

# ТАЛАСИ

Понедељак, 17. децембар, 2012.

- Основне величине потребне за описивање таласног кретања
- Трансверзални и лонгитудинални таласи
- Суперпозиција и интерференција  
Стојећи таласи. Избијања
- Енергија таласа. Интензитет
- Акустика

1

---

---

---

---

---

---

---

---

# Таласи

- таласно кретање на води не преноси се вода већ се деформација преноси



- таласи
  - механички
    - акустички, таласи на води
  - електромагнетни
    - видљива светлости, ИЦ, УВ, ...

2

---

---

---

---

---

---

---

---

# Таласи

- Да би могао да постоји механички талас мора да постоје
  - извор поремећаја
  - средина кроз коју се простире
  - физичка веза између делића средине



3

---

---

---

---

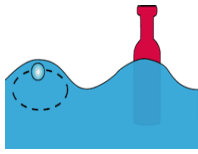
---

---

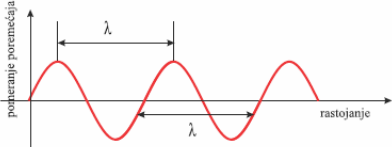
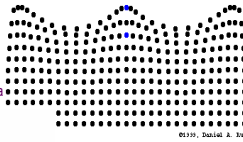
---

---

## Величине потребне за описивање таласног кретања



- боца која плута по језеру – подиже се и спушта у ритму подизања и спуштања таласа
  - брег таласа-тачка у којој је померање делића воде максимално
- зависно од начина настанка растојање суседних брегова неће бити исто код свих таласа. Уводи се
  - таласна дужина – удаљеност два суседна брега
  - таласна дужина генералније – удаљеност два дела средине који су у истој фази осциловања




---

---

---

---

---

---

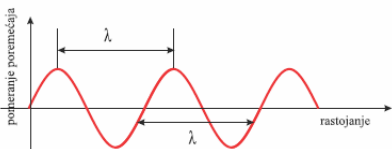
---

---

## Величине потребне за описивање таласног кретања

- боца која плута по језеру – подиже се и спушта у ритму подизања и спуштања таласа
- време између наилаза два суседна брега таласа – период таласа
- број брегова таласа који прођу кроз дату тачку у простору у јединици времена – фреквенција
- максимално померање делића средине, од њиховог равнотежног положаја – амплитуда таласа
- брзина таласа – зависи од особина средине

$$u = \frac{\lambda}{T}$$




---

---

---

---

---

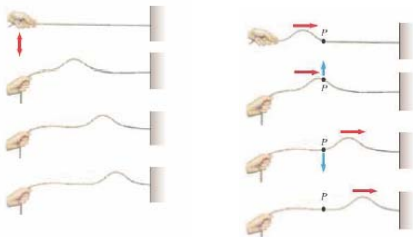
---

---

---

## Трансверзални и лонгитудинални таласи

- Прогресивни таласи код којих се делићи средине крећу у правцу нормалном на простирање таласа називају се трансверзални таласи




---

---

---

---

---

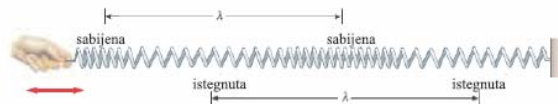
---

---

---

## Трансверзални и лонгитудинални таласи

- Прогресивни таласи код којих се делићи средине крећу паралелно кретању таласа, називају се лонгитудинални таласи
- пример
  - звук у ваздуху
- пример таласа који има обе компоненте – и трансверзалну и лонгитудиналну
  - земљотрес



7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Суперпозиција и интерференција

- талас из извора у коме се врши просто хармонијско осциловање је синусоидалан
- у природи обично постоји више извора па исти делићи средине бивају истовремено захваћени са више таласа одједном
- збирно понашање-збир деловања када би у тај део средине дошли таласи независно
- сабирање-суперпозиција




