



**UNIVERZITET U NIŠU**  
**FAKULTET ZAŠTITE NA RADU U NIŠU**



# **BUKA I VIBRACIJE**

**- PREZENTACIJA PREDAVANJA -**

**FIZIČKI KONCEPT ZVUKA**

**Dr Darko Mihajlov, vanr. prof.**

**Dr Momir Praščević, red. prof.**

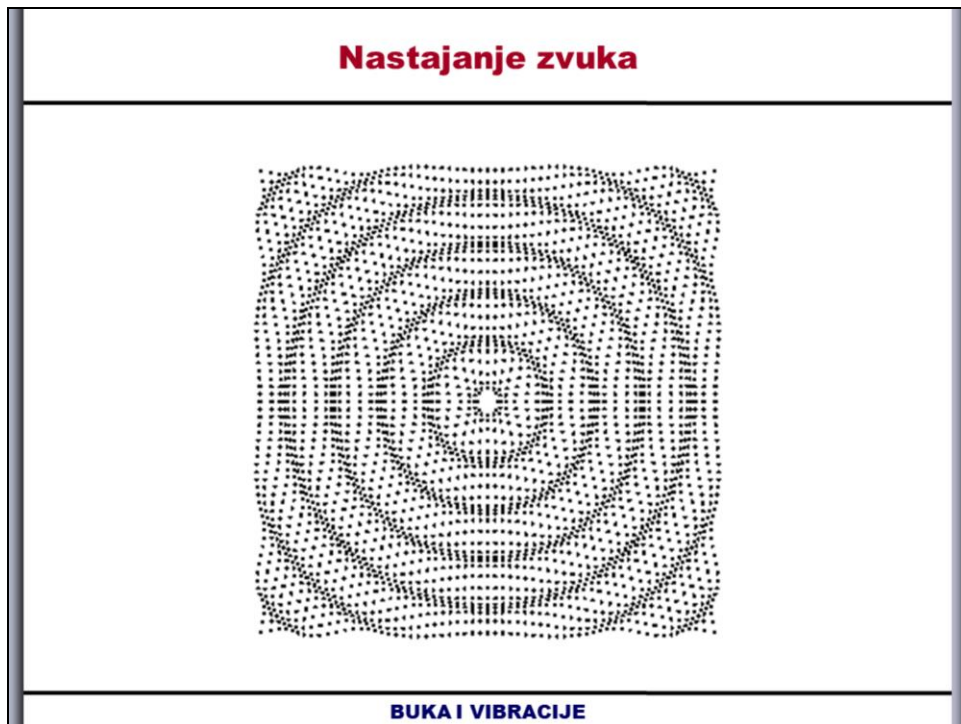
# FIZIČKI KONCEPT ZVUKA

## SADRŽAJ

- Nastajanje zvuka;
- Funkcije zvuka;
- Definicija zvuka;
- Definicija buke;
- Prostiranje zvuka;
- Vrste zvučnih talasa;
- Veličine zvučnog talasa;
- Pojave pri prostiranju zvučnih talasa.



BUKA I VIBRACIJE

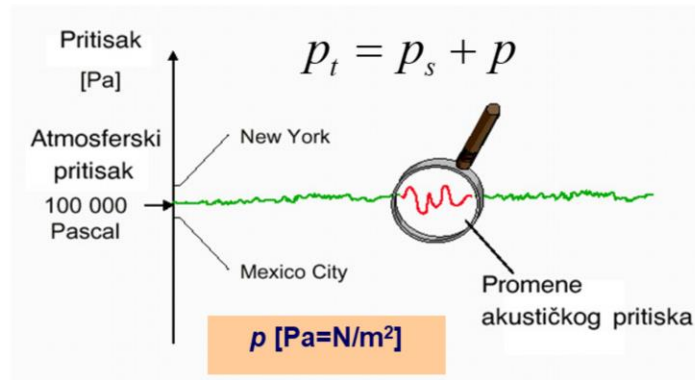


**Zvuk** nastaje pod dejstvom spoljašnje sile koja izvodi iz ravnotežnog položaja čestice elastične sredine i podstiče ih na oscilatorno kretanje oko ravnotežnog položaja.

Spoljašna sila koja izaziva promenu mehaničkog stanja čestica elastične sredine naziva se **izvor zvuka**.

**Izvor zvuka** može biti svako telo koje u elastičnoj sredini izvodi mehaničke oscilacije i na taj način izaziva poremećaj sredine, prenoseći pritom energiju zvuka česticama elastične sredine kroz koju se poremećaj prostire.

## Nastajanje zvuka



### BUKA I VIBRACIJE

Promene položaja čestica (zvučne oscilacije) su praćene promenama zvučnog pritiska  $p$  u elastičnoj sredini oko ravnotežne vrednosti – statičkog pritiska  $p_s$ .

Zvučni (akustički) pritisak  $p$  predstavlja promenljivu komponentu ukupnog pritiska  $p_t$  u nekoj tački elastične sredine, koja se superponira atmosferskom (statičkom) pritisku  $p_s$ .

Zvučni pritisak nastaje kao rezultat generisanja zvuka i prostiranja zvučnih talasa.

Promene zvučnog (akustičkog) pritiska su u većini slučajeva male u poređenju sa ravnotežnim vrednostima – statičkim (atmosferskim) pritiskom.

**Zaključak:** Zvuk je fizička pojava koja nastaje usled vremenski promenljivih poremećaja stacionarnog stanja elastične sredine.

## Funkcije zvuka

### Konstruktivne funkcije zvuka:

- Zvuk kao sredstvo komunikacije,
- Zvuk kao aktivan alat,
- Zvuk kao pasivan alat.



### Destruktivne funkcije zvuka:

- Zvuk kao BUKA.



