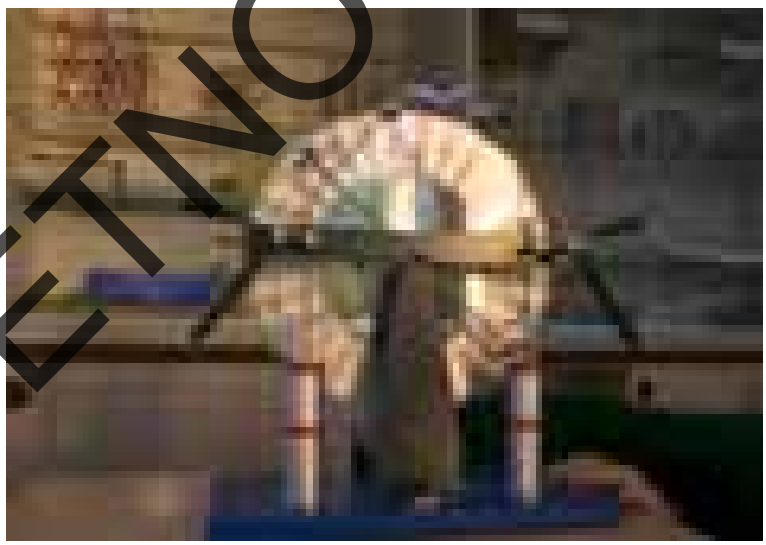
U tom prostoru blizu glave elektrometra nalaze se joni (pozitivni i negativni) i elektroni. Pozitivni joni privlače se s negativnim nabojem na glavi elektrometra, pri čemu se on razelektriše. Smanjenje otklona kazaljke pokazuje da kroz zrak teče električna struja. U drugom slučaju elektrometar će se ponovo razelektrisati. U tom slučaju negativni joni bit će privučeni prema glavi elektrometra, a pozitivni će biti odbijeni.

Mnogi tehnički uređaji i aparati u svom radu uključuju proticanje struje kroz gasove. Osvjetljavanje domova i institucija često se ostvaruje proticanjem struje kroz gasove. U tu svrhu koriste se gasovi zatvoreni u odgovarajućim cijevima ili svjetiljkama u kojima je pritisak smanjen. Takve su reklamne svjetiljke, kod kojih je boja svjetlosti određena vrstom gasa u cijevi, zatim „neonske“ svjetiljke, kao i štedljive fluorescentne svjetiljke.

PROSVETNO DELO

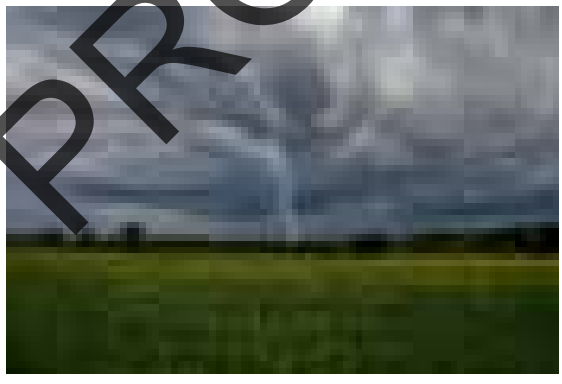
Električne pojave u atmosferi

Kada je zrak joniziran, on postaje provodnik i kroz njega može teći struja. Naprimjer, pri približavanju kuglica elektrostatičke mašine, dok okrećemo ručicu kojom stvaramo naboje, između njih se pojavljuju iskre. To je vještački stvorena iskra, odnosno proticanje struje u laboratorijskim uslovima. Primjeri proticanja struje kroz gasove u atmosferi su munja, polarna svjetlost i emisija svjetlosti pri vulkanskoj erupciji.



Slika 1. Električna iskra kod influentne mašine.

Tipičan primjer struje kroz gasove u prirodi jeste munja. Ona predstavlja električno pražnjenje između oblaka i Zemlje ili između oblaka i traje veoma kratko. Struju koja protiče kroz zrak vidimo kao svijetlu traku, odnosno kao kratki bljesak na nebu. Ta struja zagrijava zrak do visoke temperature, veće čak i od temperature na površini Sunca. Zrak se veoma brzo zagrijava i širi, što stvara snažan zvuk. Taj zvuk koji čujemo nakon pojave munje naziva se grmljavina.

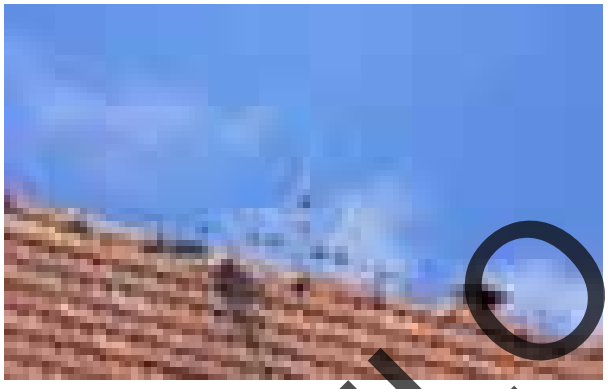


Slika 2. Električna struja kroz zrak – munja.

Električno pražnjenje koje nastaje između oblaka i nekog objekta na Zemlji naziva se i grom. Svjetlost se

širi mnogo većom brzinom od zvuka, pa zbog toga prvo primjećujemo munju, a zatim čujemo zvuk grmljavine.

Udar groma i njegovi efekti mogu biti veoma opasni i razorni za čovjeka, životinje i prirodu. Često zbog udara groma nastaju i požari. Zato je čovjek tražio način da ukroti ovu neugodnu prirodnu pojavu. Benjamin Franklin istraživao je i otkrio način kako da se zaštitimo od groma.



Slika 3. Gromobran postavljen na krovu.

Franklin je otkrio da struju od groma treba odvesti na provodnik velikih dimenzija, pri čemu ta struja neće mnogo utjecati. Takav provodnik je Zemlja. Time je dao ideju za gromobran. To je metalna šipka zašiljena na vrhu i postavlja se na vrh objekta. Šipka je povezana s metalnim provodnikom koji vodi nekoliko metara u zemlju. Takav sistem odvodi struju na siguran način do zemlje, bez opasnosti od požara ili oštećenja.

Osim postavljanja gromobrana, neke od preporuka za zaštitu od groma u slučaju nevremena uključuju:

- Ne zadržavaj se na otvorenom prostoru (polje, brdo, igralište).
- Izbjegavaj visoke i izolirane objekte (drveće, stubove).
- Skloni se u zatvoreni prostor ili u vozilo s metalnom karoserijom.
- U zatvorenom prostoru izbjegavaj dodirivanje metalnih predmeta, korištenje električnih uređaja i stajanje pored prozora, jer se električna energija od munje može prenijeti preko metalnih dijelova električnih i vodovodnih instalacija u domu.



Slika 4. Udar groma u gromobran.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Istraživanje – gromobrani u okolini

Istraži ima li tvoja škola gromobran i zašto je postavljen na tom mjestu. Istraži ima li gromobran na tvojoj kući ili zgradi, ali i na kojim zgradama u okolini su postavljeni gromobrani.

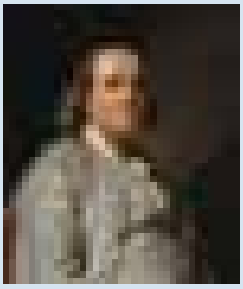
ZA 5+

Mjesto kroz koje prolazi munja, ili kako se još naziva kanal munje, primjer je joniziranog gasa, koji se u fizici naziva plazma. Smatra se da je plazma četvrto agregatno stanje materije. U plazmi postoje slobodni elektroni i joni, pa ona odlično provodi električnu struju. Isti takav princip koristi se i u neonskim svjetiljkama, fluorescentnim cijevima i plazma-ekranima. Istraži gdje se još koristi jonizirani gas u tehnici.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Zrak kroz koji prolazi munja može se zagrijati i do 30000 °C, što je više od 5 puta veća temperatura od temperature na površini Sunca.

POZNATI NAUČNIK



Benjamin Franklin (1706–1790)

Franklin je bio američki naučnik, političar i jedan od najpoznatijih izumitelja 18. stoljeća. Iako nije imao formalno naučno obrazovanje, Franklin je imao ogromnu radoznalost i eksperimentalni duh, posebno u oblasti elektriciteta. On je prvi pretpostavio da je munja zapravo ogromna električna iskra u atmosferi.

Da bi dokazao svoju ideju, izveo je poznati eksperiment sa zmajem 1752. godine, kojim je pokazao da su oblaci naelektrisani. Franklin je konstruisao gromobran. Ovaj jednostavan, ali genijalan uređaj spasio je hiljade života i objekata, a i danas se koristi u istom obliku kao u Franklinovo vrijeme. Stvaranjem gromobrana pokazao je primjenjivost naučnih otkrića u zaštiti ljudi.

PITANJA I ZADACI

1. Kada su gasovi izolatori, a kada provodnici električne struje?
2. Šta je jonizacija?
3. Nabroj nekoliko načina na koje se može izazvati jonizacija.
4. Da li svjetiljke sa žarnom niti rade na osnovu proticanja struje kroz gasove?
5. Nakon munje, ljudi očekuju zvuk grmljavine i obično ih to plaši. Razmisli i objasni da li se nakon munje trebamo plašiti.

ZAPAMTI

- U normalnim uslovima gasovi ne provode struju, odnosno oni su izolatori.
- Procesom jonizacije gas od izolatora postaje provodnik.
- Munja je tipičan primjer struje kroz gasove u prirodi.
- Gromobran je metalna šipka sa šiljkom na vrhu koja se postavlja na najvišu tačku objekta. Ona je povezana s metalnim provodnikom koji vodi do zemlje.

PROSVETNO DELO

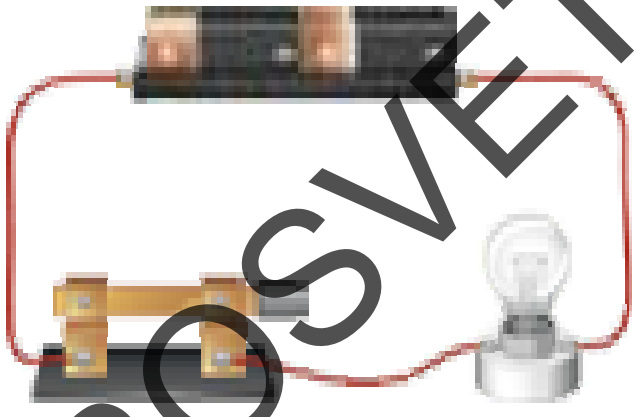
10. EFEKTI ELEKTRIČNE STRUJE

POJMOVI

svjetlosno djelovanje | toplotno djelovanje | mehaničko djelovanje | hemijsko djelovanje | magnetno djelovanje

Električna struja je usmjereno kretanje električnih naboja kroz metalni provodnik, elektrolit ili gas. Kada struja teče kroz različite uređaje i supstance, ona izaziva niz promjena, odnosno efekata (djelovanja). Zapravo, efekti su pojave, procesi ili posljedice nastale proticanjem električne struje. Putem ovih efekata električna energija pretvara se u druge vrste energije i omogućava rad najrazličitijih uređaja u svakodnevnom životu, industriji, medicini i nauci.

U zavisnosti od toga kakvu promjenu izaziva, razlikujemo svjetlosno, toplotno, mehaničko, hemijsko i magnetno djelovanje električne struje. Ovi efekti ili djelovanja ne pojavljuju se izolovano, nego su usko povezani i najčešće se pojavljuju istovremeno. U jednom električnom uređaju može se pojaviti više efekata odjednom, iako je obično jedan od njih dominantan i odgovarajuće iskorišten. Svi efekti proticanja električne struje u skladu su s prirodnim zakonima, a prije svega sa Zakonom o očuvanju energije.



Slika 1. Strujno kolo za istraživanje efekata električne struje.

Svjetlosno djelovanje električne struje

Svjetlosno djelovanje električne struje pojavljuje se kada proticanje struje izaziva emitovanje svjetlosti, odnosno kada se električna energija pretvara u svjetlosnu energiju. Ovaj efekt je dobro poznat iz svakodnevnog života, jer ga najčešće susrećemo kod električnih svjetiljki.

Kod klasične svjetiljke s vlaknom od volframa, električna struja prolazi kroz tanku žicu.

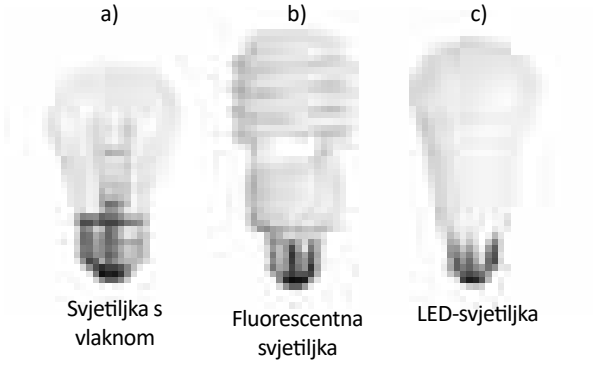
AKTIVNOST 1.

1. Istraživanje efekata električne struje pomoću strujnog kola

Podijeljeni u male grupe/parove, povežite elemente u jednostavno strujno kolo s izvorom struje (koristite baterije od 1,5 V), prekidačem, potrošačem i provodnim žicama. Koristite različite potrošače, kao što su svjetiljka, otporna žica ili elektromagnet. Pomoću čula (oka, uha) ili mjernog instrumenta istražujte efekte električne struje. Diskutujte i izvedite zaključak o pretvaranju električne energije iz jedne vrste u drugu.

PROSVETNO DELO

Materijal je tako odabran da se znatno suprotstavlja proticanju struje. Zbog toga se žica zagrijava do veoma visoke temperature i počinje svijetliti. Svjetlost koju vidimo posljedica je snažnog zagrijavanja vlakna. Ovaj način dobijanja svjetlosti je jednostavan, ali nije mnogo efikasan, jer se veliki dio električne energije pretvara u toplotu, a manji dio u svjetlost.



Slika 2. Različite vrste svjetiljki: a) Svjetiljka s vlaknom, b) Fluorescentna svjetiljka i c) LED-svjetiljka.

Osim klasičnih svjetiljki, ovo djelovanje električne struje koristi se i kod drugih vrsta izvora svjetlosti, kao što su fluorescentne svjetiljke, neonske svjetiljke, svjetlosne diode (LED), laseri i druge vrste. Kod svjetlosnih dioda svjetlost nastaje kao rezultat procesa u poluprovodničkim materijalima, pri čemu se električna energija mnogo efikasnije pretvara u svjetlosnu energiju. Svjetlosno djelovanje omogućava osvjetljavanje prostorija, ulica, signalnih uređaja, displeja i drugo.

Toplotno djelovanje električne struje

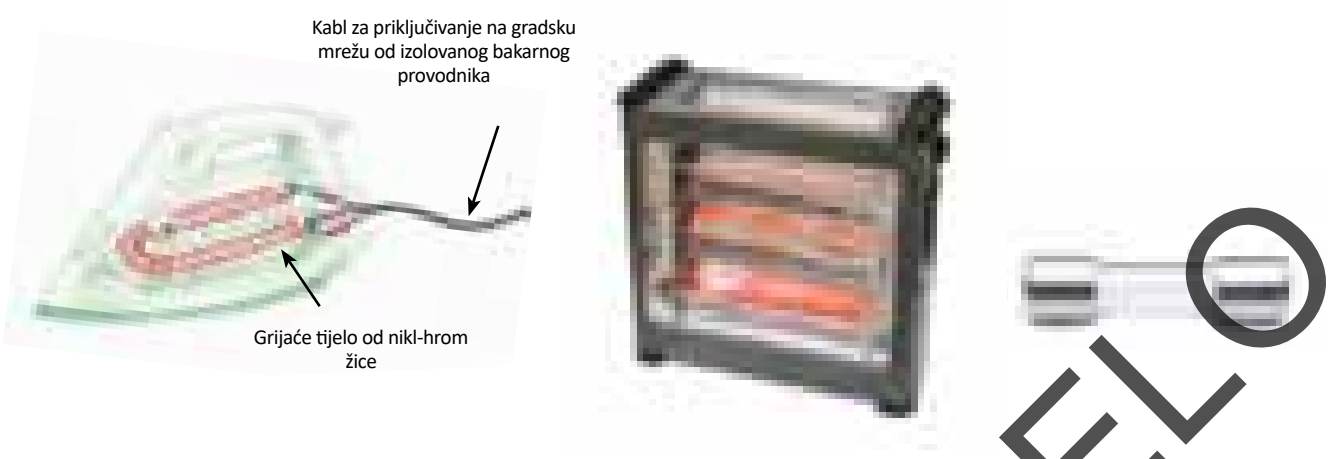
Toplotno djelovanje električne struje jedan je od najrasprostranjenijih i najvažnijih efekata. Kada električna struja prolazi kroz provodnik, čestice koje prenose struju sudaraju se s atomima i jonima materijala. Pri tim sudarima dio energije struje pretvara se u unutrašnju energiju materijala, odnosno u toplotu. Kao rezultat toga, temperatura provodnika se povećava. Toplotnu energiju oslobođenu u provodniku nazivamo Džulova toplota. Može se reći da se toplotno djelovanje pojavljuje istovremeno sa svim drugim efektima električne struje.

Toplotno djelovanje električne struje ima ogromnu praktičnu primjenu. Grijaća tijela, kao što su električna grijalica, bojler, šporet, pegla, fen za kosu i mnoga druga, rade upravo na osnovu ovog djelovanja. U njima struja prolazi kroz provodnike od odabranog materijala koji se snažno suprotstavlja proticanju struje. Sudari nosilaca naboja s česticama materijala izazivaju njegovo zagrijavanje. Toplota se zatim predaje okolnoj sredini.

Iako je u nekim uređajima toplota poželjan efekt, u drugim slučajevima ona može biti nepoželjna. Naprimjer, u elektronskim uređajima prekomjerno zagrijavanje može dovesti do oštećenja, pa se zato koriste hladnjaci i ventilatori.

Toplotno djelovanje ima i zaštitnu ulogu u električnim instalacijama. Osigurači i automatski prekidači su uređaji koji koriste toplotu koja nastaje pri prevelikoj jačini struje. Kada struja premaši dozvoljenu vrijednost, provodnik u osiguraču se zagrijava i topi, čime se kolo prekida i sprečavaju veća oštećenja ili požari.

PROSVETNO DELO

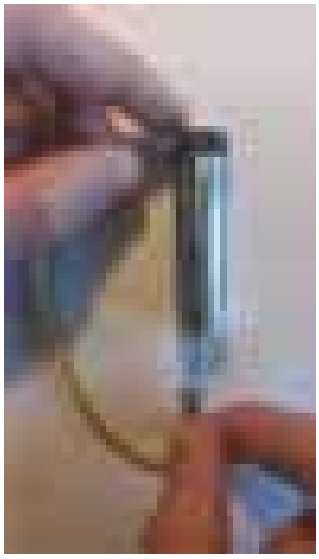


Slika 3. Uređaji koji koriste toplotno djelovanje električne struje (pegla, grijalica i osigurač za prekidanje struje).

Mehaničko djelovanje električne struje

Mehaničko djelovanje električne struje pojavljuje se kada struja izaziva kretanje nekog uređaja ili njegovog dijela. Ovaj efekt najčešće se pojavljuje kao posljedica međudjelovanja električne struje i magnetnog polja. Kada kroz provodnik teče struja i on se nalazi u magnetnom polju, na provodnik djeluje sila koja ga može pokrenuti. Ova pojava je osnova rada električnih motora.

Električni motori su uređaji koji pretvaraju električnu energiju u mehaničku. Koriste se u ogromnom broju aparata, kao što su ventilatori, mašine za pranje veša, mikseri, električni alati i industrijske mašine. U motoru struja prolazi kroz namotaje koji se nalaze u magnetnom polju. Zbog sile koja se pojavljuje pri mehaničkom djelovanju struje, namotaji se počinju okretati. Pri tom kretanju oni, elektromotori, mogu vršiti mehanički rad.



Slika 4. Jednostavan električni motor – primjer mehaničkog djelovanja struje.

AKTIVNOST

2. Jednostavan elektromotor

Pomoću malog neodimijskog magneta, koji ćeš pričvrstiti na negativni pol galvanskog elementa, provodne žice i metalnog šarafa, sastavi elektromotor, kao što je prikazano na Slici 4. Diskutuj o mehaničkom djelovanju struje kod ovog motora. Hoće li motor raditi bez korištenja magneta? Istraži i druge varijante ovako jednostavnog motora.

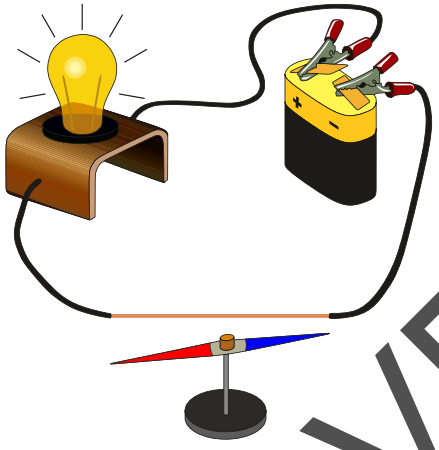
PROSVETNO DELO

Hemijsko djelovanje električne struje

Kada električna struja prolazi kroz tečnosti – elektrolite, ona može izazvati hemijske promjene. To se naziva hemijsko djelovanje električne struje. Pritom se supstance u rastvoru razlažu, a joni se kreću prema elektrodama.

Hemijsko djelovanje koristi se pri elektrolizi i galvanizaciji. Putem hemijskog djelovanja električne struje dobijaju se čisti hemijski elementi, kao što su vodik i kisik iz vode ili aluminij iz njegovih minerala. Hemijsko djelovanje električne struje osnova je rada galvanskih elemenata i baterija.

Magnetno djelovanje električne struje



Slika 5. Magnetno djelovanje električne struje

Osnova magnetnog djelovanja električne struje jeste otkriće danskog fizičara Oersteda. On je prije dvjesto godina utvrdio da se oko svakog provodnika kroz koji teče struja stvara magnetno polje. Ovo otkriće jedno je od najvažnijih u historiji fizike, jer pokazuje duboku povezanost između električnih i magnetnih pojava.

Magnetno djelovanje struje ima ogroman praktični značaj. Elektromagneti, transformatori, električni motori i generatori uređaji su koji se temelje upravo na ovom djelovanju. Kod elektromagneta, kada kroz zavojnicu teče struja, stvara se magnetno polje koje se može uključiti ili isključiti prema potrebi. Ovo svojstvo koristi se kod kranova za podizanje metalnih predmeta, kod električnih uređaja i različitih automatizovanih sistema. Magnetno djelovanje ima važnu ulogu i pri prenošenju električne energije.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Fiziološko djelovanje električne struje jeste utjecaj koji električna struja ima na organe, tkiva i funkcije živog organizma kada prođe kroz njega.

ZA 5+

Peltierov efekt je zanimljiv primjer kako električna struja može izazvati i hlađenje metala. Istraži kako se može napraviti Peltierov modul i kako se ovi moduli mogu koristiti u malim frižiderima, hladnjacima i kod računarskih procesora za hlađenje bez korištenja freona.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUCNIK



Giovanni Aldini (1762–1834)

Aldini je bio italijanski fizičar. On je jedan od prvih naučnika koji su sistematski proučavali utjecaj električne struje na živa tkiva i nervni sistem. Aldini je eksperimentisao s primjenom električne struje na mišiće i nerve i otkrio da čak i mali električni impuls može izazvati vidljive kontrakcije mišića. Njegove demonstracije u to vrijeme bile su ključni dokaz da električna energija može imati direktno fiziološko djelovanje na tijelo.

Svojim istraživanjima Aldini je postavio temelje za razvoj medicinskih uređaja, kao što su defibrilatori, elektrostimulatori i uređaji za neurodijagnostiku. Njegov rad doprinio je dubljem razumijevanju načina na koji električni signali putuju kroz nervni sistem, što je osnova današnje medicine i tretmana koji se zasnivaju na električnoj stimulaciji. Aldini se smatra jednim od pionira povezivanja elektriciteta i biologije.

PITANJA I ZADACI

1. Napravi spisak od pet električnih uređaja i za svaki od njih odredi koje efekte izaziva struja.
2. Potraži na internetu ilustraciju električnog bojlera i objasni toplotno djelovanje struje kod njega.
3. Nabroj tri uređaja kod kojih se istovremeno pojavljuju najmanje dva efekta struje.
4. Nabroj nekoliko uređaja kod kojih se primjećuje toplotno i svjetlosno djelovanje struje.
5. Analiziraj koji se efekti električne struje pojavljuju kod električnog automobila.

ZAPAMTI

- Električna struja ima više djelovanja: svjetlosno, toplotno, mehaničko, hemijsko i magnetno djelovanje.
- Putem djelovanja električna energija pretvara se u druge vrste energije.
- Kod električnih uređaja najčešće se pojavljuje više djelovanja istovremeno.

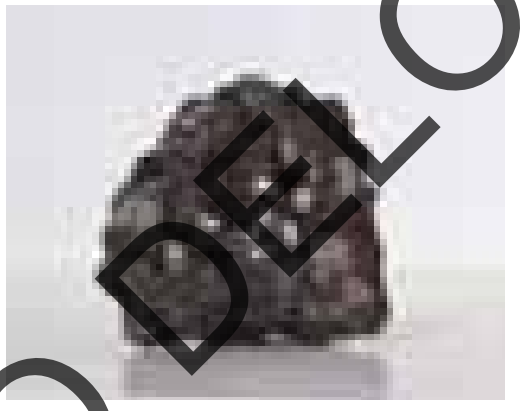
PROSVETNO DELO

3.11. MAGNETI I MAGNETNO POLJE

POJMOVI

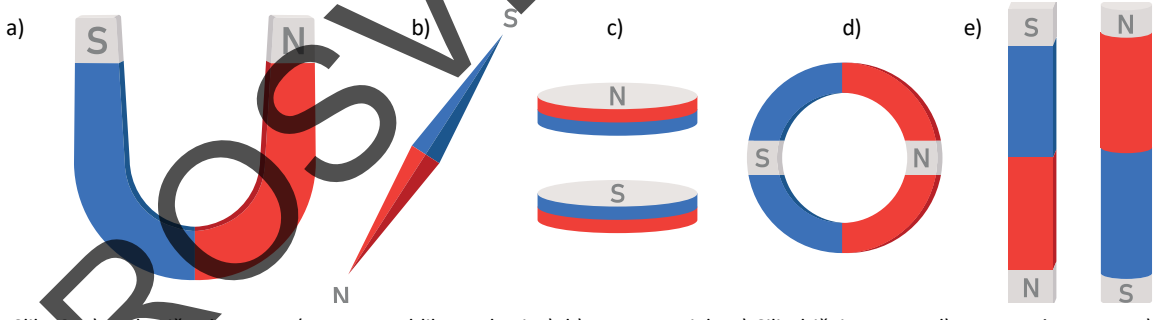
magnetno polje | magnetne linije sile | homogeno magnetno polje | magnetno polje Zemlje

Magnetizam je otkriven još u antičko doba u Magneziji, oblasti u današnjoj Turskoj. Ljudi u ovoj oblasti primijetili su da određeno kamenje ima neobično svojstvo da privlači željezo. Upravo od naziva ove oblasti potječe i riječ magnet. Prirodni magnetizam otkriven je kod rude koja se naziva magnetit (Fe_3O_4), a koja je željezni oksid. Magnetit je jedina ruda koja je prirodno magnetna, odnosno sama po sebi stvara magnetno polje i može privlačiti željezne predmete.



Slika 1. Magnetit.

Danas rijetko koristimo prirodne magnete jer je njihova sila relativno slaba. Umjesto njih koristimo vještačke magnete napravljene od čelika ili posebnih legura. Za različite namjene magneti se izrađuju u različitim oblicima, naprimjer štapni magnet koji ima oblik štapa. Zatim potkovičasti magnet (u obliku slova U) – kod ovog oblika magnetno polje je veoma jako u prostoru gdje su dva pola blizu jedan drugom. Magnetna igla najčešće se koristi kod kompasa, a prstenasti i cilindrični magneti najčešće se koriste kod zvučnika.



Slika 2. a) Potkovičasti magnet (magnet u obliku potkovice), b) Magnetna igla, c) Cilindrični magnet, d) Prstenasti magnet, e) Štapni magnet (magnet u obliku štapa).

Svaki magnet ima dva magnetna pola, sjeverni, koji je označen sa N (od engleskog „North“), i južni S (od engleskog „South“). Ako magnet slomimo na dva dijela, dobit ćemo dva magneta, svaki s dva magnetna pola. Ne postoji magnet samo s jednim magnetnim polom, naprimjer magnet samo sa sjevernim ili samo s južnim magnetnim polom. Istoimeni magnetni polovi se odbijaju, a raznoimeni se privlače. Ovo međudjelovanje dokaz je da oko magneta postoji magnetno polje, odnosno da prostor oko magneta ima karakteristična svojstva. Kao i električno međudjelovanje, tako je i magnetno međudjelovanje djelovanje na daljinu.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

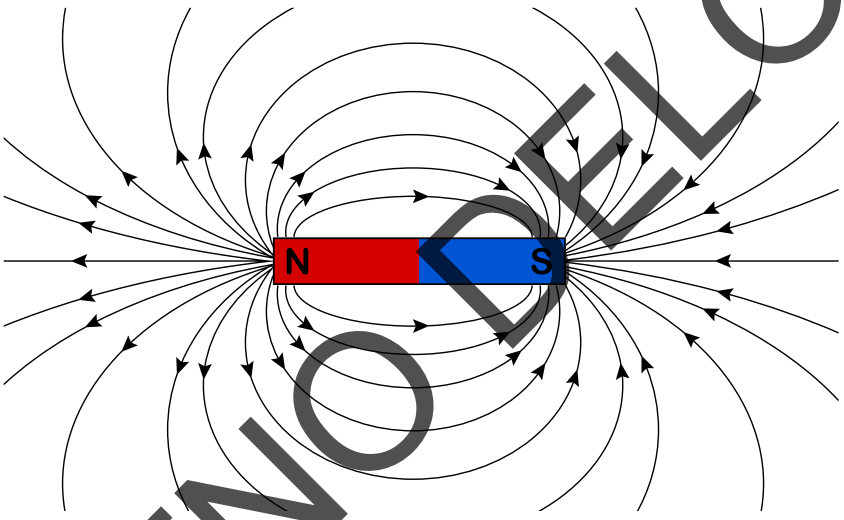
1. Istraživanje magnetnog međudjelovanja

Uzmite dva magneta i približavajte ih istoimenim polovima (sjever–sjever, jug–jug), a zatim raznoimenim (sjever–jug). Zatim približite magnet željeznim predmetima (spajalice, ključ).

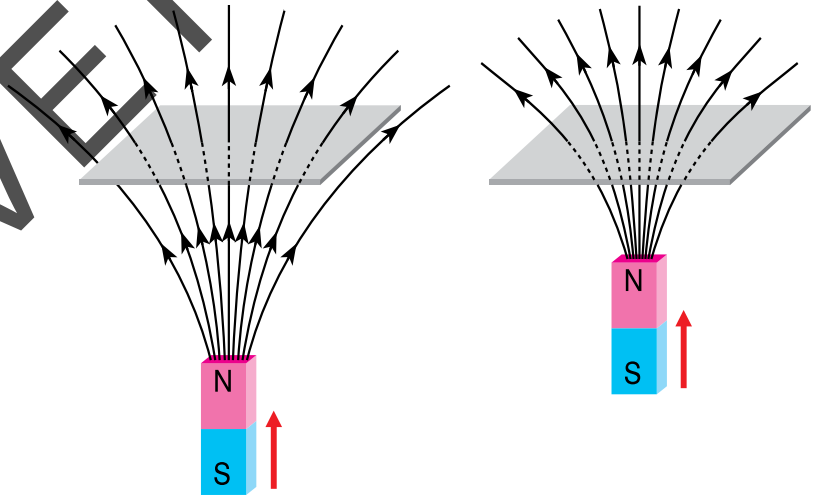
Šta primjećujete? Mora li magnet dodirnuti predmet da bi ga počeo privlačiti?

Iako je magnetno polje nedostupno našim čulima, možemo ga vizualizirati pomoću magnetnih linija sile. To su zatvorene linije koje izlaze iz sjevernog pola magneta, a ulaze u južni. Magnetne linije određuju pravac i smjer magnetnog polja u svakoj njegovoj tački.

Broj magnetnih linija sile koje sijeku određenu površinu daje njihovu gustinu. Na mjestima gdje je gustina linija sile veća, tamo je i jačina magnetnog polja veća. Na Slici 4 prikazana je ravna površina koju sijeku magnetne linije sile. Što je površina bliže magnetu, to više magnetnih linija sile siječe ravan, što znači da je gustina linija sile veća, odnosno da je jačina magnetnog polja veća.



Slika 3. Magnetne linije sile kod magneta u obliku štapa.



Slika 4. Prema gustini linija sile određujemo jačinu magnetnog polja u prostoru.

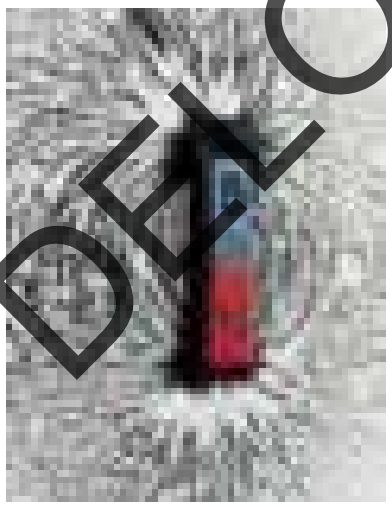
Pomoću željeznih opiljaka mogu se vizualizirati magnetne linije sile. Primjećuje se da one imaju najveću gustinu na krajevima magneta, odnosno na njegovim polovima. U tim tačkama magnetno polje je najjače. Kako se udaljavamo od magneta, tako magnetno polje slabi.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. Postavite magnet u obliku štapa na ravnu površinu. Preko njega postavite ploču od pleksiglasa. Pažljivo pospite željezne opiljke po ploči i nježno kucnite ploču prstom. Opiljci će se rasporediti u pravilne linije. Šta primjećujete? Gdje su opiljci najgušći?

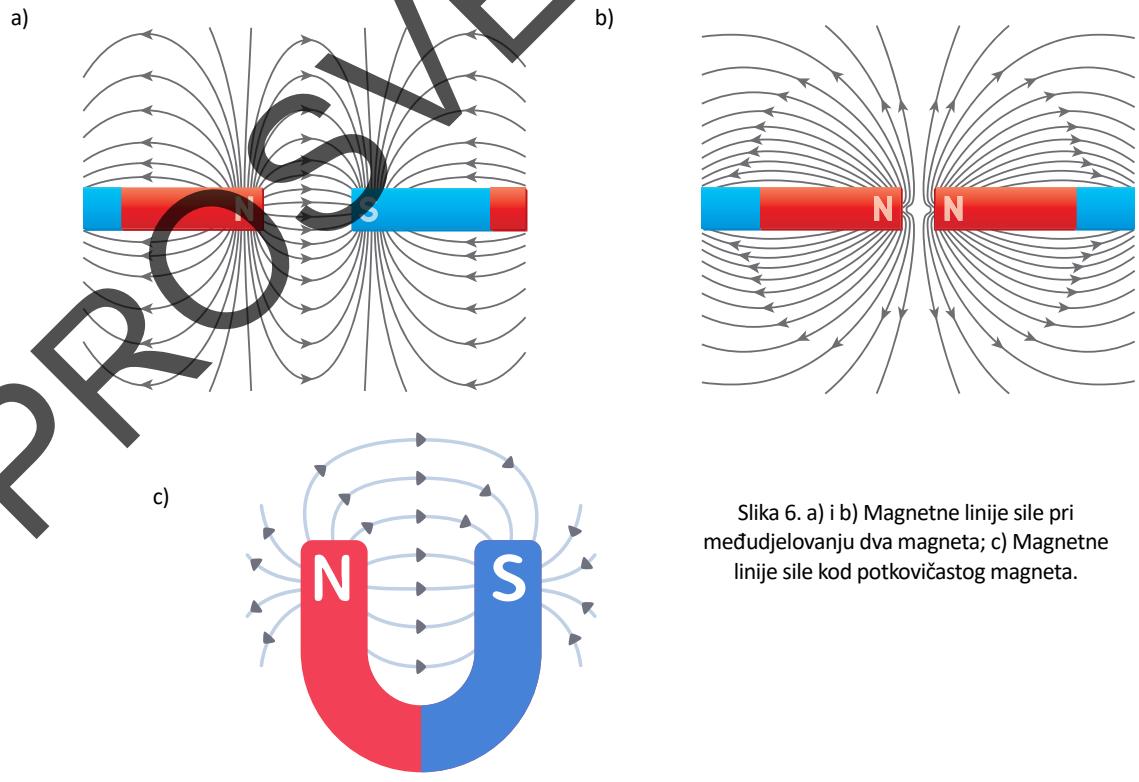
Magnetno polje nema uvijek istu jačinu u svim tačkama. Kod štapnog magneta polje u različitim tačkama prostora ima različitu jačinu, odnosno kažemo da je nehomogeno. Homogeno magnetno polje je magnetno polje koje ima istu jačinu, pravac i smjer u svakoj tački prostora. Takvo polje može se približno stvoriti u prostoru između dva paralelno postavljena magnetna pola.



Slika 5. Magnetne linije sile prikazane željeznim opiljcima.

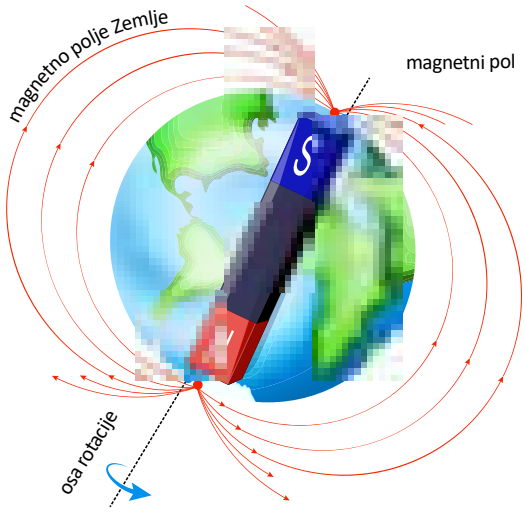
Zemlja kao magnet

Iz iskustva znamo da igla kompasa uvijek pokazuje pravac sjever–jug. To je tako jer se sama planeta Zemlja ponaša kao ogroman magnet u obliku štapa (Slika 7). Isto kao kod svakog magneta, tako i oko Zemlje postoji magnetno polje



Slika 6. a) i b) Magnetne linije sile pri međudjelovanju dva magneta; c) Magnetne linije sile kod potkovičastog magneta.

