

SVEUCILIŠTE U SPLITU
FAKULTET
PRIRODOSLOVNO-MATEMATICKIH ZNANOSTI
I ODGOJNIH PODRUČJA

DIPLOMSKI RAD

SPLIT 1998

UCENICKE KONCEPCIJE
U RAZUMIJEVANJU ZVUKA

IZRADIO:
ZDESLAV HREPIC

MENTOR:
IVICA LUKETIN

SADRŽAJ

1. UVOD

- 1.1. Spoznajni obrasci i poučavanje fizike**
- 1.2. Zašto istraživati razumijevanje zvuka**
- 1.3. Što je akustika**
- 1.4. Što je zvuk**
- 1.5. Što se o zvuku može naučiti u školi**

2. METODE I POSTUPCI

- 2.1. Sastavljanje testova**
- 2.2. Testiranje**

3. REZULTATI

4. PROSUDBA

4.1. Spontane predodžbe

4.1.1. Prvi "zakon" spontane akustike

4.1.1.1. Zvuk se rasprostire kao čestica

Zvuk nema valna svojstva

4.1.2. Spontane predodžbe oblikovane česticnom predodžbom o širenju zvuka

4.1.2.1. Materijalne prepreke ometaju prolaz zvuka

4.1.2.2. Brzina zvuka ovisi o njegovoj jakosti

4.1.2.3. Brzina zvuka ovisi o gibanju izvora zvuka

4.1.2.4. Zvuk se poput udaljenog predmeta može opaziti u daljini

4.1.3. Spontane predodžbe oblikovane lošim transferom znanja

4.1.3.1. Elektroizolatori loše provode i zvuk

4.1.3.2. Energija zvuka nije općenito transformabilna

4.1.4. Spontane predodžbe oblikovane odnosno osnažene školskim znanjem

4.1.4.1. Tvari to brže provode zvuk što su gušće

4.1.4.2. Brzina zvuka ovisi o njegovoj frekvenciji

4.1.4.3. Vjetar utjece na frekvenciju zvuka koju prima opažac

4.2. Poteškoce u razumijevanju zvukovnih pojava

4.2.1. Dopplerov efekt

4.2.2. Utjecaj amplitude i frekvencije na visinu i intenzitet zvuka

4.2.3. Utjecaj razlicitih parametara na frekvenciju zvuka

4.2.4. Odnos brzine zvuka, brzine svjetlosti i brzine tijela

4.2.5. Nerazumijevanje pojava povezanih sa zvukom

4.3. Poteškoce u razumijevanju pojmova i odnosa

4.4. Ucenicki osvrti

4.5. Prijedlozi za daljnje istraživanje

5. ZAKLJUCAK

5.1. Problem postoji

5.2. Promjena pristupa poucavanju fizike

5.3. Tijek spoznaje u nastavi

5.4. Modularni pristup

6. ZAHVALE

7. POPIS KORIŠTENE LITERATURE

Dodatak A: Potpun tablicni prikaz tocnosti odgovora

Dodatak B: Tocni odgovori na pitanja iz testova

Dodatak C: Temeljna inacica testa

KRATICE

upotrijebljene u ovom radu

S.P.	-Spontana predodžba
P.P.	-Prvobitna predodžba ili p-prim
O.Š.	-Osnovna škola
S.Š.	-Srednja škola
O.Š.B.	-Osnovna škola Brda
O.Š.S.	-Osnovna škola Spinut
M.G.	-Matematička gimnazija
J.G.	-Jezicna gimnazija
E.T.Š.	-Elektrotehnička škola
T.F.	-Tehnološki fakultet
P.M.F odgojnih	-Fakultet prirodoslovno matematičkih znanosti i područja u Splitu

1. UVOD

1.1. SPOZNAJNI OBRASCI I POUCAVANJE FIZIKE

Kod ljudi postoji snažna sklonost da organiziraju svoja iskustva i opažanja u spoznajne obrasce (mentalne modele) koji se odnose na pojedine teme. O osobinama tih obrazaca i danas se živo raspravlja i usprkos pokušajima da se izgradi opće reprezentativni sustav za mentalne modele, od do danas nacinjenih, nijedan nije široko prihvacen.

Medutim neki zakljucci su jasni. Ogranicavajući se na njih, danas znamo da mentalni obrasci imaju slijedeće osobine:

1. Sastoje se od tvrdnji, predodžbi, pravila o postupanju i stavova o tome kada i kako ih treba koristiti.
2. Mogu sadržavati proturjecne elemente.
3. Mogu biti nepotpuni.
4. Osoba često ne poznaje načine "pokretanja" postupaka koji postoje u njenim mentalnim obrascima, odnosno nije ih svjesna.
5. Elementi mentalnih obrazaca nemaju jasne granice. Slični elementi mogu se pomiješati.
6. Mentalni obrasci teže minimalizaciji trošenja umne energije. Ljudi će često dodatno fizički djelovati, ponekad poduzimati teške i zahtjevne poslove koji iziskuju i mnogo vremena, da bi izbjegli malo ozbiljnog promišljanja.

Oдавde možemo zaključiti da se mentalni obrasci oblikuju na posve različite načine od onog najčešće prihvaćenog u poučavanju fizike.

Mi obično podrazumijevamo da naši učenici nešto ili znaju ili ne znaju. Pogled na mentalne obrasce koji su uočeni kod učenika nameće drukčiji stav.

Naime, kod učenika mogu postojati proturjecni elementi u razmišljanju odnosno zaključivanju, a da oni nisu svjesni tih proturjecnosti.

Iz poznavanja sklonosti uma ka oblikovanju mentalnih obrazaca te njihovih svojstava, prirodno slijede brojni zaključci važni za razumijevanje poučavanja fizike.

Ono što najprije treba shvatiti jest da ono što trebamo pružiti učeniku nije jednostavno "sadržaj", već je potrebno izgraditi njihovo razumijevanje tog sadržaja unutar jasnog, tocnog i ucinkovitog mentalnog obrasca.

Medu metodizarima prirodnih znanosti općenito je prihvaceno da učenici već prije formalnog obrazovanja imaju predodžbe o gradivu koje su različite od onih u stručnjaka a koje pri poučavanju valja uočiti i razotkriti.

Takve predodžbe nazivaju se različito: predpredodžbe, alternativne predodžbe, krive predodžbe (miskonceptije), spontane predodžbe, no u vezi s njihovim bitnim odlikama autori su složni.

One su:

1. spontane, samonikle;
2. cvrsto ukorjenjene, postojeane, spoznajne tvorevine;
3. različite od predodžbi stručnjaka;
4. one u temeljnom smislu utjecu na učenikovo razumijevanje prirodnih pojava i znanstvenog objašnjenja istih;
5. moraju se nadici, izbjeći ili otkloniti da bi učenici postigli razumijevanje stručnjaka.

U ovom radu ja ću koristiti naziv "spontana predodžba" (S.P.) definiran ovima petorima svojstvima.

Želim istaci da postojanje spontane predodžbe, učenika ne čini nezalicom. On ima određeno znanje o fizikom svijetu, to je znanje razumno i njemu korisno te mu služi da sebi objasni ono što opaža.

No razmišljanje u okvirima S.P. je situacijsko, nepostojano i nema širi teorijski model. Situacija je ta koja određuje izbor predodžbe odnosno sebi primjenjivo objašnjenje. Nasuprot tome stručnjak će iz općenitog teorijskog modela izvuci zaključak o mehanici zbivanja u određenoj situaciji.

Ne treba ni naglašavati važnost poznavanja najčešćih S.P. u određenom području da bi ih se u obrazovnom procesu prevladalo. No usredotočenije isključivo na razlike učenickih i stručnjackih predodžbi ne može biti dovoljno za unaprijedenje poučavanja. Osim poznavanja S.P., valja odrediti i njihovo izvorište. Tek tada možemo ponuditi i plodotvorne zamisli za unaprijedenje procesa učenja. Iz tog razloga danas se pri promatranju intuitivnog znanja u fizici uzimaju u obzir i prvobitne predodžbe ili "p-primovi" (od engl.: *phenomenological primitives*).

Za razliku od S.P. prvobitne predodžbe nisu netočne. Niti su točne. One su dijelovi spoznajne strukture koji stoje iza S.P. i mogu biti pobudeni u različitim okolnostima.

Razvoj ka stručnjackom razumijevanju znači promjenu uvjeta njihovog pobuđivanja, a ne njihovo mehanicko zamjenjivanje prikladnom zamisli. Na njih ne treba gledati kao na učenicko, nestručno poimanje znanstvene stvarnosti, već kao na korisno sredstvo za izgrađivanje znanstvene slike svijeta.

U skladu s tim, za unaprijedenje obrazovnog procesa učitelj može upotrijebiti učenicko intuitivno znanje iskorištavajući ga na pravom mjestu, odnosno prikladno ga oblikujući.

U tom smislu, cilj je mog diplomskog rada otkriti spontane predodžbe koje u razumijevanju zvuka postoje kod učenika, kao i prvobitne predodžbe koje stoje iza njih, te ispitati u kojoj su mjeri zastupljene.

1.2. ZAŠTO ISTRAŽIVATI RAZUMIJEVANJE ZVUKA

Tri su razloga:

1. To je jedna od najsvakodnevnijih pojava koja se poučava (i proučava) u fizici uopće.
2. Također je jedna od najmanje i najšturije zastupljenih tema u udžbenicima i nastavnim planovima iz fizike na svim razinama.
3. To je jedna od najmanje i najslabije istraženih područja u pogledu metodike fizike.

1.3. ŠTO JE AKUSTIKA

Akustika je znanost o zvuku i obuhvaća njegovo nastajanje prijenos i učinke.

Danas riječ zvuk ne označava samo pojavu u zraku koja je odgovorna za osjet sluha (mehanički val), već i sve ostale pojave utemeljene na sukladnim fizikalnim principima. Zbog toga i poremećaje jako niskih frekvencija (infrazvuk) ili jako visokih (ultrazvuk) koje normalna osoba ne može čuti, također smatramo zvukom.

Nadalje, možemo govoriti i o podvodnom zvuku, zvuku u krutinama i strukturnom zvuku.

Akustika se od optike razlikuje prvenstveno u tome što je zvuk mehanicki a ne elektromagnetski val. Veliki doseg akustike kao podrucja od interesa i istraživanja može se pripisati mnoštvu razloga. Ponajprije, to je sama priroda mehanickog zracenja koje je sveprisutno, bilo da je uzrokovano prirodnim pobudnjima ili ljudskom djelatnošću.

Zatim, tu je osjet sluha, ljudska govorna sposobnost, mogućnost komunikacije preko zvuka kao i mnoštvo psiholoških fenomena koje zvuk uzrokuje kod opažaca.

Podrucja ljudskog djelovanja kao što su govor, glazba, snimanje i reprodukcija zvuka, telefonija, audiologija, arhitektonska akustika, nadzor buke, itd., u uskoj su vezi sa zvukom i osjetilom sluha.

Zvuk je sredstvo prijenosa informacija i neovisno o našim prirodnim slušnim sposobnostima, osobito u podvodnoj akustici.

U mnogobrojnim primjenama kako u fundamentalnim istraživanjima tako i u tehnologiji, iskorištava se činjenica da na prijenos zvuka utjecu osobine sredstva kroz koje zvuk prolazi, nepravilnosti, nehomogenosti kao i druga tijela koja mu stoje na putu. Zbog toga se pomoću zvuka može dobiti mnoštvo potrebnih informacija o tvarima i njihovim osobinama koje nas zanimaju.

Iz svega recenog lako je razabrati koliko je važna uloga zvuka u životu čovjeka osobito u suvremenom društvu. Otud, prirodno proizilazi i potreba za elementarnom upoznatošću sa osnovnim fizikalnim principima na kojima se temelji taj fenomen, kod svakog obrazovanog čovjeka a napose kod stručnjaka koji se zvukom bavi na bilo kojem od gore navedenih područja.

No kako ćemo vidjeti, opseg i način na koji se danas obrađuje zvuk u školama i dosezi tog pristupa općenito ne odgovaraju zahtjevima koje okolina postavlja pred današnjeg čovjeka.

1.4. ŠTO JE ZVUK

Zvuk je longitudinalni mehanicki val.

Predmnijevajući da je čitatelj upoznat sa općim osobinama valova, ovdje ću se ponajprije osvrnuti na posebitosti longitudinalnih mehanickih valova, odnosno valova zvuka.

1.4.1. MEHANICKI VALOVI

1.4.1.1. UVOD

Energija se može prenositi od jednog mjesta do drugog na dva načina, i to gibanjem čestica (tijela) i valovitim gibanjem. Kada zatitramo žicu nekoga muzickog instrumenta, kad titra membrana zvučnika i sl., kroz okolni se prostor šire *zvucni* valovi. Iz izvora svjetlosti šire se svjetlosni valovi, a iz upaljene peći infracrveni elektromagnetski valovi i sl. Sve su to primjeri valnog gibanja. Val je, dakle, poremećaj sredstva koji se određenom brzinom širi kroz prostor.

Osim mehanickih valova, postoje i *elektromagnetski* valovi, u kojih se vremenski mijenjaju električno i magnetsko polje.

Mehanicki valovi šire se kroz elastična sredstva, a elektromagnetski se valovi mogu širiti i u vakuumu.

U ovom ćemo poglavlju razmatrati **mehanicke valove**.

Pri širenju vala čestice sredstva ostaju na "svojim mjestima" odnosno titraju oko ravnotežnog položaja, a širi se samo stanje titranja odnosno prenosi se energija izvora vala. Val je zapravo titranje koje se širi prostorom i time prenosi energiju.

Valovi mogu biti *longitudinalni* ili *transverzalni*. Valove pri kojima čestice sredstva titraju okomito na smjer širenja vala zovemo transverzalni valovi.

Longitudinalni su oni valovi u kojima čestice titraju u smjeru širenja vala. Longitudinalne valove možemo promatrati na dužoj opruzi. Tipičan su primjer longitudinalnih valova zvučni valovi.

Valove možemo podijeliti u *progresivne* i *stojne* valove. Progresivni (putujući) val giba se u određenom smjeru i pritom se energija prenosi sa čestice na česticu. Pri stojnom valu neke čestice titraju, a neke stalno miruju: valna se slika ne mijenja s vremenom već je stacionarna i zato se val i zove *stacionarni* ili *stojni*. Suprotno progresivnom valu, pri stojnom se valu energija ne širi prostorom.

Dimenzionalno gledajući, val se može širiti linearano (npr. val na žici), površinski (npr. val na vodi), i prostorno (npr. zvučni val).

Ako jedan kraj napetog užeta pomaknemo gore-dolje, kroz uže će se širiti transverzalni poremećaj koji zovemo puls. Ako početak užeta nastavimo titrati, kroz uže će se širiti kontinuirani transverzalni val. *Pulsom* se obično naziva valno gibanje ograničeno na određeni dio prostora Δx , a izvan tog intervala nema valnog gibanja. Puls još možemo zvati i valnim paketom. Suprotno pulsu ili valnom paketu, kontinuirani val nije ograničen u prostoru.

Valovi nastaju u izvoru vala, a titranje se određenom brzinom proširi kroz sredstvo. U elastičnim su tvarima susjedne čestice međusobno povezane elastičnim silama te pomak jedne čestice iz ravnotežnog položaja uzrokuje i pomak susjednih čestica. Poremećaj ravnotežnog stanja zbog inercije se ne prenosi trenutno nego nekom konačnom brzinom. Pritom kroz sredstvo ne putuju čestice već samo poremećaj; zato treba razlikovati brzinu titranja čestica oko ravnotežnog položaja od brzine širenja vala.

Na slijedećoj slici shematski je prikazano nastajanje i širenje valnoga gibanja kroz uže ili žicu. Kada čestica u izvoru vala (početku žice) počne transverzalno titrati, uzrokuje pomak susjedne čestice, ali s određenim kašnjenjem, pomakom u fazi. Zatim zatitra treća, pa četvrta čestica itd., pa se poremećaj određenom brzinom prenosi kroz sredstvo. Što je čestica dalje od izvora vala, to će kasnije zatitrati, tj. to će više kasniti u fazi u odnosu prema čestici u izvoru vala.

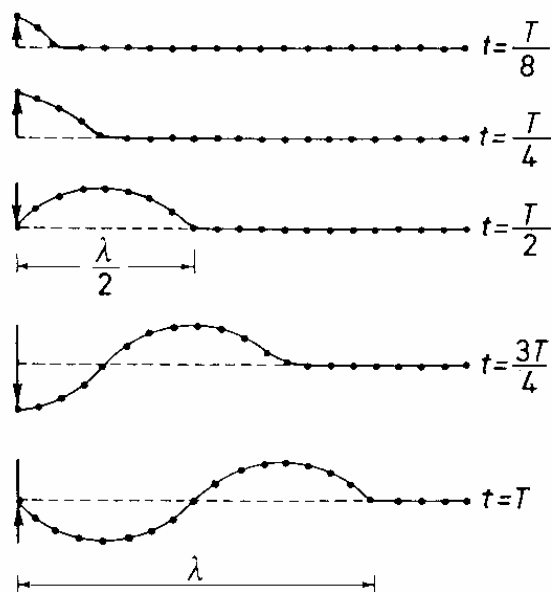
Dok čestica u izvoru vala (početku žice) napravi jedan potpuni titraj, val prevoli određeni put koji zovemo **valna duljina** λ . To je udaljenost najbližih tocaka koje titraju istom fazom.

Valovi se kroz sredstvo šire određenom brzinom. To je kvocijent puta koji prijeđe određena faza vala, npr. brijeg, i za to potrebnog vremena. Ta se brzina često zove i *fazna brzina* jer se njome širi određena faza vala. Budući da za vrijeme jednog titraja T val prijeđe jednu valnu duljinu λ , slijedi da je

$$\lambda = v T$$

ili, ako umjesto T pišemo $\frac{1}{f}$:

$$v = \lambda f$$



Slika: Širenje vala iz izvora koji titra. Valna duljina.

Brzina širenja vala jednaka je produktu valne duljine i frekvencije. To je veza između duljine, frekvencije i brzine vala, osnovna relacija za svako valovito gibanje.

Brzina vala ovisi o osobinama (elastičnosti i gustoci) sredstva kroz koje val prolazi. Kada val prelazi iz jednog sredstva u drugo ili se prostire kroz nehomogeno sredstvo, brzina i valna duljina mu se mijenjaju, a frekvencija ostaje ista. Brzina kojom se energija prenosi kroz sredstvo može biti različita od fazne brzine, što se događa uvijek kada fazna brzina ovisi o frekvenciji (valnoj duljini). Nasuprot faznoj brzini, brzinu širenja energije zovemo **grupna brzina**.

Šireći se od izvora, titranje zahvaca nove i nove čestice sredstva.

Geometrijsko mjesto tocaka do kojih dopire titranje u određenom trenutku zove se **valna fronta**. Sve točke valne fronte imaju istu fazu titranja.

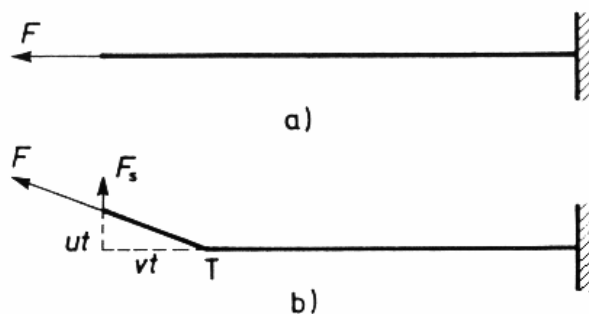
Pravce po kojima se titraji šire od čestice do čestice zovemo **valna zraka**; zrake su okomite na valne fronte.

U prirodi su naješći prostorni (trodimenzionalni) valovi. Spomenut ćemo dva najjednostavnija slučaja. To su: kuglasti val (čije su valne fronte koncentrične kugline plohe-sfere) i ravni val čije su valne fronte ravnine.

1.4.1.2. ŠIRENJE VALOVA U SREDSTVU

Još ćemo jednom istaknuti da širenje poremećaja (vala) nije identično s gibanjem čestica sredstva kroz koje se poremećaj širi. Pri širenju poremećaja kroz sredstvo čestice uglavnom ostaju na svojim mjestima - samo se malo pomaknu iz položaja ravnoteže. Brzina pomicanja čestica u mnogo je manja od brzine širenja poremećaja.

Brzina širenja tranverzalnih poremećaja. Transverzalne poremećaje možemo promatrati na zategnutome elastičnom užetu (žici). Neka je μ linearna gustoca (masa po jedinici duljine) užeta, a F sila kojom je uže zategnuto. Kada u trenutku $t=0$ lijevom kraju užeta damo mali transverzalni pomak brzinom u , taj će se poremećaj širiti kroz uže brzinom v i nakon vremena t prijeci put vt i doći do točke T (slijedeca slika). Za to se vrijeme lijevi kraj užeta pomakne za ut .



Slika: Brzina širenja transverzalnog poremećaja u štapu

Da bismo izračunali brzinu širenja poremećaja v , možemo se poslužiti zakonom o jednakosti impulsa sile i promjene količine gibanja.

