

Ljudski sluh

Mikulić, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:589961>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MARTINA MIKULIĆ

LJUDSKI SLUH

Diplomski rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MARTINA MIKULIĆ

LJUDSKI SLUH

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku radi stjecanja
akadenskog naziva MAGISTRA EDUKACIJE FIZIKE I INFORMATIKE

Osijek, 2017.

"Ovaj diplomski rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom doc. dr. sc. Denisa Stanića u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku".

SADRŽAJ

Sažetak	VI
Abstract	VII
1. Uvod	1
2. Akustika.....	2
3. Valovi	4
3.1. Općenito o valovima	4
3.2. Pojave koje prate valove.....	5
3.3. Interferencija	6
3.4. Rezonancija	6
3.5. Vrste valova.....	7
3.6. Prigušeno i prisilno titranje	8
4. Zvuk	9
4.1. Izvor zvuka	9
4.1.1. Huygensovo načelo	10
4.1.2. Glazbena vilica	10
4.2. Zvučni tlak.....	10
4.3. Brzina zvuka	11
4.4. Dopplerov efekt.....	13
4.5. Jakost zvuka i razina jakosti zvuka	13
4.6. Frekvencija zvučnih valova.....	14
4.7. Osjet zvuka	14
5. Uho	16
5.1. Građa uha	17
5.2. Uloga dijelova uha u sluhu.....	19
5.2.1. Vanjsko uho.....	19
5.2.2. Srednje uho.....	20
5.2.3. Unutarnje uho	21
6. Gubitak sluha.....	23
6.1. Ispitivanje sluha.....	23
6.2. Slušni aparati	25
6.3. Zaštita sluha.....	26
7. Nastava fizike u osnovnoj školi.....	27
8. Zaključak.....	40

9. Literatura	41
Životopis.....	44

LJUDSKI SLUH

MARTINA MIKULIĆ

Sažetak

Znanost koja se bavi proučavanjem zvuka naziva se akustika. Za razvoj akustike prvo je trebalo objasniti valove i valne pojave. Pojave poput ogiba, odbijanja, loma, rezonancije ili Dopplerovog efekta koje vrijede za valove mogu se primijeniti i na zvuk, koji je jedna vrsta vala. Zvuk se prenosi zrakom do vanjskog uha, u srednjem uhu se pojačava, a u unutarnjem se pretvara u električni impuls koji putuje živcem do mozga. Kada se govori o sluhu najčešće se spominje gubitak sluha. Ovisno o oštećenju moguće je poboljšati sluh. Sluh je moguće povezati s nastavnim jedinicama fizike u osnovnoj školi.

(44 stranice, 15 slika, 2 tablice, 37 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: akustika / uho / valovi / zvuk

Mentor: doc. dr. sc. Denis Stanić

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Maja Varga Pajtler, predsjednica
doc. dr. sc. Denis Stanić, mentor
mr. sc. Slavko Petrinšak, član

Rad prihvaćen: 14. srpnja 2017.

HUMAN HEARING

MARTINA MIKULIĆ

Abstract

The science involved in sound studies is called acoustics. For the development of acoustics, it the first was necessary to explain waves. Objects such as diffraction, reflection, refraction, resonance or Doppler effect that applies to waves can also be applied to sound, which is a kind of the wave. The sound is transmitted by the air to the outer ear, in the middle ear is amplified, and internally it turns into an electric impulse that travels by nervous to the brain. When talking about hearing, mostly it refers to hearing loss. Depending on the damage, it is possible to improve the hearing. It is possible to associate the hearing with the teaching units of physics in elementary school.

(44 pages, 15 figures, 2 tables, 37 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: acoustics / ear / sound / waves

Supervisor: Denis Stanić, Ph.D.

Reviewers: Maja Varga Pajtler, Ph.D.
Denis Stanić, Ph.D.
Slavko Petrinšak, M.Sc.

Thesis accepted: July 14 2017

1. Uvod

Cilj ovog diplomskog rada je objasniti kako čujemo, navesti građu uha i akustičku ulogu pojedinih dijelova uha.

Ljudi uživaju u glazbi, zvukovima iz prirode, ali ne razmišljaju o načinu na koji čuju te zvukove. Zato će se ovaj rad baviti načinom na koji čujemo zvuk. Znanost koja se bavi proučavanjem nastajanja, širenja i osjetom zvuka naziva se akustika.

Budući da je zvuk val prvo će biti objašnjeno što su to valovi te pojave koje prate valove (ogib, odbijanje i lom valova). Također za sluh bitne pojave interferencija i rezonancija. Da bi se lakše mogao objasniti zvuk, navedena je podjela valova i ukratko su objašnjene pojedine karakteristike tih valova.

Zvuk je mehanički longitudinalni val koji zamjećuje ljudsko uho. Širenje zvuka se opisuje pomoću zvučnih valova i fizikalnih veličina poput tlaka, energija, frekvencije i jakosti zvuka.

Uho se promatra u tri dijela (vanjsko, srednje i unutarnje uho). U vanjskom i srednjem uhu zvuk se prenosi zrakom kao mehanički val, dok se u unutarnjem prenosi tekućinom, a potom se i pretvara u električni impuls.

Kada se uoči smanjenje sluha, provode se različita ispitivanja i pretrage. Ovisno o uzroku problema, sluh je moguće poboljšati pomoću slušnih aparata. Oštećenje sluha je nepovratan proces, tako da za zaštitu sluha postoje uređaji koji prigušuju amplitudu zvuka koji prodire do uha.

U nastavi fizike u osnovnoj školi se obrađuju dvije nastavne jedinice vezane za zvuk; „Nastajanje i rasprostiranje zvuka“ te „Osobine i brzina zvuka“.

2. Akustika

Ljudi su oduvijek uživali i cijenili glazbu, prvi „dokazi“ za to su slike iz starog Egipta. Na slikama su prikazane robinje koje plešu i sviraju harfe, flaute i lutnje. Kasnije gospodarima na dvorovima sviraju orkestri koje vode dirigenti. Ljubav prema glazbi, osjećaj za ugodu i vlastita glazbena iskustva vode razvijanju znanosti o zvuku. Ta znanost se naziva akustika (grč. *ἀκουστική*; što znači slušni) i bavi se proučavanjem nastajanja, širenja i osjetom zvuka. Počeci akustike pripisuju se Pitagori¹ koji je izvodio pokuse s titranjem niti. On je uočio da kratka, napeta žica daje viši ton, nego duga i odredio je kakav omjer duljina žica pripada određenom intervalu. Postizanje viših i nižih tonova ovisi o titranju žice. Spoznao je da skraćivanjem žice na polovicu ton povisuje za oktavu, a skraćivanjem na 2/3 povisuje za kvintu. No on nije znao da ti omjeri zapravo pokazuju omjere frekvencija. Aristotel² je prvi sugerirao da se zvučni valovi šire gibanjem zraka. Svi zaključci do kojih su došli Stari Grci i Rimljani temelje se na metodi pokušaja i promatranja, zapažanjima i vlastitim osjetima, a ne na znanstvenim dokazima (matematičkoj interpretaciji fizikalnih zakonitosti). Za daljnji razvoj akustike bilo je potrebno razviti matematičku teoriju valova. Newton³ je razvio matematičku teoriju zvuka, u svom djelu „Načela“ iznio je mehaničku interpretaciju zvuka. Zvuk su tlačni pulsovi koji se prenose fluidom preko susjednih čestica. Newtonova i Leibnizova⁴ teorija infinitezimalnoga računa omogućuje d'Alembertu⁵ izvođenje opće valne jednadžbe. Ta jednadžba omogućava istraživanje svojstava zvuka. Teoriju analize složenih periodičkih valova u svoje komponente utemeljio je Fourier⁶ i tu analizu nazivamo Fourierov teorem. Razvoju moderne akustike u 19. stoljeću doprinosi John William Strutt Rayleigh⁷. U svom djelu „Teorija zvuka“ bavio se ispitivanjima vibracija i rezonancija elastičnih krutina i plinova. [7, 10, 13, 24, 26, 37]

Fizikalna akustika proučava nastajanje zvuka, širenje, refleksiju, lom, interferenciju i ogib. Prijem i osjet zvuka objašnjava fiziološka akustika. Razvojem znanosti i tehnologije akustika se razvija i proširuje i na druga područja. Tako se širenjem valova zvuka ovisno o stanju

¹ Pitagora (570. – 480. prije Krista) bio je grčki matematičar i filozof.

² Aristotel (384. – 322. prije Krista) bio je grčki filozof i znanstvenik.

³ Isaac Newton (1642. – 1717.) bio je engleski fizičar, matematičar i astronom. Bavio se optikom, mehanikom i astronomijom. Smatra se osnivačem dinamike.

⁴ Gottfried Wilhelm Leibniz (1664. – 1716.) bio je njemački filozof, matematičar, fizičar i diplomat.

⁵ Jean le Rond d'Alembert (1717. – 1783.) bio je francuski filozof, znanstvenik, fizičar i matematičar.

⁶ Joseph Fourier (1768. – 1830.) bio je francuski matematičar i fizičar.

⁷ John William Strutt Rayleigh (1842. – 1919.) bio je engleski fizičar. Proučavao je razne vrste valnog gibanja, posebno u optici i akustici. Dobio je Nobelovu nagradu za fiziku 1904., za istraživanje gustoće plinova i za otkriće argona koje je bilo vezano uz ta istraživanja.

atmosfera bavi atmosferska akustika, koja je grana meteorologije. U elektrotehnici se razvija elektroakustika koja se bavi pretvorbom zvuka u električne signale i obrnuto, a to je moguće jer zvučni valovi, kad padnu na neko tijelo, mogu proizvesti u vremenu promjenjive tlakove, a s tim i promjenjive struje proporcionalne tim tlakovima.

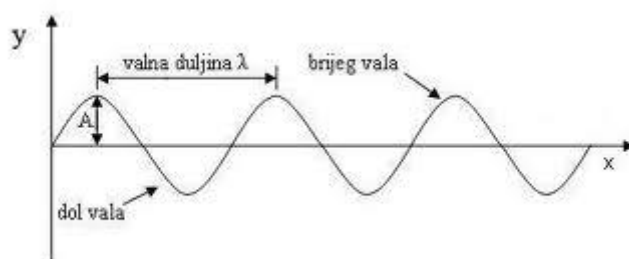
3. Valovi

Širenje poremećaja kojim se prenosi energija i količina gibanja kroz medij, a da se medij ne pomiče, naziva se val, tj. valnim gibanjem. Djelovanje impulsa vanjske sile na sredstvo uzrokuje gibanje samo jednog djelića sredstva, a to gibanje se postupno prenosi sredstvom.

3.1. Općenito o valovima

Kada neko sredstvo padne u vodu na površini se mogu primijetiti valovi; udubine koje nastaju se zovu valni dolovi, a ispupčenja valni brjegovi.

Harmoničko (sinusoidalno) titranje je najjednostavniji oblik titranja izvora, a stvara harmoničke valove. To su valovi kod kojih se elongacija ravna po sinusnom zakonu (slika 1.). Grafički se prikazuju tako da se na os apscisu nanese koordinata x uzduž smjera širenja vala, a na os ordinatu elongacija y titranja oscilatora koji se nalazi na mjestu s koordinatom x . Svi drugi oblici valova se mogu prikazati kao zbroj harmonijskih valova različitih amplituda (A , maksimalnih elongacija) i frekvencija. Ti valovi se nazivaju harmonici ili harmonički članovi.