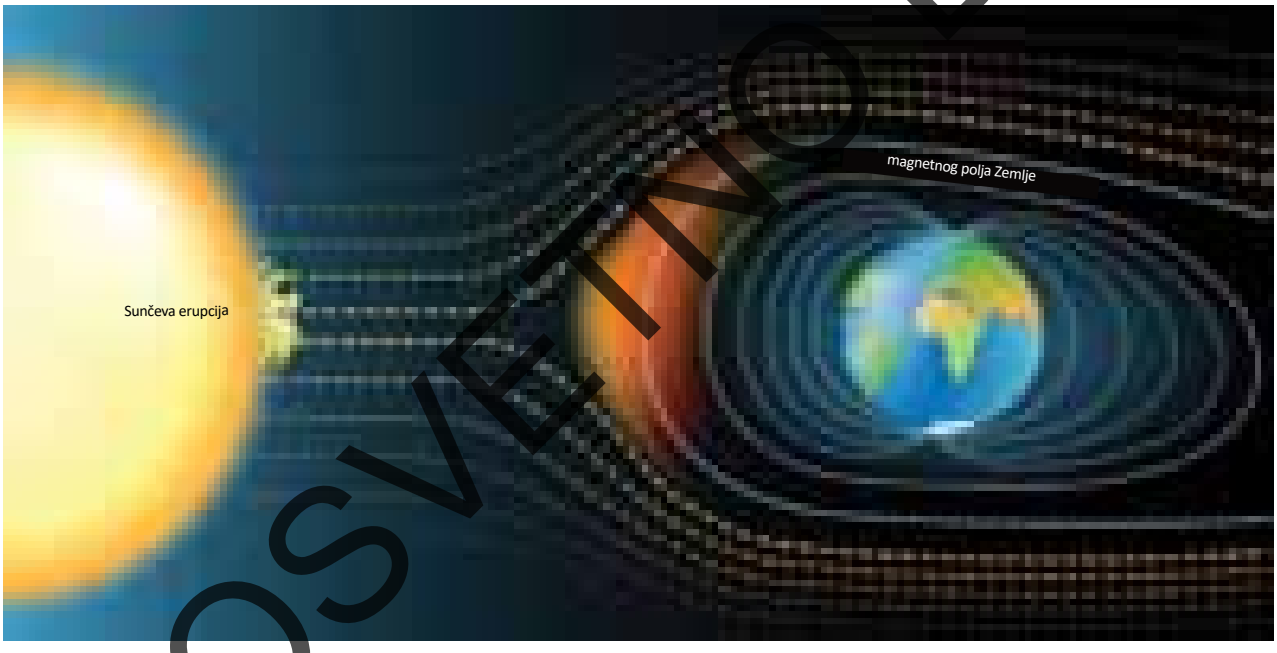
PROSVETNO DELO



Slika 7. Zemlja kao magnet u obliku štapa i magnetno polje Zemlje.

koje nazivamo magnetno polje Zemlje. Pritom se sjeverni magnetni pol Zemlje nalazi kod južnog geografskog pola i obrnuto, južni magnetni pol Zemlje nalazi se kod geografskog sjevernog pola. Zbog međudjelovanja s magnetnim poljem Zemlje, magnetna igla kompasa uvijek približno pokazuje pravac sjever–jug.

Magnetni polovi Zemlje ne poklapaju se točno s geografskim polovima, ali su dovoljno blizu da kompas možemo koristiti za orijentaciju. Magnetno polje Zemlje predstavlja prirodnu zaštitu od štetnih zračenja pri Sunčevoj erupciji, odbijajući ih prema međuplanetarnom prostoru, kao što je prikazano na Slici 8.



Slika 8. Zaštitna funkcija magnetnog polja Zemlje od štetnih zračenja koja dolaze sa Sunca

PROSVETNO DELO

Vi. AKTIVNOSTI

2. Napravi sam svoj kompas (kao na slici desno)

Uzmi iglu za šivanje i jednim polom magneta prelazite preko nje samo u jednom smjeru (od početka prema vrhu) oko 30 puta. Provucite iglu kroz komad pluta ili je zalijepite na stiropor. Pažljivo spustite stiropor da pluta u posudi s vodom. Igla će se okrenuti i zaustaviti u pravcu sjever–jug. Uporedite pravac koji pokazuje igla s pravcem koji pokazuje magnetna igla ili fabrički proizveden kompas.



3. Koristeći kompas, odredite gdje je pravac sjever–jug i smjer prema sjeveru. Kako ćete biti sigurni da kompas zaista pokazuje taj pravac?

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Ptice selice i morske kornjače osjećaju magnetno polje Zemlje i koriste ga kao prirodni sistem za globalno pozicioniranje (GPS).

ZA 5+

Istraži zašto se magnetno polje Zemlje tokom vremena mijenja i zašto magnetni polovi nisu fiksni, nego se postepeno pomjeraju. Razmisli kakve bi posljedice to imalo za navigaciju i život na Zemlji.

POZNATI NAUCNIK



William Gilbert (1544–1603)

Gilbert je bio engleski ljekar, fizičar i prirodnjak, koji se smatra osnivačem nauke o magnetizmu. Gilbert je prvi primijenio sistematski eksperimentalni pristup pri istraživanju magneta. Otkrio je da se Zemlja ponaša kao ogroman magnet, čime se može objasniti zašto se igla kompasa uvijek orijentira u pravcu sjever–jug.

Svoje rezultate objavio je u poznatom djelu „O magnetima“ (De Magnete), objavljenom 1600. godine, koje predstavlja prvu savremenu naučnu knjigu posvećenu magnetizmu. U ovom djelu Gilbert je napravio jasnu razliku između magnetnih pojava i električnih pojava (kao što je privlačenje kod naelektrisanih tijela), čime je postavio temelje za daljnji razvoj elektriciteta i magnetizma kao posebnih oblasti fizike. Njegov rad imao je veliki utjecaj na kasnije naučnike i označio je početak savremenog, eksperimentalno zasnovanog pristupa u fizici.

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja magnetno polje?
2. Kako međusobno djeluju istoimeni, a kako raznoimeni magnetni polovi?
3. Šta su magnetne linije sile i šta možemo odrediti pomoću njihove gustine?
4. Zašto Zemlja ima magnetno polje?
5. Da li su geografski sjeverni pol Zemlje i sjeverni magnetni pol Zemlje blizu jedan drugom? Obrazloži odgovor.

ZAPAMTI

- Magneti međusobno djeluju stvaranjem magnetnog polja u prostoru oko sebe.
- Magnetno polje grafički se predstavlja magnetnim linijama sile.
- Jačina magnetnog polja zavisi od gustine linija sile.
- Zemlja predstavlja veliki magnet s magnetnim polovima postavljenim blizu geografskih polova.
- Kompas je navigacijski instrument koji koristi magnetno polje Zemlje za određivanje pravca sjever–jug.

PROSVETNO DELO

3.12. MAGNETNO POLJE ELEKTRIČNE STRUJE. ELEKTROMAGNET

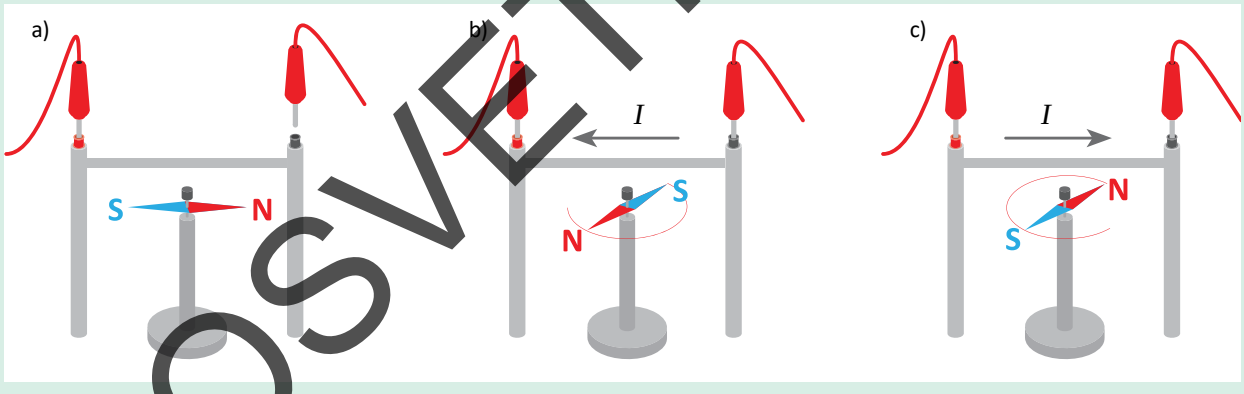
POJMOVI

pravolinijski provodnik | zavojnica/solenoid | željezno jezgro | elektromagnet | magnetiziranje

Dugo vremena električne i magnetne pojave proučavane su kao zasebne prirodne pojave. Ipak, eksperimenti su pokazali da između njih postoji duboka povezanost. Godine 1820. naučnik Hans Christian Oersted primijetio je da se igla kompasa otklonila od pravca sjever–jug kada je kroz električni provodnik, koji se nalazio u blizini igle, protekla električna struja. Tako je Oersted otkrio da se, kada kroz pravolinijski provodnik teče električna struja, oko njega stvara magnetno polje. Ovim otkrićem prvi put je pokazana povezanost između električnih i magnetnih pojava, čime je električna energija povezana s magnetizmom.

AKTIVNOST

1. Poveži jednostavno strujno kolo (baterija, prekidač, duga žica i mala svjetiljka). Postavi kompas i, nakon što on pokaže pravac sjever–jug, iznad kompasa postavi jednu provodnu žicu iz kola u istom pravcu. Šta se dešava s iglom kompasa kada se uključi strujno kolo? Šta se dešava ako promijenimo smjer proticanja struje (promjenom polova baterije)? Kako se može povećati jačina magnetnog polja oko žice?

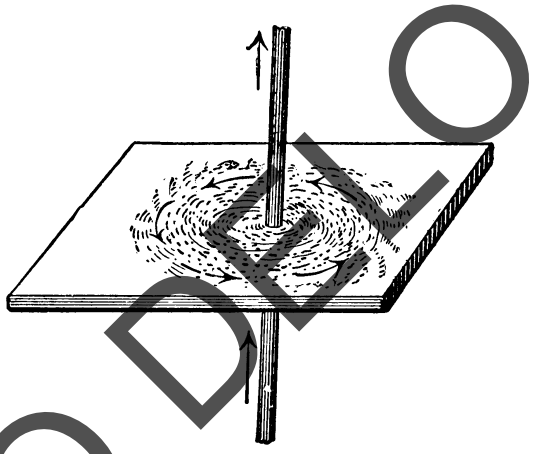


Slika 1. Otklanjanje magnetne igle od pravca sjever–jug kada se iznad nje postavi provodnik kroz koji teče električna struja. a) Kroz provodnik ne teče struja b) U provodniku teče struja ulijevo c) U provodniku teče struja udesno.

Magnetno polje električne struje međusobno djeluje s magnetnim poljem igle kompasa. Zbog tog međudjelovanja magnetna igla orijentira se u prostoru i zauzima određeni ugao s provodnikom. Povećanjem jačine struje taj ugao se povećava. Magnetna igla nastoji zauzeti položaj normalan na pravac provodnika. Ako promijenimo smjer struje, tada će se promijeniti i orijentacija igle. To znači da smjer i jačina magnetnog polja oko provodnika zavise od smjera i jačine struje koja teče kroz njega. Zbog međudjelovanja provodnika i magnetne igle možemo zaključiti da se provodnik kroz koji teče struja ponaša kao magnet.

PROSVETNO DELO

Magnetno polje pravog provodnika kroz koji teče jaka električna struja može se demonstrirati pomoću jednostavnog eksperimenta. Provodnik se postavlja vertikalno, tako da prolazi kroz sredinu horizontalno postavljenog kartona, kao što je prikazano na Slici 2. Magnetne linije sile oko provodnika mogu se jasno posmatrati pomoću sitnih željeznih opiljaka. U magnetnom polju ovi opiljci ponašaju se kao veoma male magnetne igle koje se raspoređuju u smjeru samog polja. Ako na horizontalni karton pospemo željezne opiljke, nakon uključivanja struje oni će se rasporediti u koncentrične kružnice oko provodnika. Zapravo, ove kružnice pokazuju nam oblik magnetnog polja kod pravolinijskog provodnika i njegovu jačinu.



Slika 2. Magnetne linije sile oko provodnika kroz koji teče struja, vidljive pomoću željeznih opiljaka.

Magnetno polje oko pravolinijskog provodnika je nehomogeno. Njegova jačina najveća je u blizini provodnika jer su opiljci najgušće raspoređeni u njegovoj blizini. Ova činjenica jasno pokazuje da električna struja ima magnetno djelovanje i da magnetno polje nije svojstvo samo stalnih magneta.

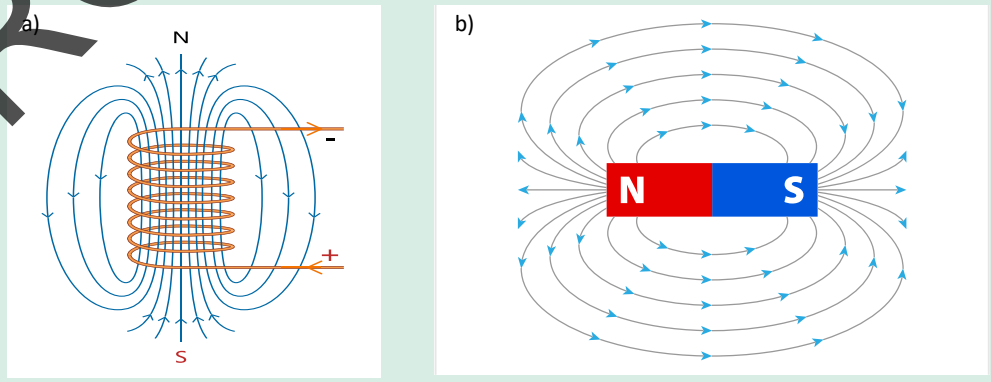
Magnetno polje zavojnice (solenoida)

Ako pravolinijski provodnik savijemo u oblik spirale (namotaja), dobijamo zavojnicu ili solenoid, kao što je prikazano na Slici 3. Magnetno polje solenoida mnogo je jače nego kod obične prave žice (pravolinijskog provodnika).

AKTIVNOST

2. Poređenje magnetnih polja štapnog magneta i solenoida

Pogledaj ilustracije magnetnog polja štapnog magneta i solenoida date na Slici 4. Šta je slično kod magnetnih polja štapnog magneta i solenoida? Koja je razlika između njih? Da li solenoid uvijek stvara magnetno polje kao i štapni magnet?

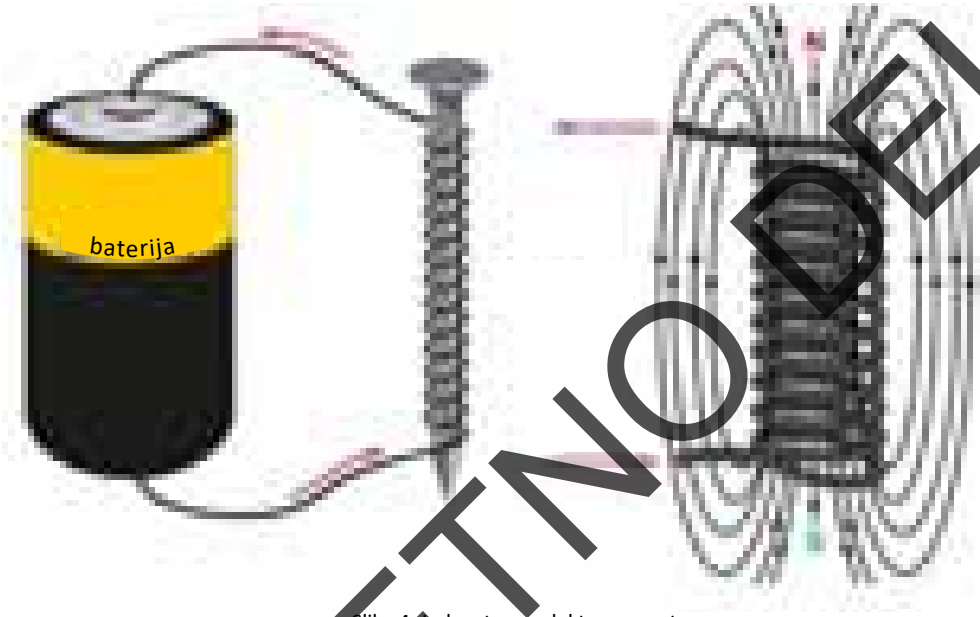


Slika 3. Magnetno polje: a) Solenoida kroz koji teče jednosmjerna struja b) Štapnog magneta.

PROSVETNO DELO

Magnetno polje solenoida po izgledu je veoma slično magnetnom polju štapnog magneta. Solenoid ima dva kraja koja se ponašaju kao sjeverni i južni magnetni pol. Izvan zavojnice magnetne linije sile izlaze iz sjevernog pola i ulaze u južni, a unutar zavojnice gotovo su paralelne, što ukazuje na homogeno magnetno polje.

Elektromagnet



Slika 4. Jednostavan elektromagnet.

Elektromagnet je zavojnica sa željeznim jezgrom postavljenim u unutrašnjosti između namotaja. Željezo u jezgri dodatno se magnetizira i znatno pojačava magnetno polje zavojnice kada kroz nju teče struja. Jednostavan elektromagnet prikazan je na Slici 4. Kada kroz solenoid teče struja, u njemu i oko njega stvara se magnetno polje. U unutrašnjosti solenoida magnetno polje je homogeno. Željezno jezgro, koje se nalazi unutar zavojnice, magnetizira se, odnosno postaje magnet i dodatno povećava jačinu magnetnog polja.

Jačina magnetnog polja elektromagneta zavisi od broja namotaja (što je više puta žica namotana oko jezgra, to je magnetno polje jače) i od jačine struje koja teče kroz solenoid.

Elektromagneti su veoma korisni jer se njihovo magnetno polje može kontrolisati uključivanjem i isključivanjem struje ili mijenjanjem jačine i smjera struje. Koriste se u električnim zvonima, telefonima i zvučnicima, gdje magnetno polje izaziva kretanje metalnih dijelova i stvaranje zvuka.



Slika 5. Elektromagneti koji se mogu naći u različitim električnim uređajima.

PROSVETNO DELO

U industriji elektromagneti služe za podizanje i premještanje masivnih željeznih predmeta, omogućavajući efikasan rad u fabrikama i skladištima (Slika 6).

U medicini su jaki elektromagneti sastavni dio aparata za magnetnu rezonancu, koji omogućavaju dobijanje preciznih slika unutrašnjosti ljudskog tijela stvaranjem snažnog magnetnog polja (Slika 7). U svakodnevnim aparatima, kao što su mašine za pranje veša i električni motori, elektromagneti pretvaraju električnu energiju u mehanički rad.

U željezničkom saobraćaju koriste se snažni elektromagneti kod takozvanih maglev vozova koji „lebde“ iznad šina, čime kod ovih vozova nema trenja sa šinama i omogućava se postizanje velike brzine (Slika 8).



Slika 6. Magnetni kran.



Slika 7. Snimanje magnetnom rezonancom.

PROSVETNO DELO



Slika 8. Maglev voz koji lebdi iznad šina.

Zato su elektromagneti važna veza između električne struje i praktične primjene magnetnih sila, osiguravajući napredak u tehnologiji i poboljšanje kvaliteta života.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK

Hans Christian Oersted (1777–1851)



Oersted je bio danski fizičar, hemičar i profesor koji je odigrao ključnu ulogu u razvoju savremene fizike. Radeći kao profesor na Univerzitetu u Kopenhagenu, bavio se proučavanjem električnih i magnetnih pojava u vrijeme kada su se one smatrale potpuno odvojenim. Godine 1820, tokom jednog predavanja, Oersted je primijetio da se magnetna igla postavljena blizu žice otklanja kada kroz žicu teče električna struja. Ovo jednostavno, ali izuzetno važno otkriće bilo je prvi jasan eksperimentalni dokaz da električna struja stvara magnetno polje.

Ovim otkrićem Oersted je uspostavio duboku vezu između elektriciteta i magnetizma i označio početak elektromagnetizma kao objedinjene oblasti fizike. Njegov rad imao je ogroman utjecaj na kasnije naučnike, kao što su Ampère, Faraday i Maxwell, koji su razvili osnovne zakone elektromagnetne teorije. Danas je primjena Oerstedovog otkrića prisutna u električnim motorima, generatorima, transformatorima i bezbrojnim tehnološkim uređajima.

ZA 5+

Istraži kako se otklanja magnetna igla (u kojem pravcu) u zavisnosti od smjera proticanja struje i kakav je smjer magnetnih linija sile kod pravog provodnika kroz koji teče struja.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

U zvučnicima elektromagneti pretvaraju električne signale u zvuk.

PITANJA I ZADACI

1. Kako se manifestuje magnetno polje oko pravolinijskog provodnika kroz koji teče električna struja?
2. Koje promjene možemo napraviti kod elektromagneta da bismo kontrolisali njegovo magnetno djelovanje?
3. Nabroj dvije sličnosti i dvije razlike između magnetnog polja štapnog magneta i magnetnog polja solenoida (zavojnice).
4. Šta je elektromagnet i na koji način željezno jezgro poboljšava njegovo djelovanje?
5. Zašto je korisno da se elektromagneti mogu uključivati i isključivati, za razliku od običnih (trajnih) magneta?

ZAPAMTI

- Svaki provodnik kroz koji teče električna struja stvara oko sebe magnetno polje. Ova pojava je osnova elektromagnetizma.
- Magnetno polje oko pravolinijskog provodnika zavisi od smjera struje; ako se promijeni smjer struje, mijenja se i smjer magnetnog polja oko provodnika.
- Magnetno polje solenoida slično je polju štapnog magneta.
- Solenoid se ponaša kao magnet samo dok kroz njega teče struja, a štapni magnet je stalni magnet.
- Elektromagnet je zavojnica sa željeznim jezgrom umetnutim u njenu unutrašnjost, koje pojačava magnetno djelovanje.

PROSVETNO DELO

TEMA 3.
PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE

1. Šta predstavlja atom i koje su njegove građevne čestice?
2. Šta se dešava s atomom kada izgubi elektron?
3. Može li se pri naelektrisavanju trenjem dva tijela naelektrisati samo jedno od tijela? Obrazloži odgovor.
4. Kakva vrsta međudjelovanja nastaje između naelektrisanih tijela?

a) gravitacijsko

b) magnetno

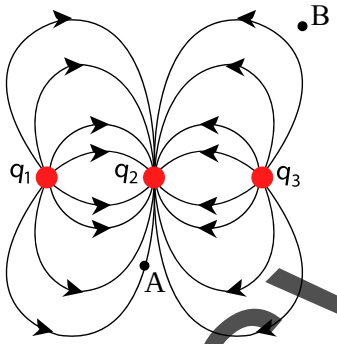
c) elektrostatičko

d) nuklearno

5. Nenaelektrisanom elektrometru približena je naelektrisana šipka. Elektrostatičkom influencijom elektrometar se naelektriše i kazaljka se otklanja. Prema prikazanom na slici odredi kakvim je nabojem naelektrisana šipka.



6. Oko kojih tijela postoji električno polje?
7. Šta predstavljaju električne linije sile i koja je njihova uloga u opisivanju polja?



8. Na ovoj slici prikazano je električno polje koje stvaraju tri naboja q_1, q_2 i q_3.

a) Kojom vrstom električnog naboja je naelektrisan svaki od naboja?

b) U kojoj tački prostora električno polje ima veću jačinu, u A ili u B?

9. Šta mjeri gustina električnih linija sile u datom prostoru?

a) temperaturu prostora

b) smjer struje

c) jačinu električnog polja

d) vrstu naboja

10. Šta je električna struja?
11. Koja je razlika između jednosmjerne i naizmjenične struje?
12. Za koji uređaj kažemo da je galvanski element?
13. Koje čestice su nosioci električne struje u metalima?

a) protoni

b) neutroni

c) pozitivni joni

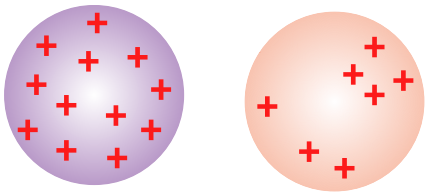
d) slobodni elektroni

14. Navedi tri primjera materijala koji su dobri električni provodnici.
15. Šta su izolatori i zašto se koriste u električnim instalacijama?

PROSVETNO DELO

16. Šta su poluprovodnici?

17. Na ovoj slici prikazane su dvije kuglice izrađene od različitog materijala. Koja od njih je napravljena od provodnog materijala, a koja od izolatora? Obrazloži odgovor na osnovu razlike između slika dviju kuglica.



18. Zašto električna struja može biti opasna za čovjeka?

19. Navedi tri osnovne mjere zaštite pri korištenju električnih uređaja.

20. Šta je osigurač i koja je njegova uloga?

21. Da li čista destilirana voda provodi struju? Zašto?

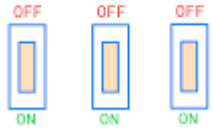
22. Koje čestice prenose struju kroz tečnosti?

23. Kada su gasovi izolatori, a kada provodnici električne struje?

24. Nabroj nekoliko načina na koje se može izazvati jonizacija kod gasova.

25. Koje mjere ćeš preduzeti za zaštitu od groma u slučaju nevremena?

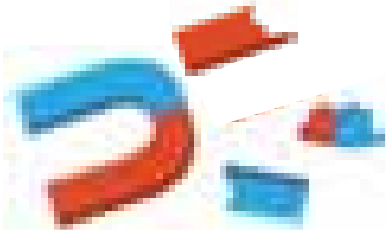
26. Kakvo djelovanje ima električna struja kada teče kroz elektrolit?

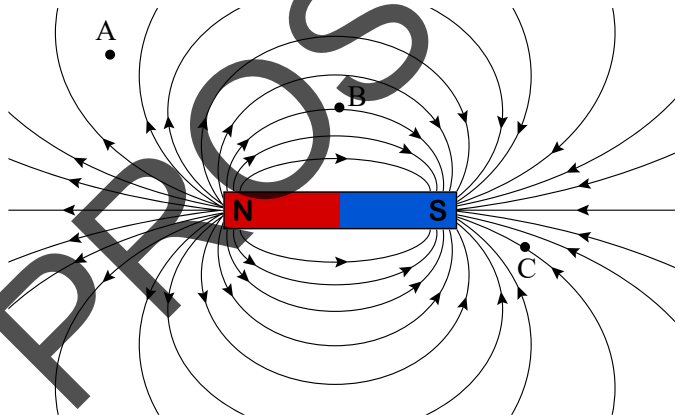


27. Na zidu u prostoriji nalaze se tri prekidača, od kojih je jedan pravi, a dva su lažna. Možeš uključivati i isključivati prekidače koliko god želiš. Odredi koji je prekidač pravi za lampu na radnom stolu, uz samo jedan ulazak u susjednu prostoriju u kojoj se nalazi lampa.

28. Razmisli i uporedi električno i magnetno polje. Koje su sličnosti i razlike u pogledu nastajanja, međudjelovanja, linija sile i jačine polja?

29. Magnet u obliku potkovice pao je na pod laboratorije i slomio se na tri komada. Nacrtaj sliku u svesci i označi polove svakog komada magneta.





30. Nacrtaj magnet u obliku štapa i označi njegove magnetne polove. Sada zamisli da je magnet podijeljen na dva dijela. Nacrtaj odgovarajuću sliku i označi polove.

31. U prostoru oko magneta u obliku štapa označene su tri tačke: A, B i C. U kojoj od tih tačaka magnetno polje magneta ima najveću jačinu, a u kojoj najmanju?

32. Imaš tri metalne kuglice napravljene od željeza. Predloži nešto kreativno kako da postaviš kuglice jednu na drugu, ali da ostanu u tom vertikalnom položaju. Ne smiješ koristiti ljepilo.



PROSVETNO DELO

Тема 4:
SVJETLOST

U ovoj temi učit ćeš kako se svjetlost prostire i zašto stvara sjene i polusjene. Razumjet ćeš da sjena nije samo „tama“, nego rezultat prepreke koja blokira svjetlost i da iste pojave imaju velike posljedice u Sunčevom sistemu – od pomračenja Mjeseca do pomračenja Sunca.

Naučit ćeš šta znači odbijanje svjetlosti i kako primjenjivati zakon odbijanja svjetlosti pri konstrukciji likova. Moći ćeš konstruisati likove pomoću sfernog ogledala i rješavati probleme iz svakodnevnog života, kao što su funkcionisanje retrovizora ili zašto ogledala u prodavnicama daju deformisane slike.

Upoznat ćeš i disperziju bijele svjetlosti, koja je pretvara u spektar boja, kao kod duge. Naučit ćeš o miješanju boja, o tome kako se svjetlost reflektuje i apsorbuje i zašto predmeti oko nas imaju različite boje.

U ovoj temi otkrit ćeš da je svjetlost više od nečega što nam omogućava da vidimo – ona je ključ za razumijevanje prirode, tehnologije i umjetnosti oko nas.

PROSVETNO DELO

Rezultati učenja

Učenik/učenica bit će sposoban/sposobna:

- objašnjavati prostiranje svjetlosti, uzrok nastajanja sjene i polusjene, kao i posljedice njihovog nastajanja u svemiru;
- objašnjavati odbijanje svjetlosti i primjenjivati zakon odbijanja pri konstrukciji likova;
- konstruisati/formirati likove pomoću sfernog ogledala i rješavati problemske situacije iz svakodnevnog života primjenom znanja o odbijanju svjetlosti pomoću sfernog ogledala;
- objašnjavati prelamanje svjetlosti i predstavljati ga dijagramom;
- konstruisati/formirati likove pomoću sočiva i rješavati probleme sa sočivima iz svakodnevnog života;
- objašnjavati disperziju bijele svjetlosti, miješanje boja, refleksiju i apsorpciju svjetlosti u različitim bojama.

4.1. PROSTIRANJE SVJETLOSTI

POJMOVI

primarni i sekundarni izvor svjetlosti | svjetlosni snop | svjetlosna zraka | brzina prostiranja svjetlosti | izvor svjetlosti | pravolinijsko prostiranje svjetlosti | tačkasti izvor svjetlosti

Svjetlost je jedna od najvažnijih pojava u prirodi jer zahvaljujući njoj vidimo i opažamo svijet oko nas. Dio fizike koji proučava svjetlost naziva se optika. Svako tijelo koje emituje ili zrači svjetlost naziva se izvor svjetlosti. Neki izvori svjetlosti sami stvaraju svjetlost, a drugi svijetle samo zato što odbijaju svjetlost koja pada na njih.

Razlikujemo dvije vrste izvora svjetlosti: Primarni izvori svjetlosti su izvori koji sami proizvode svjetlost, kao što su: zvijezde, Sunce, polarna svjetlost, munja, plamen svijeće, svjetiljke, laseri, insekt krijesnica i neke morske životinje. Sekundarnim izvorima svjetlosti nazivaju se objekti i izvori koji sami ne stvaraju svjetlost, nego je reflektuju, odnosno odbijaju svjetlost koja je pala na njihovu površinu, a potječe od primarnih izvora svjetlosti, kao što su naprimjer Mjesec i planete. Mjesec je tipičan primjer sekundarnog izvora. On svijetli na noćnom nebu, ali ne stvara svjetlost, nego samo odbija dio Sunčevog zračenja koje pada na njega.



Slika 1. Primarni izvori svjetlosti a) polarna svjetlost, b) munja, c) krijesnica.

Prostiranje ili put svjetlosti od izvora predstavljamo svjetlosnom zrakom. Svjetlosna zraka je zamišljena linija koja pokazuje pravac širenja ili prostiranja svjetlosti. Međutim, u stvarnosti iz jednog izvora svjetlosti izlazi mnogo zraka koje zajedno stvaraju svjetlosni snop. Svjetlosni snop je skup velikog broja svjetlosnih zraka koje se kreću u istom smjeru i prenose svjetlosnu energiju. Drugim riječima, možemo reći da svjetlosna zraka predstavlja svjetlosni snop veoma male širine. Svjetlosne snopove i zrake možemo vidjeti kada Sunčeva svjetlost prodire kroz oblake (Slika 2).

PROSVETNO DELO



Slika 2. Svjetlosni snop i svjetlosne zrake.

Izvori svjetlosti mogu biti i tačkasti, odnosno toliko mali da izgleda kao da svjetlost potječe iz jedne jedine tačke. Izvor svjetlosti čije su dimenzije mnogo manje od površine koju osvjetljava ili, pak, čije su dimenzije mnogo manje od rastojanja do osvijetljenog predmeta nazivamo tačkastim izvorom svjetlosti. Mala svjetiljka na biciklu koji je daleko od nas ili udaljena zvijezda na noćnom nebu primjeri su u kojima nam izvor izgleda dovoljno malen i smatramo ga tačkastim. Smatrat ćemo da se svjetlost iz tačkastih izvora ravnomjerno širi u svim pravcima.

Kada svjetlost putuje kroz neku homogenu i prozirnu sredinu, kao što su zrak, voda ili staklo, ona se prostire pravolinijski. To znači da će, ako na putu svjetlosne zrake nema neprozirne prepreke, svjetlosna zraka nastaviti da se prostire po pravoj liniji. Dokaz za to je stvaranje sjena od neprozirnih predmeta. Neprozirni predmet sprečava prostiranje svjetlosne zrake. Budući da svjetlosne zrake ne mogu zaobići predmet, iza njega se pojavljuje tamna površina.

Svjetlost se prostire veoma velikom brzinom. Brzina prostiranja svjetlosti u vakuumu iznosi približno 300.000 kilometara u sekundi ili $3 \cdot 10^8$ m/s i smatra se najvećom mogućom brzinom u prirodi. To znači da svjetlost za samo jednu sekundu prelazi rastojanje dovoljno da obiđe Zemlju duž ekvatora približno osam puta. Brzina svjetlosti u zraku, vodi ili staklu manja je od brzine svjetlosti u vakuumu.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Pravolinijsko prostiranje svjetlosti

Na dva kartona izreži male kružne otvore. Kartone postavi jedan iza drugog tako da kružni otvori leže na istoj pravoj. Treći karton bez otvora neka ti posluži kao ekran na kojem ćeš posmatrati svjetlosne zrake. Prvi karton osvijetli baterijskom lampom. Da li svjetlost prolazi kroz oba otvora? Šta će se dogoditi ako prvi otvor pomjeriš u odnosu na drugi? Da li svjetlost ponovo pada na ekran? Šta se dokazuje ovom aktivnošću? Ponovi eksperiment s laserom. Diskutuj postoji li razlika kada si prvi otvor osvijetlio baterijskom lampom i kada si ga osvijetlio laserom.

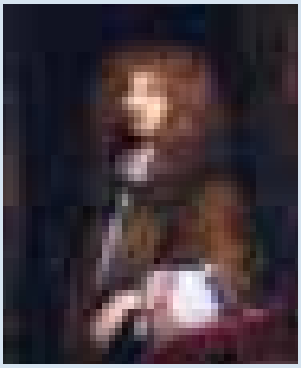
2. Vidljivost svjetlosnih zraka u tamnoj prostoriji

Uključi malu baterijsku lampu u zamračenoj prostoriji i raspršu malo prašine od krede u zrak. Šta primjećuješ? Kakav je pravac prostiranja svjetlosnih zraka? Ponovi eksperiment s laserom. Da li se i laserske zrake, kao i zrake baterijske lampe, prostiru u svim pravcima? Svjetlosnu zraku lasera možeš posmatrati i u vodi ako u vodu dodaš nekoliko kapi mlijeka.

3. Primarni i sekundarni izvor svjetlosti

Osvijetli bijelu aluminijsku foliju svjetlošću baterijske lampe u tamnoj prostoriji. Sada, umjesto s aluminijskom folijom, isto uradi i s ravnim ogledalom. Ugasi baterijsku lampu i provjeri da li predmeti svijetle. Ponovo uključi lampu. Možemo li reći da su ovi predmeti sekundarni izvori svjetlosti?

POZNATI NAUCNIK



Christiaan Huygens (1629–1695)

Huygens je bio jedan od najznačajnijih evropskih naučnika 17. stoljeća. Huygens je predložio ono što danas nazivamo talasnom teorijom svjetlosti, u kojoj se svjetlost ne posmatra kao tok čestica, nego kao talas koji se prostire kroz prostor. To je bilo suprotno tada dominantnoj ideji Isaaca Newtona, koji je tvrdio da se svjetlost sastoji od malih čestica.

Prema Huygensu, svaka tačka talasnog fronta može se smatrati izvorom novih, malih talasa. Ti mali talasi nazivaju se Huygensovi talasi, a ovaj princip, formulisan 1678. godine, danas je osnova talasne optike. Huygensova teorija na jednostavan i jasan način objasnila je mnoge pojave koje su ranije bile teško razumljive, kao što su odbijanje svjetlosti, njeno prelamanje pri prelasku iz jedne sredine u drugu i stvaranje sjena s jasnim i oštrim rubovima.

Osim otkrića povezanih sa svjetlošću, Huygens je dao značajan doprinos i u drugim oblastima. On je prvi izračunao približnu veličinu Saturnovih prstenova i otkrio jedan od njegovih mjeseca (Titan). Također, izradio je jedan od najtačnijih satova svog vremena, sat s klatnom. Time je poboljšana preciznost mjerenja vremena na globalnom nivou.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Od Sunca do Zemlje svjetlost stiže za 8 minuta i 20 sekundi.

PITANJA I ZADACI

1. Šta je izvor svjetlosti? Navedi nekoliko primjera iz svakodnevnog života.
2. Koja je razlika između primarnog i sekundarnog izvora svjetlosti?
3. Da li je Mjesec primarni ili sekundarni izvor? Objasni zašto.
4. Šta predstavlja svjetlosna zraka, a šta svjetlosni snop?
5. Osim pomoću prašine od krede, predloži drugi način da svjetlosne zrake učiniš vidljivim.

ZAPAMTI

- Svjetlost potječe od izvora svjetlosti. Oni mogu biti primarni (sami stvaraju svjetlost) ili sekundarni (odbijaju svjetlost primarnih izvora).
- Zamišljena linija koja pokazuje pravac širenja ili prostiranja svjetlosti naziva se svjetlosna zraka.
- Veliki broj svjetlosnih zraka koje se kreću u istom smjeru i prenose svjetlosnu energiju predstavlja svjetlosni snop.
- U homogenoj sredini svjetlost se prostire pravolinijski u svim pravcima.
- Izvor svjetlosti čije su dimenzije mnogo manje od površine koju osvjetljava ili, pak, čije su dimenzije mnogo manje od rastojanja do osvijetljenog predmeta naziva se tačkasti izvor svjetlosti.
- Najveća brzina u prirodi jeste brzina svjetlosti.

PROSVETNO DELO

4.2. SJENE I POLUSJENE

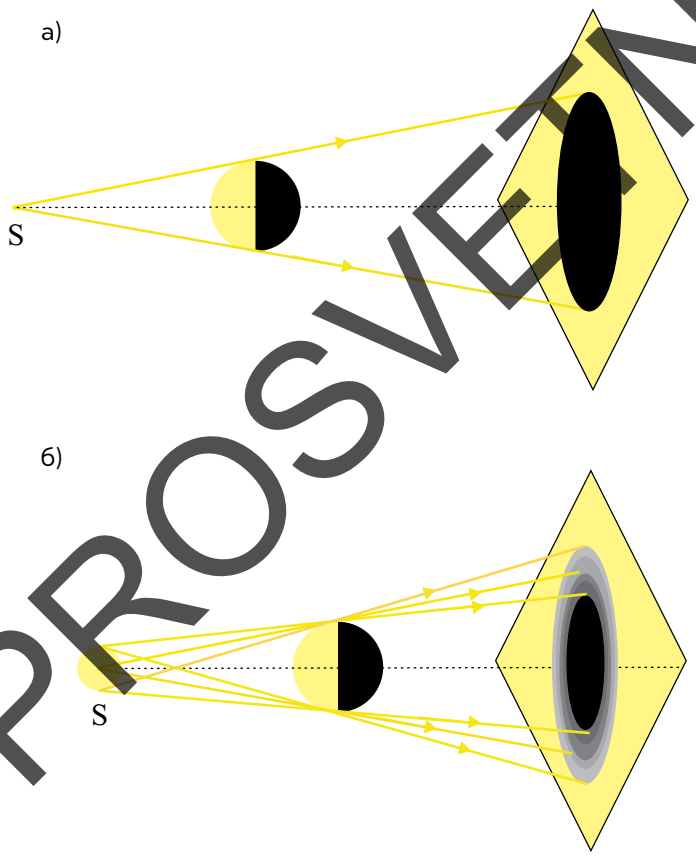
POJMOVI

sjena

polusjena

Kroz homogenu prozirnu sredinu svjetlost se prostire pravolinijski. Zato u prirodi nastaju mnoge zanimljive pojave. Jedna od njih su sjene, koje predstavljaju tamne površine što se pojavljuju kada neko tijelo ili predmet prepriječi put svjetlosnim zrakama. Iako na prvi pogled izgledaju jednostavno, sjene pružaju veoma važna saznanja o prostiranju svjetlosti, povezana s dimenzijama izvora i predmeta, kao i s rastojanjima između izvora, predmeta i površine na koju se projektuje sjena.