Transverzalna sila koja je uzrokovala poremećaj jednaka je

$$F = \frac{ut}{vt} = F \frac{u}{v},$$

te je njezin impuls za vrijeme t

$$F \frac{u}{v} t$$

Budući da je uže na početku mirovalo, promjena količine gibanja užeta jednaka je količini gibanja u trenutku t , tj. produktu mase lijevog dijela užeta do točke T i brzine u kojom se čestice tog dijela užeta transverzalno gibaju:

$$\mu v t u$$

Izjednačimo li ova dva izraza dobijamo:

$$F \frac{u}{v} t = \mu v t u$$

odnosno

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Brzina širenja transverzalnog poremećaja odnosno vala kroz napeto uže (žicu) ovisi samo o napetosti užeta i masi po jedinici duljine (linearnoj gustoci).

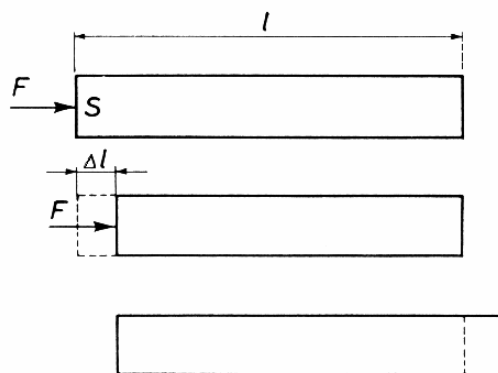
Brzina širenja longitudinalnih poremećaja. Širenje longitudinalnih poremećaja u čvrstom tijelu možemo promatrati na štapu duljine l i presjeka S od elasticnog materijala, gustoće ρ (prethodna slik a). U času $t=0$ udarimo npr. čekićem lijevi kraj štapa. Pritom nastane longitudinalna deformacija opisana Hookeovim zakonom

$$F = ES \frac{\Delta l}{l}$$

gdje je F tlačna sila koja je izazvala deformaciju, a E Youngov modul elasticnosti materijala. Taj se poremećaj u obliku udarnog vala širi kroz štap brzinom v i nakon vremena t dođe do kraja štapa, te je $v=l/t$; pritom se štap kao cjelina pomakne za Δl brzinom u .

Brzinu širenja poremećaja izračunat ćemo tako da izjednacimo impuls sile s promjenom količine gibanja u longitudinalnom smjeru.

Pomnožimo li silu s vremenom, dobivamo longitudinalni impuls sile:



$$Ft = ES \frac{\Delta l}{l} t = ES \frac{u}{v} t$$

Slika: Brzina širenja longitudinalnog poremećaja u štapu

Štap je na početku mirovao, a zbog udarca se pomakao brzinom $u=\Delta l/t$, te je promjena količine gibanja jednaka

$$mu = \rho S l u = \rho S v u t$$

Izjednacimo li ova dva izraza, dobivamo:

$$ES \frac{u}{v} t = \rho S v u t$$

odnosno

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Na slican se način može odrediti brzina longitudinalnih poremećaja i u fluidu (tekucini ili plinu). Pretpostavimo da se fluid gustoće ρ nalazi u cijevi presjeka S pod tlakom p . Na početku cijevi nalazi se pomikni klip cijim se pomicanjem može izazvati elasticna deformacija

fluida (slijedeca slika). Neka se u trenutku $t=0$ klip naglo pomakne udesno brzinom u , i za vrijeme t prijeđe put ut .

Taj ce pomak uzrokovati kompresiju fluida ispred klipa; nastali ce se poremećaj širiti kroz cijev brzinom v i za vrijeme t proširiti na udaljenost vt . U casu t svi se dijelovi fluida lijevo od tocke T gibaju brzinom u , a fluid desno od T (do kojeg poremećaj još nije stigao) miruje. Dok se klip i cesticke fluida gibaju brzinom u , granicna ploha TT' pokrece se udesno brzinom širenja poremećaja v .

Da bismo izracunali tu brzinu, izjednatit cemo longitudinalni impuls sile i promjenu kolicine gibanja fluida.

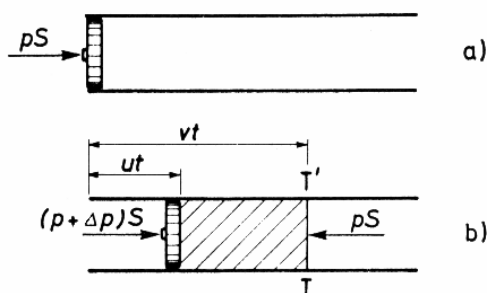
Pomakom klipa prvotni se volumen fluida $V=Svt$ smanjio za iznos $\Delta V=Sut$. Pritom je tlak porastao za Δp , pa se ta elasticsna deformacija fluida može prikazati u obliku slicnom Hookeovom zakonu:

$$\Delta p = -\frac{1}{K} \frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{K} \frac{u}{v}$$

ili

$$\Delta p = -B \frac{\Delta V}{V} = B \frac{u}{v}$$

gdje je K koeficijent stlacivosti (kompresibilnost) fluida, a $B=1/K$ volumni modul elasticsnosti.



Slika: Longitudinalni poremećaj u fluidu

Buduci da je sila jednaka produktu tlaka i površine presjeka cijevi (klipa), longitudinalni je impuls sile ΔpSt . Promjena kolicine gibanja promatranog dijela fluida je:

$$\mu = \rho (Svt)u$$

te je zbog jednakosti impulsa sile i promjene kolicine gibanja:

$$\frac{1}{K} \frac{u}{v} St = (\rho Svt)u$$

Odakle se dobiva brzina širenja longitudinalnih poremećaja odnosno valova kroz fluid:

$$v = \sqrt{\frac{1}{K\rho}} = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Pri širenju valova kroz plinove temperatura koja se povisi pri zgušćavanju (kompresiji) a smanji pri razrjeđivanju ne uspije se izjednatiti jer je vodenje topline mnogo sporije od širenja poremećaja.

Takvi, tzv. adijabatski procesi u plinovima opisani su zakonom:

$$pV^\chi = \text{const}$$

gdje su p i V tlak i volumen plina, a

$$\chi = \frac{c_p}{c_v}$$

omjer specifičnih toplinskih kapaciteta pri stalnom tlaku i stalnom volumenu plina. Konstanta χ za jednoatomne plinove približno iznosi 1,67, za dvoatomne plinove (npr. zrak) 1,40, a za višeatomne plinove 1,33.

Adijabatski koeficijent stlačivosti K_a , koji preuzima ulogu izoternog koeficijenta stlačivosti K jednak je:

$$K_a = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP} = \frac{1}{\chi p}$$

Uvrstivši izraz za K_a , u izraz za brzinu v dobivamo izraz za faznu brzinu zvučnih valova u plinu:

$$v = \sqrt{\frac{\chi p}{\rho}}$$

Upotrebom plinske jednadžbe

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

tj. zamjenom

$$\frac{p}{\frac{m}{V}} = \frac{RT}{M}$$

u prošlom izrazu, dobivamo ovisnost brzine zvuka o temperaturi i vrsti plina:

$$v = \sqrt{\chi \frac{RT}{M}}$$

gdje je $R=8,314 \text{ J/(molK)}$ (plinska konstanta), T apsolutna temperatura, a M molna masa plina.

1.4.1.3. LONGITUDINALNI VALOVI. VALOVI ZVUKA

Zvuk je najvažniji primjer longitudinalnog mehanickog vala. U širem smislu zvuk obuhvata sve longitudinalne elasticne valove u cvrstim tijelima, tekucinama i plinovima.

Mehanicke valove koje cuje ljudsko uho nazivamo zvukom u užem smislu. To su longitudinalni valovi frekvencije od 20 Hz do 20 kHz koji mogu zatirati bubnjic našeg uha i tako proizvesti osjecaj zvuka. Zvucni valovi frekvencije niže od 20 Hz nazivaju se infrazvuk, a više od 20 kHz ultrazvuk. Ultrazvuk i infrazvuk covjek ne cuje; granice zvučnog područja koje ljudsko uho cuje u raznih osoba, pogotovo starijih, variraju, pa granica između zvuka i ultrazvuka nije točno određena. Infrazvucni valovi nastaju npr. pri potresima tla, a ultrazvuk se može dobiti elasticnim titrajima u kristalima. Zvucne valove možemo proizvesti raznim muzickim instrumentima, zvucnicima, govorom i sl.

Brzina zvuka

Izvodeci valnu jednadžbu za longitudinalne valove, dobili smo izraz za brzinu vala u cvrstom tijelu

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

gdje je E Youngov modul, a ρ gustoca materijala. Po toj formuli možemo izracunati brzinu zvuka npr. kroz celicnu šipku.

Brzina zvuka kroz fluid racuna se pomocu izraza

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

gdje je B volumni modul elasticnosti, a ρ gustoca fluida.

Volumni modul elasticnosti fluida definira se

$$B = -V \frac{dp}{dV} = \rho \frac{dp}{d\rho}$$

i oznacava relativnu promjenu volumena pri promjeni tlaka. Modul elasticnosti ovisi o vrsti termodinamickog procesa u plinu. Pri širenju zvuka kroz plinove tlak i volumen se mijenjaju dosta brzo, pa je prijenos topline zanemariv. Zato možemo pretpostaviti da su kompresija i ekspanzija plina adijabatski procesi.

Veza između tlaka i volumena plina za adijabatske procese dana je izrazom

$$pV^\chi = \text{konst.},$$

ili

$$p = \text{konst.} \cdot \rho^\chi$$

gdje su p, V i ρ tlak, volumen i gustoca plin, a χ konstanta karakteristicna za pojedini plin, tzv. *adijabatski koeficijent*. To je omjer specifičnih kapaciteta plina pri stalnom tlaku i stalnom volumenu, $\chi = c_p/c_v$. Za jednoatomne plinove iznosi 1,67, za dvoatomne plinove (i za zrak) 1,4, a za višeatomne plinove 1,3.

Volumni modul elasticnosti plina, uzimajući u obzir adijabatske procese iznosi:

$$B = -V \frac{dp}{dV} = \rho \frac{dp}{d\rho} = \chi p$$

Uvrštavanjem izraza za B u izraz za brzinu zvuka, dobivamo izraz za faznu brzinu zvučnih valova u plinu:

$$v = \sqrt{\chi \frac{p}{\rho}}$$

Upotrebom plinske jednadžbe

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

odnosno

$$p = \frac{\rho}{M} RT$$

dobivamo ovisnost brzine zvuka o temperaturi i vrsti plina:

$$v = \sqrt{\chi \frac{RT}{M}}$$

gdje je $R=8,314 \text{ J/mol K}$ (plinska konstanta), T apsolutna temperatura (u kelvinima), a M molna masa plina (kg/mol).

Za ovisnost brzine zvuka u zraku o temperaturi t iskazanoj Celzijevim stupnjevima iz prethodnog izraza možemo izvesti približnu formulu.

Buduci da je $T=t+273,15\text{K}$, $\gamma=1,4$, $M=28,84 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$, dobivamo

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R}{M}} \sqrt{T} = 20,06 \text{ ms}^{-1} \text{K}^{\frac{1}{2}} \sqrt{T} = 20,06 \text{ ms}^{-1} \text{K}^{\frac{1}{2}} \sqrt{273,15 + t}$$

$$v = 332 \text{ ms}^{-1} (1 + 0,00183 \text{ K}^{\ominus 1} t)$$

$$v = 332 \text{ ms}^{-1} + 0,62 \text{ ms}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{\ominus 1} t$$

U ovoj formuli temperatura t izražena je u Celzijevim stupnjevima, a brzina v metrima u sekundi.

Brzinu zvuka u tekućinama možemo izračunati po slicnoj formuli kao i brzinu zvuka za cvrsta tijela i plinove.

Ako koeficijent stlačivosti tekućine K definiramo kao

$$K = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp}$$

tada je brzina longitudinalnih valova u tekućini jednaka:

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho K}}$$

Formule za izračunavanje faznih brzina valova u raznim sredstvima.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{transverzalni valovi na žici}$$

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{longitudinalni valovi u cvrstom tijelu}$$

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho K}} \quad \text{longitudinalni valovi u tekućini}$$

$$v = \sqrt{\frac{\chi p}{\rho}} = \sqrt{\chi \frac{RT}{M}} \quad \text{logitudinalni valovi u plinovima}$$

BRZINA VALOVA ZVUKA	
Materijal	v/ms ⁻¹
aluminij	5100
bakar	3900
dušik (1013 bar, 0 ^o)	334
kisik (1013 bar, 0 ^o)	315
kvarc (SiO ₂)	5300
staklo	5500
ugljik-dioksid kisik (1013 bar, 0 ^o)	260

voda	1500
zrak (0 ^o . 1013 bar)	331
zrak (20 ^o . 1013 bar)	345

Stojni longitudinalni valovi

Stojne longitudinalne valove možemo dobiti na opruzi, u štapovima, staklenim cijevima (npr. u Kundtovoju cijevi), sviralama itd.

Razmotrimo primjer stojnih valova u stupcu zraka u svirali. Svirala može biti različite duljine L, otvorena ili zatvorena na kraju. Frekvencija tona svirale ovisit ce o njezinoj duljini i o tome je li otvorena ili zatvorena. Struja zraka udara u oštricu svirale, tu proizvede vrtloge zraka i tako ustitra stupac zraka u svojoj cijevi.

Tu se stvara trbuh nastaloga stojnog vala zvuka. Ako je svirala otvorena, sljedeci je trbuh na kraju svirale, pa je $\lambda/2=L$, odnosno valna je duljina jednaka dvostrukoj duljini svirale. Za zatvorenu sviralu cvor je na kraju svirale te je $\lambda/4=L$, odnosno $\lambda=4L$. Frekvencija tona zatvorene svirale dva puta je manja nego frekvencija tona otvorene svirale jednake duljine.

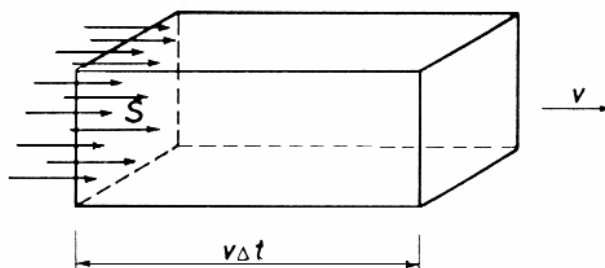
1.4.1.4. ENERGIJA MEHANICKIH VALOVA

Dok se val širi kroz sredstvo, on prenosi energiju u smjeru svog širenja. Ocit primjer za to su valovi na vodi: razbješnjelo more može ljuljati i velike brodove.

Izracunajmo energiju koju harmonični ravni val prenosi kroz sredstvo. Ukupna energija cestice koja harmonički titra iznosi

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$$

Pretpostavimo da u trenutku t val naide na površinu okomitu na smjer širenja vala. Nakon vremena Δt val prijede udaljenost $v\Delta t$ i pritom ustitra sve cestice u promatranom prostoru volumena $\Delta V = Sv\Delta t$.



Slika: Uz izracunavanje energije vala

Ukupna energija u elementu volumena ΔV jednaka je zbroju energija titranja svih cestica

$$\Delta E = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 n\Delta V = \frac{1}{2} \omega^2 A^2 \rho \Delta V$$

gdje je n broj cestica u jedinici volumena, a $nm = \rho$ gustoca sredstva.

Gustocu energije, tj. energiju po jedinici volumena oznacimo sa

$$w = \frac{\Delta E}{\Delta V}$$

Iz prethodna dva izraza proizilazi:

$$w = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \rho (2\pi f)^2 A^2$$

Za harmonicki ravni val gustoca energije proporcionalna je kvadratu frekvencije i kvadratu amplitude.

Buduci da je energija prenesena valnim gibanjem kroz površinu S i predana cesticama sredstva u elementu volumena ΔV jednaka $w\Delta V = S w v \Delta t$, energija u jedinici vremena (snaga) prenesena kroz površinu S jednaka je

$$P = \frac{w S v \Delta t}{\Delta t}$$

odnosno za harmonicki ravni val:

$$P = \frac{1}{2} \rho (2\pi f)^2 A^2 S^2 v$$

To je energijski tok kroz površinu S , okomitu na smjer širenja vala.

Energija koju val prenese u jedinici vremena kroz jedinicu površine okomitu na smjer širenja vala, tj. **gustoca energijskog toka** (ili, kako se još zove, intenzitet vala) iznosi:

$$I = \frac{\Delta E}{S \Delta t} = \frac{P}{S} = w v$$

što za harmonicki ravni val prelazi u

$$I = \frac{1}{2} \rho (2\pi f)^2 A^2 v$$

Iz definicijskih jednadžbi proizlaze jedinice za:

gustocu energije	$[w]_{SI} = J/m^3$
energijski tok	$[P]_{SI} = W$
gustocu energijskog toka	$[I]_{SI} = W/m^2$

Izračunajmo gustocu energijskog toka za sferni (kuglasti) val koji nastaje iz tockastog izvora. (Buduci da svaki realni izvor ima konacne dimenzije, to ce razmatranje vrijediti samo kad su promatrane udaljenosti mnogo vece od dimenzija izvora.) Pretpostavimo da izvor emitira stalnu snagu P u okolno sredstvo.

Na udaljenosti r od izvora emitirana je energija jednoliko raspoređena preko kugline plohe površine $4r^2\pi$, pa je gustoca energijskog toka

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4r^2\pi}$$

Gustoca energijskog toka (intenzitet) kuglastog vala obrnuto je proporcionalna kvadratu udaljenosti od izvora. Odatle slijedi da je amplituda kuglastog vala obrnuto proporcionalna udaljenosti od izvora, pa jednadžbu kuglastog vala možemo napisati ovako:

$$s(r, t) = \frac{A}{r} \sin \omega \left(t - \frac{r}{v} \right)$$

gdje je r udaljenost od izvora, a A konstanta koja je brojcano jednaka amplitudi na jedinici udaljenosti od izvora.

Intenzitet zvučnog vala možemo pisati u obliku:

$$I = \frac{1}{2} \frac{(\Delta p_{\text{maks}})^2}{\rho v}$$

Budući da je $(\frac{\partial s}{\partial t})_{\text{maks}} = A\omega$, slijedi da je $\Delta p_{\text{maks}} = \rho v (\frac{\partial s}{\partial t})_{\text{maks}}$, odnosno:

$$I = \frac{1}{2} \Delta p_{\text{maks}} (\frac{\partial s}{\partial t})_{\text{maks}}$$

Intenzitet zvučnog vala često zovemo i **jakost zvuka**

Na primjer, za zvučni val frekvencije 1000 Hz na pragu cujnosti amplituda pomaka čestica zraka iznosi oko 10^{-11} m, a amplituda oscilacija tlaka oko $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Pri najjačem zvučnom valu koje uho još podnosi bez boli pomak čestica je oko 10^{-5} m, a amplituda tlaka oko 30 Pa.

Jakost i glasnoća zvuka

Jakost zvuka je intenzitet zvučnog vala, energija koju zvučni val prenese u jedinici vremena kroz jedinicu površinu okomitu na smjer širenja zvuka. Jedinica jakosti zvuka je, dakle, vat po četvornom metru, W/m².

U praksi susrećemo različite zvukove, od onih najslabije jakosti, koje uho jedva čuje (na pragu cujnosti), pa do onih najjačih, koji uzrokuju bol. Smatra se da je zvuk jakosti $I_0 = 10^{-12}$ W/m² *prag cujnosti* i - s njim se uspoređuju ostale jakosti. Najveća jakost zvuka koji još ne oštećuje uho je oko 10 W/m². Omjer između najjače i najslabije jakosti zvuka je 10^{13} , te je praktičnije računati s logaritmom omjera jakosti umjesto sa samim omjerima. Osim toga, osjet jakosti zvuka raste približno logaritamski, pa i to opravdava računanje s logaritmom omjera jakosti.

Zato se razina (nivo) jakosti zvuka računa pomoću formule:

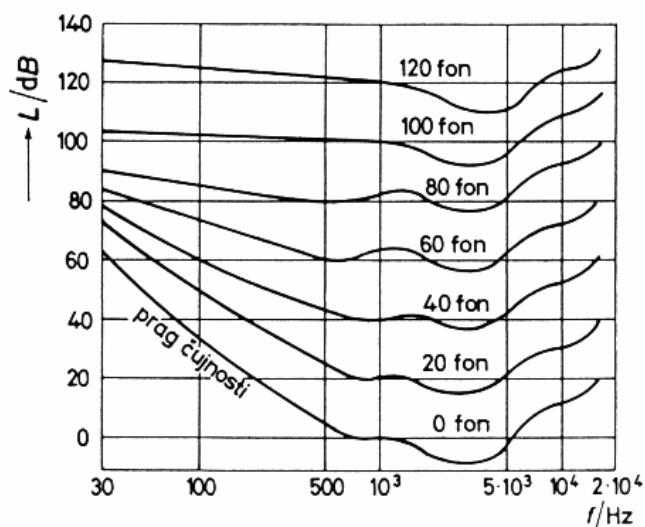
$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

gdje je I jakost zvuka (buke), I_0 jakost zvuka na pragu cujnosti (10^{-12} W/m²), a L razina jakosti zvuka izražen decibelima (dB). Tako zvuk na pragu cujnosti ima razinu 0 dB, a zvuk od 120 do 130 dB počinje uzrokovati bol u uhu.

Glasnoća zvuka je osjet jakosti zvuka, u našem uhu, te je fiziološka veličina za jakost zvuka. Ona ovisi o intenzitetu i frekventnom spektru zvuka.

Zvukovi iste jakosti ali različitih frekvencija, čine se uhu različito glasnim. Za određivanje razine glasnoće treba, dakle, nepoznate glasnoće usporediti s nekim referentnim zvukom. Za tu se svrhu upotrebljava zvuk frekvencije 1000 Hz.