### BUKA I VIBRACIJE

### Konstruktivne funkcije zvuka:

1. Zvuk kao sredstvo komunikacije,
2. Zvuk kao aktivan alat,
3. Zvuk kao pasivan alat.

### Zvuk kao sredstvo komunikacije:

- Govor, koji nastaje kao rezultat kontrolisanog generisanja zvuka iz čovekovog vokalnog trakta;
- Muzika, kao oblik umetničkog izražavanja čoveka;
- Nosač informacija, npr. u obliku znakova upozorenja, kao što su: zvono telefona, zvuk automobilske sirene ili sirene za uzbunu.

### Zvuk kao aktivan alat - korišćenje energije zvuka za izvršavanje neke operacije:

- ultrazvučne kade za čišćenje,
- ultrazvučno zavarivanje,
- osmatranje dna ispod plovila,
- ultrazvučne dijagnostičke metode u medicini,
- sistemi za aktivnu kontrolu buke (*bukom protiv buke*) ...

### Zvuk kao pasivan alat - otkrivanje pojave nekog događaja "prisluškivanjem" izvora koji generiše zvuk:

- slušanje rada srca i pluća pomoću stetoskopa,
- osluškivanje rada ventila kod automobila,
- detekcija curenja ventila u velikim sistemima,
- dijagnostika stanja mašinskih sistema,
- ocena kvaliteta analizom zvučnih signala ...

## Definicija buke

**BUKA** - neželjeni zvuk kome pored fizičkih karakteristika treba dodati i štetna psihofizička dejstva i uticaje (smeta, uznemirava, ugrožava).



**BUKA I VIBRACIJE**

Zvuk veoma često uznemirava i ugrožava čoveka.

Mnogi zvučni događaji su neželjeni i neprijatni i kao takvi predstavljaju buku.

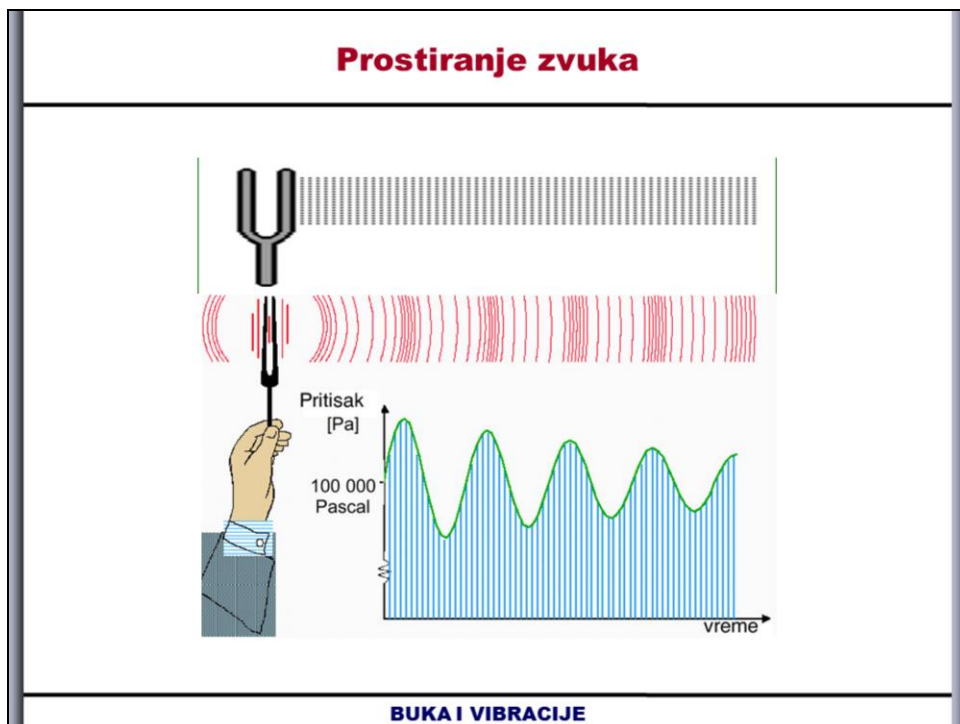
Nivo smetnji zavisi od kvaliteta zvuka, ali i od stava prema njemu.

Muzika i govor su korisni zvukovi za one ljude koji žele da ih slušaju, ali za druge mogu da predstavljaju buku, posebno ako su glasni i ako se javljaju tokom spavanja ili vođenja razgovora.

**BUKA** se definiše kao neželjeni zvuk kome pored fizičkih karakteristika treba dodati i štetna psihofizička dejstva i uticaje (smeta, uznemirava, ugrožava).

Buka je subjektivna kategorija, dok je zvuk fizička kategorija.

Osnovni uslov da se zvuk tretira kao buka je da postoji subjekt (čovek ili životinja) koji opaža zvuk i kome taj zvuk smeta: saobraćaj generiše zvuk, ali ne i buku ako u okolini saobraćajnice ne postoje stambeni objekti ili stanište životinja.

