

Načelo linearne superpozicije i interferencija

**FIZIKA
PSS-GRAD
16. prosinca 2025.**

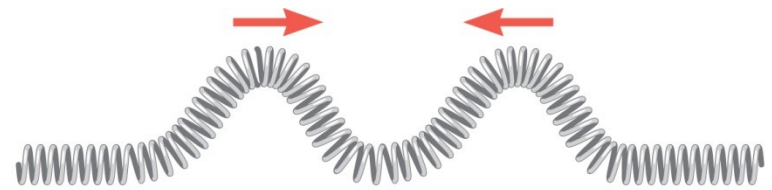


WILEY

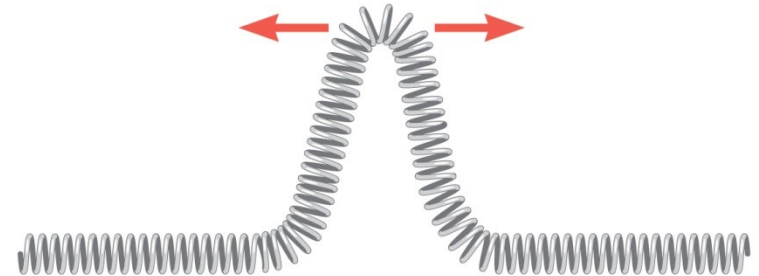
Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

17.1 Načelo linearne superpozicije

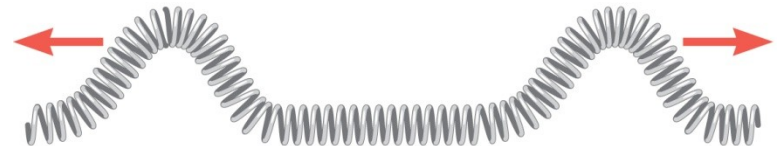
Kad se impulsni valovi stapaju
Slinky poprima oblik koji je zbroj
oblika pojedinačnih impulsnih valova.



(a) počinje preklop; impulsni valovi se približavaju



(b) potpuni preklop; visina brijega je dvostruka



(c) impulsni valovi se udaljavaju



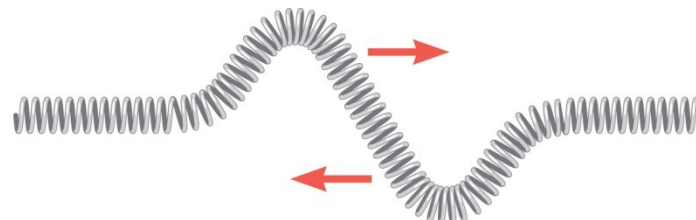
Slinky, igračka koju
je početkom 1940-ih
kreirao Richard James

<http://youtu.be/EZeFm-5MCuI>

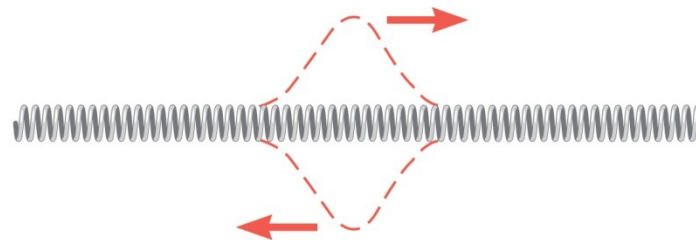
WILEY

17.1 Načelo linearne superpozicije

Kad se impulsni valovi stapaju
Slinky poprima oblik koji je zbroj
oblika pojedinih impulsnih valova.



(a) počinje preklop; impulsni valovi se približavaju



(b) potpuni preklop; visina brijega je nula

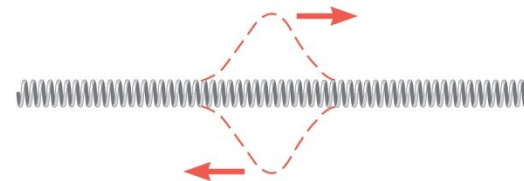
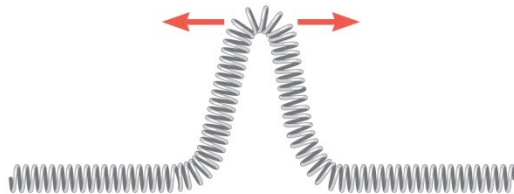
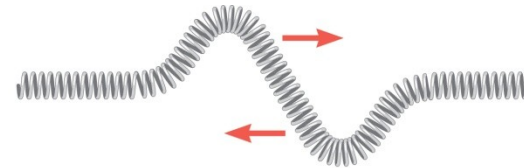


(c) impulsni valovi se udaljavaju

WILEY

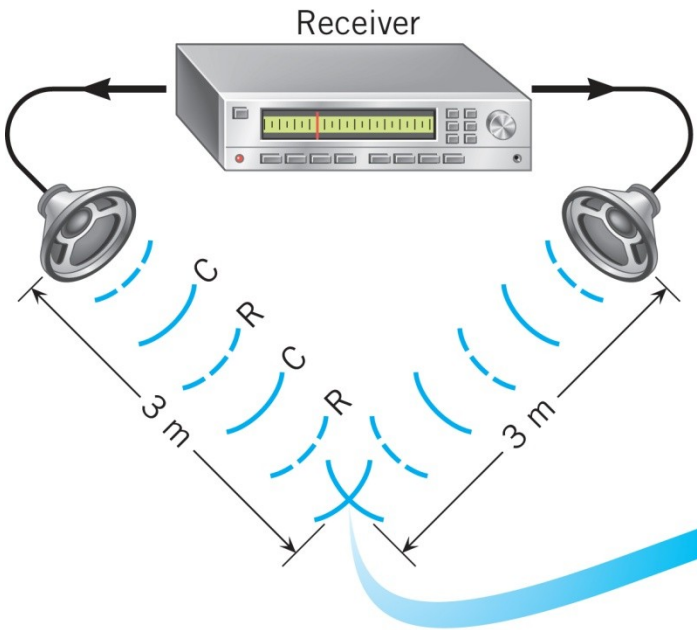
NAČELO LINEARNE SUPERPOZICIJE

Kad se dva vala, ili više valova, nađu na istome mjestu u isto vrijeme onda rezultantni poremećaj odgovara zbroju poremećaja pojedinih valova.

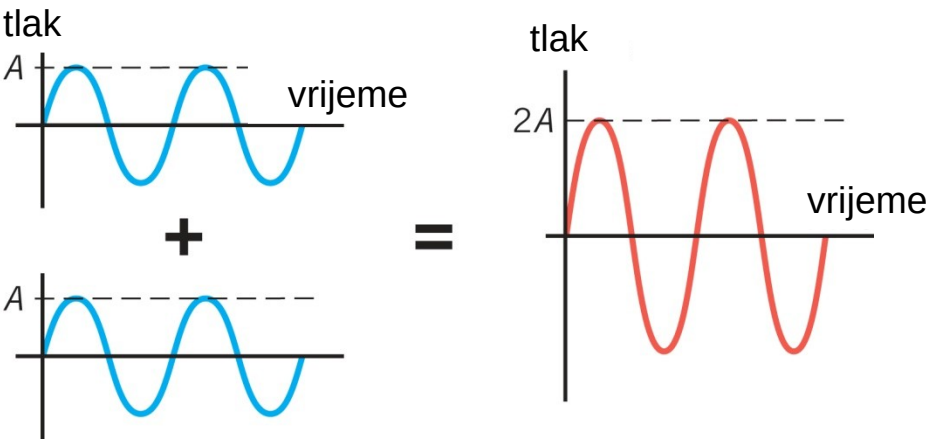


17.2 *Konstruktivna i destruktivna interferencija zvučnih valova*

Kad se dva vala susreću tako da se zgušnj enje uvijek poklapa sa zgušnj enjem, a razrjeđenje s razrjeđenjem, kažemo da su **točno u fazi** i da se događa **konstruktivna interferencija**.

