

Jakov Labor
Jasmina Zelenko Paduan

Fizika⁴

Udžbenik iz fizike za četvrti razred gimnazije

2. izdanje



2022.



Nakladnik

ALFA d. d. Zagreb
Nova Ves 23a

Za nakladnika

Ivan Petric

Direktorica nakladništva

mr. sc. Daniela Novoselić

Urednik za Fiziku u srednjoj školi

Jakov Labor

Recenzija

izv. prof. dr. sc. Ivica Smolić

mr. sc. Josip Paić

Lektura

Marijana Ivić

Korektura

Kristina Ferenčina

Likovno i grafičko oblikovanje

Irena Lenard

Fotografije

Jakov Labor

shutterstock.com

Ilustracija

Jasmina Zelenko Paduan

Jakov Labor

shutterstock.com

Digitalno izdanje

Alfa d. d.

Mozaik Education Ltd.

Tehnička priprema

Slaven Tomakić

Alfa d. d.

Tisak

Denona d. o. o.

Proizvedeno u Republici Hrvatskoj, EU

Udžbenik je uvršten u Katalog odobrenih udžbenika rješenjem Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske:

KLASA: UP/I-602-09/21-03/00038, URBROJ: 533-06-21-0002, od 20. svibnja 2021.

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem **001134507**.

OPSEG PAPIRNATOG IZDANJA	MASA PAPIRNATOG IZDANJA	KNJIŽNI FORMAT	CIJENA
248 str.	513 g	265 mm (v) x 210 mm (š)	115,00 kn

Digitalno izdanje dostupno je na digitalnoj platformi *mozaLearn* na internetskoj adresi **www.mozaweb.com/hr**

pod identifikacijskim brojem **HR-ALFA-FIZ4-3465**.

© Alfa

Ova knjiga, ni bilo koji njezin dio, ne smije se umnožavati ni na bilo koji način reproducirati bez nakladnikova pismenog dopuštenja.

Mozaik Education Ltd. zadržava intelektualno vlasništvo i sva autorska prava za komercijalne nazive *mozaBook*, *mozaWeb* i *mozaLearn*, digitalne proizvode, sadržaje i usluge proizvedene neovisno o nakladniku Alfa d. d.

Sadržaj

Elektromagnetsko zračenje	Elektromagnetski val	8
	Spektar elektromagnetskog zračenja	14
Valna optika	Interferencija svjetlosti iz dvaju izvora	26
	Interferencija svjetlosti na tankim prozirnim slojevima	34
	Ogib svjetlosti	42
	Optička rešetka	50
	Polarizacija svjetlosti (I)	58
Valno-čestična svojstva elektromagnetskog zračenja i tvari	Fotoelektrični učinak	75
	Valno-čestična svojstva elektromagnetskog zračenja i tvari	83
	Heisenbergovo načelo neodređenosti (I)	91
Modeli atoma	Spektri	98
	Rani modeli atoma	102
	Bohrov model atoma	110
	Kvantnomehanički model atoma	119
	Laseri (I)	127
Atomske jezgre i nuklearne reakcije	Građa atomske jezgre	134
	Energija vezanja jezgre	140
	Nuklearne reakcije	146
	Nuklearna fisija i fuzija	149
Radioaktivnost	Radioaktivnost	162
	Zakon radioaktivnog raspada	171
	Djelovanje ionizirajućeg zračenja na čovjeka	180
	Detekcija ionizirajućeg zračenja (I)	185
Specijalna teorija relativnosti	Konstantnost brzine svjetlosti	193
	Produljenje vremenskog intervala i skraćenje duljine	197
	Masa i energija (I)	204
Nastanak i struktura svemira	Fundamentalne sile	210
	Elementarne čestice (I)	215
	Nastanak i razvoj svemira	220
	Razvoj zvijezda (I)	226
	Nastanak Sunčeva sustava	232
	Odgovori na pitanja	236

PREDGOVOR

Udžbenik je napisan prema Kurikulumu nastavnoga predmeta Fizika za osnovne škole i gimnazije (NN 10/2019), a namijenjen je učenicima gimnazija u kojima je Fizika zastupljena četiri godine s tri odnosno dva sata tjedno.

Sadržaj udžbenika razvrstan je u osam cjelina koje pokrivaju sve četiri sadržajne domene: Gibanje, Međudjelovanja, Energiju i Strukturu tvari. Na slici su zorno prikazane cjeline i njihova pripadnost međusobno preklapajućim domenama.



Energija se, osim mehaničkim valovima (sinkroniziranim titranjem čestica sredstva), može prenositi i elektromagnetskim valovima, združenim titranjem električnih i magnetskih polja (**elektromagnetsko zračenje**). I prije nego se dokazalo da je svjetlost elektromagnetski val, znalo se da je svjetlost val, o čemu su svjedočile mnoge prirodne pojave (**valna optika**). No svjetlost i drugo elektromagnetsko zračenje imaju i svoju čestičnu, točnije pseudočestičnu prirodu koja je posljednja otkrivena, paralelno s valnom prirodom mikročestica. Tako i elektromagnetsko zračenje i čestice tvari u mikrosvijetu imaju valno-čestična svojstva (**valno-čestična svojstva elektromagnetskog zračenja i tvari**). Svjetlost dolazi iz atoma, koji možemo opisati samo preko manje ili više prikladnih **modela atoma**. U središtu atoma atomska je jezgra, koja skriva ogromne količine uglavnom teško dostupne energije (**atomske jezgre i nuklearne reakcije, radioaktivnost**). Na koji se način mijenjaju zakoni mehanike kada brzina tijela postane usporediva s brzinom svjetlosti u vakuumu opisuje **specijalna teorija relativnosti**. Koje četiri osnovne sile djeluju u svemiru te kako je on nastao i kako se razvija, proučavamo u posljednjoj cjelini **nastanak i struktura svemira**.

Na početku je svake cjeline **motivirajući uvod** s najavom fizičkih koncepata koje cjelina obuhvaća te popis **nastavnih tema** i **ishoda** koje učenik može očekivati baveći se temama iz cjeline. Tu je i povezanost s međupredmetnim temama. Svaka je cjelina raščlanjena na nastavne

teme. Svaku temu otvara **problemsko pitanje**, čime se podupire problemski usmjerena nastava. Nastavna tema sažeto je obrađena na učenicima pristupačan način. Tipične neznanstvene predrasude i pogreške naglašene su u odlomcima naziva „Izbjegni pogrešku”. Tema završava **riješanim primjerima** te **pitanjima za samoprocjenu** koja obuhvaćaju sve razine znanja, a odgovori na pitanja navedeni su na kraju udžbenika. Povezanost tema sa svakodnevnim situacijama označena je plavom oznakom, povezanost s međupredmetnim temama žutom, a međupredmetna povezanost zelenom oznakom, kako se vidi pri dnu ove stranice. U oznaci za međupredmetnu povezanost naveden je i ishod. Zbog važnosti eksperimenta u nastavi Fizike vizualno su naglašeni **demonstracijski pokusi**, a na kraju teme nalaze se prijedlozi **samostalnih učeničkih pokusa** koje izvodi svaki učenik lako dostupnim priborom. Zbog prirode većeg dijela gradiva četvrte godine (moderna fizika) mnogi su pokusi **virtualni**. Osim toga mnogo je prijedloga **projekata** koji su složeniji od učeničkih pokusa i u pravilu se izvode timski. Detalje projekata učenici trebaju dogovoriti sa svojim profesorima. Učenički pokusi i projekti povezuju teme s učenikovim iskustvima, suočavaju ga s neprerađenom, neidealiziranom stvarnošću, razvijaju njegove kompetencije i prirodoslovno-znanstveni način razmišljanja. Na kraju cjeline nalazi se **Sažetak** – pregled fizičkih koncepata i zakona po temama u obliku mentalne mape. Ona pomaže učenicima u objedinjavanju i povezivanju koncepata i zakona unutar te cjeline, kao i uspoređivanju istih u međusobno srodnim cjelinama.