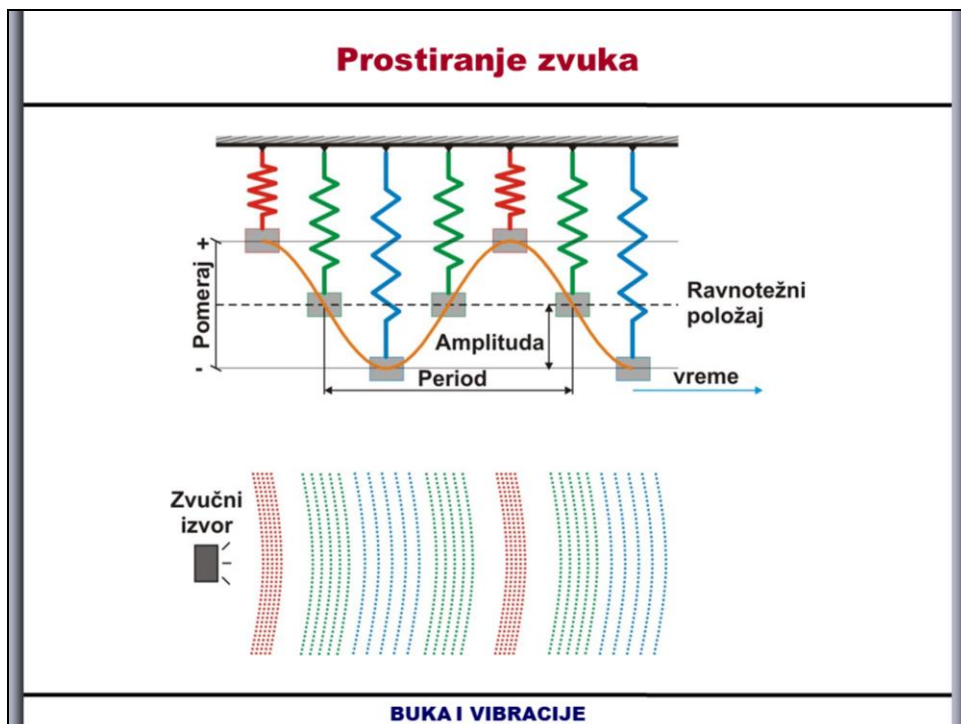


Izvor zvuka prilikom oscilovanja izaziva promene gustine u okruženju, čime se generišu zvučni talasi.

Kada se izvor kreće **u jednom smeru**, čestice koje se nalaze neposredno uz izvor su potisnute. Na taj način se povećava gustina sloja sredine neposredno uz izvor. U tom sloju dolazi do zgušnjavanja čestica koje prodiru u naredni sloj, potiskujući njegove čestice ka sledećem sloju, čime se oscilacije izvora prenose na daljinu, sa sloja na sloj.

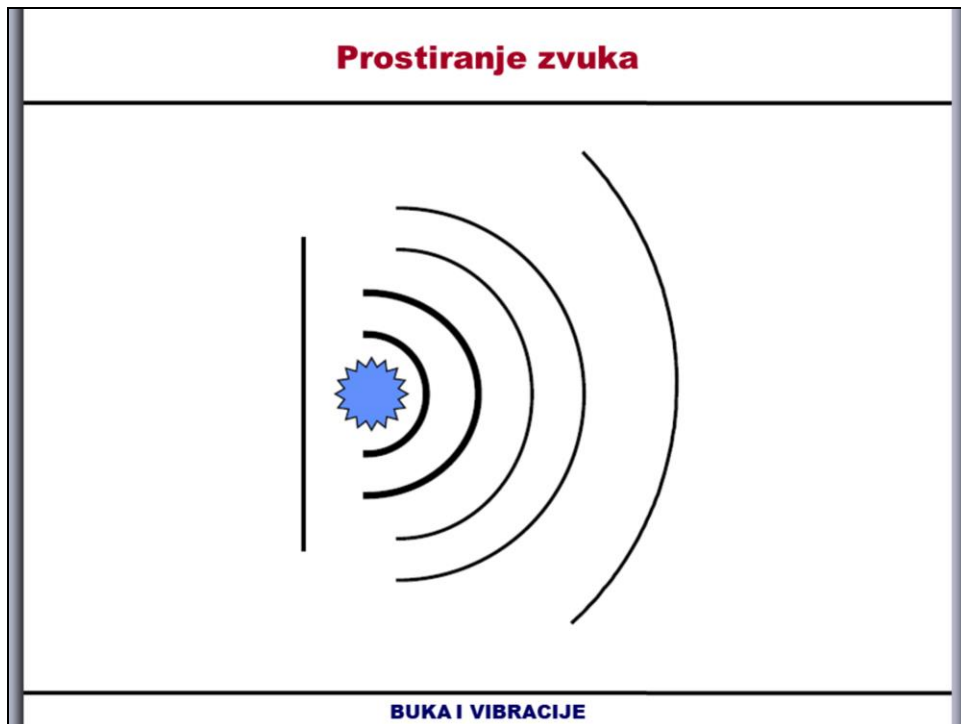
Kada se izvor kreće **u suprotnom smeru**, u sloju neposredno pored izvora se stvara praznina koju odmah popunjavaju čestice najbližeg sloja. Na njihovo mesto, zbog nastalog razređenja, dolaze čestice iz susednog sloja. Na taj način se čestice pomeraju u suprotnom smeru, a talas razređenog vazduha se širi koncentrično odmah iza talasa zgusnutog vazduha.

Cela pojava se ponavlja, čime nastaju zvučni talasi koji se prostoru kroz sredinu konačnom brzinom.



Prostiranje talasa je moguće opisati kretanjem mase koja je obešena preko opruge za oslonac (vertikalni harmonijski oscilator): Ako se masa izvede iz ravnotežnog položaja sabijanjem opruge, nastaviće da se kreće gore-dole po sinusoidalnom zakonu.

Prilikom kompresije i ekspanzije opruge, promene se prostiru duž opruge. Kompresije i ekspanzije molekula vazduha se slično prostiru kroz elastičnu sredinu (vazduh).



**Zvučni talas** se definiše kao poremećaj koji se prostire kroz elastičnu sredinu, prenoseći energiju zvuka s jedne lokacije na drugu.

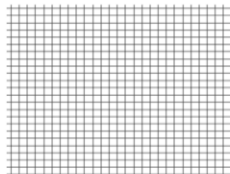
**Talasni front** označava površinu na kojoj sve čestice sredine imaju *istu fazu kretanja*. Talasni front u blizini izvora ima geometrijski oblik samog izvora, dok na većim udaljenostima uglavnom prerasta u ravan.

Zvučni talasi se mogu prostirati kroz gasovite, tečne ili čvrste sredine.