Kada na neko tijelo pada svjetlost iz tačkastog izvora svjetlosti, tijelo sprečava prostiranje dijela zraka i iza tijela nastaje tamna oblast koja se naziva sjena. Kažemo da je sjena dio prostora kroz koji ne prolazi nijedna svjetlosna zraka.



Slika 1. a) Formiranje sjene kada je tijelo osvijetljeno tačkastim izvorom i b) formiranje sjene i polusjene od istog tijela kada je osvijetljeno izvorom koji nije tačkast.

Međutim, ako izvor svjetlosti nije tačkast, nego ima dimenzije uporedive s dimenzijama tijela koje osvjetljavamo, tada ne dobijamo samo sjenu. Svjetlost koja pada na tijelo potječe iz različitih dijelova izvora svjetlosti, odnosno pada na tijelo iz različitih pravaca. Zato tijelo sprečava prolazak nekih zraka, a neke uspijevaju proći pored njegovog ruba. U ovim slučajevima iza tijela ne nastaje samo jedna tamna oblast, nego dvije: potpuno tamna oblast i svjetlija oblast oko nje.

Tamna centralna oblast, u koju ne pada nijedna svjetlosna zraka, naziva se sjena, a okolna oblast, do koje stiže dio svjetlosti, naziva se polusjena. Polusjena je uvijek svjetlija od sjene. Na Slici 1 prikazano je formiranje sjene od tačkastog izvora koji osvjetljava neprozirnu sferu, kao i sjena i polusjena dobijene od istog predmeta kada je osvijetljen izvorom koji nije tačkast.

PROSVJETNO DJELO

Kada imamo tačkasti izvor svjetlosti, zrake koje potječu iz njega, a tangente su na površinu sfere, jesu zrake koje označavaju granicu sjene, pa je zato ona oštra. U drugom slučaju, osim formiranja sjene, postoji oblast oko sjene do koje dolazi samo dio zraka iz različitih dijelova izvora. Granica između sjene i polusjene nije oštra.

Sjene i polusjene jasno su vidljive u svakodnevnom životu, naprimjer sjena ispod drveta. Tokom sunčanog dana rubovi sjene su zamućeni, jer je Sunce veliki izvor i stvara polusjenu. Međutim, ako koristimo malu svjetiljku u tamnoj prostoriji, možemo dobiti sjenu s veoma oštrom granicom.

Zbog stvaranja sjena i polusjena nastaju prirodne pojave: noć, pomračenje Sunca, pomračenje Mjeseca i Mjesečeve faze. Dan i noć smjenjuju se jer se Zemlja okreće oko svoje ose. Dio Zemlje koji je okrenut prema Suncu osvijetljen je i tamo je dan, a dio Zemlje koji Sunce ne osvjetljava nalazi se u sjeni i tamo je noć.

Tokom svaka 24 sata gotovo svako mjesto na Zemlji, izuzev krajnjih sjevernih i krajnjih južnih dijelova

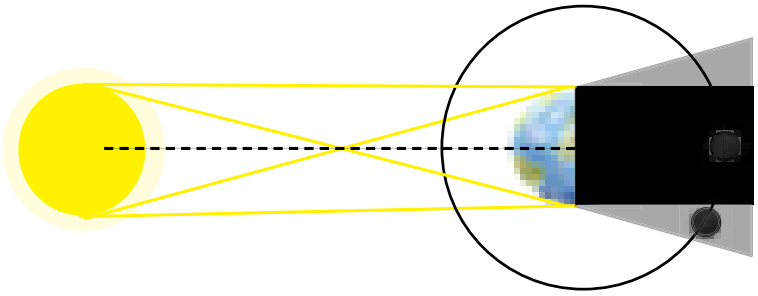


Slika 2. a) Sjena i polusjena Mjeseca na Zemlji, b) Izgled Sunca pri njegovom potpunom pomračenju (vide ga ljudi koji se nalaze u sjeni Mjeseca), c) Izgled Sunca pri njegovom djelimičnom pomračenju (vide ga ljudi koji se nalaze u polusjeni Mjeseca).

Zemlje, dio dana i noći nalazi se u sjeni, a dio je osvijetljen Sunčevim zrakama. Zamislite da je sfera na Slici 1b Zemlja, a izvor koji nije tačkast Sunce. Primjećujete da je jedna polovina sfere u sjeni druge polovine sfere koja je osvijetljena.

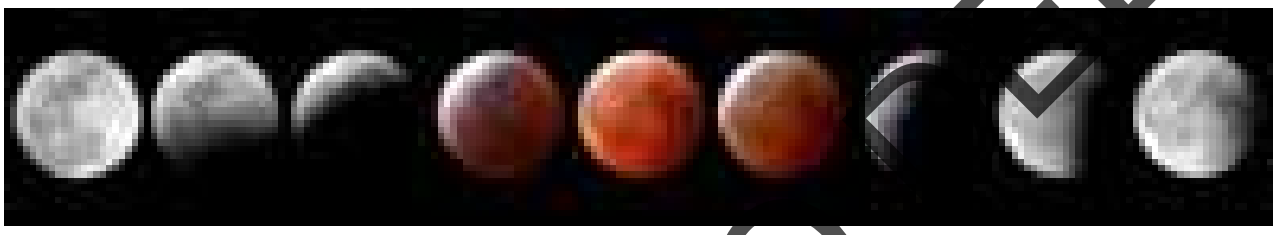
Pomračenje Sunca još je zanimljivije. Ono se događa kada se Mjesec nalazi između Zemlje i Sunca i sprečava pravolinijsko prostiranje Sunčevih zraka. Mjesec stvara malu oblast potpune sjene na Zemlji u kojoj je Sunce potpuno prekriveno. Ovakva pojava naziva se potpuno pomračenje Sunca. Oko sjene pojavljuje se i polusjena, oblast na Zemlji do koje stiže samo dio Sunčevih zraka. U tim oblastima Zemlje vidi se djelimično pomračenje Sunca. Zbog toga ne mogu svi ljudi na Zemlji istovremeno posmatrati pomračenje Sunca, jer je Mjesečeva sjena mnogo manja od veličine Zemlje.

PROSVETNO DELO



Slika 3. Sjena i polusjena Zemlje.

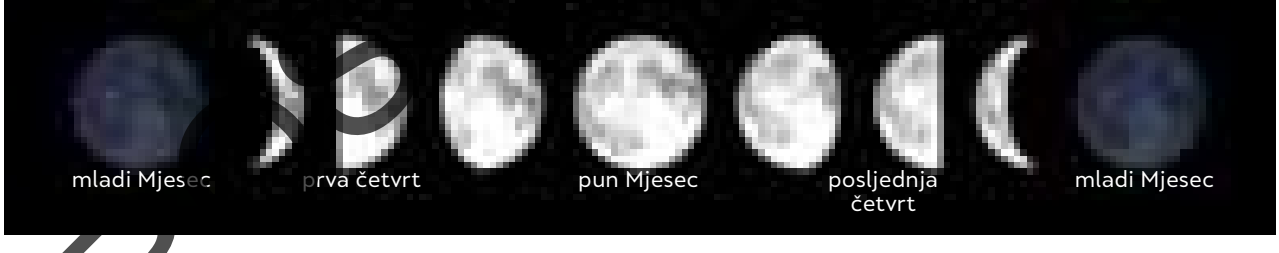
Kada se Zemlja nalazi tačno između Sunca i Mjeseca, kažemo da nastaje pomračenje Mjeseca (Slika 3). U tom slučaju Mjesec ulazi u Zemljinu sjenu. Ako cijeli Mjesec uđe u Zemljinu sjenu, vidimo potpuno pomračenje Mjeseca. Ako se Mjesec nalazi u sjeni ili polusjeni, tada vidimo djelimično pomračenje Mjeseca.



Slika 4. Djelimično i potpuno pomračenje Mjeseca posmatrano sa Zemlje pri kretanju Mjeseca kroz polusjenu i sjenu koje stvara Zemlja.

Ako se Mjesec nalazi potpuno u polusjeni, tada je smanjena svjetlost koju odbija sa svoje površine. Budući da je Zemlja veća od Mjeseca, sjena koju stvara je veća, pa se pomračenje Mjeseca može vidjeti s velikog dijela planete (Slika 4).

Mjesečeve faze pojavljuju se zato što se Mjesec kreće oko Zemlje, a Sunce osvjetljava samo jednu njegovu polovinu. Sa Zemlje u svakom trenutku vidimo različit dio osvijetljene polovine, pa zato Mjesec „mijenja oblik“. Promjene „oblika“ Mjeseca tokom svakih 29,5 dana nazivaju se Mjesečeve faze ili Mjesečeve mijene. One ne nastaju zato što Mjesec zaista



Slika 5. Mjesečeve mijene posmatrane sa Zemlje.

mijenja svoj oblik, nego zato što njegovu osvijetljenu stranu vidimo pod različitim uglovima dok se kreće oko Zemlje.

Kada je Mjesec između nas i Sunca, ne vidimo njegovu osvijetljenu polovinu – to je mladi Mjesec. Kada se, pak, Zemlja nalazi između Mjeseca i Sunca i cijela osvijetljena polovina Mjeseca okrenuta je prema Zemlji, vidimo pun Mjesec. Između ova dva položaja pojavljuju se različite međufaze, kao što su prva četvrt i posljednja četvrt, koje su rezultat toga koliki dio osvijetljene površine Mjeseca možemo vidjeti sa Zemlje.

PROSVJETNO DJELO

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Da je Sunce tačkasti izvor, ne bi postojala polusjena. Sve sjene bile bi oštre kao sjene koje stvara laserska svjetlost.

AKTIVNOSTI

1. Istraživanje veličine i granice sjene

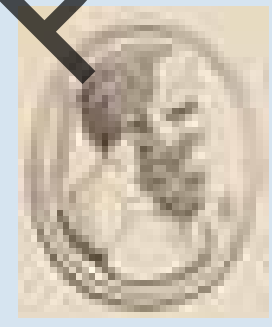
U ovoj aktivnosti otkrit ćeš kako se mijenjaju veličina i granica sjene kada se izvor svjetlosti postavi bliže ili dalje od predmeta. Postavi vertikalno bijeli list papira koji će predstavljati ekran na kojem ćeš dobiti sjenu osvijetljenog predmeta. Na rastojanju od približno 30 cm ispred lista papira postavi neproziran predmet, naprimjer olovku ili hemijsku olovku. Zatim baterijskom lampom postavljenom na rastojanju od 1 m ispred olovke osvijetli olovku. Posmatraj sjenu koja će se pojaviti na listu. Lenjirom izmjeri visinu, odnosno dužinu sjene.

Zatim približi lampu za 10 cm bliže predmetu i ponovo izmjeri dužinu sjene. Nastavi tako sve dok ne napraviš nekoliko mjerenja. Bilježi sve rezultate u tabelu. Kada prikupiš podatke, nacrtaj grafik: na horizontalnu osu postavi rastojanje od lampe do predmeta, a na vertikalnu visinu sjene. Šta primjećuješ? Da li veličina sjene zavisi direktno proporcionalno od rastojanja između izvora svjetlosti i predmeta? Da li približavanjem izvora svjetlosti neprozirnom predmetu njegova sjena postaje veća? Šta se događa s veličinom sjene kada izvor udaljavaš od predmeta? Kakve su granice sjene kada je izvor svjetlosti veoma daleko, a kakve kada je izvor blizu predmeta?

2. Crtanje dijagrama sjene i polusjene

U svesci nacrtaj neprozirna tijela različitih oblika, naprimjer malu kuglu, kocku ili kvadar. Nacrtaj ekran, a zatim nacrtaj različite izvore svjetlosti: jedan tačkasti i jedan veći, kao što je prikazano na Slici 1. Svjetlost od njih do predmeta predstavljaš zrakama. Nacrtaj zrake od izvora do rubova predmeta. Tamo gdje zrake ne mogu proći nastat će sjena. Tamo gdje dio zraka dopire do ekrana, a dio ne, pojavit će se polusjena. Nacrtaj nekoliko različitih primjera, pri čemu za svaki predmet nacrtaj zrake koje stižu do njega ako je osvijetljen tačkastim izvorom. Zatim napravi drugu skicu kada izvor svjetlosti nije tačkast. Šta primjećuješ? Kada postoji samo sjena predmeta, a kada postoje i sjena i polusjena?

POZNATI NAUCNIK



Hiparh iz Nikeje (Hipparchus, 190–120. p. n. e.)

Hiparh iz Nikeje bio je jedan od najvažnijih antičkih astronoma i jedan od prvih naučnika koji je sistematski proučavao sjene koje stvaraju nebeska tijela. Hiparh je bio prvi koji je tačno objasnio Mjesečeve faze, razlikujući ih od pomračenja i pokazujući da su faze rezultat različitog ugla pod kojim se vidi osvijetljena strana Mjeseca, a ne sjene i polusjene koje stvara Zemlja. Razvio je metode za predviđanje pomračenja Mjeseca, znanje koje je bilo od ogromne važnosti za stare civilizacije.

PROSVETNO DELO

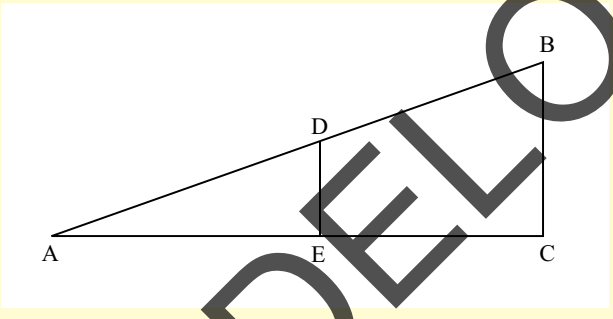
ZA 5+

Oblik i veličina sjene koju stvara tačkasti izvor mogu se precizno izračunati pomoću sličnih trouglova. U geometriji se kaže da su dva trougla slična ako imaju dva jednaka ugla. U tom slučaju njihove odgovarajuće stranice su proporcionalne. To znači da jedan može biti veći ili manji, ali oblik ostaje isti. Trouglovi ABC i ADE prikazani na Slici 6 su slični.

Za ove trouglove važi:

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{AE}}{\overline{DE}}.$$

Slični trouglovi mogu se koristiti za određivanje veličine sjene. Neka predmet visine $\overline{DE}$ bude postavljen ispred tačka stog izvora svjetlosti koji se nalazi u tački A. Ako znamo rastojanje od izvora do predmeta $\overline{AE}$ i rastojanje od izvora do ekrana $\overline{AC}$, tada lako možemo izračunati veličinu sjene $\overline{BC}$.



Slika 6. Slični trouglovi. Geometrijska skica dobijanja sjene predmeta od tačkastog izvora.

PITANJA I ZADACI

1. Kakve razlike postoje između sjene i polusjene?
2. Zašto sjene tokom sunčanog dana nemaju oštre granice?
3. U Sunčevom sistemu postoje planete koje nemaju prirodne satelite, kao što je Mjesec. Može li se na ovim planetama posmatrati pomračenje Sunca?
4. Zašto se pomračenje Mjeseca može vidjeti s velikog dijela Zemlje?
5. Zašto je, ako je izvor velik, sjena mala, a polusjena veća?

ZAPAMTI

- Sjena je potpuno tamna oblast do koje ne stiže nijedna svjetlosna zraka iz izvora svjetlosti ako je ispred njega postavljen neproziran predmet.
- Polusjena je djelimično osvijetljena oblast do koje stiže samo dio svjetlosnih zraka.
- Mali, tačkasti izvor stvara oštru i jasnu sjenu, a izvor svjetlosti većih dimenzija stvara sjenu i polusjenu.
- Mnoge pojave u prirodi, kao što su pomračenje Sunca i Mjeseca i Mjesečeve faze, objašnjavaju se stvaranjem sjena i polusjena.

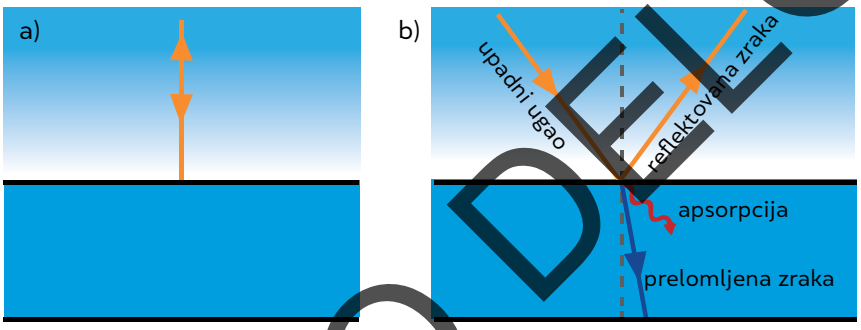
PROSVETNO DELO

4.3. ODBIJANJE SVJETLOSTI

POJMOVI

odbijanje (refleksija) svjetlosti | paralelni svjetlosni snop | upadni ugao | ugao odbijanja | normala | upadna zraka | odbijena (reflektovana) zraka | difuzno odbijanje | Zakon odbijanja svjetlosti

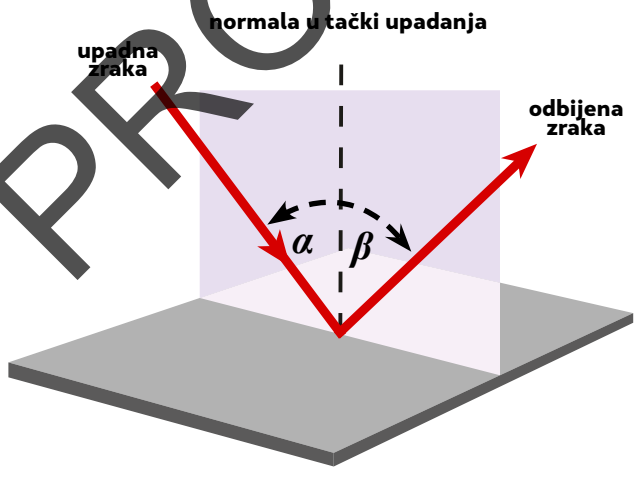
Ako pustimo elastičnu kuglicu da slobodno pada na tvrdu podlogu, kuglica će nakon odbijanja od podloge promijeniti smjer kretanja i kretat će se vertikalno prema gore. Ako kuglicu bacimo prema podlozi pod nekim uglom, nakon odbijanja od podloge ona će promijeniti pravac kretanja. Svjetlost, isto kao i kuglica, kada pada na neku površinu, mijenja smjer ili pravac prostiranja. Ova pojava naziva se odbijanje (refleksija) svjetlosti.



Slika 1. Svjetlost iz zraka pada na površinu vode. a) Nakon odbijanja od površine vode svjetlost mijenja samo smjer prostiranja b) Nakon odbijanja od površine svjetlost mijenja pravac prostiranja.

Kada svjetlosna zraka pada na granicu između dvije prozirne sredine, može se dogoditi jedna ili više sljedećih pojava: da se svjetlost odbije (reflektuje) od površine, da se upije (apsorbuje) na granici ili, pak, da nastavi da se prostire u drugoj sredini. Pri refleksiji svjetlost može promijeniti ili smjer prostiranja ili pravac.

Da bismo opisali refleksiju, uvest ćemo nekoliko osnovnih pojmova. Zamisli svjetlosnu zraku koja pada na površinu – to je upadna zraka. U tački gdje zraka dodiruje površinu zamišljamo polupravu postavljenu normalno (pod pravim uglom) na površinu. Ta poluprava naziva se normala. Uglovi se uvijek mjere u odnosu na normalu povučenu iz tačke upadanja.



Slika 2. Zakon odbijanja svjetlosti.

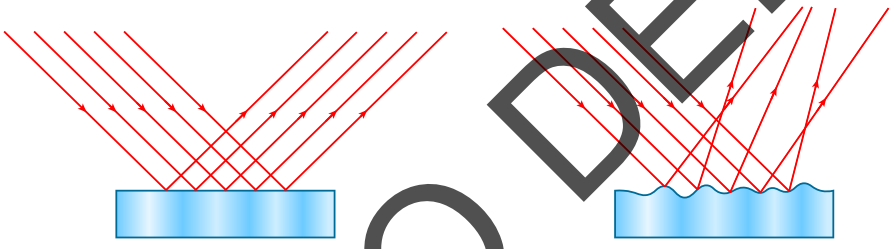
Kada se svjetlost odbije od površine, odbija se pod određenim uglom. Ova zraka naziva se odbijena (reflektovana) zraka (Slika 2). Ugao između upadne zrake i normale naziva se upadni ugao, a ugao između odbijene zrake i normale jeste ugao odbijanja ili ugao refleksije.

PROSVETNO DELO

Prema Zakonu odbijanja svjetlosti, svjetlost se odbija na granici između dvije sredine tako da je upadni ugao jednak uglu odbijanja ($\alpha = \beta$). Pritom upadna zraka, odbijena zraka i normala leže u istoj ravni.

Ako izvor svjetlosti emituje zrake samo u jednom pravcu, tada imamo paralelni snop zraka. Sve svjetlosne zrake u snopu kreću se u istom smjeru i njihovo međusobno rastojanje ostaje stalno duž pravca prostiranja. Kada paralelni snop zraka padne na ravnu površinu, sve zrake padaju na površinu pod istim uglom i odbijaju se pod istim uglom prema Zakonu odbijanja svjetlosti. To znači da zrake u snopu i nakon odbijanja ostaju paralelne.

Ako površina na koju pada paralelni svjetlosni snop nije ravna, tada zbog malih neravnina svaka zraka iz paralelnog snopa pada pod različitim uglom na površinu i odbija se od površine pod različitim uglom. Odbijene zrake više nisu paralelne, nego kažemo da se difuzno odbijaju.



Slika 3. Odbijanje paralelnog snopa zraka od ravne i neravne površine.

Difuzno odbijanje omogućava nam da vidimo predmete oko sebe. Svaka tačka bilo kojeg predmeta oko nas difuzno reflektuje svjetlost u različitim pravcima, pa dio te svjetlosti stiže do naših očiju i omogućava nam da vidimo cijeli predmet.

Pojava odbijanja svjetlosti od velikog je značaja za razumijevanje ogledala, optičkih instrumenata, periskopa, lasera i mnogih drugih uređaja u svakodnevnom životu.

AKTIVNOST

1. Difuzno odbijanje od ravnih i neravnih površina

Uzmi dvije različite površine, jednu glatku (staklena pločica s paralelnim stranama), a drugu neravnu (kvadar napravljen od drveta). Postavi ih na list papira tako da možeš osvjetljavati njihove površine laserom koji također leži na papiru. Da bi mogao vidjeti laserski snop u zraku, raspršli malo prašine od krede.

Prvo osvijetli staklenu pločicu. Na listu papira nacrtaj normalu u tački gdje pada laserska zraka i uglomjerom izmjeri upadni ugao i ugao refleksije. Jesu li oba ugla jednaka po veličini? Bez pomjeranja lasera pomjeri pločicu ulijevo ili udesno. Ponovo izmjeri upadni ugao i ugao refleksije. Jesu li rezultati oba mjerenja identični?

Sada osvijetli drvenu pločicu laserom. Povuci normalu u tački u kojoj pada svjetlost i ponovo izmjeri upadni ugao i ugao refleksije. Pomjeri drveni blok malo ulijevo ili udesno bez pomjeranja lasera. Ponovo izmjeri upadni ugao i ugao refleksije. Jesu li rezultati oba mjerenja za drveni kvadar identični?

PROSVETNO DELO

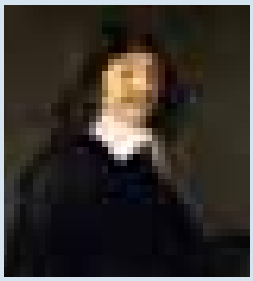
ZANIMLJIVE ČINJENICE

Laseri su izvori svjetlosti koji zrače paralelne svjetlosne snopove.

ZA 5+

Istražite za koliko se mijenja ugao refleksije ako se, pri istom upadnom uglu, ogledalo zakrene oko normale za određeni ugao.

POZNATI NAUCNIK



René Descartes (1596–1650)

Descartes je bio francuski filozof, matematičar i naučnik koji je značajno doprinio razvoju optike. On je prvi matematički formulisao Zakon odbijanja svjetlosti. Descartes je prvi primijetio da brzina svjetlosti nije ista u različitim sredinama. Njegovi opisi svjetlosnih zraka, normale i geometrije refleksije postavili su temelje savremene optike.

PITANJA I ZADACI

1. Objasni šta predstavlja odbijanje svjetlosti.
2. Zašto nam difuzno odbijanje omogućava da vidimo predmete oko sebe?
3. Zamisli da se nalaziš na morskoj obali i da se Sunčeve zrake odbijaju od vode. Zašto lik (odraz) Sunca na površini vode izgleda „razmazano", odnosno nije potpuno kružan?
4. Laserska zraka pada na ravnu površinu pod uglom od 65°. Izvedi aktivnost praktično, zatim nacrtaj crtež i objasni u kojem pravcu će se zraka odbiti. Koliki je ugao odbijanja?
5. Svjetlosna zraka pada na ravnu površinu pod uglom od 40° u odnosu na normalu.
   a) Koliki ugao upadna zraka zaklapa s ravnom površinom?
   b) Koliki je ugao između upadne i reflektovane zrake?
   c) Koliki ugao reflektovana zraka zaklapa s ravnom površinom?

ZAPAMTI

- Odbijanje ili refleksija svjetlosti je pojava pri kojoj svjetlosna zraka mijenja smjer ili pravac prostiranja kada pada na granicu između dvije sredine.
- Upadna zraka je svjetlosna zraka koja pada na granicu između dvije sredine.
- Normala je zamišljena poluprava postavljena pod pravim uglom na površinu u tački u kojoj pada upadna zraka.
- Odbijena (reflektovana) zraka je zraka koja se nakon odbijanja prostire u drugom pravcu.
- Upadni ugao je ugao koji zaklapaju upadna zraka i normala.
- Ugao odbijanja je ugao koji zaklapaju odbijena zraka i normala.
- Upadni ugao jednak je uglu odbijanja.
- Paralelne zrake nakon odbijanja od ravne površine ostaju paralelne.
- Paralelne zrake nakon odbijanja od neravne površine difuzno se reflektuju.

PROSVETNO DELO

4.4. RAVNO OGLEDALO I LIK KOD RAVNOG OGLEDALA

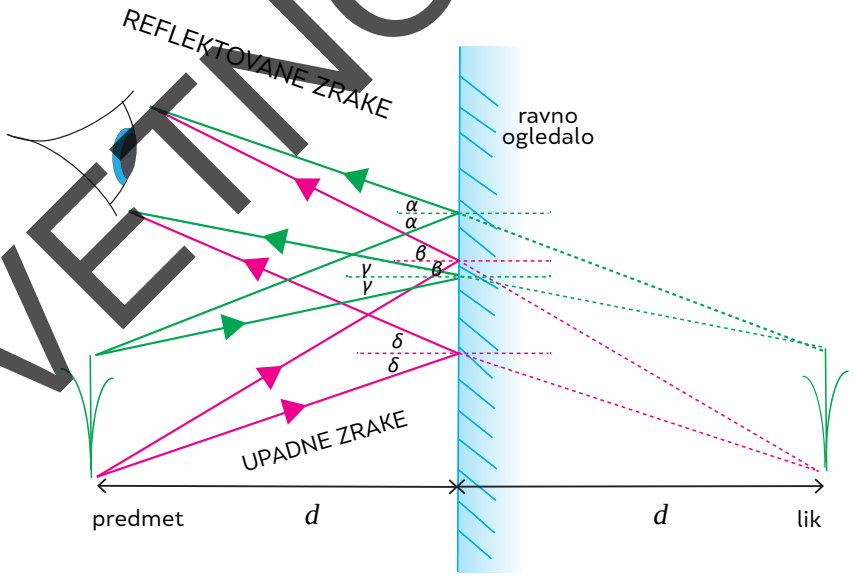
POJMOVI

lik/slika predmeta | ogledalna simetrija | imaginarni lik | realni lik

Svakodnevno, kada se gledamo u ogledalu, naizgled vidimo sliku ili lik koji izgleda identično nama, ali se nalazi „iza“ staklene površine. Kako nastaje ovaj lik? Odgovor se krije u pojavi odbijanja svjetlosti i u načinu na koji odbijene svjetlosne zrake od ogledala padaju u naše oči.

Ravno ogledalo je glatka, ravna površina koja potpuno odbija svjetlost. Kada svjetlosne zrake koje dolaze od nekog predmeta padaju na ogledalo, odbijaju se prema Zakonu odbijanja svjetlosti. Odbijene zrake od ogledala padaju u naše oči. Oči i mozak imaju osjećaj samo za pravolinijsko prostiranje svjetlosti, pa zbog toga dobijamo informaciju da svjetlost potječe iz tačke koja se nalazi u presjeku produžetaka odbijenih zraka unutar ogledala. Na taj način imamo osjećaj da se predmet nalazi iza površine ogledala. Ono što vidimo naziva se lik ili slika predmeta u ravnom ogledalu.

Na Slici 1 prikazano je formiranje lika u ravnom ogledalu pomoću zraka koje se odbijaju od ogledala u skladu sa Zakonom odbijanja svjetlosti. Radi pojednostavljivanja slike prikazano je formiranje lika samo od dvije tačke biljke. Primijetite da su upadni ugao i ugao odbijanja jednaki za sve zrake.



Slika 1. Formiranje lika kod ravnog ogledala pomoću dijagrama zraka. Iz svake tačke crtaju se dvije zrake koje nakon odbijanja od ogledala ulaze u oko posmatrača. U produžetku tih zraka iza ogledala formira se imaginarni lik.

Za lik koji vidimo kažemo da je imaginarni lik, nastao u produžetku odbijenih zraka iza ogledala. Imaginarni lik ima isti oblik i veličinu kao predmet. Nalazi se na istoj udaljenosti od ogledala kao i predmet. Lik predmeta kod ravnog ogledala uvijek je imaginaran. Imaginarni lik, za razliku od realnog lika (naprimjer, kao projekcija lika u kinu), ne može se projektovati na ekran.

Lik u ravnom ogledalu ima ogledalnu simetriju s predmetom. To znači da lijeva strana predmeta postaje desna strana lika. To je razlog zbog kojeg slova izgledaju „naopako“ kada

PROSVETNO DELO

ih gledamo u ogledalu.

Ravna ogledala koriste se svuda: u kupatilima, periskopima, optičkim instrumentima, pa čak i u arhitekturi i umjetnosti, odnosno svuda gdje treba promijeniti pravac prostiranja svjetlosnih zraka.

a)



б)

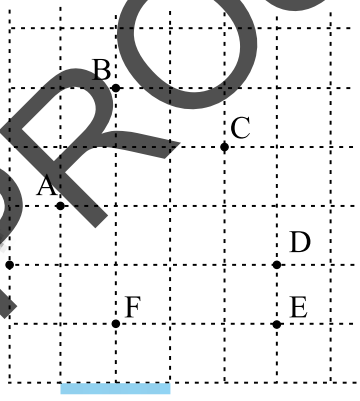


Slika 2. a) Desna ruka djevojke je lijeva ruka kod lika u ogledalu b) Riječ AMBULANCE (AMBULANCE) vozač može pravilno pročitati gledajući u ogledalo ispred sebe. Tekst na prednjem dijelu vozila Hitne pomoći i njegov lik u ogledalu imaju ogledalnu simetriju.

PROSVETNO DELO

RIJEŠENI PRIMJER

Koje od tačaka A, B, C, D, E i F prikazanih na slici ispod oko može vidjeti gledajući u ogledalo?

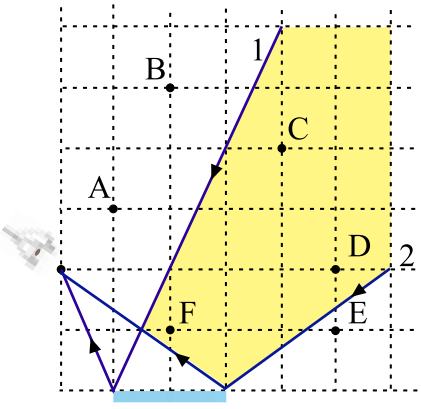


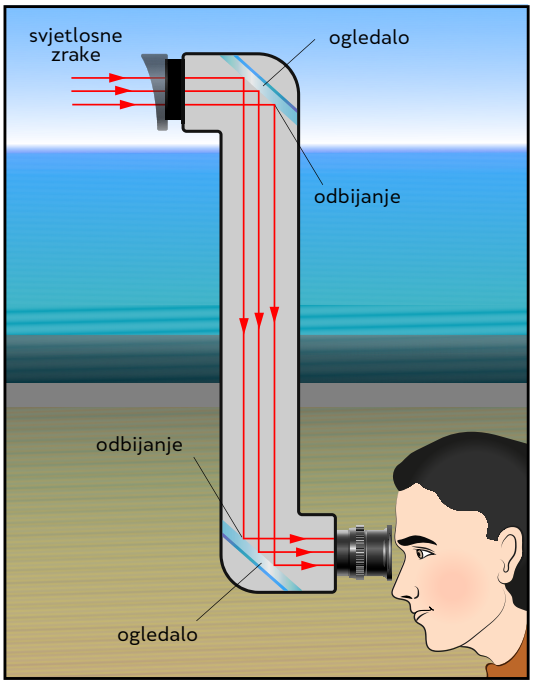
Rješenje:

Na oba kraja ogledala crtamo zrake koje nakon odbijanja od ogledala mogu pasti u oko, kao što je prikazano na slici ispod. Koristeći Zakon odbijanja svjetlosti, upadna i odbijena zraka trebaju zaklapati isti ugao s normalom u tački u kojoj pada svjetlosna zraka.

Zrake 1 i 2 su takve granične zrake. Cjelokupan prostor između ove dvije zrake naziva se vidno polje i oko može vidjeti svaku tačku u vidnom polju.

Prema tome, oku su vidljive tačke C, D i F.





Slika 3. Periskop je uređaj koji mornarima u podmornicama omogućava da gledaju iznad površine vode. Zrake koje dolaze od predmeta iznad vode pomoću dva ravna ogledala usmjeravaju se prema oku mornara.

AKTIVNOSTI

1. Eksperimentalno određivanje položaja lika kod ravnog ogledala

Prvi način: Uzmi malo ravno ogledalo i list bijelog papira. Postavi ogledalo vertikalno tako da njegov donji rub leži tačno na sredini lista. Postavi predmet, naprimjer ekser, ispred ogledala, približno na rastojanju od 10 cm.

Dok držiš ogledalo stabilno, pogledaj predmet. Posmatraj: vidiš da se lik predmeta pojavljuje iza ogledala, kao da stoji na nekoj zamišljenoj horizontalnoj površini u unutrašnjosti, kao što je prikazano na Slici 4a. Na kolikom rastojanju se nalazi imaginarni lik od ogledala?

Dok držiš pogled usmjeren u ogledalo, primijeti tačan položaj lika, odnosno na listu papira, sa strane iza ogledala, pokušaj označiti jedno mjesto na kojem smatraš da bi se nalazio lik kada bi ogledalo bilo prozirno. Ne podiži glavu. Ostani u istom položaju kako bi bio siguran da tačku označavaš iz iste perspektive gledanja.

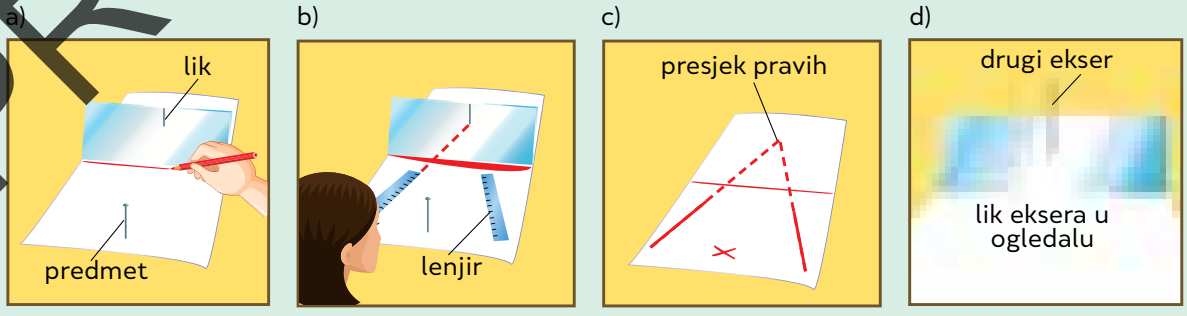
Kada označiš ovu tačku, ukloni ogledalo. Sada možeš izmjeriti udaljenost između predmeta i ogledala i udaljenost između ogledala i tačke koju si označio kao položaj lika. Otkrit ćeš da je rastojanje približno isto.

Ponovi eksperiment s predmetom na različitim rastojanjima: 5 cm, 15 cm, 20 cm… Svaki put trebaš dobiti isti rezultat – lik u ravnom ogledalu uvijek se pojavljuje na istom rastojanju iza ogledala kao i predmet ispred njega.

Drugi način: Kao i u prethodnom dijelu, postavi predmet ispred vertikalno postavljenog ogledala na listu papira, kao što je prikazano na Slici 4a. Na list papira postavi dva lenjira koji će biti usmjereni prema liku predmeta u ogledalu, kao što je prikazano na Slici 4b.

Sada povuci prave linije koristeći lenjire do ogledala. Ukloni ogledalo i produži prave do njihovog presjeka, kao što je prikazano na Slici 4c. U presječnoj tački pravih nalazi se položaj lika u ogledalu.

Da li je rastojanje od predmeta do ogledala i od ogledala do lika jednako? Primijeti da se produžeci odbijenih zraka iza ogledala tačno sijeku u tački u kojoj si označio položaj lika.



Slika 4. a) Postavljanje predmeta ispred vertikalnog ogledala i označavanje položaja ogledala, b) Postavljanje dva lenjira usmjerena prema predmetu c) Povlačenje pravih pomoću lenjira do tačke njihovog presjeka d) Provjera tačnosti dobijenih rezultata.

PROSVETNO DELO

Ako želiš provjeriti tačnost eksperimenta, na mjestu gdje se sijeku prave, iza ogledala, postavi drugi isti takav predmet, kao što je prikazano na Slici 4d. Ako se drugi ekser postavi u isti položaj u kojem se nalazi lik prvog eksera, bez obzira na položaj iz kojeg posmatraš, tada je tačno određeno mjesto na kojem se nalazi lik.

Ovaj jednostavan eksperiment pokazuje ti da lik u ravnom ogledalu ne postoji stvarno iza njega, nego nastaje na mjestu gdje se zamišljeno sijeku produžeci odbijenih zraka. Zato kažemo da je lik imaginaran, ali se njegov položaj može tačno odrediti

2. Proučavanje formiranja lika u ravnom ogledalu pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Geometrijska optika: Osnove“ (Geometric Optics: Basics) na internetskoj stranici:

i istraži formiranje likova kod ravnog ogledala. U simulaciji ćeš primijetiti predmet, najčešće svijeću ili strelicu, i ravno ogledalo postavljeno ispred njega. Tvoj zadatak je da razumiješ put zraka i otkriješ gdje i kako nastaje lik predmeta koji vidiš u ogledalu.

Počni tako što ćeš pažljivo posmatrati svjetlosne zrake koje se prostiru od predmeta. Ako uključiš opciju prikazivanja zraka, vidjet ćeš da se one kreću u različitim pravcima, ali samo dio njih stići će do ogledala i odbiti se. Da li se zrake koje padaju na ogledalo odbijaju pod istim uglom pod kojim padaju na njega? Važi li ovo pravilo za sve zrake, bez obzira na to gdje dodiruju površinu ogledala?