Jedinica za razinu glasnoće zvuka je **fon**. Za zvuk frekvencije 1000 Hz podudaraju se brojčane vrijednosti jakosti zvuka (u decibelima) i razine glasnoće u fonima. Slijedeća slika prikazuje odnos dB i fon za čujno područje. U tablici su date razine jakosti zvuka za neke tipične slučajeve.



Slika: Odnos decibela i fona

Razine jakosti zvuka	dB
prag čujnosti	0
šapat	20
govor	50
stan u prometnoj ulici	60
prometna ulica	70
automobil	70
kamion	90
avionski motor	120
prag bola	130

Tablica: Razine jakosti zvuka

Uho je najosjetljivije na frekvenciji od 1000 do 3500 Hz, a osjetljivost se s višim i nižim frekvencijama smanjuje.

Razinu jakosti zvuka možemo računati i pomoću amplitude promjene tlaka. Služeci se relacijom

$$\Delta p_{\max} = \sqrt{2I\rho v}$$

odnosno

$$I = \frac{(\Delta p_{\max})^2}{2\rho v},$$

gdje je

$$\Delta p_{\max} = \rho v \omega y_0$$

a

$$\Delta p = \Delta p_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

dobivamo

$$L = 20 \log \frac{\Delta p_{\max}}{(\Delta p_{\max})_0}$$

gdje je $(\Delta p_{\max})_0$, minimalna amplituda promjene tlaka koju bubnjic može detektirati, a približno iznosi $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$.

Promjene tlaka zbog zvučnog vala u uhu se pretvaraju u električne impulse koji se prenose u mozak i daju osjet sluha. Ulazeci kroz vanjski dio uha, zvučni val pada na bubnjicu, membranu koja pri oscilacijama tlaka titra. To se titranje prenosi u unutrašnji dio uha, a odatle preko slušnog živca, u obliku električnih impulsa, u mozak.

1.4.1.5. ULTRAZVUK

Mehanicki valovi frekvencije veće od 20 kHz pripadaju području ultrazvuka. Gornja granica za mehanicke valove u kristalima iznosi oko 10^{12} Hz , što je posljedica periodičnosti kristalne rešetke.

Ljudsko uho ne osjeća ultrazvučne frekvencije, međutim neke životinje (npr. pas, šišmiš, ribe) mogu ih čuti. Šišmiši npr. odašilju valove ultrazvuka i procjenjuju udaljenost i oblik predmeta prema povratnim reflektiranim valovima.

Ultrazvučni valovi prenose mnogo veću energiju nego zvuk i - na tome se i osnivaju neke njihove primjene. Naime, intenzitet vala ovisi o kvadratu frekvencije, a ultrazvučne su frekvencije mnogo veće od frekvencija čujnog područja. Akceleracija čestica sredstva kroz koje prolaze valovi ultrazvuka također je vrlo velika

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \approx \omega^2,$$

te se i to može korisno primjeniti u praksi.

Osim toga, valne duljine ultrazvuka relativno su malene, pa pri širenju nije potrebno uzimati u obzir ogib. Ultrazvuk se širi praktički pravocrtno, što je povoljno za detekciju položaja prepreke.

Primjena ultrazvuka vrlo je raznolika. Nabrojiti ćemo neke: stvaranje finih emulzija, čišćenje, mikromasaža, uništavanje bakterija, bušenje, ispitivanje homogenosti materijala, mjerenje dubine mora, medicinska dijagnostika itd.

1.4.1.6. DOPPLEROV EFEKT

Kada su izvor vala i prijemnik nepokretni u odnosu prema sredstvu kroz koje se val širi, frekvencija valova koje prijemnik prima jednaka je frekvenciji titranja izvora. Izvor vala i prijemnik jedan se prema drugome mogu relativno gibati. Pritom prijemnik registrira drukciju frekvenciju f' od one koju emitira izvor; ta pojava se zove *Dopplerov efekt*.

Razlikujemo dva osnovna slučaja:

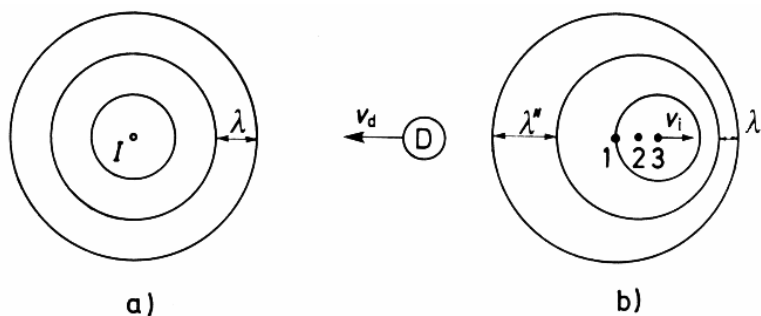
- izvor miruje, a detektor se giba brzinom v_d ,
- izvor se giba brzinom v_s , a detektor miruje.

Neka izvor koji miruje emitira valove frekvencije $f=v/\lambda$, a detektor koji se giba brzinom v_d registrira frekvenciju f' . Ako se detektor približava izvoru, relativna brzina vala s obzirom na detektor $v'=v+v_d$.

Kad se detektor udaljuje, relativna brzina vala s obzirom na detektor iznosi $v-v_d$. Zato je frekvencija koju detektor registrira:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v \pm v_d}{\lambda} = \frac{v \pm v_d}{v} f = f \left(1 \pm \frac{v_d}{v}\right)$$

gdje je znak + za približavanje znak - za udaljavanje.



Slika: Uz izvod Dopplerova efekta

Kad se izvor giba a detektor miruje (slika b) valne plohe nisu više koncentricne kugline plohe: zato je frekvencija koju detektor registrira razlicita od one koju emitira izvor. Iz crteža vidimo da se valna duljina u smjeru gibanja izvora skрати za pomak izvora u jednom periodu.

$$\lambda' = \lambda - v_i T = \frac{v}{f} - \frac{v_i}{f} = \frac{v - v_i}{f}$$

Kako je

$$\lambda' = \frac{v}{f'}$$

frekvencija f' koju registrira detektor jednaka je:

$$f' = \frac{v}{v - v_i} f$$

U slucaju udaljavanja umjesto razlike brzina u nazivnik uvrštavamo njihov zbroj. Kada se izvor približava, detektor registrira višu, a kada se izvor udaljava nižu frekvenciju.

Oba slucaja možemo prikazati jednom formulom,

$$f' = \frac{v + v_d}{v - v_i} f$$

gdje se v_d smatra pozitivnom ako se prijemnik približava izvoru, a negativnom ako se udaljava od njega. Slicno, brzina izvora v_i pozitivna je ako se izvor udaljava od njega. Pritom smo pretpostavili da se prijemnik i izvor gibaju duž pravca koji ih povezuje.

1.5. ŠTO SE O ZVUKU MOŽE NAUCITI U ŠKOLI

1.5.1. U OSNOVNOJ ŠKOLI

Učenici u školi zvuk prvi put obrađuju u osmom razredu osnovne škole u okviru poglavlja o valovima.

Pri obradi opcijih svojstava valova učenici upoznaju pojmove transversalni i longitudinalni val, dol i brijeg vala, zgušćenje i razrjeđenje sredstva, ravni i kružni val, valna fronta i valna zraka, brzina vala, valna dulžina i frekvencija te odbijanje i lom valova.

Takoder se istice činjenica da valovi prenose energiju.

Obrasci vezani za valove koji se obrađuju u osnovnoj školi su:

$$f = \frac{1}{T} \quad n = \frac{v_1}{v_2} \quad v = \lambda f$$

Zatim u tekstu pod naslovom: "Valovi zvuka, ultrazvuk", učenici upoznaju zvuk kao mehanicki longitudinalni val nadovezujuci njegova svojstva na opca svojstva valova.

Ovdje se obrađuju pojmovi: šum, ton, te brzina zvuka. Brzina zvuka u nekim plinovima (npr. zrak, helij), tekucinama (voda, morska voda) i krutinama (drvo, zlato, željezo, i drugi) date su i tabelarno.

Zatim se razmatra nadzvučna brzina, frekvencijsko područje cujnosti, ultrazvuk, buka, razina jakosti zvuka i decibel (dB).

Lekcija o zvuku je zadnja u poglavlju o valovima i nije obvezatno gradivo (uz naslov stoji naznaka: "Tko želi znati više") pa o nastavniku ovisi hoće li se ta lekcija obraditi ili ne.

Medutim zvuk se kao svakodnevna i opcepoznata pojava pokazao i kao izuzetno zahvalna tema za podizanje razine zainteresiranosti učenika za fiziku uopce.

Stoga je prava šteta što određeni broj nastavnika ne iskorištava tu blagodat, a prava sreća što su takvi nastavnici ipak u manjini.

No da obrada zvuka sama po sebi neće postići željeni cilj nedvojbeno su potvrdili učenici u svojim osvrtima na tradicionalni odnosno na konceptualni pristup obradi gradiva. No o tom više nešto kasnije.

1.5.2. U SREDNJOJ ŠKOLI

Zvuk, odnosno titranje općenito, obrađuju se u trecem razredu srednje škole. Medu prirucnicima fizike za gimnazije koji postoje u nas za razmatranje sam odabrao onaj autora R. Krsnika i B. Mikulicic (Medudjelovanja, relativnost, titranja i zvuk) jer je zvuk u tom prirucniku najdetaljnije obraden.

Prije valova u ovom prirucniku obrađuje se harmonijsko titranje i to kroz cjeline:

1. Titranje u mehanici (idealno, prigušeno i prisilno titranje),
2. Elektricni titraji (LC-krug, izmjenicne struje).

Nakon harmonijskog titranja obrađuju se mehanicki valovi u poglavlju pod nazivom: "Valovi u elasticnom sredstvu", koje ima sedam cjelina.

Krenimo redom.

1. Uvodna razmatranja o valnom gibanju - transverzalni i longitudinalni val,

2. Jednadžba harmonijskog vala

$$y = A \cos(\omega t - kx)$$

$$k = \frac{\omega}{v}$$

3. Refleksija valova - na cvrstom i na pomicnom kraju,

4. Nacelo superpozicije. Interferencija valova

$$Y = Y_1 + Y_2$$

5. Stojni valovi:

- u žici ucvršcenoj na oba kraja,
- u žici sa slobodnim krajem,

6. Brzina valova u elasticnom sredstvu

Brzina širenja transverzalnog vala u napetoj žici

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \mu = \frac{m}{l}$$

Brzina longitudinalnog vala u masivnom cvrstom tijelu

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

7. Zvuk

a) Uvodna razmatranja o zvuku

- longitudinalni mehanicki val,
- podrucje cujnih frekvencija,
- infrazvuk i ultrazvuk,

Sa fizikalnog stajališta za zvuk (kao i za ultrazvuk i infrazvuk) vrijede svi oni zakoni koji vrijede za longitudinalni mehanicki val u elasticnom sredstvu:

Data je i tablica: Brzina širenja zvuka u razlicitim sredstvima.

Iz tablice priložene u knjizi jasno se vidi da je brzina zvuka u tekucinama znatno veca od one u plinovima, a u krutinama je opet znatno veca nego u tekucinama.

Kako ta cinjenica naizgled nije u skladu sa gore navedenim obrascem po kojem je brzina zvuka obrnuto razmjerna sa gustocom medija autor, s pravom, podvlaci da je "kvaka" u tome što su elasticne veze izmedu susjednih molekula, koje opisuje Youngov modul elasticnosti (E) kudikamo jace u krutinama negoli u tekucinama odnosno u plinovima.

Kako cemo kasnije vidjeti, mnogim ucenicima ipak u sjecanju daleko jasnije ostaje usporedna tablica nego ova napomena (cak i kad jest napisana što je u prirucnicima rijedak slucaj).

Nadalje, u uvodnim razmatranjima o zvuku definira se

I - intenzitet zvucnog vala $\left[\frac{W}{m^2} \right]$, I_0 - prag cujnosti $\left[\frac{W}{m^2} \right]$, L - razina intenziteta zvuka

[db], $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$ te razina glasnoce zvuka [ph].

b) Interferencija zvučnih valova

- jednakih frekvencija,
- konstruktivna, destruktivna,
- primjeri konstruktivne i destruktivne interferencije zvuka iz dva zvučnika
- različitih frekvencija.

c) Dopplerov efekt

Ako se izvor zvuka približava opažacu koji miruje frekvencija zvuka koju prima opažac bit će:

$$v' = \frac{v}{1 - \frac{v_z}{v}}$$

Ako izvor zvuka miruje a opažac mu se približava tada će biti:

$$v' = v \left(1 + \frac{v_z}{v}\right)$$

d) Čeonni valovi

- valna fronta volumnog vala,
- Machov broj,
- probijanje zvučne barijere.

Bitni pojmovi i pojave vezani za valove zvuka jako su lijepo razrađeni i kroz demonstracijske primjere i pokuse opisane u drugom dijelu knjige.

Priručnik je izuzetno kvalitetan i u njemu svatko koga zanima ova tema može naći nešto za sebe bez obzira na kojoj je razini znanja.

1.5.3. NA FAKULTETU

Lijep dojam o sadržaju i obimu (moguće) obrade zvuka na fakultetu stice se ako se razmotri fakultetski udžbenik "Valovi i optika" autora dr. Višnje Henc-Bartolic i dr. Petra Kulišica.

Zvuk je ovdje obraden konzistentno, cjelovito i pristupačno uz lijepe matematičke primjere iako bez eksperimentalnih zadataka, što bi možda bilo i jedina zamjerka. No, ovdje se neću detaljnije osvrnuti na taj udžbenik jer sam se na njega uglavnom oslanjao pri pisanju prethodnog odjeljka ovog rada ("Što je zvuk"), te je taj odjeljak skraćena i prilagodna inačica teksta iz te knjige.

Stoga ću prikazati pristup kakav postoji u Berkeley-evom trećem priručniku iz opće fizike - "Valovi". Ono što ovdje prvo pada u oči jest činjenica da zvuk nije obraden kao zasebna tema.

U poglavljima ove knjige posebno se razrađuju opće pojave vezane za valove te se sukladno pojedinoj temi u poglavlju razrađuje i zvuk kao jedna od valnih pojava. Na taj način autor provlaci zvuk kroz veći dio priručnika, iako ne u jednakoj mjeri. Tako se kao jedan od primjera udara obrađuju udari koje proizvode dvije zvučne viljuške. Pri obradi općeg gibanja neprekidne žice razmatra se zvuk akorda na klaviru, a stvarna žica klavira jedan je od primjera sustava sa n stupnjeva slobode.

Zvuk se kroz primjere i eksperimente provlaci i kroz poglavlja o rezonanciji, odbijanju, transmisiji, interferenciji i difrakciji. Kao što je i za očekivati autor se nešto više zadržava na zvuku u poglavlju o putujućim valovima (longitudinalni valovi u napetoj žici, Newton-ov model fazne brzine zvuka, prijenos energije zvukom, zvučni intenzitet).

Drugo je važno obilježje Berkeley-evog pristupa izrazito velik broj eksperimentalnih primjera i to relativno lako izvedivih i kod kuće, bez specijalnog eksperimentalnog pribora (tzv. "Home experiments").

Svi kućni eksperimenti u knjizi navedeni su u posebnom kazalu u kojem su pokusi vezani uz zvuk (a kojih je nemali broj) dobili zasebno mjesto.

Time je autor pokazao da zvuku kao svakodnevnoj pojavi pridaje odgovarajuću pozornost, no sve u svemu zbog rascjepkanosti i preopćenitosti ovakvog pristupa, ovaj priručnik nebi trebalo preporučiti nekom tko želi jednostavno sjesti i naučiti nešto o zvuku.

Pristup iz priručnika "Valovi i optika", obogaćen Berkeley-evim kućnim eksperimentima bio bi pun pogodak.

2. METODE I POSTUPCI

2.1. SASTAVLJANJE TESTA

Kao sredstvo prikupljanja željenih obavijesti koristio sam test.

Kako test za ovu svrhu nije dosada napravljen valjalo je smisliti ili sakupiti određen broj dovoljno istancanih pitanja kroz koja bi se mogle razotkriti ne samo spontane predodžbe već i njihov izvor te ostale moguće nejasnoće vezane uz zvuk.

U literaturi nažalost nisam mogao naći velik broj pitanja koja bi mi u tom smislu bila od pomoći no kao korisne izvore izdvajam Hewit-ovu "Konceptualnu fiziku" jer su pitanja: A6, A10, B5, C9, C10, C11 i D3 preuzeta i za ovu svrhu prilagođena pitanja koja se mogu naći u toj knjizi. Pitanja C6 i D2 ne postoje u njoj ali me gradivo iz te knjige potaklo da ih osmislim. Nadalje pitanja: A1, A2, i C7 su preuzeta iz Pereljmanove "Zanimljive fizike". Za pitanje D10 u literaturi se navodi da se njime bavio još Aristotel.

Stoga su navedena pitanja djelomično izvorna a za ostala mogu reći da su potpuno izvorna iako su najčešće bila potaknuta nekim razgovorom, štivom ili učenickim odgovorom.

2.2. TESTIRANJE

Škole u kojima sam vršio ispitivanje bile su one do kojih sam profesora mogao doći preko osobnih poznanstava. Pritom napominjem da ni jednog profesora u cijem sam razredu bio nisam otkrije poznao, niti su oni bili upoznati sa ovim testom dok su obrađivali zvuk.

Testiranja su vršena tijekom drugog polugodišta školske godine 1996./97., neposredno nakon što je u određenom razredu obrađena tema zvuk. Drugo testiranje na PMF-u obavljeno je u prvom semestru školske godine 1997./98. Ukupno dakle od početka do kraja 1997. godine.

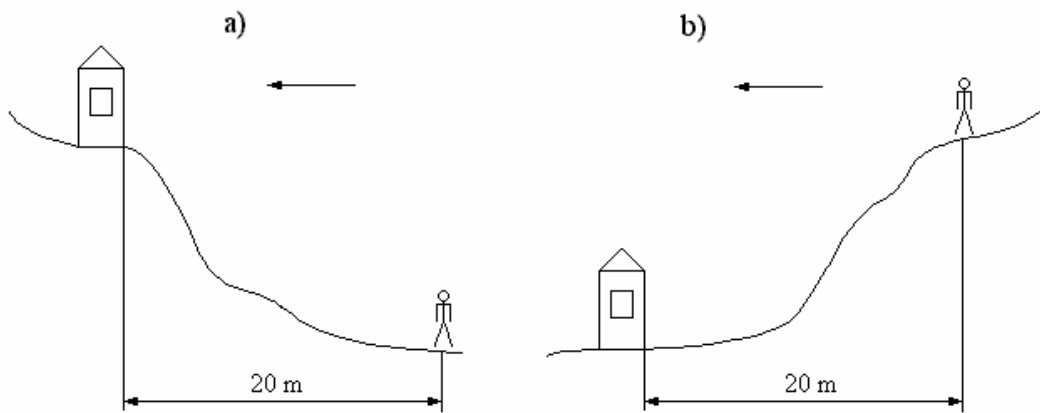
Prva (pokusna) inačica testa data je učenicima trećeg razreda prirodoslovno matematičke gimnazije u Splitu u sljedećem obliku.

Škola i razred: _____
Ime i prezime: _____

ZVUK GRUPA A

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja).

1. Kad leti komarac čujemo viši ton nego kad leti bumbar. Zašto?
2. Hoće li se u nekom od slučajeva prikazanih na slikama a i b čuti jeka? Obrazložite. (U oba slučaja čovjek gleda u smjeru strelice).



3. Ako zaronimo glavu u kadu, možemo li čuti sviranje radija koje se nalazi u kupaonici? Objasni.
4. Možemo li čuti signal iz telefonske slušalice ako je okrenemo od sebe i prislonimo na uho. Zašto?
5. Zašto su udarci košarkaške lopte o parket tupi (duboki), a ping-pong loptice o parket reski i visoki?
6. Avion koji leti brzinom većom od zvuka u jednom trenutku nađe se točno iznad slušaoca. Što slušaoc čuje od aviona? Zašto?
7. Ako udarimo noktom u tanku čašu čujemo jasan zvuk. Zašto je zvuk slabiji ako jednom rukom držimo čašu pa onda udarimo?
8. Promatrač vidi avion na jednom dijelu neba, a njegov zvuk dopire s drugog dijela (iza aviona). Možemo li zaključiti da avion putuje brže od zvuka? Zašto?
9. Ako govornik ispred usta stavi lijevak (poput ovog na slici) i usmjeri njegov veći otvor prema slušateljima, oni će čuti jači zvuk nego bez lijevka. Zašto?



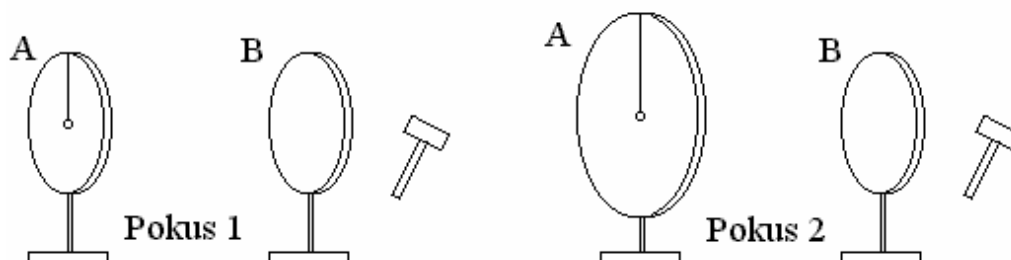
Z V U K GRUPA B

Škola i razred: _____

Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja).