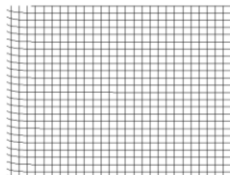
*Zvučni talasi se ne prostiru kroz vakuum !!*

## Vrste zvučnih talasa

- **Longitudinalni**  
(gasovita, tečna, čvrsta sredina)



- **Transverzalni**  
(čvrsta sredina)

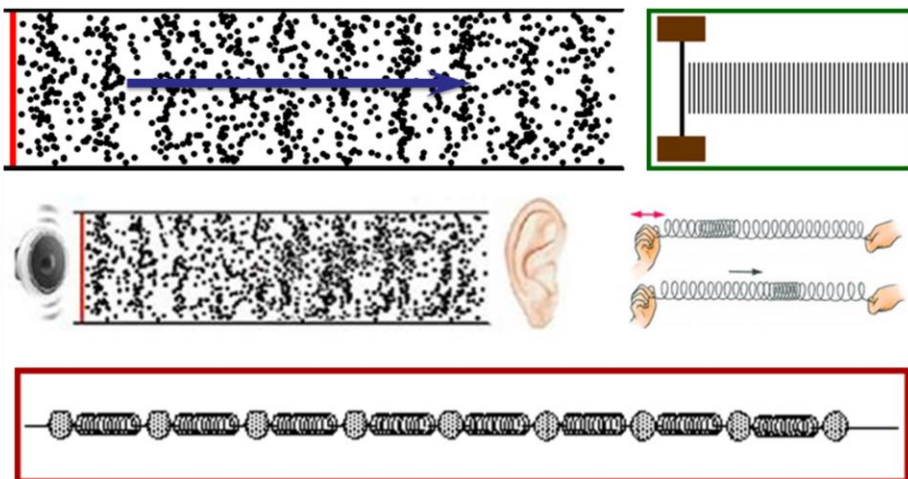


- **Kombinovani**  
(čvrsta sredina)

BUKA I VIBRACIJE

## Vrste zvučnih talasa

### LONGITUDINALNI ZVUČNI TALAS

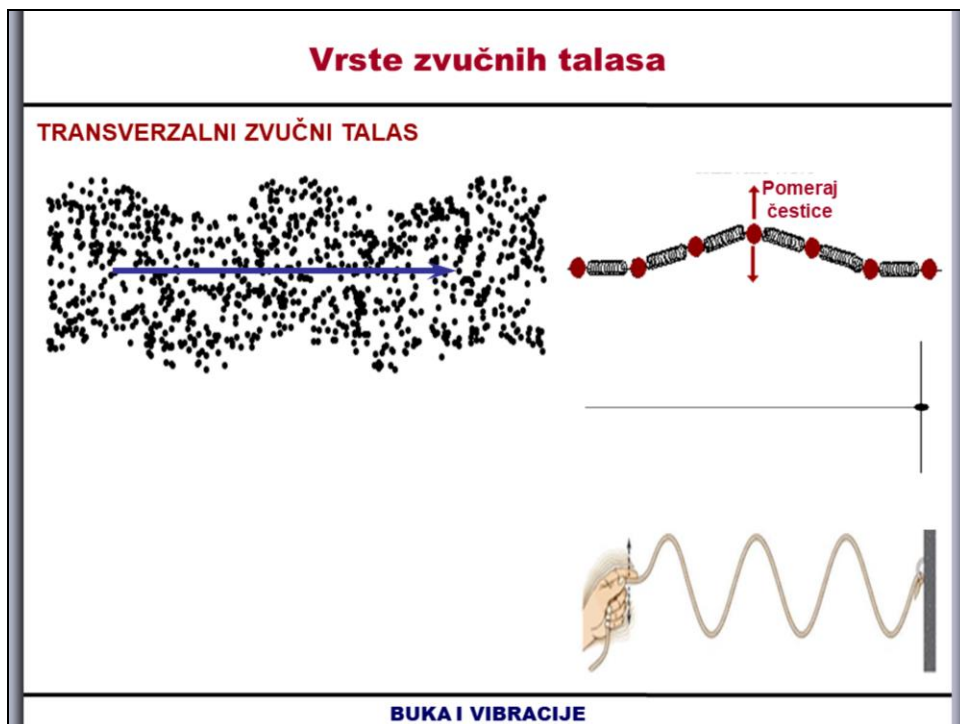


### BUKA I VIBRACIJE

Kod **longitudinalnih zvučnih talasa** se čestice elastične sredine pomeraju u pravcu prostiranja zvučnog talasa.

**Primer** prikazuje prostiranje zvučnih talasa kroz cev - čestice se kreću **napred-nazad** oko ravnotežnog položaja. Kretanje talasa predstavlja kretanje komprimovane oblasti levo-desno.

**Animacija na donjoj slici** prikazuje sredinu kao niz čestica povezanih oprugama. Poremećaj se prenosi sa jedne čestice na drugu, pretvaranjem kinetičke energije u potencijalnu i obrnuto, čime se prenosi energija kroz sredinu bez prenosa čestica.

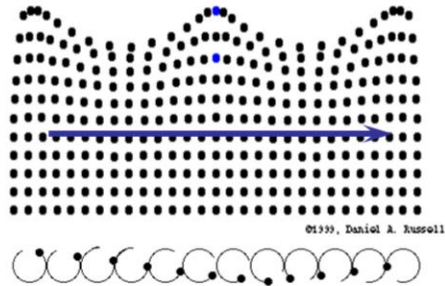


Kod **transverzalnih zvučnih talasa** je pomeranje čestica u pravcu koji je normalan na pravac prostiranja zvučnog talasa. Čestice se pomeraju **gore-dole**, bez kretanja u pravcu talasa.

**Animacija:** Kada se kraj rastegnutog kanapa pomeri gore-dole, energija se prenosi s leva na desno izazivajući da se delovi kanapa pomeraju gore-dole.

## Vrste zvučnih talasa

### KOMBINOVANI ZVUČNI TALAS



BUKA I VIBRACIJE

**Kombinovani zvučni talas** predstavlja kombinaciju longitudinalnog i transverznog zvučnog talasa.

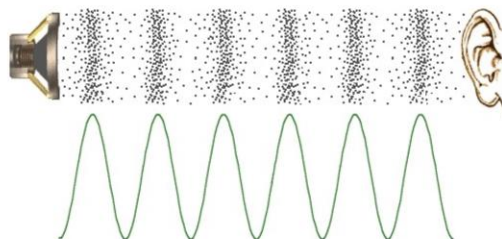
**Primer predstavljaju** talasi koji nastaju na površini tečnosti: Čestice pod dejstvom talasa izvode kružno kretanje u pravcu kazaljke na satu. Radijus kretanja čestice je manji što je veće rastojanje od površine.