---

---

---

---

---

---

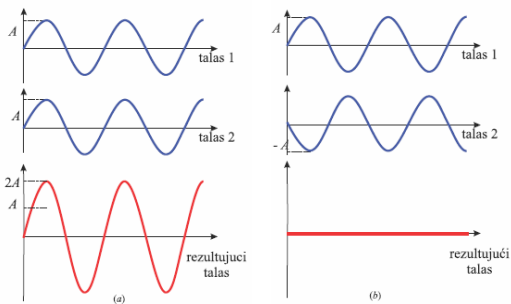
---

---

---

---

## Конструктивна и деструктивна интерференција – идентични таласи




---

---

---

---

---

---

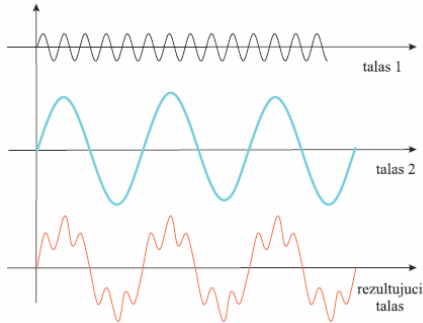
---

---

---

---

## Конструктивна и деструктивна интерференција – различити таласи



10

---

---

---

---

---

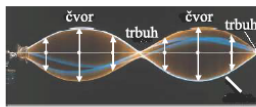
---

---

---

## Стојећи таласи

- начин осциловања делова средине се не мења са временом.



Slika 8.8: Multifleš fotografija stojećeg talasa na žici.

11

---

---

---

---

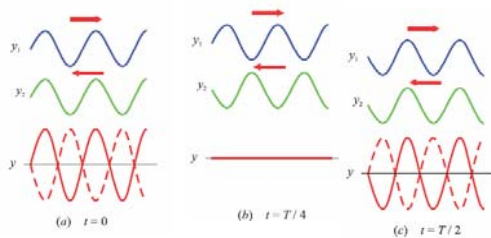
---

---

---

---

## Стојећи таласи



Slika 8.9: Oblik stojećeg talasa u raznim momentima vremena.

12

---

---

---

---

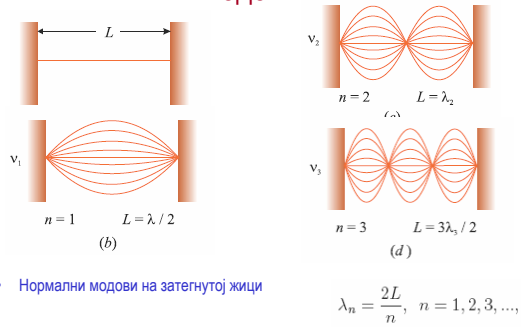
---

---

---

---

## Стојећи таласи на жици – нормални модови




---

---

---

---

---

---

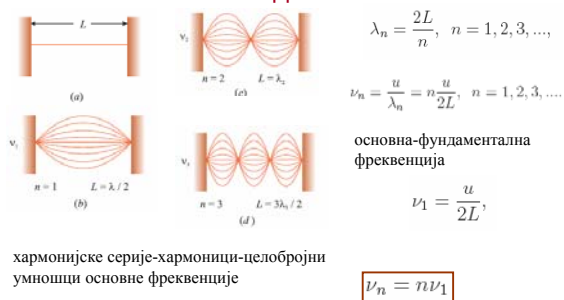
---

---

---

---

## Стојећи таласи на жици – нормални модови




---

---

---

---

---

---

---

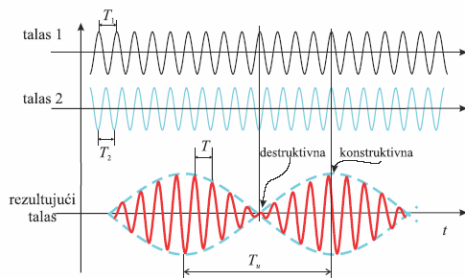
---

---

---

## Избијања-удари

суперпонирање два таласа блиских фреквенција-даје талас чија фреквенција је једнака средњој вредности њихових фреквенција и чија амплитуда флукутира (мења се)-избијања.