1. Ako bismo u potpunoj tišini stavili otvor velike školjke na uho što bismo čuli? Objasni?
2. Putuju li zgušnjena i razrijedjena zvučnog vala u istom smjeru ili u suprotnim smjerovima? Objasni.
3. Zašto žica na gitari daje viši ton kada je pritisnuta nego kada je slobodna?
4. Može li se zvuk zaustaviti? Obrazloži.
5. Promatrač vidi avion na jednom dijelu neba, a njegov zvuk dopira s drugog dijela (iza aviona). Možemo li zaključiti da avion putuje brže od zvuka? Zašto?
6. Usporavaju li oblaci zvuk? Obrazloži.
7. Može li se zvuk na neki način pretvoriti u svjetlost? Obrazloži zašto.
8. Dva krila vrata načinjena su od istog drveta ali različite debljine. Širina i visina oba krila su jednake. Hoće li ukucani jace čuti kucanje ako pokucamo na tanje ili na deblje krilo? Zašto?
9. Na slici su prikazani uređaji koji se sastoje od drvenog stalka i okrugle metalne ploče na njemu. Na sredini metalne ploče A nalazi se kuglica male mase obješena na tankoj niti. U pokusu 1 ploče A i B imaju iste dimenzije. Ako udarimo čekićem na ploču B, kuglica će zatitirati. U pokusu 2, ploču A zamjenimo pločom jednake debljine ali dvostruko većeg promjera i objesimo istu kuglicu kao prema slici pokusa 2. (kuglica je opet na sredini). Ako opet udarimo u ploču B jednako snažno, hoće li kuglica zatitirati jace, slabije ili jednako kao u pokusu 1. Obrazloži.



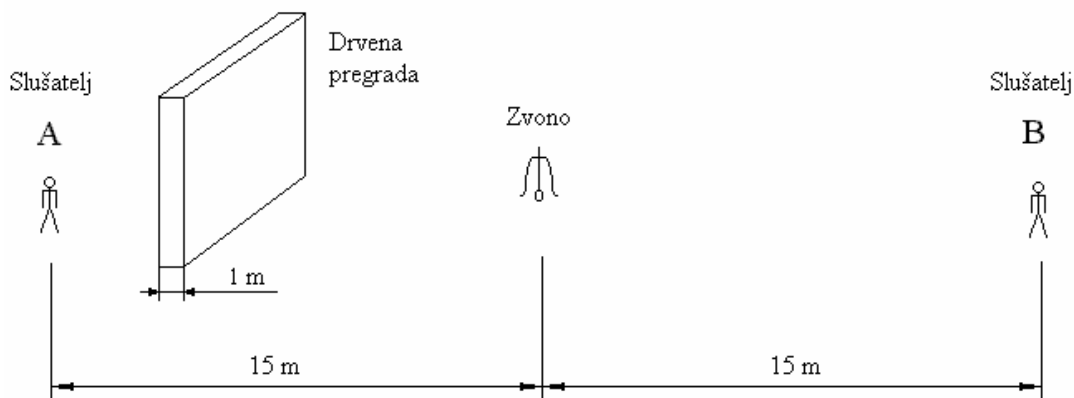
Z V U K GRUPA C

Škola i razred: _____

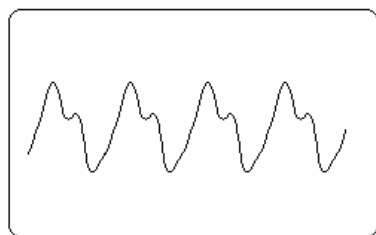
Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja)

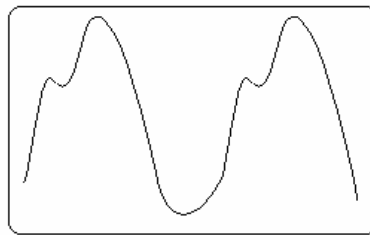
1. Bismo li čuli Mjesec ako bi se puno brže vrtio oko Zemlje? Zašto?
2. Provodi li med zvuk? Obrazložite.
3. Imamo situaciju kao prema slici. Do kojeg slušatelja će prije stići zvuk kada zazvoni zvono? Objasni.



4. Automobil prve pomoći udaljava se od nas stalnom brzinom. Njegova sirena daje određen ton. Hoće li se promijeniti visina tona ako potrcimo za automobilom? Obrazložite.
5. Koja žica na gitari daje najviši ton. Objasni zašto?
6. Utezi od 10 kg i 1 kg padaju istom brzinom na isti pod. Udar kojeg utega će proizvesti viši zvuk? Zašto?
7. Zamislimo da se slušatelj brzinom zvuka udaljava od orkestra koji glasno svira. Što čuje slušatelj od glazbe orkestra? Objasni.
8. Putuje li zvuk violine brže, sporije ili jednako brzo kao zvuk kontrabasa?
9. Dva tona prikazana su na slikama A i B (njihov izgled dobiven je pomoću osciloskopa). Koji je od njih viši? Koji je glasniji? Po čemu to zaključuješ?



A



B

Škola i razred: _____

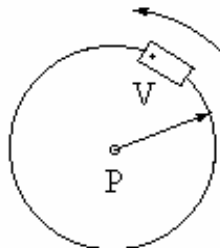
Z V U K GRUPA D

Ime i prezime: _____

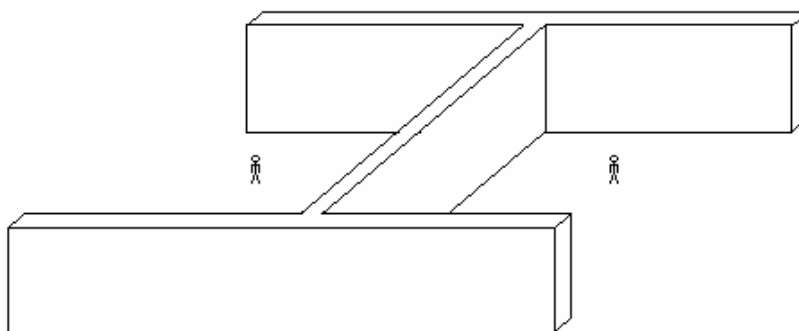
Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja).

1. Putuje li zvuk snažnog zvučnika brže, sporije ili jednako brzo kao i zvuk slabog zvučnika ako su oba maksimalno pojačana? Zašto?
2. Vatrogasni automobil nalazi se na ravnom platou 100 m od nas. Čujemo zvuk njegove sirene. Kakva promjena zvuka će nastati ako automobil počne kružiti oko nas velikom brzinom i na stalnoj udaljenosti.

Skica tlocrta situacije:



3. Možemo li čuti zvuk iz mora?
4. Što bi se promijenilo sa zvukom gitare kada bi prekrili otvor na njenom tijelu? Zašto?
5. Ako bi se Zemlja puno brže okretala oko svoje osi bismo li čuli zvuk njene vrtnje? Zašto?
6. Provodi li plastika zvuk? Obrazloži.
7. Dali je moguće pod vodom slušati gudački kvartet koji se također nalazi pod vodom ispred slušatelja? Objasni.
8. Ako žicu na gitari zatiramo ona se nakon nekog vremena zaustavi. Zašto?
9. Pretpostavimo da je na otvorenom prostoru izgrađen zid koji je potpuno nepropustan za zvuk (izravno kroz taj zid zvuk ne može proći). Kad se gleda iz zraka zid ima oblik slova H, a visok je 10 m (vidi sliku). Dvoje ljudi nalazi se kako je prikazano na slici. Mogu li se oni međusobno čuti? Objasni zašto.



Sljedeću inacicu testa sastavio sam na temelju prethodne. Određen broj pitanja je zbog bolje razumljivosti i/ili veće preciznosti neznatno izmjenjen.

Iz pruženih odgovora dale su se naslutiti neke spontane predodžbe kod učenika koje prvi test nije ispitivao te sam nova pitanja dodao da provjerim ispravnost svojih pretpostavki. (A8, A9, A10, B9, B10, C6, D7,...)

Pitanja (A5 i C6) iz prvog testa sam izbacio zbog složenosti odgovora.

Iako je nacelan odgovor na njih da oštri udarci uzrokuju visokofrekvencijski zvuk, odnosno da veće

$$\frac{\Delta F}{\Delta t}, \frac{\Delta p}{\Delta t}, \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

stvaraju zvuk veće frekvencije, taj odgovor nije potpun.

To sam uvidio na temelju eksperimentalnih mjerenja gdje sam uvidio da sve doprinose i njihove razmjere ni sam ne poznajem.

Nadalje pitanja (A3, D3, D7) iz starog testa objedinio sam u jedno pitanje - B2 u novom.

Pitanje (B9) izbacio sam jer ga učenici nisu razumjeli, a većim pojednostavljenjem izostavile bi se neke bitne pojedinosti u pitanju.

Nadalje u starom tekstu greškom je isto pitanje stavljeno u dvije grupe (pod brojem B5 i A8) te je u novom testu samo na jednom mjestu (B5).

Testovi su u ovom obliku dati učenicima trećih razreda Jezicne gimnazije i Elektrotehnicke škole u Splitu, te studentima završne godine FPMZ i OP u Splitu i studentima tehnološkog fakulteta u Splitu. Kako je najveći broj ispitanika odgovarao upravo na ovu inacicu testa nju sam uzeo kao temeljnu za obradu i prosudbu odgovora, te njoj prilagodio raspored pitanja u ostalim (prvotnoj i osnovnoškolskoj) inacicama. Drugim riječima, sve oznake pitanja (skupine i rednog broja) u daljnjem tekstu se na ovu inacicu testa.

Stoga, radi citaocevog lakšeg snalaženja, na samom kraju ovog rada ova (temeljna) inacica je još jednom priložena.

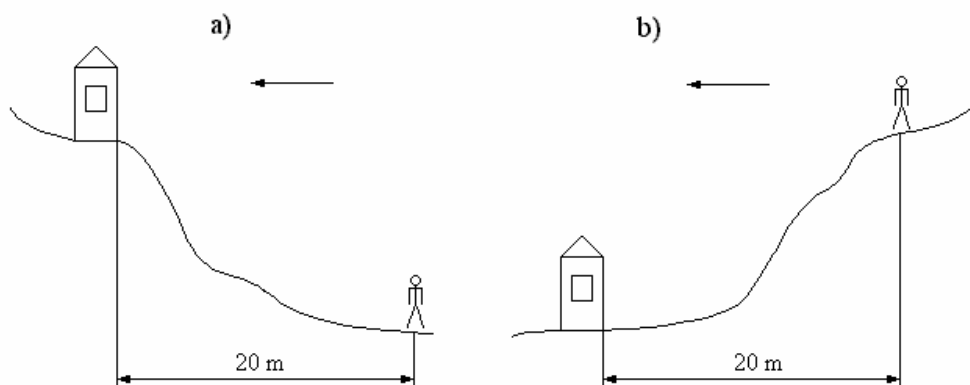
Nakon temeljne inacice testa priloženi su i testovi dati učenicima osnovnih škola ("Spinut" i "Brda" u Splitu). Ti su testovi sastavljeni od pitanja odabranih iz temeljne inacice a koja odgovaraju razini i opsegu u kojem se poučava zvuk u O.Š.

ZVUK GRUPA A

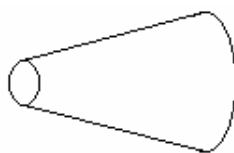
Škola i razred: _____
Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Kad leti komarac čujemo viši ton nego kad leti bumbar. Zašto?
2. Hoće li se u nekom od slučajeva prikazanih na slikama a i b čuti jeka? Obrazložite. (U oba slučaja čovjek gleda u smjeru strelice)



3. O čemu ovisi koliko će tonovi koje proizvodimo dok zvižducemo biti visoki? Na koji način? Zašto?
4. Možemo li čuti signal iz telefonske slušalice ako je okrenemo od sebe i prislonimo na uho. Zašto?
5. a) Objasni pojam zvučne izolacije. Što dobar zvučni izolator „radi“ sa zvukom?
b) Može li se zvuk potpuno izolirati u nekom prostoru. Objasni.
6. Avion koji leti brzinom većom od zvuka u jednom trenutku nađe se točno iznad slušaoca. Što slušaoc čuje od aviona? Zašto?
7. Ako udarimo noktom u tanku čašu čujemo jasan zvuk. Zašto je zvuk slabiji ako jednom rukom držimo čašu pa onda udarimo?
8. Kako gustota neke tvari utječe na brzinu zvuka u njoj? Obrazložite.
9. Može li zvuk obavljati rad? Obrazložite.
10. Izvor zvuka stalne frekvencije (visine) nalazi se nasuprot opažacu na udaljenosti oko 15 m (na otvorenom prostoru). Ako iz smjera izvora zvuka prema opažacu započne puhati stalan vjetar hoće li to i kako utjecati na frekvenciju zvuka koju prima opažac? Što ako vjetar zapuše iz suprotnog smjera?
11. Ako govornik ispred usta stavi lijevak (poput ovog na slici) i usmjeri njegov veći otvor prema slušateljima, oni će čuti jači zvuk nego bez lijevka. Zašto?

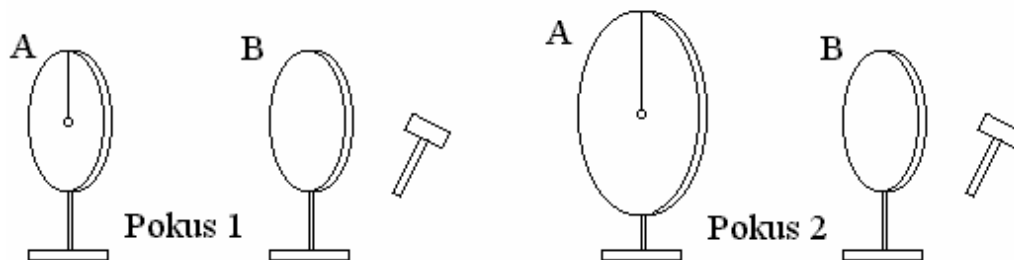


Škola i razred: _____
Ime i prezime: _____

ZVUK GRUPA B

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Zbog čega se u velikoj školjci čuje šum kad je prislonimo na uho?
2. a) Ako uronimo glavu u kadu ispunjenu vodom možemo li čuti sviranje radija koje se nalazi u kupaonici?
b) Ako bi to radio bilo vodootporno i ako bismo uronili i njega, bismo li njegovu glazbu i dalje čuli?
c) Ako je radio uronjeno možemo li ga čuti izvana? Objasni zbog čega.
3. Zašto žica na gitari titra višom frekvencijom kada je pritisnuta nego kada je slobodna?
4. Može li se zvuk zaustaviti? Obrazloži.
5. Promatrač vidi avion na jednom dijelu neba, a njegov zvuk čuje s drugog dijela (iza aviona). Putuje li avion brže, sporije ili brzinom zvuka? Obrazloži odgovor.
6. Usporavaju li oblaci zvuk? Obrazloži.
7. Može li se zvuk na neki način pretvoriti u svjetlost? Obrazloži zašto.
8. Dva krila vrata načinjena su od istog drva ali različite debljine. Širina i visina oba krila su jednake. Hoće li ukucani jace čuti kucanje ako pokucamo na tanje ili na deblje krilo? Zašto?
9. Mogu li se zvukovi dviju violina koje zajedno sviraju poništiti tako da ne čujemo nijedan?
10. Kako nastaje jeka i zašto?
11. Na slici su prikazani uređaji koji se sastoje od drvenih stalaka i okruglih metalnih ploča na njima. Na sredini ploče A nalazi se kuglica male mase obješena na tankoj niti. U pokusu 1 ploče A i B imaju iste dimenzije. Ako udarimo čekićem na ploču B, kuglica će zatitri. U pokusu 2, ploču A zamjenimo pločom jednake debljine ali znatno većeg promjera i objesimo istu kuglicu tako da opet bude na sredini ploče (kao prema slici pokusa 2). Ako opet udarimo u ploču B jednako snažno, kuglica će zatitri slabije nego u pokusu 1. Koliko jako bi zatitrala kad bi, u pokusu 2, ploča A bila manja od ploče A u pokusu 1 (u oba pokusa stalak zanemarivo guši titranje). Zašto.



Škola i razred: _____

ZVUK GRUPA C

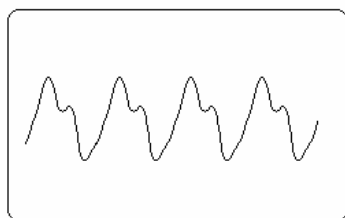
Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logicno obrazložite. To cete najbolje uciniti tako da na papir papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja) Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

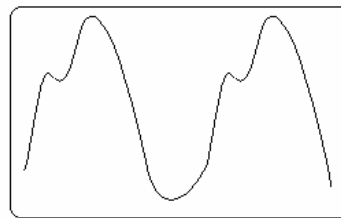
1. Bismo li culi Mjesec ako bi se puno brže vrtio oko Zemlje? Zašto?
2. Provodi li med zvuk? Obrazloži.
3. Imamo situaciju kao prema slici. Do kojeg slušatelja ce prije stici zvuk kada zazvoni zvono? Objasni.



4. Automobil prve pomoci udaljava se od nas stalnom brzinom. Njegova sirena daje određen ton. Hoce li se promijeniti visina tona ako potrcimo za automobilom? Obrazloži.
5. Koja žica na gitari daje najviši ton. Objasni zašto?
6. Slušatelj sjedi u gledalištu opere. Ako bi uprava kazališta objesila veliko zrcalo (npr. 2 x 2 m) sa stropa tako da gledatelj u njemu vidi pjevaca sa scene, bili to utjecalo na jakost zvuka koji prima slušatelj od pjevaca? Objasni.
7. Zamislimo da se slušatelj brzinom zvuka udaljava od orkestra koji glasno svira. Što cuje slušatelj od glazbe orkestra? Objasni. (Pretpostavi da se šum vjetra koji nastaje zbog brzine može zanemariti).
8. Putuje li zvuk violine brže, sporije ili jednako brzo kao zvuk kontrabasa, ako znamo da violina proizvodi više frekvencije. Obrazloži.
9. Putuju li zgušnjenja i razrijedenja zvučnog vala u istom smjeru ili u suprotnim smjerovima.
10. Putuje li zvuk automobilske sirene jednako brzo prema opažacu kad automobil miruje i kad se giba prema opažacu?
11. Dva tona prikazana su na slikama A i B (njihov izgled dobiven je pomocu osciloskopa). Koji je od njih viši? Koji je glasniji? Po cemu to zaključuješ?



A



B

GRUPA D

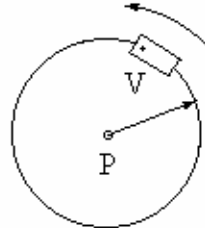
Škola i razred: _____

Ime i prezime: _____

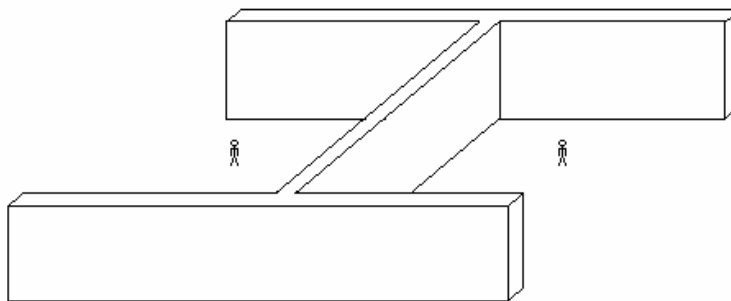
Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Putuje li zvuk snažnog zvučnika brže, sporije ili jednako brzo kao i zvuk slabog zvučnika ako su oba maksimalno pojačana? Zašto?
2. Vatrogasni automobil nalazi se na ravnom platou 100 m od nas. Čujemo zvuk njegove sirene. Kakva promjena zvuka će nastati ako automobil počne kružiti oko nas velikom brzinom i na stalnoj udaljenosti.

Skica nacrtajte situacije:



3. Ako promatramo na nebu avion koji leti brzinom manjom od zvuka, hoće li njegov zvuk dopirati s istog mjesta na kojem se nalazi avion? Objasni.
4. Što bi se promijenilo sa zvukom gitare kada bi prekrili otvor na njenom tijelu? Zašto?
5. Ako bi se Zemlja puno brže okretala oko svoje osi da li bismo čuli zvuk njene vrtnje? Zašto?
6. Provodi li plastika zvuk? Objasni.
7. Dali na intenzitet zvuka utječe njegova frekvencija, amplituda ili oboje? Na koji način? Objasni fizikalno taj utjecaj?
8. Ako žicu na gitari zatitramo ona se nakon nekog vremena zaustavi. Zašto?
9. Nastaje li zvuk na Mjesecu kad na njega skoci astronaut? Objasni.
10. Ako se u kazalištu na prostoru za glazbenike rasprostire slama, zašto zbor daje manje zvuka?
11. Pretpostavimo da je na otvorenom prostoru izgrađen zid koji je potpuno nepropustan za zvuk. Kad se gleda iz zraka zid ima oblik slova H, a visok je 10 m (vidi sliku). Dvoje ljudi nalazi se kako je prikazano na slici. Mogu li se oni međusobno čuti? Objasni zašto.