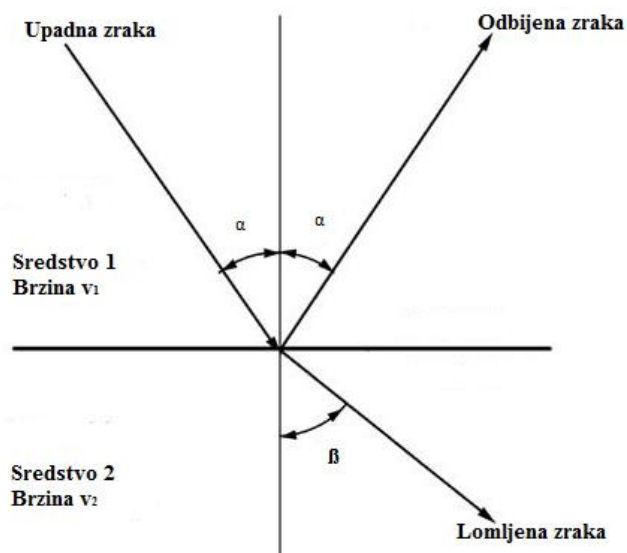
Slika 1. Sinusoidalni val [19]

Val se može javiti kao izolirani poremećaj, koji se kreće kroz sredstvo u obliku pulsa te se takav val naziva pulsnim valom. Ako se val periodično ponavlja u prostoru i vremenu, naziva se kontinuiranim valom. Periodički valovi se opisuju pomoću karakterističnih veličina: valne duljine (udaljenost između dvaju brjegova ili dolova sinusoidalnog vala), perioda vala (vrijeme koje protekne dok se val pomakne za jednu valnu duljinu), valnog broja (veličina recipročna valnoj duljini) i frekvencije (veličina recipročna periodu). Frekvencija se računa kao $\nu = \frac{1}{T}$ [s^{-1} ili Hz], gdje je T period u [s].

Jednadžba vala je $y = A \sin(\omega t - kx)$, gdje je $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ i $k = \frac{2\pi}{\lambda}$. Val se širi brzinom $v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$. Brzina se može iskazati korištenjem valnog broja i kutne frekvencije izrazom $v = \frac{\omega}{k}$. [20, 21, 23, 30]

3.2. Pojave koje prate valove

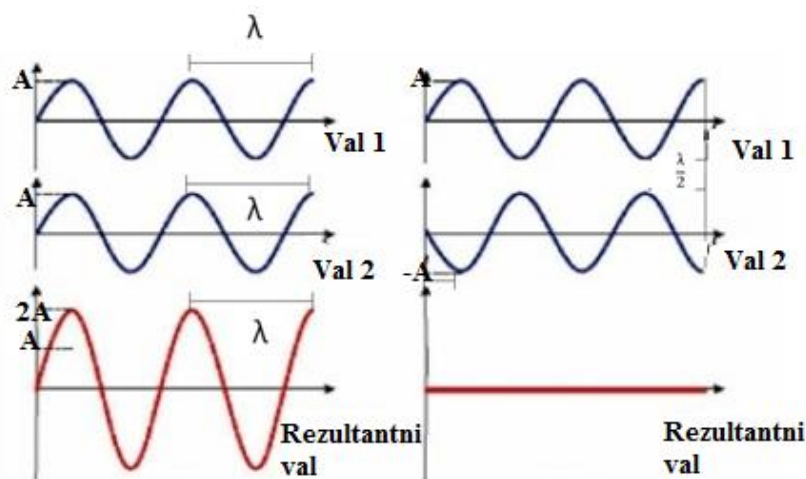
Kada se val nađe na granici dvaju medija može doći do ogiba (difrakcije), odbijanja (refleksije) ili loma (refrakcije). Ogib valova je pojava širenja valova iza zapreke. Odbijanje valova nastaje kada val dođe na granicu (kraj) sredstva kojim se širi, tada se može u potpunosti ili djelomično odbiti natrag; to ovisi o površini na koju padne val. Ako je površina kruta, val se odbija u potpunosti, a ako je elastična, dio energije se apsorbira. Za odbijanje vala karakteristično je da je upadni kut vala jednak kutu pod kojim se val odbio. Primjer refleksije vala je jeka. Lom valova nastaje na granici dvaju sredstava kada val prelazi iz jednog u drugo sredstvo. Zakon loma je $\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{v_2}{v_1}$, gdje je α kut upadnih zraka, β kut lomljenih zraka, a v_1 i v_2 brzine u sredstvima 1 i 2. Brzina vala se razlikuje od sredstva do sredstva. Na slici 2. pokazan je primjer zrake koja se na granici sredstva jednim dijelom odbija, a drugim dijelom prolazi u sredstvo i u njemu se lomi. [13, 20, 21, 23, 30]



Slika 2. Odbijanje i lom [28]

3.3. Interferencija

Međudjelovanje dvaju ili više valova jednakih valnih duljina koji istodobno prolaze kroz isti prostor naziva se interferencijom. U svakoj točki sredstva elongacija je jednaka zbroju pojedinih elongacija valova. Ovisno o predznaku elongacije, interferencija može biti konstruktivna ili destruktivna. Konstruktivna interferencija nastaje kada su valovi u fazi, elongacije imaju isti predznak i pojačavaju elongaciju. Pri destruktivnoj interferenciji se na istom mjestu elastičnog sredstva nađu i ponište harmonijski valovi jednakih frekvencija i suprotnih faza. Nakon što se valovi razidu svaki se nastavlja gibati nesmetano kao da se uopće nije susreo s drugim valom. Na lijevoj strani slike 3. su prikazana dva vala koja su u fazi i daju konstruktivnu interferenciju, a s desne strane su valovi u protu fazi i daju destruktivnu interferenciju. [13, 20, 21, 23, 30]



Slika 3. Konstruktivna i destruktivna interferencija [31]

3.4. Rezonancija

Ako val zvuka određene frekvencije pada na neki sustav koji slobodno može vibrirati (titrati) tom frekvencijom, tada se sustav uzbuđuje na vibriranje (titranje) te nastaje rezonancija između upadnog vala i sustava. Sustav tada snažno apsorbira zvučnu energiju upadnog vala, ali ju ujedno i snažno emitira. Najjednostavniji pokus kojim se može pokazati rezonancija je s dvije glazbene vilice s rezonantnim kutijama i jednakim osnovnim frekvencijama. Jednu vilicu se pobudi udarcem, a drugu vilicu postavi u blizini prve vilice tako da su otvori kutija

jedan naspram drugoga. Druga vilica započinje titrati istim tonom. To se može provjeriti tako da se umiri prvu vilicu.

Rezonancijom nastaju stojni valovi. U cijevi otvorenoj na jednom kraju mogu se pojaviti stojni valovi zraka kojima je čvor pomaka na zatvorenom kraju, a trbuh na otvorenom. Frekvencije stojnih valova na koje stup može vibrirati dane su izrazom $v_{(2k+1)} = (2k + 1) \frac{v}{4l}$, gdje je $k = 0, 1, 2, 3...$ [13, 20, 21, 23, 30]

3.5. Vrste valova

Prema načinu širenja i ovisno o izvoru valovi mogu biti ravni ili kružni, jednodimenzionalni, dvodimenzionalni i trodimenzionalni.

Za opisivanje širenja valova koriste se pojmovi valna zraka i valna ravnina. Valna zraka je pravac širenja vala i okomita je na valnu frontu (ploha koja sadrži sve susjedne točke sredstva za koje je pomak od ravnotežnog položaja u nekom smjeru najveći). Valna ravnina je ravnina u kojoj materijalne točke imaju jednake vektore pomaka.

Ravni valovi se šire samo u jednom pravcu, a valna fronta im se pomiče paralelno sama sebi. Kružni valovi su valovi čije su valne fronte koncentrične kružnice, a zrake radijalni pravci. Valne zrake su pravci okomiti na valnu ravninu i nositelji brzine širenja vala. [13, 20, 21, 23, 30]

Valovi mogu biti a) mehanički ili elektromagnetski, b) progresivni ili stojni, c) transversalni ili longitudinalni.

a) Mehanički i elektromagnetski valovi

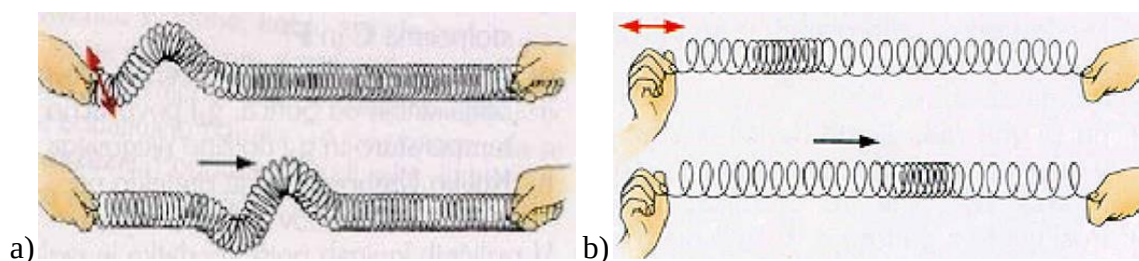
Mehanički valovi se javljaju kada se u elastičnom sredstvu izvrši poremećaj ravnoteže. Ti valovi su elastične deformacije koje se šire po sredstvu zbog elastičnih veza među česticama. Oni se ponašaju prema Newtonovim zakonima i mogu postojati samo unutar nekog sredstva (voda, zrak, tlo). Primjer tih valova su valovi na vodi, zvučni valovi, seizmički valovi. Elektromagnetski valovi su međusobno povezane promjene električkog i magnetskog polja, a nastaju pri koćenju ili ubrzavanju električnih naboja. To su valovi koji ne zahtijevaju medij za prenošenje, tj. šire se i u vakuumu (kroz vakuum putuju brzinom svjetlosti). Primjer tih valova su svjetlost, radio i TV valovi, mikrovalovi, X-zrake, toplinske zrake.

b) Progresivni i stojni valovi

Progresivni valovi se šire u određenom smjeru i pritom se energija prenosi s čestice na česticu. Kod stojnih valova neke čestice titraju, a neke stalno miruju; valna slika se ne mijenja s vremenom i energija se ne prenosi prostorom.

c) Transverzalni i longitudinalni valovi

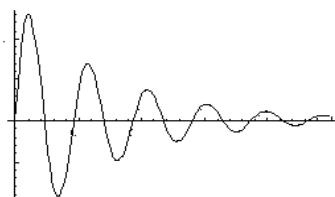
Prema načinu širenja (pravac i smjer titranja, tj. odnos vektora pomaka u odnosu na valnu ravninu) valove dijelimo na transversalne (poprečne) i longitudinalne (uzdužne). Transverzalni valovi mogu nastati samo u elastičnom čvrstom sredstvu, dok su longitudinalni mogući i u fluidima. Na slici 4. a) prikazan je nastanak i širenje transversalnog vala, a pod b) nastanak i širenje longitudinalnog vala. Transverzalni valovi se šire okomito na sredstvo. Najjednostavniji primjer transversalnih valova su valovi na niti; nit titra okomito na smjer širenja vala. Kod longitudinalnih valova sredstvo titra u smjeru širenja valova. Zvuk je primjer longitudinalnog vala, kod kojeg se periodički mijenja gustoća zraka.



Slika 4. a) transverzalni val, b) longitudinalni val [11]

3.6. Prigušeno i prisilno titranje

Ako neko tijelo titra i s vremenom mu se amplituda postupno smanjuje, a na kraju se umiri (tijelo prestane titrati), takvo titranje se naziva prigušenim (slika 5.). Kada se vanjskom silom djeluje na sustav koji titra, sustav prisilno titra. [20]



Slika 5. Prigušeno titranje [4]

4. Zvuk

Zvuk je mehanički, longitudinalni val. Raspon frekvencija u kojem ga čuje ljudsko uho je od 20 Hz do 20 kHz. Valovi koji nastaju titranjem izvora frekvencijom većom od 20 kHz se nazivaju ultrazvukom (mogu ga čuti neke životinje kao što su psi i šišmiši), a frekvencijom manjom od 20 Hz infrazvukom (mogu ga čuti npr. patke i slonovi). Ako je frekvencija zvuka viša od 1 GHz, naziva se hiperzvukom.