---

---

---

---

---

---

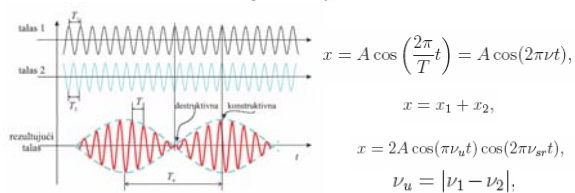
---

---

---

---

## Избијања-удари



$$x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = A \cos(2\pi\nu t),$$

$$x = x_1 + x_2,$$

$$x = 2A \cos(\pi\nu_a t) \cos(2\pi\nu_{sr} t),$$

$$\nu_a = |\nu_1 - \nu_2|,$$

16

---

---

---

---

---

---

---

---

## Енергија таласа. Интензитет

- Чињенице
  - Земљотрес велике амплитуде може да уништи цео град
  - интензивни звук може да уништи слушне ћелије у увету
  - ласерски снап довољно великог интензитета може да спали ћелије
  - водени таласи мењају облик обале коју заплускују
- Ослобођена енергија-ефекти зависе од
  - амплитуде таласа

$$1/2kx^2,$$

17

---

---

---

---

---

---

---

---

## Енергија таласа. Интензитет

- Ослобођена енергија-ефекти зависе од
  - амплитуде таласа
  - зависе и од времена (дуже деловање има јачи ефекат)
  - као и од тога кроз колику област у простору се талас пренео (земљотрес је све слабији и слабији што смо даље од центра)
- Све побројано је укључено у дефиницију интензитета таласа
  - однос снаге таласа и површине кроз коју пролази

$$I = \frac{P}{S},$$

$$I = \frac{P}{S} = \frac{E/t}{S} = \frac{E}{St}.$$

18

---

---

---

---

---

---

---

---

## Акустика

- Звук – механички талас
- акустика се бави проучавањем услова настанка, простирања звука, интеракцијом са средином и телима у њој, ...
- звук – поремећај у материјалној средини – поремећај у поретку атома – настаје осцилација која се преноси на суседне атоме, итд. .
- у зависности од средине
  - лонгитудинални – у флуиду и у чврстом агрегатном стању
  - трансверзални – у чврстом стању – не и у флуиду

19

---

---

---

---

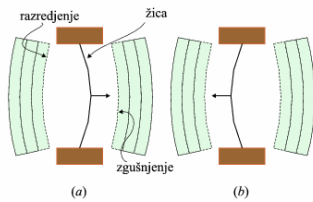
---

---

---

---

## Настанак звука



Slika 9.12: Oscilovanje žice stvara talas. (a) Kada se креће на десно сабија ваздух испред а разреджује га иза себе. (b) Kada se креће на лево ствара још један низ разредjenja i згушњенja.

---

---

---

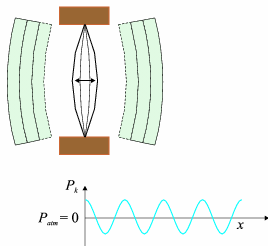
---

---

---

---

---



Slika 9.13: Након више осцилација, ствара се низ згушњенja i разредjenja, односно звучни талас. На графику је приказана промена калибрисаног притиска  $P_k$  у зависности од удаљености  $x$  од извора звука. У случају уобичајених звучних таласа рећ је о малим одступањима притиска од атмосферског, односно о малим вредностима калибрисаног притиска.

---

---

---

---

---

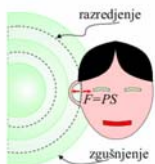
---

---

---

## Како чујемо звук?

- Звук изазове принудне осцилације у нашем уху, ...



Slika 9.14: Звучни талас који долази до човека изазива принудно осциловање бубне опне.