**Animacija:** Kretanje talasa po površini vode čija je dubina veća od talasne dužine.

## Veličine zvučnog talasa

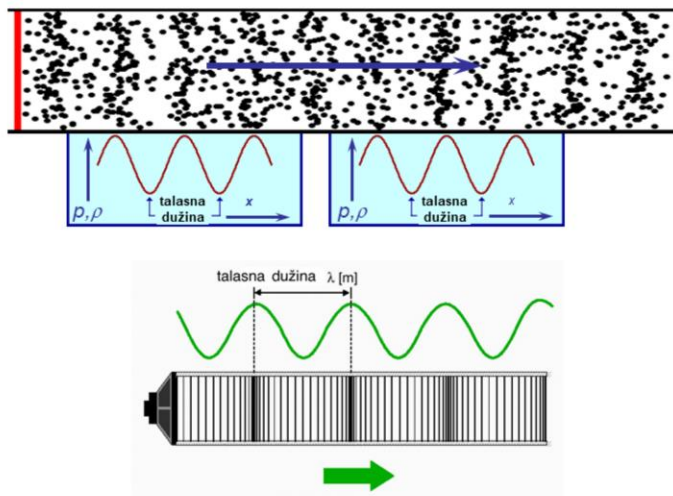
Osnovne veličine koje karakterišu zvučne talase i njihovo prostiranje:

- Talasna dužina,  $\lambda$  [m]
- Frekvencija zvuka,  $f$  [Hz]
- Period oscilovanja čestica,  $T$  [s]
- Brzina prostiranja zvuka,  $c$  [m/s]



**BUKA I VIBRACIJE**

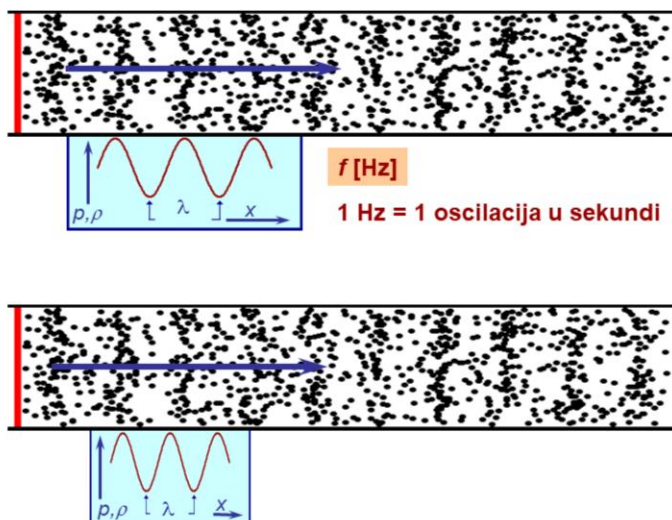
## Veličine zvučnog talasa



### BUKA I VIBRACIJE

Ako je signal sinusni, zvučni talas će se sastojati od određenog broja **maksimuma** i **minimuma**. **Talasna dužina zvuka** predstavlja rastojanje između dva maksimuma ili dva minimuma.

## Veličine zvučnog talasa



BUKA I VIBRACIJE

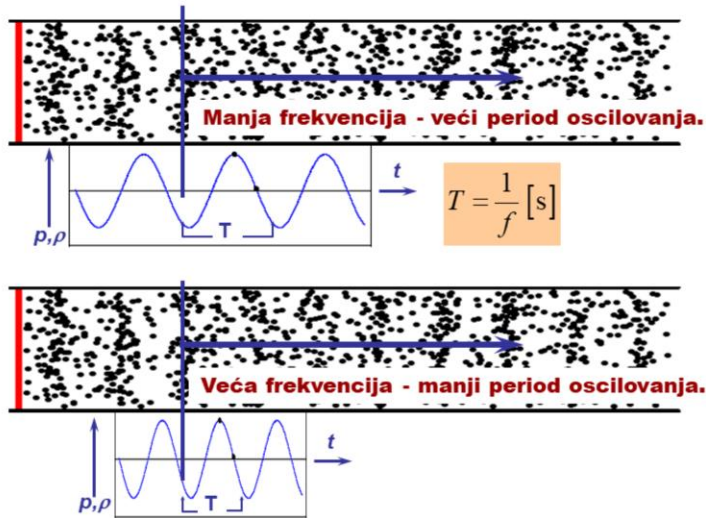
U zavisnosti od toga kako pobudna sila, odnosno kako klip kreira zvučni talas, čestice osciluju napred-nazad određenom frekvencijom. Pritom, svaka čestica osciluje istom frekvencijom.

Frekvencija zvuka zavisi od pobude.

Frekvencija zvuka definiše **koliko često** čestica osciluje oko ravnotežnog položaja.

Frekvencija zvuka  $f$  [Hz] predstavlja broj periodičnih promena položaja čestica oko ravnotežnog položaja u jednoj sekundi.

## Veličine zvučnog talasa



BUKA I VIBRACIJE

Period oscilovanja čestica je recipročna vrednost frekvencije oscilovanja:  $T = 1/f [s]$ .

**Period oscilovanja čestica  $T$**  predstavlja vreme potrebno za jedan ciklus oscilovanja čestica oko ravnotežnog položaja.

## Veličine zvučnog talasa



Frekvencija zvuka – **KOLIKO ČESTO?**

Brzina zvuka – **KOLIKO BRZO?**

Broj oscilacija koje čestica  
izvrši u jedinici vremena:

$$f = \frac{n}{t}$$

Rastojanje koje poremećaj  
pređe u jedinici vremena:

$$c = \frac{d}{t}$$

**BUKA I VIBRACIJE**

Brzina zvučnih talasa (zvuka)  $c$  [m/s] se definiše kao brzina kojom se poremećaj prenosi sa čestice na česticu.

