

Elektromagnetski valovi

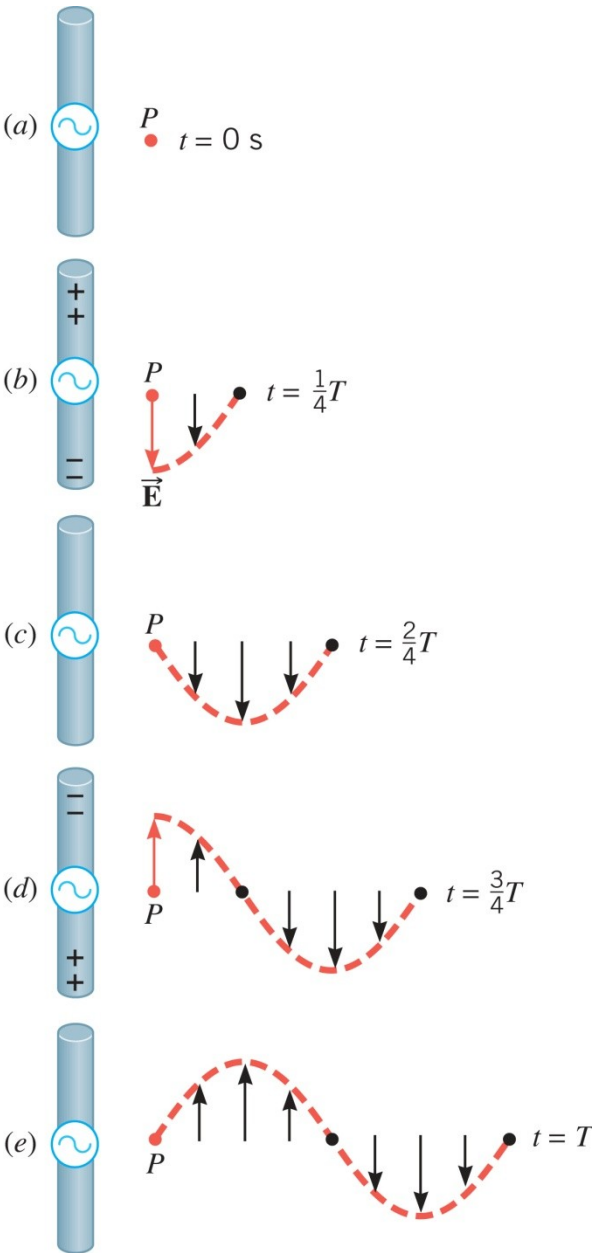
**FIZIKA
PSS-GRAD
13. siječnja 2026.**



WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

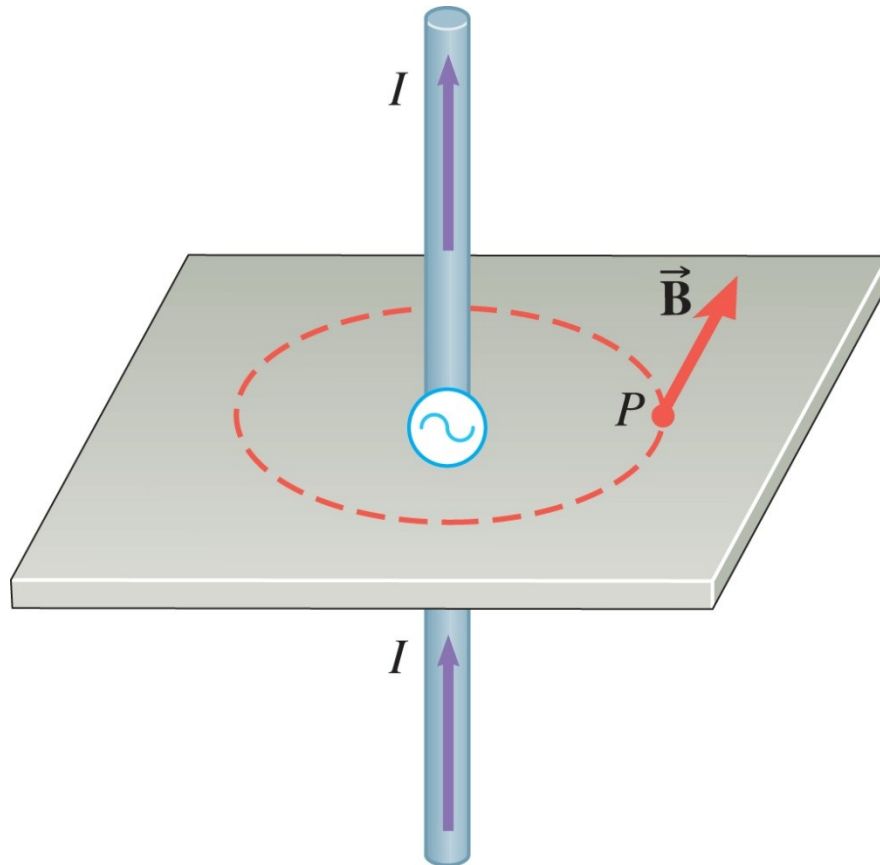
24.1 Priroda elektromagnetskih valova



Dvije ravne žice spojene na polove generatora izmjeničnog napona mogu proizvesti **elektromagnetski val**.

Slika prikazuje samo električno polje koje putuje nadesno.