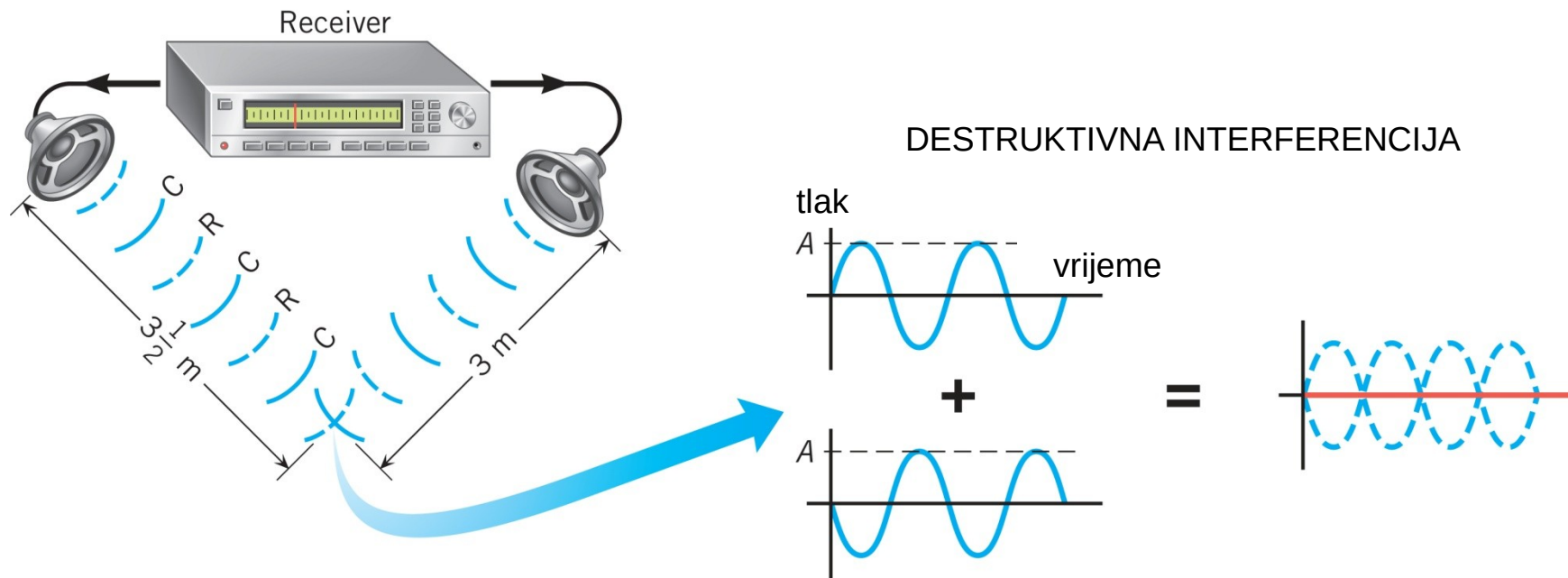


KONSTRUKTIVNA INTERFERENCIJA

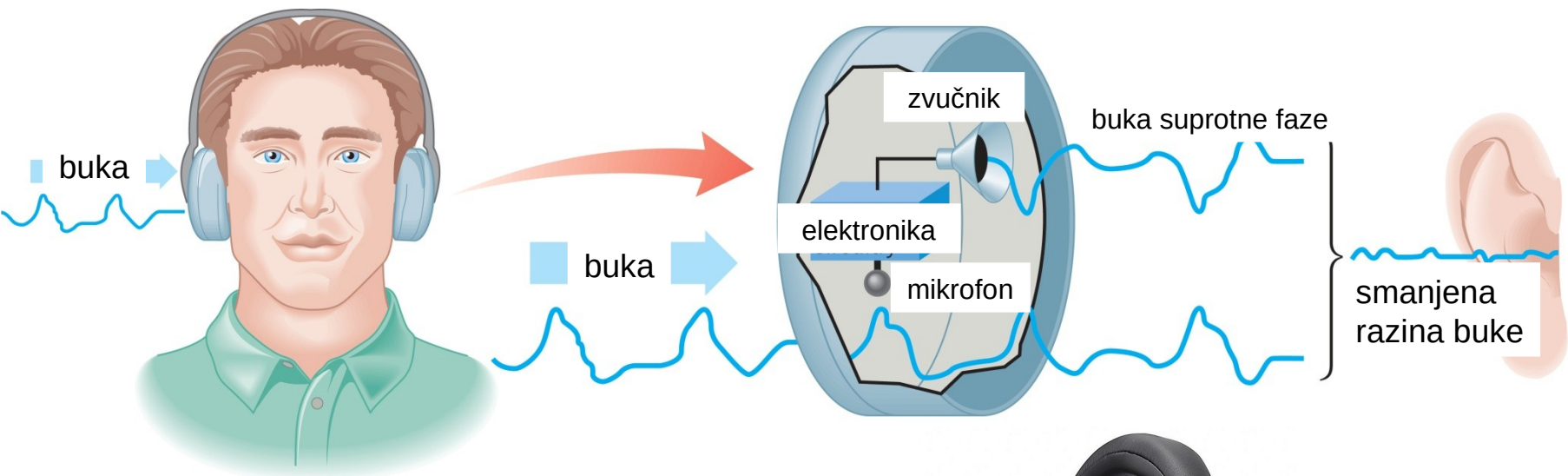


17.2 *Konstruktivna i destruktivna interferencija zvučnih valova*

Kad se dva vala susreću tako da se zgušnjenje uvijek poklapa s razrjeđenjem, kažemo da su **točno izvan faze** i da se događa **destruktivna interferencija**.



17.2 *Konstruktivna i destruktivna interferencija zvučnih valova*



Slušalice s funkcijom suzbijanja buke

Opis proizvoda



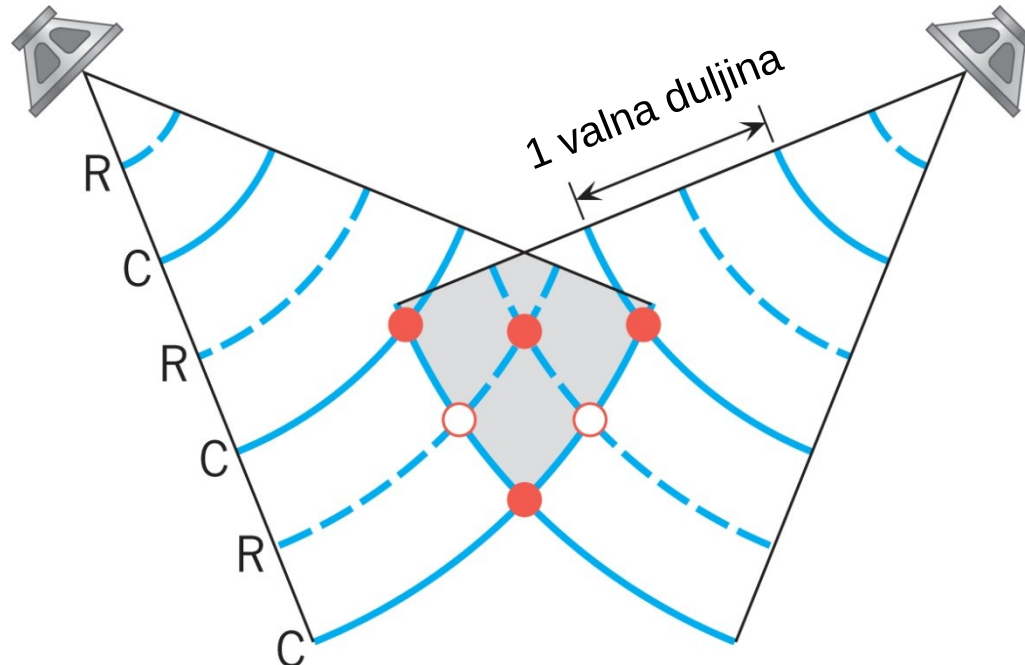
WILEY

17.2 Konstruktivna i destruktivna interferencija zvučnih valova

Ako se valovi s vremenom ne pomiču jedan u odnosu na drugoga, kažemo da su izvori **koherentni** (usklađeni).

Za dva valna izvora koja titraju u fazi:

- ako razlika puteva odgovara cjelobrojnomoj umnošku valnih duljina dobije se **konstruktivna interferencija**;
- ako razlika puteva odgovara polucjelobrojnomoj umnošku valnih duljina dobije se **destruktivna interferencija**.



WILEY

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

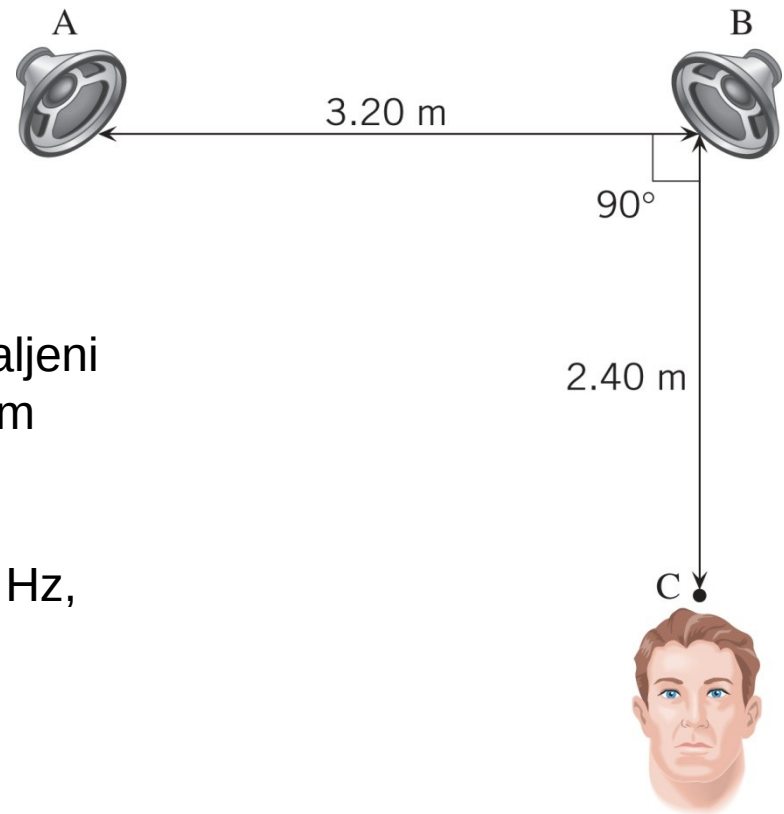
17.2 Konstruktivna i destruktivna interferencija zvučnih valova

Primjer 1 Što slušatelj čuje?