Škola

i

GRUPA A

razred:

Ime

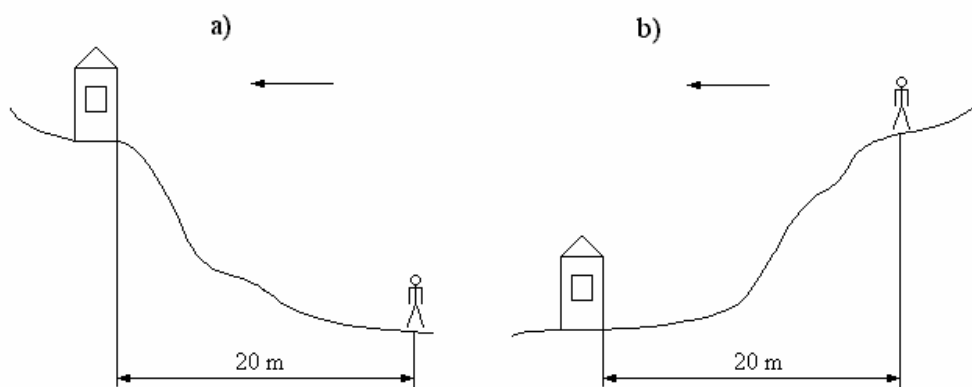
i

prezime:

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Kad leti komarac čujemo viši ton nego kad leti bumbar. Zašto?
2. Hoće li se u nekom od slučajeva prikazanih na slikama a i b čuti jeka?

Obrazložite. (U oba slučaja čovjek gleda u smjeru strelice)



3. Možemo li čuti signal iz telefonske slušalice ako je okrenemo od sebe i prislonimo na uho. Zašto?
4. Avion koji leti brzinom većom od zvuka u jednom trenutku nađe se točno iznad slušatelja. Što slušatelj čuje od aviona? Zašto?
5. Kako gustoca neke tvari utječe na brzinu zvuka u njoj? Obrazložite.
6. Može li zvuk obavljati rad? Obrazložite.
7. Može li se zvuk zaustaviti? Obrazložite.

Z V U K GRUPA B

Škola

i

razred:

Ime

i

prezime:

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

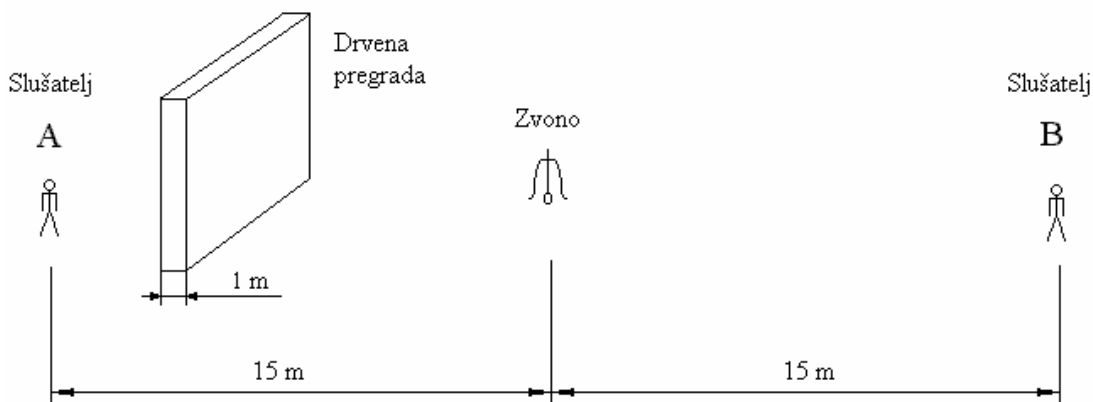
1. Zbog čega se u velikoj školjci čuje šum kad je prislonimo na uho?
2. a) Ako uronimo glavu u kadu ispunjenu vodom možemo li čuti sviranje radija koje se nalazi u kupaonici?
b) Ako bi to radio bilo vodootporno i ako bismo uronili i njega, bismo li njegovu glazbu i dalje čuli?
c) Ako je radio uronjeno možemo li ga čuti izvana? Objasni zbog čega.
3. Zašto žica na gitari titra višom frekvencijom kada je pritisnuta nego kada je slobodna?
4. Promatrac vidi avion na jednom dijelu neba, a njegov zvuk čuje s drugog dijela (iza aviona). Putuje li avion brže, sporije ili brzinom zvuka? Objasni odgovor.
5. Usporavaju li oblaci zvuk? Objasni.
6. Kako nastaje jeka i zašto?
7. Ako govornik ispred usta stavi lijevak (poput ovog na slici) i usmjeri njegov veći otvor prema slušateljima, oni će čuti jači zvuk nego bez lijevka. Zašto?



Škola _____ **Z V I U K** GRUPA C razred: _____
Ime _____ i _____ prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Da li bismo čuli Mjesec ako bi se puno brže vrtio oko Zemlje? Zašto?
2. Provodi li med zvuk? Obrazloži.
3. Imamo situaciju kao prema slici. Do kojeg slušaca će prije stići zvuk kada zazvoni zvono? Objasni.

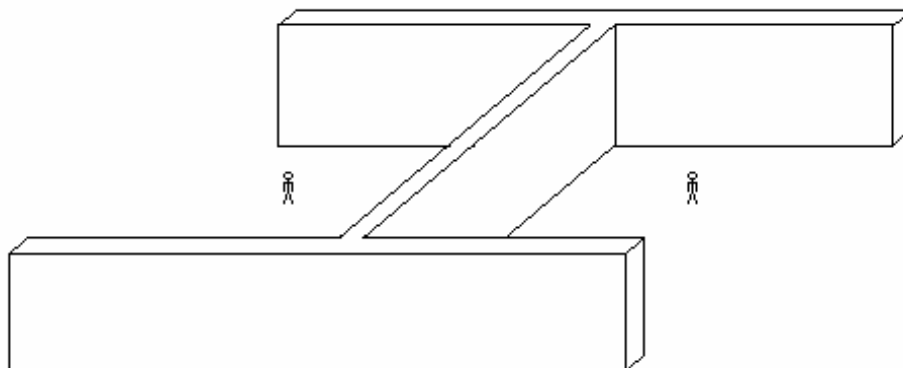


4. Slušatelj sjedi u gledalištu opere. Ako bi uprava kazališta objesila veliko zrcalo (npr. 2 x 2 m) sa stropa tako da gledatelj u njemu vidi pjevaca sa scene, bilo to utjecalo na jakost zvuka koji prima slušatelj od pjevaca? Objasni.
5. Zamislimo da se slušatelj brzinom zvuka udaljava od orkestra koji glasno svira. Što čuje slušatelj od glazbe orkestra? Objasni. (Pretpostavi da se šum vjetra koji nastaje zbog brzine može zanemariti).
6. Putuje li zvuk violine brže, sporije ili jednako brzo kao zvuk kontrabasa, ako znamo da violina proizvodi više frekvencije. Obrazloži.
7. Putuje li zvuk automobilske sirene jednako brzo prema opažacu kad automobil miruje i kad se giba prema opažacu?

Škola _____ **Z V U K** **GRUPA D** razred:
Ime _____ i _____ prezime:

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Putuje li zvuk snažnog zvučnika brže, sporije ili jednako brzo kao i zvuk slabog zvučnika ako su oba maksimalno pojačana? Zašto?
2. Ako bi se Zemlja puno brže okretala oko svoje osi da li bismo čuli zvuk njene vrtnje? Zašto?
3. Provodi li plastika zvuk? Obrazloži.
4. Ako žicu na gitari zatitramo ona se nakon nekog vremena zaustavi. Zašto?
5. Nastaje li zvuk na Mjesecu kad na njega skoci astronaut? Objasni.
6. Može li se zvuk na neki način pretvoriti u svjetlost? Obrazloži zašto.
7. Pretpostavimo da je na otvorenom prostoru izgrađen zid koji je potpuno nepropustan za zvuk. Kad se gleda iz zraka zid ima oblik slova H, a visok je 10 m (vidi sliku). Dvoje ljudi nalazi se kako je prikazano na slici. Mogu li se oni međusobno čuti? Objasni zašto.



Usporedna tablica pitanja u testovima

	Inacica testa		
	Temeljna	Prvotna	Osnovno-školska
Skupina A	1	A1	A1
	2	A2	A2
	3	-	-
	4	A4	A3
	5	-	-
	6	A6	A4
	7	A7	-
	8	-	A5
	9	-	A6
	10	-	-
	11	A9	B7

	Inacica testa		
	Temeljna	Prvotna	Osnovno-školska
Skupina C	1	C1	C1
	2	C2	C2
	3	C3	C3
	4	C4	-
	5	C5	-
	6	-	C4
	7	C7	C5
	8	C8	C6
	9	B2	-
	10	-	C7
	11	C9	-

	Inacica testa		
	Temeljna	Prvotna	Osnovno-školska
Skupina B	1	B1	B1
	2	A3,D3,D7	B2
	3	B3	B3
	4	B4	A7
	5	B5,A8	B4
	6	B6	B5
	7	B7	D6
	8	B8	-
	9	-	-
	10	-	B6
	11	B9	

	Inacica testa		
	Temeljna	Prvotna	Osnovno-školska
Skupina D	1	D1	D1
	2	D2	-
	3	-	-
	4	D4	-
	5	D5	D2
	6	D6	D3
	7	-	-
	8	D8	D4
	9	-	D5
	10	-	-
	11	D9	D7

3. REZULTATI

Pri razvrstavanju odgovora koji su buduci da su bili slobodni, jako šaroliki odlucio sam ih podijeliti u cetiri razreda koje sam oznacio sa a, b, c, d.

Pritom oznake znace:

- a)
 - tocan odgovor sa ispravnim obrazloženjem,
 - tocan odgovor sa najvećim dijelom ispravnim obrazloženjem,
 - tocan odgovor sa odgovarajucim primjerom kao obrazloženjem,
 - tocan odgovor sa ispravnim obrazloženjem iako uz suviše i bespotrebne netocnosti.
- b)
 - tocan odgovor sa krivim obrazloženjem,
 - tocan odgovor bez obrazloženja,
 - tocan odgovor na jedan a netocan na drugi dio pitanja,
 - tocan odgovor sa najvećim dijelom netocnim obrazloženjem,
 - tocan odgovor sa nedovoljnim obrazloženjem.
- c)
 - netocan odgovor,
 - najvećim dijelom netocan odgovor,
 - promašeni odgovor,
 - odgovor sa pobrkanim pojmovima.
- d)
 - bez odgovora,
 - besmislen odgovor.

Drugim rjecima:

- a) Ucenik razumije o cemu je rijec.
- b) Ucenik otprilike shvaca o cemu je rijec.
- c) Ucenik ne razumije o cemu je rijec.
- d) Ucenik uopce ne prepoznaje problem ili ne razumije pitanje.

Od ispitanika sam zatražio i da nakon završenog testa napišu osvrt o njemu, u kojem bi iznijeli svoje mišljenje o razumljivosti i primjerenosti pitanja njihovom uzrastu. Na temelju toga sam kasnije korigirao odredena pitanja.

No, za ovo istraživanje izuzetno važan dio osvrta je onaj u kojem sam zatražio da napišu odgovor na pitanje: "Da li biste voljeli da se fizika u školi obraduje na predodžbeni (konceptualan) nacin, slican ovome u testu ili ste zadovoljni dosadašnjim nacinom obrade fizike u školi?"

Odgovore sam razvrstao u cetiri skupine sa oznakama A, B, C, D, od kojih svaka oznacava:

- A - volio bih da se fizika obraduje na ovakav nacin;
- B - volio bih da se fizika u vecoj mjeri obraduje na ovakav nacin;
- C - volio bih da se fizika i nadalje obraduje na dosadašnji nacin;

D - bez osvrta.

Ovdje još valja napomenuti da je tablica točnosti odgovora u svim školama uskladena sa redoslijedom pitanja u završnoj inačici testa datoj u J.G., ETŠ i na fakultetima. Naime pri oblikovanju novih inačica testa bio sam prisiljen određena pitanja prebaciti u neku drugu skupinu, a zatim ih pri obradi objediniti u istoj tablici.

Kako sve skupine najčešće nisu imale isti broj ispitanika, radi lakše i zornije usporedbe točnosti odgovora u pojedinim školama u takvim sam slučajevima računao analogon točnosti prema broju ispitanika u doticnoj skupini i njega naveo u tablici. (Stvaran omjer može se naći u dodatku A). To je razlog zbog kojeg kod M.G. i O.Š. postoje i ne cijeli brojevi točnih odgovora na neka pitanja.

Razlomkom su prikazani stvarni omjeri broja točnih odgovora i broja ispitanika, tamo gdje je to bilo prikladnije od analogne točnosti.

Točnost odgovora izražena u postocima data je ili u zagradama, ili u posebno označenim stupcima (recima).

Dakle pogledajmo statistiku.

Usporedba tocnih odgovora (a) prema školama
(Točnost je za sva pitanja dana u posto cima)

ŠKOLA	Broj ispitanika	SKUPINA A											Sukladnih pitanja	Točnih odgovora po ispitaniku	Točnost odgovora (%)
		Pitanje broj													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
O.Š. Spinut	14	35,7	14,3	-	28,6	-	28,6	-	28,6	51,2	-	30,7	7	2,2	31,9
O.Š.Brda	11	36,4	18,2	-	27,3	-	54,5	-	18,2	9,1	-	36,4	7	2,1	29,7
Osnovne škole UKUPNO	25	36	16	-	28	-	40	-	24	36	-	36,8	7	2,2	31
Matematička gimnazija	12	25	8,3	-	41,7	-	50	50	-	-	-	33	6	2,1	34,7
Jezična gimnazija	17	5,9	5,9	5,9	23,5	47,1	17,6	23,5	5,9	41,2	11,8	5,9	11	2,3	20,9
Elektrotehnička škola	14	14,3	7,1	28,5	42,9	35,7	50	42,9	35,7	35,7	28,5	50	11	3,7	33,8
Srednje škole UKUPNO	43	14	7	16,2	34,9	41,9	37,2	37,2	19,4	38,7	19,4	41,9	9,3	2,7	28,1
Tehnološki fakultet	3	33,3	0	0	0	100	100	66,7	66,7	0	33,3	66,7	11	4,7	42,4
Prirodoslovno matematički f.	5	40	20	20	40	20	60	40	40	60	20	40	11	4	36,4
Fakulteti UKUPNO	8	37,5	12,5	12,5	25	50	75	50	50	37,5	25	37,5	11	4,3	38,6
SVEUKUPNO	76	23,7	10,5	12,8	31,6	43,6	42,1	39,2	25	39,3	20,5	41,1	9,14	2,7	30

Usporedba tocnih odgovora (a) prema školama
(Točnost je za sva pitanja dana u postocima)

ŠKOLA	Broj ispitanika	SKUPINA B											Sukladnih pitanja	Točnih odgovora po ispitaniku	Točnost odgovora (%)
		Pitanje broj													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
O.Š. Spinut	13	23,1	15,4	15,4	50	0	7,7	0	-	-	0	-	8	1,1	13,9
O.Š.Brda	9	0	33,3	0	36,4	0	0	10	-	-	0	-	8	0,8	10
Osnovne škole UKUPNO	22	3,6	22,7	9,1	44,5	0	4,5	4,1	-	-	0	-	8	1	12,3
Matematička gimnazija	11	9,1	88,9	27,3	63,6	4,3	0	0	0	-	-	9,1	9	2	22,5
Jezična gimnazija	14	7,1	57,1	7,1	50	14,3	0	0	21,4	21,4	0	0	11	1,8	16,2
Elektrotehnička škola	12	25	0	25	41,7	0	8,3	8,3	25	0	0	0	11	1,3	12,1
Srednje škole UKUPNO	37	13,5	48,1	18,9	51,4	6,8	2,7	2,7	16,2	11,5	0	2,7	10,3	1,7	16,4
Tehnološki fakultet	3	0	0	33,3	0	0	0	0	33,3	0	0	0	11	0,7	6,1
Prirodoslovno matematički f.	3	33,3	66,7	33,3	0	33,3	0	33,3	33,3	33,3	33,3	0	11	3	27,3
Fakulteti UKUPNO	6	16,7	33,3	33,3	0	16,7	0	16,7	33,3	16,7	16,7	0	11	1,8	16,7
SVEUKUPNO	65	13,8	38,2	16,9	44,3	5,2	3,1	4,5	25	12,5	1,9	2,3	9,9	1,5	15,3

Usporedba tocnih odgovora (a) prema školama
(Točnost je za sva pitanja dana u postocima)

ŠKOLA	Broj ispitanika	SKUPINA C											Sukladnih pitanja	Točnih odgovora po ispitaniku	Točnost odgovora (%)
		Pitanje broj													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
O.Š. Spinut	13	15,4	15,4	7,7	-	-	0	15,4	232,1	-	0	-	7	0,8	11
O.Š.Brda	15	0	13,3	6,7	-	-	6,7	6,7	20	-	6,7	-	7	0,6	8,6
Osnovne škole UKUPNO	28	7,1	14,3	7,1	-	-	3,6	10,7	21,4	-	3,6	-	7	0,7	9,7
Matematička gimnazija	14	21,4	50	42,9	35,7	35,7	0	42,9	28,6	45,5	0	21,4	9	3,2	36
Jezična gimnazija	16	25	50	18,8	12,5	0	12,5	18,8	18,8	87,5	43,8	0	11	2,9	26,1
Elektrotehnička škola	13	53,8	53,8	15,4	232,1	15,4	38,5	23,1	46,2	30,8	15,4	38,5	11	3,5	32,2
Srednje škole UKUPNO	43	32,6	51,2	25,6	23,3	16,3	24,1	27,9	30,2	56,6	31	18,6	10,3	3,2	30,9
Tehnološki fakultet	3	0	33,3	0	66,7	0	0	33,3	33,3	0	0	0	11	1,7	15,2
Prirodoslovno matematički f.	5	40	80	0	20	20	80	20	80	80	40	40	11	5	45,5
Fakulteti UKUPNO	8	25	62,5	0	37,5	12,5	50	25	62,5	50	25	25	11	3,8	34,1
SVEUKUPNO	79	22,8	39,2	16,5	25,5	15,9	18,5	21,5	30,4	55,7	18,5	19,6	9,6	2,3	25,6

Usporedba tocnih odgovora (a) prema školama
(Točnost je za sva pitanja dana u postocima)

ŠKOLA	Broj ispitanika	SKUPINA D											Sukladnih pitanja	Točnih odgovora po ispitaniku	Točnost odgovora (%)
		Pitanje broj													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
O.Š. Spinut	10	50	-	-	-	40	10	-	30	20	-	50	6	2	33,3
O.Š.Brda	10	20	-	-	-	20	0	-	20	20	-	20	6	1	16,7
Osnovne škole UKUPNO	20	35	-	-	-	30	5	-	25	20	-	35	6	1,5	25
Matematička gimnazija	12	66,7	41,8	-	41,8	25	91,7	-	41,8	-	-	41,8	7	3,5	50
Jezična gimnazija	16	43,8	12,5	43,8	31,3	6,3	37,5	31,3	31,3	0	37,5	0	11	2,8	25
Elektrotehnička škola	13	46,2	46,2	15,4	38,5	15,4	15,4	15,4	38,5	30,8	38,5	53,8	11	3,5	32,2
Srednje škole UKUPNO	41	51,2	31,7	31,3	36,6	14,6	46,3	24,1	36,6	13,8	37,9	29,3	9,7	3,2	32,7
Tehnološki fakultet	2	50	0	0	0	0	0	50	100	0	50	0	11	2,5	22,7
Prirodoslovno matematički f.	4	75	75	50	75	25	50	25	50	25	50	50	11	5,3	47,7
Fakulteti UKUPNO	6	66,7	50	33,3	50	16,7	33,3	33,3	66,7	16,7	50	33,3	11	4,3	39,4
SVEUKUPNO	67	47,8	34	31,4	38,3	19,4	32,8	25,7	35,8	31	40	31,3	9	2,8	33,5

Raspored odgovora prema školama

ŠKOLA	Broj ispitanika	Ukupno pitanja	Broj odgovora pod oznakom (%)			
			a	b	c	d
O.Š. Spinut	50	350	77 (22%)	65 (18,6%)	166 (47,4%)	42 (12%)
O.Š. Brda	45	315	49 (15,6%)	73 (23,2%)	153 (48,6%)	40 (12,7%)
Osnovne škole UKUPNO	95	665	126 (18,9%)	138 (20,8%)	319 (48%)	82 (12,3)
Matematička gimnazija	49	415	150 (36,1%)	103 (24,8%)	113 (27,2%)	49 (11,8%)
Jezicna gimnazija	63	693	154 (22,2%)	142 (20,5%)	284 (41%)	113 (16,3%)
Elektrotehnička škola	52	572	160 (28%)	117 (20,5%)	209 (36,5%)	86 (15%)
Srednje škole UKUPNO	164	1680	470 (28%)	360 (21,4%)	603 (35,9%)	247 (14,7%)
Tehnološki fakultet	11	121	26 (21,5%)	19 (15,7%)	54 (44,6%)	22 (18,2%)
Prirodoslovno matematički f.	17	187	76 (40,1%)	34 (18,7%)	64 (34,2%)	13 (7%)
Fakulteti UKUPNO	28	308	102 (32,8%)	53 (17,5%)	118 (38,3%)	35 (11,4%)
SVEUKUPNO	287	2653	698 (26,2%)	551 (20,8%)	1040 (39,2%)	364 (13,7%)

Raspored osvrta prema školama

ŠKOLA	Broj ispitanika	Broj osvrta pod oznakom (%)			
		A	B	C	D
O.Š. Spinut	50	42 (80,8%)	2 (3,8%)	2 (3,8%)	4 (8%)
O.Š. Brda	45	35 (77,8%)	2 (4,4%)	4 (8,9%)	4 (8,9%)
Osnovne škole UKUPNO	95	77 (79,4%)	4 (4,1%)	6 (6,2%)	8 (8,2%)
Matematička gimnazija	Nije tražen	-	-	-	-
Jezicna gimnazija	Nije tražen	-	-	-	-
Elektrotehnička škola	52	24 (46,2%)	21 (40,4%)	6 (11,5%)	1 (1,9%)
Srednje škole UKUPNO	52	24 (46,2%)	21 (40,4%)	6 (11,5%)	1 (1,9%)
Tehnološki fakultet	11	5 (45,5%)	0	0	6 (54,5%)
Prirodoslovno matematički f. (96/97)	14	8 (57,1%)	3 (21,4%)	0	3 (21,4%)
Prirodoslovno matematički f. (97/98)	Nije tražen	-	-	-	-
Fakulteti UKUPNO	25	13 (52%)	3 (12%)	0	9 (36%)
SVEUKUPNO	174	114 (65,5%)	28 (16,1%)	12 (6,9%)	18 (12,2%)

4. PROSUDBA

4.1. SPONTANE PREDODŽBE

U učenickim odgovorima jasno se izdvojio određen broj spontanih predodžbi kao i veći broj njihovih p-primova. Sve uocene S.P. razvrstao sam u tri skupine:

- prvi "zakon" spontane akustike,
- spontane predodžbe oblikovane cesticnom predodžbom o širenju zvuka
- spontane predodžbe oblikovane lošim transferom znanja i
- spontane predodžbe oblikovane odnosno osnažene školskim znanjem.