Zvuk nastaje periodičnim titranjem izvora koji u neposrednoj okolini mijenja tlak medija. Poremećaj tlaka se prenosi na susjedne čestice medija. Širenje zvuka je jednostavnije objasniti na primjeru bubnja. Udarom o membranu, membrana se udubi i u stvoreni prazni prostor nagrta zrak. Puštanjem se membrana ispupčuje i potisne zrak pred sobom (ispred membrane nastaje zgušnjavanje zraka). Kako bubanj titra, tako se ispred membrane zrak zgušnjava i razrjeđuje. Zvuk se širi sredstvom u obliku zvučnih valova. Može putovati kroz sredstvo, ali ne može kroz vakuum.

Razlikuju se dvije kategorije zvuka; ton i šum. Ton je glazbeni zvuk koji se odlikuje konstantnom frekvencijom, u dugačkom vremenskom intervalu ne dolazi do promjene frekvencije. Složeni tonovi sadrže više frekvencija, a mogu se prikazati kao zbroj sinusnih titraja osnovnom frekvencijom i višim harmonicima. Šum je zvuk koji ne potječe od periodičkih vibracija ili kojemu se period ili amplituda brzo mijenjaju, a posljedica je potpuno nepravilnog titranja.

Zvukom se prenose impuls i energija, ali se zvuk širi bez prijenosa mase. U širenju zvuka očituju se pojave svojstvene svakom valnom gibanju (ogib, odbijanje, lom, interferencija, apsorpcija, Dopplerov efekt). [3, 12, 15, 28]

4.1. Izvor zvuka

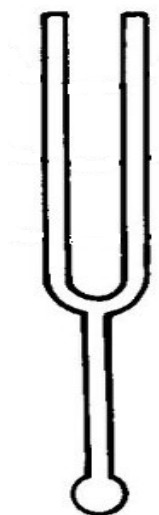
Izvorom zvuka se smatraju sva tijela koja titraju frekvencijom u rasponu koje čuje ljudsko uho (20 Hz – 20 kHz) u nekom elastičnom sredstvu i izazivaju longitudinalne valove. Izvor daje energiju elementu fluida koji se pomakne, na elementu se izvodi rad, a on onda izvodi rad na drugom susjednom elementu. Primjer izvora su napete žice, stup zraka u svirali, glazbena vilica.

4.1.1. Huygensovo načelo

Kada jednom val nastane on može biti izvorom novog vala. Po Huygensovu načelu svaka točka vala može biti izvorom novog vala. Iako je prvotno služilo da bi se objasnile optičke pojave, načelo vrijedi i za širenje zvuka.

4.1.2. Glazbena vilica

Glazbena vilica je plosnata šipka koja je savinuta u obliku slova U. Nakon kratkotrajne deformacije krajeva šipke, vilica titra osnovnom frekvencijom, a val ima dva čvora i tri trbuha. Glazbena vilica na savinutom dijelu ima držak preko kojeg se titraji mogu prenositi na neko drugo tijelo. Na slici 6. je prikazana glazbena vilica.



Slika 6. Glazbena vilica [13]

4.2. Zvučni tlak

U slojevima zraka kojima prolazi val izvodi se izmjenično kompresija (sabijanje) i razrjeđivanje slojeva zraka. Pri kompresiji tlak raste, a pri razrjeđivanju se smanjuje ispod atmosferskog tlaka. Najveća razlika od atmosferskog tlaka naziva se amplituda tlaka. Zvučni tlak sinusnog vala se opisuje izrazom $p_a = -\frac{2\pi A}{\kappa_S \lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$, koji u periodu T poprima vrijednosti od 0 preko $-p_a$ i p_a do 0. Srednja vrijednost zvučnog tlaka je 0, zato se računa

efektivni zvučni tlak. Efektivni zvučni tlak je dan izrazom $p_{a,ef} \equiv \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p_a^2 dt}$, a račun pokazuje da je $p_{a,ef} = \frac{p_{a,max}}{\sqrt{2}}$. Mjereći tlak zračenja (intenzitet zvuka) akustičkim radiometrom i slušajući ga istodobno može se uvjeriti da postoji korelacija između fiziološkog osjeta i intenziteta. Fiziološko mjerenje osjeta se korelira s efektivnim zvučnim (akustičkim) tlakom $p_{a,ef}$. [21]

4.3. Brzina zvuka

Veliki doprinos mjerenju brzine je Newtonova teorija po kojoj se brzina može izračunati, a ne samo izmjeriti. Newton je prvi na osnovi mehaničkih zakona iz elastičnosti i gustoće zraka pokušao izračunati brzinu zvuka. Izvod i račun nisu bili posve točni, ali su potaknuli eksperimentalna ispitivanja. Razlog netočnog rezultata je taj što je on u računu pretpostavio da je temperatura konstantna (izotermički proces), a ne da nema promjene topline (adijabatski proces). Prvo uspješno mjerenje brzine zvuka u zraku upriličila je Francuska akademija znanosti 1738. godine u Parizu; između dvije stanice Montmartrea i Montlherya koje su udaljene 23 km. Na jednoj stanici je bio ispaljen hitac, a na drugoj se mjerilo vrijeme između pojave bljeska i dolaska praska. Utjecaj vjetra se nastojao izbjeći tako da su izmjenično ispaljivani hitci s jedne pa s druge stanice. Nađena brzina bila je 332 m/s pri 273,15 K.

Sredstva kojima se zvuk širi mogu biti u sva tri agregatna stanja (čvrsto, tekuće i plinovito). Brzina zvuka će biti veća što je materijal čvršći (gušći). Brzina zvučnih valova ovisi o gustoći i o elastičnosti sredstva. Što su susjedne čestice sredstva međusobno čvršće vezane to je odziv čestice na gibanje brže. Brzina zvuka ovisi o gustoći i elastičnim silama u krutinama i tekućinama, a o gustoći, temperaturi i tlaku u plinovima. Brzina se može mjeriti u m/s ili km/h, ali i u nenormiranoj jedinici mah. Brzina se može odrediti mjerenjem vremena koje je potrebno da zvuk prijeđe poznatu udaljenost. U trenutku t_0 se proizvedu zvučni i svjetlosni signali, dok se na udaljenosti x od izvora signala nalazi opažač. Opažač mjeri vrijeme t (u sekundama), koje protekne od kada ugleda svjetlosni signal do kada čuje zvuk. Brzina zvuka tada iznosi $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$, gdje su v brzina [m/s], λ valna duljina [m], T period [s], a ν frekvencija [Hz]. Brzina mehaničkih valova u čvrstom tijelu je $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, gdje su E modul elastičnosti i ρ gustoća tijela. Brzina u plinu je $v_0 = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}$, gdje su B modul

kompresije i ρ_0 gustoća. Indeksi se odnose na temperaturu, a uobičajeno se uzima standardna temperatura $t_0 = 0\text{ °C}$. Modul kompresije se iskazuje kao umnožak adijabatskog koeficijenta⁸ i tlaka ($B = \kappa \cdot p$). Za brzinu zvuka općenito vrijedi izraz $v = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$, gdje su ρ gustoća plina, κ adijabatski koeficijent plina i p tlak plina. [13, 21, 23]

Brzina zvučnih valova ovisi o sredstvu kroz koje se valovi šire. Brzina zvuka u zraku pri tlaku od 101,3 kPa i temperaturi 0 °C iznosi 331 m/s, a pri 20 °C 343 m/s. Dok je brzina zvuka u vodi pri 20 °C 1485 m/s, a pri 4 °C 1420 m/s. U staklu brzina zvuka iznosi 5500 m/s. U tablici 1. su dane brzine širenja zvuka u još nekim sredstvima.

Tablica 1. Brzina zvuka u sredstvu pri 20 °C s pripadajućom gustoćom sredstva [13, 16, 21, 22]

Sredstvo	Brzina [m/s]	Gustoća [kg/m ³]
Zrak	343	1,204
Ugljikov dioksid	266	1,98
Helij	981	0,17
Vodik	1280	0,089
Voda	1485	1000
Krv	1570	1050
Etanol	1170	789
Benzen	1320	876
Guma	150	1145
Olovo	1250	11340
Bukovo drvo	3300	500
Beton	3750	2100
Bakar	4700	8940
Željezo	5170	7870
Staklo	5500	2600
Aluminij	6300	2700

⁸ Adijabatski koeficijent definira se kao omjer specifičnih toplinskih kapaciteta pri stalnom tlaku (c_p) i stalnom volumenu (c_v), tj. $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$. Za dvoatomne plinove i za zrak $\kappa = 1,41$.

4.4. Dopplerov efekt

Ukoliko se izvor zvuka ili prijamnik (motritelj) zvučnih valova gibaju u odnosu na sredstvo kroz koje se valovi šire, prijamnik (motritelj) bilježi promjenu frekvencije. Ta promjena se naziva Dopplerovim efektom⁹. Umjesto frekvencije izvora f_0 , opaža se frekvencija $f = f_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$, gdje je v relativna brzina izvora i promatrača, a c brzina širenja valnog gibanja. Ako se promatrač približava izvoru ide predznak $+$, a ako se udaljava $-$, tj. ako se oni gibaju jedan prema drugom, frekvencija koja se bilježi veća je od frekvencije izvora, a ako se udaljavaju, frekvencija koja se bilježi je manja od frekvencije izvora. [16]

4.5. Jakost zvuka i razina jakosti zvuka

Jakost zvuka je fizikalna mjerna veličina koja opisuje energiju zvučnog vala u vremenskom intervalu kroz površinu okomitu na smjer širenja vala. Oznaka je I , a mjerna jedinica W/m^2 .

Najslabiji zvuk koji jedva čujemo ima jakost oko $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, a naziva se pragom čujnosti. Nasuprot tome najjači zvuk koji već uzrokuje osjet bola ima jakost od $I = 1 \text{ W/m}^2$. Zvuk još veće jakosti može uzrokovati oštećenje sluha.

Jakost zvuka se može mjeriti detektorom buke koji sadrži mikrofoni, filter za određene frekvencije, električno pojačalo i mjerni galvanometar. Mjerenje se izvodi pomoću sinusnog tona frekvencije 1 kHz kojemu se mijenja intenzitet sve dok ne postigne približno jednaku jakost kao drugi zvuk koji uho sluša, tada oba zvuka imaju jednak nivo.

Zvuk koji čujemo nije proporcionalan njegovoj jakosti; porast jakosti osjeta je sporiji. Deset puta jači zvuk ne izaziva deset puta jači osjet. Psihofizički odziv ljudskog uha je takav da je osjet zvuka približno proporcionalan logaritmu jakosti zvuka. Razina jakosti zvuka je mjerna veličina prilagođena osjetljivosti ljudskog uha, a računa se kao deseterostruki logaritam omjera jakosti nekog zvuka I i praga čujnosti I_0 , tj. $L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$. Oznaka razine jakosti zvuka je L , a mjerna jedinica bel [B], ali češće se koristi manja jedinica decibel [dB]. Zvuku jakosti $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

⁹Christian Johann Doppler (1803. – 1853.) bio je austrijski fizičar i matematičar. Pisao je radove iz astronomije, analitičke geometrije, akustike, elektriciteta i optike.

pridružuje se razina jakosti od 0 dB. Zvuk od 10 dB je deset puta jači, dok je zvuk od 20 dB sto puta jači od jedva čujnog zvuka I_0 . [21, 23, 33]

4.6. Frekvencija zvučnih valova

Čovjek čuje zvukove u intervalu frekvencija od 20 Hz do 20 kHz, dok zvukove koji su izvan tog područja ne može čuti. Frekvencije se mogu i razlikovati od osobe do osobe. Granica ovisi i o godinama. Neki čuju frekvencije od 16 Hz, dok se gornja granica mijenja s godinama (smanjuje se, očituje se kao gluhoća). Za djecu gornja granica može biti i 24 kHz, za tridesetogodišnjaka oko 15 kHz, a za starije od 60 godina pada na 5 kHz. Za registraciju zvuka važno područje je 125 Hz do 8 kHz, dok se uobičajeni govor odvija u rasponu frekvencija od 100 Hz do 8 kHz. [6]

Infrazvukom se nazivaju valovi koji imaju manju frekvenciju od 20 Hz, a ultrazvukom valovi frekvencija viših od 20 kHz. Ovisno o građi slušnog aparata životinje mogu čuti zvučne valove drugačijih frekvencija.