Izborni su sadržaji na narančastoj podlozi i uz njih stoji oznaka (1), dok su sadržaji koji se obrađuju samo u trosatnom fondu na sivoj podlozi i uz njih stoji oznaka (3).

U udžbeniku se mogu naći i kratke bilješke o znanstvenicima, a namijenjene su učenicima koji žele znati više.

Autori



U elektroničkom se udžbeniku nalaze ikone koje sadrže informacije, dodatne sadržaje, pitanja i zadatke te snimke pokusa (video) i poveznice na virtualne simulacije:



INFORMACIJE, DODATNI
SADRŽAJI, PITANJA I ZADATCI

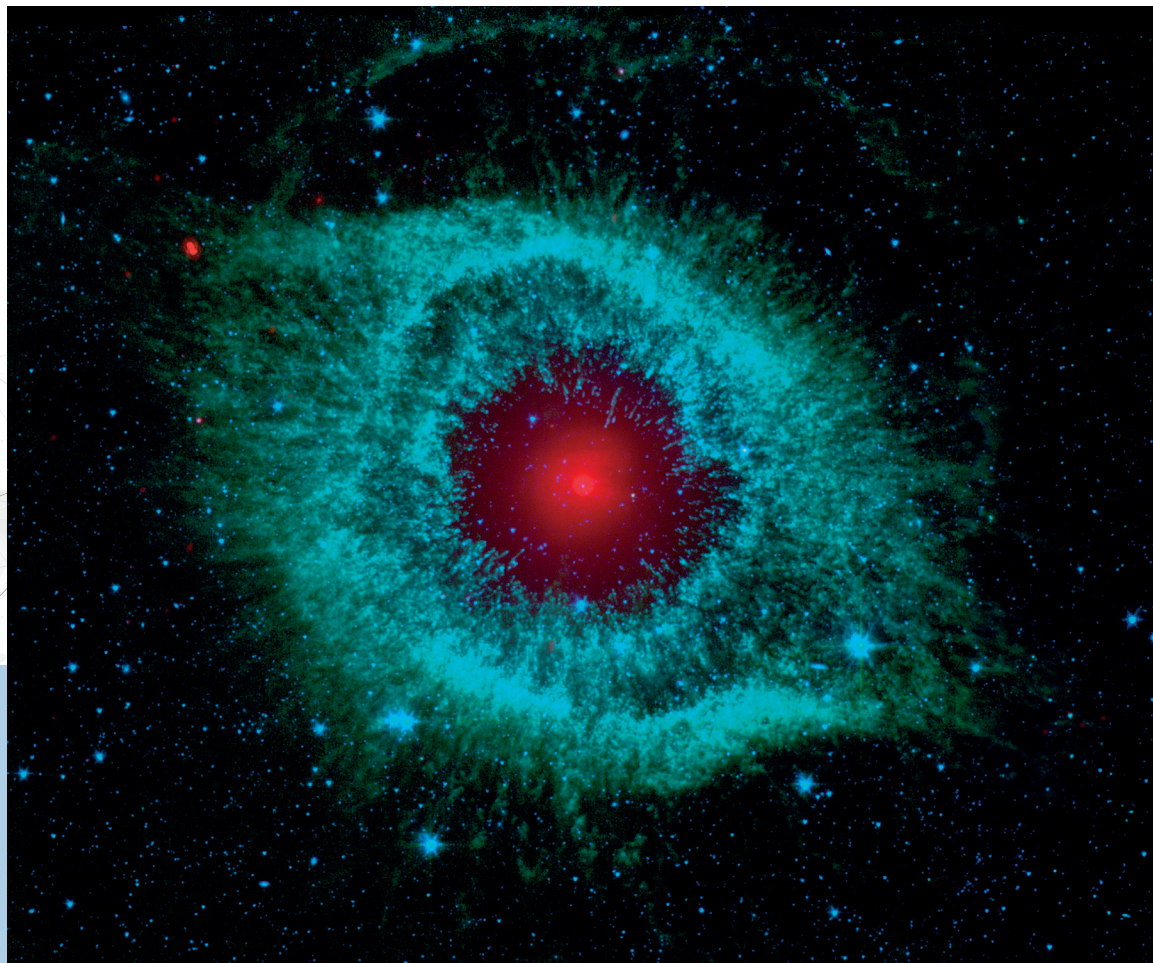


SNIMLJENI POKUSI



VIRTUALNE SIMULACIJE

1. *Elektromagnetsko zračenje*



Helix maglica snimljena NASA-inim svemirskim teleskopom u infracrvenom dijelu spektra. Crvena i zelena područja prikazuju slojeve plina koje izbacuje umiruća zvijezda (bijela točka u središtu veće crvene točke). (NASA/JPL-Caltech/University of Arizona)

- ELEKTROMAGNETSKI VAL
- SPEKTAR ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

UVOD U CJELINU

Jeste li danas komunicirali Wi-Fi-jem, zagrijali mlijeko u mikrovalnoj pećnici, daljinskim upravljačem uključili televizor, sunčali se, gledali svijet oko sebe? Onda ste imali posla s elektromagnetskim valovima. Uronjeni smo u gibajuća promjenjiva električna i magnetska polja svih vrsta, prirodna i proizvedena. Prostor je premrežen elektromagnetskim valovima, koji su nam većinom nevidljivi, ali ih registriamo na neke druge načine. Izvor je gotovo sve energije na Zemlji elektromagnetsko zračenje Sunca. Ono putuje od Sunca do Zemlje kroz vakuum. Elektromagnetski valovi neobični su valovi – za širenje im nije potrebno nikakvo sredstvo. Njihovim širenjem ne titraju čestice nego polja, ali ta polja nisu ništa manje stvarna od čestica.

Elektromagnetske valove razotkrila je slavna trojka Faraday – Maxwell – Hertz. Michael Faraday među ostalim zaslužan je za pojam polja. Magnetom je 1845. djelovao na svjetlost, što je bio prvi eksperimentalni dokaz da je svjetlost elektromagnetske prirode. Škot James Clerk Maxwell u šest je godina, počevši 1860., objedinio dotadašnje znanje iz elektromagnetizma, matematički ga oblikovao u četiri jednačbe i dodao još jedan svoj tajni sastojak. Jednačbe su matematički zahtjevne, pa ćemo ih ovdje u bitnom prepričati:

1. jednačba: silnice električnog polja počinju i završavaju u nabijenim česticama
2. jednačba: silnice magnetskog polja zatvorene su krivulje
3. jednačba: promjenjivo magnetsko polje uzrokuje električno polje (elektromagnetska indukcija)
4. jednačba: magnetsko polje uzrokuje električna struja, ali i *promjenjivo električno polje* (Riječi pisane kosim slovima tajni su Maxwellov sastojak!).