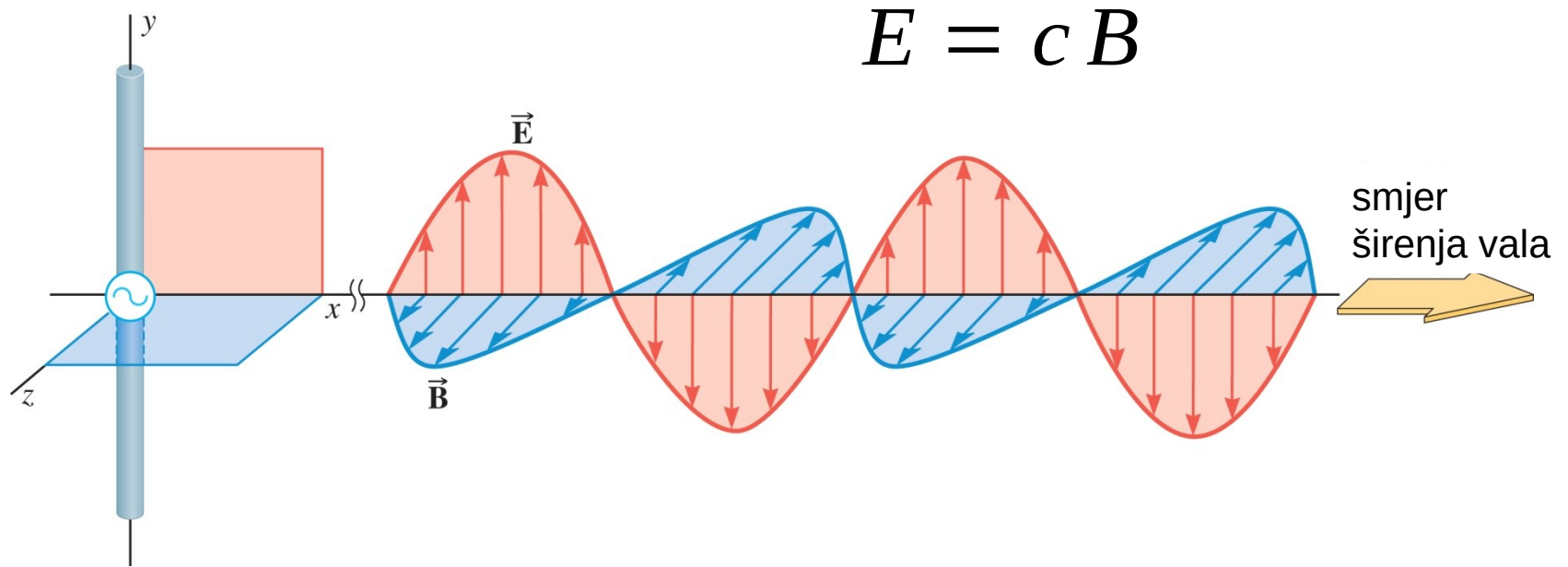
24.1 Priroda elektromagnetskih valova



Ista struja koja stvara električno polje stvara i magnetsko polje.

24.1 Priroda elektromagnetskih valova

Oblik elektromagnetskog vala daleko od antene:



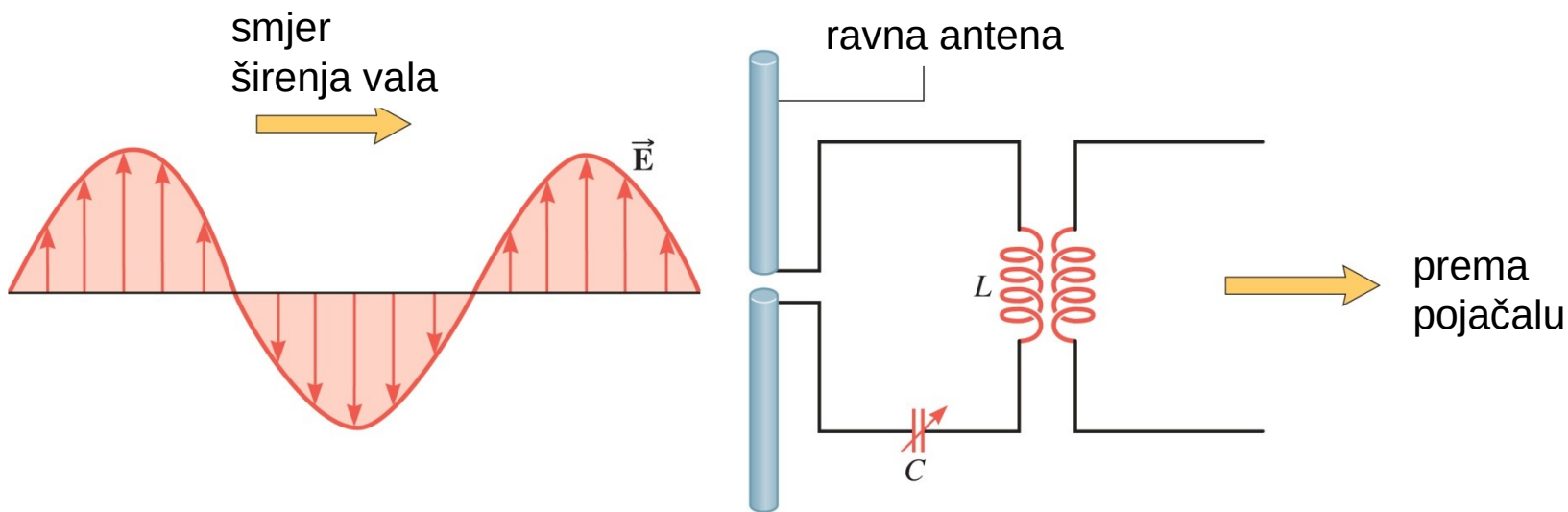
Brzina elektromagnetskog vala u vakuumu:

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

24.1 Priroda elektromagnetskih valova



radioval

radiofrekvencija

radiostanica

radioteleskop

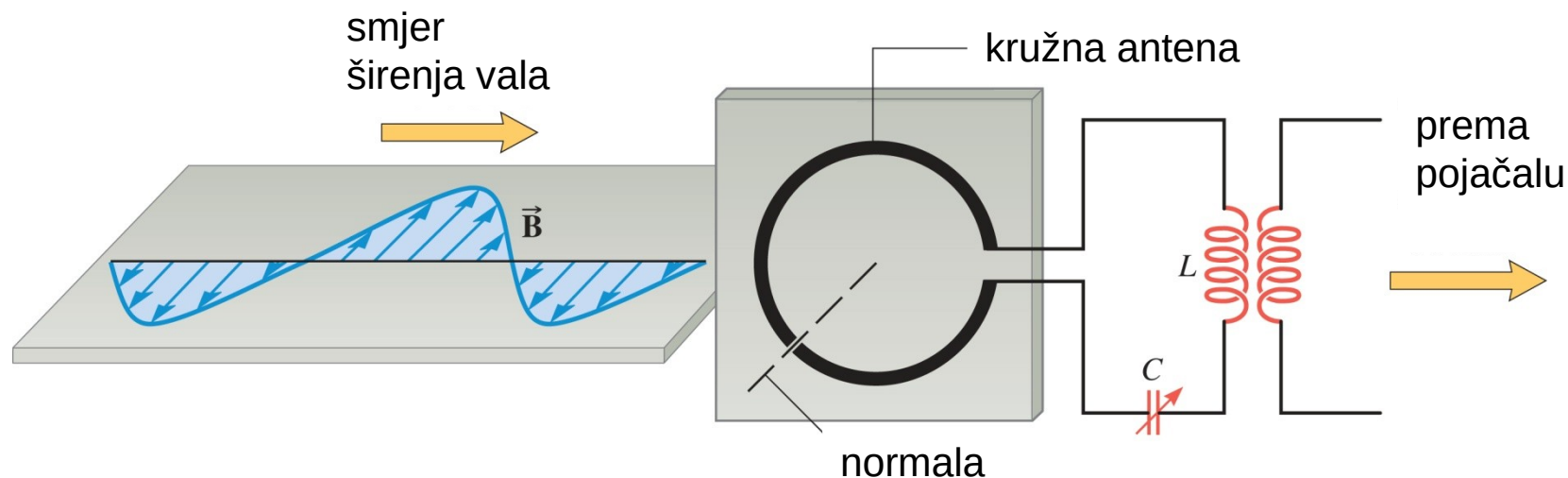
radioastronomija



Radioval se može detektirati s ravnom prijemnom antenom koja je usporedna s električnim poljem.

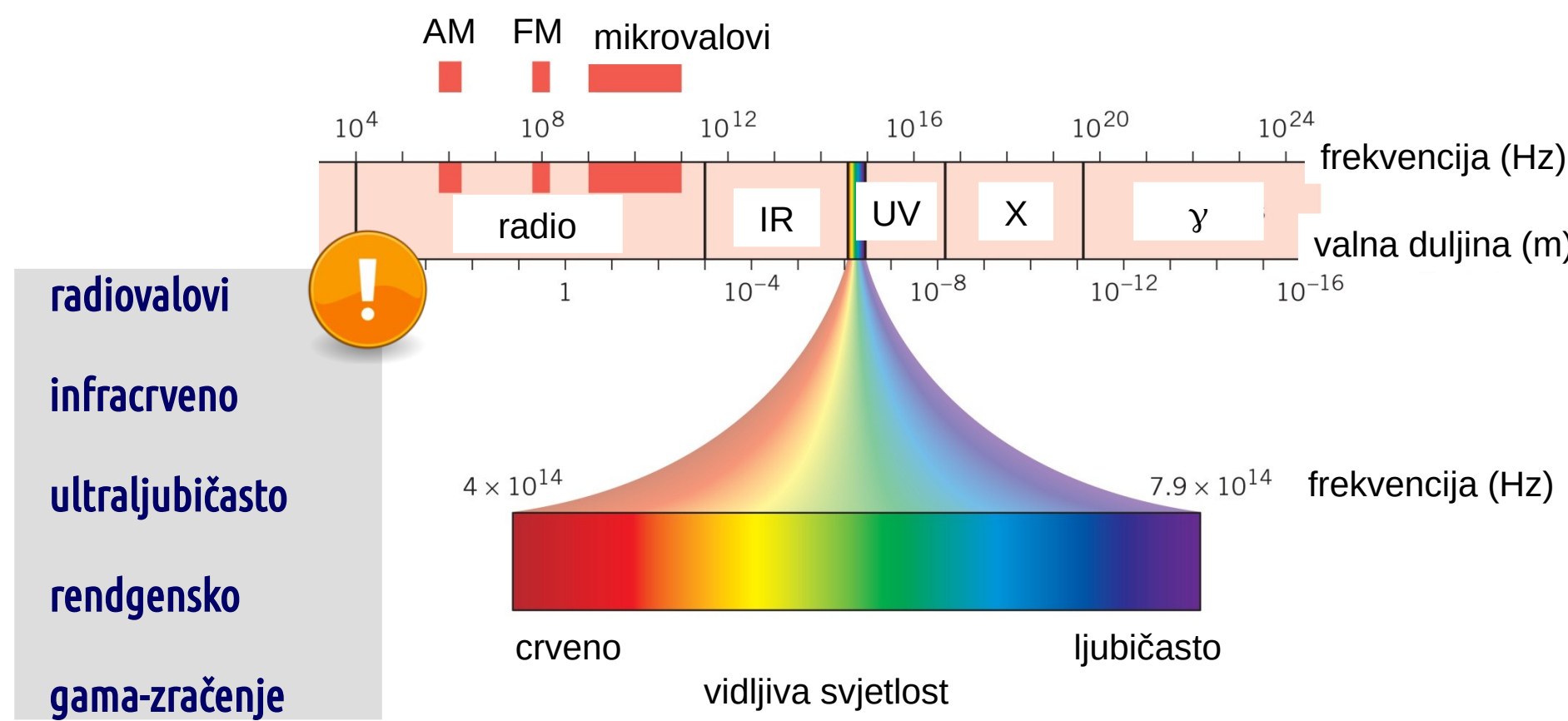
WILEY

24.1 Priroda elektromagnetskih valova



Radioval se može detektirati i s kružnom prijemnom antenom čija je normala usporedna s magnetskim poljem.