4.7. Osjet zvuka

Osjet kojim se zamjećuju zvukovi i tumači njihovo značenje je sluh. Sluh je važan za dobru i pouzdanu komunikaciju s drugim ljudima, za učenje, uživanje u zvukovima iz prirode, pjesmama, ali i za razvoj govora; dobar sluh je radost življenja. Prvo osjetilo čovjeka, razvija se u 4. mjesecu trudnoće i od tada bebe mogu primati akustične signale.

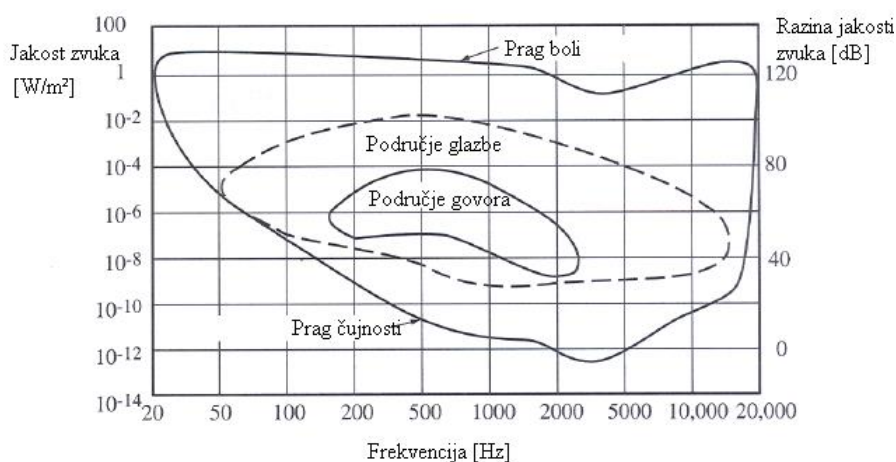
Ljudsko uho osjeća zvukom izazvanu promjenu tlaka zraka (zvučni tlak). Tlak koji uho može zamijetiti u optimalnim uvjetima ima amplitudu 20 μPa . Prag čujnosti jakosti I_0 je zvučni val frekvencije 1 kHz, koji ima amplitudu pomaka čestica oko 10^{-11} m, a amplituda zvučnog tlaka je oko $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Za zvuk na granici bola pomak čestice je 10^{-5} m, a zvučni tlak 30 Pa (usporedbe radi, atmosferski tlak je 10^5 Pa).

Glasnoća zvuka jest osjet jakosti zvuka u ljudskom uhu, a ovisi o jakosti i frekvenciji. Razina glasnoće izražava se u fonima, a jednaka je razini jakosti u decibelima za zvuk frekvencije 1 kHz u cijelom području od granice čujnosti do granice bola. U tablici 2. su dane vrijednosti razine glasnoće za neke složene zvukove.

Tablica 2. Razina glasnoće složenih zvukova s pripadajućim intenzitetom [13, 21, 23]

Vrsta zvuka	Razina glasnoće [fon]	Intenzitet [W/m^2]
Prag osjeta	0	10^{-12}
Šaptanje	20	10^{-10}
Tiha glazba	40	10^{-8}
Bučan govor	60	10^{-6}
Prometna ulica	80	10^{-4}
Prolazak brzog vlaka	100	10^{-2}
Motor zrakoplova ili rock koncert	120	1
Prag bola (bliska grmljavina)	130	10
Oštećenje bubnjića	160	10^4

Ispitivanje osjetljivosti uha izvodi se tako da se intenzitet sinusnog tona određene frekvencije poveća do vrijednosti kod koje motritelj uhom zamjećuje upadni val. Tada je dostignut prag osjetljivosti ili čujnosti motriteljevog uha. Ako se jakost zvuka i dalje povećava, dostiže se stanje kada motritelj ne čuje zvuk, ali osjeća bol u ušima, to je prag boli. Pokus se ponavlja za različite frekvencije i dobivaju se dvije krivulje (krivulja praga čujnosti i praga boli). Na slici 7. su prikazane krivulje praga čujnosti i boli, područje govora i glazbe. Pretjerana razina zvuka može uzrokovati trajni gubitak sluha. Oštećenje uha može prouzročiti i kratkotrajna buka s razinom jakosti od 120 dB.



Slika 7. Područje ljudskog sluha [34]

5. Uho

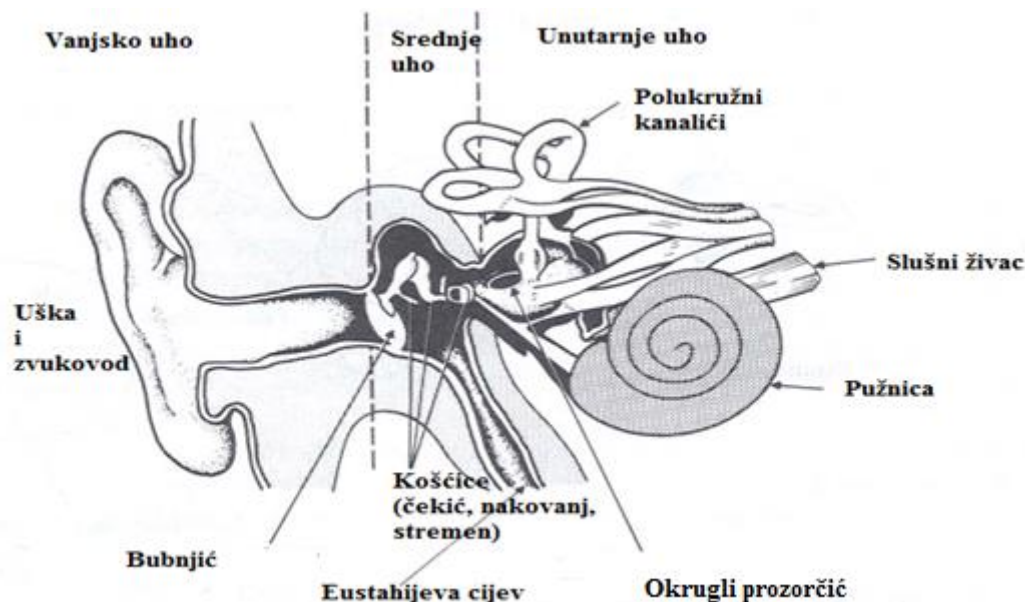
Uho (*lat. auris*) je osjetilni organ koji je posebno razvijen kod životinja koje same proizvode glasove (kukci i kralježnjaci). U čovjeka je uho organ za sluh (detekciju zvuka), ali i održavanje ravnoteže (statoakustički organ). Hermann Helmholtz¹⁰ opisuje uho kao aparat koji međusobno povezuje titranje bubnjića, koščica, limfne tekućine i slušnih niti.

Zvučni valovi se šire zrakom, a kada dopru do uha zamjećujemo zvuk (pojava koju zamjećujemo osjetom sluha). Uho može zamijetiti nekoliko obilježja zvuka (glasnoću, visinu i boju zvuka), a može i odrediti smjer iz kojeg zvuk dolazi. Glasnoća zvuka zasniva se na zamjećivanju tlaka kojim zvučni valovi djeluju na bubnjić. Što je veća jakost zvučnih valova to je veći tlak na bubnjić. Zato se bazilarna membrana pomiče jače i živčani završetci se produžuju većom učestalošću i tako zvuk doživljavamo kao glasniji. Zvuk od 0 dB je na pragu čujnosti, od 130 dB nanosi bol, a od 140 dB može oštetiti slušni sustav. Visina zvuka ovisi o frekvenciji zvučnih valova. Što je veća frekvencija to je zvuk viši. Razlikovanje frekvencija omogućava građa bazilarne membrane. Membrana se sastoji od 20000 vlakana. Ljudsko uho je najosjetljivije za frekvencije između 1 i 4 kHz. Raspon frekvencija koje čovjek može čuti se s godinama mijenja, u starosti se sužuje na od 50 Hz do 8 kHz. Sposobnost razlikovanja visine različita je od osobe do osobe. Boja zvuka je svojstvo koje omogućuje razlikovanje zvukova iste glasnoće, frekvencije i trajanja. Uz osnovnu frekvenciju pojavljuju se i dodatne frekvencije kao viši harmonici tako da se može razlikovati isti ton odsviran na različitim instrumentima ili glasovi pojedinih ljudi. Smjer iz kojeg dolazi zvuk se određuje pomoću vremenske razlike kojom zvuk dopire do jednog i do drugog uha te razlike jakosti zvukova u oba uha. [8, 9, 12, 13, 14, 23, 34, 36]

¹⁰ Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821. – 1894.) bio je njemački prirodoslovac, bavio se fiziologijom, fizikom, matematikom i psihologijom. Završio je medicinski studij, a predavao je fiziologiju i fiziku na sveučilištima. Istraživao je osjet zvuka i svjetlosti, brzinu širenja živčanih impulsa i reagiranje mišića. Konstruirao je aparat za mjerenje i bilježenje kontrakcije mišića, oftalmoskop. Proučavao je i akomodacije oka i razvio je teoriju osjeta na boje. Protumačio je funkciju Cortijeva organa i razvio teoriju boje tonova (boja tona je posljedica viših harmonika). Za analizu zvuka konstruirao je šuplje staklene kugle (Helmholtzovi rezonatori). Razvio je teoriju da se slušanje osniva na tome da vlakna u pužnici uha rezoniraju i pobuđuju slušni živac.

5.1. Građa uha

Građa ljudskog uha se promatra u tri dijela vanjsko (*lat. auris externa*), srednje (*lat. auris media*) i unutarnje uho (*lat. auris interna*). Slika 8. prikazuje građu ljudskog uha.



Slika 8. Uho [34]

Vanjsko uho (vidljivi dio uha) tvore ušna školjka (uška ili aurikula) i ušni kanal (zvukovod ili *lat. meatus acusticus externus*). Čovjek ima dvije uške građene od hrskavice prekrivene kožom, od kojih se jedna nalazi na lijevoj, a druga na desnoj strani glave. Hrskavica je čvrsta, ali i elastična, oblikovana je tako da usmjeruje zvučne valove prema zvukovodu. Zvukovod je cjevasti dio vanjskog uha, počinje kao hrskavični kanal koji se u sljepoočnoj kosti nastavlja u koštani kanal, dužine oko 3 cm, a promjera oko 7 mm. Obložen je kožom u kojoj se nalaze dlake i žlijezde lojnice. Zvukovod seže do bubnjića, vezivne opne obložene epitelom, koja odjeljuje vanjsko od srednjeg uha.

Srednje uho nalazi se u piramidi sljepoočne kosti, a sastoji se od bubnjića (membrana timpani) i male komore napunjene zrakom (bubnjište ili *lat. cavum tympani*) koja sadrži lanac od triju košćica. Košćice povezuju bubnjić s unutarnjim uhom, a zovu se po svom izgledu čekić (*lat. malleus*), nakovanj (*lat. incus*) i stremen (*lat. stapes*). Čekić je srašten s bubnjićem na jednoj strani, a na drugoj je uzglobljen s nakovnjem. Nakovanj je pričvršćen uza stremen, a stremen ima osnovicu koja je uložena u ovalni prozorčić predvorja. Čekić, nakovanj i stremen

zajedno su dugački oko 1 cm, a sam stremen, koji je najmanja kost u ljudskom tijelu, je dugačak oko 3 mm i mase 3 mg. U srednjem uhu se nalaze i dva mišića. Mišić tenzor timpani je pričvršćen na čekić i održava bubnjić nategnutim. Mišić stapedius je pričvršćen na stremen i učvršćuje vezu između stremena i ovalnog prozorčića. U srednjem uhu se nalazi i Eustahijeva cijev¹¹. Eustahijeva cijev (*lat. tuba pharyngo-tympanica* ili *lat. tuba auditiva*) je vezivno hrskavično koštani kanal dužine 3,5 cm. Ona povezuje srednje uho sa stražnjim dijelom nosa (ždrijelom) i omogućuje da u srednje uho uđe vanjski zrak. Pri naglom uspinjanju ili spuštanju, u uhu se čuje pucketanje zbog izjednačavanja tlaka u uhu s vanjskim tlakom. Eustahijeva cijev se otvara gutanjem i pomaže u održavanju jednakog tlaka s obje strane bubnjića. To je važno za ugodno i normalno slušanje. Pri putovanju zrakoplovom dolazi do pada tlaka zraka i otežanog gutanja, tada pomaže pritisak na bubnjić. Ako je razlika u tlaku velika, može doći do probijanja ovalnog prozorčića što omogućuje prolaz tekućine iz unutarnjeg uha u srednje uho. Gubitak sluha koji nastaje za vrijeme ronjenja pri spuštanju u duboko more ukazuje da dolazi do takvog propuštanja, a pri podizanju da se u unutrašnjem uhu stvorio mjehurić zraka.