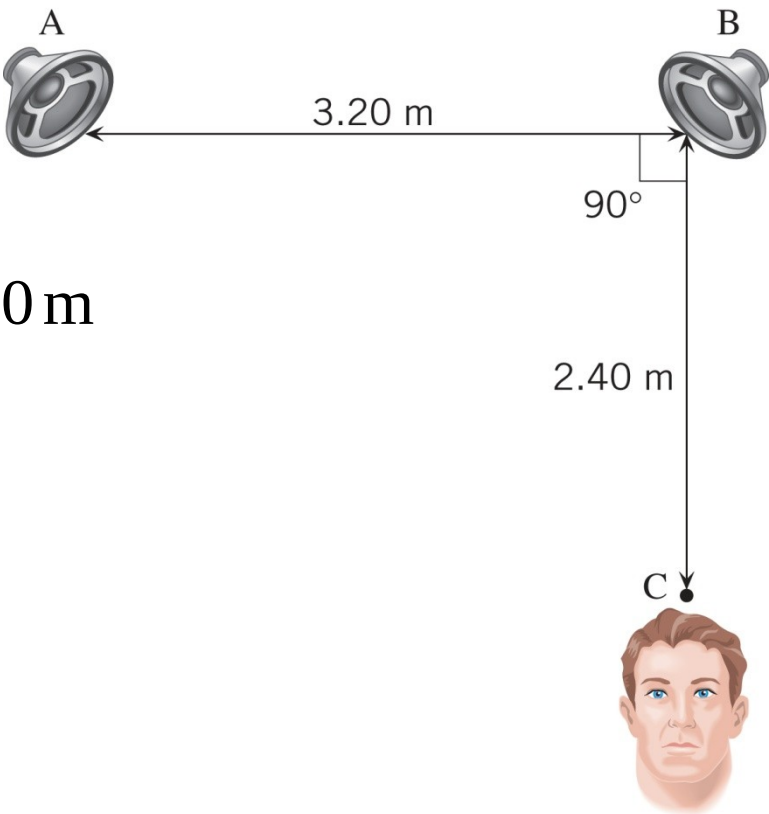
Dva zvučnika, A i B, su u fazi i međusobno udaljeni 3,2 m. Slušatelj se nalazi u točki C koja je 2,4 m ispred zvučnika B.

Oba zvučnika emitiraju isti ton frekvencije 214 Hz, a brzina zvuka je 343 m/s.

Čuje li slušatelj pojačani ili oslabljeni zvuk?



17.2 *Konstruktivna i destruktivna interferencija zvučnih valova*



Izračunamo razliku puteva

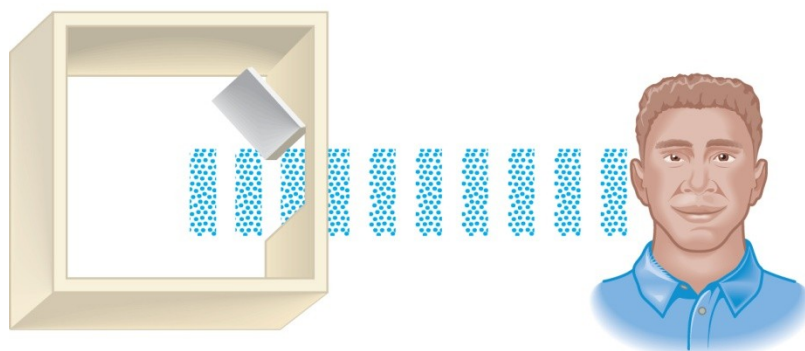
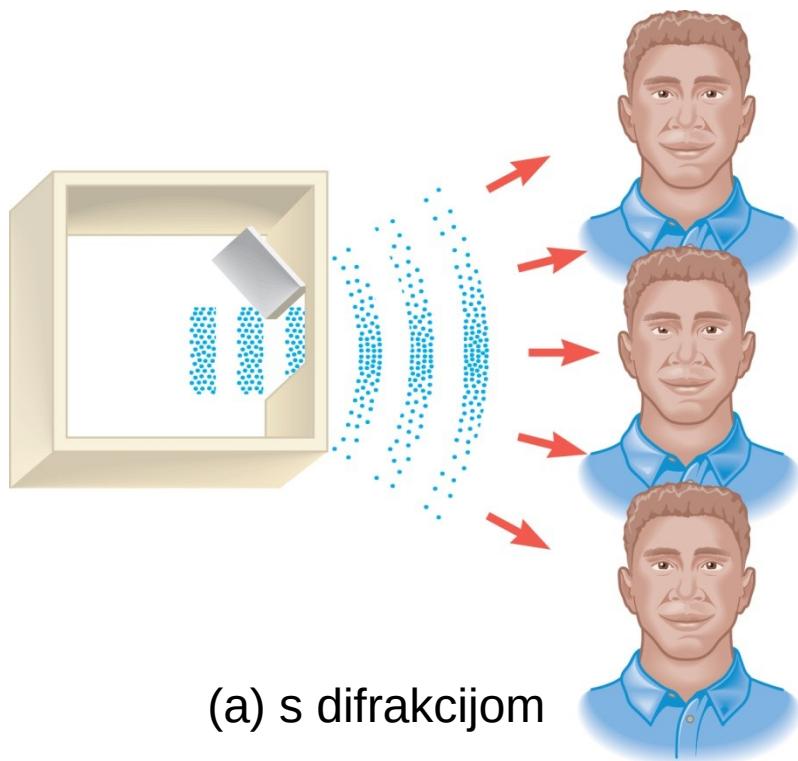
$$\sqrt{(3,20\text{ m})^2 + (2,40\text{ m})^2} - 2,40\text{ m} = 1,60\text{ m}$$

Izračunamo valnu duljinu

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343\text{ m/s}}{214\text{ Hz}} = 1,60\text{ m}$$

Pošto je razlika puteva jednaka cijelom broju valnih duljina događa se konstruktivna interferencija što znači pojačani zvuk.

17.3 Difrakcija

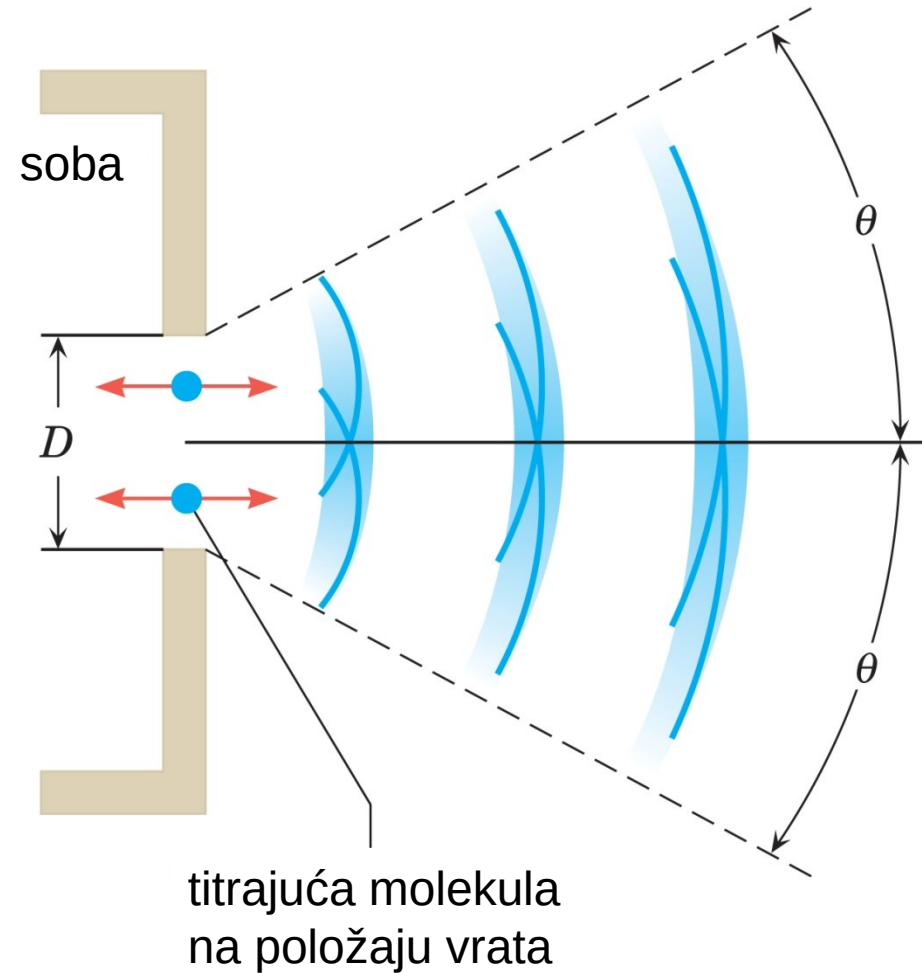


(b) bez difrakcije

Otklon vala na prepreci ili rubu otvora nazivamo ogibom ili **difrakcijom**.