Zatim počni pomjerati predmet bliže i dalje od ogledala. Pritom posmatraj lik koji se pojavljuje „iza“ ogledala. Primijeti pomjera li se lik pri pomjeranju predmeta i nalazi li se na istom rastojanju iza ogledala kao i predmet ispred njega. Da li je ovaj lik realan ili imaginaran? Dolazi li svjetlost zaista s mjesta na kojem vidiš lik ili ga tvoj mozak stvara u produžecima reflektovanih zraka?

Sada malo nakrivi ogledalo ulijevo ili udesno. Obrati pažnju na to kako se mijenjaju pravci odbijenih zraka. Lik predmeta također će se pomjeriti, pa ćeš moći vidjeti da se pri promjeni položaja ogledala mijenja i položaj lika. Važi li i u ovom slučaju Zakon odbijanja svjetlosti od ravnog ogledala?

POZNATA NAUČNICA



Maria Goeppert-Mayer (1906–1972)

Goeppert-Mayer bila je njemačko-američka fizičarka koja je svoju naučnu karijeru započela istraživanjima u optici. U ranim godinama radila je sa složenim sistemima sastavljenim od ravnih ogledala za precizno usmjeravanje svjetlosti u laboratorijskim uslovima, čime je doprinijela razvoju metoda za proučavanje svjetlosti i njenog odbijanja.

Proučavala je procese apsorpcije i kretanja svjetlosti u optičkim sistemima, što je direktno povezuje s principima refleksije i odbijanja svjetlosnih zraka. Kasnije je Goeppert-Mayer za objašnjenje strukture atomskog jezgra 1963. godine dobila Nobelovu nagradu za fiziku, postavši druga žena u historiji s takvim priznanjem.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Ogledala su ključna za optičke iluzije u pozorištu. Ponekad se cijele scene stvaraju pomoću jednog velikog ravnog ogledala.

PROSVETNO DELO

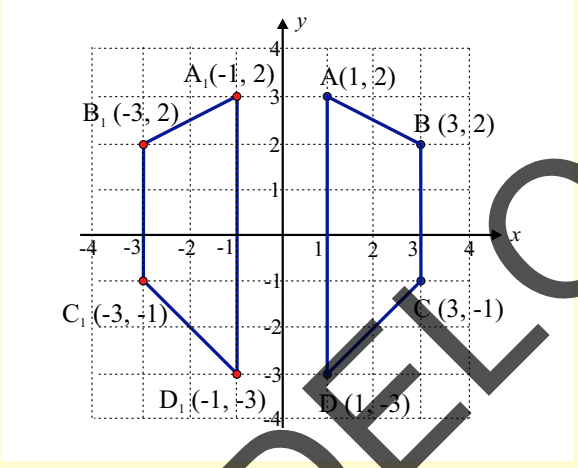
ZA 5+

Ako ogledalo zamislimo kao vertikalnu ravan, tada svaka tačka predmeta ima svoju simetričnu tačku iza ogledala. Postoje i matematičke transformacije koje opisuju ovakvo ponašanje.

U geometriji svaka tačka s koordinatama (x, y) ima ogledalno (osno) simetričnu tačku (-x, y) u odnosu na y-osu u Descartesovom pravouglom koordinatnom sistemu.

Ovaj princip stoji iza svih ogledala i objašnjava zašto je desna strana predmeta lijeva strana lika.

Istraži koje druge simetrije postoje u geometriji i fizici.



Slika 5. Slika pri osnoj simetriji u odnosu na y-osu trapeza ADCB jeste trapez $A_1D_1C_1B_1$. Tačka s koordinatama (x, y) prelazi u tačku s koordinatama (-x, y).

PITANJA I ZADACI

1. Opiši karakteristike lika predmeta koji se dobija pomoću ravnog ogledala.
2. Za slovo „Φ“ kažemo da ima ogledalnu simetriju. Koja druga slova u makedonskoj azbuci imaju ogledalnu simetriju?
3. Stojiš 40 cm ispred ravnog ogledala. Na kojem rastojanju iza ogledala nalazi se tvoj lik?
4. Ispred ravnog ogledala, na rastojanju od 25 cm od ogledala, postavljena je svijeća. Nacrtaj dijagram svjetlosnih zraka i konstruiši lik svijeće u ogledalu.
5. Na 1,35 m ispred ravnog ogledala stoji učenik. Izračunaj rastojanje između čovjeka i njegovog lika ako se čovjek:
   a) Približi ogledalu za 15 cm,
   b) Udalji od ogledala za 35 cm.

ZAPAMTI

- Pri odbijanju od ravnog ogledala svjetlosne zrake odbijaju se prema Zakonu refleksije, pa zato možemo tačno predvidjeti i konstruisati gdje će biti lik.
- Predmet i lik u ravnom ogledalu jednaki su po veličini.
- Ravno ogledalo uvijek daje imaginarni lik.
- Lik je simetričan s predmetom u odnosu na ravan ogledala, odnosno kažemo da postoji ogledalna simetrija.
- Lik predmeta dobijen pomoću ravnog ogledala nalazi se na istom rastojanju od ogledala kao i predmet.

PROSVETNO DELO

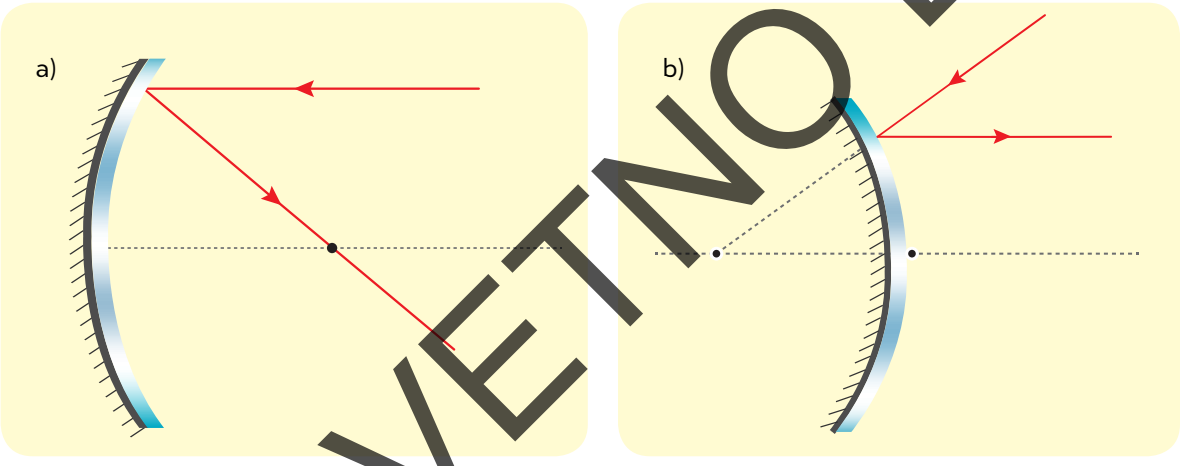
4.5. SFERNA OGLEDALA

POJMOVI

sferno ogledalo | udubljeno/konkavno | tjeme i fokus sfernog ogledala | karakteristične zrake | ispupčeno/konveksno | centar | optička osa | radijus zakrivljenosti | fokusno rastojanje

Većina ogledala koja susrećemo u svakodnevnom životu su ravna ogledala. U nauci, industriji i svakodnevnom životu veoma su važna i takozvana sferna ogledala. Sferna ogledala predstavljaju dijelove sferne površine koji imaju sposobnost da reflektuju svjetlost.

Sferno ogledalo može biti udubljeno (konkavno), ako je reflektujuća, odnosno ogledalna strana u unutrašnjosti sferne površine, ili ispupčeno (konveksno), ako se reflektujuća površina nalazi na vanjskoj strani sferne površine (Slika 1).



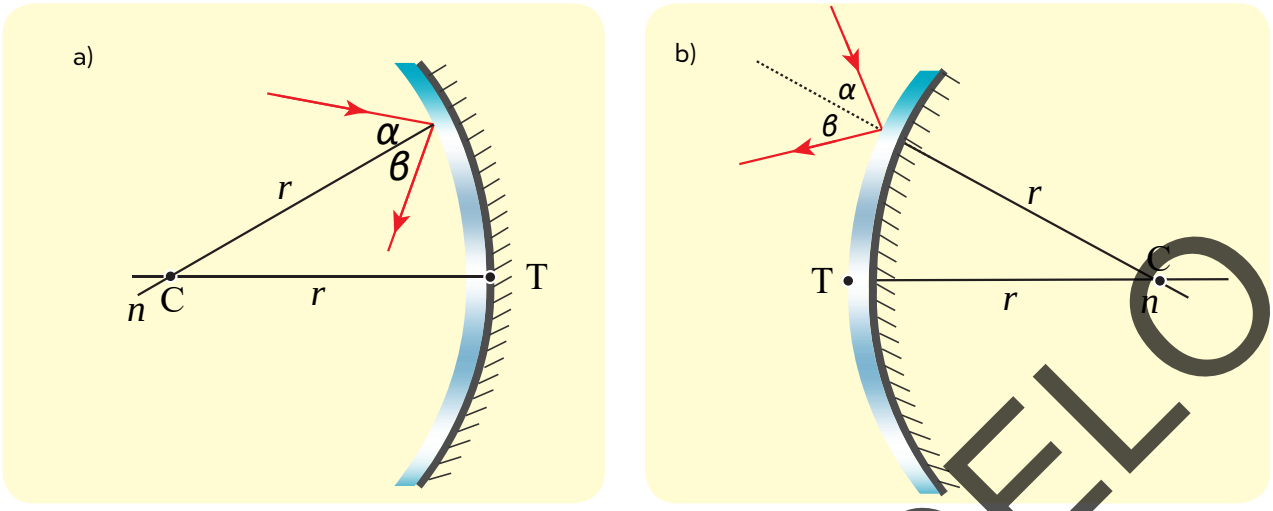
Slika 1. a) Udubljeno (konkavno) ogledalo b) Ispupčeno (konveksno) ogledalo.

Svako sferno ogledalo možemo jednostavno opisati pomoću nekoliko tačaka i linija koje nazivamo elementima sfernog ogledala. One su važne za razumijevanje načina na koji se svjetlost odbija i kako se dobija lik kod sfernog ogledala.

Zamislimo sferu iz koje je ogledalo „izrezano“, kao što je prikazano na Slici 2. Centar te sfere naziva se centar zakrivljenosti (označen sa C), a rastojanje od centra zamišljene sfere do površine ogledala naziva se radijus zakrivljenosti (označen sa r). Tjeme ogledala je najispupčenija tačka konveksnog ogledala ili najudubljenija tačka konkavnog ogledala (označena sa T). Glavna optička osa je prava koja prolazi kroz tjeme ogledala i centar zakrivljenosti (prava TC) i ona predstavlja najvažniju zamišljenu liniju kod sfernih ogledala.

Zakon odbijanja svjetlosti važi i kod sfernih ogledala. Zraka koja pada pod određenim uglom na površinu ogledala odbija se pod istim uglom $(\alpha = \beta)$. Radijus povučen od centra ogledala do tačke u kojoj pada zraka predstavlja normalu u toj tački.

PROSVETNO DELO



Slika 2. Elementi a) udubljenog i b) ispupčenog sfernog ogledala.

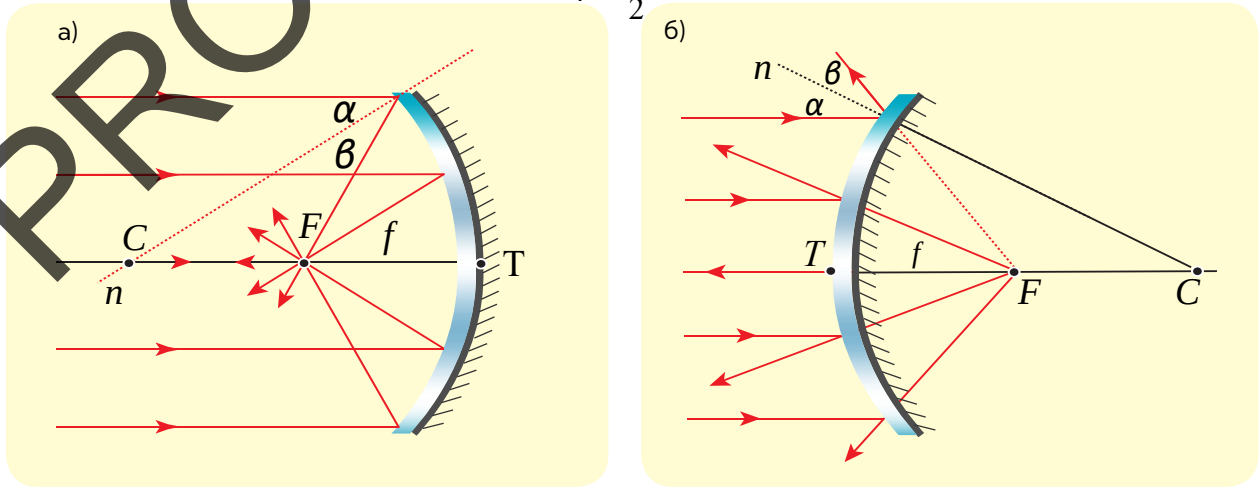
Jedan od najkarakterističnijih elemenata sfernog ogledala jeste njegov fokus.

Kada na udubljeno ogledalo padaju zrake koje su paralelne s glavnom optičkom osom, nakon odbijanja skupljaju se u jednoj tački na optičkoj osi (Slika 3a). Ta tačka naziva se fokus udubljenog ogledala. Zbog ove karakteristike, da se paralelne zrake s glavnom optičkom osom skupljaju u jednoj tački, udubljena ogledala nazivaju se i sabirna ogledala. Za fokus kod udubljenih ogledala kažemo da je realan.

Kod ispupčenih ogledala paralelne zrake s optičkom osom koje padaju na ogledalo odbijaju se i ne skupljaju se u jednoj tački, nego se rasipaju u prostoru. Produžeci ovih zraka sijeku se u tački iza ogledala, koja predstavlja fokus ispupčenog ogledala (Slika 3b). Zato za fokus kod ispupčenog ogledala kažemo da je imaginaran. Zbog rasipanja paralelnih snopova zraka nakon odbijanja od površine ispupčenog ogledala, ova ogledala nazivaju se i rasipna ogledala.

Rastojanje od tjemena do fokusa naziva se fokusno rastojanje, a za sferna ogledala pokazuje se da je to rastojanje jednako polovini radijusa zakrivljenosti, odnosno:

$$f = \frac{r}{2}.$$



Slika 3. Fokus kod a) udubljenog ili sabirnog ogledala i b) ispupčenog ili rasipnog ogledala.

PROSVETNO DELO

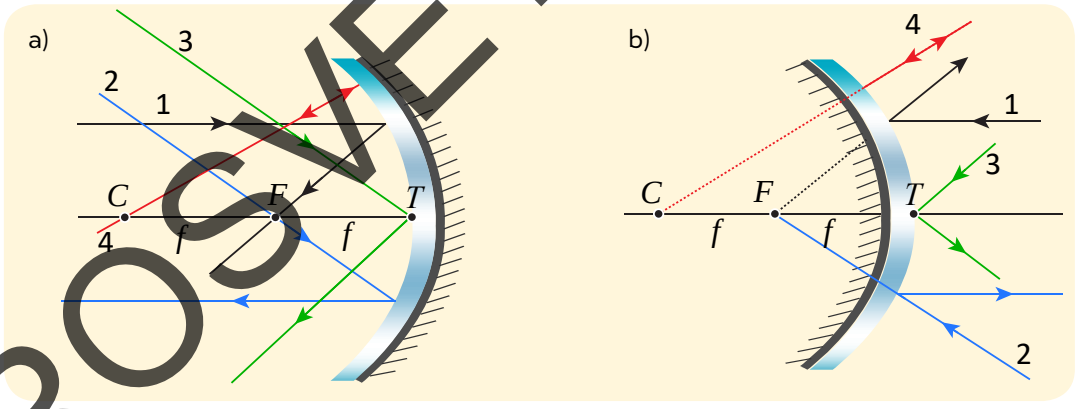
Za lakše konstruisanje likova kod sfernih ogledala koristimo karakteristične zrake. Njih možemo lako pratiti i predvidjeti njihov put, bez obzira na to gdje se nalazi predmet.

Kod udubljenog ogledala karakteristične zrake su:

1. Zraka koja se prostire paralelno s glavnom optičkom osom nakon odbijanja od ogledala prolazi kroz fokus ogledala (zraka 1 na Slici 4a).
2. Zraka koja prolazi kroz fokus nakon odbijanja od ogledala paralelna je s glavnom optičkom osom (zraka 2 na Slici 4a).
3. Zraka koja pada u tjeme ogledala pod određenim uglom u odnosu na glavnu optičku osu odbija se pod uglom koji je po veličini jednak upadnom uglu (zraka 3 na Slici 4a).
4. Zraka koja prolazi kroz centar zakrivljenosti nakon odbijanja od ogledala ne mijenja svoj pravac, nego samo smjer prostiranja (zraka 4 na Slici 4a).

Karakteristične zrake kod ispupčenog ogledala su:

5. Zraka koja ide paralelno s glavnom optičkom osom odbija se od ogledala kao da dolazi iz imaginarnog fokusa (zraka 1 na Slici 4b).
6. Zraka koja pada prema imaginarnom fokusu nakon odbijanja od ogledala paralelna je s optičkom osom (zraka 2 na Slici 4b).
7. Zraka koja pada u tjeme pod određenim uglom u odnosu na glavnu optičku osu odbija se pod uglom koji je po veličini jednak upadnom uglu (zraka 3 na Slici 4b).
8. Zraka koja pada prema centru zakrivljenosti nakon odbijanja od ogledala ne mijenja svoj pravac, nego samo smjer prostiranja (zraka 4 na Slici 4b).



Slika 4. Karakteristične zrake kod a) udubljenog ogledala i b) ispupčenog ogledala.

Korištenjem ovih zraka može se jednostavno konstruisati lik predmeta postavljenog ispred sfernog ogledala.

ZA 5+

Slični trouglovi u najopćenitijem slučaju jesu trouglovi koji imaju dva jednaka ugla. Identifikuj koji su trouglovi slični ako nacrtaš tačkasti izvor i iz njega karakteristične zrake koje se odbijaju od udubljenog ogledala, nakon čega se sijeku u jednoj tački.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOST

1. . Lik tačkastog izvora kod sfernog ogledala

Ispred udubljenog i ispupčenog ogledala nacrtajte tačkasti izvor svjetlosti koji nije postavljen na glavnoj optičkoj osi. Nacrtajte karakteristične zrake koje izlaze iz izvora i odredite gdje se sijeku nakon odbijanja od sfernih ogledala. Diskutujte o tome šta predstavlja tačka presijecanja tih zraka. Diskutujte jesu li svi učenici dobili identične rezultate. Da li se karakteristične zrake kod ispupčenog ogledala sijeku u jednoj tački? Produžite reflektovane zrake kod ispupčenog ogledala iza ogledala. Da li se one sijeku?

POZNATI NAUCNIK



Alhazen ili Ibn al-Haytham (965–1040)

Ibn al-Haytham bio je arapski fizičar i matematičar koji je prvi sistematski proučavao sferna ogledala, njihova fokusna rastojanja i ponašanje svjetlosnih zraka pri odbijanju od sfernih ogledala. On je detaljno analizirao geometriju udubljenih ogledala i objasnio pojavu fokusiranja paralelnog snopa svjetlosnih zraka.

Njegovo najveće djelo „Knjiga o optici“ predstavlja osnovu savremenog proučavanja svjetlosti. Mnoge metode koje je uveo, uključujući upotrebu karakterističnih svjetlosnih zraka i geometrijskih konstrukcija likova, i danas se koriste pri proučavanju i crtanju likova kod sfernih ogledala.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Kašika je odličan primjer sfernog ogledala: jedna strana je konveksna, a druga konkavna.

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja centar zakrivljenosti i gdje se nalazi kod sfernog ogledala?
2. U čemu se sastoji razlika između optičke ose i fokusnog rastojanja?
3. Ako je radijus zakrivljenosti jednog ogledala 60 cm, odredi fokusno rastojanje.
4. Udubljeno ogledalo ima fokusno rastojanje od 25 cm. Koliki je radijus zakrivljenosti?
5. Na udubljeno sferno ogledalo padaju 4 paralelne zrake koje s glavnom optičkom osom zaklapaju ugao α. Nacrtaj prostiranje ovih zraka nakon odbijanja od ogledala i odredi koje se od zraka sijeku u jednoj tački.

ZAPAMTI

- Postoje dvije vrste: udubljeno (konkavno) i ispupčeno (konveksno) ogledalo.
- Tjeme je najudubljenija tačka kod udubljenog ogledala ili najispupčenija tačka kod ispupčenog ogledala.
- Centar zakrivljenosti je centar sfere iz koje je ogledalo „izrezano“.
- Glavna optička osa je prava koja prolazi kroz tjeme i centar zakrivljenosti.
- Fokus je tačka u kojoj se sijeku odbijene zrake koje su pale na ogledalo paralelno s glavnom optičkom osom.
- Fokusno rastojanje jednako je polovini radijusa zakrivljenosti.

PROSVETNO DELO

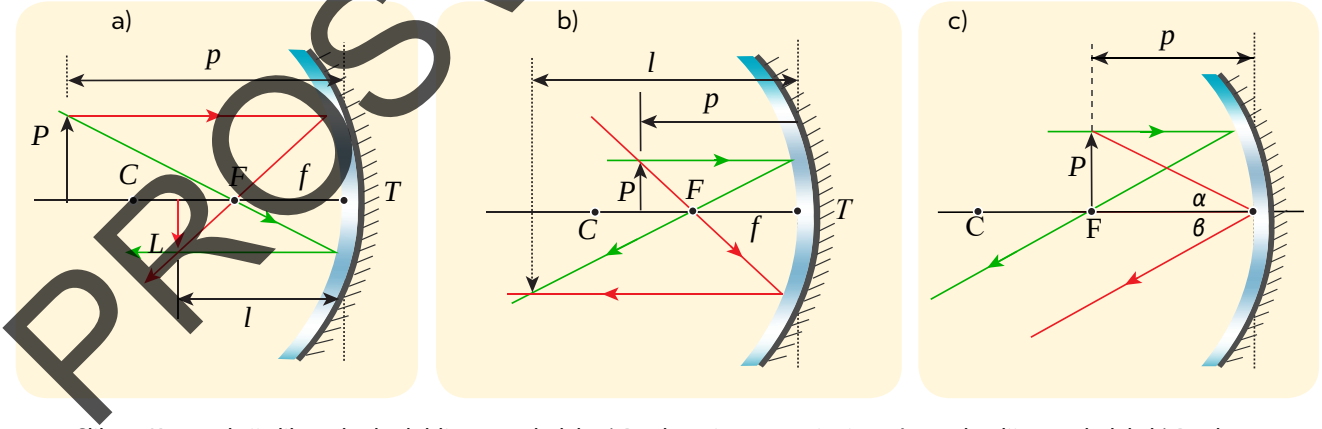
4.6. KONSTRUKCIJA LIKOVA KOD SFERNIH OGLEDALA

Položaj i karakteristike likova koji se dobijaju pomoću sfernih ogledala razmotrit ćemo za najjednostavniji slučaj, kada je predmet u obliku strelice. U ovom slučaju potrebno je da odredimo lik samo najudaljenije tačke predmeta od optičke ose. Sve preostale tačke nalaze se na normali povučenoj iz ove tačke do optičke ose.

Lik kod udubljenog ogledala

Kada je predmet postavljen ispred udubljenog ogledala, u zavisnosti od njegovog položaja u odnosu na fokus i centar, mogu se dobiti različiti likovi.

1. Predmet je postavljen dalje od centra zakrivljenosti (C), odnosno na rastojanju većem od radijusa ogledala ($p > r$), kao što je prikazano na Slici 1a. Dobijeni lik je umanjen, obrnut i realan, a nalazi se između centra zakrivljenosti i fokusa ($f < l < r$).
2. Ako se predmet nalazi u centru zakrivljenosti, tada će lik biti iste veličine kao predmet, realan i obrnut.
3. Ako se predmet nalazi između centra zakrivljenosti (C) i fokusa (F), ($f < p < r$), kao što je prikazano na Slici 1b, lik će biti uvećan, obrnut i realan i nalazit će se na rastojanju većem od radijusa zakrivljenosti sfernog ogledala ($l > r$).
4. Ako je predmet postavljen u fokusu ogledala ($p = f$), kao što je prikazano na Slici 1c, tada se nakon odbijanja zraka od ogledala one ne sijeku, odnosno paralelne su, pa kažemo da se lik formira beskonačno daleko od ogledala (kažemo da je lik u beskonačnosti).



Slika 1. Konstrukcija likova kod udubljenog ogledala a) Predmet je na rastojanju većem od radijusa ogledala b) Predmet je na rastojanju većem od fokusnog rastojanja, ali manjem od radijusa ogledala c) Predmet je postavljen u fokusu ogledala.

Na svakoj slici sa p označeno je rastojanje od predmeta do ogledala, sa l je označeno rastojanje od ogledala do lika, r je radijus ogledala, a sa f je označeno fokusno rastojanje. Visina predmeta označena je sa P, a visina lika sa L. Ove oznake koristit će se i na sljedećim slikama.

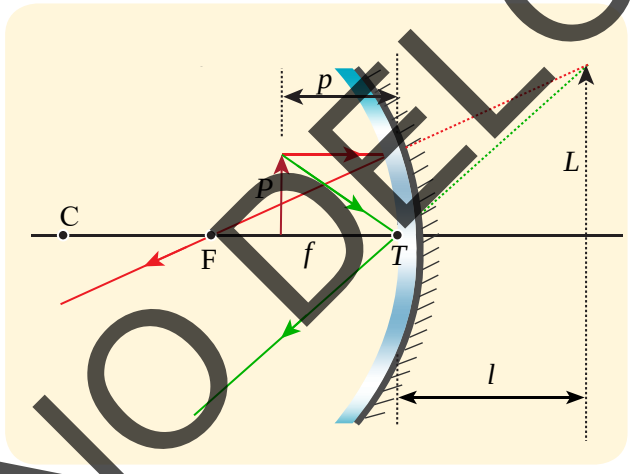
PROSVETNO DELO

Na Slici 1 prikazana je konstrukcija likova u svakom od tri slučaja. Radi preglednosti, na svakoj slici nacrtane su samo po dvije karakteristične zrake.

Realni likovi dobijeni pomoću udubljenog ogledala mogu se dobiti na ekranu (naprimjer, bijelom listu papira), postavljenom na istoj strani na kojoj je postavljen i predmet ispred ogledala. Drugi način da se vidi lik jeste da se oko postavi u položaj u kojem se formira lik.

Pomoću udubljenog ogledala može se dobiti i imaginarni lik.

5. Ako je predmet postavljen između tjemena i fokusa ($p < f$), kao što je prikazano na Slici 2, tada se odbijene zrake ne sijeku ispred ogledala. Ako ih produžimo isprekidanim linijama, one će se sjeći iza ogledala. Za ovako dobijeni lik kažemo da je imaginaran. Zrake koje dolaze u naše oko izgledaju kao da potječu iz tačke iza ogledala. Imaginarni lik kod udubljenog ogledala uvijek je veći od predmeta i, za razliku od realnih likova, ovaj lik nije obrnut. Konstrukcija imaginarnog lika predmeta pomoću udubljenog ogledala prikazana je na Slici 2.

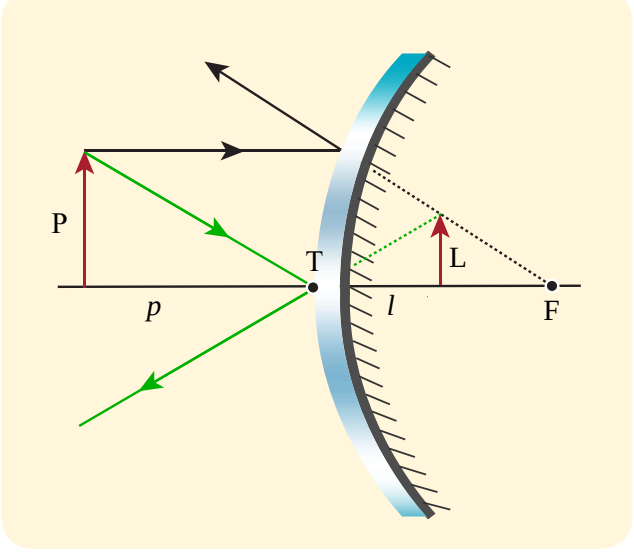


Slika 2. Konstrukcija imaginarnog lika predmeta kod udubljenog ogledala. Predmet je postavljen na rastojanju manjem od fokusnog rastojanja.

Lik kod ispupčenog ogledala

Likovi kod ispupčenog ogledala uvijek su imaginarni, uspravni i umanjeni, bez obzira na to gdje je predmet postavljen. Što se predmet više udaljava od ogledala, to se njegov lik više smanjuje, a njegov položaj približava fokusu. Ako je predmet u beskonačnosti, tada je lik u fokusu.

Na Slici 3 prikazana je konstrukcija lika kod ispupčenog sfernog ogledala pomoću karakterističnih zraka. Lik se formira u produžetku odbijenih zraka.



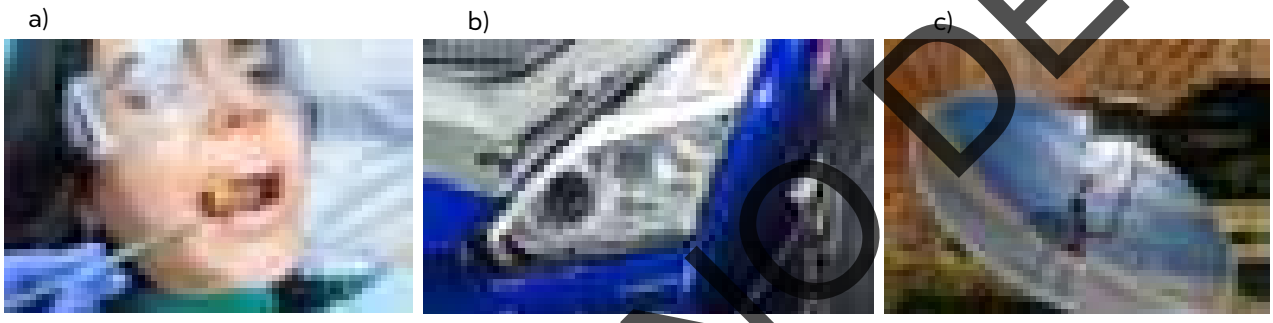
Slika 3. Konstrukcija lika kod ispupčenog ogledala.

PROSVETNO DELO

Primjena sfernih ogledala

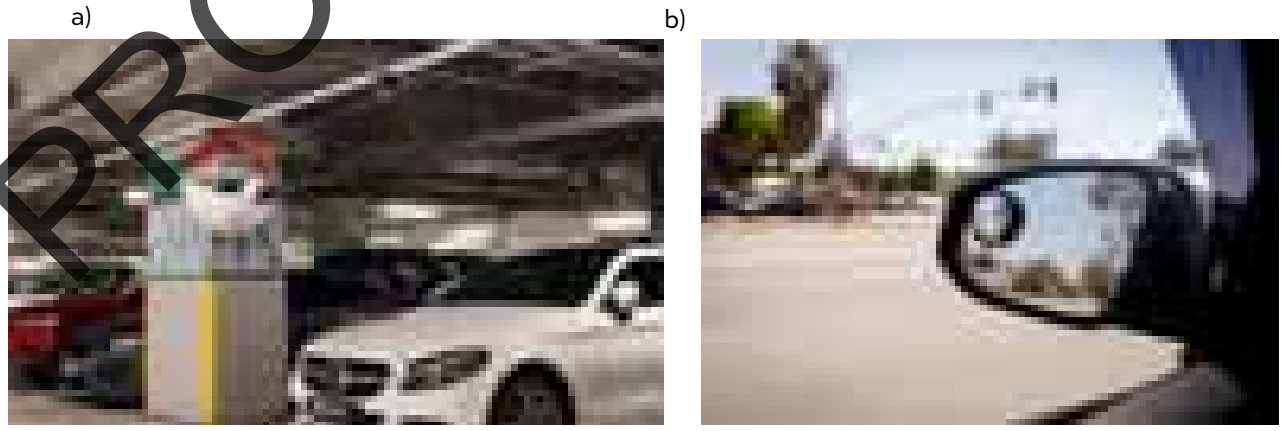
Udubljena ogledala imaju važnu ulogu na mjestima gdje je potrebno skupljanje ili fokusiranje svjetlosti. Budući da mogu formirati uvećan i jasan imaginarni lik kada je predmet blizu ogledala, koriste se u stomatologiji, gdje stomatolog treba precizno vidjeti sitne detalje zuba. Ista sposobnost stvaranja uvećanog imaginarnog lika čini ih korisnim za izradu ogledala koja se koriste u kozmetici, gdje se lice vidi veće i jasnije.

Udubljena ogledala neophodna su i u tehničkim uređajima: automobilski reflektori usmjeravaju svjetlosne zrake u paralelni snop s ciljem da osvijetle veće rastojanje ispred automobila.



Slika 4. Udubljena sferna ogledala a) u stomatologiji, b) kod svjetala automobila i c) u tehnici za skupljanje (fokusiranje) svjetlosnih zraka u jednoj tački i prirodno zagrijavanje predmeta do visoke temperature.

Ispupčena ogledala upotrebljavaju se tamo gdje je potrebno dobiti umanjen lik predmeta, odnosno postići široko vidno polje. Budući da zrake koje padaju na njih daju umanjen, ali uspravan imaginarni lik, ova ogledala stvaraju likove mnogih predmeta koji su postavljeni ispred njih. Zato ih susrećemo u bočnim retrovizorima automobila, gdje vozač treba imati potpun pogled na put iza sebe, kao i na raskrsnicama, u garažama i supermarketima, gdje dodatna preglednost znači veću sigurnost.



Slika 5. Ispupčena sferna ogledala a) Postavljeno tako da vozač ima jasan pogled pri izlasku vozilom s parking-mjesta b) Retrovizor automobila.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Istraživanje lika dobijenog pomoću udubljenog ogledala

Postavi udubljeno ogledalo na držač, a ispred njega svijeću ili mali predmet (olovku ili strelicu napravljenu od kartona). Postavi list papira koji će služiti kao ekran nasuprot ogledalu. Postavi predmet daleko od ogledala, dalje od centra zakrivljenosti. Polako približavaj predmet duž optičke ose prema ogledalu. Posmatraj kako se mijenja lik koji nastaje na ekranu.

Da li je lik realan i veći, manji ili iste veličine kao predmet? Kada je lik manji, veći ili jednak u odnosu na veličinu predmeta? Kada prestaje formiranje lika na ekranu?

Postavi predmet između njegovog fokusa i ogledala i primijeti kakav se lik vidi u ogledalu. Možeš li dobiti lik na ekranu? Sada postavi predmet u fokus ogledala. Možeš li dobiti lik na ekranu ili ga vidjeti u ogledalu?

2. Istraživanje lika dobijenog pomoću ispupčenog ogledala

Uzmi ispupčeno ogledalo (može biti i retrovizor automobila) i postavi mali predmet ispred njega. Približavaj i udaljavaj predmet od ogledala i posmatraj lik. Da li je lik realan – možeš li ga dobiti na ekranu? Da li se njegova veličina znatno mijenja s povećanjem rastojanja od predmeta do ogledala? Da li je lik uvećan ili umanjen u odnosu na veličinu predmeta?

3. Proučavanje formiranja lika pomoću sfernih ogledala na interaktivnoj internetskoj stranici

Otvori simulaciju „Geometrijska optika“ (Geometric Optics) na internetskoj stranici:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

i istraži formiranje likova kod sfernih ogledala. Na ekranu ćeš primijetiti predmet (svijeću ili strelicu) i mogućnost da biraš između udubljenog i ispupčenog ogledala. Tvoj zadatak je da istražiš karakteristične zrake, otkriješ kako nastaje lik u zavisnosti od toga kakvo sferno ogledalo koristiš i na kojem rastojanju se predmet nalazi od ogledala.

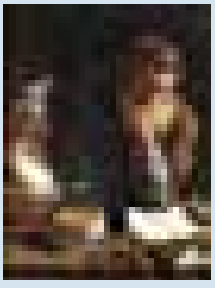
Počni tako što ćeš izabrati udubljeno ogledalo. Uključi zrake kako bi mogao pratiti njihov put. Posmatraj tri karakteristične zrake koje prikazuje simulacija. Primijeti gdje se sijeku odbijene zrake i gdje nastaje lik. Pomjeri predmet bliže ogledalu, pa dalje. Da li se veličina i položaj lika mijenjaju? Da li je realan ili imaginaran? Da li je uspravan ili obrnut?

Zatim izaberi ispupčeno ogledalo i posmatraj kako se svaka od karakterističnih zraka koja pada na ogledalo odbija tako da izgleda kao da potječe iz tačke iza ogledala. Pomjeri predmet na različita rastojanja i primijeti postaje li lik veći, manji ili ostaje iste veličine. Može li se u ispupčenom ogledalu ikada dobiti realan lik?

Promijeni radijus zakrivljenosti ogledala i primijeti kako se mijenja fokusno rastojanje ogledala. Razmisli šta to znači za formiranje lika i kako se ovo saznanje primjenjuje kod svakodnevnih ogledala, farova, teleskopa i optičkih instrumenata.

POZNATI NAUČNIK

Arhimed (Archimedes, 287–212. p. n. e.)



Arhimed je jedan od najvećih naučnika antičkog svijeta, poznat po svojim otkrićima u matematici i fizici (u 7. razredu učio si o Arhimedovom zakonu poluge i Arhimedovoj sili potiska). Manje je poznata činjenica da je proučavao i odbijanje svjetlosti.

Prema legendi, Arhimed je koristio velika udubljena ogledala kako bi fokusirao Sunčevu svjetlost i zapalio neprijateljske brodove tokom opsade Sirakuze. Iako historijska istinitost ove legende nije u potpunosti potvrđena, danas znamo da udubljena ogledala mogu skupljati Sunčevu svjetlost u jednoj tački, odnosno u fokusu ogledala, i znatno povećati njen intenzitet u toj tački.

PROSVETNO DELO

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Udubljena ogledala koriste se kod teleskopa za skupljanje veoma slabe svjetlosti koja potječe iz udaljenih galaksija.

ZA 5+

Jedan od važnih zaključaka u optici sfernih ogledala jeste matematička veza između fokusnog rastojanja (f), rastojanja od predmeta do ogledala (p) i rastojanja od lika do ogledala (l). Ta veza naziva se jednačina sfernog ogledala:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{l}.$$

U gornjoj jednačini fokusno rastojanje uzima se kao negativno ako je ogledalo ispupčeno. Ako je lik koji se dobija pomoću ogledala imaginaran, tada se za rastojanje od lika do ogledala dobija negativna vrijednost. Ova jednačina omogućava izračunavanje položaja lika bez njegove grafičke konstrukcije.

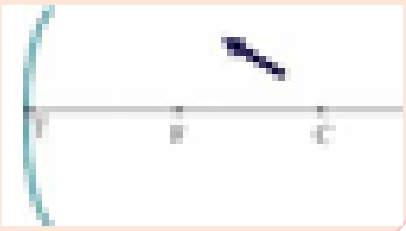
Količnik veličine lika i veličine predmeta jeste uvećanje ogledala u. Uvećanje ogledala može se izračunati i kao količnik rastojanja od lika do ogledala i rastojanja od predmeta do ogledala:

$$u=\frac{L}{P}=\frac{l}{p},$$

gdje je L visina lika, a P visina predmeta. Rastojanje od predmeta do ogledala je p, a rastojanje od lika do ogledala je l. Ako je količnik L/P (ili l/p) veći od 1, tada je lik uvećan, a ako je manji od 1, lik je umanjen u odnosu na predmet. Ako je ovaj količnik jednak 1, tada predmet i lik imaju istu visinu.