Unutarnje uho je dobro zaštićeno u lubanji. Ono je organ sluha i organ ravnoteže, a smješteno je u najtvrdem dijelu sljepoočne kosti (*lat. pars petrosa*), iza ovalnog prozorčića, te ima tri dijela pužnicu (*lat. cochlea*) za primanje i analizu zvukova, predvorje (*lat. vestibulum*) i polukružne cijevi (*lat. canales semicirculares*) za osjet ravnoteže te dvije vrećice (*lat. sacculus* i *lat. utriculus*) za osjet sile teže. Podražaje od unutarnjeg uha do središta u mozgu vodi ravnotežno – slušni živac (*lat. nervus vestibulocochlearis*). Unutarnje uho svojom složenom građom podsjeća na labirint.

Pužnica je šuplja cijev savijena u obliku puževe kućice, a sadrži gustu tekućinu i Cortijev organ¹². Pužnica se sastoji od dva i pol zavoja, širokim otvorom usmjerena prema srednjem uhu, a uzdužno je pregrađena na dva dijela. U jednom od njih je smještena posebna spiralna opna koja oblikuje hodnik pužnice (*lat. ductus cochlearis*) na čijoj se osnovici nalaze slušne stanice koje s membranom tvore Cortijev organ. On se sastoji od tisuću sitnih (trepetljikavih) stanica s malim izbojima, poput vlasi, koji se protežu u tekućinu. Predvorje je povezano s pužnicom. U njemu se nalaze dva mjehurića (sakul i utrikul) građena od vezivnog tkiva i ispunjena tekućinom (endolimfom). U svakom od njih su nakupine osjetilnih stanica pomoću

¹¹ Nazvana je prema talijanskom anatomu Bartolomeu Eustachiju (1524. – 1574.). On je bio profesor anatomije na sveučilištu La Sapienzi u Rimu.

¹² Nazvan je prema talijanskom anatomu Alfonsu Cortiju (1822. -1876.) koji ga je prvi opisao 1851. godine.

kojih čovjek osjeća položaj glave u prostoru. Taj uređaj je nazvan statičkim uređajem. Osjetilne stanice su prekrivene dlačicama i međusobno slijepljene želatinoznom sluzi. U sluzi se nalaze kamenčići kalcijeva karbonata (otoliti), koji pritišću osjetilne stanice pa se tako pri pomicanju glave osjeća promjena položaja u prostoru. Gibanje otolita pri naginjanju ili akceleraciji glave slično je prigušenom titranju. Uz pužnicu se nalaze tri polukružne cijevi koje počinju postavljene okomito jedna na drugu u sve tri prostorne ravnine. U cjevčicama se nalazi endolimfa. Na proširenom dijelu spoja cjevčica nalaze se osjetilne stanice u obliku grebenčića (*lat. crista ampullaris*) od kojih se protežu živčana vlakna. Pri pokretanju glave u bilo kojem smjeru pokreće se i stjenka membranskog voda, a endolimfa zaostaje zbog inercije (pomiče se u suprotnom smjeru po stijenci voda). Tim strujanjem endolimfe pokrenu se stanice grebenčića i čovjek spoznaje osjet kretnje. Ovisno o smjeru pokreta glave tekućina se može pomicati više u jednom kanalu, nego u drugom kanalu. Kanali sadrže trepetljikave stanice koje reagiraju na gibanje tekućine i izazovu živčani impuls koji kaže mozgu u kojem smjeru se pokreće glava pa mozak može poduzeti odgovarajuće djelovanje da održi ravnotežu. Stjenka membranskog voda izvodi gibanje slično vrlo prigušenom titranju (gibanje se odvija vrlo sporo), jer je konstanta elastičnosti kupole vrlo malena, a prigušenje veliko.

5.2. Uloga dijelova uha u sluhu

5.2.1. Vanjsko uho

Ušna školjka je oblikovana tako da usmjerava zvučne valove prema zvukovodu. Ona je jedinstvena za svaku osobu, poput otiska prsta, a poboljšava lokalizaciju zvuka. Na ušnu školjku se nastavlja zvukovod. Zvukovod se može promatrati kao cijev koja je zatvorena na jednom kraju, što omogućava da dolazni zvučni valovi određenih frekvencija rezoniraju. Rezonancijom u zvukovodu zvučni valovi se pojačavaju od 6 do 8 puta, što odgovara pojačanju od 15 do 18 dB. Na slici 9. je prikazano vanjsko uho. Ono hvata i prenosi zvučne valove do srednjeg uha (bubnjića). [6]



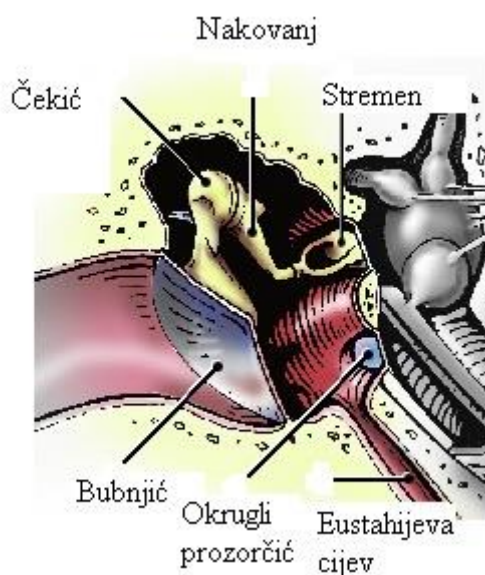
Slika 9. Vanjsko uho [34]

5.2.2. Srednje uho

Bubnjić je tanka opna oblika stisnutog konusa s vrhom prema unutra, debljine 0,5 mm i površine 65 mm^2 . Površina je blago konkavna. Glavna svrha membrane je apsorpcija i transmisija promjene tlaka uzrokovane zvučnim valovima u zvukovodu. Promjene tlaka p_m uzrokovane djelovanjem sile $F_m = p_m \cdot A_m$ na bubnjić površine A_m koja uzrokuje zakretni moment τ_m ($\tau_m = F_m \cdot L_m = F_0 \cdot L_0 = \tau_0$) na nakovanj. Ovaj zakretni moment prenosi silu F_0 i tlak p_0 na ovalni prozorčić površine A_0 . Iz jednadžbe $p_m \cdot A_m \cdot L_m = p_0 \cdot A_0 \cdot L_0$, se dobiva omjer $\frac{p_0}{p_m} = \frac{A_m}{A_0} \cdot \frac{L_m}{L_0}$. Taj omjer pritiska vibracija na bubnjić i na ovalni prozorčić predstavlja značajno pojačanje početnog zvuka. Pod utjecajem akustičke energije bubnjić zatitra i prenosi zvuk slušnim košćicama do stremena. Omjer površina stremena i bubnjića iznosi 1:17, tj. tlak na stremenu je 17 puta veći, nego na površini bubnjića. U srednjem uhu se može zamijetiti i poluga nejednakih krakova. Polugu čine nakovanj i čekić, a njihov omjer je 1:1,2. Pomnoži li se 17 (omjer tlakova) s 1,2 (omjer veličina čekića i nakovnja) dobije se 20,4. To je iznos kojim se poveća tlak akustičke energije na ulazu u unutrašnje uho naspram tlaka na ulazu u srednje uho. Taj tlak omogućava prijenos mehaničkog valovitog gibanja u tekući medij unutrašnjeg uha. U unutrašnjem uhu nalazi se nestlačiva tekućina. Košćice mehanički pojačavaju vibracije bubnjića i prenose ih na ovalni prozorčić. [35]

Kada je čovjek izložen buci mišić stapedius se stegne i tada niz košćica postaje rigidnijim pa se zbog toga prenosi manje zvuka. Ta reakcija se naziva akustički refleks, a pomaže u zaštiti osjetljivog unutarnjeg uha od zvučnog oštećenja.

Funkcija vanjskog i srednjeg uha je pretvoriti zvučne valove, koji se prenose zrakom, u jedan val koji putuje u tekućini u unutarnjem uhu. Tu ideju je prvi razvio Helmholtz 1877. godine. Na slici 10. su prikazani dijelovi srednjeg uha.



Slika 10. Srednje uho [2]

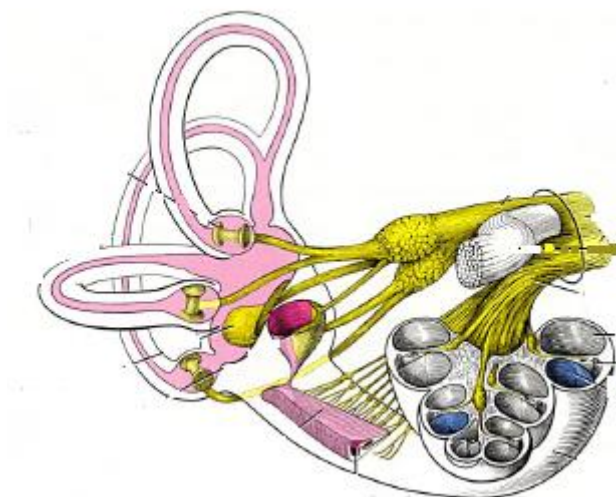
5.2.3. Unutarnje uho

Gibanje pločice stremena uzrokuje titranje tekućine koje se prenosi na stanice bazilarne membrane. Osjetilne stanice na površini imaju dlačice koje su u endolimfi (kalijevi ioni, pozitivan naboj), dok je tijelo u kortilimfi (natrijevi ioni, negativan naboj). Pod utjecajem titranja tekućine pomiču se dlačice, a to dovodi do razlike u električnom potencijalu, tj. do pretvorbe mehaničke u bioelektričnu energiju, koja podražuje završetke slušnog živca. Zvučne vibracije koje se prenose od koščica u srednjem uhu na ovalni prozorčić u unutarnjem uhu uzrokuju vibriranje tekućine i trepetljivikavih stanica. Treptljivikave stanice pretvaraju vibracije u živčane impulse. Živčani impulsi se prenose duž vlakana slušnog živca do mozga. Na različite zvučne frekvencije reagiraju različite stanice s treptljivikama. Uho nije jednako osjetljivo na sve frekvencije. Slika 11. prikazuje presjek unutarnjeg uha.

Impulsi koji dolaze iz unutarnjih stanica počinju se analizirati već u nižim dijelovima mozga (moždano deblo, talamus), ali se tek u slušnoj kori velikog mozga potpuno obrađuju i doživljavaju kao osjet sluha. Slušna kora se nalazi u sljepoočnom režnju velikog mozga. S obzirom na funkciju razlikuju se primarna i sekundarna slušna kora. Primarna slušna kora prima živčane impulse iz pužnice, a u sekundarnoj ili asocijacijskoj slušnoj kori impulsi dobivaju značenje i smisao.

Unatoč akustičnom refleksu jaka buka može oštetiti stanice s trepetljikama. Učestala izloženost buci dovodi do gubitka sluha, jer se oštećene stanice s trepetljikama ne mogu obnoviti ili ponovo narasti.

Učinkovitost prijenosa u svakoj strukturi uha je pod kontrolom središnjeg živčanog sustava. Vanjsko uho pokretom glave može biti usmjereno prema ili od izvora zvuka, a s tim se mijenja i intenzitet zvuka koji ulazi u svako uho.