Ovu podjelu treba shvatiti uvjetno i nikako strogo jer u nekim segmentima oblikovanja S.P. sudjeluju dva pa čak i sva tri od ovih mehanizma, (iskustvo, transfer, školsko znanje), no najčešće je jedan prevladavajući.

4.1.1. PRVI "ZAKON" SPONTANE AKUSTIKE

4.1.1.1. ZVUK SE RASPROSTIRE KAO CESTICA

(Pitanja: A4, A8, B2)

Ova je predodžba temeljni problem u razumijevanju zvučnih pojava i dolazi do izražaja u velikom broju stvarnih situacija. Ona ustvari predstavlja prvobitnu predodžbu iz koje su proizašle mnoge naprijed opisane spontane predodžbe.

Takoder dominantno utječe na veliki broj zaključaka u pitanjima sa stvarnim situacijama a u većoj ili manjoj mjeri dolazi do izražaja u gotovo svim pitanjima u testu.

Za početak ću oslikati to razmišljanje kroz učenicke odgovore te zatim tome dati statističku težinu.

Prije svakog navedenog odgovora označena je skupina i redni broj pitanja te škola čiji je učenik dao odgovor na to pitanje.

(Temeljna inačica testa radi lakšeg snalaženja nalazi se i na kraju knjige)

U jednoj mjeri učenici doista i govore o "cesticama zvuka".

B2 (E.T.Š.)

"Zvuk čujemo slabo i neprepoznatljivo zbog toga što *cestice zvuka* ne mogu prodirjeti u vodu. Ima gustu molekularnu strukturu."

A9 (E.T.Š.)

"Može, jer *cestice zvuka* udaraju u prepreku i cine membranu."

Kao i drugi materijalni objekti, tako i zvuk pri svom prolasku "djeluje silom" na cesticne materijala koje mu se nadu na putu.

B2 (E.T.Š.)

"Zvuk se širi tako da djeluje silom na cesticne materijala kojim se širi. Što je gustocna materijala veca to se zvuk slabije širi..."

U skladu sa cesticnom predodžbom je i određena "aerodinamicnost" zvuka (koja ovisi o frekvenciji).

C8 (O.Š.)

"Brže putuje. Zato što je zvuk violine oštiji."

C8 (O.Š.)

"Smatram da zvuk violine koja je jace frekvencije provodi brže, jer je njen zvuk tanji i brži u zraku."

Iz cesticne slike proizlazi predodžba o zrakastom širenju.

C2 (O.Š.)

"Ne provodi, zato što je gust, pa *zrake zvuka* ne mogu prolaziti kroz tu gustocu."

Predodžba o usmjerenom (zrakastom) rasprostiranju "vala" zvuka jasno je uocljiva u odgovorima na pitanje A4.

Da se ta predodžba zadržava bez obzira na školovanje ilustrirat cu sljedecim odgovorima.

A4 (O.Š.)

"Taj signal ne možemo cuti zbog toga što je slušalica okrenuta u drugom smjeru pa se stoga val širi u drugom smjeru."

A4 (E.T.Š.)

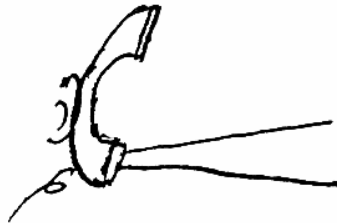
"Ne možemo. Zato što se zvuk širi u suprotnom smjeru od našeg uha."

A4 (J.G.)

"Ne zbog toga što je signal usmjeren na drugu stranu."

A4 (M.G.)

"Signal iz telefonske slušalice ne možemo cuti jer se zvuk širi u smjeru odakle dolazi zvuk ." (priložen crtež)



A4 (T.F.)

"Ne bi trebali, jer se zvuk odnosno zvučni valovi šire od nas prema okolini."

A4 (P.M.F.)

"Ne možemo cuti jer se zvuk propagira u drugom smjeru koji je suprotan od naših ušiju."

Što ako zvuk naiđe na materijalnu prepreku ?

A4 (O.Š.)

"Ne možemo, jer ravnom plohom slušalice "zatvaramo" uho i priječimo put zvuku da prođe."

A5 (E.T.Š.)

"Dakle, zvuk će kroz izolator proći samo ako postoje rupe, pukotine kroz koje se može provući."

No, o prepreci detaljnije nešto kasnije.

Kao materijalno tijelo zvuk zauzima određeni volumen te neće moći proći ako nema dovoljno prostora za njega:

A8 (O.Š.)

“Tako ako je gustota veća zvuk se provlaci teže jer nema prostora. Inače da ima zvuk bi ćuli odma.”

A8 (O.Š.)

"Zvuk sporije prolazi zbog toga što je gusto pa nema mjesta za njega."

C2 (O.Š.)

"Nije moguće. Med će popuniti sve praznine, sve stanice u zraku."

Zvuk nema valna svojstva

Iako učenici prilično često barataju pojmom vala, pokazalo se da taj val nema nužno i svojstva vala.

Određeni broj pitanja zamišljen je da pokaže hoće li i u kojoj mjeri učenici doista primijeniti valna svojstva zvuka na rješavanje određenih problema.

odbijanje	(A2)
lom	(B2)
obijanje, lom	(B4)
interferencija	(B9)
rezonancija	(B11)
odbijanje	(C6)
ogib	(D11).

Odbijanje vala

Pitanje A2

Pogledajmo kakve su odgovore dali ispitanici na ovo pitanje.

Pitanje: A2		Škola							Ukupno
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	
1.	Jeka će se ćuti u slučaju b (uz toćno obrazloženje)	1	1	1	1	1	-	1	6 (7,9%)
2.	U slučaju b (uz netoćno ili bez obrazloženja)	6	2	1	6	1	-	-	16 (21,1%)
3.	U slučaju b (znam iz iskustva)	1	-	-	1	-	-	-	2 (2,6%)
4.	Jeka će se ćuti u slučaju a	4	5	5	7	8	3	4	36 (47,4%)
5.	U oba slučajja	1	2	2	-	2	-	-	7 (9,2%)
6.	Ni u jednom slučaju	-	1	1	-	1	-	-	3 (3,9%)
7.	Bez odgovora	1	-	2	2	1	-	-	6 (7,9%)

Ukupno	14	11	12	17	14	3	5	76
---------------	----	----	----	----	----	---	---	-----------

Jeku ćemo čuti ako su ispunjena dva uvjeta:

1. Da je prepreka udaljena od nas više od 17 m;
2. Da se zvučni val (zahvaljujući obliku prepreke) reflektira natrag prema opažacu.

U pitanju A2a) ispunjen je samo prvi uvjet, a u A2b) su ispunjena oba uvjeta.

Ovdje treba napomenuti da od svih ispitanika koji su dali odgovor b) samo ih je šest dalo i potpuno ispravno obrazloženje.

Medu netocnim obrazloženjima tocnog odgovora brojem se isticu:

- zbog toga što osoba stoji na višoj nadmorskoj visini (na povišenom mjestu, na vrhu brda - 6 ispitanika;
- jer je ispred njega prazan prostor a na slici a) širenje zvuka sprijecava brdo - 6 ispitanika;

dok su se neki otvoreno pozivali na iskustvo (što sam priznavao kao točan odgovor) - 2 ispitanika.

No, kao što sam i pretpostavljao osnovna poteškoca kod ovog pitanja je ne uocavanje da se u situaciji pod a) zvuk ne može reflektirati natrag opažacu.

Obrazloženja onih koji su dali odgovore pod a), kojih ima 36 (47,4%)

su gotovo istovjetna.

A2 (J.G.)

"Jeka će se čuti u slučaju a) zato što će se zvuk odbijati od stijene, za razliku od slučaja b) gdje nema prepreke koja bi uzrokovala jeku tj. prepreka nije dovoljno visoko.

Ocito je da učenici na zvuk ne primjenjuju svojstvo odbijanja vala pod upadnim kutem.

Zašto je to tako?

Zato jer rasprostiranje zvuka ne doživljavaju kao valno. Ili ne poznaju dovoljno zakon odbijanja i drže da se zvuk odbija natrag u istom smjeru iz kojega je došao, što je puno manje vjerovatno.

Zanimljivo je da su najviše tocnih odgovora b) dali učenici osnovnih škola te jezične gimnazije, dakle oni koji u ovoj skupini imaju zasigurno najmanje formalnog znanja iz fizike.

Cinjenica je i to da su obrazloženja tih odgovora najčešće netocna.

Radi se o pitanju čiji odgovor svatko zna iz iskustva, te je znakovito primjetiti kako se učenici koji imaju manje formalnoga znanja više usuduju osloniti na svoje iskustvo, a tek tada pokušavaju dati racionalno ili formalno objašnjenje onome što su iskusili.

Lom vala

Pitanje B2

Iako je točnost odgovora na ovo pitanje među najvišima (38,2%) ona je ipak jako malena. Oznaku točnosti a) dobivali su ispitanici koji su odgovorili sa DA na sva tri potpitanja.

Najčešći odgovori su bili miješani: jedno DA i dva NE ili obratno.

Primjeri za ilustraciju:

B2 (T.F.)

- a) Ne, ne znam zašto;
- b) Da, valjda zato što je u istom mediju;
- c) Ne, vjerovatno zbog lošeg prelaska zvučnih valova na granici voda - zrak.

B2 (O.Š.)

- a) Ne, zato što voda sprječava prodiranje zvuka (onoga iz zraka);
- b) Da, jer voda brže provodi zvuk nego zrak;
- c) Ma ne možemo.

Iz ovih se primjera lijepo vidi da je granica sredstva problem. Ona je zapreka a ne mediji. Na temelju 61,8% netočnih odgovora možemo zaključiti da zamisao o lomu valova zvuka pri prelasku u drugo sredstvo u svakom slučaju nije dovoljno bliska učenicima.

Odbijanje i lom vala

Pitanje B4

Zvuk se ne može zaustaviti upravo zbog svojih valnih svojstava - odbijanja i loma.

Te činjenice u ovom pitanju prisjetilo se 44,3% ispitanika.

Između ostalih 55,7% većina razmišlja otprilike ovako:

B4 (E.T.Š.)

"Može. Stavljanjem prepreka, pregrađivanjem prostora."

B4 (J.G.)

"Može ako dođe do prostora bez zraka, ili ako se gubi na prevelikim udaljenostima."

B4 (J.G.)

"Zvuk se može zaustaviti ako imamo dovoljno dobar izolator a u potpunosti možemo ga zaustaviti vakuumom (zrakopraznim prostorom)."

Tvrdnja da zvuk može zaustaviti zrakoprazni prostor ne stoji zbog činjenice da zrakoprazni prostor može biti samo:

- a) u posudi koja ima stijenke i od kojih će se zvuk odbijati, kada dođe do njih a i ogibati oko njenih rubova;
- b) izvan posude u kojoj je npr. zvuk i izvor zvuka. U tom slučaju će se valovi zvuka odbijati unutar stijenki posude.

No, ima i drugih zanimljivih i jednostavnih rješenja:

B4 (M.G.)

"Može, recimo ako sviramo gitaru i sad želimo zaustaviti zvuk koji čujemo jednostavno žicu koju smo svojim dodiranjem pokrenuli zaustavimo."

Interferencija valova

Pitanje B9

Pitanje B9 u stvari je glasilo:

"Da li je moguća destruktivna interferencija zvučnih valova."

Tocan odgovor dalo je samo 12,5% ispitanika.

A ako zvuk ne može interferirati tada on nije val.

Evo nekoliko odgovora.

B9 (J.G.)

- "Ne, kako bi to bilo moguće."
- "Ne može, to je nelogično."
- "Ne mogu, zato jer je zvuk neuništiv. Bar ja tako mislim."
- "Možemo, kada obije violine prestanu svirati."
- " Ne, jer jedan zvuk poništava drugi ako je mnogo jači od njega. Ako su jednake jačine ne mogu se poništiti."

Karakterističan odgovor učenika E.T.Š. na ovo pitanje bio je: "Ne mogu."
M.G. i O.Š. nisu imale ovo pitanje.

Rezonancija

Pitanje B11

Na ovo pitanje samo je jedan ispitanik dao točan odgovor. On ga je ovako oblikovao:

B11 (M.G.)

"Slabije, jer u pokusu 1. ploče titraju u fazi pa kuglica titra jače. Pošto nije ista frekvencija ovih ploča ona će titrati slabije."

Zaključimo da učenici ne poznaju pojam rezonancije a ako ga i poznaju, ne primjenjuju ga kad su u pitanju zvučni valovi.

Odbijanje

Pitanje C6

Da bi se točno odgovorilo na ovo pitanje trebalo se sjetiti dvije stvari:

1. da se zvuk širi kao val i da se odbija od površina na koje nailazi;
2. da će kut odbijanja biti jednak upadnom kutu kao što je slučaj i sa svjetlošću, odnosno sa svim valovima. Samo se 18,5% ispitanika sjetilo odbijanja od ovih pretpostavki. Bilo je učenika koji su se sjetili samo prve od njih.

C6 (E.T.Š.)

"Učitalo bi na jakost zvuka koji prima slušatelj ako bi se valovi zvuka koji udare u ogledalo odbili do slušatelja."

Dakle, "ako bi se odbili do slušatelja." No, najveći dio nije se sjetio ni jedne ni druge. Iz njihovih odgovora stječe se dojam da se zvuk širi pravocrtno od izvora ka

opažacu poput (samo jednog) fluidnog taneta (u skladu sa već opisanom "cesticom teorijom").

Tablica odgovora je na sljedećoj stranici:

Pitanje: C6		Škola						
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Zrcalo utjece na zvuk koji prima slusatelj radi odbijanja	1	1	2	4	1	4	13 (20%)
2.	Zrcalo utjece na zvuk koji prima slusatelj – uz krivo obrazloženje	1	-	2	-	-	-	3 (4.6%)
3.	Zrcalo ne utjece na zvuk koji prima slusatelj	9	11	12	9	1	1	43 (66.2%)
4.	Promaseni odgovor	-	1	-	-	-	-	1 (1.5%)
5.	Bez odgovora	2	2	-	-	1	-	5 (7.7%)
Ukupno		13	15	16	13	3	5	65

Karakteristicni odgovori:

C6 (O.Š.)

"Nece, ogledalo ništa ne smeta."

C6 (O.Š.)

"To ogledalo ne bi ništa utjecalo na taj zvuk jer sa ogledala mi samo vidimo sliku pjevaca, ali sa njega ne čujemo zvuk."

C6 (O.Š.)

"Ne. Ogledalo ne reflektira zvuk."

C6 (J.G.)

"Mislim da ne bi, čini mi se da ogledalo ne može pojačati zvuk."

C6 (J.G.)

"Ne bi, zbog toga što između slušaoca i pjevaca nije postavljena nikakva prepreka, nego je sve jednako kao i prije osim što pjevaca možemo gledati na drugom mjestu."

C6 (E.T.Š.)

"Ne bi, udaljenost od pjevaca, tj. od izvora zvuka je ista i ovako i onako. Ogledalo nema nikakve veze sa zvukom. Jedino npr. ako bi bilo postavljeno kao prepreka između pjevaca i slušatelja."

C6 (E.T.Š.)

"Naravno da ne bi. Zvuk koji čujemo dolazi do našeg uha nevažno da li izravno gledamo izvor zvuka ili neizravno (preko ogledala). Ostaje sjedište tj. mjesto gdje primamo zvuk isto."

C6 (T.F.)

"Zvuk je elektromagnetni val koji se reflektira o glatku površinu, zbog toga slušatelj cuje jace."

C6 (P.M.F.)

"Ne. To što vidimo pjevacu u ogledalu ne mijenja mjesto odakle dolazi zvuk niti utjece na zvuk koji cujemo."

U ovom je pitanju zgodno primjetiti da je upravo obim formalnog znanja presudno i pozitivno utjecao na točnost odgovora.

Tako je među osnovcima (njih 28) samo jedan dao točan odgovor (3.6%).

Točnost odgovora penje se kod J.G. na 12,5% u E.T.Š. na 38,5% i na P.M.F.-dostiže 80%.

Jedino T.F. kviri ovu skladno uzlaznu putanju. (M.G. nije imala ovo pitanje.)

No, ukupno imamo 18,5% točnih odgovora što je svakako nedovoljno.

Ogib

Pitanje D11

Ovo je pitanje na koje svatko zna odgovor iz svakodnevnog iskustva. Od 67 ispitanika samo je 6 odgovorilo negativno. (Vidi tablicu)

Pitanje: D 11		Škola						Ukupno	
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.		P.M.F.
1.	Mogu zbog ogiba	-	-	5	-	1	-	2	8 (11,9%)
2.	Mogu jer zvuk može doći zrakom preko zida (zid nije previsok)	6	4	2	5	1	-	-	18 (26,9%)
3.	Mogu jer se zvuk širi i iza prepreke	1	-	1	-	1	-	-	3 (4,5%)
4.	Mogu jer se zvuk širi na sve strane	2	1	-	2	3	-	-	8 (11,9%)
5.	Mogu se čuti ako dovoljno jako vicu iako slabo	-	1	-	3	-	-	-	4 (6%)
6.	Mogu zbog odbijanja, odjeka, jeke	1	1	-	1	3	1	-	7 (10,4%)
7.	Mogu zbog loma vala	-	-	1	-	-	-	-	1 (1,5%)
8.	Mogu (bez objašnjenja)	-	2	2	1	-	1	1	7 (10,4%)
9.	Ne mogu se čuti	-	-	1	3	1	-	1	6 (9%)
10.	Bez odgovora	-	1	-	1	3	-	-	5 (7,5%)
Ukupno		10	10	12	16	13	2	4	67

No, jako ih je malo koji znaju pravu riječ za fizikalnu pozadinu ovog fenomena.

Tako da je samo 6 ispitanika spomenulo ogib ili difrakciju kao objašnjenje ove pojave: 4 iz M.G., 1 iz E.T.Š. i 2 sa P.M.F. -a.

Neki su davali objašnjenja koja nisu netocna, no nisu ni pravi odgovor.

Npr:

- "Mogu doci zrakom preko zida." (18 ispitanika)
- "Mogu, jer se zvuk širi i iza prepreka." (3 ispitanika)
- "Mogu jer se zvuk širi "na sve strane". (8 ispitanika)

Neki su otvoreno iznijeli poteškoce u kojima su se našli:

D11 (O.Š.)

"Ja znam da se ova dva covjeka cuju ali ne znam zašto. Ali u stvari nepropustan je zid pa prema tome trebali bi se ne cuti, ali oni se cuju."

A drugi su pokušali iz poteškoca izaci na razlicite nacine:

D11 (J.G.)

"Vjerojatno mogu ali ako se stvarno deru. Odnosno kako je smješten ovaj zid vjerovatno ce se stvarati jeka a ona se dobro cuje."

D11 (J.G.)

"Ne mogu jer zvuk ne može nikako stici do onoga drugog."

"Mogu ako vicu jer je visok samo deset metara."

D11 (O.Š.)

"Mislim da mogu jer zvuk može "prijeci" preko zida. Kad bi se zaista jako dovikivali mislim da bi se mogli medusobno cuti jer bi zvuk prešao preko zida."

D11 (O.Š.)

"Da. Ljudi medusobno mogu zvucno komunicirati preko ovog zida zato što zvuk nije kao svjetlost (ne giba se jednoliko - pravocrtno) i može zaobici prepreke. Dakle dovoljnu jacina glasa (u mogucnosti covjeka) mogao bi cuti covjek s druge strane zida.

D11 (O.Š.)

"Mislim da mogu jer zvuk može "prijeci" preko zida. Kad bi se zaista jako dovikivali mislim da bi se mogli medusobno cuti jer bi zvuk prešao preko zida."

D11 (O.Š.)