WILEY

17.3 Difrakcija

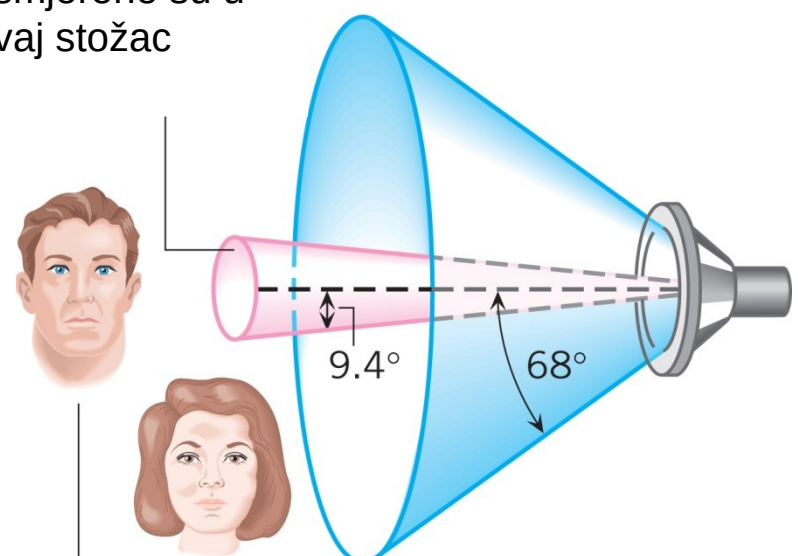


jednostruka pukotina – prvi minimum

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{D}$$

17.3 Difrakcija

visoke frekvencije
usmjerene su u
ovaj stožac



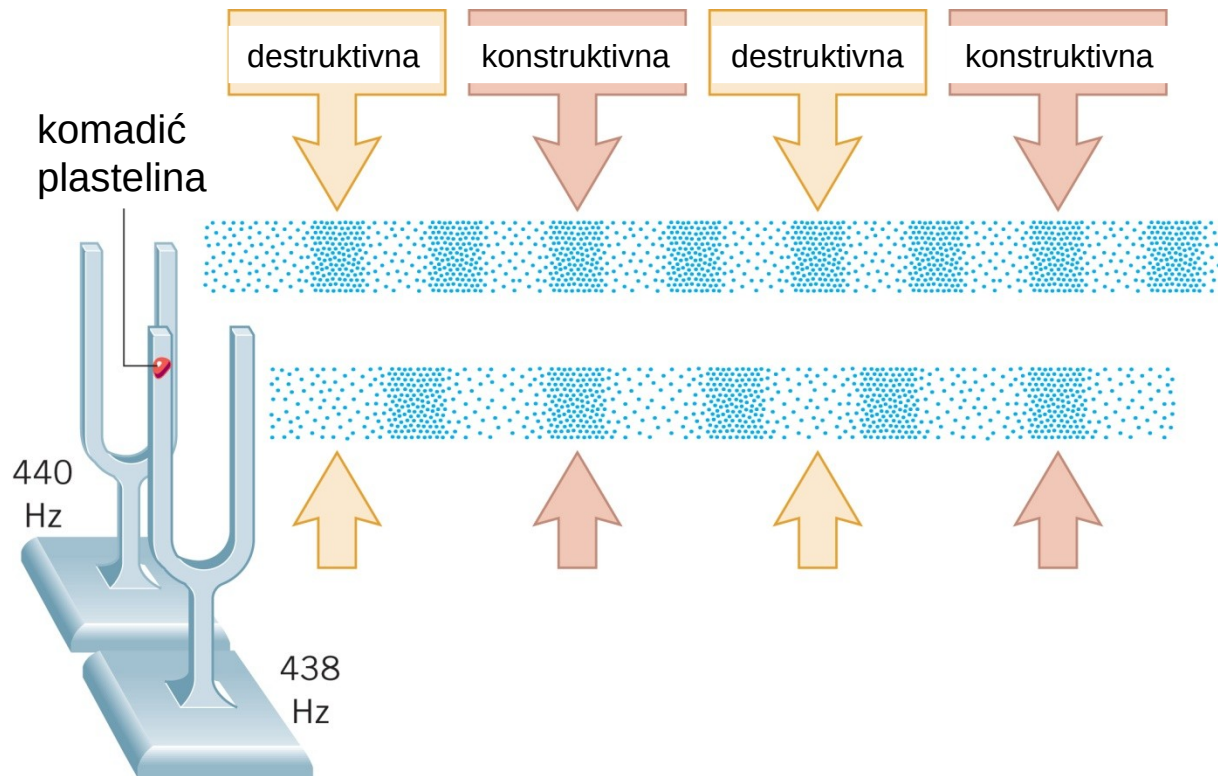
ova osoba čuje uglavnom
niže frekvencije

ova osoba čuje i više
niže frekvencije

kružni otvor – prvi minimum

$$\sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

17.4 Udari



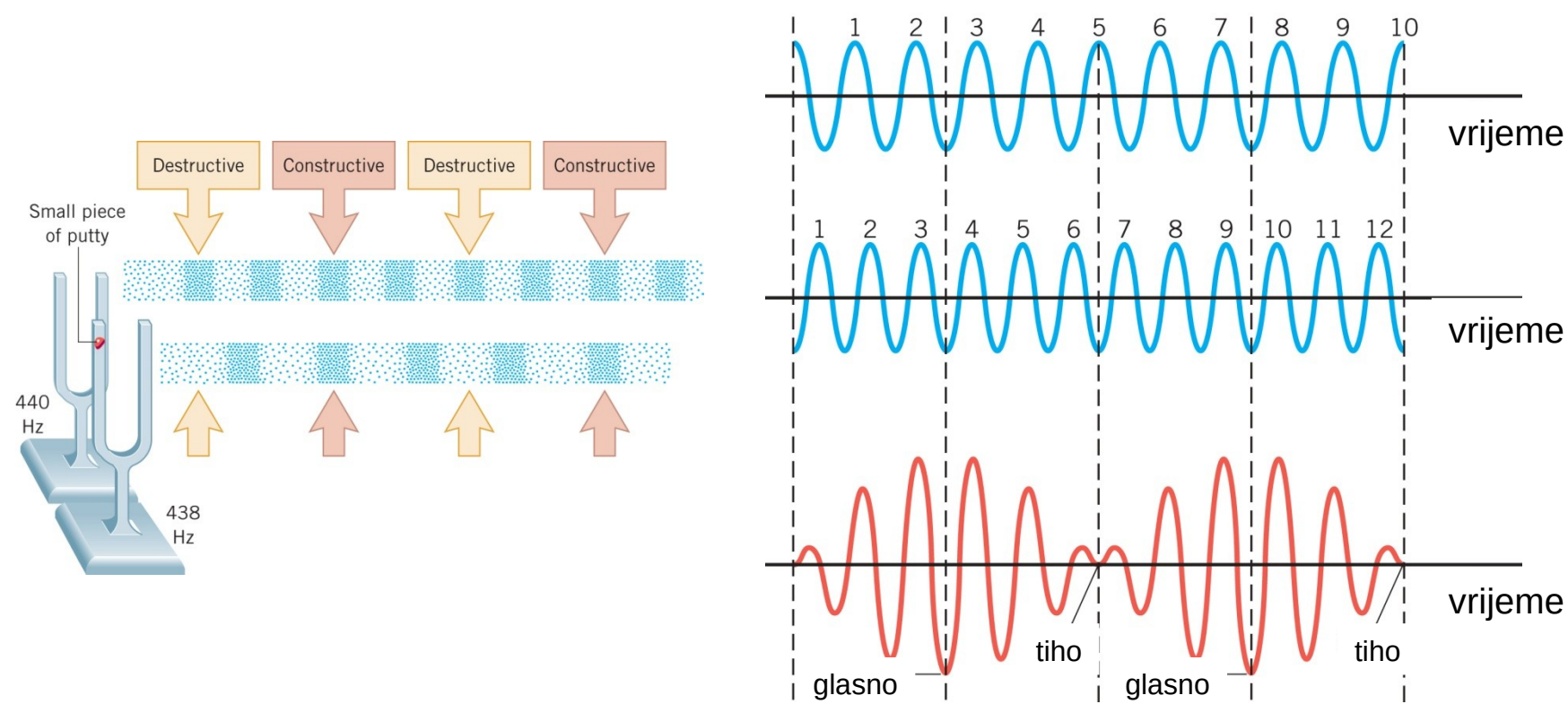
Dva vala s *malo* različitim frekvencijama daju **udare**.