22

---

---

---

---

---

---

---

---

## Брзина, фреквенција, таласна дужина

- Колика је брзина звука ( $u$ ) у поређењу са брзином светлости? Имамо субјективан осећај
- Фреквенција ( $\nu$ ) – региструјемо је субјективно као висину звука
- таласна дужине ( $\lambda$ ) - немамо субјективну перцепцију, али....
  - мањи инструменти генеришу звук какве фреквенције?
    - веће фреквенције али зато мање таласне дужине
  - већи инструменти ?
    - мање фреквенције али веће таласне дужине – као и људи

23

---

---

---

---

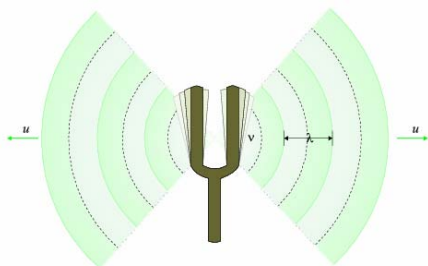
---

---

---

---

$$u = \nu \lambda.$$



Slika 9.15: Звучни талас који се простире брзином  $u$  и има таласну дужину  $\lambda$  настао услед осциловања извора (звучне виљушке) фреквенцијом  $\nu$ .

24

---

---

---

---

---

---

---

---



sredina	$u$ (m/s)	sredina	$u$ (m/s)
<i>gasovi na 0 °C</i>			
		<i>cvrsta tela</i>	
vazduh	331	guma	54
ugljen dioksid	259	polietilen	920
kiseonik	316	mermer	3810
helijum	965	staklo	5640
vodonik	1290	olovo	1960
		aluminijum	5120
		čelik	5960
<i>tečnosti na 20 °C</i>			
etanol	1160		
živa	1450		
voda	1480		
morska voda	1540		
ljudsko tkivo	1540		

Tabela 9.1: Brzina zvuka u različitim sredinama.

25

- брзина звука у ваздуху

$$u = (331 \text{ m/s}) \sqrt{\frac{T}{273 \text{ K}}}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

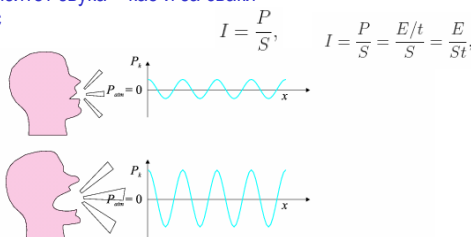
---

---

---

## Интензитет и ниво звука

- Интензитет звука – као и за сваки талас



Slika 9.16: Grafik promene kalibrisanog pritiska za dva izvora zvuka različitih intenziteta. Izvor koji osciluje većom amplitudom formira zvučni talas većeg intenziteta.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Интензитет звука и ниво звука

- граничне вредности интензитета
  - праг чујности (на 1000 Hz)  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .
  - праг бола  $I = 1 \text{ W/m}^2$ .
- реакција људског ува није таква да може да прави разлику у толиком распону и на такав начин
- људско уво реагује логаритамски – уводи се нова величина – ниво звука  $L(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$ ,

27

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

primer/efekat	$I$ ( $W/m^2$ )	$L$ (dB)
prag čujnosti	$1 \times 10^{-12}$	0
šuštanje lišća	$1 \times 10^{-11}$	10
šaputanje na 1 m udaljenosti	$1 \times 10^{-10}$	20
tišina u kući	$1 \times 10^{-9}$	30
prosečna buka u kući	$1 \times 10^{-8}$	40
prosečna buka u kancelariji, lagana muzika	$1 \times 10^{-7}$	50
razgovor	$1 \times 10^{-6}$	60
bučna kancelarija, gust saobraćaj	$1 \times 10^{-5}$	70
glasno odvrnut radio	$1 \times 10^{-4}$	80
unutrašnost metroa (posledice prilikom duže izloženosti)	$1 \times 10^{-3}$	90
najbučnije fabrike (posledice prilikom izloženosti 8 h dnevno)	$1 \times 10^{-2}$	100
posledice prilikom izloženosti 30 min dnevno	$1 \times 10^{-1}$	110
prag bola, glasni rok koncerti, pneumatski čekić udaljen 2 m (posledice prilikom izloženosti u trajanju od sekunde)	1	120
mlazni avion na 30 m udaljenosti	$1 \times 10^2$	140
pucanje bubne opne	$1 \times 10^4$	160