"Dvoje ljudi na slici se ne mogu cuti dobro jer zvuk kako kažete ne prolazi kroz zid, ali vjerujem da ce jedan cuti drugoga ako ovaj vice iz sve snage jer je zid na otvorenome (iako slabo)."

"Da. Zato što ce zvuk preskociti zid."

D11 (T.F.)

"Mislim da se ne mogu cuti jer ce se zvucni valovi reflektirati na nepropusnom zidu za zvuk."

Valja ovdje spomenuti i to da ovako idealno nepropusni zid ne postoji no za svaki materijal a osobito s vecim koeficijentom odbijanja i apsorpcije, najveći dio zracne energije prenijet ce se zbog ogiba a tek neznatni transmisijom.

No, koliko god temeljna bila, S.P. o cesticnom rasprostiranju zvuka nije prvobitna predodžba (p-prim). Naime rekli smo da p-primovi nisu netocni.

No njen p-prim nije teško razotkriti.

Iz svega navedenog daje se zakljuciti da ucenici zamišljaju da se zvuk rasprostire poput roja cestica odaslatih poput tanadi iz izvora na sve strane.

Sa sigurnošću mogu pretpostaviti da ta S.P. proizlazi iz mehanicke slike o prijenosu objekata – da bi nešto stiglo s jednog mjesta na drugo, to nešto se mora fizicki prenijeti sa polazišne na odredišnu točku.

Vidimo da taj p-prim nije netocan (kao ni drugi p-primovi), ali primjenjen nekriticki uzrokuje ovu miskoncepciju.

4.1.2. SPONTANE PREDODŽBE OBLIKOVANE CESTICNOM PREDODŽBOM O ŠIRENJU ZVUKA

4.1.2.1. MATERIJALNE PREPREKE OMETAJU PROLAZ ZVUKA

(Pitanja: A4, B2, B4, C2, D6.)

Za ilustraciju ove predodžbe navodim jedan slikovit odgovor.

B4 (M.G.)

"Može. Stavimo li pred njega nekakvu pregradu zaprijecimo daljnje širenje, jer tada zvuk nema kamo proci. Razlicita pregrada služi za razlicitu jacinu zvuka."

Ova je predodžba došla do punog izražaja u pitanju u kojem je prepreka najuočljivija.

Dakle pogledajmo kako su i u kojoj mjeri učenici pojedinih škola odgovorili na pitanje C3 (slijedeca tablica).

Pitanje: C3		Škola							Ukupno
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	
1.	Prije ce stici do slušatelja A, jer zvuk brže prolazi kroz drvo	2	1	7	3	2	-	-	15 (18,9%)
2.	Prije ce stici do slušatelja B, jer zvuk u slucaju A nailazi na prepreku	8	10	2	11	8	3	5	47 (59,5%)
3.	Prije ce stici do slušatelja B (bez objašnjenja)	-	-	-	1	1	-	-	2 (2,5%)
4.	Docu ce istodobno	3	4	4	1	2	-	-	14 (17,7%)
5.	Bez odgovora	-	-	1	-	-	-	-	1 (1,2%)
Ukupno		13	15	14	16	13	3	5	79

U ovoj je situaciji predodžba o fizickoj prepreci došla do punog izražaja. Cak 47. ispitanika (59,5%) izricito navodi prepreku kao usporavatelja zvuka.

Izdvajam neka karakteristicna razmišljanja.

C3 (O.Š.)

"Zvuk ce prije stici do slušaoca B zato jer se između zvuka (zvona) nalazi drvena pregrada. Zato što se zvuk sporije širi ako nailazi na prepreke."

C3 (E.T.Š.)

"Do slušaoca B ce prije doci zvuk, jer pregrada predstavlja barijeru te ce zvuk sporije stici do slušaoca A."

C3 (T.F.)

"Kada zazvoni, zvuk ce prije stici do slušaoca desno jer između njega i zvona ne stoji nikakva pregrada."

C3 (P.M.F.)

"Do slušaca B, jer dolazeci do slušaca A postoji drvena pregrada koja usporava brzinu zvuka."

Pozadina ove predodžbe je osjecaj da se zvuk "probija" kroz medij koji mu "pruža otpor", tim više što je gušci.

A8 (O.Š.)

"Ako su cestice gušce, zvuk ce se sporije kretati jer se mora probijati kroz tu gustocu."

A8 (O.Š.)

"Pa logično je ako je neka tvar gušća da ce zvuk teže prodirati, a ako su tvari rjeđe rasporedene onda ce zvuk brže se kretati."

A8 (O.Š.)

"Lipo. Ako je veca gustoca tvari tada ce se zvuk teže probijati a ako je manja gustoca tvari tada ce se zvuk lakše probijati."

B6 (O.Š.)

"Da, zato što pružaju neku vrstu otpora i ne daju zvuku da se širi dalje (vjerojatno zato što su gušci od zvuka pa ne propuštaju zvuk dalje)."

O ovoj predodžbi govori Južnoafrički autor Cedric J.Linder u svom clanku (lit. 10.) i formulira je ovako:

"Brzina zvuka je funkcija fizicke smetnje koju molekule predstavljaju za zvuk dok on prolazi svojim putem kroz medij."

Autor zaključuje:

"Ova predodžba (da brzinu zvuka usporavaju molekule sredstva) utemeljena je na faktoru zvučnog otpora. Zamisljen kao fizicki objekt, zvuk se usporava zbog fizickih prepreka dok putuje kroz sredstvo."

Predodžba o zapreci odnosno o gustom sredstvu koje ometa širenje zvuka može ici do potpune nemogućnosti širenja zvuka u određenim tvarima.

B2 (O.Š.)

"Ne možemo, jer su cestice vode preguste, pa zvuk ne može dospjeti do uha."

C2 (J.G.)

"Nisam siguran, ali mislim da zbog gustoće meda zvuk se sporije kreće ako uopće može."

C2 (T.F.)

"Med ne provodi zvuk jer ima dovoljno veliku gustocu koja ne omogućava širenje zvuka."

C2 (J.G.)

"Ne provodi. Med je previše gusto sredstvo."

C2 (O.Š.)

"Med provodi zvuk zato jer je med tekucina, a tekucina provodi zvuk, ali med zvuk provodi slabije zato jer je med gusta tekucina."

A5 (J.G.)

"Dobar izolator je neko sredstvo s velikom gustocom tako da se zvuk slabo i nikako širi kroz njega."

Dakle o gustoci medija ovisi hoće li se zvuk ipak "probiti" kroz njega ili ne. Što je stvar gušća tim je "probijanje" teže."

Primjena ove predodžbe na praktična probleme donosi i odgovarajuće zaključke u rješavanju praktičnih problema:

B6 (J.G.)

"Usporavaju, jer su gušći od zraka i usporavaju njegovu brzinu."

B6 (E.T.Š.)

"Usporavaju. Svaki materijal ili pojava usporavaju ga."

B6 (O.Š.)

"Da, jer pružaju veći otpor."

Medutim, neki drže da oblaci nisu dovoljno snažna prepreka da bi zaustavili zvuk.

B6 (O.Š.)

"Ne, zato što oblak nije pregrada."

"Ne, zato što se kroz oblak može proći kao da je nevidljivo, otvoreno."

Poteškoće zvuka sa "probijanjem" kroz stvari jasno se izražavaju i u drugim pitanjima gdje postoji nekakva prepreka zvuku.

A4 (J.G.)

"Ne možemo, zato što nam stijenka telefona sprječava širenje zvučnih valova do našeg uha."

B2 (O.Š.)

a) "Ne možemo, jer zvuk ne prolazi kroz vodu."

b) "Ne, jer voda zaustavlja zvuk."

c) "Ne, jer zvuk ne može proći kroz vodu, ona ga zaustavlja."

B8 (J.G.)

"Ukucani će jace čuti kucanje na vratima ako pokucamo na tanje krilo, jer zvuk prolazi kroz manju prepreku. Isto je tako sa šupljim i punim zidom kad kucamo na njega."

A8 (T.F.)

"Što je gustocina manja, veća je brzina širenja...logično je da ako se val sudara sa česticama da je brzina širenja manja."

P-prim nije teško razotkriti ni za ovu spontanu predodžbu. Naime svatko iz iskustva zna da materijalne prepreke predstavljaju zapreku fizičkim objektima koji se gibaju i to tim više što su gušće.

Svatko je pokušao hodati kroz vodu a također svatko zna da kad dode do zida ne može dalje.

Kao ilustraciju ove prvobitne predodžbe navest ću razgovor koji sam obavio sa prijateljem koji ima srednju stručnu spremu.

Zamolio sam ga da zamisli avion i brod koji svoju visinu, odnosno dubinu mjere tzv. eho sonderom.

Ako se brod nalazi nad 1000 m dubine a avion na 1000 m visine i ako pilot i kapetan u istom trenutku uključe svoje uređaje, koji će od njih prije dobiti odjek poslanog zvuka.

Odgovor: "Prije će pilot dobiti signal jer zvuk prolazi kroz zrak."

Obrazloženje odgovora je glasilo: "Pa sve lakše prolazi kroz zrak."

4.1.2.2. BRZINA ZVUKA OVISI O NJEGOVOJ JAKOSTI

Jedino pitanje izravno namijenjeno istraživanju postojanja odnosno zastupljenosti ove predodžbe bilo je D1.

Rezultati su slijedeći (vidi tablicu):

Pitanje: D1		Škola						Ukupno	
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.		P.M.F
1.	Jednako brzo jer brzina ovisi o mediju	1	1	6	4	3	-	-	15 (22,4%)
2.	Jednako brzo jer brzina ne ovisi o intezitetu	4	-	-	2	2	1	3	12 (17,9%)
3.	Jednako brzo jer imaju istu frekvenciju	-	-	2	-	1	-	-	3 (4,5%)
4.	Jednako brzo (bez obrazloženja)	-	2	-	1	1	1	-	5 (7,5%)
5.	Koji brže putuje ovisi o frekvenciji zvuka	-	-	-	1	4	-	-	5 (7,5%)
6.	Zvuk snažnog putuje brže jer ima veću jakost	3	5	-	3	-	-	-	11 (16,4%)
7.	Zvuk snažnog putuje brže jer brže titra / ima veću frekvenciju	1	1	3	-	1	-	1	7 (10,4%)
8.	Zvuk snažnog putuje brže (ostala pojedinačna obrazloženja)	1	-	-	2	-	-	-	3 (4,5%)
9.	Zvuk snažnog putuje brže (bez obrazloženja)	-	-	1	2	-	-	-	3 (4,5%)
10.	Odgovor i obrazloženje kontradiktorni	-	1	-	1	-	-	-	2 (3%)
11.	Bez odgovora	-	-	-	-	1	-	-	1 (1,5%)
Ukupno		10	10	12	16	13	2	4	67

Da jakost zvucnika ne utječe na brzinu zvuka smatra 40 ispitanika ili 59,7%, (odgovori broj 1., 2., 3., 4. i 5.)

Da utječe, drže 24 ispitanika (35,8%). Svi oni tu vezu smatraju upravo razmjernom. (v ~ I)

To nikako nije zanemariv postotak. On se u osnovnim školama penje na 55%.
Mislim da je to dovoljno da se utvrdi da S.P. $v \sim I$ postoji.

No, moram priznati da me je brojnost odgovora da I ne utjece na v vrlo iznenadila.
Mislio sam da ce se ova S.P. pokazati manje izrazenom od predodžbe da je v razmjerno sa f no pokazalo se da "zaostaje" za njom kako cemo vidjeti kasnije.

Razmotrimo malo i ucenicke odgovore:

D1 (O.Š.)

"Pretpostavljam da se zvuk veceg zvucnika brže krece zato što je jednostavno snažniji. Odgovor zvuci glupo i ne znam kako bi se drugacije izrazilo. Medutim, nisam siguran, možda je to samo varka jer nam se jaci zvuk nekako "namece" u uho pa se cini da je brži."

D1 (O.Š.)

"Brže, zbog toga jer je snažniji zvucnik jaci od slabijeg."

D1 (O.Š.)

"Zvuk snažnog zvucnika putuje brže od zvuka slabog zvucnika kada su oba maksimalno pojačana. Zato što je veci zvucnik veci od manjeg i jace se cuje te njegov zvuk putuje brže."

"Zvuk jaceg zvucnika putuje brže nego od slabijeg. Putuje brže zato što je jace snage i automatski se zvuk brže širi."

"Putuje jako. Eto zašto."

D1 (P.M.F.)

"Zvuk snažnog zvucnika putuje brže nego zvuk slabog zvucnika jer brzina ovisi o frekvenciji."

D1 (J.G.)

"Zvuk snažnog zvucnika putuje brže, a zbog cega ne bih znala odgovoriti."

"Brže - zbog jacine."

"Zvuk snažnijeg zvucnika brže putuje zato što je jaci."

Ova S.P. lijepo se uocava i u pitanju C8.

C8 (O.Š.)

"Zvuk violine prolazi brže od zvuka kontrabasa jer ima jaci zvuk i na brži se nacin svira od kontrabasa."

"Zvuk violine putuje sporijom brzinom, zato jer se kontrabas cuje jace i putuje brže."

C8 (J.G.)

"Mislim da zvuk putuje brže jer je zvuk jaci."

Tri pojedinačna objasnjenja iz tablice bila su: Osnovna skola: «Snažni putuje brže jer je ispravniji» i iz jezične gimnazije: «Putuje brže jer ima veci i snažniji magnet pa stvara jace magnetsko polje» i «Zvuk iz snažnog zvucnika putuje brže jer je sredstvo gusce odnosno zgusnjenja i razrijedjenja».

U pozadini ove S.P. krije se opet cestica slika širenja zvuka. Sama predodžba nastala je lošim transferom iz mehanike gibanja tijela. Naime, svakodnevna je pojava da energičniji udarac, snažniji motor, jaci zamah i sl. daju veću brzinu tijelu. Ta činjenica naravno nije netočna. No zvuk nije čestica i na njega će veća energija utjecati na drugi način. Na amplitudu i "domet vala". Stoga se ovaj p-prim može relativno lako promijeniti u željenom pravcu.

4.1.2.3. BRZINA ZVUKA OVISI O GIBANJU IZVORA ZVUKA

Da ova S.P. postoji, shvatio sam iz odgovora na pitanje D2 u prvom krugu ispitivanja iz slijedećeg odgovora:

D2 (M.G.)

"Cut ćemo zvuk više frekvencije zato jer se brzina izvora i brzina zvuka zbrajaju pa se mijenja frekvencija zvuka (onoga što čujemo)."

Da bih detaljnije istražio tu predodžbu zamislio sam pitanje C10. Rezultati su slijedeći:

Pitanje: C10		Škola						Ukupno
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	
1.	Putuje jednako brzo	1	1	6	4	-	3	15 (23,1%)
2.	Ne putuje jednako brzo	2	2	1	1	2	1	9 (13,8%)
3.	Brzina zvuka je veća kad se auto giba	5	5	8	4	1	1	24 (36,9%)
4.	Putuje brže zbog kraćeg puta	1	2	-	1	-	-	4 (6,2%)
5.	Putuje brže kad auto miruje	-	3	-	-	-	-	3 (4,6%)
6.	Bez odgovora	4	2	1	3	-	-	10 (15,4%)
Ukupno		13	15	16	13	3	5	65

Da brzina izvora zvuka ne utječe na brzinu zvuka drži 15 (23,1%) ispitanika (odgovor broj 1.).

Da utječe drži 40 (61,5%) ispitanika (odgovori 2, 3, 4, 5 i 6) a 28 (41,1%) smatra da će se zvuk prema opažacu gibati brže ako se izvor zvuka giba prema njemu.

Dakle, imamo još jednu vrlo jasnu i vrlo snažno izraženu predodžbu koja je opet posljedica cestice slike o gibanju zvuka, odnosno (ne)prikladne mehanicke analogije.

Naime, ako se vlak giba prema opažacu brzinom od 70 km/h a covjek na vlaku u istom smjeru hoda brzinom od 10 km/h, tada se covjek približava opažacu brzinom od 80 km/h.

Slicnu situaciju imali bismo ako bi covjek ispalio tane sa vlaka koji se giba.

U predodžbi zvuka kao taneta koje stiže opažaca ova je S.P. potpuno ocekivana.

Uceniku valja ukazati na cinjenicu da su cestice koje su prenosile zvuk oko covjeka na vlaku (kada je ispalio tane), ostale tamo, a do nas se širio i stigao poremećaj, cija brzina ovisi o sredstvu.

C10 (J.G.)

"Zvuk automobilske sirene putuje brže prema opažacu kada se auto giba."

"Kad se giba prema opažacu zvuk dopire brže."

"Zvuk putuje jednako brzo iako (ako automobil ide prema nama) brže cemo cuti zvuk (neznatno brže, ali ipak brže)."

"Brže putuje kad se automobil giba jer uz brzinu zvuka javlja se i brzina automobila koja taj zvuk prenosi."

C10 (E.T.Š.)

"Brzina zvuka prema opažacu je povecana za iznos brzine automobila."

"Zvuk automobilske sirene putuje brže kada se automobil giba jer kako se automobil giba smanjuje se put za prijeci te se zvuk prije cuje."

C10 (E.T.Š.)

"Nije, jer se frekvencija mijenja."

"Ne putuje jednako jer onda kada automobil miruje visina tona je stalno ista."

C10 (O.Š.)

"Zvuk automobilske sirene putuje brže kad se automobil giba jer se zbog gibanja automobila zvuk brže rasprostire prema slušatelju."

"Zvuk sirene se brže rasprostire ako se automobil giba jer se automobil (iako malom brzinom, ako usporedimo sa zvukom) ipak nešto giba..."

"Zvuk automobilske sirene putuje brže kad se automobil giba prema opažacu jer tada zvuk putuje brže i brže cemo ga cuti."

C10 (O.Š.)

"Brže se taj zvuk sirene giba dok se automobil giba prema opažacu, jer smanjuje se put, pa se brzina povecava."

C10 (T.F.)

"Zvuk automobilske sirene putuje brže kad se automobil giba prema opažacu."

C10 (P.M.F.)

"Ne putuje jednakom brzinom."

"Ne putuje jednako brzo. Brže putuje kad se automobil giba ka opažacu."

"Da, jer su brzine automobila tako male da ne mogu utjecati na brzinu zvuka."

4.1.2.4. ZVUK SE POPUT UDALJENOG PREDMETA MOŽE OPAZITI U DALJINI

Ovu predodžbu moguće je uociti u tragovima. Ni jedno pitanje nije bilo posebno usmjereno na nju jer sam ju zapazio pri završnoj obradi odgovora.

Stoga navodim odgovore u kojima je ona jasno izražena.

D11 (O.Š.)

"Da, jer ako se udalje oko 10 m od tog zida i ako govore glasnije zvucni val ce se širiti. Onaj dio zvucnog vala koji se nalazi u razini zida nece drugi covjek cuti zato jer taj zid nece propustiti zvucni val, a ostatak zvucnog vala koji prolazi iznad zida covjek ce cuti kao da ga sluša na puno vecoj udaljenosti."

Covjek ce dakle cuti zvuk koji se nalazi iznad njega, jer u njegovoj razini zbog prepreke nece biti zvuka.

A6 (M.G.)

"Buduci da je avion brži od zvuka do slušaoca ce prvo doci avion, a tek onda zvuk. To dakle znaci da ce u tom trenutku slušaoc cuti udaljen zvuk aviona, u biti, zvuk ce biti najjaci kada avion vec prode slušaoca."

Primjetimo da ucenik drži da ce slušatelj cuti udaljen zvuk koji nije stigao do njega, jer nije ni mogao stici u trenutku kad je nadzvučni avion iznad slušatelja, cega je ucenik potpuno svjestan.

Slijedeci odgovor, nadalje izražava tvrdnju da kako se taj udaljeni zvuk bude približavao slušatelj ce ga moci sve bolje cuti (slicno kao što sve bolje može opaziti predmet koji mu se približava).

A6 (M.G.)

"Tutnjavu koja dolazi iz daleka koja se, što više vremena prode cuje sve jace i jace. Zato što je zvuk iza aviona nakon što je probio zvucni zid."

Vidimo da je i ovaj ucenik potpuno svjestan da je zvuk aviona koji se giba nadzvučnom brzinom iza aviona odnosno da nije stigao do slušatelja.

Iskustvena predodžba koja stoji iza ove i sa koje je nastao loš transfer jest slika valova koji nastane na mirnoj vodi kada u nju bacimo kamen. Ti valovi nisu došli do nas, zar ne, a mi ih opažamo. Ne uocivši da je tu svjetlosni val uistinu došao do nas lako je napraviti krivu usporedbu.

4.1.3. SPONTANE PREDODŽBE OBLIKOVANE LOŠIM TRANSFEROM ZNANJA

4.1.3.1. ELEKTROIZOLATORI LOŠE PROVODE I ZVUK

(Pitanja: A4, A5, C2, D6, D10)

Pitanje: "Provodi li plastika zvuk?", najprije sam iskušao u razgovoru s poznanicima.

Odgovori su bili ocekivani:

Profesor Fizike i PTO-a: "Ne provodi valjda...a što, provodi?!"

Apsolvent Fizike i PTO-a: "Ne bi trebalo."

Zatim sam pokušao sa gumom. ("Prenosi li se zvuk kroz gumu?"):

Apsolvent Fizike i PTO-a: "Ne bi trebalo."

Apsolvent Ekonomije: "Prenosi, premda slabo jer je guma izolator."

Prenosi li se bolje kroz gumu ili kroz zrak?

"Kroz zrak, guma je izolator."