<http://www.szynalski.com/tone-generator/>

WILEY

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

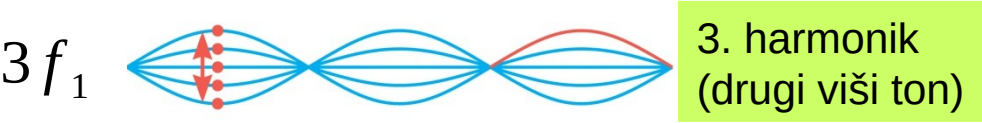
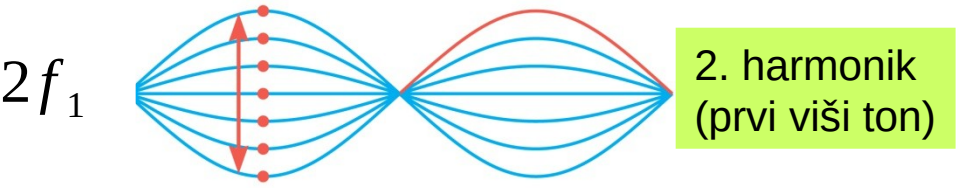
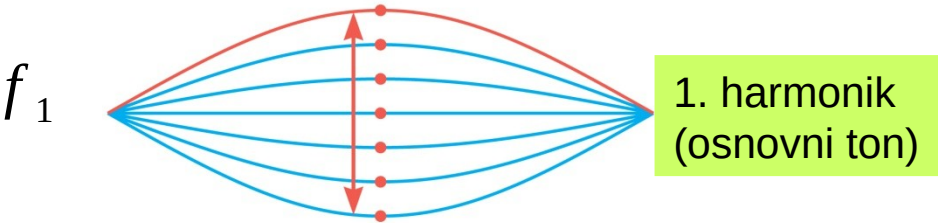
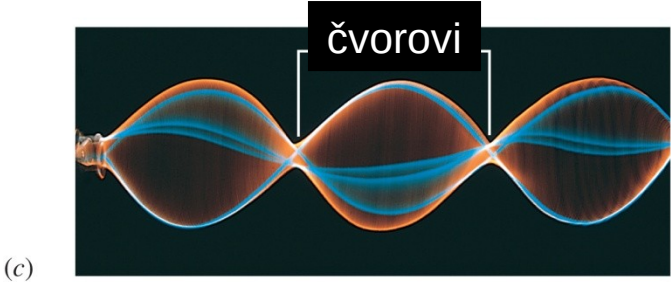
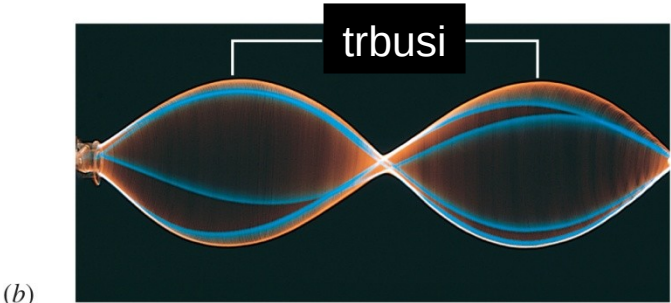
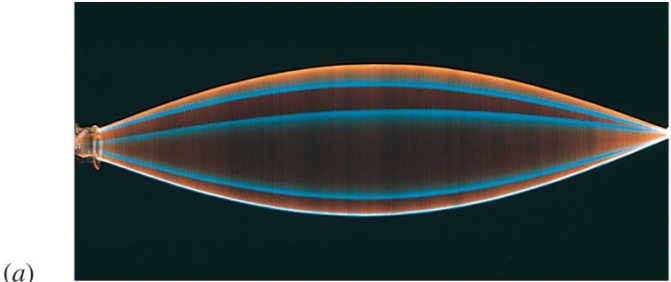
17.4 Udari



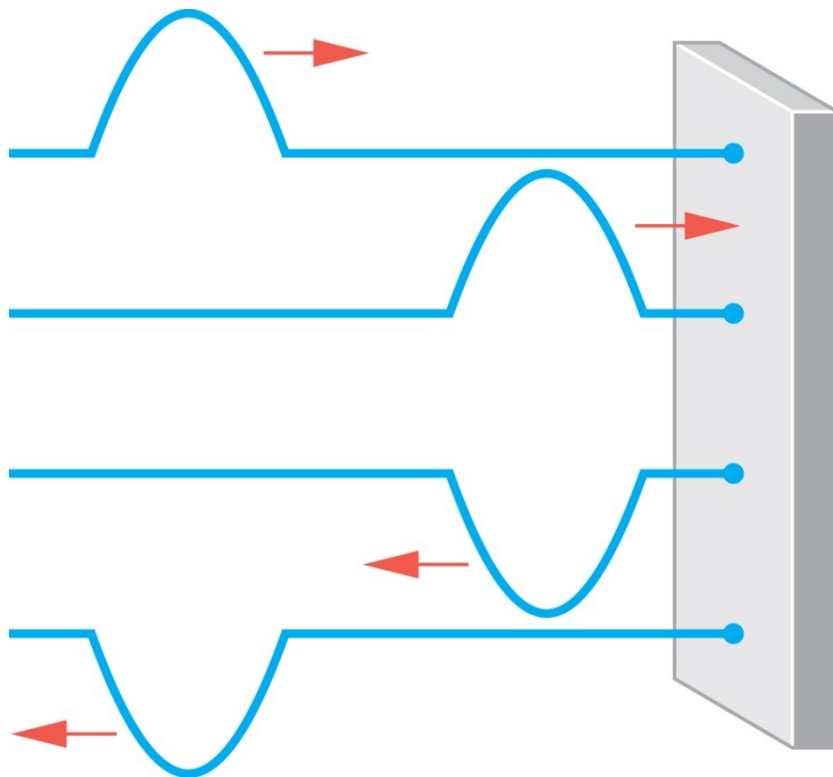
Frekvencija udara jednaka je **razlici** frekvencija dvaju zvučnih valova.

$$f_u = |f_1 - f_2|$$

oblici transverzalog stojnog vala



17.5 Transverzalni stojni valovi



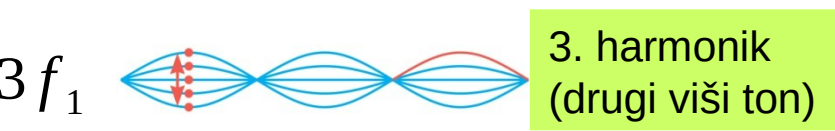
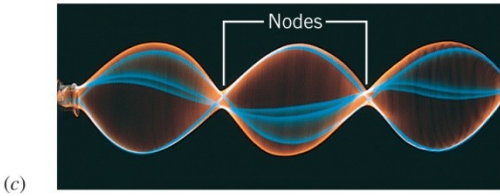
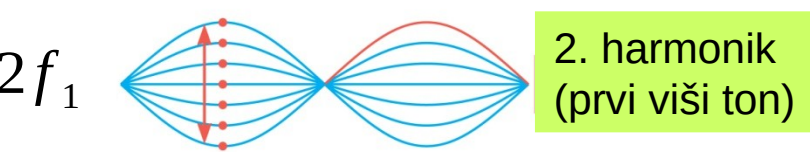
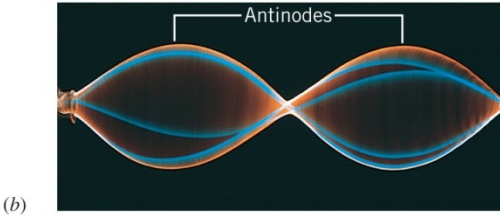
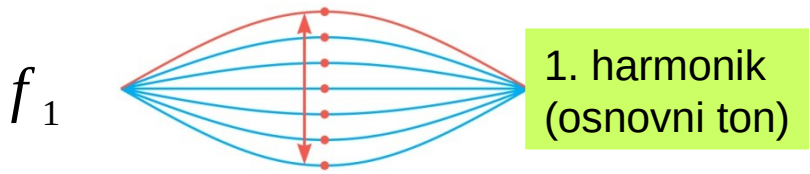
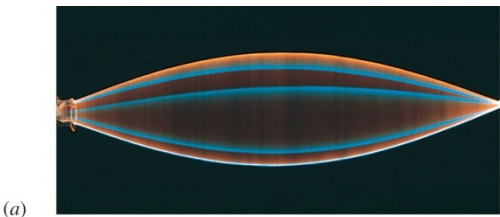
Pri odbijanju od zida brijeg postaje dol.