PITANJA I ZADACI

1. U svesci konstruiši likove predmeta koji se nalaze na rastojanjima od 5 cm, 10 cm i 15 cm ispred ispupčenog ogledala. Fokusno rastojanje ispupčenog ogledala je 5 cm. Šta se događa s veličinom lika ako je predmet postavljen na većem rastojanju od ogledala? Ogledalo nacrtaj šestarom.
2. Predmet visok 2 cm daje realan lik visok 4 cm pomoću udubljenog ogledala. Da li se predmet nalazi bliže ili dalje od fokusnog rastojanja? Obrazloži svoj odgovor!
3. Predmet se nalazi na 8 cm ispred udubljenog ogledala s fokusnim rastojanjem od 5 cm. Pomoću karakterističnih zraka odredi gdje će se formirati lik.
4. Predmet visok 5 cm stoji na rastojanju od 15 cm ispred ispupčenog ogledala s fokusnim rastojanjem od 10 cm. Konstruiši lik i odredi njegovu visinu.
5. Konstruiši lik predmeta u obliku strelice koji je postavljen ispred udubljenog ogledala, kao što je prikazano na slici.



ZAPAMTI

- Lik kod udubljenog ogledala može biti realan ili imaginaran, u zavisnosti od rastojanja predmeta do ogledala.
- Ispupčeno ogledalo uvijek daje uspravan i umanjen lik koji je imaginaran, bez obzira na to gdje je predmet postavljen.

PROSVETNO DELO

4.7. PRELAMANJE SVJETLOSTI

POJMOVI

prelamanje/ refrakcija svjetlosti | prozirna sredina | optička sredina | ugao prelamanja | indeks prelamanja | neprozirna sredina | transparentnost/ propustljivost svjetlosti | brzina svjetlosti | prelomljena zraka | planparalelna pločica

Svjetlost može proći kroz neke materijale, a kroz neke ne može. Poznato je da su zrak, staklo, voda i neke vrste plastike prozirni ili providni jer kroz njih prolazi svjetlost. S druge strane, drvo, metal i tkanina su neprozirni ili neprovidni jer kroz njih svjetlost ne može proći. Materijale koji propuštaju svjetlost nazivamo transparentnim ili propustljivim za svjetlost.

Brzina svjetlosti u vakuumu (c) iznosi približno 300 000 km/s. Međutim, brzina svjetlosti nije ista u svakoj prozirnoj sredini. Svaki materijal kroz koji svjetlost može proći naziva se optička sredina. Brzina svjetlosti u različitim optičkim sredinama je različita. U svakoj optičkoj sredini, različitoj od vakuuma, brzina svjetlosti ima manju vrijednost od c. Što je brzina svjetlosti manja u određenoj optičkoj sredini, kažemo da je ta sredina optički gušća.

Da bi se opisalo ovakvo ponašanje, u fizici se koristi fizička veličina indeks prelamanja (n). On se definiše kao količnik brzine svjetlosti u vakuumu (c) i brzine svjetlosti u nekoj optičkoj sredini (v).

$$n = \frac{c}{v}$$

Indeks prelamanja je bezdimenzionalna veličina i pokazuje koliko je puta brzina svjetlosti u nekoj optičkoj sredini manja od brzine svjetlosti u vakuumu.

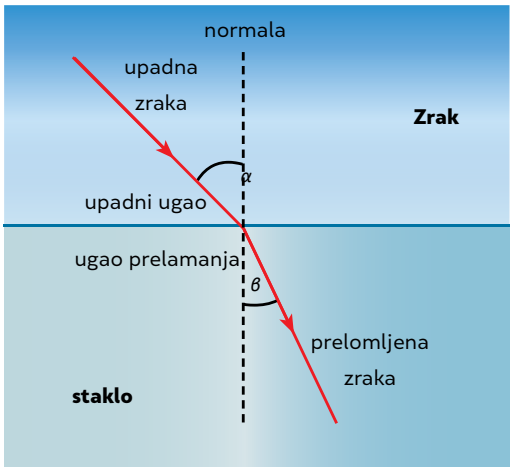
Tabela 1. Indeks prelamanja svjetlosti za neke supstance.

Optička sredina	Indeks prelamanja (n)
Zrak (0^{o}C)	1,0003
Zrak (40^{o}C)	1,0002
Voda	1,33
Ulje	1,46
Staklo	1,50
Dijamant	2,42

Kada tanak svjetlosni snop padne na granicu između dvije optičke sredine, pod upadnim uglom α mjerenim u odnosu na normalu, dio tog snopa reflektuje se nazad u sredinu iz koje je došao pod istim uglom, ali dio snopa prelazi u drugu sredinu, odnosno kažemo da se zraka prelomila. Ta zraka nastavila je da se kreće pod uglom prelamanja β mjerenim u odnosu na normalu (Slika 1). Ova promjena pravca prostiranja svjetlosti naziva se prelamanje ili refrakcija svjetlosti.

Uzrok prelamanja svjetlosti jeste to što se kroz različite optičke sredine svjetlost kreće različitim brzinama, odnosno različite optičke sredine imaju različit indeks prelamanja.

PROSVETNO DELO



Slika 1. Prelamanje svjetlosti na granici između dvije sredine.

1. Ako svjetlost dolazi iz optički rjeđe sredine (s manjim indeksom prelamanja n_1) u optički gušću sredinu (s većim indeksom prelamanja n_2), ona se prelama prema normali. U ovakvom slučaju možemo reći da je $\alpha > \beta$ (Slika 2a).

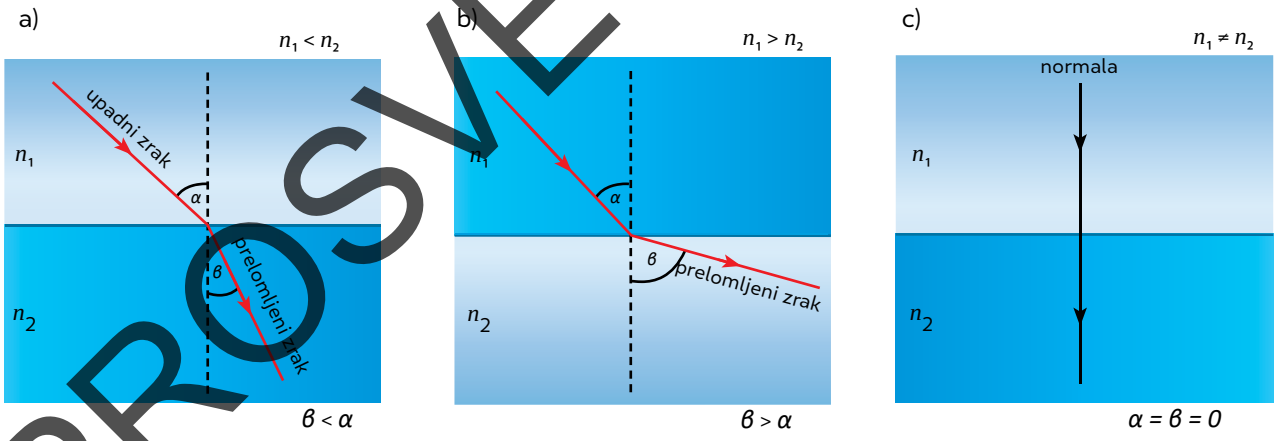
2. U obrnutom slučaju, ako svjetlost prelazi iz optički gušće u optički rjeđu sredinu, tada se svjetlost prelama od normale, $\alpha < \beta$ (Slika 2b).

3. Ako svjetlost pada normalno na granicu dvije optičke sredine s različitim indeksima prelamanja, tada svjetlost ne mijenja pravac prostiranja, bez obzira na to pada li iz optički rjeđe u optički gušću sredinu ili obrnuto (Slika 2c).

Za prelamanje svjetlosti važi: upadna zraka, normala i prelomljena zraka leže u istoj ravni.

Ovim tvrdnjama dat je Zakon prelamanja svjetlosti.

Prelamanje svjetlosti lako se može posmatrati u svakodnevnom životu. Ako uronimo kašiku u vodu i pogledamo odozgo ili sa strane, ona izgleda kao da je „slomljena“ ili savijena (Slika 3a).



Slika 2. a) Prelamanje svjetlosti između dvije optičke sredine, pri čemu je prva optička sredina optički rjeđa od druge. b) Prelamanje svjetlosti između dvije optičke sredine, pri čemu je prva optička sredina gušća od druge. c) Prelazak svjetlosti na granici između dvije optičke sredine kada pada pod upadnim uglom od nula stepeni u odnosu na normalu.

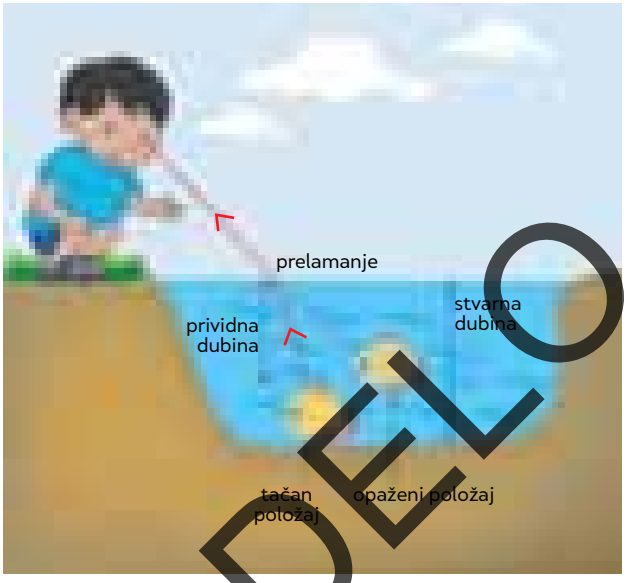
Kada gledamo predmete pod vodom, naš mozak produžava prelomljene zrake po pravoj liniji i stvara pogrešan utisak – da su predmeti na manjoj dubini od njihovog stvarnog položaja. Zato dno bazena izgleda pliće, a predmeti pod vodom izgledaju kao da su na manjoj dubini nego što zaista jesu, kao što je prikazano na Slici 3b.

PROSVETNO DELO

a)



b)



Slika 3. a) Kašika uronjena u posudu s vodom. b) Učenik vidi ribu u produžetku zraka koje dolaze do njegovog oka nakon prelamanja na granici voda–zrak. Zato riba prividno izgleda kao da se nalazi na manjoj dubini.

AKTIVNOSTI

1. Prelamanje svjetlosti kod planparalelne pločice

Transparentna ploča s dvije ravne paralelne strane predstavlja planparalelnu pločicu. Može biti izrađena od stakla ili plastike. Neka svjetlosna zraka lasera osvjetljava jednu paralelnu stranu pločice. Nacrtaj pravu po kojoj se kreće upadna zraka i pravu po kojoj nastavlja da se kreće prelomljena zraka u pločici.

Nacrtaj normalu na mjestu gdje svjetlost pada na pločicu i pažljivo razmotri kako se mijenja pravac zrake kada prelazi iz zraka u staklo. Pokušaj promijeniti ugao pod kojim svjetlost pada na planparalelnu pločicu i ponovo nacrtaj prave po kojima se svjetlost kretala prije ulaska u pločicu. Da li se povećanjem upadnog ugla povećao ugao pod kojim se svjetlost prelomila? Za različite upadne uglove izmjeri uglove prelamanja i rezultate prikaži tabelarno.

Na kraju, neka laserska svjetlost pada pod pravim uglom na površinu pločice. Šta se događa s prelomljenom zrakom? Da li svjetlosna zraka i u ovom slučaju mijenja pravac kretanja?

2. Proučavanje prelamanja svjetlosti pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Savijanje svjetlosti“ (Bending Light) i izaberi dio „Uvod“ (Intro) na internetskoj stranici:

https://phet.colorado.edu/en/simulations/bending-light

Na ekranu ćeš vidjeti lasersku zraku koju možeš pomjerati gore-dolje, kao i graničnu površinu između dvije transparentne optičke sredine. Tvoj zadatak je da istražiš šta se tačno događa sa svjetlošću kada ona pređe iz jedne u drugu optičku sredinu i zašto zraka mijenja pravac prostiranja kada mijenja sredinu.

Počni tako što ćeš izabrati zrak kao gornju sredinu, a ispod njega postaviti vodu. Usmjeri lasersku zraku tako da pada pod proizvoljnim uglom u odnosu na normalu granične površine.

Posmatraj kako se dio zrake reflektuje, a dio ulazi u drugu optičku sredinu, pri čemu mijenja pravac prostiranja. Uglomjerom izmjeri upadni ugao i ugao prelamanja. Promijeni upadni ugao zrake. Da li se promijenio i ugao prelamanja? Postupak ponovi za najmanje 5 upadnih uglova i rezultate zapiši u tabelu. Šta primjećuješ i kakav zaključak možeš izvesti? Indekse prelamanja materijala koje koristiš možeš pročitati u desnom uglu simulacije.

Sada zamijeni optičke sredine. Neka gornja sredina bude staklo, a donja voda. Kao i u prvom dijelu aktivnosti, usmjeravaj upadne zrake pod različitim upadnim uglovima i izmjeri uglove prelamanja. Rezultate ponovo unesi u tabelu. Kakav zaključak sada možeš izvesti?

PROSVETNO DELO

Pokušaj postaviti različite kombinacije optičkih supstanci i uvijek, prije nego što usmjeriš zraku, zapiši svoju pretpostavku: hoće li se prelomljena zraka otkloniti prema normali ili od nje? Zatim provjeri pokazuje li simulacija ono što si očekivao.

Pomoću simulacije provjeri da li, ako zraka pada normalno na granicu između dvije optičke sredine, ne dolazi do prelamanja svjetlosti, ali i nastaje li prelamanje na granici između dvije optičke sredine ako su njihovi indeksi prelamanja jednaki.

RIJEŠENI PRIMJER 1.

Izračunaj brzinu prostiranja svjetlosti u dijamantu čiji je indeks prelamanja 2,42.

Dato:
$n = 2,42$ $c = 3 \cdot 10^8$ m/s
Traži se:
$v - ?$

Za brzinu prostiranja svjetlosti u dijamantu imamo:

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,42} = 1,24 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

RIJEŠENI PRIMJER 2.

Na ovoj slici prikazano je prostiranje svjetlosti kroz tri sredine. Iz zraka s indeksom prelamanja n_1 ona prelazi u dvije optičke sredine s indeksima prelamanja n_2 i n_3. Nakon prolaska zrake kroz optičku sredinu s indeksom prelamanja n_3, ona ponovo izlazi u zrak.

a) Odredi koja od optičkih sredina ima najveći, a koja najmanji indeks prelamanja.

b) Odredi u kojoj je optičkoj sredini brzina svjetlosti najveća, a u kojoj najmanja.

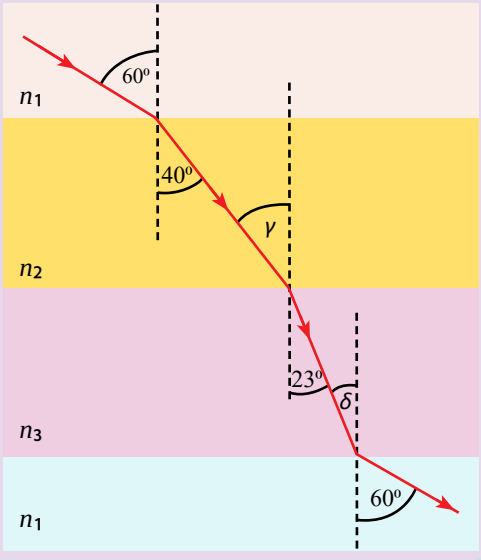
c) Odredi uglove γ i δ ako znaš da su granične površine paralelne.

Rješenje:

a) Sa slike se može primijetiti da se pri prelasku iz prve sredine (zrak) u drugu sredinu zraka prelama prema normali, pa je zato $n_2 > n_1$. Također, pri prelasku zrake iz druge u treću sredinu, budući da je $\gamma > 23^\circ$ slijedi $n_3 > n_2$. Konačno zaključujemo da je: $n_1 < n_2 < n_3$.

б) Ako sa v1, v2 i v3 označimo brzine svjetlosti u zraku i u druge dvije sredine, zbog načina na koji se zraka prelama možemo zaključiti $v_1 > v_2 > v_3$.

в) Budući da su granične površine optičkih sredina paralelne, slijedi da su normale na mjestima gdje pada zraka paralelne. Iz svojstva jednakosti naizmjeničnih uglova pri presijecanju paralelnih pravih transverzalom slijedi $\gamma = 40^\circ$ и $\delta = 23^\circ$.



ZANIMLJIVE ČINJENICE

Zbog prelamanja svjetlosti u njenoj atmosferi Sunce vidimo nekoliko minuta prije nego što zaista izađe na horizontu i nekoliko minuta nakon njegovog zalaska iza horizonta.

PROSVETNO DELO

ZA 5+

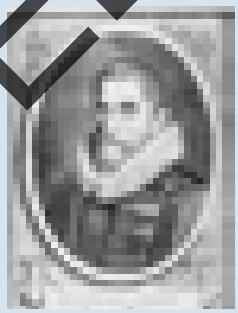
Prelamanje se matematički izražava Snellius-Descartesovim zakonom, koji povezuje indekse prelamanja sredina na čijoj se granici svjetlost prelama i odgovarajuće uglove. Za mali upadni ugao (do nekoliko stepeni), ovaj zakon može se zapisati na sljedeći način:

$$\frac{n_1}{n_2} \approx \frac{\beta}{\alpha},$$

gdje je n_1 indeks prelamanja sredine iz koje zraka pada na graničnu površinu, n_2 je indeks prelamanja sredine u kojoj se zraka prelama, α je upadni ugao, a β je ugao prelamanja.

POZNATI NAUČNIK

Willebrord Snellius (1580–1626)



Willebrord Snellius bio je holandski matematičar, astronom i geodet poznat po svojoj sposobnosti da primjenjuje matematičke metode pri proučavanju prirodnih pojava.

Njegov najveći doprinos nauci jeste formulisanje veze između upadnog ugla i ugla prelamanja svjetlosti pri prelasku iz jedne u drugu optičku sredinu, što je danas poznato kao Snellius-Descartesov zakon. Iako zakon nije bio objavljen tokom njegovog života, njegov rad kasnije je postao osnova savremene optike.

Osim u optici, Snellius je dao važan doprinos i razvoju trigonometrije, uvodeći metodu „triangulacije" (određivanje položaja predmeta poznavanjem uglova u dvije tačke pod kojima se predmet vidi i poznavanjem rastojanja između tih tačaka), koja se i danas koristi u geodeziji za mjerenje velikih rastojanja i u mobilnoj telefoniji. Ovom metodom izračunao je radijus Zemlje s velikom tačnošću.

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja indeks prelamanja i zašto je bezdimenzionalna veličina?
2. Kako se svjetlost prelama kada prelazi iz zraka u vodu?
3. Kako se svjetlost prelama kada prelazi iz stakla u vodu?
4. Kolika je brzina prostiranja svjetlosti u optičkoj sredini koja ima dvaput veći indeks prelamanja od indeksa prelamanja vode?
5. Svjetlosna zraka pada pod kosim uglom u odnosu na normalu na staklenu pločicu s indeksom prelamanja 1,50. Staklena pločica postavljena je na površinu vode čiji je indeks prelamanja 1,33 i zraka iz staklene pločice direktno prelazi u vodu. Nacrtaj put svjetlosne zrake i odredi hoće li se pri svakom od prelamanja zraka otkloniti od normale ili prema normali graničnih površina.

ZAPAMTI

- Indeks prelamanja n za optičku sredinu jeste količnik brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u datoj sredini.
- Prelamanje nastaje zbog promjene brzine svjetlosti pri prelasku iz jedne u drugu optičku sredinu.
- Kada svjetlost prelazi iz optički rjeđe u optički gušću sredinu, ona se prelama prema normali.
- Kada svjetlost prelazi iz optički gušće u optički rjeđu sredinu, ona se prelama od normale.
- Upadna zraka, normala i prelomljena zraka uvijek leže u istoj ravni.

PROSVETNO DELO

4.8 TOTALNA REFLEKSIJA

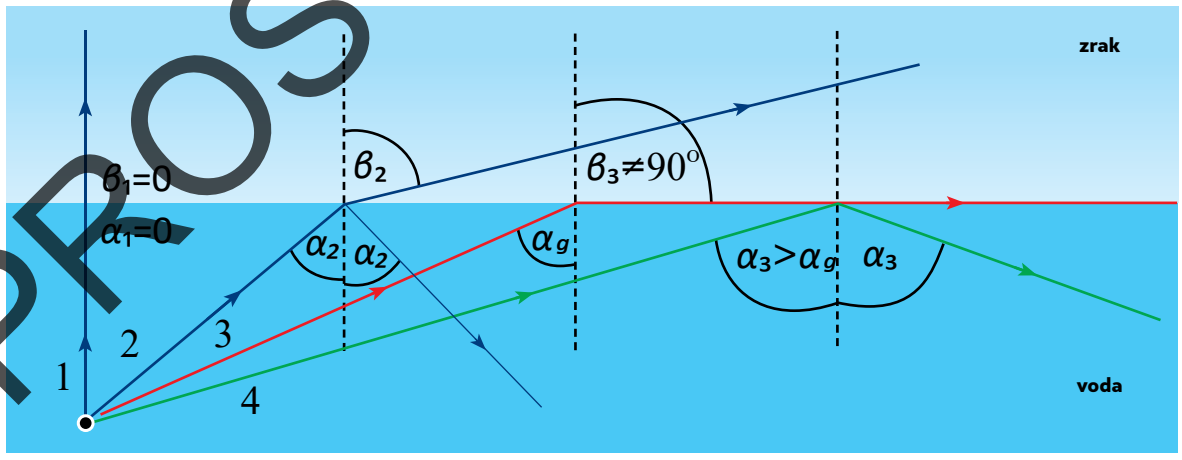
POJMOVI

totalna refleksija | granični ugao | optičko vlakno | fatamorgana

Kada svjetlost padne na granicu između dvije optičke sredine koje imaju različit indeks prelamanja, ona se može djelimično odbiti, a djelimično preći u drugu sredinu, mijenjajući pravac prostiranja. Ovaj prelazak, kao što si već naučio, naziva se prelamanje ili refrakcija svjetlosti. Međutim, pod određenim uslovima, kada svjetlost dolazi iz optički gušće sredine (sredine s većim indeksom prelamanja) i prelama se u optički rjeđu sredinu (sredinu s manjim indeksom prelamanja u poređenju s optički gušćom sredinom), svjetlost se može ponašati drugačije: umjesto da pređe u optički rjeđu sredinu, ona se potpuno vraća nazad u sredinu iz koje je došla, odnosno na granici će doći do refleksije svjetlosti. Ova veoma zanimljiva i izuzetno važna pojava naziva se **totalna refleksija.**

Zamisli da se u vodi (koja je optički gušća sredina od zraka) nalazi izvor svjetlosti. Ako jedna svjetlosna zraka stigne do granice voda–zrak pod malim upadnim uglom, dio zrake preći će u zrak, a dio će se odbiti nazad. Što više povećavamo upadni ugao, to se više povećava ugao prelamanja. U jednom trenutku prelomljena zraka postaje toliko nagnuta da „klizi“ po samoj granici između dvije optičke sredine, odnosno ugao prelamanja iznosi 90°. Taj posebni upadni ugao pri kojem se svjetlosna zraka prelama pod pravim uglom u odnosu na normalu naziva se granični ugao za totalnu refleksiju**. Granični ugao obično se označava sa** α_g**.**

Ako upadni ugao povećamo još malo iznad ove granične vrijednosti, svjetlost se potpuno odbija nazad u sredinu iz koje je došla, a da pritom ne pređe u optički rjeđu sredinu. Ova pojava naziva se totalna refleksija. Ona se može pojaviti samo ako svjetlost prelazi iz optički gušće u optički rjeđu sredinu, ali i samo ako je upadni ugao veći od graničnog ugla. Na Slici



Slika 1. Prelazak svjetlosne zrake iz vode u zrak. Zraka 1 pada normalno na graničnu površinu i prelazi u zrak bez prelamanja. Zraka 2 se na graničnoj površini djelimično odbija nazad prema vodi, a djelimično prelama u zrak. Zraka 3, koja pada na graničnu površinu pod graničnim uglom, klizi po graničnoj površini između vode i zraka, a zraka 4, koja na graničnu površinu pada pod uglom većim od graničnog ugla, totalno ili potpuno se reflektuje u vodu.

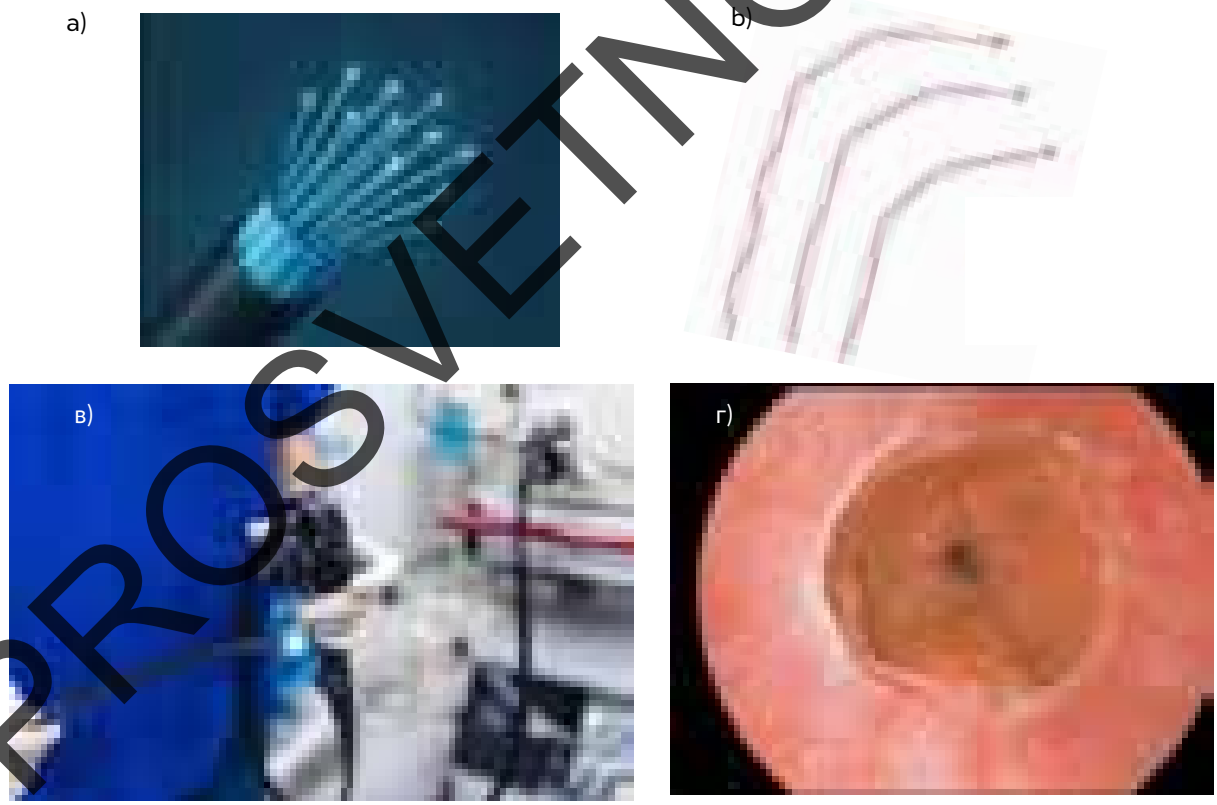
PROSVETNO DELO

1 prikazane su zrake koje pod različitim uglovima padaju na graničnu površinu između vode i zraka.

Totalna refleksija nije samo lijepa optička pojava, nego ima ogromnu primjenu u savremenom svijetu. Najpoznatiji primjer su optička vlakna, kroz koja se danas prenosi najveći dio internetskog saobraćaja u svijetu. Jezgro vlakna ima veći indeks prelamanja od njegove vanjske obloge, pa se zato svaka zraka koja stigne do granice pod dovoljno velikim uglom reflektuje nazad u jezgro vlakna. Na ovaj način svjetlost može putovati stotinama kilometara, čak i kroz vlakna koja su savijena, a da ne „izađe“ iz njih.

Optička vlakna koriste se u medicini za endoskopiju (postupak pri kojem se posmatraju neki unutrašnji organi), jer omogućavaju da svjetlost prodre do teško dostupnih dijelova tijela, a istovremeno se vrati nazad kao slika koju ljekar može posmatrati. U tehnici su optička vlakna osnova za brzi internet, televiziju i telefonske veze, jer se signali koji se prenose kreću istom brzinom kao i svjetlost (Slika 2).

PROSVETNO DELO



Slika 2. a) Optički kabl napravljen od više optičkih vlakana. b) Grafički prikaz totalne refleksije svjetlosti u optičkim vlaknima. c) Medicinski endoskop s optičkim vlaknom za posmatranje unutrašnjosti probavnog trakta. d) Slika jednjaka napravljena endoskopom s optičkim vlaknom.

RIJEŠENI PRIMJER

Na slici ispod prikazan je prelazak svjetlosne zrake kroz tri optičke sredine s indeksima prelamanja n_1, n_2 i n_3. Svjetlosna zraka na graničnoj površini između druge i treće sredine putuje duž granične površine.



a) Odredi koja od optičkih sredina ima najveći, a koja najmanji indeks prelamanja.

b) Odredi u kojoj je optičkoj sredini brzina svjetlosti najveća, a u kojoj najmanja.

c) Odredi granični ugao totalne refleksije α_g.

Rješenje:

a) Sa slike se može primijetiti da se pri prelasku iz prve u drugu optičku sredinu zraka prelama od normale, pa zato možemo zaključiti da je $n_1 > n_2$. Zraka klizi po graničnoj površini između druge i treće optičke sredine, pa budući da je $n_2 > n_3$,zaključujemo da je $n_2 > n_3$. Konačno možemo zapisati: $n_1 > n_2 > n_3$.

б) Ako sa v1, v2 i v3 označimo brzinu svjetlosti u zraku u prvoj i drugoj optičkoj sredini, zbog načina na koji se zraka prelama možemo zaključiti $v_1 < v_2 < v_3$.

в) Budući da su površine optičkih sredina paralelne, slijedi da su normale na mjestima gdje pada zraka paralelne. Iz svojstva jednakosti naizmjeničnih uglova pri presijecanju paralelnih pravih transverzalom zaključujemo da granični ugao za totalnu refleksiju iznosi $\alpha_g = 55^\circ$.

Totalna refleksija povezana je i s još jednom pojavom koju možemo susresti u pustinjama i na zagrijanim asfaltnim površinama, a to je fatamorgana. Zrak iznad zagrijane površine ima višu temperaturu u odnosu na slojeve iznad njega koji imaju nižu temperaturu. Indeks prelamanja zavisi od temperature: što je zrak zagrijaniji, to ima manji indeks prelamanja. Svjetlost koja dolazi od udaljenih predmeta prelama se na svakom sloju zraka pod uglom koji je veći od upadnog, sve dok ne padne na najtopliji sloj zraka pod uglom većim od ugla totalne refleksije, pri čemu će se odbiti od ovog sloja, kao što je prikazano na Slici 3a.

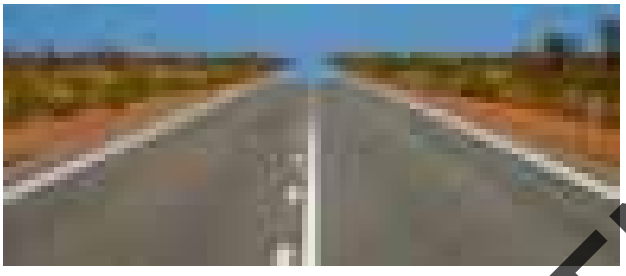
Posmatrač vidi ovu svjetlost i pritom, kao kod ravnog ogledala, predmet iz kojeg potječe ova svjetlost vidi u produžetku odbijenih svjetlosnih zraka. Slika koja se najčešće vidi pri fatamorgani jeste privid da na površini ima vode ili da udaljeni predmeti „lebde“ u zraku, kao što je prikazano na Slici 3b i c. Ova optička iluzija rezultat je upravo totalne refleksije.

PROSVETNO DELO

a)



b)



c)



Slika 3. a) Grafički prikaz formiranja lika predmeta (palme) pri fatamorgani. Lik palme vidimo u produžetku zraka koje su se totalno reflektovale od toplog zraka iznad površine Zemlje, koji ima manji indeks prelamanja od slojeva iznad njega. b) Fatamorgana na putu. Nebo vidimo kao da se nalazi na putu. c) Fatamorgana u pustinji.

PROSVETNO DELO

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Jedno optičko vlakno ima prečnik poput ljudske vlasi kose, ali može prenositi informacije brzinom od stotina gigabita u sekundi.

POZNATI NAUČNIK

Poznati naučnik/fizičar Charles K. Kao (1933–2018)



Kao je bio kinesko-britanski fizičar, čovjek koji je prvi prepoznao pravu moć staklenih vlakana kao sredstva za prenos svjetlosti na velika rastojanja. Godine 1966. došao je do revolucionarnog otkrića: čisto optičko staklo može prenositi svjetlost s veoma malim gubitkom, što je otvorilo put razvoju optičkih kablova.

Do tada se smatralo da se svjetlosna energija gubi pri kretanju zrake kroz staklo, ali Kao je pokazao da je problem u nečistoćama materijala, a ne u principu prenosa. Izračunao je da će, ako se staklo pročisti do dovoljno visokog stepena, svjetlosni signali moći putovati kilometrima bez značajnog slabljenja. To je dovelo do stvaranja prvih optičkih vlakana, zasnovanih na principu totalne refleksije.

Za svoj pionirski rad Kao je dobio Nobelovu nagradu za fiziku 2009. godine.

AKTIVNOSTI

1. Određivanje graničnog ugla materijala

Uzmi staklenu planparalelnu pločicu kao što je prikazana na Slici 4. Usmjeri lasersku zraku tako da pada s donje strane pločice. Svjetlosna zraka prolazi kroz pločicu i pada na ravnu graničnu površinu staklo–zrak. Počni s malim upadnim uglom na ovoj površini i polako ga povećavaj. Posmatraj kako najprije dio svjetlosti izlazi iz staklene pločice, a dio se odbija nazad. Nastavi povećavati ugao dok ne vidiš trenutak kada prelomljena zraka klizi po površini. To je granični ugao. Izmjeri granični ugao za staklo od kojeg je napravljena pločica. Šta će se dogoditi ako se upadni ugao još malo poveća?

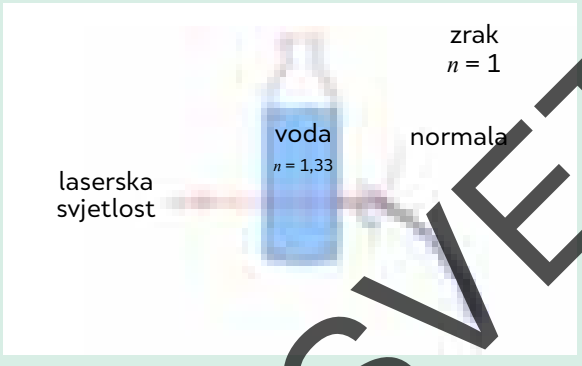


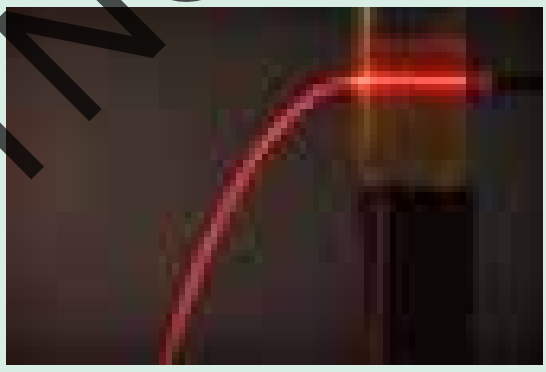
Slika 4. Određivanje ugla totalne refleksije pomoću planparalelne pločice.

2. Napravi vlastito svjetlosno vlakno

Na plastičnoj boci, blizu njenog dna, napravi otvor. Napuni bocu vodom, pri čemu ćeš otvor držati zatvorenim. Kada oslobodiš otvor, voda će istjecati kroz njega. Prema otvoru, sa suprotne strane boce, usmjeri laserski snop, kao što je prikazano na Slici 5.

Šta primjećuješ? Da li se svjetlost kreće zajedno s mlazom vode koji ističe iz boce? Možeš li primijetiti mjesta na kojima nastaje totalna refleksija svjetlosti u mlazu?





Slika 5. Mlaz vode predstavlja optičko vlakno kroz koje se prostire svjetlost.

3. Proučavanje totalne refleksije svjetlosti pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Savijanje svjetlosti“ (Bending Light) i izaberi dio „Uvod“ (Intro) na internetskoj stranici:

https://phet.colorado.edu/en/simulations/bending-light

Na ekranu izaberi dvije optičke sredine, tako da gornja optička sredina ima veći indeks prelamanja od donje. Naprimjer, postavi staklo iznad zraka. Usmjeri lasersku zraku tako da pada pod malim uglom u odnosu na normalu granične površine.

Primijetit ćeš da se dio svjetlosti prelama u zrak, a dio se odbija nazad u staklo. Sada počni polako povećavati upadni ugao. Posmatraj kako se prelomljena zraka približava granici između dvije optičke sredine. Kada se prelomljena zraka kreće duž granice, uglomjerom izmjeri upadni ugao. Šta predstavlja ovaj ugao? Šta će se dogoditi sa svjetlosnom zrakom ako ponovo povećaš upadni ugao? Da li se svjetlosna zraka prelama u vodi ili se reflektuje od granične površine?

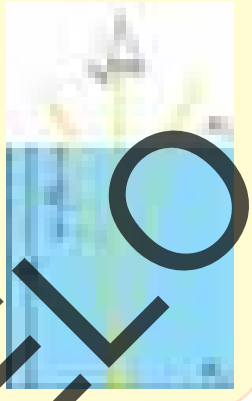
Ponovi eksperiment postavljanjem stakla iznad vode. Odredi granični ugao za totalnu refleksiju u ovom slučaju. Ispitaj da li je moguće da dođe do totalne refleksije zrake ako ona pada iz sredine s manjim indeksom prelamanja u sredinu s većim indeksom prelamanja.

PROSVETNO DELO

ZA 5+

Prividni položaj predmeta koji se nalaze pod vodom dobija se kada prelomljene zrake koje dolaze od predmeta padnu u naše oko. U tom slučaju predmet vidimo u produžetku ovih zraka u vodi.

Na slici je dat prividni položaj tačkastog izvora svjetlosti postavljenog u posudu s vodom. Prelomljene zrake padaju u oko posmatrača, ali su radi jasnoće slike ovdje nacrtane tako da se prelamaju pod velikim uglovima.



Prividna dubina predmeta može se izračunati pomoću jednačine:

$$d_1 = d \cdot \frac{n_1}{n_2},$$

gdje su n1 i n2 indeksi prelamanja zraka i vode, redom, a *d* je dubina na kojoj se nalazi tačkasti izvor.

PITANJA I ZADACI

1. Ako je indeks prelamanja stakla 1,5, a zraka 1,0, objasni u kojem pravcu treba da se kreće svjetlosna zraka da bi na njihovoj graničnoj površini došlo do totalne refleksije zrake.
2. U jednom optičkom eksperimentu svjetlost prelazi iz stakla, čiji je indeks prelamanja 1,50, u zrak. Objasni šta će se dogoditi sa zrakom kada se upadni ugao postepeno povećava.
3. Fatamorgana ponekad stvara utisak da na horizontu ima vode. Objasni ovu pojavu pomoću promjena u gustini zraka.
4. Stakleno optičko vlakno ima jezgro s indeksom prelamanja 1,50 i oblogu s indeksom 1,45. Objasni kako ova razlika omogućava pouzdan prenos svjetlosti kroz vlakno.
5. Objasni zašto totalna refleksija nije moguća kada zraka prelazi iz optički rjeđe u optički gušću sredinu.