---

---

---

---

---


---

---

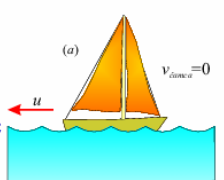
---

---

---


  
**Доплеров ефекат**

- ефекат повећања фреквенције сирене амбулантних кола када се крећу ка нама и њеног смањења када се крећу од нас
- пример – чамац на води
- $T=3$  секунде нпр. – сваке три секунде на чамац наиђе брег таласа



(a)  $v_{\text{чамца}} = 0$

29

---

---

---

---

---

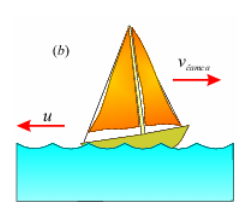
---

---

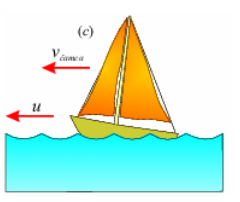
---

---

---



(b)



(c)

30

---

---

---

---

---

---

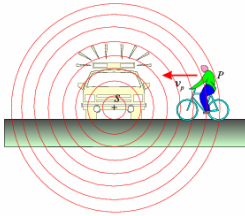
---

---

---

---

### Доплеров ефекат – звук у ваздуху



- посматрач се креће ка извору брзином  $v_p$
- еквивалентно ситуацији  $u' = u + v_p$
- фреквенција коју он региструје је  $\nu' = \frac{u'}{\lambda} = \frac{u + v_p}{\lambda}$ .

$$\lambda = u/\nu,$$

$$\nu' = \left(1 + \frac{v_p}{u}\right) \nu \text{ (posmatrač se kreće ka izvoru)}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

### Доплеров ефекат – звук у ваздуху

- посматрач се креће ка извору брзином  $v_p$

$$\nu' = \left(1 + \frac{v_p}{u}\right) \nu \text{ (posmatrač se kreće ka izvoru)}$$

- посматрач се креће од извора брзином  $v_p$

$$\nu' = \left(1 - \frac{v_p}{u}\right) \nu \text{ (posmatrač se kreće od izvora)}$$

$$\nu' = \left(1 \pm \frac{v_p}{u}\right) \nu,$$

32

---

---

---

---

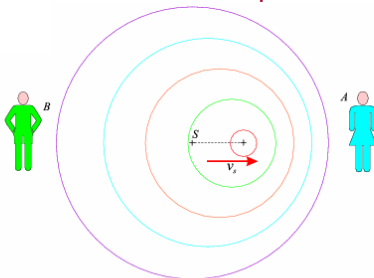
---

---

---

---

### Доплеров ефекат – кретање извора



Slika 9.19: Izvor  $S$  се креће брзином  $v_s$  ка стационарном посматрачу  $A$ , односно од такође стационарног посматрача  $B$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

- таласни фронтови које прима посматрач А су ближи него када извор мирује
- за време од једног периода (T), извор пређе пут  $v_s T = v_s / \nu$  па му је таласна дужина  $\lambda' = \lambda - v_s / \nu$
- фреквенција звука који прима посматрач је

$$\nu' = \frac{u}{\lambda'} = \frac{u}{\lambda - \frac{v_s}{\nu}} = \frac{u}{\nu - \frac{v_s}{\nu}}$$

$$\nu' = \frac{1}{1 - \frac{v_s}{u}} \nu$$

34

---

---

---

---

---

---

---

---

- за посматрача А  $\nu' = \frac{1}{1 - \frac{v_s}{u}} \nu$
- док је за посматрача В  $\nu' = \frac{1}{1 + \frac{v_s}{u}} \nu$
- укупно  $\nu' = \frac{1}{1 \mp \frac{v_s}{u}} \nu$
- Формула која обједињује све случајеве (горњи знак за приближавање а доњи за удаљавање)

$$\nu' = \frac{u \pm v_p \nu}{u \mp v_s}$$

35

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ударни таласи

- брзина извора звука може да буде било која
  - мања од брзине звука
  - једнака
  - већа од ње