Slika 11. Unutarnje uho [2]

6. Gubitak sluha

Naglušost (*lat. suburditas*) ili smanjenje sluha je obilježeno spuštanjem krivulje audiograma u području govorne sfere ispod razine krivulje zdravog uha (ispod 10 dB). Može nastati zbog upale srednjeg uha, izloženosti buci ili antibiotika. Dijeli se na provodnu (vanjsko i srednje uho) i osjetilnu (osjetne stanice i slušni živac) naglušost. Liječi se fizikalnim metodama, kirurški ili lijekovima. [25]

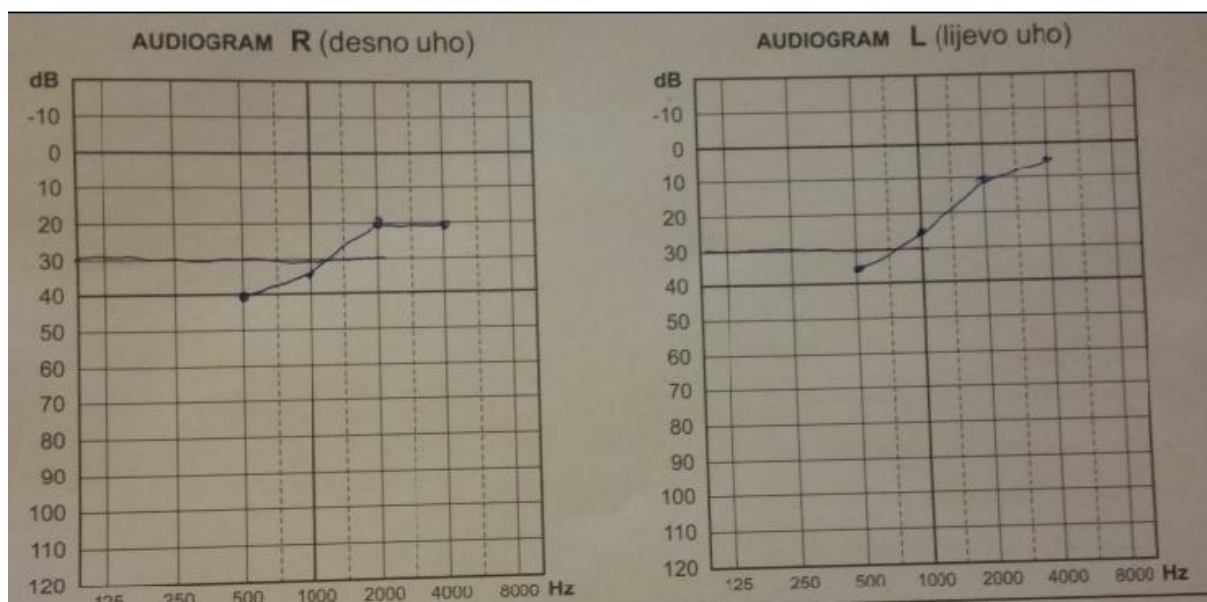
Provodni gubitak sluha uzrokuju mehanički problemi u slušnom kanalu ili začepljenje srednjeg uha koje smanji provođenje zvuka. Osjetno – živčani gubitak sluha je oštećenje unutarnjeg uha, slušnog živca ili putova slušnog živca u mozgu. Kada se ustanovi da osoba ne čuje, određuje se vrsta gubitka sluha; uspoređuju se načini na koje osoba čuje zvukove koji se prenose zrakom i one koji se prenose kostima. Gubitak sluha može ukazati na problem u bilo kojem dijelu uha (zvukovod, srednje uho, unutarnje uho, slušni živac ili slušno – živčani putovi u mozgu). [12, 30]

6.1. Ispitivanje sluha

Pretraga sluha može se napraviti pomoću glazbenih vilica ili uporabom elektronske naprave. Pretragu glazbenim vilicama radi liječnik u liječničkoj ordinaciji. Glazbena vilica se zavibrira i postavi u blizinu uha tako da zvuk putuje kroz zrak do uha. Sluh se preko koštane provodljivosti ispituje postavljanjem podloge vibrirajuće glazbene vilice na glavu. Titranje se širi preko lubanje, uključujući koštanu pužnicu u unutarnjem uhu. Pretraga isključuje vanjsko i srednje uho. Gubitak sluha može biti samo u unutarnjem uhu, oštećenju slušnih živaca i putova slušnih živaca u mozak. Liječnik koristi glazbene vilice s različitim frekvencijama (visinama), zato što osoba može čuti zvukove u nekim frekvencijama, a u drugima ne. Danas se sve manje koriste glazbene vilice, zamjenjuju ih aparati za audiometriju. Ispitivanje se provodi u tri koraka; tonska audiometrija, koštana provodljivost i govorna audiometrija.

Sluh najbolje ispituje audiolog (liječnik specijalist za gubitak sluha) u tihoj komori uporabom elektronske naprave koja proizvodi zvukove posebne jačine i visine. Audiologija je znanost o sluhu, koja se bavi fiziologijom uha, ispitivanjem sluha i dijagnostikom bolesti uha. Audiometrija točno mjeri gubitak sluha elektronskim uređajem (audiometrom). Audiometar proizvodi zvukove specifičnih visina i jačina. Svako uho se ispituje posebno. Slušalice se

koriste za mjerenje zračne provodljivosti sluha, a vibrirajuća naprava se nasloni na kost iza uha (mastoidni nastavak) za mjerenje koštane provodljivosti sluha. Budući da se glasni tonovi usmjereni na jedno uho mogu čuti i drugim uhom, ispitivani ton se maskira drugim zvukom i to na način da se na uho koje se ne ispituje pusti neki drugi zvuk, tako da osoba čuje ton koji se ispituje samo uhom koje se ispituje. Audiometrija je mjerenje osjetljivosti sluha, a postoje dvije glavne metode ispitivanja; ispitivanje pomoću čistih tonova i pomoću govora. Prvom metodom (čistim tonovima, tonska audiometrija) određuje se najniža jakost zvuka koju ispitanik osjeća za pojedinu frekvenciju. Izvodi se pomoću audiometra, elektroakustičkog aparata koji proizvodi tonove frekvencije 12 kHz i jakosti 120 dB. Prilikom ispitivanja se ispisuje grafički zapis (audiogram), krivulja koja u koordinatnom sustavu izražava osjetne pragove za pojedine tonske visine i tako pokazuje slušnu osjetljivost. Na apscisi se nalazi frekvencija, a na ordinati jakost. Primjer audiograma je prikazan na slici 12. Audiogramom se prikazuje samo razina na kojoj se čuju čisti tonovi, ali ne otkriva ništa o sposobnostima komunikacije s drugim ljudima. Drugom metodom (pomoću govora, govorna audiometrija) utvrđuje se granica primanja govora. Ispitaniku se predstavljaju riječi različite jakosti sve dok se ne nađe ona jakost pri kojoj ispitanik čuje i ponovi polovicu riječi. Osobama koje ne mogu svjesno sudjelovati u provjeri mjere se promjene u moždanim valovima i tjelesnim odgovorima na zvučni podražaj.



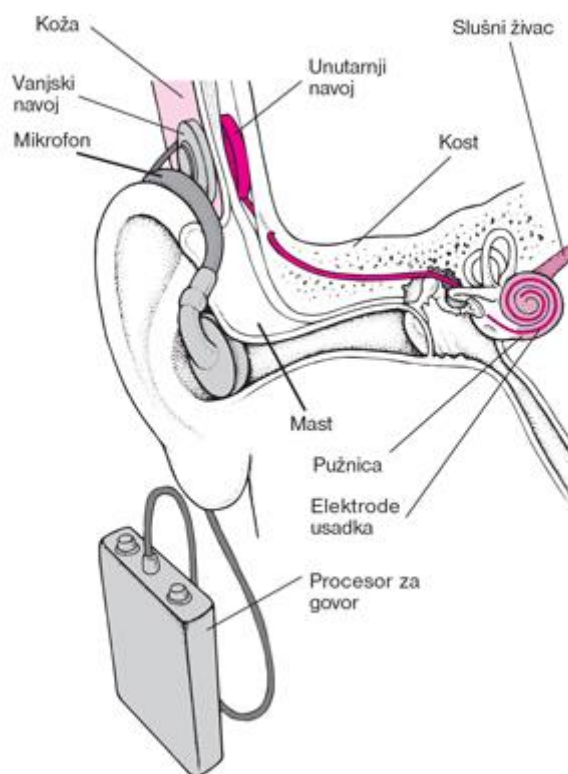
Slika 12. Audiogram [1]

6.2. Slušni aparati

Razvojem elektrotehnike nađen je i način na koji se može poboljšati sluh ljudima koji ne čuju dobro. Danas postoje pomagala poput slušnih aparata i umjetnih pužnica.

Osobama koje ne čuju dobro frekvencije normalnog govora ili visoke frekvencije pomažu slušni aparati koji imaju mikrofona za hvatanje zvukova, pojačalo za povećanje jačine i zvučnik za prijenos zvuka te bateriju kao izvor električne energije koja je potrebna za rad pomagala. Najčešće su to aparati koji poboljšavaju zračnu provodljivost. Ukoliko je gubitak sluha jako izražen tada je aparat složeniji. Drži se u džepu košulje, a žicom je spojen s dijelom aparata koji se nalazi na uhu.

Izrazito gluhim osobama može se ugraditi umjetna pužnica. Ona se sastoji od elektroda koje se ugrade u pužnicu, jednog unutarnjeg navoja koji se ugradi u lubanju, vanjskog navoja, procesora za govor i mikrofona. Mikrofon hvata zvučne valove, a procesor ih pretvara u električne impulse. Impuls se prenosi vanjskim navojem preko kože do unutarnjeg navoja i elektroda koje potiču slušni živac. Slika 13. prikazuje ugrađenu umjetnu pužnicu. Ako je zvučni živac oštećen, nije moguće poboljšati sluh.



Slika 13. Umjetna pužnica [36]

6.3. Zaštita sluha

Buka oštećuje sluh, a može i izazvati bolesti. Danas smo sve više izloženi raznim glasnim zvukovima, buci; kratko izlaganje jakom zvuku dovodi do trajnog oštećenja sluha. Da bi zaštitili sluh razvijeni su uređaji za zaštitu sluha. Na radnim mjestima na kojima se buka ne može tehničkim sredstvima sniziti radnici koriste štitnike za zaštitu sluha. Štitnici za zaštitu sluha ili antifoni su slušalice protiv buke koje su izrađene od polistirena i sintetičke pjene. Antifoni smanjuju srednju vrijednost čujnosti. Primjer slušalice za zaštitu od buke prikazan je na slici 14. Danas se koriste i uređaji koji snižavaju buku na sigurnu razinu pomoću filtra; izrađuju se individualno (3D postupkom se uzima otisak) i prilagođavaju se zahtjevima korisnika. Ovisno o primjeni razlikuju se po materijalu (mogu biti izrađeni od silikona, akrilata ili titanija) i filtrima (frekvencije koje propuštaju). Primjer takvog uređaja je prikazan slikom 15. Svi uređaju propuštaju govorne frekvencije tako da je moguće čuti sugovornika, zvukove u prometu, budilicu ili umjereno slušati glazbu. Postoji i uređaj za zaštitu sluha koji pojačava šumove iz okoline u mirnim situacijama, ali štiti uho od buke izazvane pucanjem. [5, 18, 32]



Slika 14. Antifoni [32]



Slika 15. Uređaj za zaštitu sluha (napravljen od titanija) [5]

7. Nastava fizike u osnovnoj školi

Nastava fizike u osnovnoj školi izvodi se prema Nastavnom planu i programu, koji se primjenjuje od školske godine 2006./2007. Nastava se odvija 2 sata tjedno, 70 sati godišnje u 7. i 8. razredu. [17]

U 8. razredu se obrađuje nastavna tema „Valovi“ s nastavnim jedinicama „Valno gibanje“, „Opis valova“, „Valovi na vodi“, „Brzina rasprostiranja vala“, „Nastajanje i rasprostiranje zvuka“, „Osobine i brzina zvuka“ te dvije izborne nastavne jedinice „Odbijanje ili refleksija valova“ i „Lom ili refrakcija valova“. [29]

U ovom diplomskom radu riječ je o ljudskom sluhu, što se može primijeniti u nastavnim jedinicama „Nastajanje i rasprostiranje zvuka“ te „Osobine i brzina zvuka“.