ZAPAMTI

- Totalna refleksija pojavljuje se samo kada svjetlost prelazi iz optički gušće u optički rjeđu sredinu.
- Granični ugao za totalnu refleksiju najveći je upadni ugao za koji prelomljena zraka izlazi u optički rjeđu sredinu pod uglom od 90 stepeni.
- Ako je upadni ugao veći od graničnog, svjetlost ne prelazi u drugu sredinu, nego se potpuno odbija nazad.
- Totalna refleksija osnovna je pojava na kojoj se zasniva rad optičkih vlakana.
- Fatamorgana je prirodni optički efekat koji nastaje zbog postepenog prelamanja i unutrašnjeg odbijanja svjetlosti u slojevima zraka različite gustine.

PROSVETNO DELO

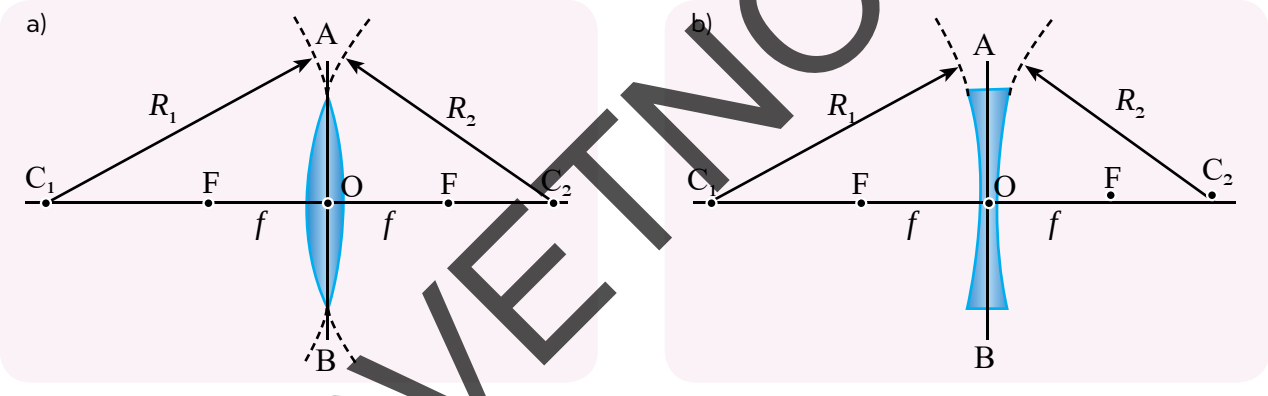
4.9. OPTIČKA SOČIVA

POJMOVI

sabirno sočivo | rasipno sočivo | jačina sočiva | dioptrija

U svakodnevnom životu često susrećemo prozirna tijela koja mijenjaju pravac prostiranja svjetlosti. Kada pogledamo kroz njih, predmeti mogu izgledati veći, manji ili jasniji. Stakla naočala, lupe, kao i sočiva u fotoaparatima i mikroskopima funkcionišu zahvaljujući svojim posebnim svojstvima – sposobnosti da prelamaju svjetlost koja prolazi kroz njih.

Optičko sočivo predstavlja prozirno tijelo, najčešće izrađeno od stakla ili plastike, ograničeno dvjema sfernim površinama ili jednom sfernom i jednom ravnom površinom (Slika 1). Upravo zbog ovakvog oblika, sočivo pripada grupi optičkih uređaja koji mijenjaju pravac prostiranja svjetlosnih zraka. Kao i kod sfernih ogledala, tako i kod sočiva postoji nekoliko karakterističnih elemenata: **glavna optička osa, optički centar i fokus.**



Slika 1. Elementi sočiva a) Sabirno sočivo b) Rasipno sočivo.

Glavna optička osa je zamišljena prava koja spaja centre zakrivljenosti dviju sfernih površina koje ograničavaju sočivo. Na Slici 1 to je prava koja prolazi kroz tačke C_1 i C_2. Ravan koja presijeca sočivo normalno na optičku osu i prolazi kroz tačke A i B naziva se glavna optička ravan. Na presjeku glavne ravni i optičke ose nalazi se optički centar sočiva i označavamo ga sa O.

Iako se svjetlost prelama na ulaznoj i izlaznoj površini sočiva, mi ćemo razmotriti najjednostavniji slučaj, tako da ćemo smatrati da se prelamanje događa samo jednom. Njih nazivamo tankim sočivima.

Sabirna i rasipna sočiva

Postoje dvije glavne vrste sočiva: sabirna (konveksna) i rasipna (konkavna).
Razlika između njih proizlazi iz njihovog oblika:
Sabirna sočiva, poznata i kao ispupčena sočiva, deblja su u sredini nego na krajevima.
Primjeri sabirnih sočiva prikazani su na Slici 2. Sabirna sočiva imaju različite oblike, pa

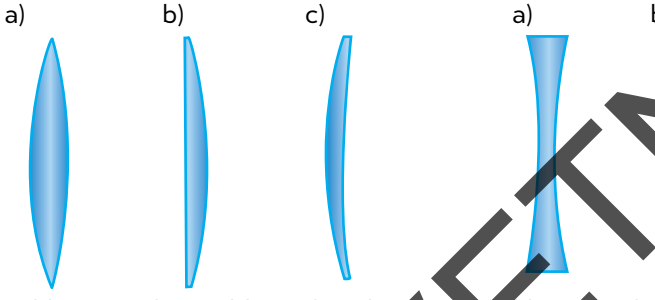
PROSVETNO DELO

tako imamo: bikonveksna ili dvostruko ispupčena sočiva – Slika 2a, plankonveksna ili ravno-ispupčena sočiva – Slika 2b i konveksno-konkavna ili ispupčeno-udubljena sočiva – Slika 2c. Najvažnija karakteristika sabirnih sočiva jeste to što svjetlosne zrake koje padaju paralelno s optičkom osom nakon prelamanja kroz sočivo prolaze kroz jednu tačku koja se naziva **fokus sabirnog sočiva**.

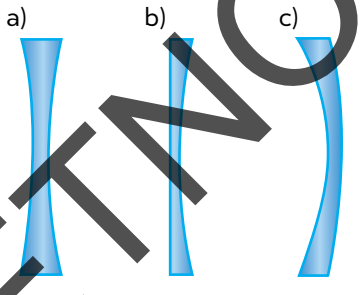
Rasipna sočiva, poznata i kao udubljena sočiva, tanja su u sredini, a deblja na krajevima. Primjeri rasipnih sočiva prikazani su na Slici 3. Rasipna sočiva, kao i sabirna, mogu imati različite oblike, pa tako imamo: bikonkavna ili dvostruko udubljena sočiva – Slika 3a, plankonkavna ili ravno-udubljena sočiva – Slika 3b i konkavno-konveksna ili udubljeno-ispupčena sočiva – Slika 3c.

Karakteristika rasipnih sočiva jeste to što ona rasipaju prelomljene zrake koje su pale paralelno s glavnom optičkom osom. Produžeci prelomljenih zraka prema strani sočiva na koju je pao paralelni snop sijeku se u jednoj tački koja se naziva **fokus rasipnog sočiva**.

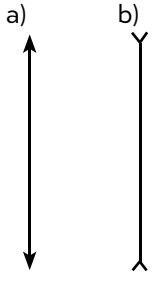
PROSVETNO DELO



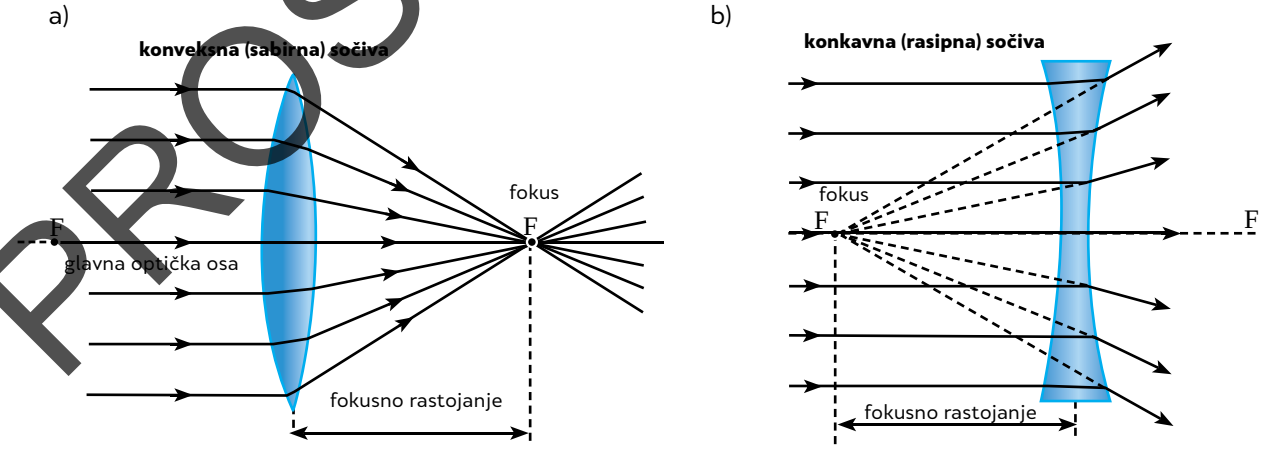
Slika 2. Različiti oblici sabirnih sočiva a) Dvostruko ispupčeno sočivo, b) Ravno-ispupčeno sočivo, c) Ispupčeno-udubljeno sočivo.



Slika 3. Različiti oblici rasipnih sočiva a) Dvostruko udubljeno sočivo, b) Ravno-udubljeno sočivo, c) Udubljeno-ispupčeno sočivo.



Slika 4. Šematski prikaz a) sabirnog sočiva b) rasipnog sočiva.



Slika 5. a) Sabirno sočivo. Nakon prelamanja snopa zraka paralelnih s glavnom optičkom osom kroz sočivo, one prolaze kroz njegov fokus koji se nalazi s druge strane sočiva. b) Rasipno sočivo. Nakon prelamanja snopa zraka paralelnih s glavnom optičkom osom kroz sočivo, one se rasipaju u različitim pravcima. Produžeci ovih zraka sijeku se u fokusu rasipnog sočiva, koji se nalazi na istoj strani s koje padaju zrake.

Fokusno rastojanje i optička jačina sočiva

Fokus sočiva jedan je od elemenata sočiva koji se nalazi na glavnoj optičkoj osi i označava se sa F. Fokus kod sabirnog sočiva je realan, a fokus kod rasipnog sočiva je imaginaran.

Rastojanje između fokusa i optičkog centra sočiva naziva se fokusno rastojanje i označava se sa f. Kod sabirnih sočiva fokusno rastojanje zapisuje se kao pozitivna veličina, a kod rasipnih sočiva ovo rastojanje uzima se kao negativna veličina.

Što je fokusno rastojanje manje, to sočivo više mijenja pravac prelomljenih svjetlosnih zraka. U fizici, a posebno u medicini, često se praktikuje da se ne koristi fokusno rastojanje, nego njegova recipročna vrijednost, koja se naziva jačina sočiva.

Jačina se označava sa J i izračunava pomoću formule:

$$J = \frac{1}{f},$$

gdje je f fokusno rastojanje izraženo u m. Jačina sočiva izražava se u m^{-1} ili u dioptrijama (D). Iz gornje formule proizlazi da je 1 D = 1 m^{-1}. Sabirna sočiva imaju pozitivnu vrijednost jačine sočiva, a rasipna sočiva negativnu.

RIJEŠENI PRIMJER

Odredi fokusno rastojanje sočiva koje ima optičku jačinu -4D.

Dato:	Za fokusno rastojanje imamo:
$J = -4\,\mathrm{D}$	$J = \frac{1}{f} \Rightarrow J \cdot f = 1 \Rightarrow f = \frac{1}{J} = \frac{1}{-4\,\mathrm{D}} = -0,25\,\mathrm{m}$
Traži se:	Negativna vrijednost fokusnog rastojanja ukazuje na to da je riječ o rasipnom sočivu.
$f - ?$	

Karakteristične zrake kod sočiva

Za lakše konstruisanje lika i kod sočiva koristimo karakteristične zrake. Njih možemo lako pratiti i predvidjeti njihov put, bez obzira na to gdje se predmet nalazi (Slika 6).

Zraka koja pada paralelno s glavnom optičkom osom

- Kod sabirnog sočiva nakon prelamanja prema fokusu sočiva (Slika 6a, zraka 1).
- Kod rasipnog sočiva rasipa se kao da dolazi iz imaginarnog fokusa sočiva (Slika 6b, zraka 1).

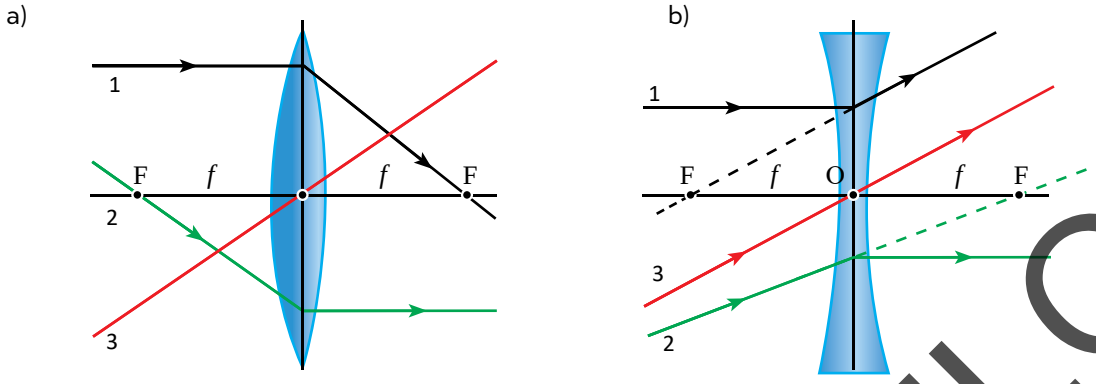
Zraka koja prolazi kroz fokus

- Kod sabirnog sočiva prelama se i paralelna je s glavnom optičkom osom (Slika 6a, zraka 2).
- Kod rasipnog sočiva zraka koja je usmjerena da prolazi kroz fokus nakon prelamanja kroz sočivo paralelna je s glavnom optičkom osom (Slika 6b, zraka 2).

Zraka koja prolazi kroz optički centar

- Nakon prelamanja, i kod sabirnog i kod rasipnog sočiva, ne mijenja pravac prostiranja (Slika 6a i Slika 6b, zraka 3).

PROSVETNO DELO



Slika 6. a) Karakteristične zrake kod sabirnog sočiva b) Karakteristične zrake kod rasipnog sočiva.

ZANIMLJIVE ČINENICE

Prva sočiva koristili su stari Egipćani prije više od 4000 godina – kao primitivne lupe.

AKTIVNOSTI

1. Istraživanje karakterističnih zraka kod sočiva

Postavi sabirno i rasipno sočivo na bijeli list papira na stolu, tako da možeš slobodno usmjeravati tanku lasersku zraku prema njima (u školi bi trebali postojati i laserski izvori svjetlosti koji istovremeno emituju tri ili pet paralelnih laserskih snopova – u tom slučaju možeš koristiti te izvore za izvođenje aktivnosti).

Na papiru nacrtaj glavnu optičku osu sočiva. Počni sa sabirnim sočivom: usmjeri lasersku zraku paralelno s optičkom osom i posmatraj kako se prelama nakon prolaska kroz sočivo. Presjek prelomljene zrake s optičkom osom označi na listu papira. Šta predstavlja ova tačka?

Ponovi postupak tako da laserska svjetlost pada sa suprotne strane sočiva. Da li su zrake ponovo presjekle optičku osu? Da li je i ova tačka fokus sočiva? Koliko je fokusno rastojanje sočiva?

Zatim usmjeri lasersku zraku tako da prolazi kroz tjeme sočiva. Na listu papira nacrtaj zraku nakon prolaska kroz sočivo. Da li se ova zraka prelomila? Na kraju neka laserska svjetlost prolazi kroz fokus sočiva. Kakav je pravac prelomljene zrake?

Istu aktivnost ponovi s rasipnim sočivom. Koje razlike primjećuješ u odnosu na aktivnost koju si radio sa sabirnim sočivom? Odredi fokus i fokusno rastojanje rasipnog sočiva. Da li i ovo sočivo ima dva fokusa?

2. Proučavanje karakterističnih zraka kod sočiva pomoću interaktivne internetske stranice

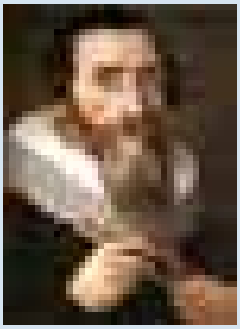
Otvori simulaciju „Geometrijska optika“ (Geometric Optics) na internetskoj stranici:
https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html
i izaberi rad sa sočivom, a kao predmet izaberi izvor svjetlosti. Tvoj zadatak je da pažljivo pratiš ponašanje triju karakterističnih zraka kada prolaze kroz sočivo, bez pokušaja da odrediš ili analiziraš lik koji se formira.

Prvo postavi sabirno sočivo. Uključi zrake kako bi mogao jasno pratiti njihovo prostiranje. Kako se prelama zraka koja prolazi kroz optički centar sočiva?

Nakon što dobro razmotriš karakteristične zrake kod sabirnog sočiva, zamijeni sočivo rasipnim sočivom. Kako se prelamaju karakteristične zrake kod ovog sočiva? Promijeni fokusno rastojanje sabirnog i rasipnog sočiva. Da li se promijenilo prostiranje karakterističnih zraka?

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK



Johannes Kepler (1571–1630)

Kepler nije bio samo astronom koji je formulisao zakone kretanja planeta; on je jedan od osnivača moderne optike.

U svom djelu „Dioptrika“ (Dioptrice) iz 1611. godine Kepler je objasnio ulogu sočiva u stvaranju lika, uveo pojam fokusa i prvi naučno opisao karakteristične zrake kod sočiva.

On je prvi pravilno objasnio funkcionisanje ljudskog oka kao optičkog instrumenta sa sabirnim sočivom i postavio teorijsku osnovu na kojoj će se kasnije razviti teleskopi i mikroskopi.

ZA 5+

Fokusno rastojanje tankog sočiva može se izračunati ako znamo: indeks prelamanja materijala od kojeg je sočivo napravljeno n_0, indeks prelamanja sredine u kojoj je sočivo postavljeno n_0, radijus zakrivljenosti površine na koju pada zraka R_1 i radijus površine kroz koju svjetlost napušta sočivo R_2 prema sljedećoj formul:

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n}{n_0}-1\right)\cdot\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right).$$

Ako je fokusno rastojanje pozitivna veličina, sočivo je sabirno, a ako je fokusno rastojanje negativna veličina, sočivo je rasipno.

Ova formula pokazuje da fokusno rastojanje ne zavisi samo od oblika sočiva, nego i od toga u kakvoj se sredini nalazi. Zato sočivo koje je sabirno u zraku može postati rasipno kada se uroni u vodu, što predstavlja zanimljiv i važan efekat pri projektovanju podvodnih optičkih sistema.

PITANJA I ZADACI

1. Šta je fokus sabirnog sočiva?
2. Ako je fokusno rastojanje jednog sočiva 0,05 m, odredi njegovu optičku jačinu.
3. Sočivo ima optičku jačinu od –10 D. Koliko je njegovo fokusno rastojanje i o kakvom je sočivu riječ?
4. Količnik fokusnih rastojanja dvaju sabirnih sočiva iznosi 1 : 2. Odredi količnik optičkih jačina ovih dvaju sočiva.
5. Nacrtaj tačkasti izvor postavljen ispred sočiva (da ne bude na glavnoj optičkoj osi) i iz njega nacrtaj tri karakteristične zrake. Gdje se sijeku ove zrake ako je sočivo:
   a) Sabirno
   b) Rasipno.

ZAPAMTI

- Sočiva su prozirna tijela koja mijenjaju pravac prostiranja svjetlosnih zraka.
- Sabirna sočiva skupljaju paralelne zrake u jednoj tački koja se naziva fokus sabirnog sočiva.
- Rasipna sočiva rasipaju paralelne zrake tako da se njihovi produžeci sijeku u fokusu rasipnog sočiva.
- Fokusno rastojanje f jeste rastojanje od optičkog centra do fokusa sočiva.
- Optička jačina sočiva određuje se formulom $J = 1/f$.
- Sabirna sočiva imaju pozitivnu, a rasipna negativnu optičku jačinu.

PROSVETNO DELO

4.10. KONSTRUKCIJA LIKOVA KOD SOČIVA

POJMOVI

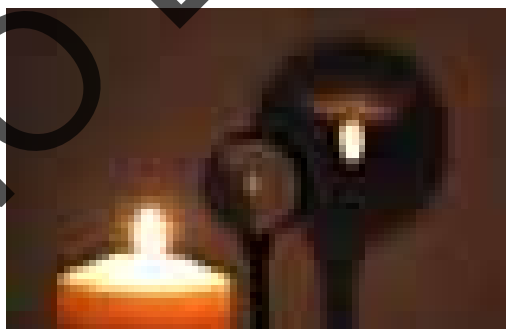
lupa

Kada svjetlost prolazi kroz sočivo, mijenja se njen pravac prostiranja jer se zrake prelamaju na ulaznoj i izlaznoj površini sočiva. Ta promjena pravca omogućava sočivima da stvaraju likove predmeta. Likovi mogu biti realni ili imaginarni. Realni likovi mogu se projektovati na ekran, a imaginarne možemo vidjeti samo ako gledamo kroz sočivo.

Kao i kod ogledala, dovoljno je povući samo dvije karakteristične zrake da bismo odredili položaj i veličinu lika. Radi lakšeg razumijevanja razmotrit ćemo najjednostavniji slučaj – kada je predmet u obliku strelice postavljene normalno na glavnu optičku osu. I u ovom slučaju odredit ćemo lik samo najudaljenije tačke predmeta od glavne optičke ose. Sve preostale tačke nalaze se na normali povučenoj iz ove tačke do glavne optičke ose.

Sabirno sočivo

Kada se predmet nalazi na rastojanju većem od fokusnog rastojanja, sabirno sočivo formira realni lik. Zrake koje izlaze iz predmeta, nakon prelamanja kroz sočivo, sijeku se u određenoj tački s druge strane sočiva. Ako na toj strani postavimo ekran, dobit ćemo svijetao lik. Ovaj lik je uvijek obrnut u odnosu na predmet. Na Slici 1 prikazano je formiranje realnog lika svijeće pomoću sabirnog sočiva.



Slika 1. Formiranje realnog lika pomoću sabirnog sočiva.

Lik predmeta koji je postavljen na rastojanju većem od fokusnog rastojanja sabirnog sočiva f realan je, može biti umanjen u odnosu na veličinu predmeta, iste veličine kao predmet ili uvećan, u zavisnosti od toga na kojem se rastojanju od sočiva nalazi predmet.

Ako je predmet na rastojanju većem od $2f$, odnosno $p > 2f$, lik je umanjen i obrnut.

Ako je predmet na rastojanju od sočiva između f i $2f$, odnosno $f < p < 2f$, lik koji nastaje pomoću sočiva veći je od predmeta i obrnut.

Ako se predmet postavi na rastojanje jednako $2f$, lik će biti jednak po veličini, obrnut i formirat će se na rastojanju $2f$ od sočiva.

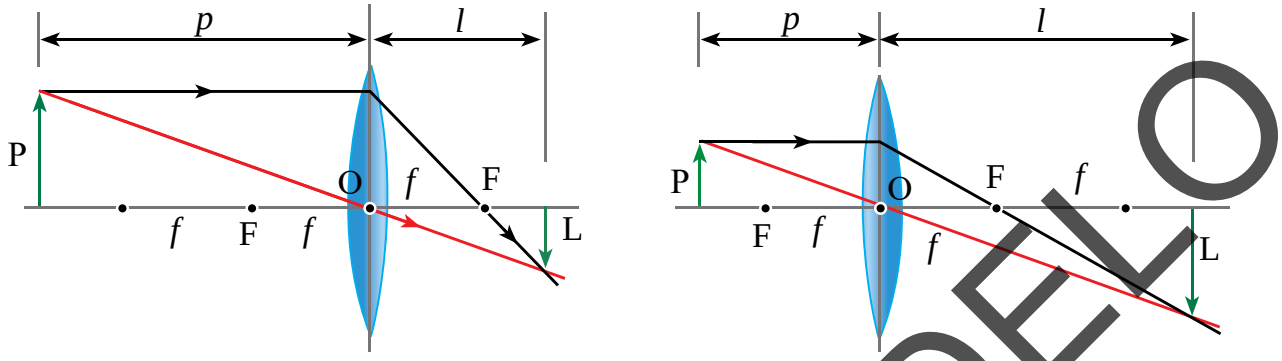
Na Slici 2 prikazana je konstrukcija likova u prva dva slučaja. Radi jasnoće slike, na svakoj slici iskorištene su samo po dvije karakteristične zrake.

Likovi predmeta mogu se dobiti na ekranu (naprimjer, bijelom listu papira).

Ako je predmet postavljen u fokusu sočiva, tada se prelomljene zrake ne sijeku. U takvim slučajevima kažemo da lik nastaje beskonačno daleko od sočiva.

PROSVETNO DELO

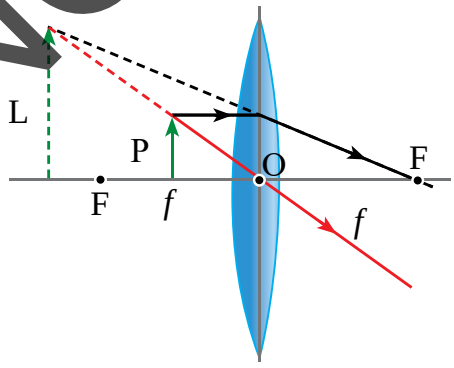
Ako je predmet ispred sočiva postavljen na rastojanju manjem od fokusnog rastojanja sočiva (Slika 3), tada se zrake nakon prelamanja kroz sočivo ne sijeku u jednoj tački, nego se rasipaju, pa u tom slučaju ne nastaje realni lik.



Slika 2. Konstrukcija likova kod sabirnog sočiva a) Predmet je na rastojanju većem od dvostrukog fokusnog rastojanja b) Predmet je na rastojanju većem od fokusnog rastojanja, ali manjem od dvostrukog fokusnog rastojanja. Na svakoj slici sa p označeno je rastojanje od predmeta do sočiva, sa l je označeno rastojanje od sočiva do lika, a sa f je označeno fokusno rastojanje. Visina predmeta označena je sa P, a visina lika sa L. Ove oznake koristit će se i na sljedećim slikama.

Ako zrake produžimo unazad, tada se one sijeku u tački koja se nalazi na istoj strani kao i predmet. U ovakvom slučaju kažemo da sabirno sočivo daje imaginarni lik. Ovaj lik može se vidjeti samo gledanjem kroz sočivo i ne može se projektovati na ekran. Imaginarni lik je uspravan i uvećan u odnosu na predmet.

Dobijanje imaginarnog lika predmeta pomoću sabirnog sočiva iskorišteno je kod optičkog pomagala lupe. Lupa je najjednostavniji primjer praktične upotrebe sočiva.



Slika 3. Konstrukcija imaginarnog lika predmeta pomoću sabirnog sočiva. Predmet je postavljen na rastojanju manjem od fokusnog rastojanja sočiva.



Clika 4. Lupa.

Ona je sabirno sočivo koje se koristi tako da se predmet postavlja na rastojanju manjem od njenog fokusnog rastojanja. Zrake koje izlaze iz predmeta rasipaju se nakon prolaska kroz sočivo, ali njihovi produžeci sijeku se na strani predmeta, formirajući uvećan, uspravan imaginarni lik koji se može vidjeti.

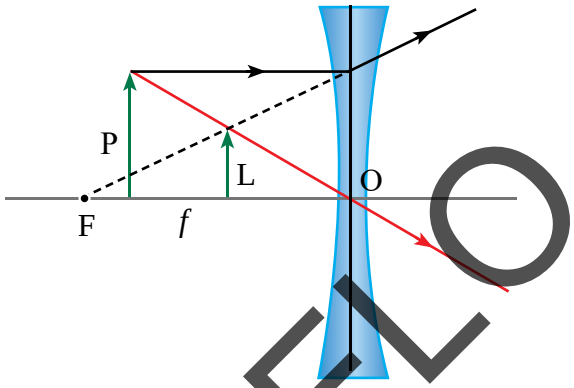
Na ovaj način lupa zapravo povećava ugao pod kojim gledamo predmet, što nam omogućava da predmet posmatramo s više detalja.

PROSVETNO DELO

Rasipno sočivo

Rasipno sočivo, za razliku od sabirnog, uvijek stvara imaginarni, umanjeni i uspravni lik, bez obzira na položaj predmeta. Zrake koje padaju paralelno s optičkom osom rasipaju se, a njihovi produžeci sijeku se u imaginarnom fokusu sočiva.

Formiranje lika pomoću rasipnog sočiva dato je na Slici 4. Lik se formira u presjeku karakteristične zrake koja prolazi kroz optički centar sočiva i produžetka rasute zrake nakon prelamanja kroz sočivo.



Slika 5. Konstrukcija lika kod rasipnog sočiva.

AKTIVNOSTI

1. Konstruisanje realnog lika pomoću sabirnog sočiva

Postavi sabirno sočivo na držač i uzak snop svjetlosti. Naprimjer, malu svijeću na istoj visini kao sočivo. Neka nastavnik zapali svijeću i pazite da joj se ne približavate previše.

Postavi bijeli list papira koji će ti služiti kao ekran s druge strane sočiva. Pomjeraj ekran dok ne dobiješ jasan lik svijeće. Izmjeri rastojanje na kojem se predmet nalazi od sočiva, kao i rastojanje od sočiva do lika. Postupak ponovi nekoliko puta za različita rastojanja svijeće od sočiva.

Postavi svijeću na rastojanje od sočiva manje od fokusnog rastojanja. Možeš li dobiti lik svijeće na ekranu? Pogledaj kroz sočivo sa strane na kojoj se nalazi ekran. Možeš li primijetiti uvećan lik svijeće? Kakav je ovaj lik koji stvara sočivo?

2. Istraživanje lupe

Uzmi lupu (sabirno sočivo) i list sa sitno štampanim tekstom, kakav je tekst na deklaracijama mnogih proizvoda koje kupuješ u prodavnici.

Približavaj i udaljavaj lupu od lista s odštampanim tekstom. Posmatraj lik slova: kada postaju najveća i najjasnija? Pokušaj odrediti fokusno rastojanje lupe. To je rastojanje između teksta i lupe kada više ne možeš vidjeti slova kroz nju.

3. Proučavanje sočiva pomoću interaktivne internetske stranice

Otvori simulaciju „Geometrijska optika" (Geometric Optics) na internetskoj stranici:
https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics-basics/latest/geometric-optics-basics_all.html
i izaberi rad sa sočivima, a kao predmet izaberi svijeću ili strelicu. Postavi ispred nje sabirno sočivo.

Tvoj zadatak je da proučiš kako nastaje lik kada se predmet nalazi na različitim rastojanjima od sočiva i kako su ta posmatranja povezana s matematičkim formulama za sočiva.

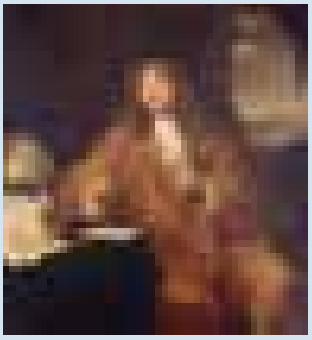
Počni tako što ćeš postaviti predmet na rastojanje veće od dvostruke vrijednosti fokusnog rastojanja. Posmatraj gdje se nalazi lik – simulacija će prikazati njegov položaj, veličinu i orijentaciju.

Zatim polako pomjeraj svijeću prema sočivu, prvo do rastojanja jednakog dvostrukom fokusnom rastojanju, a zatim postavi predmet na rastojanje manje od dvostrukog fokusnog rastojanja. Šta se događa s likom pri pomjeranju predmeta? Na kraju postavi predmet između sočiva i fokusa i posmatraj kako se promijenio lik koji je sočivo stvorilo. Kakav je ovaj lik?

Ponovi istraživanje, ali sada s rasipnim sočivom. Postavi predmet na različita rastojanja od sočiva. Kakav se lik dobija? Možeš li dobiti realni lik? Možeš li dobiti umanjen lik predmeta?

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK



Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723)

Antonie van Leeuwenhoek bio je holandski trgovac, ali ga je njegova radoznalost prema optici učinila ocem mikrobiologije. On nije bio naučnik, ali je ručno izrađivao mala, izuzetno precizna sabirna sočiva – najbolja u Evropi u 17. stoljeću.

Pomoću svojih mikroskopa – zapravo lupa s veoma malim fokusnim rastojanjem – uspio je prvi posmatrati bakterije, eritrocite i mikroskopski svijet. Njegovi instrumenti davali su uvećanja i do 300 puta, što je bilo nedostižno za druge optičare u to vrijeme.

ZA 5+

Položaj lika dobijenog od predmeta postavljenog ispred sočiva ne mora se uvijek određivati konstrukcijom lika. Postoji matematička veza između fokusnog rastojanja sočiva (*f*), rastojanja predmeta do sočiva (*p*) i rastojanja lika do sočiva (*l*). Ta veza može se zapisati jednačinom tankog sočiva:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{l}.$$

U gornjoj formuli fokusno rastojanje uzima se kao negativno ako je sočivo rasipno. Ako je lik koji se dobija pomoću sočiva imaginaran, tada se za rastojanje od lika do sočiva dobija negativna vrijednost.

Odnos veličine lika i veličine predmeta naziva se uvećanje sočiva i označava se sa u. Uvećanje ogledala može se izračunati pomoću odnosa veličina lika i predmeta ili odnosa rastojanja od lika do sočiva i od predmeta do ogledala:

$u=\frac{L}{P}=\frac{l}{p}$ gdje je L visina lika, a P visina predmeta.

Rastojanje od predmeta do sočiva je p, a rastojanje od lika do sočiva je l.Ako je količnik L/P ili količnik l/p veći od 1, tada kažemo da je lik uvećan, a ako su ovi količnici manji od 1, kažemo da je lik umanjen u odnosu na predmet.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Oči muha imaju po hiljade minijaturnih sočiva koja omogućavaju panoramski vid.

PITANJA I ZADACI

1. Kada sabirno sočivo daje realni, a kada imaginarni lik predmeta postavljenog ispred njega?
2. Koje sočivo daje samo imaginarni lik?
3. Postavi predmet na rastojanje koje je jednako dvama fokusnim rastojanjima ispred sočiva. Pomoću karakterističnih zraka odredi gdje se dobija lik ovog predmeta.
4. Predmet se nalazi na rastojanju od 5 cm ispred sabirnog sočiva s fokusnim rastojanjem od 2 cm. Konstruiši lik i odredi njegov položaj. Da li je lik realan ili imaginaran?
5. Predmet visok 4 cm postavljen je 10 cm ispred sabirnog sočiva s fokusnim rastojanjem od 5 cm. Konstruiši lik i odredi njegov položaj. Kolika je veličina lika?

ZAPAMTI

- Sabirno sočivo stvara realni i obrnuti lik kada se predmet nalazi na rastojanju većem od fokusnog rastojanja, a imaginarni, uspravni i uvećani lik kada je predmet između sočiva i fokusa.
- Rasipno sočivo uvijek stvara imaginarni, uspravni i umanjeni lik.

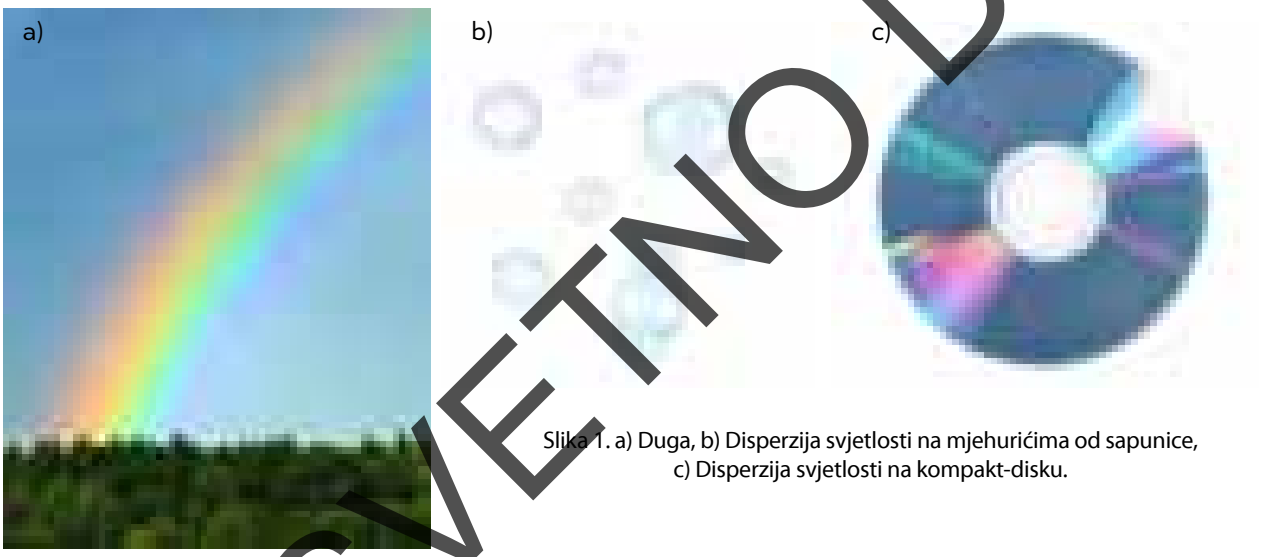
PROSVETNO DELO

4.11. DISPERZIJA SVJETLOSTI

POJMOVI

bijela svjetlost | polihromatska svjetlost | spektralni filter | kontinuirani spektar | spektralne boje | disperzija/razlaganje | monohromatska svjetlost | duga

Svijet oko nas je svijet ispunjen bojama, kao što su duga na nebu, boje mjehurića od sapunice, boje tankih slojeva ulja na asfaltu, odraz s kompakt-diska i drugo. Ove prekrasne pojave imaju jedan zajednički uzrok. Bijela svjetlost nije „jedna boja“, nego se sastoji od više boja. Tek kada se bijela svjetlost razloži na svoje sastavne dijelove (boje), one postaju vidljive. Upravo ovo razlaganje bijele svjetlosti naziva se disperzija svjetlosti.



Slika 1. a) Duga, b) Disperzija svjetlosti na mjehurićima od sapunice, c) Disperzija svjetlosti na kompakt-disku.

Bijela svjetlost koju emituje Sunce ili električna svjetiljka jeste polihromatska svjetlost, odnosno svjetlost sastavljena od različitih svjetlosnih zraka koje u našem oku izazivaju osjećaj različitih boja.

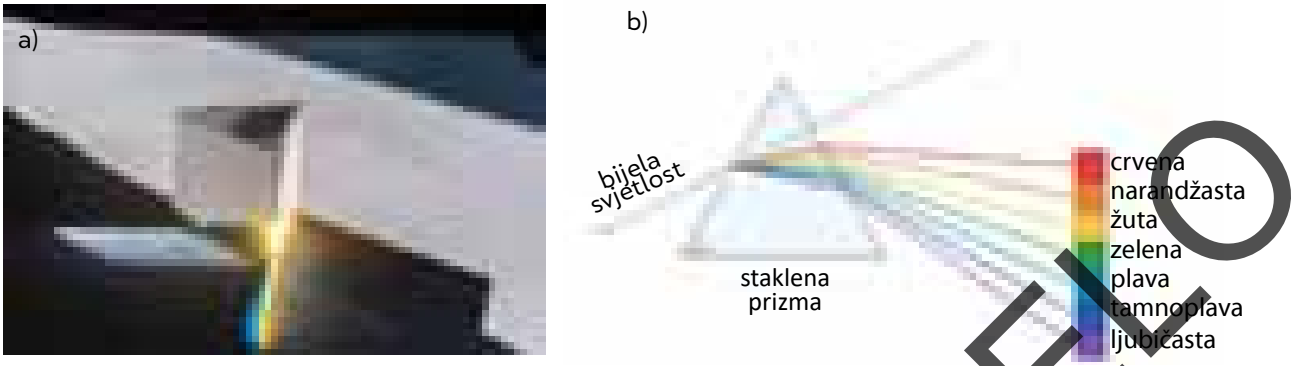
Svjetlost koju emituju neki izvori može imati samo jednu boju. Primjer takve svjetlosti jeste laserska svjetlost. Takvu svjetlost nazivamo monohromatska svjetlost.