## Veličine zvučnog talasa

Brzina zvuka zavisi od:

- Inercionih osobina sredine (masa, gustina):

$$\rho_1 > \rho_2 \Rightarrow c_1 < c_2$$

- Elastičnih osobina sredine (deformabilnost, elastičnost, fleksibilnost):

$$c_{\text{čvrsta tela}} > c_{\text{tečnost}} > c_{\text{gas}}$$

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p_s}{\rho_s}}, \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

$p_s$  – pritisak sredine u stacionarnom stanju;

$\rho_s$  – gustina sredine u stacionarnom stanju;

$c_p$  – specifična toplota pri stalnom pritisku;

$c_v$  – specifična toplota pri stalnoj zapremini;

**BUKA I VIBRACIJE**

Brzina zvuka zavisi od:

- Inercionih osobina sredine (masa, gustina):  
Npr., prostiranje zvuka je tri puta brže u helijumu nego u vazduhu.
- Elastičnih osobina sredine (deformabilnost, elastičnost, fleksibilnost):  
Iako čvrsta tela imaju veću gustinu, jača veza između čestica čvrstih tela utiče da brzina zvuka kroz čvrsta tela bude najveća.

## Veličine zvučnog talasa

Brzina zvuka  $c$  [m/s] u različitim sredinama:

| Materijal  | U masivu | U šipkama i pločama |
|------------|----------|---------------------|
| Aluminijum | 6300     | 5150                |
| Bakar      | 5000     | 3700                |
| Gvožđe     | 4350     | 3700                |
| Čelik      | 6100     | 5050                |
| Olovo      | 2050     | 1200                |
| Staklo     | 5600     | 5200                |
| Beton      | 3100     | -                   |
| Led        | 3200     | -                   |
| Pluta      | 500      | -                   |
| Hrastovina | 4000     | -                   |
| Borovina   | 3500     | -                   |
| Tvrda guma | 2400     | 1450                |
| Meka guma  | 1050     | 70                  |

|          |                 |           |
|----------|-----------------|-----------|
| Gasovi   | CO <sub>2</sub> | 258 - 268 |
|          | Kiseonik        | 317       |
|          | Vodonik         | 1270      |
| Tečnosti | Alkohol         | 1150      |
|          | Živa            | 1450      |
|          | Ulje            | 1540      |
|          | Glicerin        | 1980      |

**BUKA I VIBRACIJE**

## Veličine zvučnog talasa

Brzina zvuka u funkciji temperature sredine:

$$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273}}$$

$c_0$  – brzina zvuka pri  $T = 273 \text{ K}$ ;

$T$  – apsolutna temperatura u K;

$$c = c_0 + 0.6\theta$$

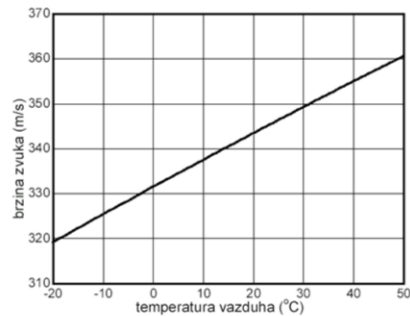
$c_0$  – brzina zvuka pri  $\theta = 0^\circ\text{C}$ ;

$\theta$  – temperatura u  $^\circ\text{C}$ ;

**Vazduh:**

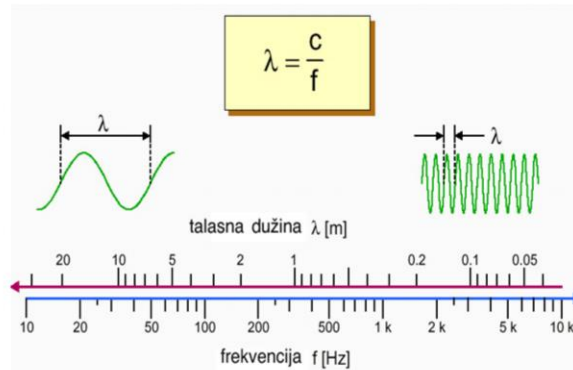
$$c = 331 + 0.6\theta$$

$$c = 340 \text{ m/s}$$



**BUKA I VIBRACIJE**

## Veličine zvučnog talasa



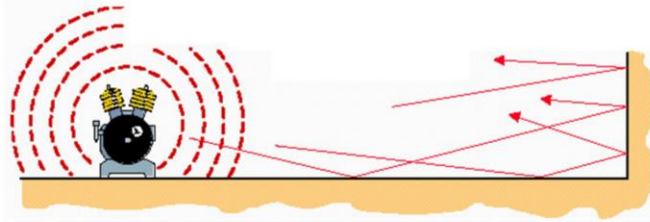
**Frekvencija i talasna dužina zvuka su međusobno zavisne veličine:**

|                |       |        |       |        |        |
|----------------|-------|--------|-------|--------|--------|
| frekvencija    | 20 Hz | 100 Hz | 1 kHz | 10 kHz | 20 kHz |
| talasna dužina | 17 m  | 3,4 m  | 34 cm | 3,4 cm | 1,7 cm |

**BUKA I VIBRACIJE**

Iako se brzina zvuka može izračunati iz prikazane jednačine, **brzina zvuka ne zavisi od talasne dužine i frekvencije**

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa



Prostiranje zvučnih talasa je praćeno pojavama koje su posledica:

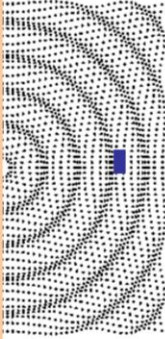
- ♦ **Susreta zvućnog talasa sa preprekom:** Refleksija zvućnih talasa;  
Difrakcija zvućnih talasa;  
Difuzija zvućnih talasa;
- ♦ **Pojava u samoj sredini:** Refrakcija zvućnih talasa;  
Disipacija zvućne energije;
- ♦ **Kretanja izvora:** Doplerov efekat;

**BUKA I VIBRACIJE**

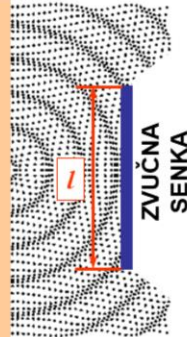
## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

### Refleksija zvučnih talasa

Talasna  
dužina  
zvučnog  
talasa  
MNOGO  
VEĆA  
od širine  
prepreke.