$v_s < u$

$v_s = u$

$v_s > u$

---

---

---

---

---

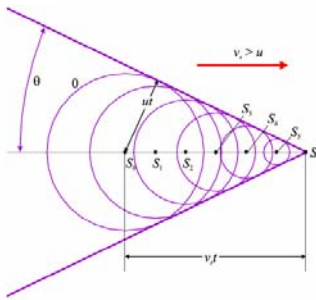
---

---

---

$$\sin \theta = \frac{ut}{v_s t} = \frac{u}{v_s}$$

$v_s/u$  se naziva *Mahov broj*,



Slika 9.21: Zvuk iz izvora koji se kreće brže od zvuka se širi sferno od tačke u kojoj je emitovan. Konstruktivna interferencija se događa duž linija koje su prikazane stvarajući udarni talas.

---

---

---

---

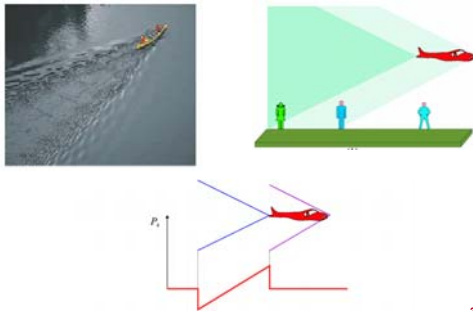
---

---

---

---

### Ударни талас – конусни таласни фронт облика слова V



Slika 9.23: Razlika u kalibrisanom pritisku na kljumu i repu aviona

38

---

---

---

---

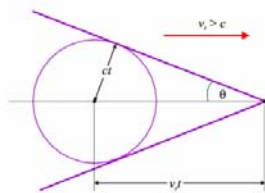
---

---

---

---

- Ударни талас се јавља код свих таласа
- код светлости се назива Черенковљево зрачење



Slika 9.24: Черенковљево зрачење је светлост коју зрачи subatomska čestica krećući se brzinom većom od brzine svetlosti u datoj sredini. Ovaј svetlosni talas se, kao i u slučaju zvučnog talasa, širi u obliku konusa.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Интерференција и резонанца звучних таласа. Стојећи таласи

- интерференција – карактеристика таласних процеса – кад год је откријемо дати процес је обавезно таласног типа
- интерференција – примена – смањење буке емитовањем додатних таласа који деструктивно интерферирају са непожељнима

40

---

---

---

---

---

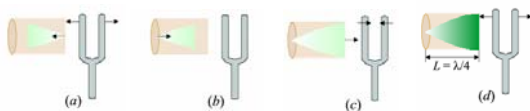
---

---

---

## Интерференција у музици

- само таласи одређене фреквенције ће интерферирати конструктивно и појачати се



41

---

---

---

---

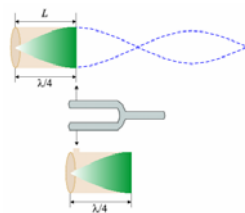
---

---

---

---

- реч је о природним фреквенцијама резонатора
- на претходној слици се то дешавало на најнижој природној фреквенцији
- то се дешава независно од места на коме се налази звучна виљушка



42

---

---

---

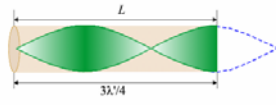
---

---

---

---

---



Slika 9.27: Naredna rezonanca cevi zatvorene na jednom kraju. Talasna dužina je kraća i iznosi  $\lambda = 4L/3$ .