24.2 Elektromagnetski spektar



- radiovalovi
- infracrveno
- ultraljubičasto
- rendgensko
- gama-zračenje

Kao i kod svih drugih valova, brzina je jednaka umnošku valne duljine i frekvencije:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad \longrightarrow \quad c = \lambda f$$

Primjer 1 Valna duljina vidljive svjetlosti

Odredite područje valnih duljina vidljive svjetlosti ako je frekvencijsko područje od $4,0 \cdot 10^{14}$ Hz do $7,9 \cdot 10^{14}$ Hz.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4,0 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 750 \text{ nm} \quad \approx 800 \text{ nm}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{7,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 380 \text{ nm} \quad \approx 400 \text{ nm}$$

Konceptualni primjer 3 Gledanje u prošlost

Eksplוזija supernove je "smrt" vrlo masivne zvijezde. Zašto astronomi kažu da je opažanje takvih događaja poput gledanja u prošlost?



Celestial Image Co./Science Source

Maxwellovo predviđanje brzine svjetlosti

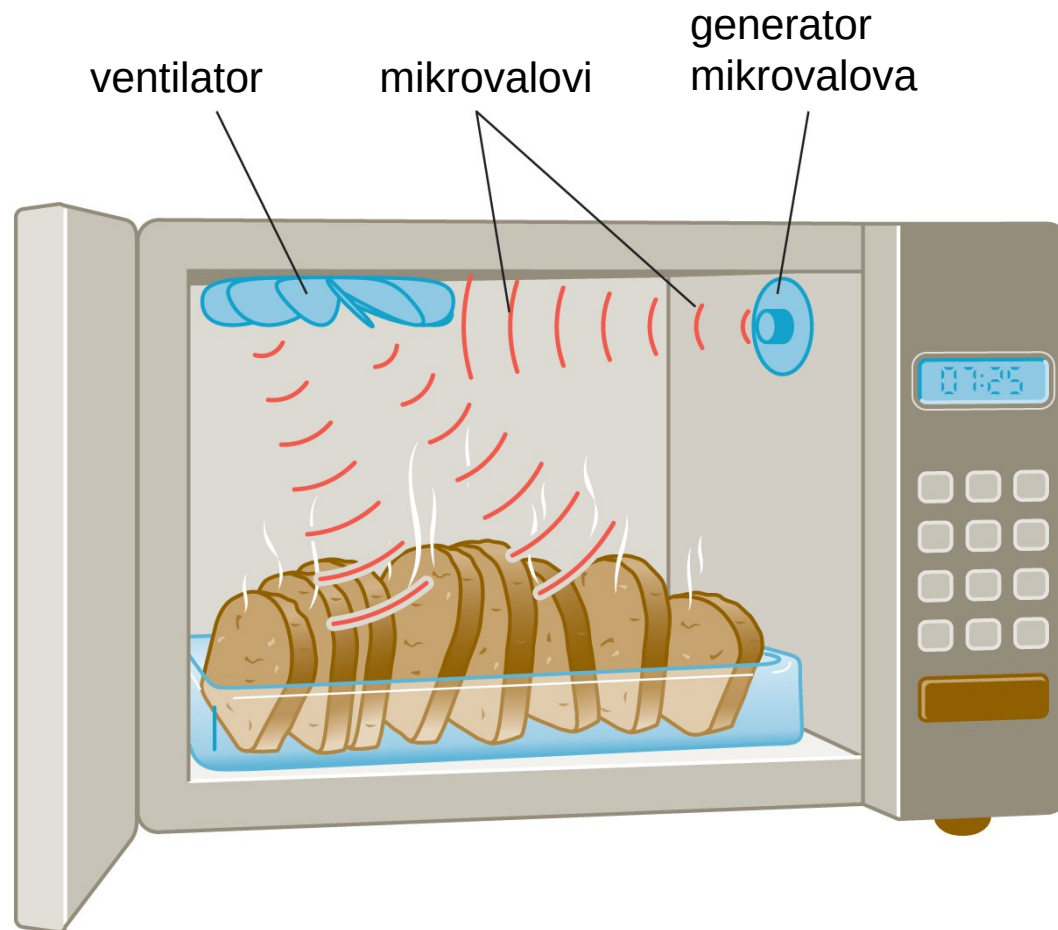
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \cdot 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}}}$$

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

24.4 Energija koju nose elektromagnetski valovi

Elektromagnetski valovi, poput valova na vodi, prenose energiju.