Maxwell je i riješio vlastite jednačbe. Rješenja u vakuumu bila su međusobno okomita električna i magnetska polja koja su se gibala i čije su se vrijednosti mijenjale po sinusoidi. Maxwell je na taj način predvidio postojanje elektromagnetskih valova. Čekalo ga je i lijepo iznenađenje kada je iz jednačbi izračunao brzinu valova u vakuumu. Koje iznenađenje? Slijedi u tekstu, ali omogućilo mu je da poveže optiku i elektromagnetizam! Maxwellovu teoriju sazeo je, popularizirao i eksperimentalno dokazao Heinrich Hertz, i to od 1873. do 1888. godine. Hertz je izvodeći pokuse otkrio radiovalove. Bio je nezainteresiran za praktičnu primjenu tih valova, tj. za prenošenje energije na daljinu. Tu su se iskazali Marconi i Tesla te mnogi drugi. Otvoren je novi svijet komunikacije: radio, televizija, mobiteli, daljinski upravljači, Wi-Fi, *Bluetooth*. Neobični elektromagnetski valovi i otkriveni su na neobičan način. Umjesto uobičajenog: opazi pa objasni, bilo je: predvidi pa opazi.

ODGOJNO-OBRAZOVNI ISHODI 1. POGLAVLJA

Učenica (učenik) objašnjava nastanak, svojstva i primjene elektromagnetskih valova (FIZ SŠ C.4.2. i D.4.2.), to jest:

- ▶ opisuje i skicira elektromagnetski val i objašnjava sličnosti i razlike s mehaničkim valom
- ▶ računalnom simulacijom istražuje nastanak i širenje elektromagnetskog vala
- ▶ opisuje izvore raznih vrsta elektromagnetskog zračenja u spektru
- ▶ računalnom simulacijom istražuje radiovalove
- ▶ opisuje primjenu elektromagnetskog zračenja u svakodnevnici i tehnologiji
- ▶ kritički promišlja o utjecaju našega djelovanja na Zemlju i čovječanstvo (odr. B.5.1.)
- ▶ analizira opasnosti iz okoline, prepoznaje rizične situacije i izbjegava ih (zdr. C.5.1.B).



Elektromagnetsko zračenje može biti vidljivo i nevidljivo.

Elektromagnetski val

Na koji način svjetlost nastala na Suncu dolazi do Zemlje (**slika 1.1.**)?



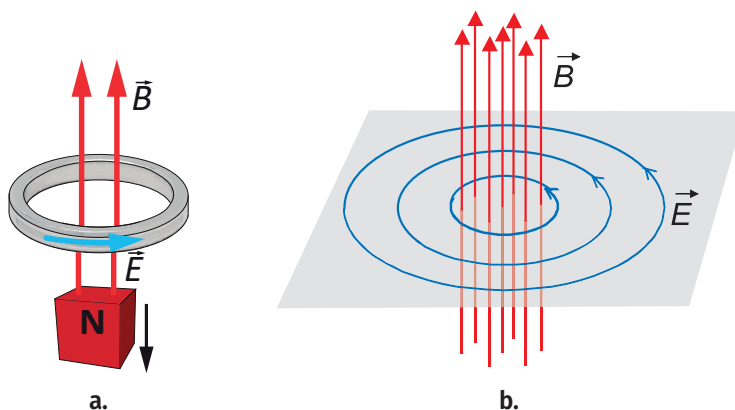
Slika 1.1.

Pri mehaničkom titranju titraju čestice sredstva. Moguće je i titranje pri kojem se električno i magnetsko polje mijenjaju poput elongacije čestica. Zovemo ga **elektromagnetsko titranje**.

Prenošenjem mehaničkoga titranja sredstvom nastaje mehanički val.

Može li se prenositi titranje električnoga i magnetskoga polja?

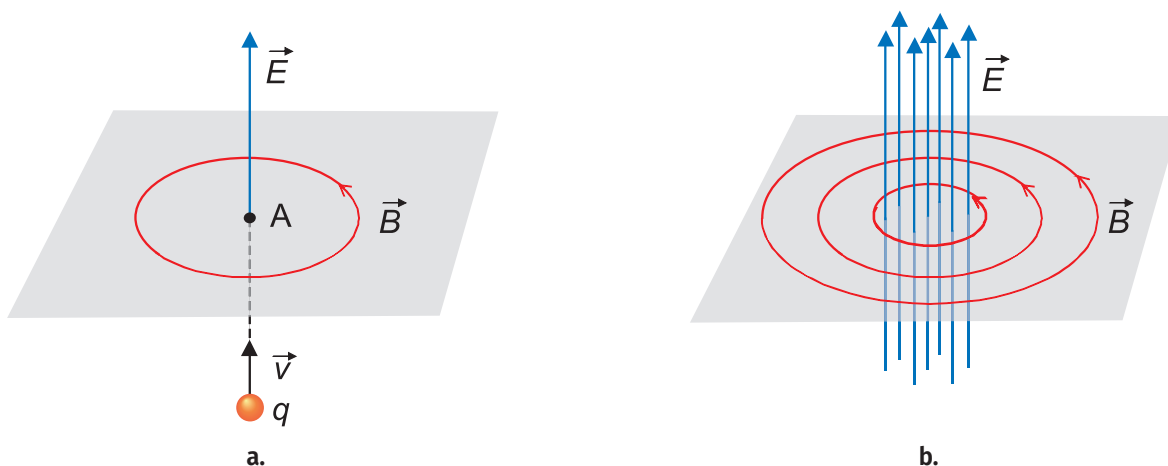
Nastanak elektromagnetskog vala. Ako kroz vodič oblika prstena prolaze silnice promjenjivoga magnetskog polja (**slika 1.2.a.**), u vodiču se stvori električno polje koje pokrene slobodne elektrone i tako inducira električnu struju. Induciranje električne struje, odnosno napona i električnog polja promjenjivim magnetskim poljem upoznali smo u 3. razredu i nazvali elektromagnetskom indukcijom. Ako u prostoru u kojem se mijenja magnetsko polje nema vodiča, odnosno slobodnih naboja, neće se inducirati struja, ali i dalje hoće električno polje. Silnice električnoga polja obavijaju silnice promjenjivoga magnetskog polja (**slika 1.2.b.**).



Slika 1.2. Silnice električnoga polja obavijaju silnice promjenjivoga magnetskog polja.

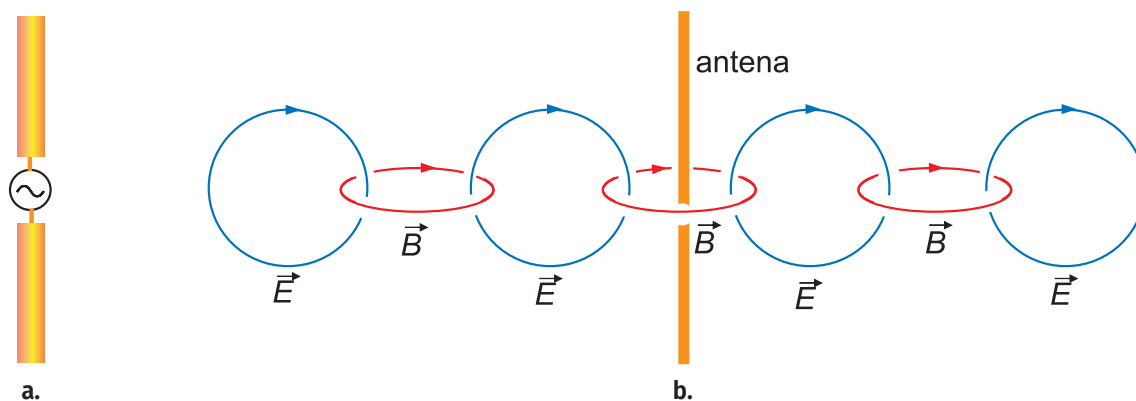
Znamo da se magnetsko polje javlja oko vodiča kojim prolazi struja. Električna je struja usmjereno gibanje nabijenih čestica, što znači da se magnetsko polje stvara i oko putanje po kojoj se giba

nabijena čestica (**slika 1.3.a.**). Pri gibanju nabijene čestice električno se polje koje ona stvara u okolnim točkama mijenja. U točki A na **slici 1.3.a.**, prema kojoj se čestica giba, polje $\vec{E}$ se povećava. Silnica magnetskoga polja obavija silnicu promjenjivoga električnog polja usmjerenu duž putanje čestice. Električno se polje može mijenjati i na neki drugi način. Tako se električno polje između ploča kondenzatora mijenja promjenom napona na pločama. U svakom se slučaju promjenjivim električnim poljem stvara magnetsko polje čije silnice obavijaju silnice električnoga polja (**slika 1.3.b.**).