Kada bijela svjetlost prođe kroz staklenu prizmu, ona se prelama dva puta: prvi put pri ulasku u prizmu, a drugi put pri izlasku iz prizme. Budući da se zrake različitih boja prelamaju pod različitim uglovima, bijela svjetlost razlaže se u spektar, odnosno redoslijed spektralnih boja: crvena, narandžasta, žuta, zelena, plava, tamnoplava i ljubičasta (Slika 1).

Razlaganje svjetlosti nastaje zato što je indeks prelamanja stakla različit za različite boje. Ljubičasta svjetlost ima najveći indeks prelamanja, pa se prema tome najviše prelama (najviše mijenja pravac prostiranja), a crvena ima najmanji indeks prelamanja, pa se prema tome najmanje prelama.

PROSVETNO DELO

Zato je spektar koji vidimo poredan od najmanje prelomljene crvene do najviše prelomljene ljubičaste boje. U Tabeli 1 dati su indeksi prelamanja različitih boja za staklo.



Slika 2. a) Disperzija bijele svjetlosti pomoću staklene prizme b) Grafički prikaz prelamanja bijele svjetlosti kroz prizmu.

Boja	Indeks prelamanja stakla
Ljubičasta	1,540
Tamnoplava	1,533
Plava	1,530
Zelena	1,524
Žuta	1,520
Narandžasta	1,517
Crvena	1,514

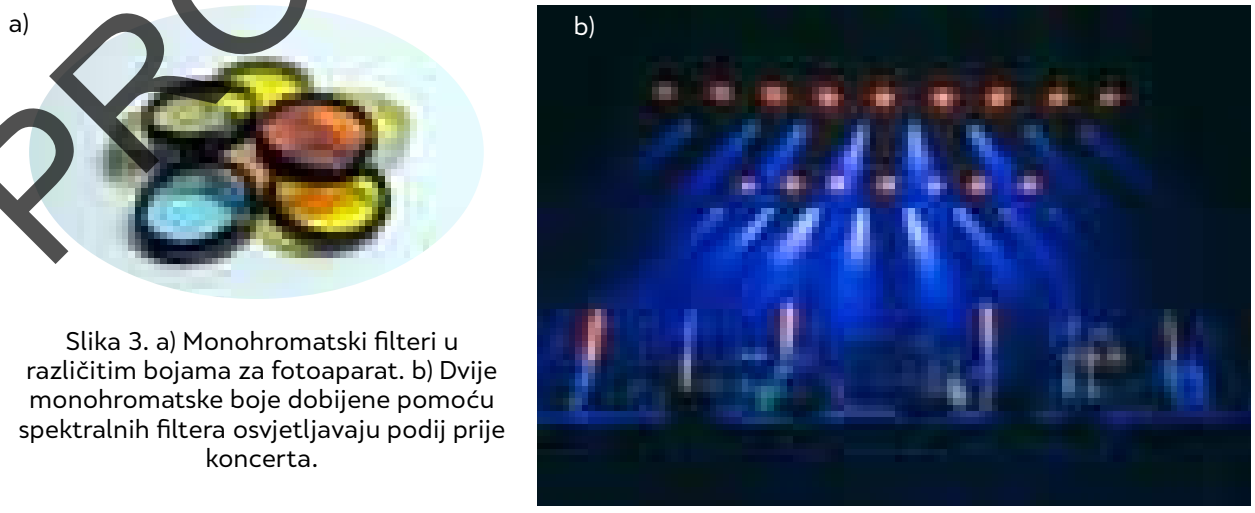
Tabela 1. Indeksi prelamanja različitih boja kroz staklenu prizmu.

Pri određenoj pojavi, ako su sve spektralne boje prisutne bez prekida, tada imamo kontinuirani spektar. Primjer takvog spektra jeste spektar bijele svjetlosti. U optici se često koriste spektralni filteri za propuštanje samo jedne određene boje iz polihromatske svjetlosti, dok zadržavaju – apsorbuju sve preostale (Slika 3a).

U svakodnevnom životu ovakvi filteri primjenjuju se kod fotoaparata i kamera za dobijanje izraženijih boja, kao i kod sunčanih naočala, gdje se selektivno blokiraju štetne ultraljubičaste zrake.

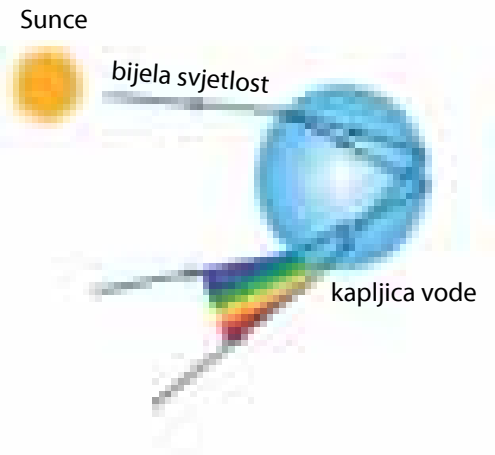
U medicini se koriste kod različitih dijagnostičkih uređaja kako bi poboljšali vidljivost nekih tkiva, a u laboratorijskoj opremi služe za dobijanje čiste monohromatske svjetlosti pri mjerenjima.

Čak i kod scenskog osvjetljenja ovi filteri omogućavaju stvaranje specifičnih vizuelnih



Slika 3. a) Monohromatski filteri u različitim bojama za fotoaparat. b) Dvije monohromatske boje dobijene pomoću spektralnih filtera osvjetljavaju podij prije koncerta.

PROSVETNO DELO



Slika 4. Disperzija bijele svjetlosti u kapljici vode.

efekata, kao što je prikazano na Slici 3b.

Najljepši primjer disperzije svjetlosti jeste duga. Sunčeva svjetlost prelama se u milionima sitnih kapljica vode u atmosferi dok pada kiša. Pritom se svaka kapljica ponaša kao mala prizma.

Svjetlost se prelama pri ulasku u kapljicu, zatim se odbija od zida kapljice i ponovo se prelama pri izlasku. Ovo dvostruko prelamanje stvara veliki zakrivljeni spektar, odnosno dugu koju možemo vidjeti na nebu.

Crvena svjetlost izlazi pod najmanjim uglom, pa se zato nalazi na vanjskoj strani luka, a ljubičasta, koja se najviše prelama, pojavljuje se na unutrašnjoj strani. Disperzija svjetlosti u kapljici vode prikazana je na Slici 4.

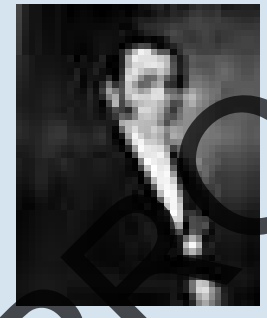
Disperzija svjetlosti koristi se i u astronomiji: spektri dobijeni iz svjetlosti različitih zvijezda otkrivaju od kojih su elemenata izgrađene, kolika je njihova temperatura, pa čak i koliko se brzo kreću prema nama ili od nas.

ZA 5+

Uzmi CD ili DVD i drži ga tako da svjetlost svjetiljke sa žarnom niti i neonke pada na njegovu površinu. Polako mijenjaj ugao dok se na disku ne pojavi spektar.

Neki od ovih izvora svjetlosti ne daju kontinuirani spektar, nego linijski spektar – niz linija različitih boja koje su razdvojene tamnim linijama. Istraži koji izvori svjetlosti daju linijske spektre.

POZNATI NAUČNIK



Joseph von Fraunhofer (1787–1826)

Fraunhofer je bio njemački fizičar koji je napravio revoluciju u proučavanju svjetlosti. On je prvi sistematski ispitao Sunčev spektar koristeći precizne prizme i teleskope i otkrio da ono što nam izgleda kao kontinuirani spektar Sunčeve svjetlosti sadrži stotine uskih tamnih linija koje ne možemo primijetiti razlaganjem svjetlosti običnom prizmom. Danas su te tamne linije u Sunčevom spektru poznate kao Fraunhoferove linije.

Ove linije predstavljaju svjetlost koju su apsorbovali elementi u atmosferi Sunca i postale su osnova savremene spektroskopije (nauke koja proučava sastav i svojstva supstanci analiziranjem svjetlosti koju one emituju ili apsorbuju).

Fraunhofer je također poboljšao izradu staklenih sočiva i prizmi, a njegovi instrumenti bili su najprecizniji u Evropi u to vrijeme. Zahvaljujući njemu naučnici su shvatili da se svjetlost ne samo disperzuje pri prolasku kroz prizmu.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Isaac Newton prvi je objasnio disperziju svjetlosti pomoću staklene prizme. Prije njega se smatralo da su boje svojstvo prizme, a ne svjetlosti.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Razlaganje bijele svjetlosti pomoću staklene prizme

Uzmi prizmu i izvor bijele svjetlosti, naprimjer svjetiljku, ili pak koristi Sunčevu svjetlost.

Usmjeri tanku svjetlosnu zraku prema jednoj od strana prizme. Postavi bijeli list na suprotnu stranu i polako okreći prizmu dok se na listu ne pojavi spektar boja.

Razmotri redoslijed boja. Možeš li dobiti drugačiji raspored boja spektra? Ponovi eksperiment s laserskom svjetlošću. Da li se i u ovom slučaju dobio kontinuirani spektar?

2. Proučavanje disperzije svjetlosti pomoću interaktivne internetske stranice

Na internetskoj stranici: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_all.html

postavljena je simulacija „Prelamanje svjetlosti“ (Bending Light), koja će ti omogućiti da istražiš disperziju svjetlosti izborom simulacije „Prizme“ (Prisms).

U ovoj simulaciji možeš ispitivati kako se bijela svjetlost razlaže na spektar boja pri prolasku kroz prizmu napravljenu od stakla ili vode. Možeš birati različite sredine u kojima će prizma biti postavljena (zrak, voda) i mijenjati ugao pod kojim svjetlost pada na prizmu, uključivati monohromatski izvor svjetlosti ili bijelu svjetlost i posmatrati kako se svaka boja prelama pod različitim uglom. Istraži spektar dobijen iz bijele svjetlosti pri disperziji pomoću prizme napravljene od različitog materijala. Da li sredina u kojoj je prizma postavljena utječe na disperziju svjetlosti? Da li se posmatra disperzija monohromatske svjetlosti? Mijenjajući boju monohromatske svjetlosti koju emituje izvor, odredi koja se boja najmanje, a koja najviše prelama nakon prolaska kroz prizmu. Postavi dvije prizme jednu pored druge, pri čemu se prizme dodiruju jednom od svojih strana. Šta se događa sa svjetlošću kada prođe kroz obje prizme? Da li se razložena svjetlost iz prve prizme ponovo miješa u bijelu svjetlost kada izlazi iz druge prizme?

PITANJA I ZADACI

1. Šta predstavlja disperzija svjetlosti i kada se pojavljuje?
2. Koja je razlika između polihromatske i monohromatske svjetlosti?
3. Ako određeni spektralni filter propušta samo zelenu svjetlost, šta će se dogoditi ako se ispred njega postavi bijeli izvor svjetlosti?
4. Objasni zašto se duga uvijek pojavljuje na suprotnoj strani od Sunca.
5. U laboratoriji se posmatra spektar stvoren pomoću prizme. Ako izvor umjesto bijele svjetlosti emituje samo jednu boju, šta će se pojaviti na ekranu?

ZAPAMTI

- Bijela svjetlost je polihromatska svjetlost, odnosno sastavljena je od mnogo boja.
- Disperzija je pojava kada se bijela svjetlost razlaže na spektralne boje zbog različitog indeksa prelamanja za svaku boju.
- Spektar bijele svjetlosti je kontinuiran i sadrži sve boje od crvene do ljubičaste.
- Duga je prirodna pojava disperzije pri kojoj se Sunčeva svjetlost razlaže u kišnim kapima.
- Monohromatska svjetlost sadrži samo jednu boju, a polihromatska svjetlost sadrži više boja.

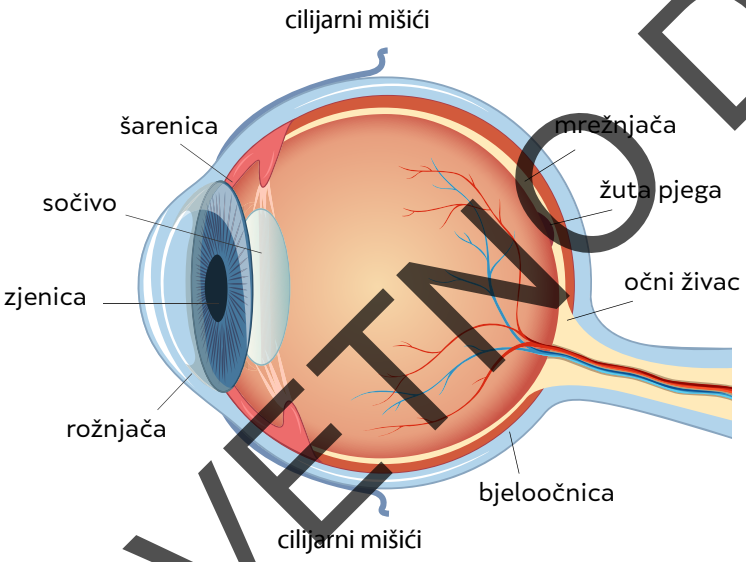
PROSVETNO DELO

4.12. GRAĐA LJUDSKOG OKA

POJMOVI

očno sočivo | mrežnjača | žuta pjega/mrlja | kratkovidost | dalekovidost

Naš vid je rezultat jednog od najsavršenijih prirodnih optičkih uređaja – ljudskog oka. Iako na prvi pogled izgleda jednostavno, oko je složen optički sistem izgrađen od više dijelova koji zajedno omogućavaju da predmete oko nas vidimo jasno, detaljno i u boji. Kada svjetlost reflektovana od nekog predmeta ulazi u oko, ona se prelama na nekoliko mjesta i stvara jasan lik. Najvažniji dijelovi koji učestvuju u ovom procesu jesu očno sočivo, mrežnjača i žuta pjega.



Slika 1. Ljudsko oko i njegovi dijelovi.

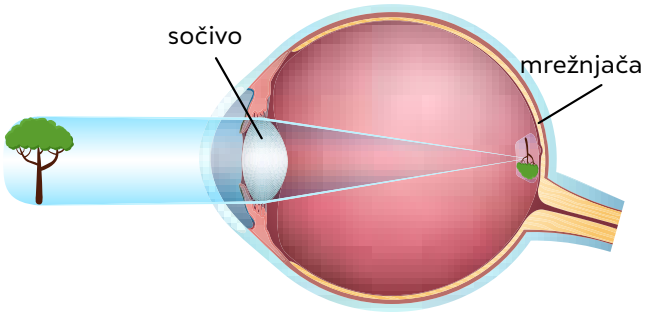
Očno sočivo nalazi se iza zjenice i predstavlja sabirno sočivo s promjenljivim fokusnim rastojanjem. Ono je prozirno, elastično i može mijenjati svoju zakrivljenost pomoću malih mišića. Na ovaj način oko se prilagođava gledanju predmeta koji se nalaze na različitim rastojanjima. Ovaj proces naziva se akomodacija oka.

Kada gledamo bliske predmete, sočivo se „zaobljava“ ili postaje deblje u sredini, čime se fokusno rastojanje smanjuje, a kada gledamo udaljene predmete, sočivo se „izdužuje“, odnosno postaje tanje u sredini, čime se njegovo fokusno rastojanje povećava.

Kod odraslih osoba fokusno rastojanje očnog sočiva kreće se u intervalu od 14 mm, kada je oko maksimalno napregnuto i gleda predmete koji su mu blizu, do 17 mm, kada oko gleda predmete koji su na velikim rastojanjima i nalazi se u opuštenom stanju. Kod djece se fokusno rastojanje pri maksimalnom naprezanju oka može smanjiti za još nekoliko milimetara.

Na zadnjem dijelu oka nalazi se mrežnjača, sloj osjetljivih ćelija koje pretvaraju svjetlost u električne signale. Ovi signali prenose se očnim živcem do mozga, koji tumači dobijeni

PROSVETNO DELO

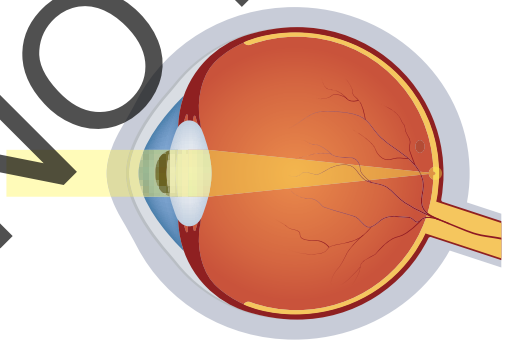


Slika 2. Formiranje lika kod zdravog ljudskog oka.

lik. Najosjetljiviji dio mrežnjače je žuta pjega. To je mjesto s najvećom koncentracijom fotoreceptora (ćelija koje pretvaraju svjetlost u nervne – električne signale). Upravo ovdje oko stvara najoštrije i najpreciznije slike.

Ljudsko oko najbolje vidi bez ikakvog naprezanja kada se predmeti nalaze na udaljenosti od 25 cm od oka. Na ovom rastojanju mišići koji mijenjaju oblik sočiva gotovo nisu aktivni i sočivo se nalazi u svom prirodnom, opuštenom obliku. Zato je čitanje, crtanje ili rad sa sitnim predmetima na 25 cm najugodniji i najmanje zamoran za oko. Kada se predmeti približavaju na manje od 25 cm, oko i dalje može fokusirati zrake na žutu pjegu, ali uz smanjenje.

Kod zdravog oka pravilno prelamanje svjetlosti dovodi do toga da se lik formira tačno na mrežnjači, odnosno na mjestu gdje se nalazi žuta pjega. Lik koji nastaje je realan, obrnut i umanjen, slično kao što se formiraju likovi kod sabirnog sočiva kada je predmet na mnogo većem rastojanju od fokusnog rastojanja sočiva. Mozak preokreće sliku, pa predmete vidimo uspravno.



Slika 3. Normalan vid kod zdravog oka. Zrake nakon prelamanja kroz očno sočivo padaju na žutu pjegu.

Međutim, kod nekih ljudi postoji poremećaj prelamanja svjetlosti kroz sočivo u oku. Dvije najčešće pojave su kratkovidost i dalekovidost.

Kod kratkovidosti (miopije) svjetlosne zrake nakon prelamanja kroz sočivo formiraju lik ispred žute pjege, kao što je prikazano na Slici 4a. To se događa ako je očno sočivo previše zaobljeno, odnosno ako ima veliko fokusno rastojanje. Kratkovide osobe dobro vide predmete koji su blizu, ali teško vide predmete koji su daleko.

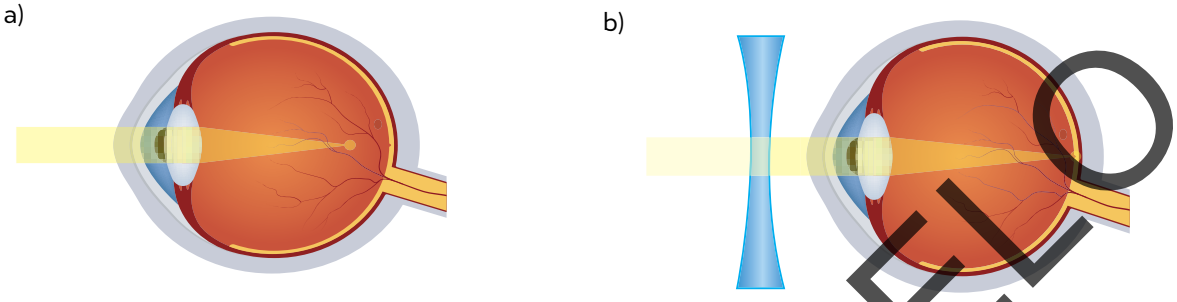
Za korekciju se koriste rasipna sočiva (naočale s negativnom optičkom jačinom), koja rasipaju svjetlost prije nego što uđe u oko, tako da se zrake ponovo fokusiraju na žutu pjegu (Slika 4b).

Dalekovidost (hiperopija) je poremećaj kod kojeg zrake nakon prelamanja kroz sočivo formiraju lik iza žute pjege (Slika 5a). Uzrok tome je nedovoljno ispupčeno očno sočivo, odnosno sočivo ima veliko fokusno rastojanje ili malu optičku moć. U ovom slučaju osoba teško vidi predmete koji su joj blizu, a udaljene predmete vidi bolje.

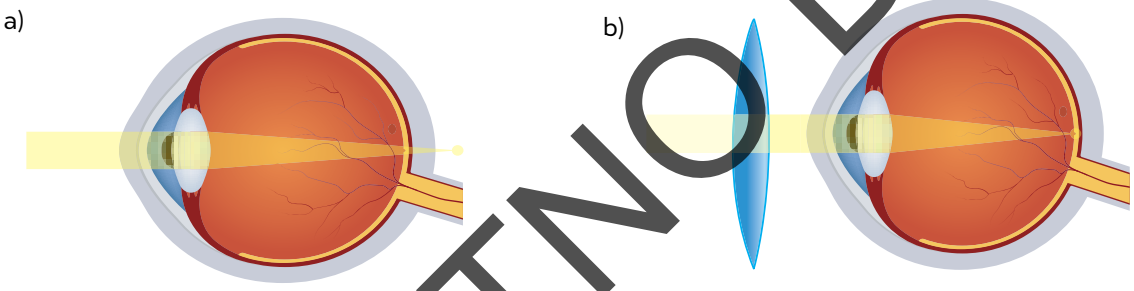
Korekcija se vrši pomoću sabirnih sočiva (naočala s pozitivnom optičkom jačinom), koja skupljaju svjetlosne zrake prije nego što uđu u oko, tako da se zrake ponovo fokusiraju na žutu pjegu (Slika 5b).

PROSVETNO DELO

Ljudsko oko predstavlja jedinstven primjer u kojem se biologija i fizika spajaju: sočivo s promjenljivim fokusom i složen sistem za obradu slike stvaraju optički sistem koji još uvijek nadmašuje preciznost i fleksibilnost mnogih tehničkih uređaja.



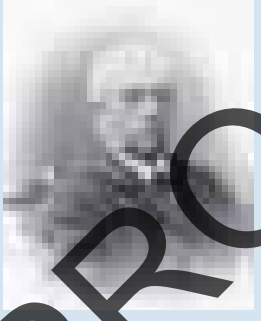
Slika 4. a) Kratkovidost ili miopija b) Ispred oka postavlja se rasipno sočivo koje rasipa zrake prije očnog sočiva, pa se nakon prolaska kroz njega lik formira u žutoj pjegi.



Slika 5. a) Dalekovidost ili hiperopija b) Ispred oka postavlja se sabirno sočivo koje skuplja zrake prije očnog sočiva, pa se nakon prolaska kroz njega lik formira u žutoj pjegi.

PROSVETNO DELO

POZNATI NAUČNIK



Hermann von Helmholtz (1821–1894)

Helmholtz je bio njemački fizičar i fiziolog koji je dao ogroman doprinos razumijevanju vida. On je prvi detaljno opisao akomodaciju ili prilagođavanje oka i izmjerio promjenu fokusnog rastojanja očnog sočiva.

Helmholtz je također konstruisao oftalmoskop – uređaj koji ljekarima omogućava da posmatraju unutrašnjost oka. Njegov rad predstavlja temelj savremene oftalmologije, koja je grana medicine koja se bavi proučavanjem, dijagnostikom, liječenjem i prevencijom bolesti i poremećaja oka i sistema za vid.

AKTIVNOST

1. Određivanje fokusnog rastojanja sabirnog sočiva

Uzmi naočale koje su napravljene od sabirnih sočiva (mogu biti od člana porodice ili neki stari model). Postavi ih na sto i osvijetli ih malim izvorom svjetlosti (svjetiljkom ili mobilnim telefonom). Iza sočiva postavi bijeli list i polako ga pomjeraj naprijed-nazad sve dok ne dobiješ najjasniji lik izvora.

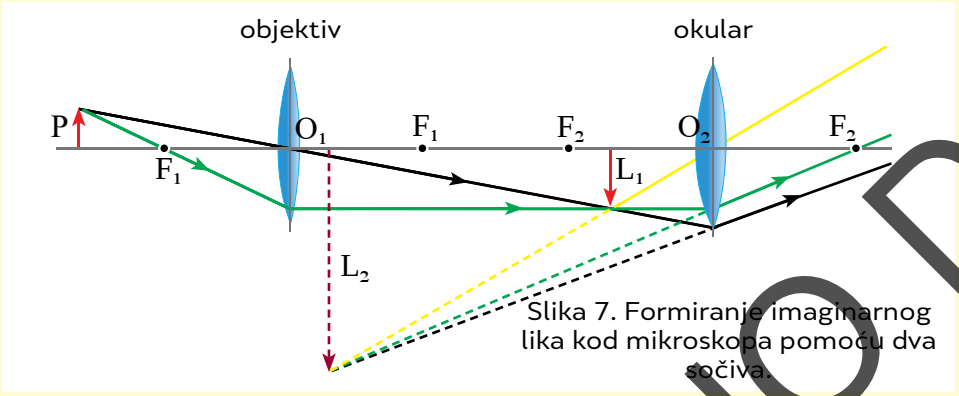
Izmjeri rastojanje od naočala do ekrana. Šta predstavlja ovo rastojanje? Možeš li izračunati optičku jačinu ovih sočiva? Da li se vrijednost koju si izračunao podudara s optičkom jačinom napisanom na okviru naočala? Ako postoji razlika, razmisli gdje mogu nastati greške pri mjerenju.

Ponovi postupak sa sunčanim naočalama. Da li ove naočale omogućavaju fokusiranje svjetlosti u jednoj tački? Da li ove naočale imaju sočiva?

ZA 5+

Optički mikroskopi služe za posmatranje veoma malih predmeta koji se ne mogu vidjeti golim okom, pa čak ni lupom. Najjednostavniji optički mikroskop sastoji se od dva sabirna sočiva postavljena jedno iza drugog. Sočivo koje se nalazi bliže predmetu naziva se objektiv, a sočivo bliže oku naziva se okular.

Način stvaranja lika u mikroskopu takav je da svako od sočiva ima različitu ulogu u uvećavanju.



Slika 7. Formiranje imaginarnog lika kod mikroskopa pomoću dva sočiva.

Objektiv je sabirno sočivo s veoma malim fokusnim rastojanjem. Kada se predmet postavi malo dalje od njegovog fokusnog rastojanja, objektiv stvara realan, obrnut i uvećan lik.

Mikroskop se podešava tako da se lik formiran objektivom nalazi između fokusa i sočiva okulara i predstavlja predmet za okular. U ovom položaju okular radi kao lupa, stvarajući drugi lik koji je imaginaran, još više uvećan i obrnut u odnosu na stvarni predmet.

Konačni lik koji posmatrač vidi rezultat je dvostrukog uvećanja: prvo pomoću objektiva, a zatim i okulara. Na Slici 7 prikazano je formiranje lika predmeta kod mikroskopa.

Ukupno uvećanje mikroskopa može se izračunati pomoću uvećanja objektiva i okulara prema formuli:

$$u_{\text{mikroskop}} = u_{\text{objektiv}} \cdot u_{\text{okular}}.$$

PITANJA I ZADACI

1. Kada se oko ponaša kao sočivo s manjim fokusnim rastojanjem – pri gledanju blizu ili daleko?
2. Osoba koristi sočivo jačine –2 D. Koliko je fokusno rastojanje sočiva?
3. Dalekovida osoba koristi naočale jačine +3 D. Izračunaj fokusno rastojanje sočiva.
4. Kako rasipno sočivo pomaže kratkovidom oku da jasno vidi?
5. Predmet je postavljen 25 cm od oka, a oko može jasno vidjeti samo na rastojanju od 50 cm. Kakvo sočivo je potrebno za jasno gledanje i zašto?

ZAPAMTI

- Ljudsko oko ponaša se kao sabirno sočivo koje stvara realan, obrnut i umanjen lik.
- Lik se formira na mrežnjači, na najosjetljivijem dijelu koji nazivamo žuta pjega.
- Kratkovidost je poremećaj kod kojeg oko ne može jasno vidjeti predmete koji se nalaze na velikim rastojanjima od njega. Korigira se rasipnim sočivima.
- Dalekovidost je poremećaj kod kojeg oko ne može jasno vidjeti predmete koji se nalaze na malim rastojanjima od njega. Korigira se sabirnim sočivima.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

U žutoj pjegi ima približno 200 000 fotoreceptora po mm^2.

PROSVETNO DELO

4.13. ADITIVNO I SUPTRAKTIVNO MIJEŠANJE BOJA

POJMOVI

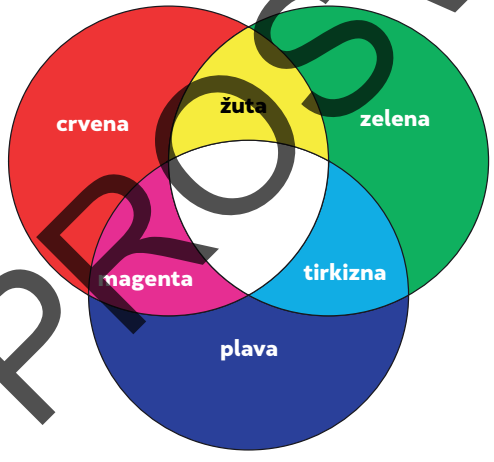
osnovne boje | izvedene boje | aditivno miješanje | suptraktivno miješanje

Mrežnjača oka ima milione fotoosjetljivih receptora, odnosno ćelija koje su osjetljive na svjetlost. One pretvaraju svjetlosne zrake u električne nervne impulse koji se dalje obrađuju u mozgu, gdje se formira lik predmeta koje gledamo. Postoje dvije vrste fotoosjetljivih ćelija: štapići i čunjići. Štapići su osjetljivi na slabu svjetlost i pomažu nam da vidimo noću ili u zamračenim prostorijama. Oni nisu osjetljivi na boje, nego nam samo omogućavaju da vidimo oblike i pokrete kada je oko nas tamno. Čunjići, pak, najbolje funkcionišu pri jakoj dnevnoj svjetlosti i osjetljivi su na različite boje. U ljudskom oku postoje tri vrste čunjića osjetljivih na crvenu, zelenu i plavu svjetlost. Kada svjetlost pada na njih, oni šalju električne signale mozgu. Mozak kombinuje signale triju vrsta čunjića i tako stvara utisak cijele palete boja koje vidimo. Zato crvenu, zelenu i plavu boju nazivamo **osnovnim bojama.**

Aditivno miješanje boja

Aditivno miješanje je kombinovanje svjetlosnih zraka različitih boja. Ako nekoj od osnovnih boja dodamo drugu osnovnu boju, tada dobijamo izvedene ili sekundarne boje**:**

- Crvena + zelena → žuta
- Crvena + plava → magenta
- Zelena + plava → tirkizna



Slika 1. Aditivno miješanje osnovnih boja. Tri izvora svjetlosti usmjerena su prema ekranu. Centralni dio slike, gdje se aditivno miješaju tri osnovne boje, bijel je. Miješanje dviju osnovnih boja stvara izvedenu boju.

Kada se kombinuju tri osnovne boje, dobija se bijela svjetlost. Na Slici 1 prikazano je aditivno miješanje svjetlosti dobijene iz izvora svjetlosti koji emituju tri osnovne boje.

Primarni način dobijanja boja na ekranima telefona, računara, televizora i sličnih uređaja jeste RGB kombinacija (skraćenica od Red, Green, Blue). Kontrolisanim dodavanjem osnovnih boja mogu se dobiti milioni različitih nijansi boja.

Aditivno miješanje boja karakteristično je za svjetlost i pojavljuje se uvijek kada se izvori svjetlosti koji zrače svjetlost u osnovnim bojama usmjere prema istom mjestu. Aditivnim miješanjem sve više boja rezultat je svjetlija boja.

PROSVETNO DELO

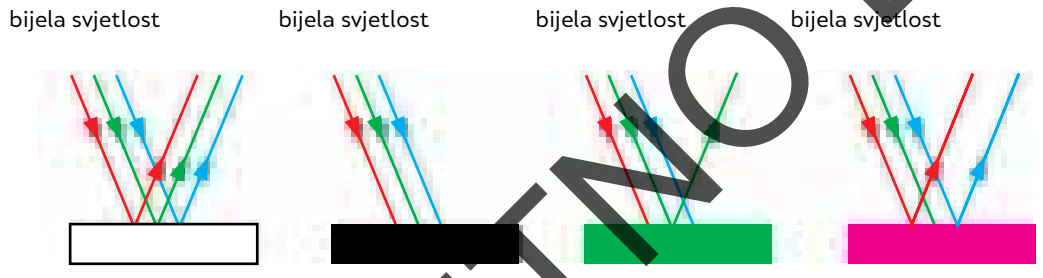
Suptraktivno miješanje boja

Bijela svjetlost je polihromatska svjetlost, odnosno sastavljena je od više različitih boja. Kada bijela svjetlost dođe do nekog materijala, određene boje se apsorbuju, a druge se reflektuju. Pritom apsorpciju nekih boja tumačimo kao oduzimanje boje, a reflektovana svjetlost je ona koju naš mozak prepoznaje kao boju. Ovakvo miješanje boja naziva se suptraktivno miješanje boja.

Bijela tkanina reflektuje svjetlosne zrake svih boja, dok crna tkanina ne reflektuje svjetlost, nego apsorbuje sve svjetlosne zrake koje padnu na nju (Slika 2).

Zelena tkanina reflektuje zelenu svjetlost, ali apsorbuje crvenu i plavu. Kažemo da zelena tkanina oduzima ili suptraktuje plavu i crvenu boju iz bijele svjetlosti.

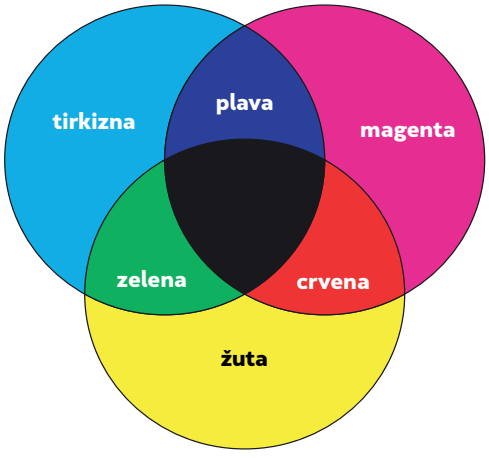
Za ljubičastu tkaninu kažemo da oduzima ili suptraktuje zelenu boju iz bijele svjetlosti. Ako se ova površina osvijetli zelenom bojom, izgledat će crno.



Slika 2. Apsorpcija i refleksija svjetlosti od bijele, crne, zelene i magenta površine.

Na Slici 3 predstavljeno je suptraktivno miješanje boja. Prostor na slici istovremeno je osvijetljen trima sekundarnim bojama. Suptraktivno miješanje sekundarnih boja daje osnovne boje:

- Tirkizna + magenta → plava
- Magenta + žuta → crvena
- Žuta + tirkizna → zelena



Slika 3. Suptraktivno miješanje boja. Tri izvora svjetlosti sekundarnih boja usmjerena su prema ekranu. U centralnom dijelu ekrana, gdje se preklapaju tri boje, dolazi do suptraktivnog miješanja i apsorpcije svake od boja, pa taj dio izgleda crno.

Osim kod neprozirnih predmeta, suptraktivno miješanje boja postiže se i kod prozirnih predmeta, kao što su optički filteri. I kod njih su neke boje svjetlosti apsorbovane (oduzimaju se) i ne prolaze kroz filter. Naprimjer, ako bijela svjetlost pada na crveni filter, bit će propuštena samo crvena boja.

PROSVETNO DELO

Ako predmet osvijetlimo svjetlošću različitih boja, tada nam on može izgledati kao da je „promijenio“ svoju boju, odnosno može izgledati drugačije nego kada je osvijetljen bijelom svjetlošću.

Naprimjer, pri osvjetljavanju zelenom svjetlošću crvena majica izgledat će crno, zato što će zelena svjetlost biti apsorbovana. Žuti limun osvijetljen zelenom svjetlošću izgledat će zeleno. Budući da se žuta boja dobija aditivnim miješanjem crvene i zelene boje, limun reflektuje samo zelenu svjetlost.

Dva načina miješanja boja suštinski su različita, ali ih svakodnevno susrećemo i koristimo i jedan i drugi. Razumijevanjem njihove razlike razumjet ćemo kako funkcionišu monitori, štampači i kako naše oko i mozak opažaju boju u svijetu oko nas.

Također, ovo je važno u oblastima kao što su umjetnost, dizajn, fotografija, štampanje, scensko osvjetljenje i u svim oblastima u kojima boja ima ključnu ulogu.

PROSVETNO DELO

AKTIVNOSTI

1. Istraživanje sa stvarnim filterima

Uzmi baterijsku lampu ili tanak snop bijele svjetlosti i usmjeri ga prema filteru crvene boje. Pogledaj kakva svjetlost prolazi kroz njega. Sada ponovi eksperiment sa zelenim i plavim filterom. Ako nemaš filtere, pronađi stakla različitih boja. Počni kombinovati filtere: crveni + zeleni, zeleni + plavi, crveni + plavi. Primijeti da neke kombinacije propuštaju veoma malu količinu svjetlosti, a neke stvaraju nove boje. Koje boje dobijaš kombinovanjem filtera? Objasni kakvu vrstu miješanja boja imaš u ovoj aktivnosti, aditivno ili suptraktivno?

2. Newtonov disk – razlaganje i ponovno spajanje boja

Da bi razumio kako se bijela svjetlost može „stvoriti“ miješanjem boja, napravi Newtonov disk. Na komadu kartona nacrtaj šest sektora i oboji ih osnovnim i izvedenim bojama (crvena, narandžasta, žuta, zelena, plava, ljubičasta). Postavi disk na štapić, drži ga među prstima i brzo ga zavrti. Vidjet ćeš da se sve boje miješaju i da će disk izgledati bijelo. Šta dokazuje ova aktivnost? Kakvu vrstu miješanja boja imamo u ovoj aktivnosti?

3. Boja predmeta

Nabavi nekoliko obojenih predmeta – naprimjer, crveni, zeleni, plavi, žuti i bijeli listić. Osvijetli predmete crvenom, zelenom i plavom svjetlošću odvojeno.

Zapiši pod kojom svjetlošću predmet izgleda svijetlo, tamno ili mijenja boju. Da li je boja predmeta njegovo svojstvo ili zavisi od toga kojom je bojom predmet osvijetljen?

ZA 5+

Istraži svjetlost koju emituju LED-diode i zašto ta svjetlost ima poseban značaj za savremenu tehnologiju.

ZANIMLJIVE ČINJENICE

Kod nekih životinja spektar vidljive svjetlosti je drugačiji. Naprimjer, pčele vide ultraljubičastu svjetlost.

POZNATI NAUČNIK



Shuji Nakamura (1954)

Nakamura iz Japana je inženjer i fizičar koji je ostvario jedno od najvažnijih otkrića u modernoj optičkoj elektronici: plavu svjetleću LED-diodu.