WILEY

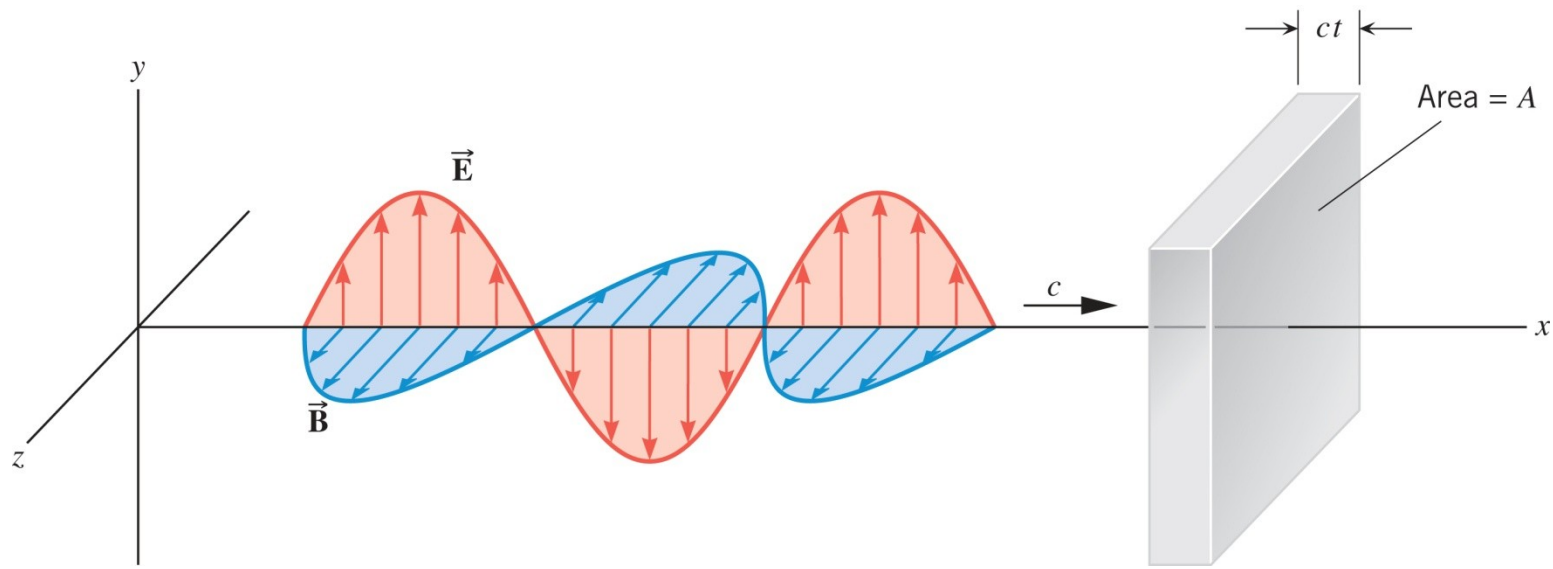
Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

ukupna GUSTOĆA ENERGIJE koju nosi elektromagnetski val

$$u = \frac{\text{ukupna energija}}{\text{volumen}} = \frac{\epsilon_0}{2} E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

$$\bar{u} = \frac{\epsilon_0}{2} E_{\text{ef}}^2 + \frac{1}{2\mu_0} B_{\text{ef}}^2 \quad E_{\text{ef}} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \equiv E_{\text{rms}} \quad B_{\text{ef}} = \frac{B_0}{\sqrt{2}} \equiv B_{\text{rms}}$$

INTENZITET elektromagnetskog vala



ENERGIJA

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P \cdot t}{A \cdot t} = \frac{u \cdot V}{A \cdot t} = \frac{u \cdot \cancel{ctA}}{\cancel{A \cdot t}} = cu$$

24.5 Dopplerov učinak i elektromagnetski valovi

Dopplerov učinak događa se i kod elektromagnetskih valova (kao i kod zvučnih valova), ali postoje dvije razlike:

- a) za zvučne valove potreban je medij,
a za elektromagnetske valove **nije** potreban medij
- b) za zvučne valove važno je gibanje s obzirom na medij,
a za elektromagnetske je važno samo
relativno gibanje izvora i opažača

$$f_o = f_i \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$$

opažrač izvor

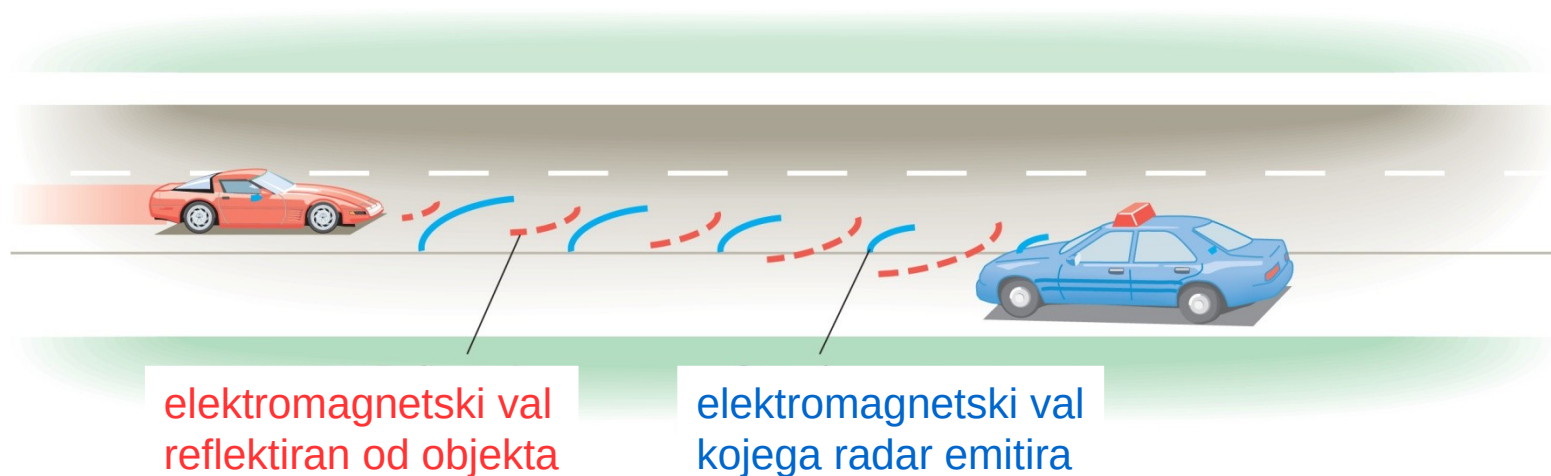
gibaju se jedan **prema** drugome

gibaju se jedan **od** drugoga

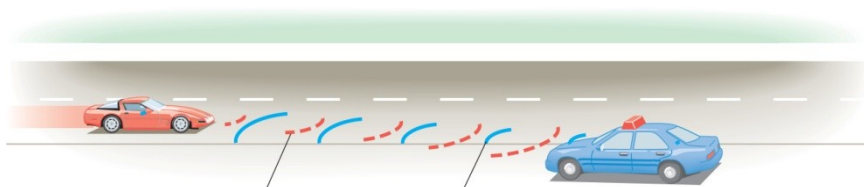
za $v \ll c$
aproksimacija za
nerelativističke brzine

Primjer 6 Radar i kontrola brzine

Radar u policijskom automobilu emitira elektromagnetski val frekvencije $8,0 \cdot 10^9$ Hz. Reflektirani val s dolazećeg automobila ima frekvenciju koja je veća za 2100 Hz. Odredite brzinu tog automobila s obzirom na cestu. Policijski automobil se ne giba.