Student: Martina Mikulić

Škola/Fakultet:

Mjesto: Osijek

Nadnevak:

Priprema za izvođenje nastavnog sata

Nastajanje i rasprostiranje zvuka

Škola: Osnovna škola

Mjesto:

Mentor:

Naziv škole:

Mjesto: Osijek

Nadnevak:

Razred: 8.

Priprema za izvođenje nastavne teme

Nastajanje i rasprostiranje zvuka

Ime i prezime učitelja/studenta: Martina Mikulić

Nastavno područje (predmet): FIZIKA

Broj sati:

OČEKIVANA POSTIGNUĆA I NJIHOVO VREDNOVANJE

Cilj nastavne teme:

Objasniti učenicima kako nastaje i kako se širi zvuk.

Obrazovni ishod:

Učenici će moći opisati kako nastaje zvuk.

Učenici će moći objasniti zašto je zvuk longitudinalni val.

Obrazovna postignuća:

a) Kognitivna postignuća (učenje informacija i procesa povezanih s informacijama)

Objasniti nastajanje zvuka. Nabrojati izvore zvuka. Opisati širenje zvuka.

b) Psihomotorička postignuća (fizičke vještine i spretnost)

Izvoditi pokuse (titranje žice, titranje glazbene vilice), preciznost pri izvođenju pokusa.

Odgojna postignuća (uvjerenja, stavovi i vrijednosti koje treba razvijati)

Razvijati logičko zaključivanje, preciznost pri radu. Razvijati suradničko učenje, rad u grupi.

Ključni pojmovi:

Izvor zvuka, longitudinalan val

Korelacija:

Glazbena kultura, Biologija

Vrednovanje obrazovnih ishoda

Što je zvuk? Kako nastaje zvuk? Što je potrebno za širenje zvuka?

Opišite širenje zvuka?

ORGANIZACIJA NASTAVNOG PROCESA

Nastavne metode	Nastavni postupci	Socijalni oblici rada	Nastavna sredstva i pomagala
- <i>metode usmenog izlaganja</i> - <i>metoda razgovora</i> - <i>metoda demonstracije</i> - <i>vođeni pokus</i>	Planiranje Upućivanje Predstavljanje Demonstriranje Ispitivanje Komuniciranje	Frontalni Individualni Grupni	Udžbenik, radna bilježnica Ploča, kreda Pribor za pokuse: glazbena vilica, čaša, voda, sat, stakleno zvono, vakuum pumpa, glazbeni instrumenti
Literatura: Za učenike: Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Udžbenik za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Radna bilježnica za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Za učitelja: Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Udžbenik za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Radna bilježnica za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Internetske stranice: http://www.eduvizija.hr/portal/lekcija/8-razred-fizika-zvuk#video			

TIJEK NASTAVNOG PROCESA

Etapa sata	Cilj etape	Opis aktivnosti učitelja	Opis aktivnosti učenika
Uvodni dio (otvaranje problema) 8 min	✓ provjera predznanja ✓ poticanje znatiželje ✓ poticanje motivacije	Upis sata, provjera zadaće Postavlja pitanja. - Što je val, valno gibanje? - Spominjali smo transversalne i longitudinalne valove Objasnite razliku. Motivacija: - Svakodnevno smo okruženi raznim zvukovima (glazba, zvukovi iz prirode, govor); biramo one koji su našem uhu ugodni. - U biologiji ste učili da zvukove registriramo osjetom sluha, fiziološkim svojstvima uha i interpretacijom slušnih informacija u mozgu. - Prozvati učenika da nabroji dijelove uha, pomoći pri nabranju. Danas ćemo iz fizike naučiti kako nastaje i kako se rasprostire zvuk. Piše naslov na ploču Nastajanje i rasprostiranje zvuka	Odgovaraju na postavljena pitanja: - Valno gibanje je pojava prijenosa energije titranjem čestica elastičnog sredstva. - Valovi kod kojih čestice titraju okomito na smjer širenja vala su transversalni valovi (poprečni). Valovi kod kojih je smjer širenja vala podudaran sa smjerom titranja njegovih čestica su longitudinalni (uzdužni). - Uho se sastoji od ušne školjke, zvukovoda, bubnjića, slušnih košćica, slušnog živca. Pišu naslov u bilježnicu Nastajanje i rasprostiranje zvuka
Središnji dio (konstruiranje modela) 32 min	✓ usvojene temeljne pojmove, pojave i procese, algoritme... primijeniti u konkretnom zadatku ✓ razvijati vještine promatranja, opisivanja i usmenog izražavanja, grafičkih prikaza - crtanje	U fizici proučavamo osobine zvuka, kako nastaje i kako dopire do našeg uha da ga možemo čuti. Glazbeni instrumenti – prozvati učenike koji sviraju neki instrument da objasne kako taj instrument stvara zvuk. Pokazati na primjeru Izvodi pokuse i pomaže učenicima doći do zaključka. Pokus: Titranje glazbene vilice Izvodi pokus U čašu do vrha ulijemo vodu, glazbenu vilicu udarimo batićem, a potom joj vrhove uronimo u vodu. Udarcem batića izazvali smo	Opis stvaranja zvuka za žičana, puhačka glazbala. Opazanja i Zaključak pokusa: Voda prska iz čaše, glazbena vilica titra. /ako ima dobrovoljaca, učenici mogu izvesti pokus/

	etapa pokusa, organiziranja podataka, dogovaranja i pridržavanja pravila reda	poremećaj vrhova glazbene vilice koja zatitra. Titranje glazbene vilice potakne na titranje čestice zraka, izazove poremećaj čestica zraka koji se rasprostire do našeg uha i mi čujemo zvuk. Pokus: Glazbena vilica s akustičkom kutijom Glazbenu vilicu udarimo batićem. Akustična kutija pojačava poremećaje koje smo izazvali i koji se šire zrakom. Titranje tijela glazbene vilice prenosi se zrakom do našeg uha koje ih registrira kao zvuk. Svaki poremećaj koji se rasprostire sredstvom je val. Dakle, i zvuk je val. Takvi poremećaji gustoće čestica okolnog zraka prenose se dalje zrakom i dopiru do osjetljive membrane uha koja, podražena njima, jednako zatitra. Zvuk se rasprostire u obliku zgušćenja i razrjeđenja. Zvuk je longitudinalan val. (pustiti video) Ako dotaknete zvučnike dok slušate glazbu, osjetit ćete titranje. Ljudi koji imaju slab sluh ili su potpuno gluhi, mogu „slušati“ glazbu držeći ruku na glazbenoj kutiji instrumenta ili na zvučniku. Osjećaju titranje kutije glazbala izazvano titranjem zraka u njoj. Pokus: Širi li se zvuk vakuumom Uključimo sat s alarmom i postavimo ga ispod staklenog zvona. Sisaljkom ispod zvona isisavamo zrak i osluškujemo zvuk koji dopire do nas. Zvuk zvona postaje sve slabiji. Na kraju se zvuk ne čuje iako vidimo da batić zvona i dalje titra. U zrakopraznom prostoru, vakuumu, zvučni valovi se ne šire. Piše plan ploče	Opažanja: Čujemo pojačani zvuk. U grupi izvesti pokus s različitim glazbenim vilicama. Osjetiti titranje glazbene vilice, čuti zvukove. Gledaju video http://www.eduvizija.hr/portal/lekcija/8-razred-fizika-zvuk#video Ukoliko je moguće izvode pokuse, sviraju različite instrumente. Prate i opažaju pokus. Zvuk zvona postaje sve slabiji, na kraju ga ne čujemo. Prepisuju s ploče
Završni dio (primjena modela) 5 min	✓ Primjena naučenog	Pitanja 1. Što je zvuk? 2. Kako se zvučni valovi šire sredstvom? 3. Može li se zvuk širiti vakuumom?	Odgovori 1. Zvuk je longitudinalan val. 2. Zvuk se rasprostire u obliku zgušćenja i razrjeđenja. 3. Zvuk se ne širi vakuumom.

PLAN PLOČE

Nastajanje i rasprostiranje zvuka

- Zvuk je longitudinalan val koji se rasprostire sredstvom, npr. zrak
- Zvuk se ne širi vakuumom

Student: Martina Mikulić

Škola/Fakultet:

Mjesto: Osijek

Nadnevak:

Priprema za izvođenje nastavnog sata

Osobine i brzina zvuka

Škola: Osnovna škola

Mjesto:

Mentor:

Naziv škole:

Mjesto: Osijek

Nadnevak:

Razred: 8.

Priprema za izvođenje nastavne teme

Osobine i brzina zvuka

Ime i prezime učitelja/studenta: Martina Mikulić

Nastavno područje (predmet): FIZIKA

Broj sati:

OČEKIVANA POSTIGNUĆA I NJIHOVO VREDNOVANJE

Cilj nastavne teme:

Objasniti učenicima osobine zvuka i primjenu.

Obrazovni ishod:

Učenici će moći navesti osobine zvuka.

Obrazovna postignuća:

a) Kognitivna postignuća (učenje informacija i procesa povezanih s informacijama)

Navesti razliku između tona i šuma. Iskazati o čemu ovisi brzina zvuka. Navesti mjernu jedinicu za jakost zvuka. Objasniti što je jeka.

Navesti primjenu zvuka (šišmiši, sonar, ultrazvuk).

b) Psihomotorička postignuća (fizičke vještine i spretnost)

Mjerenje jakosti zvuka pomoću aplikacije.

Odgojna postignuća (uvjerenja, stavovi i vrijednosti koje treba razvijati)

Pozitivan odnos prema radu.

Ključni pojmovi:

Brzina zvuka, jakost zvuka, frekvencija

Korelacija:

Glazbena kultura, Biologija

Vrednovanje obrazovnih ishoda

Što sve karakterizira zvuk? Što će se još promijeniti, ako promijenimo gustoću sredstva?

Koja je mjerna jedinica za jakost zvuka?