Radeći devedesetih godina prošlog stoljeća, Nakamura je uspio stvoriti stabilan i energetski efikasan materijal – galijum-nitrid – koji je omogućio proizvodnju plavih LED-dioda, nešto što su naučnici decenijama pokušavali postići.

Za ovo svoje otkriće Nakamura je dobio Nobelovu nagradu za fiziku 2014. godine. Otkriće plave LED-diode od ogromnog je značaja jer se upravo kombinacijom crvenih, zelenih i plavih LED-dioda stvara bijela svjetlost, ali i sve druge boje na ekranima.

Savremeni televizori, računari, mobilni telefoni i LED-ekrani koriste upravo ovakve diode za prikazivanje jasne, svijetle i energetski efikasne slike. Zahvaljujući plavoj LED-diodi, današnji ekrani su tanji, štedljiviji i vidljiviji, s mnogo boljim kontrastom i rezolucijom nego ranije.

PITANJA I ZADACI

1. Svojim riječima objasni šta je aditivno, a šta suptraktivno miješanje boja.
2. Zašto crvena ruža izgleda crno ako se osvijetli plavom svjetlošću?
3. Ako na bijelu tkaninu usmjeriš crvenu i plavu svjetlost, kakvu ćeš boju dobiti?
4. Ako se plavi predmet osvijetli žutom svjetlošću, kako će izgledati predmet?
5. Dva filtera, tirkizni i magenta, postavljena su jedan preko drugog. Koji dio bijele svjetlosti bit će propušten?

ZAPAMTI

- Osnovne boje su crvena, zelena i plava. Njihovim aditivnim miješanjem dobijamo bijelu svjetlost.
- Sekundarne boje su žuta, tirkizna i magenta. Njihovim suptraktivnim miješanjem dobijaju se tamne nijanse.
- Boja osvijetljenog predmeta određena je apsorpcijom i refleksijom određenih boja.

PROSVETNO DELO

TEMA 4.
PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I UTVRĐIVANJE

1. Zamisli da se noću voziš automobilom po pravom putu i da u prvom slučaju ima magle, a u drugom slučaju nema. U kojem od ovih slučajeva svjetla automobila osvjetljavaju veći dio puta? Objasni šta se događa s paralelnim snopovima svjetlosti koje emituju svjetla automobila kada je bilo maglovito i zašto je vidljivost smanjena.
2. Ujutro je Sunce nisko iznad horizonta. Sjena jednog drveta duga je 20 m. U podne je sjena duga samo 5 m. Kako se ova pojava može objasniti pravolinijskim prostiranjem svjetlosti i položajem Sunca?
3. Na Zemlji dolazi do smjene dana i noći zato što:

a) Zemlja je ravna

b) Svjetlost se prostire pravolinijski i Zemlja rotira oko svoje ose

c) Sunce se kreće oko Zemlje

d) Zemlja ima atmosferu

4. Zašto se sjena predmeta mijenja s promjenom rastojanja od predmeta do izvora svjetlosti?
5. U ovoj tabeli dat je radijus sjene koju stvara sferni predmet radijusa 2 cm na ekranu koji je udaljen 100 cm od predmeta. Predmet je osvijetljen tačkastim izvorom svjetlosti:

Rastojanje od tačkastog izvora do predmeta (cm)	Radijus sjene (cm)
10	20
20	10
25	8
40	5
50	4

a) Nacrtaj zavisnost radijusa sjene od udaljenosti izvora svjetlosti do predmeta.

b) Pomoću grafika odredi koliki će biti radijus sjene kada se izvor nalazi na rastojanju od 30 cm od predmeta.

c) Na kojem rastojanju od predmeta treba biti postavljen izvor svjetlosti da bi sjena imala radijus od 15 cm?



6. Na rastojanju x = 50 cm od ravnog ogledala postavljen je tačkasti izvor svjetlosti S. Na istom rastojanju x od izvora svjetlosti nalazi se oko posmatrača, kao što je prikazano na slici.

a) Grafički odredi položaj lika izvora svjetlosti u ravnom ogledalu.

b) Izračunaj rastojanje od lika izvora svjetlosti u ogledalu do oka posmatrača.

7. Čovjek stoji 1,5 m ispred ogledala i pomjera se 0,5 m unazad. Pri tom položaju čovjeka, za koliko metara se njegov lik udaljio od predmeta?
8. Dva vertikalna ogledala postavljena su na rastojanju od 2 m. Učenica stoji na 0,5 m od prvog ogledala. Pod pretpostavkom da se zrake odbijaju prvo od prvog, a zatim od drugog ogledala, odredi:

a) Na kojem rastojanju će se formirati prvi lik u prvom ogledalu?

b) Na kojem rastojanju od djevojke će se formirati prvi lik u drugom ogledalu?

c) Koliko će biti rastojanje između drugih likova koji se formiraju u oba ogledala? Napravi skicu kojom ćeš prikazati formiranje likova u ogledalima.

9. Svjetlosna zraka pada na prvo ogledalo, od kojeg se reflektuje i pada na drugo ogledalo (slika desno).



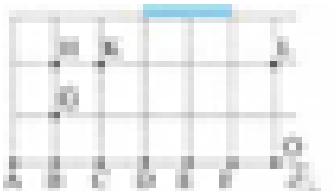
a) Nacrtaj put zrake.

b) Odredi upadni ugao zrake kada ona pada na prvo ogledalo.

c) Odredi upadni ugao kada zraka pada na drugo ogledalo.

PROSVETNO DELO

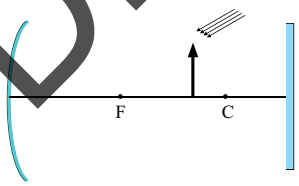
10. Zašto jasno vidimo svoj lik u ogledalu, ali ne i u bijelom zidu?
11. Koje od tačkastih objekata može vidjeti posmatrač koji gleda u ravno ogledalo u tački O, kao što je prikazano na slici?





12. Četverougao napravljen od tanke žice postavljen je ispred ogledala, kao što je prikazano na slici lijevo. Konstruiši lik četverougla u ogledalu.

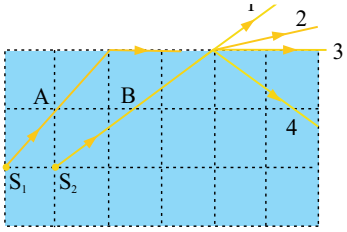
13. Ispred udubljenog ogledala s fokusnim rastojanjem od 15 cm postavlja se predmet na rastojanju od 30 cm od tjemena ogledala.
a) Konstruiši lik pomoću dvije karakteristične zrake.
b) Kakvi su položaj, orijentacija i veličina lika u poređenju s veličinom predmeta?
14. Kako se mijenja veličina lika kod udubljenog ogledala kada se predmet pomjera iz beskonačnosti prema fokusu?
15. Na ovoj slici prikazan je predmet koji se nalazi između udubljenog i ravnog ogledala. Svjetlosne zrake padaju na predmet tako da se prvo formira lik pomoću sfernog ogledala, koji predstavlja predmet za ravno ogledalo. Konstruiši prvo lik koji će dati udubljeno ogledalo, a zatim lik koji će se dobiti u ravnom ogledalu.





16. Konstruiši lik predmeta u obliku strelice koji je postavljen ispred udubljenog i ispred ispupčenog ogledala, kao što je prikazano na slici lijevo.

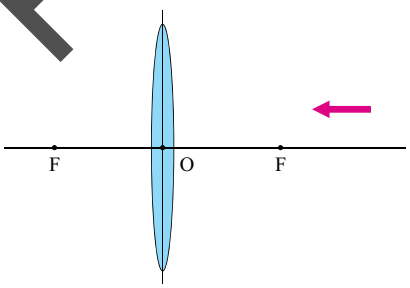
17. Na slici lijevo prikazana su dva izvora svjetlosti koji se nalaze u vodi i emituju zrake A i B prema graničnoj površini voda–zrak. Na graničnoj površini zraka A prelama se pod uglom od 90°. Kojim će se od ponuđenih pravaca prostirati zraka B kada stigne do granične površine voda–zrak? Obrazloži svoj odgovor.

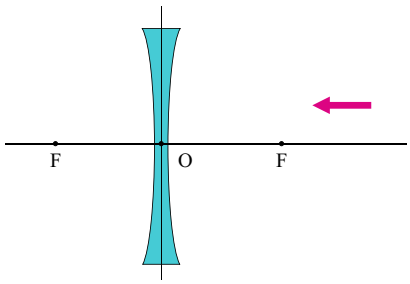


18. Monohromatska svjetlosna zraka prolazi kroz tri optičke sredine. Prema prelamanju zrake odredi koja sredina ima najveći indeks prelamanja. Postoje li dvije sredine koje imaju jednak indeks prelamanja?
19. Koliko je fokusno rastojanje sočiva koje ima optičku jačinu:
a) 1 D
b) 0,25 D
c) –4 D
d) –10 D?



20. Konstruiši lik predmeta u obliku strelice koji je postavljen ispred sabirnog i ispred rasipnog sočiva, kao što je prikazano na slici.





PROSVETNO DELO

A

Aditivno miješanje – miješanje osnovnih boja; miješanjem crvene, zelene i plave svjetlosti dobija se bijela svjetlost.

Agregatno stanje – fizičko stanje u kojem može postojati jedna supstanca: čvrsto, tečno ili gasovito.

Amorfno tijelo – čvrsto tijelo bez pravilne kristalne strukture (npr. staklo, plastika).

Anion – negativno naelektrisan ion dobija se kada elektroneutralni atom/grupa atoma primi jedan ili više neutrona.

Anoda – pri elektrolizi to je pozitivna elektroda.

Anomalija vode – pojava pri kojoj voda ima najveću gustinu na 4 °C, a ne na tački smrzavanja. Smanjenje gustine vode sa smanjenjem njene temperature u intervalu od 4 °C do 0 °C.

Apsolutna nula (T_0) – najniža moguća temperatura, pri kojoj se molekule prestaju kretati: 0 K = –273,15 °C.

Apsolutna temperatura (T) – temperatura supstance izražena u kelvinima.

Apsorpcija – primanje energije od strane površine pri izlaganju zračenju.

Atom – najmanja strukturna čestica hemijskog elementa koja zadržava njegova svojstva, sastavljena od jezgra i elektronskog omotača.

Atomsko jezgro – centralni dio atoma sastavljen od protona i neutrona.

Atmosfera – gasoviti omotač oko Zemlje.

B

Bestežinsko stanje – stanje u kojem tijela nemaju težinu.

Bijela svjetlost – svjetlost sastavljena od svih boja vidljivog spektra.

Brownovo kretanje – haotično kretanje sitnih čestica u tečnosti ili gasu, izazvano sudarima s molekulama sredine.

Brzina – promjena neke veličine tokom vremena.

Brzina svjetlosti – rastojanje koje svjetlost pređe za 1 sekundu. U vakuumu se svjetlost prostire konstantnom brzinom: $c = 3 \bullet 10^8$ m/s.

V

Vakuum – prostor bez zraka.

Vat (W) – SI jedinica za snagu; 1 W je snaga kada se izvrši rad (ili prenese energija) od 1 J za vrijeme od 1 s.

Vektor – usmjerena duž kod koje se zna koja je početna, a koja krajnja tačka.

Vektorske veličine – fizičke veličine koje imaju iznos, pravac i smjer.

Vertikalni pravac – pravac djelovanja Zemljine teže.

Udubljeno (konkavno) ogledalo – sferno ogledalo čija se reflektujuća površina nalazi na unutrašnjoj strani izrezanog dijela sfere.

Duga – prirodna pojava disperzije Sunčeve svjetlosti u kišnim kapima, pri kojoj nastaje kontinuirani spektar boja.

Unutrašnja energija – ukupna energija svih molekula u jednom tijelu (kinetička i potencijalna).

Zapremina – prostor koji zauzima jedno tijelo ili jedna supstanca.

G

Galvanizacija – proces pri kojem se metalni predmet oblaže drugim metalom pomoću električne struje.

Galvanski element – elektrohemijski izvor jednosmjerne struje, sastavljen od dvije različite elektrode i elektrolita.

Gas – agregatno stanje supstance, nema određen oblik i zapreminu; čestice se slobodno kreću.

Geotermalna energija – energija dobijena iz toplote u unutrašnjosti Zemlje.

Glavna optička osa – prava linija koja prolazi kroz tjeme i centar ogledala ili centre kružnica od kojih je napravljeno sočivo.

Gravitacijsko djelovanje – privlačno djelovanje između bilo koja dva tijela u svemiru.

Gravitacijsko polje – fizičko polje preko kojeg se prenosi gravitacijsko međudjelovanje.

Gravitacijska potencijalna energija – energija tijela zbog njegovog položaja u gravitacijskom polju.

Gravitacijska sila – mjera gravitacijskog djelovanja.

Građevne čestice – najsitnije čestice od kojih je sastavljena supstanca (atomi, molekule, ioni).

Granični ugao – najveći upadni ugao svjetlosti na granici dvije optičke sredine pri kojem svjetlost još uvijek može preći u drugu sredinu.

Grmljavina – zvuk izazvan naglim zagrijavanjem i širenjem zraka oko električnog pražnjenja (munja, grom).

Grom – električna struja (električno pražnjenje) između oblaka i zemlje.

Gromobran – metalna konstrukcija postavljena na visokim objektima koja služi za zaštitu od groma;

PROSVETNO DELO

sigurno provodi struju u zemlju.

Gustina – količnik mase i zapremine tijela.

D

Dalekovidost – poremećaj pri kojem se slika bliskih predmeta formira iza mrežnjače; koriguje se sabirnim sočivima.

Kretanje – promjena položaja jednog tijela u odnosu na druga tijela.

Deformacija – promjena oblika (forme) ili veličine tijela pod djelovanjem vanjske sile.

Dioptrija (D) – jedinica za jačinu sočiva; definisana kao recipročna vrijednost fokusnog rastojanja u metrima.

Diskontinuirani spektar – spektar u kojem se pojavljuju tamne trake.

Disperzija (razlaganje) – pojava pri kojoj se bijela svjetlost razlaže na spektralne boje pri prolasku kroz prizmu ili kroz kapljice vode.

Difuzija – proces samostalnog, spontanog miješanja čestica dviju supstanci, bez vanjskog utjecaja, zbog njihovog haotičnog kretanja.

Difuzno odbijanje – pojava kada se svjetlost odbija od neravne površine, pa se zrake odbijaju u različitim pravcima.

E

Jednosmjerna struja – električna struja koja uvijek teče u istom smjeru u strujnom kolu.

Eksperiment – postupak kojim se ispituju, dokazuju ili potvrđuju naučne pojave ili hipoteze posmatranjem i mjerenjem u kontrolisanim uslovima.

Elastična potencijalna energija – energija koja se skladišti u elastičnom tijelu (opruga, guma) pri deformaciji.

Električna centrala – postrojenje koje proizvodi električnu energiju iz različitih izvora (hidro, termo, nuklearna, solarna).

Električni izvor – uređaj koji omogućava proticanje električne struje u strujnom kolu.

Električna energija – energija koju nose električni naboji u kretanju; najčešće korišten oblik energije u svakodnevnom životu.

Električna influencija (utjecaj) – pojava pri kojoj se električni naboj u jednom tijelu preraspodjeljuje pod utjecajem obližnjeg naelektrisanog tijela, bez direktnog kontakta.

Električna struja – usmjereno kretanje elektrona (ili drugih nosilaca naboja) kroz provodnik.

Električna provodljivost – sposobnost materijala da propušta električnu struju; zavisi od broja slobodnih elektrona.

Električne linije sile – zamišljene linije koje predstavljaju pravac i smjer električnog polja.

Električno polje – fizičko polje preko kojeg se prenosi elektrostatičko međudjelovanje.

Elektroda – provodnik koji se unosi u elektrolit.

Elektroliza – proces razlaganja elektrolita pomoću električne struje.

Elektrolit – supstanca koja u rastvoru provodi električnu struju zahvaljujući prisustvu iona (vodeni rastvor soli, baza ili kiselina).

Elektrolitna disocijacija – proces pri kojem se čestice soli, baza ili kiselina razlažu na ione kada se rastvaraju u vodi.

Elektromagnet – uređaj sastavljen od zavojnice sa željeznim jezgrom kroz koju teče struja; stvara snažno magnetno polje koje se može uključivati i isključivati.

Elektrometar – mjerni instrument koji pokazuje količinu električnog naboja kojim je neko tijelo naelektrisano.

Elektron – negativno naelektrisana čestica koja kruži oko jezgra atoma.

Elektronski omotač – prostor oko jezgra u kojem se mogu nalaziti elektroni.

Elektroskop – najstariji instrument za utvrđivanje naelektrisanosti tijela.

Elektrostatička sila – sila koja djeluje između dva nepokretna električna naboja, može biti privlačna ili odbojna.

Elementarni električni naboj (e) – najmanja količina električnog naboja, jednaka naboju jednog elektrona ili jednog protona.

Energija (E) – fizička veličina koja izražava sposobnost tijela ili sistema da vrši rad.

Energija vjetra – kinetička energija vjetra.

Energija vode – potencijalna ili kinetička energija vode.

Energija vodenog talasa – mehanička energija talasa vode.

Energija plime i oseke – mehanička energija vode pri plimi ili oseci.

Energija fosilnih goriva – energija koja se dobija sagorijevanjem uglja, nafte i prirodnog gasa.

Ž

Željezno jezgro – komad željeza umetnut u zavojnicu radi pojačavanja magnetnog polja.

Žuta pjega (mrlja) – najosjetljiviji dio mrežnjače u kojem se stvara lik.

PROSVETNO DELO

Z

Međudjelovanje (interakcija) – međusobno djelovanje dvaju tijela.

Zakon očuvanja mehaničke energije – ukupna mehanička energija u izolovanom sistemu je stalna.

Zakon očuvanja energije – ukupna energija u sistemu ne može se stvoriti niti uništiti, nego se samo pretvarati iz jednog oblika u drugi.

Sabijanje – smanjenje dužine nekog materijala ili tijela kada na njega djeluje sila.

Zemljino ubrzanje – ubrzanje koje dobijaju sva tijela koja slobodno padaju prema Zemlji pod djelovanjem njene gravitacijske sile.

Zemljina teža – sila kojom Zemlja privlači tijela prema svom centru.

Zračenje (radijacija) – prenošenje toplote pomoću toplotnih talasa.

I

Izvedene boje – boje dobijene miješanjem osnovnih boja.

Izvor energije – prirodni ili tehnički sistem iz kojeg se može dobiti energija (Sunce, voda, vjetar, gorivo, baterija).

Izduživanje – povećanje dužine nekog materijala ili tijela kada na njega djeluje sila.

Izolator – supstanca kroz koju ne teče električna struja.

Izolovani sistem – fizički sistem koji ne razmjenjuje energiju ili materiju s okolinom.

Imaginarni lik – lik koji se ne može projektovati na ekran.

Indeks prelamanja (n) – količnik brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u nekoj optičkoj sredini.

Ispupčeno (konveksno) ogledalo – sferno ogledalo čija se reflektujuća površina nalazi na vanjskoj strani izrezanog dijela sfere.

J

Jačina sočiva – fizička veličina koja pokazuje sposobnost sočiva da skuplja ili rasipa svjetlosne zrake.

Ioni – atomi ili molekule s električnim nabojem koji nisu elektroneutralni.

Ionizatori – uređaji koji stvaraju ione u gasovima.

Ionizacija – proces pri kojem atom ili molekula gubi ili prima elektrone i pretvara se u ion.

K

Zavojnica (solenoid) – provodnik namotan u spiralu; kada kroz njega teče struja, stvara magnetno polje slično magnetu u obliku štapa.

Kalorimetar – instrument za mjerenje količine toplote.

Kation – pozitivno naelektrisan ion.

Katoda – pri elektrolizi to je negativna elektroda.

Kelvin (K) – SI jedinica za temperaturu.

Kelvinova temperaturna skala – apsolutna skala za temperaturu; počinje od apsolutne nule.

Kinetička energija – energija koju ima tijelo koje se kreće.

Koeficijent elastičnosti – fizička veličina koja pokazuje kolika je sila potrebna da se jedno elastično tijelo izduži ili sabije za jedinicu dužine.

Koeficijent korisnog djelovanja (efikasnost) – odnos između korisnog rada ili energije i ukupnog uloženog rada ili energije.

Količina elektriciteta (q) – fizička veličina koja izražava ukupnu količinu električnog naboja.

Komponenta sile – dio sile koji djeluje u određenom pravcu.

Kontinuirani spektar – spektar u kojem su prisutne sve boje vidljive svjetlosti bez prekida.

Kratkovidost (miopija) – poremećaj pri kojem se lik udaljenih predmeta formira ispred mrežnjače; koriguje se rasipnim sočivima.

Kratki spoj – pojava kada se dva provodnika povezana s različitim polovima izvora struje direktno spoje, bez priključenog potrošača u strujnom kolu; izaziva naglo povećanje jačine struje i oštećenje kola.

Kristalno tijelo – čvrsto tijelo u kojem su čestice raspoređene u pravilnu kristalnu rešetku.

Kulon (C) – SI jedinica za veličinu električnog naboja.

L

Lik (slika) predmeta – prikaz predmeta dobijen odbijanjem ili prelamanjem svjetlosti od ogledala ili kroz sočiva.

Lupa – sabirno sočivo s malim fokusnim rastojanjem koje se koristi za dobijanje uvećanog imaginarnog lika predmeta.

M

Magnetiziranje – proces pri kojem tijelo koje nema magnetna svojstva postaje magnetno pod djelovanjem vanjskog magnetnog polja.

Magnetne linije sile – zamišljene linije kojima se predstavljaju pravac i smjer magnetnog polja.

PROSVETNO DELO

Magnetno međudjelovanje – privlačno ili odbojno djelovanje između magneta ili između provodnika kroz koje teče struja i magneta.

Magnetno polje – fizičko polje preko kojeg se prenosi magnetno međudjelovanje.

Masa – mjera inertnosti tijela.

Magnetno polje Zemlje – prirodno magnetno polje koje stvara Zemlja.

Međumolekularne sile – sile privlačenja ili odbijanja između molekula u supstanci.

Međučestični prostor – prazan prostor između čestica u supstanci.

Menzura – prozirna cilindrična posuda sa skalom za mjerenje zapremine tečnosti.

Mehanička energija – zbir kinetičke i potencijalne energije jednog tijela ili sistema.

Mehanički rad (A) – fizička veličina koja pokazuje koliko energije tijelo dobija ili gubi pri pomjeranju za 1 m ako na njega djeluje sila od 1 N.

Mehaničko djelovanje – električna struja izaziva kretanje dijelova uređaja, odnosno vrši mehanički rad.

Snaga (P) – fizička veličina koja pokazuje izvršeni rad u jedinici vremena.

Molekula – čestica sastavljena od dva ili više atoma povezanih hemijskim vezama.

Munja (grom) – snažno električno pražnjenje u atmosferi između oblaka ili između oblaka i zemlje.

Monohromatska svjetlost – svjetlost sastavljena od jedne boje.

Mrežnjača – unutrašnji sloj oka na kojem se nalaze fotoreceptori.

N

Naizmjenična struja – električna struja čiji se smjer i jačina periodično mijenjaju.

Smjer – određivanje prema kojem dijelu jedne prave djeluje sila ili se kreće neko tijelo.

Smjer struje – kretanje pozitivno naelektrisanih čestica od pozitivnog prema negativnom polu baterije.

Usmjereno kretanje – kretanje čestica u jednom smjeru.

Neobnovljivi izvori energije – izvori koji se iscrpljuju i ne obnavljaju se za kratko vrijeme.

Neprozirna sredina – materijal kroz koji svjetlost ne može proći.

Neutron – čestica u jezgru atoma.

Normala – zamišljena prava linija, pod uglom od 90° na površinu, u tački gdje pada svjetlosna zraka.

Normalna sila (reakcijska sila podloge) – sila kojom podloga djeluje na tijelo (pod pravim uglom u odnosu na podlogu).

Nosioci naboja – čestice koje su naelektrisane (imaju naboj).

Nuklearna energija – energija oslobođena pri nuklearnim reakcijama.

NJ

Njutn – osnovna mjerna jedinica za silu.

O

Obnovljivi izvori energije – izvori koji se neprestano obnavljaju u prirodi.

Ogledalna simetrija – pojava kod ogledala pri kojoj je lik u ravnom ogledalu simetričan s predmetom i nalazi se na istom rastojanju od ravni ogledala.

Odbijanje (refleksija) svjetlosti – pojava pri kojoj se svjetlost vraća nazad u optičku sredinu iz koje pada na granicu između dvije optičke sredine.

Odbijena zraka – svjetlosna zraka nakon odbijanja od granične površine.

Optička sredina – svaki materijal kroz koji se prostire svjetlost.

Optičko vlakno – tanka staklena ili plastična nit kroz koju se prostire svjetlost, totalno se reflektujući od njegove obloge.

Osnovne boje – crvena, zelena i plava; njihovim miješanjem dobijaju se izvedene boje.

Osnovne fizičke veličine – sedam fizičkih veličina pomoću kojih se definišu sve ostale fizičke veličine.

Očno sočivo – sabirno sočivo u ljudskom oku.

P

Paralelni svjetlosni snop – skup svjetlosnih zraka koje se kreću paralelno jedna s drugom.

Paskal – osnovna mjerna jedinica za pritisak.

Planparalelna pločica – ravno stakleno ili plastično tijelo s paralelnim stranama.

Plastična deformacija – deformacija nakon koje se tijelo ne vraća u prvobitni oblik po prestanku djelovanja sile.

Polihromatska svjetlost – svjetlost sastavljena od više boja.

Polusjena – djelimično osvijetljena oblast oko sjene.

Poluprovodnik – materijal čija je električna provodljivost između provodljivosti provodnika i izolatora.

Pravac – prava po kojoj djeluje sila ili se kreće tijelo.

PROSVETNO DELO

Svaki pravac ima dva smjera.

Pravolinijski provodnik – pravi provodnik kroz koji teče električna struja i oko sebe stvara magnetno polje u obliku koncentričnih kružnica.

Pravolinijsko prostiranje svjetlosti – svjetlost se prostire po pravim linijama u homogenoj sredini.

Prelomljena zraka – svjetlosna zraka koja mijenja pravac prostiranja pri prelasku iz jedne optičke sredine u drugu.

Prelamanje (refrakcija) svjetlosti – pojava pri kojoj svjetlosna zraka mijenja pravac, smjer i brzinu kada prelazi iz jedne optičke sredine u drugu.

Primarni izvor svjetlosti – tijelo koje samostalno stvara svjetlost.

Priroda – cjelokupni materijalni svijet.

Pritisak – količnik sile i površine na koju sila djeluje pod pravim uglom.

Prozirna sredina – materijal kroz koji svjetlost može proći.

Proton – naelektrisana čestica u jezgru atoma.

R

Radijus zakrivljenosti (R) – rastojanje od tjemena do centra sfere.

Radijalni pravac – pravac koji ide duž radijusa, odnosno duž prave linije koja povezuje centralnu tačku (centar) s nekom tačkom u prostoru ili na površini.

Ravno ogledalo – glatka i ravna površina koja potpuno odbija svjetlost.

Ravnotežni položaj – položaj tijela ili čestice pri kojem je zbir svih sila koje djeluju na njega/nju jednak nuli.

Rasipno (konkavno) sočivo – optičko sočivo udubljenog oblika.

Realni lik – lik koji se može projektovati na ekran.

Referentna ravan – zamišljena ravan koja se koristi kao osnova za mjerenje visine, položaja ili energije tijela.

S

SI – skraćenica za Međunarodni sistem mjernih jedinica.

Svjetlosna zraka – zamišljena linija koja predstavlja pravac prostiranja svjetlosti.

Izvor svjetlosti – tijelo ili uređaj koji emituje svjetlost.

Svjetlosni snop – skup mnogih svjetlosnih zraka koje se kreću u istom pravcu i smjeru.

Svjetlosno djelovanje – pojava pri kojoj električna struja izaziva emisiju svjetlosti.

Sekundarni izvor svjetlosti – tijelo koje ne stvara svjetlost, nego odbija svjetlost primarnog izvora.

Sjena – tamna oblast iza neprozirnog tijela.

Sila – mjera međusobnog djelovanja tijela.

Sila trenja – sila koja se pojavljuje kada su dva tijela u kontaktu, pri čemu se najmanje jedno od tijela ili kreće ili se pod djelovanjem sile počinje kretati.

Skalarne veličine – fizičke veličine koje imaju samo iznos (numeričku vrijednost).

Slobodni elektroni – elektroni u metalima koji nisu vezani za određeni atom.

Sabirno (konveksno) sočivo – optičko sočivo ispupčenog oblika.

Jedinjenje – supstanca sastavljena od atoma ili iona dvaju ili više različitih elemenata.

Solarna (Sunčeva) energija – energija dobijena iz Sunčevog zračenja.

Spektralni filter – uređaj koji propušta samo određenu boju svjetlosti, a zadržava ostale.

Spektralne boje – osnovne boje vidljivog svjetlosnog spektra: crvena, narandžasta, žuta, zelena, plava, tamnoplava i ljubičasta.

Specifični toplotni kapacitet (c) – količina toplote potrebna da se zagrije 1 kg supstance za 1 °C.

Provodljivost – sposobnost materijala da propušta električnu struju; zavisi od broja slobodnih elektrona.

Provodnik – materijal koji lako propušta električnu struju.

Srednja brzina – aritmetička sredina brzina svih čestica u supstanci.

Strujni udar – proticanje struje kroz ljudsko tijelo.

Strujanje (konvekcija) – prenošenje toplote kretanjem tečnosti ili gasova.

Strujno kolo – zatvoren krug od provodnika kroz koji teče struja.

Suptraktivno miješanje – miješanje pigmentnih boja.

Supstanca – materija od koje su izgrađena tijela.

Sferno ogledalo – ogledalo čija je ogledalna površina dio sfere. Može biti ispupčeno ili udubljeno.

T

Težina tijela – sila kojom tijelo djeluje na horizontalnu podlogu ili zateže konac na kojem je obješeno.

Tjeme – tačka na površini ogledala u kojoj glavna optička osa siječe ogledalo.

Temperatura (t) – fizička veličina koja pokazuje stepen zagrijanosti tijela, mjera srednje kinetičke energije čestica od kojih je tijelo napravljeno.

PROSVETNO DELO

Termometar – instrument za mjerenje temperature.

Tečnost – agregatno stanje supstance.

Toplota (Q) – energija koja se prenosi s jednog tijela na drugo zbog razlike u temperaturi.

Toplotna energija – dio unutrašnje energije koji se prenosi s jednog tijela na drugo zbog razlike u temperaturi (isto kao toplota).

Razmjena toplote – proces prenošenja toplote između tijela ili između sistema.

Toplotna ravnoteža – stanje kada tijela koja su u kontaktu imaju istu temperaturu i nema razmjene toplote.

Toplotni izolatori – materijali koji teško prenose toplotu.

Toplotni provodnici – materijali koji lako prenose toplotu.

Toplotno djelovanje – zagrijavanje materijala zbog proticanja električne struje kroz njih.

Toplotna provodljivost (kondukcija) – prenošenje toplote kroz tijelo bez prenošenja materije.

Totalna refleksija – pojava kada se svjetlost potpuno odbija nazad u sredinu iz koje je pala na graničnu površinu, pri prelasku iz sredine veće optičke gustine u sredinu manje optičke gustine.

Tačkasti izvor svjetlosti – izvor svjetlosti zanemarivih dimenzija ili izvor koji je veoma daleko.

U

Upadni ugao – ugao između upadne zrake i normale.

Upadna zraka – svjetlosna zraka koja pada na površinu.

F

Fatamorgana – optička pojava u atmosferi izazvana prelamanjem svjetlosti u slojevima različite temperature i optičke gustine.

Fizičko polje – oblik materije, posrednik pri međudjelovanju tijela koja nisu u kontaktu.

Fokus sočiva – tačka na optičkoj osi u kojoj se nakon prelamanja skupljaju svjetlosne zrake koje padaju paralelno s optičkom osom kod sabirnog sočiva ili se, pak, sijeku produžeci rasutih zraka nakon prelamanja kod rasipnog sočiva.

Fokus sfernog ogledala – tačka na glavnoj optičkoj osi u kojoj se skupljaju svjetlosne zrake koje padaju paralelno s glavnom optičkom osom kod udubljenog sfernog ogledala ili se, pak, sijeku produžeci rasutih zraka nakon odbijanja kod rasipnog ogledala.

Fokusno rastojanje kod sočiva (f) – rastojanje od optičkog centra do fokusa sočiva.

Fokusno rastojanje kod sfernih ogledala (f) – rastojanje od tjemena ogledala do fokusa kod sfernih ogledala.

Fotoreceptori – ćelije osjetljive na svjetlost.

H

Hemijska energija – energija uskladištena u hemijskim vezama molekula.

Hemijski element – supstanca sastavljena od identičnih atoma.

Hemijsko djelovanje – hemijske reakcije izazvane proticanjem električne struje kroz supstance.

Homogeno magnetno polje – magnetno polje s istom gustinom magnetnih linija sile.

Homogena sredina – sredina u kojoj su različita svojstva (kao što su gustina, sastav ili struktura) ista u svim dijelovima tijela.

C

Čvrsto tijelo – ima određen oblik i zapreminu.

Celzijusova temperaturna skala – skala u kojoj je za 0 °C uzeta temperatura smrzavanja vode, a za 100 °C temperatura ključanja vode.

Celzijusov stepen (°C) – jedinica za temperaturu na Celzijusovoj skali.

Centar – centar sfere čiji je dio i ogledalo.

Č

Čestični model – naučni model koji objašnjava građu supstanci postojanjem građevnih čestica koje su u stalnom kretanju i koje međusobno djeluju.

DŽ

Džul (J) – SI jedinica za energiju; 1 J je rad koji izvrši sila jačine 1 N kada pomjeri tijelo za 1 m.

PROSVETNO DELO

TEMA 1: ENERGIJA

1.4. Kinetička energija

4. Kinetička energija lopte je 0,9 J.

5. Biciklista (5 m/s): 1000 J, biciklista (10 m/s): 4000 J. Brzina je 2 puta veća, a energija 4 puta veća.

1.5. Gravitacijska potencijalna energija

4. Masa tijela je 10 kg.

5. a) Kutija je na visini od 2 m. b) Nova potencijalna energija je 39,24 J. c) Promjena energije je **39,24 J.**

1.6. Elastična potencijalna energija

3. Elastična potencijalna energija je 0,125 J.

4. Elastična potencijalna energija je 0,04 J.

5. Elastična potencijalna energija drugi put je 4 puta veća nego prvi put.

1.7. Zakon očuvanja mehaničke energije

3. Kinetička energija je 4000 J.

4. Brzina na visini od 0,2 m je približno 4,10 m/s.

5. Brzina koju ima kuglica iznosi 4,43 m/s.

1.8. Zakon očuvanja energije

3. Toplotna energija je 49,05 m J i zavisi od mase (m). Po kilogramu mase to je 49,05 J/kg.

4. Pri udaru se oko 1,18 J pretvorilo u toplotu i zvuk.

5. Brzina na kraju je približno 5,39 m/s.

1.9. Mehanički rad

4. Rad koji izvrši sila je 25 J; rad sile trenja je –2,5 J.

5. a) Rad lifta je 2943 J. b) Potrošena energija u obliku toplote je 15057 J.

1.10. Snaga i koeficijent korisnog djelovanja

4. Snaga je 24,5 W.

5. a) Korisna energija: 2000 J. b) Snaga: 200 W. c) Gubici: 3000 J.

1.11. Pitanja i zadaci za ponavljanje i utvrđivanje

9. a) 10% energije odlazi na mehanički rad srca. b) 27 kJ pretvorilo se u toplotu.

10. a) 630 J se reflektuje. b) 63% primljene energije se reflektuje.

12. Kinetička energija: pri 40 km/h je 55,6 kJ, pri 80 km/h = 222,2 kJ. b) Kinetička energija pri 80 km/h je 4 puta veća nego pri 40 km/h.

13. Kinetička energija skijaša smanjila se za 2800 J (gubitak energije).

14. Nagib prave je 10. Masa tijela je 1 kg.

16. a) 0,16 J; 0,32 J. b) 2 puta veća energija.

17. Kinetička energija u tački C je 80 J, a potencijalna energija u tački A je 60 J.

18. a) Snaga je 75 W. b) Rad je 45000 J.

19. a) Rad je 1060 J. b) Snaga je 177 W. c) Potrošena energija je 1270 J.

PROSVETNO DELO

TEMA 2: UNUTRAŠNJA ENERGIJA I TOPLOTA

2.4. Temperatura. Temperaturne skale

3. Temperatura je 268,15 K.

4. Temperatura je –23,15 °C.

5. Razlika u temperaturama je 17 °C = 17 K.

2.5. Toplotno širenje čvrstih tijela

4. Dužina nakon zagrijavanja je 1,0012 m (ili 1001,2 mm).

5. Šipka se izdužila za 0,01 m = 1 cm.

2.7. Toplotne promjene kod gasova

2. Zapremina je 4 L.

3. Temperatura je 566 K (odnosno 293 °C).

4. Pritisak je 360 kPa.

5. 1,15 puta.

2.8. Promjene kod gasova pri konstantnoj temperaturi

3. Pritisak je 200 kPa.

4. Zapremina je 33,3 cm^3.

5. Zapremina je 800 mL.

2.12. Specifični toplotni kapacitet

3. Toplota je 21 000 J.

4. Toplota je 55 200 J.

5. Promjena temperature je 20 °C.

2.13. Toplotna ravnoteža. Zakon očuvanja energije

4. Temperatura je 60 °C.

5. Specifični toplotni kapacitet je 370 J/(kg °C).

2.14. Pitanja i zadaci za ponavljanje i utvrđivanje

9. Povećanje je 10 K = 10 °C.

13. Promjena dužine je 0,06 cm = 0,6 mm.

14. a) Zapremina nakon zagrijavanja je 0,0002505 m^3. b) Gustina se smanjuje (sa 8000 na 7984 kg/m^3), jer je masa ista, a zapremina se povećava.

17. Zapremina je 1,002 L.

18. a) Zapremina je 1,8 L. b) Gustina se smanjila 1,5 puta.

19. a) Pritisak je 266 kPa. b) Vožnja je sigurna.

20. Zapremina je 2 L.

21. Pritisak je 320 kPa.

25. Smanjenje je 4520 J.

31. Masa kocke je 0,124 kg, promjena temperature je 15 °C, toplotna energija koja će se osloboditi iznosi približno 390 J.

32. a) 19 000 J toplote. b) Unutrašnja energija smanjila se za 19 000 J.

PROSVETNO DELO

35. Tečnost B ima veći specifični toplotni kapacitet. On je 2 puta veći od specifičnog toplotnog kapaciteta tečnosti A.
36. Specifični toplotni kapacitet metala je približno 865 J/(kg·°C).

TEMA 3: ELEKTRICITET I MAGNETIZAM

3.1. Građa atoma. Električni naboji

4. Naboj sadrži 2 elementarna naboja.
5. Električni naboj je $8 \bullet 10^{-7}$ C (negativan jer ima višak elektrona).

TEMA 4: SVJETLOST

4.5. Sferna ogledala

3. Fokusno rastojanje je 30 cm.
4. Radijus zakrivljenosti je 50 cm.

4.9. Optička sočiva

3. Fokusno rastojanje je –0,1 m = –10 cm. Negativni predznak znači da je riječ o rasipnom (divergentnom) sočivu.
4. Količnik optičkih jačina je 2 : 1.

4.14. Pitanja i zadaci za ponavljanje i utvrđivanje

9. Lik se udaljio od predmeta za 1 m (sa 3 m na 4 m).
10. a) 1 m od učenice. b) 4 m od učenice. c) 8 m.
21. a) 1 m, sabirno sočivo. b) 4 m, sabirno sočivo. c) –25 cm, rasipno sočivo. d) –10 cm, rasipno sočivo.

PROSVETNO DELO