Talasna  
dužina  
zvučnog  
talasa  
MNOGO  
MANJA  
od širine  
prepreke.



Uslov za nastanak  
refleksije:

$$\lambda < \frac{l}{4}$$

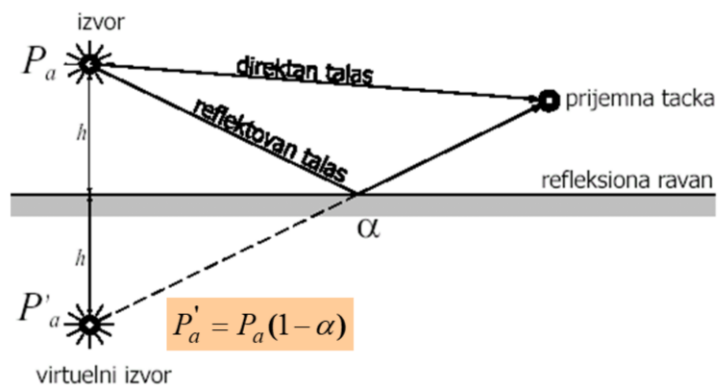
BUKA I VIBRACIJE

**Refleksija zvučnih talasa** je pojava nagle promene pravca prostiranja zvučnog talasa pri nailasku na diskontinuitet sredine – prepreku.

**Uslov za nastanak refleksije:** Talasna dužina zvučnog talasa mora da bude mnogo manja od veličine prepreke.

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

### MODELOVANJE REFLEKSIJE ZVUKA

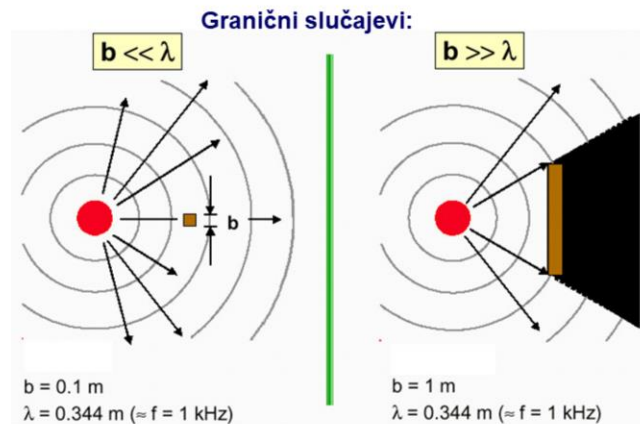


BUKA I VIBRACIJE

Dejstvo reflektovanih talasa se može zameniti **virtuelnim izvorom**, tehnikom *lik u ogledalu*.

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

### Difrakcija zvučnih talasa

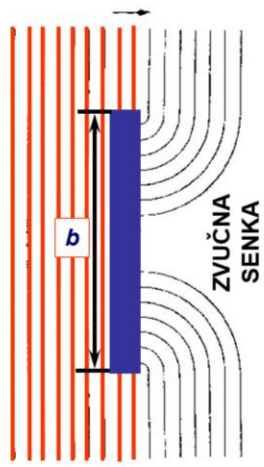


BUKA I VIBRACIJE

**Difrakcija zvučnih talasa** je pojava savijanja zvučnih talasa oko ivica prepreke na koju nailazi. Objašnjenje: *Haygensov princip* – Svaka tačka pogođena talasnim frontom postaje tačkasti izvor.

Ako je prepreka znatno manja od talasne dužine, prepeka neće imati bilo kakav uticaj na prostiranje zvučnih talasa.

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

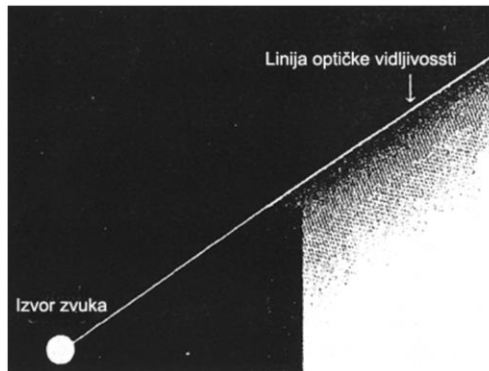


$\lambda < \frac{b}{4}$  Nema difrakcije – stvara se zvučna senka.

Uslov za difrakciju:

$$\frac{\lambda}{10} \leq b \leq 4\lambda$$

$$\frac{b}{4} < \lambda < 10b$$



**BUKA I VIBRACIJE**

Ukoliko su ispunjeni uslovi za difrakciju, zvučni talasi zaobilaze prepreku i menjaju smer širenja.

Stepen difrakcije zavisi od odnosa talasne dužine i dimenzija prepreke - što je odnos manji, difrakcija je veća i uočljivije je formiranje zvučne senke.