Slika 1.3. Silnice magnetskoga polja obavijaju silnice promjenjivoga električnog polja.

Na **slici 1.4.a.** prikazan je dvodijelni vodič između čijih je dijelova umetnut izvor izmjeničnog napona. Takav vodič zovemo **dipolnom antenom**. Antenom prolazi izmjenična struja koja oko vodiča stvara promjenjivo magnetsko polje. Iznos i usmjerenje magnetskoga polja mijenjaju se u skladu s promjenama iznosa i usmjerenja struje. Možemo reći da magnetsko polje titra. Radi jednostavnosti, predočimo magnetsko polje jednom silnicom (**slika 1.4.b.**). Tu silnicu obavija silnica titrajućeg električnog polja, a nju opet silnica titrajućeg magnetskog polja itd. Tako se titrajuće električno polje i titrajuće magnetsko polje prenose kroz prostor. **Prenošenjem titranja električnog i magnetskog polja nastaje elektromagnetski val.**

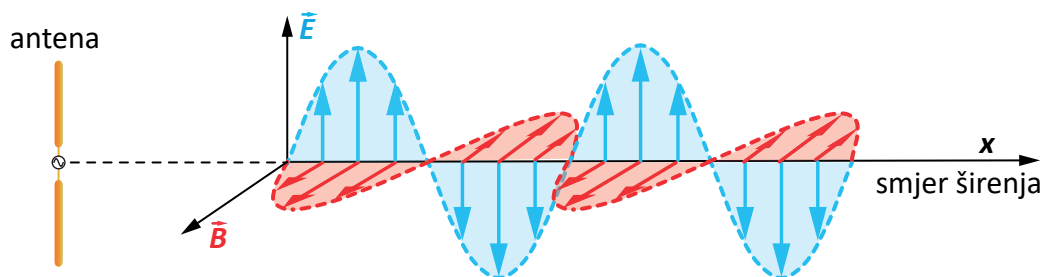


Slika 1.4. Dipolna antena (a.) i nastanak elektromagnetskog vala (b.)

Budući da električno i magnetsko polje mogu postojati u prostoru bez čestica (vakuumu), za širenje elektromagnetskog vala nije nužno sredstvo. Elektromagnetski val može se širiti i sredstvom, ali se upravo u vakuumu širi najvećom brzinom. Prenoseći energiju, **elektromagnetski val u vakuumu**

može djelovati na nabijene čestice na mnogo većim udaljenostima od isključivo električnog (ili magnetskog) polja, koje se brzo smanjuje s udaljenošću.

Trenutačni izgled elektromagnetskog vala na velikoj udaljenosti od antene prikazan je na **slici 1.5**. Električno i magnetsko polje titraju u međusobno okomitim smjerovima, a val se širi okomito na oba ta smjera. **Elektromagnetski je val transversalni val.**



Slika 1.5. Električno i magnetsko polje titraju okomito jedno na drugo i okomito na smjer širenja vala.

Izbjegni pogrešku!

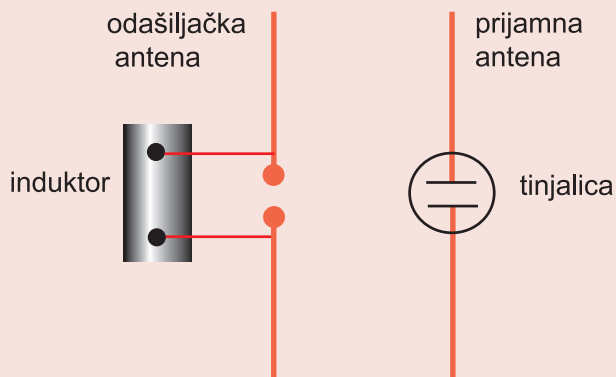
Sinusoide na **slici 1.5**. silnice su električnoga, odnosno magnetskoga polja.

Sinusoide na **slici 1.5**. nisu silnice, one su samo krivulje koje obavijaju trenutačne vektore električnoga i magnetskoga polja u točkama na x-osi. One prikazuju ovisnost električnoga i magnetskoga polja o položaju točaka.

Za mehanički transversalni val kažemo da je **polariziran** kada čestice sredstva titraju u samo jednoj ravnini. Na **slici 1.5**. vidimo da električno polje ne može titrati u ravninama koje su nagnute prema anteni, nego samo u ravnini određenoj antenom. Zato kažemo da je i **elektromagnetski val što ga emitira antena polariziran**. Ravnina je polarizacije (dogovorom) ona u kojoj titra električno polje. Da je elektromagnetski val iz antene polariziran, možemo pokazati pokusom.

POKUS

U blizini odašiljačke antene postavimo drugu, prijamnu antenu s tinjalicom na sredini. Tinjalica svijetli najvećim sjajem kada je prijamna antena paralelna odašiljačkoj (**slika 1.6.**), a ne svijetli kada su antene u međusobno okomitom položaju.



Slika 1.6. Sjaj tinjalice najveći je kada je prijamna antena paralelna odašiljačkoj.

Odašiljačku antenu čine dva bakrena (ili aluminijska) štapa (malo deblja vodiča) s kuglicama na jednom od krajeva štapova. Kada se takva antena priključi na induktor (izvor visokog napona), između kuglica preskače iskra. Dok traje iskra, elektroni se u njoj i u anteni gibaju, mijenjajući iznos i orijentaciju brzine. Takvo gibanje elektrona ima za posljedicu elektromagnetski val. Zapravo, **svako akcelerirano gibanje nabijenih čestica uzrokuje elektromagnetski val**. To može biti i kružno gibanje s centripetalnom akceleracijom.