- najniža frekvencija – fundamentalna – osnovna
- sve nose ime **harmonici**

43

---

---

---

---

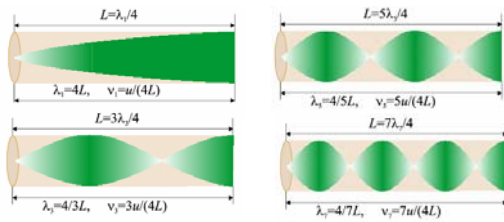
---

---

---

---

### Први и наредна три хармоника цеви затворене на једном крају



- резонантне фреквенције су

$$\nu_n = n \frac{u}{4L}, \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

44

---

---

---

---

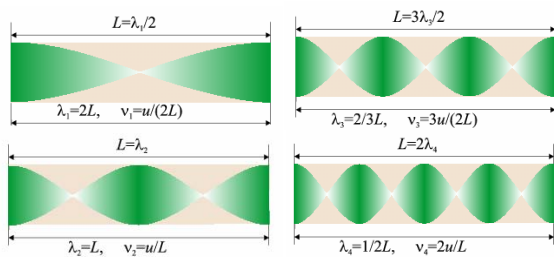
---

---

---

---

### Резонантне фреквенције цеви отворене на оба краја



$$\nu_n = n \frac{u}{2L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

45

---

---

---

---

---

---

---

---

# Спектар

- тон (периодичан)
  - прост
  - сложен – може да се разложи на просте
- шум – није периодичан и не може да се разложи на просте тоне
- разлагањем се добија **спектар**
- ако нас интересују амплитуде за разне фреквенције добија се **амплитудни спектар**
- тон – спектар је линијски – једна или више фреквенција
  - једна фреквенција- прост тона
  - више фреквенција – сложени тон

46

---

---

---

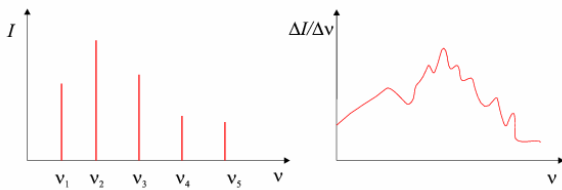
---

---

---

---

---



Slika 9.30: Spektar тона i шума.

47

---

---

---

---

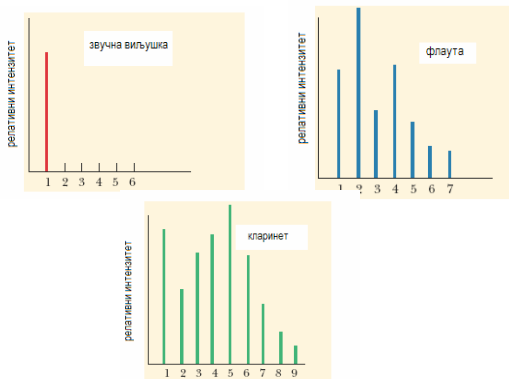
---

---

---

---

## Хармонијска анализа – откривање хармоника који су садржани у тону



48

---

---

---

---

---

---

---

---



- Основне карактеристика сваког тона
  - висина, боја и интензитет
- висина – одређена фреквенцијом основног хармоника
- боја – свим хармоницима
- интензитет тона – збир интензитета присутних хармоника

49

---

---

---

---

---

---

---

---

## Чуло говора

- чине га
  - плућа, душник, гркљан са гласним жицама, ждрело са ресицом, усна и носна шупљина - вокални тракт
- гласови – фонетска подела
  - самогласници и сугласници

50

---

---

---

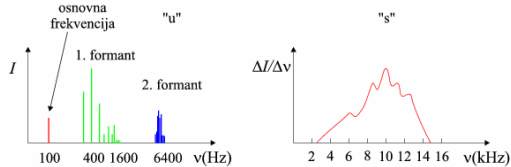
---

---

---

---

---



Slika 9.31: Spektri samoglasnika "u" i suglasnika "s".

- самогласници – линијски спектар
  - форманти – истакнути хармоници
- сугласници – не
- основна фреквенција гласова људи
  - 125 Hz (мушкарци), 250 Hz (жене) и 300 Hz(деца)

51

---

---

---

---

---

---

---

---

samoglasnik	1. formant	2. formant
U	200-400 Hz	
O	400-800 Hz	
A	700-1200 Hz	
E	400-700 Hz	1800-2500 Hz
I	200-400 Hz	2200-3200 Hz

Tabela 9.4: Raspored prva dva formanta u vokalima srpskog jezika.