24.5 Dopplerov učinak i elektromagnetski valovi



frekvencija koju "opaža"
dolazeći automobil

frekvencija koju emitira
policijski automobil

frekvencija koju opaža
policijski automobil

$$f_o = f_i \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

$$f'_o = f_o \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

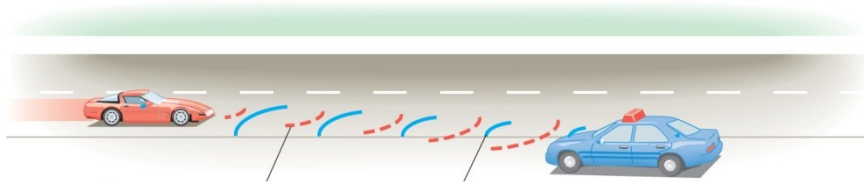
$$f'_o = f_i \left(1 + \frac{v}{c} \right) \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

$$f'_o = f_i \left(1 + 2\frac{v}{c} + \cancel{\frac{v^2}{c^2}} \right)$$

$$f'_o \approx f_i \left(1 + 2\frac{v}{c} \right)$$

WILEY

24.5 Dopplerov učinak i elektromagnetski valovi



frekvencija koju "opaža"
dolazeći automobil

frekvencija koju emitira
policijski automobil

frekvencija koju opaža
policijski automobil

$$f_o = f_i \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

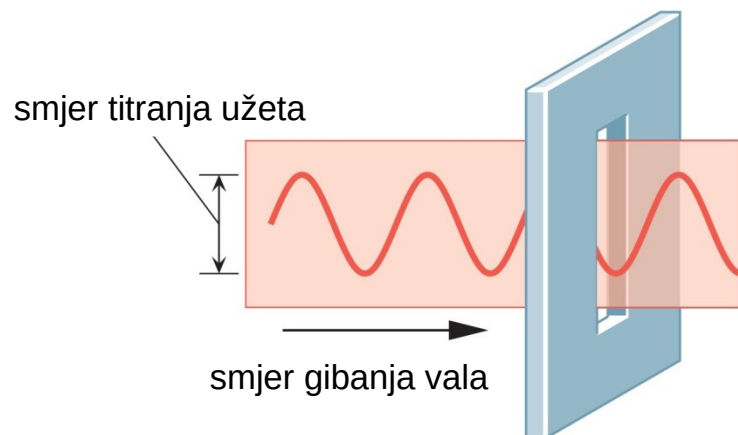
$$f'_o = f_o \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

$$\Delta f = f'_o - f_i = f_i \left(1 + 2 \frac{v}{c} \right) - f_i = 2 f_i \frac{v}{c}$$

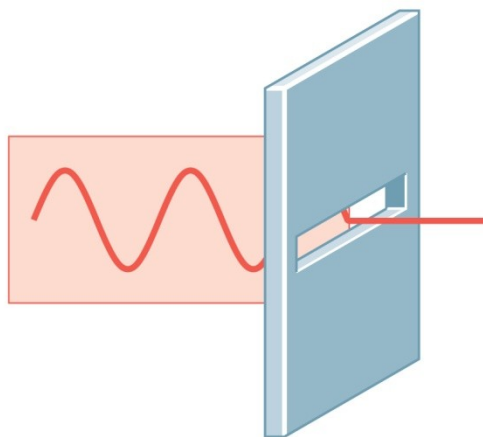
$$v = \frac{c \Delta f}{2 f_i} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 2100 \text{ Hz}}{2 \cdot 8,0 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 39 \text{ m/s} = 140 \text{ km/h}$$

WILEY

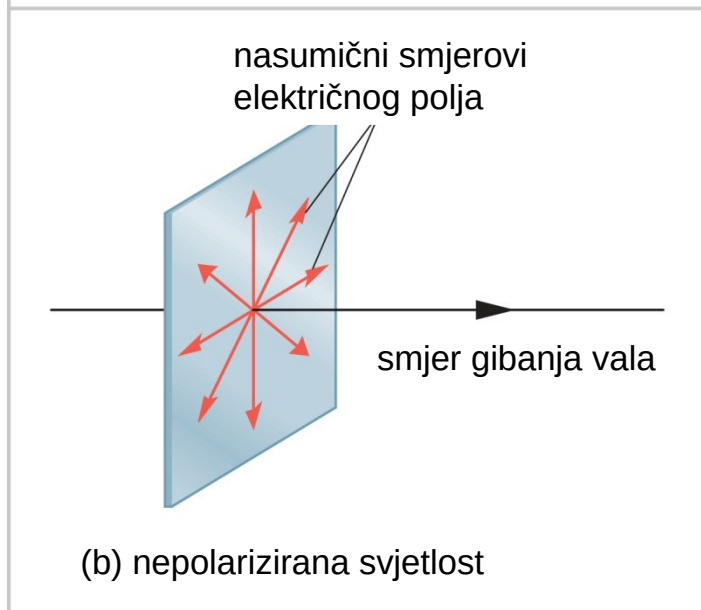
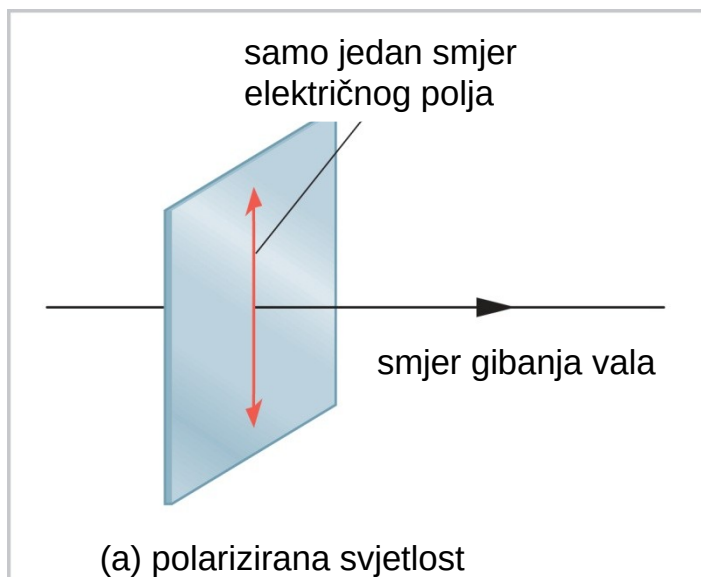
POLARIZIRANI ELEKTROMAGNETSKI VALOVI