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

Visoka frekvencija – mala  
talasna dužina ( $\lambda < b/4$ )

Nema difrakcije



Zvuk se savija i dopire iza prepreke  
kao da prepreka ne postoji

Niska frekvencija – velika  
talasna dužina ( $\lambda > 10b$ )



Uslov za  
difrakciju  
zvučnih talasa:

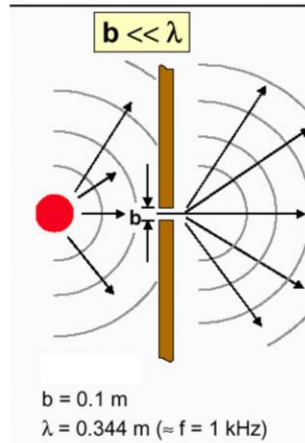
$$\frac{\lambda}{10} \leq b \leq 4\lambda$$
$$\frac{b}{4} < \lambda < 10b$$

BUKA I VIBRACIJE

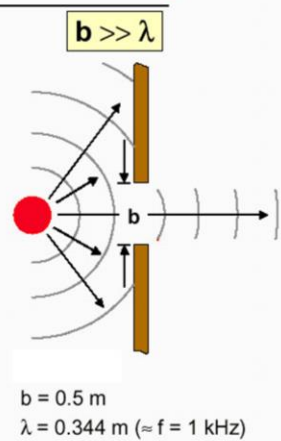
## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

### Difuzija zvučnih talasa

Uslov za nastanak difuzije:



Nema difuzije:



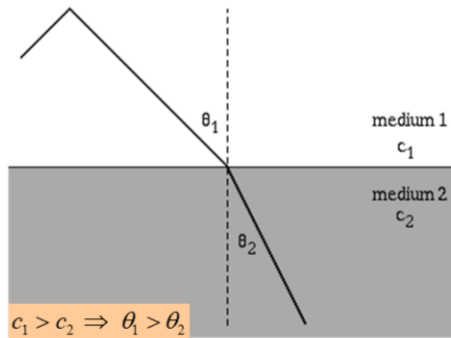
BUKA I VIBRACIJE

**Difuzija zvučnih talasa** je specijalni slučaj **difrakcije**, kada zvučni talas prolazi kroz otvore čije su dimenzije male u poređenju sa talasnom dužinom. Zračenje iza otvora je skoro identično zračenju originalnog izvora.

Objašnjenje: *Haygensov princip* – Svaka tačka pogođena talasnim frontom postaje tačkasti izvor.

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

### Refrakcija zvučnih talasa



Fresnelov zakon:  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2}$

BUKA I VIBRACIJE

**Refrakcija zvučnih talasa** je pojava savijanja ili prelamanja zvučnih talasa, odnosno odstupanje od pravolinijskog kretanja.

Za nastanak refrakcije je potrebno prostiranje zvučnih talasa kroz nehomogenu sredinu, ili prelazak iz jedne u drugu sredinu sa različitim brzinama prostiranja zvučnih talasa.

**Fresnelov zakon kaže da** veličina promene smera zavisi od odnosa brzina prostiranja zvučnih talasa kroz različite sredine.

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa

### Disipacija zvučne energije

Uzroci disipacije zvučne energije:

- ✦ Viskoznost fluida.
- ✦ Lokalno odvođenje toplote.
- ✦ Rezonansa u molekulima.

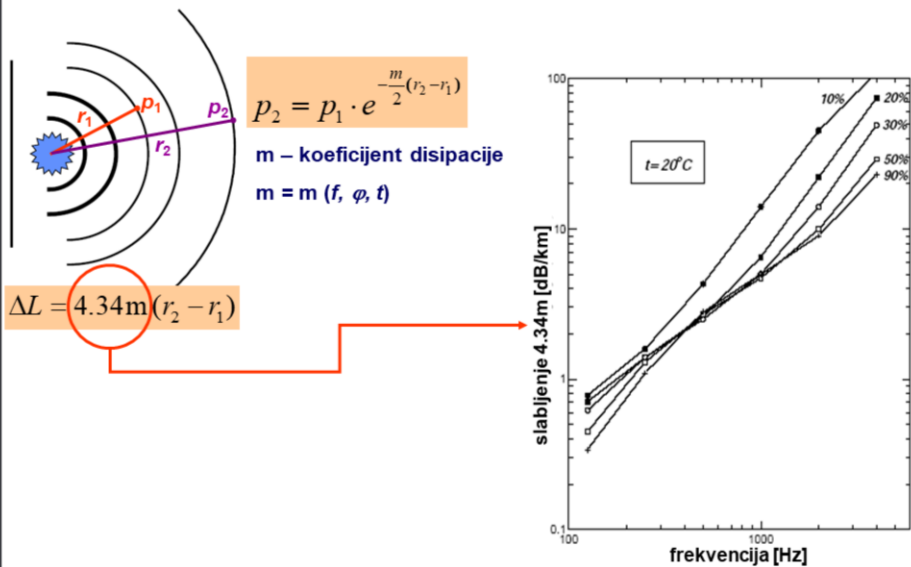
BUKA I VIBRACIJE

**Disipacija zvučne energije** predstavlja proces gubljenja zvučne energije, tj. njenog nepovratnog pretvaranja u drugi oblik pri prostiranju zvučnih talasa.

Uzroci disipacije zvučne energije:

- **Viskoznost fluida.** Viskozni gubici u gasovima, osim u domenu ultrazvuka, su vrlo mali.
- **Lokalno odvođenje toplote.** Gubici su takođe mali.
- **Rezonansa u molekulima.** Molekularni gubici su najznačajniji na čujnim frekvencijama.

## Pojave pri prostiranju zvučnih talasa



BUKA I VIBRACIJE

Proces disipacije zvučne energije podrazumeva da se na jediničnoj dužini puta talasa gubi fiksni procenat njegove trenutne energije.

Zbog toga se slabljenje energije sa pređenim putem usled disipacije odvija po eksponencijalnom zakonu, kao što je prikazano gornjim izrazom.

Slabljenje nivoa zvuka usled disipacije zvučne energije je izuzetno veliko na visokim frekvencijama, pa je domet zvuka na tim frekvencijama je mali.

## Pitanja za proveru znanja



1. Kako nastaje zvuk?
2. Koje su funkcije zvuka?
3. Definisati zvuk.
4. Definisati buku.
5. Kako se vrši prostiranje zvuka?
6. Koje su vrste zvučnih talasa?
7. Koje su osnovne veličine zvučnog talasa?
8. Objasniti pojave pri prostiranju zvučnih talasa.

**BUKA I VIBRACIJE**