Brzina elektromagnetskog vala. Elektromagnetske valove teorijski je 1865. godine predvidio škotski fizičar **J. C. Maxwell**. On je predvidio i njihovu brzinu izrazom:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

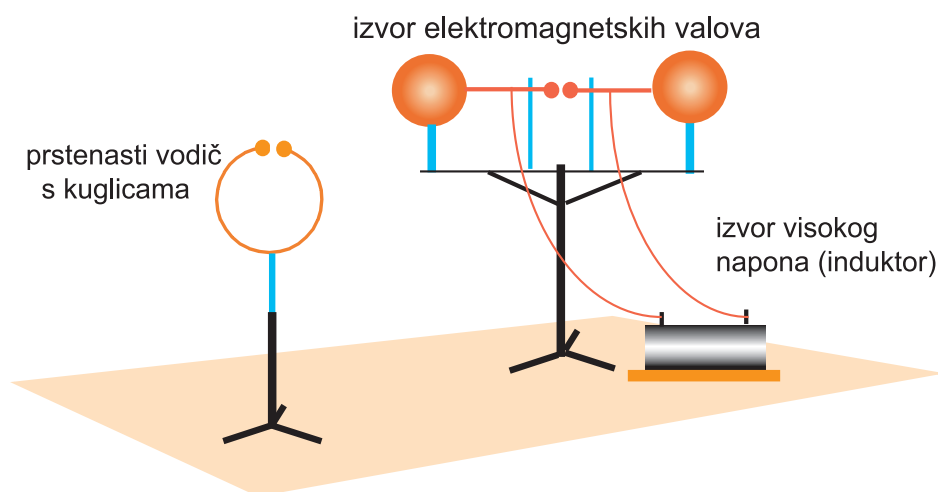


U vakuumu je $\epsilon = \epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$ i $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Ns^{-2}}{C^2}$, a brzina elektromagnetskog vala:

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Kada je Maxwell izračunao brzinu elektromagnetskih valova, znao je da toliko iznosi i brzina svjetlosti u vakuumu. Izmjerio ju je francuski fizičar **H. L. Fizeau** 1849. godine. Neočekivana jednakost tih brzina navela je Maxwella na ideju o elektromagnetskoj prirodi svjetlosti. Dvadesetak godina kasnije (1888.) njemački je fizičar **H. R. Hertz** izveo pokuse u kojima je proizveo elektromagnetske valove i našao da je njihova brzina zaista jednaka brzini svjetlosti.

Uređaj kojim je Hertz stvarao i detektirao elektromagnetske valove pojednostavljeno je prikazan na **slici 1.7**.



Slika 1.7. Hertzov uređaj

Izvor elektromagnetskih valova jest iskrište s kuglama i vodičem, a detektor prstenasti vodič s kuglicama. Nailaskom elektromagnetskog vala na prstenasti vodič pojavi se napon između kuglica. Hertz je registrirao iskrnu između kuglica koju taj napon uzrokuje. Osim toga, Hertz je utvrdio da se elektromagnetski valovi šire, odbijaju i lome kao svjetlost. To je bio eksperimentalni dokaz da je svjetlost elektromagnetski val. Maxwell to, nažalost, nije dočekao.

Kada upadne na mrežnicu oka, svjetlosni (elektromagnetski) val električnim poljem djeluje na elektrone u čunjićima i štapićima i na taj način stvara električne impulse, koji se živcima prenose do centra za vid.

Primjer: Koliko minuta još vidimo Sunce nakon njegova zalaska? Za udaljenost Zemlje od Sunca uzmite $1,5 \cdot 10^{11}$ m, a za brzinu svjetlosti $3 \cdot 10^8$ m s⁻¹.

Rješenje:

$$s = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$t = ?$$

$$t = \frac{s}{c} = \frac{1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}} = 500 \text{ s} \approx 8 \text{ min}$$



Pitanja:

1. Što titra u elektromagnetskom valu?
2. Zrači li elektron koji se giba jednoliko pravocrtno elektromagnetske valove?
3. Što elektromagnetski val čini elektronima u anteni na koju je naišao?
4. Ako električno polje elektromagnetskoga vala titra u x,y ravnini, a magnetsko u x,z ravnini, duž koje se osi val širi?
5. Navedi tri međusobno uvijek okomite veličine u elektromagnetskom valu!
6. Kada elektromagnetski val putuje kroz neko područje, što titra, a što se prenosi?

James Clerk Maxwell (1831. – 1879.) škotski je fizičar. Matematički je u obliku jednadžbi formulirao Faradayeva otkrića, dodavši još hipotezu da promjena električnoga polja uzrokuje magnetsko polje. Iz Maxwellovih jednadžbi proizlazi postojanje elektromagnetskih valova koji se u vakuumu gibaju brzinom svjetlosti.



Heinrich Rudolf Hertz (1857. – 1894.) njemački je fizičar. Prvi je eksperimentalno dokazao postojanje elektromagnetskih valova, prenosio ih s jednog titrajnoga kruga na drugi, mjerio njihovu brzinu i valnu duljinu te pokazao da se oni mogu reflektirati, lomiti i polarizirati jednako kao i svjetlosni valovi. Njegova otkrića dovela su do razvoja bežične telegrafije.



UČENIČKI VIRTUALNI POKUS:

Pogledaj simulaciju putem poveznice: <https://www.geogebra.org/m/H3UcQcdf>. Promatraj širenje elektromagnetskoga vala. Odgovori:

- Je li ravnina polarizacije horizontalna ili vertikalna?
- Koliko prostornih dimenzija prikazuje slika: jednu, dvije ili tri?
- Kada bi se na putu vala našla nabijena čestica, u kojoj bi ravnini ona zatitrala?
- Bi li ta čestica zračila elektromagnetski val?

UČENIČKI VIRTUALNI POKUS:

Putem poveznice: https://phet.colorado.edu/sims/radiating-charge/radiating-charge_en.html možeš vidjeti pozitivno nabijenu česticu oko koje su silnice radijalnog električnog polja.

- Klikni uzastopno na „Linearno“, „Sinusoidalno“, „Kružno“ i „Odskok“ te za svaki slučaj navedi kako se čestica giba i emitira li elektromagnetski val ili ne. Koji je način najsličniji gibanju elektrona u anteni?
- Napravi snimke zaslona u trenutku u kojem čestica ima:
 - konstantnu brzinu bez akceleracije
 - konstantnu brzinu uz akceleraciju
 - negativnu akceleraciju (u načinu „Linearno“ klikni na „Zaustavi naboju“).

UČENIČKI VIRTUALNI POKUS:

Pogledaj simulaciju putem poveznice: <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/radio-waves/latest/radio-waves.html?simulation=radio-waves&locale=hr> i ručno titraj elektron u anteni izvoru. Kakvu to posljedicu ima na gibanje elektrona u anteni detektoru? Zatim prebaci na automatsko titranje elektrona. Na kraju klikni na opciju „Potpuni prikaz polja“ i uvjeri se da nema nikakve sinusoide u prostoru. Vektori električnog polja mijenjaju se po sinusoidi. Mijenjaj frekvenciju i amplitudu te promatraj reakciju elektrona u detektoru. Fotodokumentiraj.

Alternativa: Na mrežnoj stranici <https://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves> možeš otvoriti Java verziju simulacije koja radi brže. Klikni na TRANSLATIONS i naći ćeš simulaciju na hrvatskom jeziku.

Spektar elektromagnetskog zračenja

Usporedi zračenje koje odašilje i prima mobilni telefon i X-zrake (**slika 1.8.**) Jesu li oba zračenja elektromagnetski valovi? Ako jesu, po čemu se ti valovi razlikuju? Ili je jedno od zračenja nešto drugo? Ako jest, što?



Slika 1.8.