linearno polarizirani val na užetu



24.6 Polarizacija



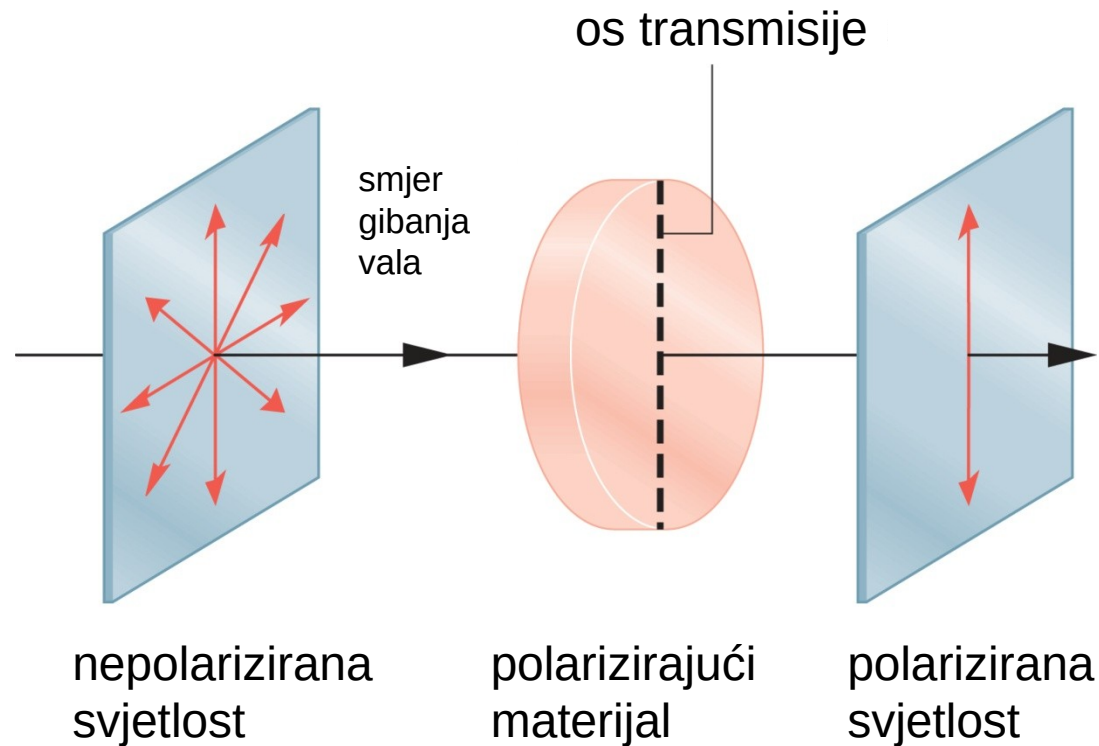
dogovoreni
smjer polarizacije



Kod polarizirane svjetlosti **električno** polje titra samo u jednom smjeru.