52

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Чуло слуха

- њиме чујемо и одређујемо
  - висину, јачину звука и смер из кога долази
- распон фреквенција које чујемо од 20 до 20 000 Hz
- испод 20 Hz је инфразвук
- изнад 20 000 Hz је ултразвук

perpcija	fizička veličina
visina	frekvencija
glasnost zvuka	intenzitet i frekvencija
boja	broj i relativni intenzitet različitih frekvencija

Tabela 9.5: Percepiranje zvuka.

53

---

---

---

---

---

---

---

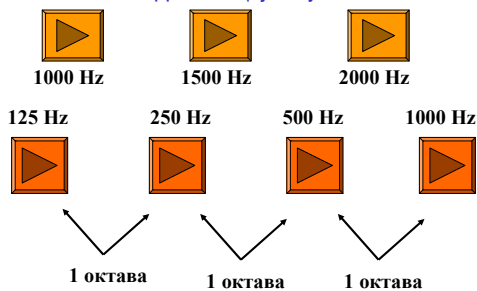
---

---

---

## Субјективна јачина звука

- ниво звука није права мера јер осећај јачине зависи и од фреквенције звука!



54

---

---

---

---

---

---

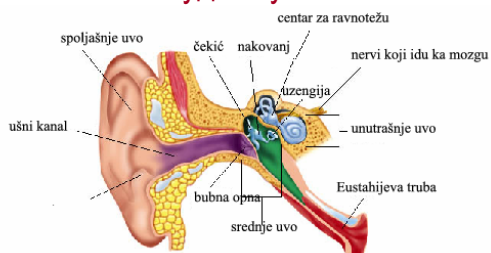
---

---

---

---

## Људско уво



55

---

---

---

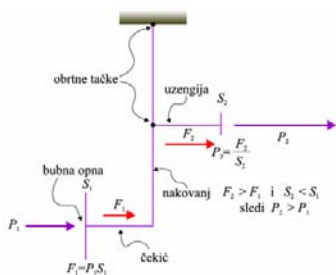
---

---

---

---

---



Slika 9.35: Šematski prikaz sistema srednjeg uva koji konvertuje pritisak zvuka u silu, povećava je preko sistema poluga i tako uvećanu je primenjuje na manju površinu kohlce, stvarajući pritisak na njoj koji je 40 puta veći od onog u originalnom zvučnom talasu.

56

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ултразвук

- звук фреквенције веће од 20 000 Херца
- примена – аларми, користе га и животиње за оријентацију и комуникацију
- због високе фреквенције, таласна дужина му је мала па се, слично светлости, простира по правој линији, не дифрактује и мало се апсорбује
- интензитета  $10^3$  до  $10^5 \text{ W/m}^2$  – за разбијање "камења" у организму и за уништавање канцерогених ткива – мења пропустљивост ћелијских мембрана (кавитација)
- физикална терапија – због дијатермије – дубинско загревање ткива

57

---

---

---

---

---

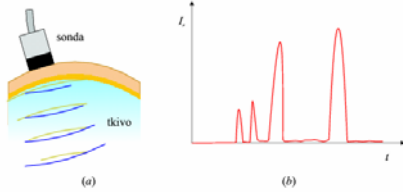
---

---

---

## Ултразвук

- у медицинској дијагностици – мањи интензитет
- користи се одјек – ехо о ткива различитих густина



Slika 9.37: (a) Princip ultrazvučnih pregleda. (b) Grafik intenziteta odbijenog ultrazvuka od vremena.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ултразвук

- у индустрији
- за испитивање материјала у машинству
- за чишћење
- као катализатор
- за заштиту од глодара, комараца и змија
- у биологији за откривање и праћење морских животиња, ...

59

---

---

---

---

---

---

---

---