Odbijeni val poništiti će se s novim dolaznim valom, ako nisu vremenski usklađeni.

Novi dolazni i reflektirani valovi rezultirati će sve većom amplitudom stojnoga vala.

WILEY

17.5 Transverzalni stojni valovi

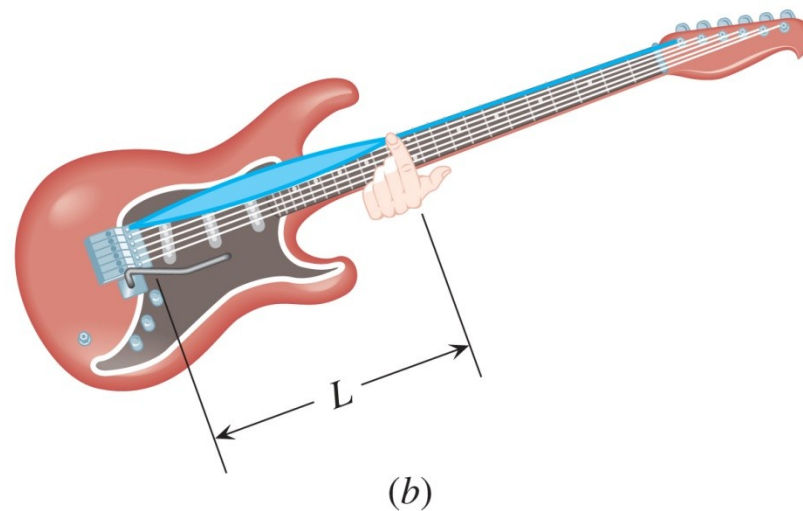
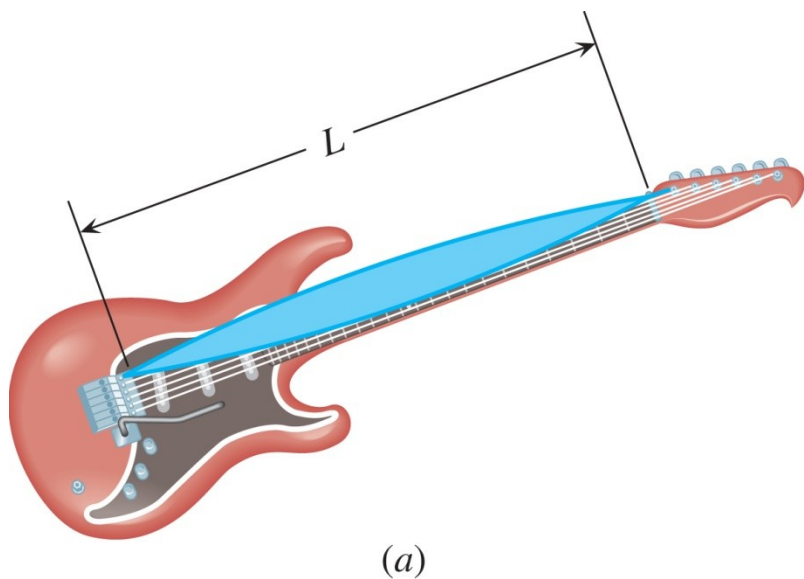


žica učvrščena na oba kraja

$$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

17.5 Transverzalni stojni valovi



$$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right)$$

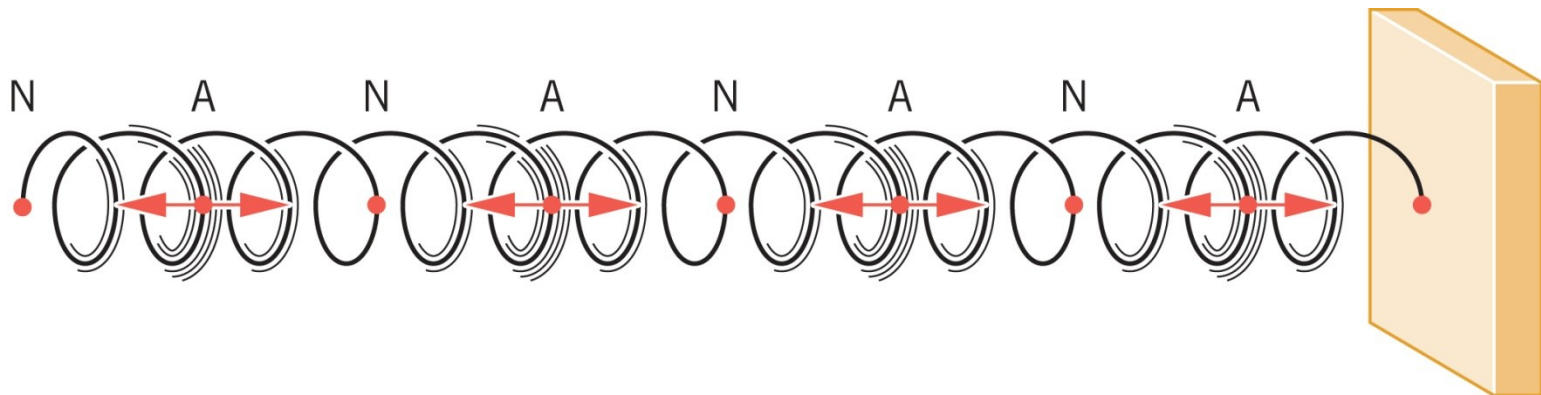
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

WILEY

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

17.6 Longitudinalni stojni valovi

obrazac longitudinalnog stojnog vala na opruzi

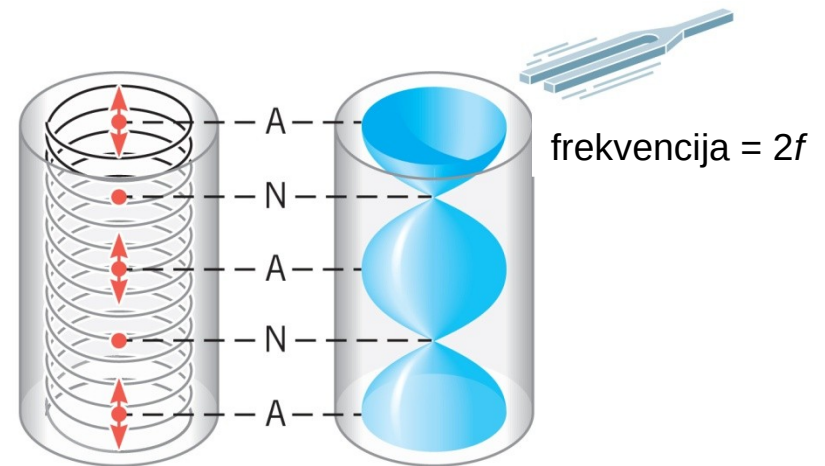
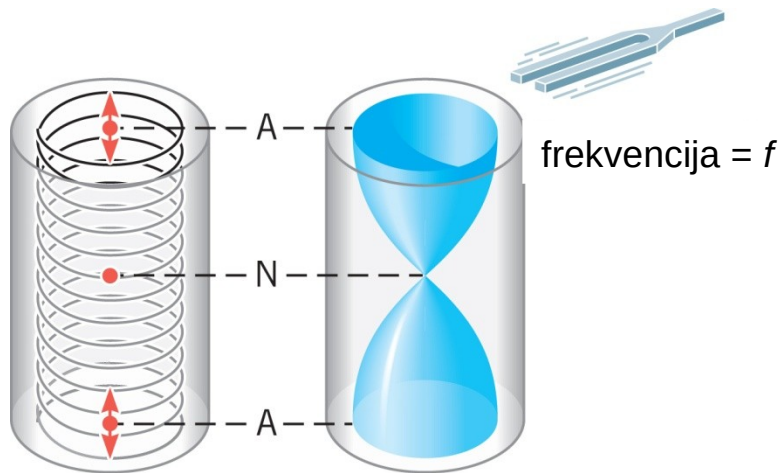