ORGANIZACIJA NASTAVNOG PROCESA

Nastavne metode	Nastavni postupci	Socijalni oblici rada	Nastavna sredstva i pomagala
- <i>metode usmenog izlaganja</i> - <i>metoda razgovora</i> - <i>metoda demonstracije</i> - <i>slušanje i opažanje</i>	Planiranje Upućivanje Predstavljanje Demonstriranje Komuniciranje	Frontalni Individualni U paru	Udžbenik, radna bilježnica Ploča, kreda, papir, glazbene vilice, žičani instrumenti
Literatura: Za učenike: Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Udžbenik za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Radna bilježnica za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Za učitelja: Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Udžbenik za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Radna bilježnica za osmi razred osnovne škole Zagreb: Profil, 2013. Internetske stranice:			

TIJEK NASTAVNOG PROCESA

Etapa sata	Cilj etape	Opis aktivnosti učitelja	Opis aktivnosti učenika												
Uvodni dio (otvaranje problema) 7 min	✓ provjera predznanja ✓ poticanje znatiželje ✓ poticanje motivacije	- postavlja pitanja 1. Gitara, violina i drugi žičani instrumenti proizvode tonove kada njihove (<u>žice</u>) titraju. 2. Je li zvuk transversalan ili longitudinalan val? 3. Gdje se zvuk ne širi? Piše naslov na ploču <i>Osobine i brzina zvuka</i> Proizvodi zvukove - Titranje glazbene vilice - Titranje napetih žica - Gužvanje papira	- odgovaraju na pitanja Dopunjavaju rečenicu sa riječju žice Zvuk je longitudinalan val. Zvuk se ne širi vakuumom Pišu naslov u bilježnicu <i>Osobine i brzina zvuka</i> Osluškuju zvukove, jesu li ugodni ili ne.												
Središnji dio (konstruiranje modela) 25 min	✓ usvojene temeljne pojmove, pojave i procese, algoritme... primijeniti u konkretnom zadatku ✓ razvijati vještine promatranja, opisivanja i usmenog izražavanja, grafičkih prikaza- crtanje etapa pokusa, organiziranja podataka, dogovaranja i pridržavanja pravila reda	Za neke zvukove kažemo da su tonovi, a za neke da su šumovi. Možete li navesti neke tonove i neke šumove. Ton nastaje kada izvor zvuka pravilno titra stalnom frekvencijom, a šum je titranje u kojem izvor zvuka nepravilno titra, nema stalnu frekvenciju. Visina tona ovisi o frekvenciji zvuka. Što je frekvencija izvora zvuka veća, tonovi su viši. Čovjek čuje zvukove koji imaju frekvenciju veću od 20 Hz, a manju od 20000 Hz. Zvuk frekvencije manje od 20 Hz zovemo infrazvuk, a zvuk frekvencije više od 20000 Hz je ultrazvuk. Brzina širenja zvuka ovisi o gustoći i elastičnosti sredstva kojim se zvuk širi. Brzina širenja zvuka zrakom pri temperaturi 0 °C i tlaku 1013 hPa je 331 m/s. Brzina se mijenja, ako se mijenja tlak ili gustoća zraka. Tablica u udžbeniku: Brzina zvuka kroz neka sredstva <table><tr><td>Zrak, 0 °C</td><td>331 m/s</td></tr><tr><td>Zrak, 15 °C</td><td>340 m/s</td></tr><tr><td>Drvo</td><td>3000 m/s</td></tr><tr><td>Voda, 25 °C</td><td>1500 m/s</td></tr><tr><td>More, 25 °C</td><td>1530 m/s</td></tr><tr><td>Staklo, željezo</td><td>5950 m/s</td></tr></table>	Zrak, 0 °C	331 m/s	Zrak, 15 °C	340 m/s	Drvo	3000 m/s	Voda, 25 °C	1500 m/s	More, 25 °C	1530 m/s	Staklo, željezo	5950 m/s	Tonovi: glazbeni instrumenti, glas, pjev ptica Šumovi: more, lišće, gužvanje papira Sudjeluju u razgovoru Gledaju i komentiraju tablicu Brzina ovisi o temperaturi i gustoći.
Zrak, 0 °C	331 m/s														
Zrak, 15 °C	340 m/s														
Drvo	3000 m/s														
Voda, 25 °C	1500 m/s														
More, 25 °C	1530 m/s														
Staklo, željezo	5950 m/s														

		Kako se ponašaju valovi zvuka? Stojeći iza ugla, čut ćete glasove ljudi koje ne vidite. Valovi zvuka se prostorom od izvora zvuka rasprostiru u svim smjerovima. Jeka vlastitog glasa u praznoj prostoriji ili u planinskom klancu nastaje zbog odbijanja zvuka od čvrste prepreke. Kako je zvuk val, kao i svaki val, odbija se ili reflektira od čvrste prepreke. Primjena – šišmiši, sonar Udžbenik str 115. Glasnoća zvuka O frekvenciji izvora zvučnih valova ovisi koji ton ćemo čuti, no glasnoća zvuka određena je njegovom amplitudom. Istu glazbu možete slušati glasnije ili tiše. U tom slučaju tonovi su jednakih frekvencija, ali različitih amplituda. Kako biste dobili ton veće amplitude, na izvoru treba djelovati većom silom. Glazba velike glasnoće oštećuje membranu uha (bubnjić) i dovodi postupno do neosjetljivosti uha na slabe zvučne podražaje, a time do slabljenja sluha. Mjerna jedinica razine jakosti zvuka je decibel (znak dB) u čast Aleksandera Grahama Bella. Piše plan ploče	Sudjeluju u razgovoru Samostalno čitaju primjenu – dio teksta u udžbeniku na stranici 115. Dio učenika čita o šišmišima, a drugi dio o sonaru. Nakon toga jedni drugima prezentiraju što su pročitali (rad u paru). Sudjeluju u razgovoru Prepisuju s ploče
Završni dio (primjena modela) 13 min	✓ Primjena naučenog	<i>Slika u udžbeniku na stranici 116. Razine jakosti zvukova kojima smo svakodnevno izloženi.</i> <i>10 dB = šapat</i> <i>50 dB = razgovor</i> <i>60 dB = klapsko pjevanje</i> <i>70 dB = buka automobila</i> <i>80 – 100 dB = glazba u klubovima</i> <i>Pomoću aplikacije za mjerenje jakosti zvuka ili, ako je moguće, profesionalnim uređajem provjeriti koliko glasno pričamo.</i>	Gledaju i komentiraju sliku <i>10 dB = šapat</i> <i>50 dB = razgovor</i> <i>60 dB = klapsko pjevanje</i> <i>70 dB = buka automobila</i> <i>80 – 100 dB = glazba u klubovima</i> Koristeći aplikaciju izmjeriti jakost svog govora i razgovora u učionici.

PLAN PLOČE

Osobine i brzina zvuka

- **Ton**
- **Šum**
- **Brzina zvuka u zraku iznosi 331 m/s**
- **Zvuk se širi u svim smjerovima**
- **Odbijanje – jeka**
- **Glasnoća zvuka**
- **Jakost zvuka – decibeli [dB]**

8. Zaključak

Zvuk je longitudinalni val koji se širi samo u sredstvu (gdje ima tvari, molekula), a ne giba se kroz vakuum. Brzina zvuka ovisi o gustoći i elastičnosti sredstva. Najslabiji zvuk koji jedva čujemo ima jakost od 10^{-12} W/m^2 i razinu jakosti od 0 dB, a najjači jakost od 1 W/m^2 i razinu jakosti od 120 dB. Zdravo ljudsko uho čuje frekvencije od 20 Hz do 20 kHz. Uslijed bolesti ili starosti raspon frekvencija se smanjuje. Zvuk putuje kao val vanjskim i srednjim uhom do unutarnjeg, gdje se pretvara u električni impuls koji putuje živcem do mozga. Oslabljeni sluh je moguće poboljšati nošenjem slušnih pomagala ili ugradnjom umjetne pužnice. Gubitak sluha koji je uzrokovan oštećenjem slušnog živaca nije moguće poboljšati. U nastavi fizike učenici uče o zvuku, a s tim se povezuje i sluh.

9. Literatura

- [1] Audiogram osobe u dobi od 27 godina, napravljen audiometrom Inter Acustics
- [2] Canan, S. PhD, The Sense of Hearing
- [3] Contreras, A. P. i Stern Forgach, C. E. Principles of acoustics, Fundamentals of physics Vol.1, URL: <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C05/E6-06B-01-05.pdf> (20.5.2017.)
- [4] E matematika, URL: http://e.math.hr/vibracije/vibracije_print.html (20.5.2017.)
- [5] Earwear, URL: <http://www.earwear.me> (20.6.2017.)
- [6] Elberling, C. i Worsoe, K. Iščeznuti zvuci – o sluhu i slušnim pomagalicama Split, Bontech Research, 2008.
- [7] Encyclopaedia Britannica, Acoustics, Modern Advances, URL: <https://www.britannica.com/science/acoustics/Modern-advances#ref527589> (20.5.2017.)
- [8] Encyclopaedia Britannica, Ear, URL: <https://www.britannica.com/search?query=ear> (20.5.2017.)
- [9] Encyclopaedia Britannica, Science, ear, Auditory-ossicles, URL: <https://www.britannica.com/science/ear/Auditory-ossicles> (20.5.2017.)
- [10] Encyclopaedia Britannica, Rayleigh, J., URL: <https://www.britannica.com/biography/John-William-Strutt-3rd-Baron-Rayleigh> (5.5.2017.)
- [11] Fizika Blog, URL: <http://fizika-osnove.blogspot.hr/>
- [12] Gelfand, S. A. Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics, New York: Department of Linguistics and Communication Disorders, Queens College of the City University of New York, Informa healthcare, 2010.
- [13] Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslava Krleža, URL: <http://www.enciklopedija.hr/> (20.5.2017.)
- [14] Ingebretsen, R. J. The physics of the human body, Companion Manual, 2002., URL: http://mspde.usc.edu/inspiring/resource/western%20medicine/body_manu.pdf (25.5. 2017.)

- [15] Jacobsen, F. An elementary introduction to acoustics, Acoustics technology, Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark, November 2011. URL: http://web-files.ait.dtu.dk/fjac/p_home_page/notes/Introduction_to_acoustics.pdf (20.5.2017.)
- [16] Krauskopf, K. B. i Beiser, A. The Physical Universe, New York, Mc Graw Hill, 2006.
- [17] Nastavni plan i program za osnovnu školu, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, Republika Hrvatska, Zagreb, 2006.
- [18] Neuroth, URL: <http://www.neuroth.hr/> (20.6.2017.)
- [19] Osnovna škola Šime Budinića Zadar, URL: <http://os-sbudinica-zd.skole.hr/nastava/predmeti/fizika> (20.5.2017.)
- [20] Paar, V. Fizika 3: Udžbenik za treći razred gimnazije, Zagreb, Školska knjiga, 2009.
- [21] Paić, M. Gibanja, sile, valovi: Udžbenik za studente Prirodoslovno – matematičkog fakulteta u Zagrebu, Zagreb, Školska knjiga, 1997.
- [22] Periodni sustav elemenata, URL: <http://www.periodni.com/hr/he.html> (20.5.2017.)
- [23] Planinić, J. Osnove fizike 3: Valovi – akustika – optika – uvod u atomsku fiziku, Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Filozofski fakultet, 2005.
- [24] Proleksis enciklopedija, Akustika, URL: <http://proleksis.lzmk.hr/7550/> (25.5.2017.)
- [25] Proleksis enciklopedija, Naglušost, URL: <http://proleksis.lzmk.hr/38262/> naglušost (25.5.2017.)
- [26] Proleksis enciklopedija, Rayleigh, John William Strutt, URL: <http://proleksis.lzmk.hr/43447/> (9.5.2017.)
- [27] Proleksis enciklopedija, Uho, URL: <http://proleksis.lzmk.hr/?s=uho> (20.5.2017.)
- [28] Raichel, D.R. The science and applications of acoustics, New York, Springer, URL: https://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_198.pdf (20.5. 2017.)
- [29] Ratkaj, B., Kurtović, R., Kovačiček, A. i Krnjaić, Z. Fizika 8: Udžbenik za osmi razred osnovne škole, Zagreb, Profil, 2013.

- [30] Reichenbach, T. i Hudspeth, A. J. The physics of hearing: fluid mechanics and the active process of inner ear, New York, USA
- [31] Seminari, URL: <http://dominis.phy.hr/~hmikulec/SAMP/seminar2/index.html>
(20.5.2017.)
- [32] Slušni centar Pavlović, URL:
<http://www.slusni-centar-pavlovic.hr/shop/index.php?route=product/category&path=45>
(3.7.2017.)
- [33] Struna, Hrvatsko strukovno nazivlje, URL: <http://struna.ihjj.hr/>
- [34] The Human ear – Hearing, Sound Intensity and Loudness Levels, UIUC Physics of Music, URL:
https://courses.physics.illinois.edu/phys406/lecture_notes/p406pom_lecture_notes/p406pom_lect5.pdf (20.5.2017.)
- [35] The acoustics of the body, the physics of the ear
- [36] Uho // MSD medicinski priručnik: za pacijente/ za izdavača Snježana Ivančević, drugo hrvatsko izdanje, Split, Hrvatska, PLACEBO d.o.o., 2008. str. 1009. – 1026.
- [37] Valovi // Povijest fizike / Supek, I.; Zagreb, Školska knjiga, 2004., str. 80. – 85.

Životopis

Martina Mikulić rođena je 22. studenog 1991. godine u SR Njemačkoj. Osnovnu i srednju školu je završila u Osijeku. 2010. godine upisuje preddiplomski studij fizike, a 2014. godine upisuje diplomski studij fizike i informatike – smjer nastavnički na Odjelu za fiziku.