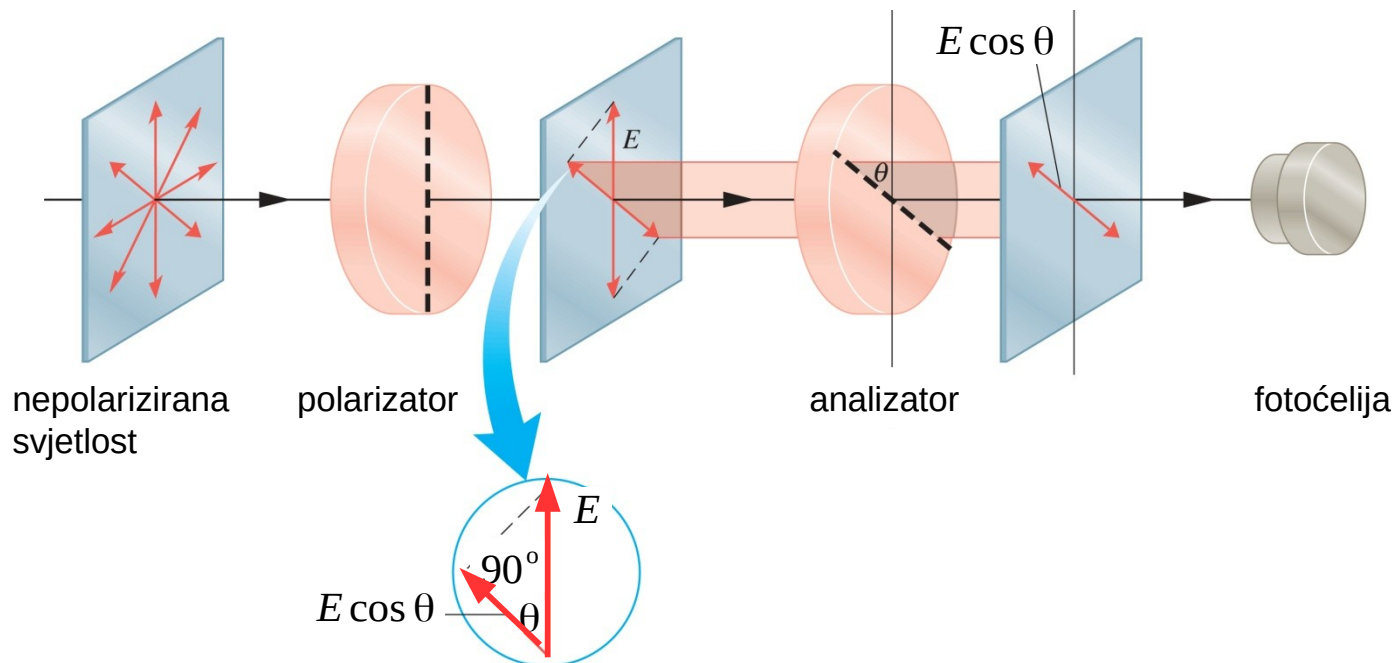
WILEY

24.6 Polarizacija



Polarizirana svjetlost može se proizvesti iz nepolarizirane svjetlosti s pomoću polarizirajućeg materijala.

MALUSOV ZAKON



$$\bar{S} = \bar{S}_0 \cos^2 \theta$$

intenzitet nakon
analizatora

intenzitet prije
analizatora

24.6 Polarizacija

©Diane Hirsch/Fundamental Photographs, NYC



Kad se dva stakla polarizirajućih sunčanih naočala postave u okomitom smjeru, prolazna svjetlost reducira se na nulu.

©Diane Hirsch/Fundamental Photographs, NYC



WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

ZADACI ZA VJEŽBU

1. (a) Neil Armstrong bio je prvi čovjek koji je hodao po Mjesecu. Udaljenost Zemlje i Mjeseca je $3,85 \cdot 10^8$ m. Izračunajte koliko je vremena trebalo radiovalovima da njegov glas prenesu do Zemlje. (b) Jednoga će dana čovjek hodati po Marsu koji je, u najbližoj točki, od Zemlje udaljen $5,6 \cdot 10^{10}$ m. Izračunajte koliko će najmanje vremena radiovalovima trebati da dođu od Marsa do Zemlje.

RJEŠENJE: 1,28 s; 190 s

2. Udaljenosti se u astronomiji često izražavaju u svjetlosnim godinama. Jedna svjetlosna godina je udaljenost koju svjetlost prijeđe za jednu godinu. Udaljenost Sunca do najbliže susjedne zvijezde, Proxima Centauri, je 4,2 svjetlosne godine. Izrazite tu udaljenost u metrima.

RJEŠENJE: $4,0 \cdot 10^{16}$ m

3. U nekom UHF-radiovalu, najmanja udaljenost dvaju mjesta na kojima su električno i magnetsko polje nula iznosi 0,34 m. Odredite frekvenciju tog radiovala.

RJEŠENJE: $4,4 \cdot 10^8$ Hz

4. Pozitivno nabijeno tijelo mase 0,115 kg titra obješeno na kraj opruge te tako stvara ELF-radiovalove valne duljine $4,80 \cdot 10^7$ m. Frekvencija tih valova odgovara frekvenciji nabijenog tijela koje titra. Izračunajte konstantu opruge.

RJEŠENJE: 177 N/m

ZADACI ZA VJEŽBU

5. Dva astronauta u svemirskoj letjelici razgovaraju jedan s drugim. Međusobno su udaljeni 1,5 m. Razgovor se radiovalovima prenosi na Zemlju. Odredite udaljenost letjelice od Zemlje ako je vrijeme koje zvučnim valovima (brzine 343 m/s) treba da dođu od jednog do drugog astronauta jednako vremenu koje radiovalovima treba da dođu od letjelice do Zemlje.

RJEŠENJE: 1300 km

6. Laser emitira vrlo uski svjetlosni snop. Polumjer snopa je $1,0 \cdot 10^{-3}$ m, a snaga snopa $1,2 \cdot 10^{-3}$ W. Koji je intenzitet laserskog snopa?

RJEŠENJE: 380 W/m²

7. Najveća vrijednost magnetskog polja elektromagnetskog vala je $3,3 \cdot 10^{-6}$ T. Koja je najveća vrijednost električnog polja tog vala?

RJEŠENJE: 990 V/m

8. Mikrovalno zračenje preostalo od velikog praska ima prosječnu gustoću od $4 \cdot 10^{-14}$ J/m³. Izračunajte efektivnu vrijednost električnog polja tog zračenja.

RJEŠENJE: 0,07 V/m

ZADACI ZA VJEŽBU

9. Udaljena galaksija emitira svjetlost valne duljine 434,1 nm. Na Zemlji se ta svjetlost opaža s valnom duljinom od 438,6 nm.
(a) Udaljava li se ta galaksija od Zemlje ili se približava Zemlji?
(b) Odredite relativnu brzinu te galaksije s obzirom na Zemlju.
Za brzinu svjetlosti uzmite $3,0 \cdot 10^8$ m/s.

RJEŠENJE: udaljava se; $3,1 \cdot 10^6$ m/s

10. Svjetlost koja je polarizirana u okomitom smjeru upada na polarizirajući materijal. Kroz njega prođe 94,0% upadne svjetlosti. Ta svjetlost dolazi na drugi polarizirajući materijal koji ne propušta više ništa. Koji kut s okomicom zatvara transmisijska os drugog polarizirajućeg materijala?

RJEŠENJE: 104°

PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. Elektromagnetski val
2. Brzina svjetlosti
3. Elektromagnetski spektar
4. Odnos frekvencije i valne duljine
5. Vidljiva svjetlost
6. Mikrovalna pećnica
7. Intenzitet elektromagnetskih valova
8. Dopplerov učinak za elektromagnetske valove
9. Polarizacija svjetlosti
10. Malusov zakon