WILEY

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

17.6 Longitudinalni stojni valovi

cijev otvorena na oba kraja



$$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right)$$

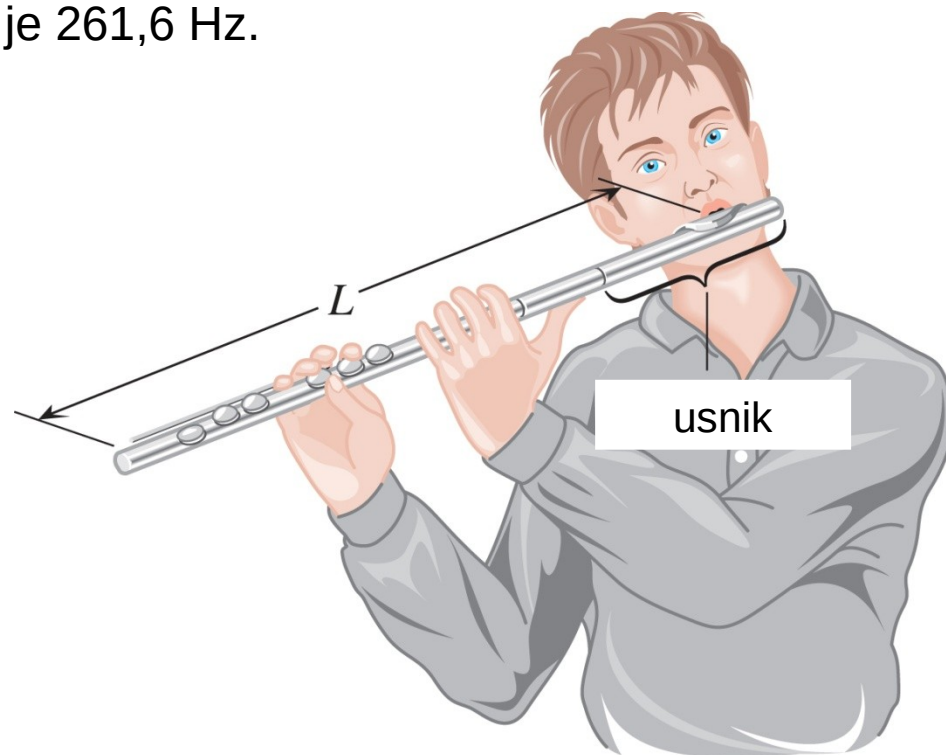
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

WILEY

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

Primjer 6 Sviranje flaute

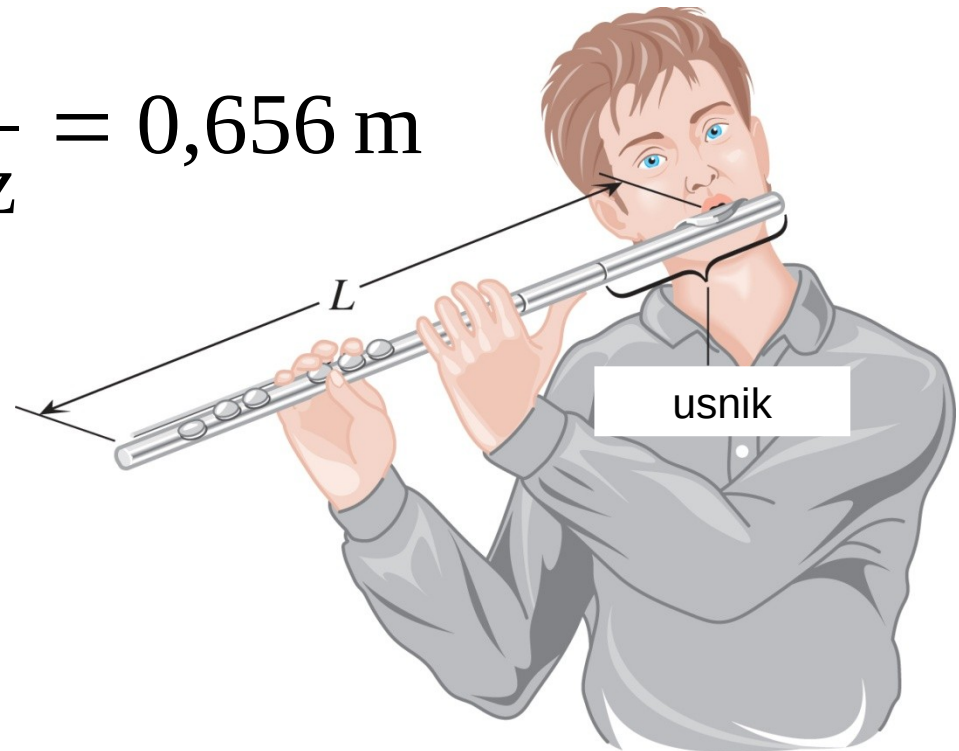
Na jednoj vrsti flaute najniži ton, srednji C, dobije se kad su sve rupice zatvorene. Odredite duljinu flaute L . Pretpostavite da je flauta cijev otvorena na oba kraja. Brzina zvuka je 343 m/s, a frekvencija srednjeg C je 261,6 Hz.



17.6 Longitudinalni stojni valovi

$$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right) \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

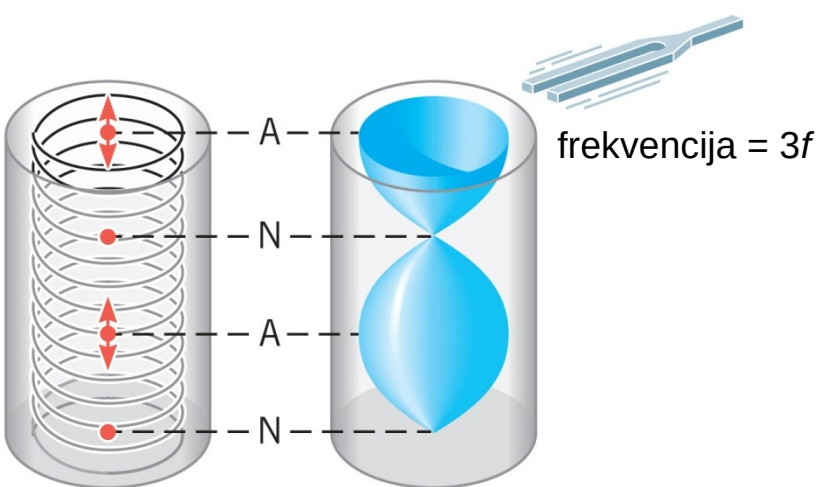
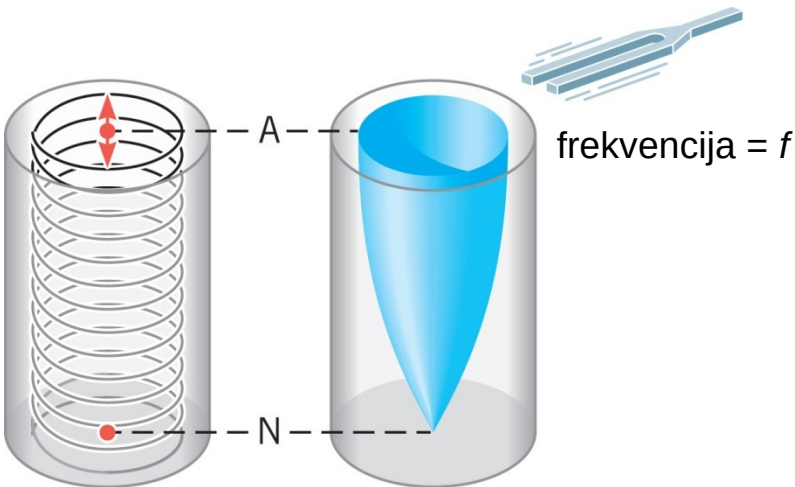
$$L = \frac{nv}{2f_n} = \frac{343 \text{ ms}^{-1}}{2 \cdot 261,6 \text{ Hz}} = 0,656 \text{ m}$$