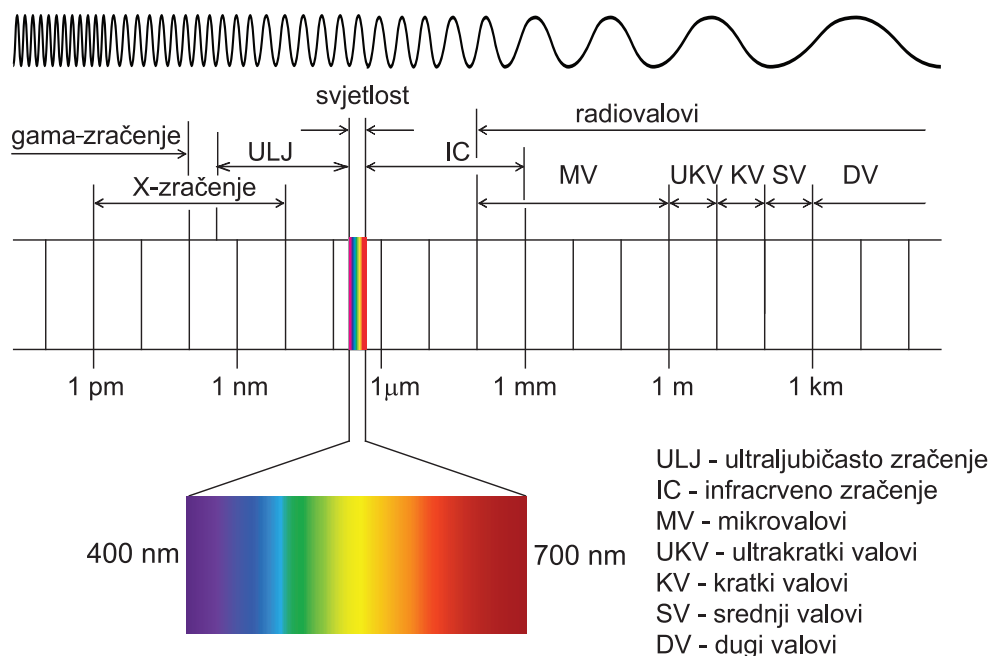
Svjetlost je elektromagnetski val koji zamjećujemo okom, a obuhvaća valne duljine od 400 nm do 700 nm. Hertzovi valovi imaju veću valnu duljinu od svjetlosnih, ali postoje i takvi čija je valna duljina manja od 400 nm. Budući da se u vakuumu svi elektromagnetski valovi šire jednakom brzinom, prema izrazu:

$$c = \lambda f$$

valovi veće valne duljine imaju manju frekvenciju i obratno.

U jednom od sljedećih poglavlja vidjet ćemo da pojava koju smo nazvali elektromagnetskim valom ima i svojstva čestica. Stoga se često upotrebljava i naziv **elektromagnetsko zračenje**, koji obuhvaća i valna i čestična svojstva.

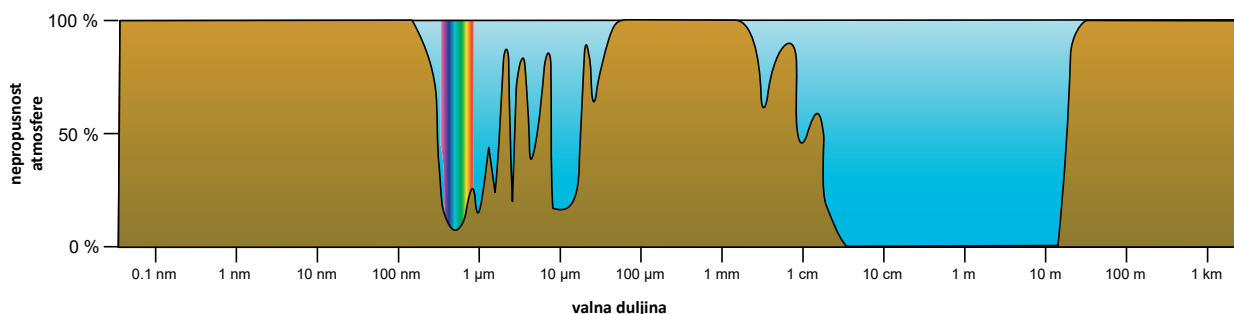
Elektromagnetsko zračenje poredano po valnim duljinama čini **elektromagnetski spektar** (**slika 1.9.**). Uz pojedine dijelove spektra na **slici 1.9.** navedeni su uobičajeni nazivi.



Slika 1.9. Elektromagnetski spektar

Izvori elektromagnetskoga zračenja tamo su gdje se mijenjaju električno i magnetsko polje. Različitih su oblika i veličina: od atomskih jezgri do vodiča kojim prolazi izmjenična struja.

Osim na Zemlji, izvora ima i u svemiru, otkuda šalju elektromagnetsko zračenje prema Zemlji. Zemljina atmosfera u velikoj mjeri ili u potpunosti ne propušta elektromagnetsko zračenje valnih duljina manjih od 300 nm i većih od 30 m. Zračenje valnih duljina većih od 30 m ne propušta ionosfera. Ovisnost atmosferske nepropusnosti o valnoj duljini zračenja prikazuje **slika 1.10**.



Slika 1.10. Atmosferska nepropusnost raznih dijelova elektromagnetskog spektra

Utjecaj elektromagnetskoga zračenja na Zemlju i živi svijet. Sunčevo elektromagnetsko zračenje koje atmosfera propušta zagrijava Zemlju, a tako zagrijana Zemlja emitira u atmosferu infracrveno (toplinsko) zračenje. To zračenje apsorbiraju tzv. staklenički plinovi i ponovno emitiraju prema Zemljinoj površini. Zbog toga se površina Zemlje i donji slojevi atmosfere dodatno zagrijavaju. Pri određenoj je temperaturi energija koju Zemlja prima od Sunca uravnotežena s energijom koju emitira u svemir. Opisanim procesom zagrijava se i unutrašnjost staklenika, zbog čega je nazvan **stakleničkim učinkom**. Bez toga bi učinka temperatura na Zemlji iznosila -73°C .

Staklenički je učinak u najvećoj mjeri uzrokovan vodenom parom i ugljikovim dioksidom, a u manjoj mjeri klorofluorouglicima, metanom i nekim drugim plinovima. I oblaci djeluju učinkom staklenika, tako da su noći s oblacima toplije od vedrih.

Povećano stvaranje ugljikova dioksida industrijskim procesima dovodi do općeg zagrijavanja atmosfere, a samim time i do klimatskih promjena.

Elektromagnetsko zračenje nosi energiju koju može predati tvari na koju upada. Tako se u procesu fotosinteze Sunčeva svjetlosna energija pretvara u kemijsku uz oslobađanje kisika, nužnog za život kakav poznajemo.

Energija elektromagnetskoga zračenja ovisi o vrsti zračenja i veća je što je valna duljina zračenja manja. Zračenje koje, predajući energiju, može izazvati ionizaciju atoma i molekula tvari zovemo **ionizirajućim zračenjem**. To su gama-zračenje, rendgensko i dio ultraljubičastog zračenja valnih duljina manjih od 100 nm. Zbog ionizacije atoma i molekula u tkivu organizma, ionizirajuće zračenje može izazvati poremećaje bioloških procesa koji su štetni za organizam.

Neionizirajuće zračenje ne može ionizirati, ali u tkivima organizma može izazvati biološke učinke koji ponekad negativno utječu na zdravlje. To se događa kada je biološki učinak izvan normalnog raspona koje organizam može kompenzirati. Tako, primjerice, pretjerano izlaganje Sunčevu zračenju može izazvati opekline i rak kože.

Neki su biološki učinci neionizirajućega zračenja neštetni, a neki i povoljni. Primjerice, povećanje protoka krvi u koži zbog Sunčeva zagrijavanja, osjećaj topline od izravne Sunčeve svjetlosti u hladnom danu, proizvodnja vitamina D djelovanjem Sunčeve svjetlosti i sl. Elektromagnetska polja mobilnih



telefona prodiru u izložena tkiva na dubinu od oko 1 cm. Energija se tih polja apsorbira u tijelu, pri čemu se oslobađa toplina koja se odvodi normalnim tjelesnim termoregulacijskim procesima.