WILEY

17.6 Longitudinalni stojni valovi

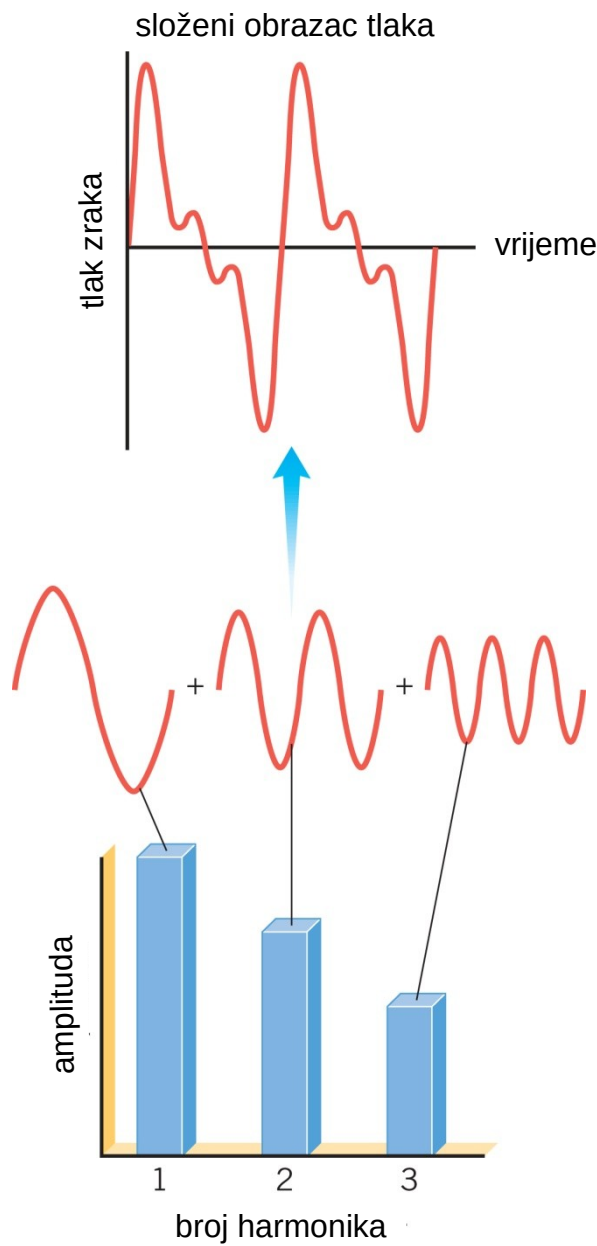
cijev otvorena na jednom kraju



$$f_n = n \left(\frac{v}{4L} \right)$$

$$n = 1, 3, 5, \dots$$

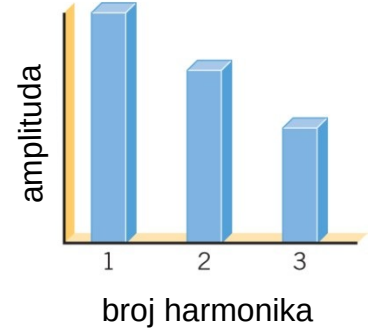
17.7 Složeni zvučni valovi



17.7 Složeni zvučni valovi



analizator spektra



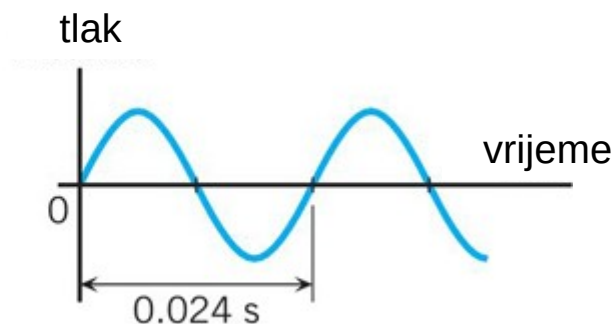
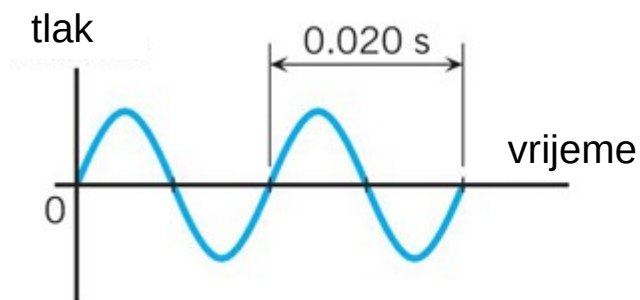
ZADACI ZA VJEŽBU

1. Dva vala putuju istom žicom u suprotnim smjerovima. Pomaci pojedinih valova su: $y_1 = 24,0 \text{ mm} \sin(9,00\pi t - 1,25\pi x)$ i $y_2 = 35,0 \text{ mm} \sin(2,88\pi t + 0,400\pi x)$. x je u metrima, t u sekundama, a fazni kutovi u radijanima. Koji je ukupni pomak u trenutku $t = 4,00 \text{ s}$ na položajima: (a) $x = 2,16 \text{ m}$; (b) $x = 2,56 \text{ m}$?

RJEŠENJE: +13,3 mm; +48,8 mm

2. Dva čista tona čuju se istodobno. Donja slika prikazuje promjene tlaka dvaju zvučnih valova u odnosu na atmosferski tlak. Koja je frekvencija udara?

RJEŠENJE: 8,3 Hz



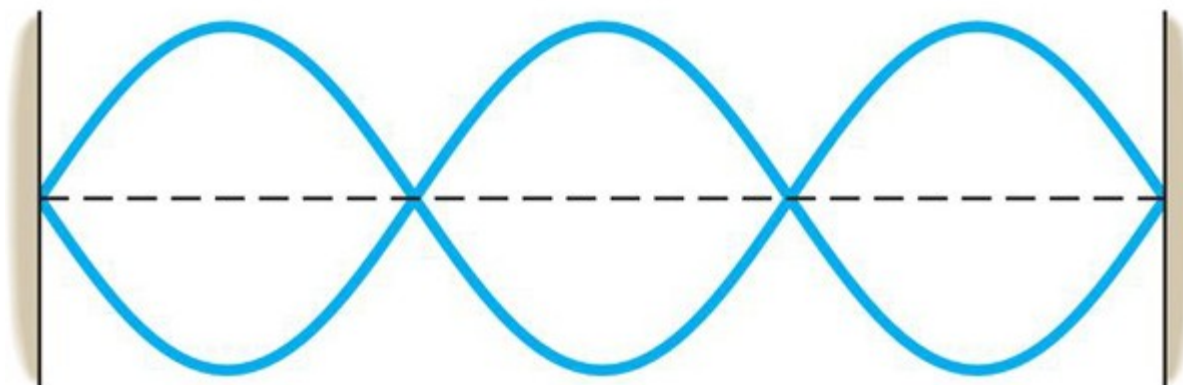
ZADACI ZA VJEŽBU

3. Osnovna frekvencija žice učvršćene na oba kraja je 256 Hz. Koliko dugo val putuje od jednog do drugog kraja te žice?

RJEŠENJE: 1,95 ms

4. Žica duljine 1,8 m i linearne gustoće $8,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$ napeta je silom od 280 N. Žica je učvršćena na oba kraja i titra kao što je prikazano na donjoj slici. Odredite: (a) brzinu, (b) valnu duljinu i (c) frekvenciju stojnog vala.

RJEŠENJE: 180 m/s; 1,2 m; 150 Hz



ZADACI ZA VJEŽBU

5. Cijev koja je poklopljena s jedne strane i otvorena s druge strane ima osnovnu frekvenciju od 130,8 Hz. Brzina zvuka je 343 m/s. (a) Kolika će biti osnovna frekvencija ako se poklopac makne? (b) Koliko je dugačka cijev?

RJEŠENJE: 261,6 Hz; 0,656 m

6. Frekvencije koje možemo čuti kreću se otprilike od 20 Hz do 20 kHz. S obzirom na te granične vrijednosti, i brzinu zvuka od 343 m/s, izračunajte očekivani raspon duljina cijevi orgulja? Cijevi su otvorene na oba kraja i daju osnovni ton.

RJEŠENJE: od 8,6 mm do 8,6 m

7. Žica učvršćena na oba kraja titra frekvencijom od 130 Hz, što je frekvencija trećeg harmonika. Linearna gustoća žice je $5,6 \cdot 10^{-3}$ kg/m, a napetost 3,3 N. Odredite duljinu žice.

RJEŠENJE: 0,28 m

8. Svaki od dvaju zvučnika emitira zvučni val od 245 Hz. Zvučnici se nalaze točno jedan iza drugoga. Na kojoj se najmanjoj udaljenosti zvučnici moraju nalaziti da bi na mjestu slušatelja, koji stoji ispred zvučnika, interferencija bila destruktivna?

RJEŠENJE: 0,700 m

ZADACI ZA VJEŽBU

9. Na dva raštimana klavira istodobno se svira ista nota. Jedan klavir stvara zvučni val valne duljine 0,769 m, a drugi 0,776 m. Kolika je vremenska razlika uzastopnih udara? Brzina zvuka je 343 m/s.

RJEŠENJE: 0,249 s

10. Pretpostavite da su sve violinske žice iste duljine i napetosti. Note koje odgovaraju osnovnim frekvencijama dviju od tih žica su G (196,0 Hz) i E (659,3 Hz). Linearna gustoća žice E je $3,47 \cdot 10^{-4}$ kg/m. Koja je linearna gustoća žice G?

RJEŠENJE: $3,93 \cdot 10^{-3}$ kg/m



WILEY

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

PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. Načelo linearne superpozicije
2. Konstruktivna interferencija
3. Destruktivna interferencija
4. Difrakcija
5. Udari
6. Stojni valovi
7. Harmonici
8. Žica učvršćena na oba kraja
9. Cijev otvorena na jednom kraju
10. Cijev otvorena na oba kraja