Radiovalovi. Elektromagnetske valove valne duljine veće od 0,1 mm nazivamo radiovalovima. Prema valnoj duljini, odnosno frekvenciji, radiovalove dijelimo:

- na duge valove, valne duljine od 1 km do više tisuća km
- na srednje valove, valne duljine od 100 m do 1 km
- na kratke valove, valne duljine od 10 m do 100 m
- na ultrakratke valove, valne duljine od 1 m do 10 m
- na mikrovalove, valne duljine od 0,1 mm do 1 m.

Radiovalovi se upotrebljavaju u radijskim i televizijskim komunikacijama. Za to su potrebni predajnik i prijamnik elektromagnetskih valova koji su opremljeni antenama različitih izvedbi (**slika 1.11.**).

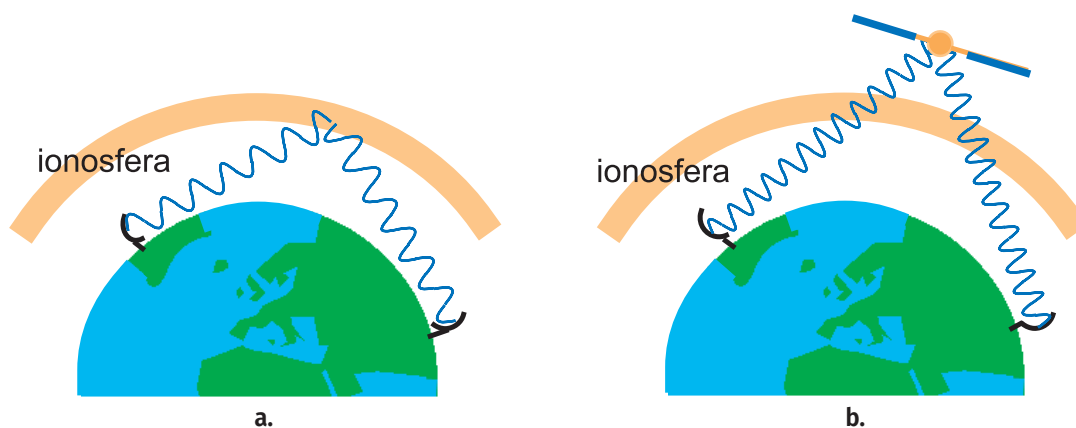
Pri širenju radiovalovi nailaze na prepreke, primjerice, brda. Kada su dimenzije tih prepreka usporedive s valnom duljinom, valovi zalaze iza prepreke, ogibaju se. Takvi su dugi radiovalovi, koji se zahvaljujući ogibu šire uz Zemljinu površinu, a prijamnik ih registrira i kada je tisuće kilometara daleko od predajnika.



Slika 1.11. Antene

Za prenošenje signala srednjim i kratkim valovima do udaljenog prijamnika koristi se svojstvo tih valova da se odbijaju od ionosfere (**slika 1.12.a.**).

Ultrakratki valovi ne skreću iza prepreke i ne odbijaju se od ionosfere. Do udaljenog prijamnika dolaze posredstvom komunikacijskog satelita (**slika 1.12.b.**).



Slika 1.12. Komunikacija kratkim (a.) i ultrakratkim (b.) valovima

Za komunikaciju mobitelom koriste se mikrovalovi, pri čemu mobitel djeluje kao odašiljač i kao prijamnik.

Izbjegni pogrešku!

Zvuk obuhvaća frekvencije od 20 Hz do 20 kHz. To su i frekvencije radiovalova. Zato radiovalove možemo čuti.

Zvuk čujemo jer je uho osjetljivo na mehaničke promjene (tlaka zraka) uzrokovane širenjem zvuka. Pri širenju radiovalova ne događaju se mehaničke promjene, nego promjene električnoga i magnetskoga polja, a njih uho ne može registrirati.

U mikrovalnoj pećnici (**slika 1.13.**) električno polje mikrovalova djeluje na polarne molekule (uglavnom vode) u hrani, zbog čega se molekule zakreću naprijed-natrag frekvencijom vala. Pritom se između tih i drugih molekula javlja trenje koje uzrokuje povećanje temperature hrane.



Slika 1.13. Mikrovalna pećnica

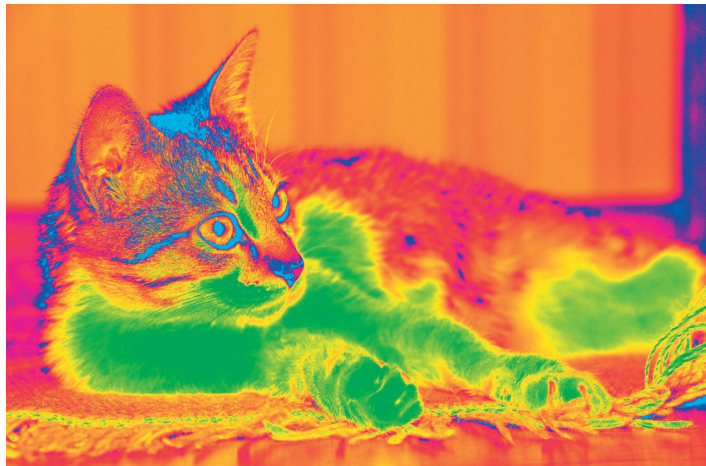
U astronomiji se za istraživanje svemirskih tijela upotrebljavaju radiovalovi valnih duljina od 1 mm do 30 m. Valove tih valnih duljina ionosfera propušta, a registriraju ih radioteleskopi s antenom paraboličnog oblika (**slika 1.14.**). Istraživanjem svemirskih objekata putem radiovalova bavi se grana astronomije nazvana **radioastronomija**.



Slika 1.14. Radioteleskop

Infracrveno zračenje. Infracrveno zračenje emitiraju zagrijana tijela i neke molekule, a obuhvaća valne duljine od oko 700 nm do 1 mm. Djelomično se preklapa s mikrovalnim područjem elektromagnetskog spektra. To zapravo znači da valne duljine iz preklapajućeg područja mogu dolaziti i od antene (mikrovalovi) i od zagrijanih tijela, odnosno molekula (infracrveno zračenje). Dio spektra infracrvenoga zračenja osjećamo na koži kao toplinu, zato ga zovemo i **toplinskim zračenjem**. Infracrveno zračenje možemo detektirati i u mraku te na taj način u mraku promatrati i fotografirati objekte s kojih ono dolazi. Uređaji za promatranje i snimanje u mraku (termovizijski uređaji) daju sliku na kojoj su područja različitih temperatura različito obojena (**slika 1.15.**).

Infracrveno se zračenje primjenjuje u industriji, medicini u terapijske svrhe, u znanosti za istraživanje molekulske strukture tvari i opažanje svemirskih tijela.



Slika 1.15. Fotografija snimljena termovizijskom kamerom

Svjetlost. Svjetlošću zovemo elektromagnetsko zračenje koje zamjećujemo okom. Vrijednosti su valnih duljina koje pripadaju svjetlosti između 400 nm i 700 nm. Različita područja valnih duljina iz tog intervala oko razlikuje kao boje. Svjetlost jedne valne duljine nazivamo **monokromatskom**, a onu koja sadrži više valnih duljina **polikromatskom**. Polikromatsku svjetlost koja sadrži sve valne duljine između 400 nm i 700 nm nazivamo **bijelom**. Boje su koje nalazimo u spektru bijele svjetlosti redom: crvena, narančasta, žuta, zelena, plava i ljubičasta. Svaka od tih boja sastoji se od nijansi različitih valnih duljina. Tako zelena svjetlost sa svim nijansama obuhvaća valne duljine od 500 nm do 560 nm.

Ultraljubičasto zračenje. Elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama od oko 400 nm do 600 pm nazivamo **ultraljubičastim (ultravioletnim)** zračenjem. Dobiva se uglavnom prolazom električne struje kroz plin. U umjetnim izvorima ultraljubičastog zračenja najčešće se upotrebljavaju živine pare. Na **slici 1.16.** prikazana je tzv. kvarcna svjetiljka sa živinim parama smještenima u cijevima od kvarcnog stakla.



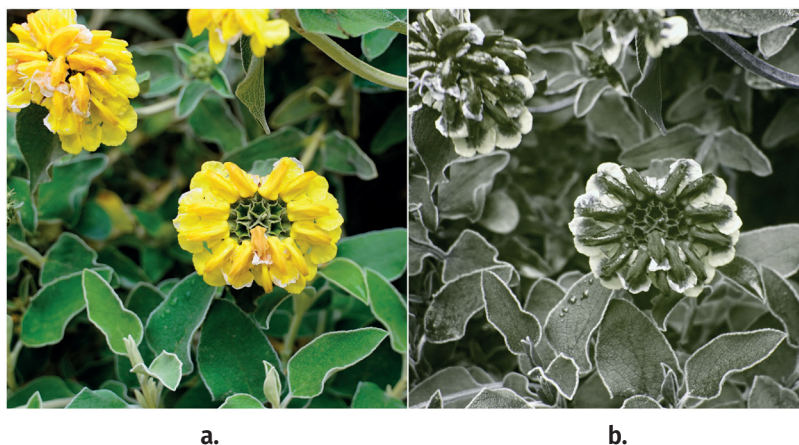
Slika 1.16. Kvarcna svjetiljka

Prirodni vrlo snažan izvor ultraljubičastog zračenja jest Sunce. Atmosfera (ozonski sloj) apsorbira Sunčevo ultraljubičasto zračenje valnih duljina manjih od 300 nm, čije bi djelovanje na živo tkivo bilo vrlo štetno. Ultraljubičasto zračenje izaziva crvenilo i pigmentaciju kože, zbog čega potamnimo sunčajući se. Pretjerano izlaganje ultraljubičastom zračenju može izazvati opekline, pa čak i rak kože.

Obično staklo ne propušta ultraljubičasto zračenje valnih duljina manjih od 340 nm. Zato ne možemo lako potamniti sunčajući se iza prozorskog stakla. Iz istoga razloga i svjetiljke za dobivanje ultraljubičastoga zračenja imaju kvarcno staklo, a ne obično.

Ultraljubičasto zračenje uništava bakterije, zbog čega se upotrebljava za dezinfekciju. Budući da u organizmu omogućuje stvaranje D vitamina, ultraljubičasto se zračenje upotrebljava za liječenje rahitisa.

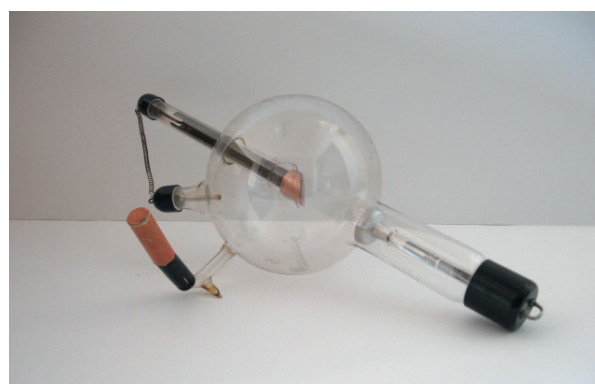
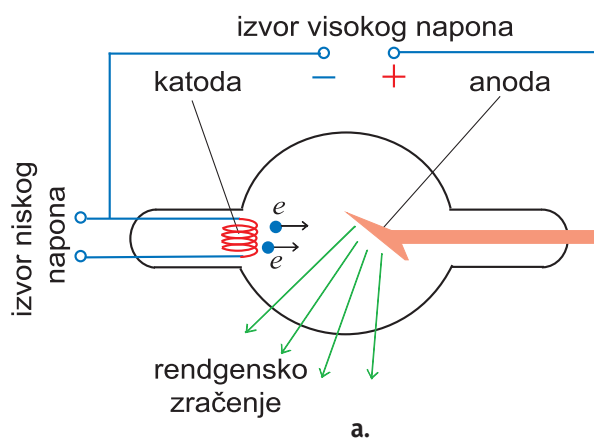
Ustanovljeno je da pčele vide ultraljubičasto zračenje i time uzorke na laticama cvijeća koje ih navode na nektar (**slika 1.17.**).



Slika 1.17. Cvijet fotografiran pomoću svjetlosti (a.) i pomoću ultraljubičastoga zračenja (b.)

Rendgensko zračenje. Rendgensko je zračenje elektromagnetsko zračenje koje obuhvaća valne duljine od 10^{-13} m do 10^{-8} m. Otkrio ga je **Wilhelm Röntgen** 1895. godine i tada nazvao X-zračenjem. Rendgensko se zračenje može dobiti pomoću visokovakuumirane cijevi u kojoj su dvije elektrode: katoda i anoda. Na **slici 1.18.** prikazane su starije izvedbe rendgenske cijevi.

Elektrode su priključene na visoki napon. Katoda je nit kroz koju prolazi struja, zbog čega se ona žari i otpušta elektrone. Visoki napon između elektroda ubrzava elektrone od katode prema anodi. Elektroni se u anodi naglo usporavaju pri čemu nastaje rendgensko zračenje.



Slika 1.18. Rendgenska cijev

Rendgensko zračenje prodire u tvar, ali se u njoj i apsorbira. U kojoj će se mjeri apsorbirati ovisi o vrsti tvari. Na toj se činjenici temelji primjena rendgenskog zračenja u medicini i drugdje. Kost, primjerice, zbog veće gustoće u većoj mjeri apsorbira rendgensko zračenje nego okolno tkivo, stoga pomoću rendgenskog zračenja možemo dobiti sliku kostiju (**slika 1.19.**).



Slika 1.19. Rendgenska slika kostiju

Rendgensko se zračenje upotrebljava i pri istraživanju strukture kristala te velikih bioloških molekula, kao što su proteini i molekule DNK.

Elektromagnetsko zračenje još manjih valnih duljina od rendgenskog jest **gama-zračenje**. Dolazi iz atomskih jezgri, a o njemu će kasnije biti više govora.

Neka su svemirska tijela izvori jakog rendgenskog i gama-zračenja. Istraživanjem takvih tijela bave se **rendgenska astronomija i gama-astronomija**, a njihovi uređaji nalaze se na satelitima, jer Zemljina atmosfera znatno apsorbira rendgensko i gama-zračenje.

Sateliti nose i optičke uređaje (teleskope, kamere). Zbog toga što nema utjecaja atmosfere na svjetlost, slike koje daju optički uređaji na satelitu kvalitetnije su od onih koje se istim uređajima mogu dobiti na Zemlji. Na **slici 1.20.** prikazan je svemirski teleskop Hubble, nazvan tako po poznatom američkom astronomu Edwinu Hubbleu.



Slika 1.20. Svemirski teleskop Hubble