Misliš li da zbog toga što ne provodi struju guma ne provodi ni zvuk?

"Da."

Da se u testu ipak odlucim za plastiku naveo me slijedeci odgovor ("Provodi li plastika zvuk?"):

Nastavnik Matematike i Fizike: "Cini mi se da plastika ne provodi ništa, ni struju, ni vlagu, ni zvuk."

Mislite li da zbog toga što ne provodi elektricnu energiju ne provodi ni zvuk?

"Ne znam, ne znam zbog cega. Jednostavno mi se cini da je to takva supstanca koja nemože provoditi ništa."

A guma?

"I guma donekle."

A papir?

"Sve mi je lakše zamisliti (da vodi) nego plastiku."

Kako su učenici odgovarali na ovo pitanje prikazuje slijedeca tablica:

Pitanje: D6		Škola							
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Provodi jer ima određenu gustocu; strukturu; gradu	-	-	8	4	2	-	2	16 (23,9%)
2.	Provodi (bez obrazloženja)	2	2	1	-	3	-	-	8 (11,9%)
3.	Provodi i to vrlo dobro zbog velike gustoće	-	-	3	3	-	-	-	6 (9%)
4.	Provodi ali slabo zbog velike gustoće	1	-	-	-	-	-	-	1 (1,5%)
5.	Provodi ali slabo zbog velike krutosti	1	-	-	-	1	-	-	2 (3%)
6.	Provodi ali slabo jer ima malo slobodnih cestica	-	-	-	-	-	-	1	1 (1,5%)
7.	Provodi ali slabo (bez obrazloženja)	-	1	-	-	1	-	-	2 (3%)
8.	Možda; valjda; vjerojatno	-	-	-	3	-	-	-	3 (4,5%)
9.	Ovisi o debljini plastike i njenim izolacijskim svojstvima tj otporu	-	-	-	-	1	-	-	1 (1,5%)
10.	Ne, jer ne spada u vodice; ona je izolator	-	-	-	2	-	-	-	2 (3%)
11.	Ne provodi zbog velike gustoće	-	1	-	1	-	-	-	2 (3%)
12.	Ne provodi zbog velike krutosti	1	-	-	-	1	-	-	2 (3%)
13.	Ne provodi zbog svoje strukture	1	-	-	-	2	-	-	3 (4,5%)
14.	Ne provodi (bez obrazloženja)	1	4	-	2	2	2	1	12 (17,9%)
15.	Plastika može proizvesti zvuk	3	1	-	-	-	-	-	4 (6%)
16.	Bez odgovora	-	1	-	1	-	-	-	2 (3%)
Ukupno		10	10	12	16	13	2	4	67

Na temelju dobivenih rezultata u ovom pitanju mogu zaključiti da se S.P. o analogiji elektroizolacijskih i zvučnoizolacijskih svojstva materijala uočava samo u tragovima.

Uočimo također da su do izražaja opet došle stare predodžbe o nerazmjernom i razmjernom utjecaju gustoće tvari na brzinu zvuka.

Ako malo pojednostavnimo prethodnu tablicu dobivamo slijedeći raspored odgovora:

Pitanje: D6		Škola							
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Provodi (Odgovori 1, 2, 3)	2	2	12	7	5	-	2	30 (44,8%)
2.	Slabo provodi (Odgovori 4, 5, 6, 7)	2	1	-	-	2	-	1	6 (9%)
3.	Ne provodi (Odg. 10, 11, 12, 13, 14)	3	5	-	5	5	2	1	21 (31.3%)
4.	Ostalo (Odgovori 8, 9, 15, 16)	3	2	-	4	1	-	-	10 (14,9%)
Ukupno		10	10	12	16	13	2	4	67

Iz ove tablice možemo zaključiti da je plastika vrlo "sumnjiv" materijal po pitanju vodenja zvuka ali kako se vidi iz prethodne tablice, iz slobodnih odgovora ne možemo izdvojiti jasan razlog.

Odgovori učenika:

D6 (J.G.)

"Ne, plastika ne provodi zvuk jer ne spada u vodice."

"Ne, jer ona je izolator."

D6 (E.T.Š.)

"Ovisi o debljini plastike i o njenim izolacijskim svojstvima tj. o otporu prolaska vala.

$$R = r \frac{l}{s}$$

Ovdje je vidljiva potpuna analogija sa obrascem

D6 (P.M.F.)

"Provodi ali jako slabo jer ima malo slobodnih čestica koje mogu titrati. "

Analogno sa brojem negativnih elektrona.

No, ova predodžba uocava se i u drugim pitanjima:

A4 (T.F.)

"Ne, jer je telefonska slušalica zvucni izolator."

C2 (P.M.F.)

"Mislim da je med zvucni izolator ali nisam siguran."

Pitanja A5 i D10 su bila namijenjena da izvuku predodžbu o mehanizmu zvučne izolacije no kao takva nisu ispunila svoju svrhu.

Učenici su uglavno opisivali učinke postavljanja zvučne izolacije kroz različite opise.

A5 (J.G.)

"Izolator sprječava prodor zvuka, odbija, ne propušta, ograničava, oslabljuje zvuk, onemogućava prolaz, zaustavlja, upija zvuk, izolira zvuk, ne dozvoljava prolazak zvuka."

"Dobar izolator upija zvuk, sprječava, apsorbira, guši."

Kod malobrojnih koji su se odlucili na pobliže objašnjenje nailazimo na stare obrasce.

A5 (J.G.)

"Dobar izolator je neko sredstvo s velikom gustocom tako da se zvuk slabo i nikako širi kroz njega."

Odgovori na pitanje D10 uglavnom se svode na to da slama upija zvuk, da ga nejednoliko raspršuje i slično.

4.1.3.2. ENERGIJA ZVUKA NIJE OPCENITO TRANSFORMABILNA

Na pitanje o mogućnosti transformacije zvuka u svjetlost jedan jedini učenik je odgovorio potpuno točno. Navodim njegov odgovor:

B7 (O.Š.)

"Može jer je i zvuk oblik energije a energija se iz jednog oblika pretvara u drugi."

Ukupno 8 ispitanika (12,7%) ipak smatra da je ta pretvorba moguća (odgovori 1, 2, 3, 4). No, 43 (68,3%) ne misli tako zbog različitih razloga.

Pitanje: B7		Škola							Ukupno
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	
1.	Može jer ima energiju	-	1	-	-	-	-	-	1 (1,6%)
2.	Može adekvatnim tehnološkim rješenjem	-	-	-	-	-	-	1	1 (1,6%)
3.	Može pri probijanju zvučnog zida	-	1	-	-	-	-	-	1 (1,6%)
4.	Može (bez obrazloženja)	-	-	2	1	1	1	-	5 (7,9%)
5.	Ne može jer nije moguća takva transformacija energije	1	-	-	1	-	-	-	2 (3,2%)
6.	Ne, jer je zvuk mehanički a svjetlost elektromagnetski val	-	-	-	3	1	-	1	5 (7,9%)
7.	Ne, jer je zvuk longitudinalni a svjetlost transverzalni val	-	-	2	-	-	-	-	2 (3,2%)
8.	Ne, jer su to potpuno različite pojave	2	3	1	1	1	-	-	8 (12,7%)
9.	Ne, jer zvuk ne može dostići brzinu svjetlosti	1	-	2	-	1	-	-	4 (6,3%)
10.	Ne, jer je zvuk nešto što se opaža sluhom a svjetlost vidom	1	1	-	-	2	-	-	4 (6,3%)
11.	Ne može (bez obrazloženja)	4	4	1	4	3	1	1	18 (28,6%)
12.	Bez odgovora	1	-	3	4	3	1	-	12 (19%)
Ukupno		10	10	11	14	12	3	3	63

Kako se vidi iz tablice razlozi zbog kojih ne može su različiti. Evo i primjera:

B7 (M.G.)

"Može, ako njegova brzina prijede 20.000 m/s (što je brzina svjetlosti)."

"Nemože, jer je svjetlosni val transversalni, a zvučni val longitudinalni."

B7 (J.G.)

"Nemože, jer su zvuk i svjetlost drugačija vrsta valova (zvuk je mehanički val, svjetlost - elektromagnetski)."

"Ne, jer nije moguća takva transformacija energije."

"Nemože, jer je zvuk gibanje materije dok svjetlost predstavlja kvant elektromagnetskog zračenja."

"Zvuk se nemože pretvoriti u svjetlost, jer je zvuk mehanički val, a svjetlost elektromagnetski, tako da su njihove prirode potpuno različite i nespojive."

B7 (E.T.Š.)

"Zvuk se nemože pretvoriti u svjetlost, jer mi zvuk ne vidimo, on nije fizički oblik, zvuk nastaje titranjem i vibracijama i mi to ne vidimo već samo čujemo."

B7 (E.T.Š.)

"Ne, zato jer zvuk je titranje valova, a ne svjetlosni signal."

"Nemožemo, zato jer zvuk nema brzinu svjetlosti."

"Nemože. Zvuk je nešto što se može osjetiti samo sluhom a svjetlost se osjeća vizualno"

B7 (O.Š.)

"Ne, jer se zvučni impuls nemože nikako pretvoriti u električni koji bi stvorio svjetlost (upalio žarulju)."

"Može ako dođe do brzine svjetlosti (ako probije zvučni zid)."

B7 (O.Š.)

"Nemože. Zato što zvuk samo čujemo i zvuk nemožemo vidjeti, a svjetlost samo vidimo i nju nemožemo čuti. Jednostavno to je nešto sasvim različito i ne može se jedno u drugo pretvarati."

"Ma nemože. To su dvije sasvim različite pojave."

B7 (P.M.F.)

"Nemože, jer je zvuk mehanički val a svjetlost elektromagnetski."

Promotrimo sada odgovore na drugo pitanje povezano sa energijom zvuka a to je A9. Naime i B7 i A9 u biti su glasili: "Ima li zvuk energiju?"

Obzirom na to da je samo 12,7% ispitanika ustvrdilo da se zvuk može transformirati u svjetlost (a 87,3% je više ili manje sigurno da *ne može*) jako je zanimljivo da čak njih 57,8% drži da on nasuprot tome može obavljati rad.

Pogledajmo tablicu odgovora na pitanje A9

Pitanje: A9		Škola						
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Može jer ima energiju	-	-	3	2	-	1	6 (9,4%)
2.	Može (sa primjerom)	10	2	4	3	-	1	20 (31,3%)
3.	Može (uz ostala obrazloženja)	-	-	1	3	-	1	5 (7,8%)
4.	Može (bez obrazloženja)	-	3	1	2	-	-	6 (9,4%)
5.	Ne može	2	3	2	2	-	1	10 (15,6%)
6.	Ne može jer nema masu ($W=Fs$; $F=ma$)	-	-	1	-	1	-	2 (3,1%)
7.	Ne može jer nema silu	-	1	-	-	1	-	2 (3,1%)
8.	Bez odgovora	2	2	5	2	1	1	13 (20,3%)
Ukupno		14	11	17	14	3	5	64

Dakle ovdje imamo:

- 37. odgovora može (57,8%)
- 14. odgovora nemože (21,9%)
- 13 odgovora neodlucno (20,3%)

Kako sam i odgovarajuće primjere priznavao kao točan odgovor u ovom je pitanju bilo 39,3% točnih odgovora što je jako dobar rezultat.

21,9% netočnih odgovora ukazuje da ovdje ipak problem postoji, no nije tako velik.

Zanimljivo je reci i koji su to bili primjeri.

Zvuk može:

- puknuti čašu 4.
- "pokretati" mikrofoni i zvučnike 1.
- pomaknuti, zatirati predmete, bubnjaci 7.
- "paliti svjecice" na Hi-Fi liniji 1.
- prenositi govor i buku 3.
- izazvati lavinu 1.
- pokretati vjetrenjaku 1.
- zvuk obavlja rad svojim širenjem 2.

Primjeri obrazloženja:

A9 (J.G.)

"Može, neznam zašto i nisam siguran zapravo je li može."

"Može, npr. visoki tonovi mogu razbiti staklo."

"Mislim da ne može jer nema masu $W=Fs$, a $F=ma$."

"Može. To se najbolje primjeti kada zvuk prede granicu od 120 dB kada dolazi do mehanickog oštećenja uha."

A9 (E.T.Š.)

"Nemože, Zato što je jedinica za rad J (Joul), a za zvuk dB."

"Može ako imamo npr. jaki zvuk sa velikim frekvencijama pa ako se neki predmet nalazi na putu tom zvuku onda taj zvuk može uzrokovati njegovo titranje."

"Može. Primjere za to imamo u mikrofonima (i zvučnicima) kada uslijed zvuka membrana na mikrofONU zatitra."

A9 (O.Š.)

"Može. Prenosi ono što mi izrecemo."

"Može, npr. ako na sniježnim planinama viknemo, jeka koja se širi može izazvati lavinu. Pa zvuk svakodnevno obavlja rad, npr. ako zovem nekoga telefonom, ako zovemo covjeka na ulici, pa i kad pricam s nekim."

A9 (O.Š.)

"Može (ja mislim). Nemam pojma."

"Zvuk ima brzinu oko 330 m/s, za rad nam uz to trebala i neka sila koja pokrece zvuk. Neki strojevi proizvode zvuk dok rade, dakle nekom silom, pa prema tome rad može proizvesti neki zvuk, ali zvuk ne može proizvesti rad."

"Prejak zvuk smeta pri obavljanju rada. (Na primjer, ako netko nešto piše i pritom sluša neku glazbu (prejaku) napraviti ce u pisanju mnogo grešaka.)"

A9 (O.Š.)

"Može. Kad titra bubnjic od zvuka on takode obavlja rad."

"Zvuk pomice cestice sredstva, a ako može nešto pomicati to znaci da može obavljati rad."

A9 (O.Š.)

"Zvuk može obavljati rad. Za vrijeme rata prejak zvuk je razbijao stakla. Ja bih to objasnio ovak: Valovi zvuka postanu prejaki i vrše veliki pritisak na osjetljive predmete kao što su staklo i onda ono pukne."

A9 (T.F.)

"Rad je Fs , $F=ma$, za rad je potrebna masa, a kako je zvuk valne prirode, onda po mome, zvuk ne može obavljati rad."

A9 (P.T.F.)

"Nemože u klasicnom smislu ako bismo rad definirali kao umnožak sile i puta. Zvucnim valovima se prenosi energija."

Kao zakljucak možemo reci da u određenoj mjeri ucenici ipak povezuju zvuk sa energijom no da ona nije znatna potvrđuje i tocnost odgovora u pitanjima povezanim sa prigušenim titranjem i apsorpcijom zvuka.

- A7 (39,2% tocnih odgovora)

- D8 (36,2% točnih odgovora)
- D10 (40% točnih odgovora)

Ostatak do 100% ni ovdje nije zanemariv i svjedoci da je energija zvuka nešto o čemu bi trebalo puno više popričati u razredima, a osobito o mogućnosti njene transformacije. Nacelnoj i prakticnoj.

Prilicno je teško reci odakle zamisao o nespojivosti odnosno nepreobrazljivosti različitih pojava općenito. No ta je zamisao u “suradnji” sa uvjerenjem o potpunoj razlicitosti prirode zvuka i prirode svjetla rezultirala ovom predodžbom.

4.1.4. SPONTANE PREDODŽBE OBLIKOVANE ODNOSNO OSNAŽENE ŠKOLSKIM ZNANJEM

4.1.4.1. TVARI TO BRŽE PROVODE ZVUK ŠTO SU GUŠĆE

(Pitanja: A8, B6, B8, C3)

Zanimljivo je da su potpuno ista pitanja razotkrila sasvim različite predodžbe o utjecaju gustoće medija na brzinu zvuka od one opisane u odlomku 4.1.1.2.

Na ovu S.P. kao i na njeno izvorište vrlo precizno mi je ukazao učenik M.G. u svom odgovoru na pitanje B4.

B4 (M.G.)

"Zvuk je val. On titra kroz bilo koje sredstvo. Tako npr. brzina zvuka kroz zrak je približno 340 m/s, brzina zvuk kroz vodu je 1.500 m/s, brzina zvuka kroz celik je 5.000 m/s. Znaci, što su cestice sredstva gušće to valovi zvuka brže prelazi s cestice na cesticu odnosno prenose energiju..."

Ista predodžba s istim izvorištem u različitim postocima iskazala se kod učenika svih škola.

A8 (E.T.Š.)

"Što je tvar gušća, to se zvuk brže širi. Primjer: Zvuk je kroz vodu brži nego kroz zrak."

A8 (O.Š.)

"Cuo sam da se u vodi brže rasprostire zvuk nego u zraku, pa ako voda ima veću gustocu onda što je gustoca tvori veća to se zvuk brže širi."

A8 (J.G.)

"Gustoca neke tvori utjece na brzinu odnosno zvuk se brže giba kroz sredstvo koje je gušće. Najbrže se kreće kroz celik."

Usporedna tablica sa brzinom zvuka u različitim sredinama postoji već u udžbeniku O.Š, a kasnije se samo proširuje.

U O.Š. ona izgleda ovako:

Brzine širenja zvuka kroz neke materijale			
Materijal	Brzina zvuka / (m/s)	Materijal	Brzina zvuka / (m/s)
aluminij	6 420	morska voda (25 °C)	1 530
željezo i staklo	5 950	voda (25 °C)	1 498
zlato	5 240	vodik	1 280
drvo	5 000	helij	965
najlon	2 620	pluto	500
kaucuk	1 550	zrak	330

Ako malo promotrimo brzinu zvuka u materijalima navedenim u tim tablicama uistinu se lako uoci da sa "kompaktnošću" materijala raste i brzina zvuka u njemu.

Gotovo je nemoguće ne primjetiti da je brzina zvuka (prema tablici) najmanja u zraku, koji je svakako najfluidniji.

Nešto je veća u plutu koje je svima poznato kao vrlo prozračan materijal. Još jedanput veća gustota - veća brzina. Slijedeca opće poznata tvar u tablici je voda. Čak je i u morskoj vodi zvuk brži nego u običnoj.

Zatim imamo drvo i na kraju metale. Zaključak o razmjernom odnosu gustoće tvari i brzine zvuka je neminovan.

Iako je u Krsnikovom udžbeniku jako lijepo objašnjeno u čemu je "kvaka", to je među udžbenicima rijetkost a i veliki broj netočnih odgovora u M.G. (koji rade po Krsnikovom udžbeniku) potvrđuje da učenici ne obraćaju previše pažnje na te detalje ako im se na njih posebno ne ukaže.

Inače, dio znanja na koji se oni oslanjaju nije netočan. Dapace

$$\rho_{\text{zraka}} < \rho_{\text{pluta}} < \rho_{\text{vode}} < \rho_{\text{drva}} < \rho_{\text{željeza}}$$
$$V_{\text{zraka}} < V_{\text{pluta}} < V_{\text{vode}} < V_{\text{drva}} < V_{\text{željeza}}$$

Jedino što može potaknuti sumnju u ovako logičnom rasporedu je odnos brzine zvuka u aluminiju i željezu jer je ona veća u aluminiju koji je rjeđi.

No uz ovako obilje dokaza o razmjernoj vezi gustoće i brzine tu je iznimku lako zanemariti i objasniti "nećim drugim", ako je se uopće uoci.

Ova S.P. ima čak i p-prim koji je naučen u školi.

Naime brzina zvuka u vakuumu je jednaka nuli. Dakle, ako je za zvuk nužno sredstvo onda je logično da je zvuk bolje što ga ima više.

Ilustrirajmo to razmišljanje:

A8 (J.G.)

"Za zvuk (mehanički val) potrebno je sredstvo. Ako je nužno potrebno to nam govori i da što je neka tvar gušća da je i brzina zvuka veća."

Taj zaključak ima i snažnu logičku pozadinu kao dokaz.

A8 (P.M.F.)

"Što je veća gustota, brži je zvuk jer su čestice bliže pa se brže prenosi djelovanje među njima."

D6 (M.G.)

"Pa provodi. Čestice su vrlo blizu jedna drugoj i brzo se prenosi zvuk s jedne na drugu"

Ova predodžba našla je svoju primjenu u različitim pitanjima:

B6 (J.G.)

"Ne, jer su gušći od zraka tj. više je čestica na okupu i to zvuku omogućuje da se brže širi."

"Ne. Mogu ga samo ubzati jer tada zvuk nailazi na gušći medij."

D6 (M.G.)

"Da, kao i svaka tvar...i to čak brže nego u zraku jer je gušća od zraka"

Pogledajmo statistiku.

Pitanje: B6		Škola							
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Ubrzavaju zbog većeg udjela vode	1	-	-	-	1	-	-	2 (3,1%)
2.	Ubrzavaju jer su gušći od zraka	-	1	7	6	1	-	1	15 (23,1%)
3.	Usporavaju jer su rjeđi	1	-	-	2	-	1	1	4 (6,1%)
4.	Ne usporavaju (bez obrazloženja)	2	1	-	-	2	-	-	5 (7,7%)
5.	Ne usporavaju, zvuk kroz oblake putuje nesmetano	2	2	-	3	2	-	-	9 (13,8%)
6.	Usporavaju jer su gušći od zraka	5	2	2	1	4	-	-	14 (21,5%)
7.	Usporavaju jer mu pružaju veći otpor	2	-	-	-	-	-	-	2 (3,1%)
8.	Usporavaju zbog loma, odbijanja, elektriciteta	-	2	1	-	-	-	1	4 (6,1%)
9.	Usporavaju (bez obrazloženja)	-	1	1	1	2	2	1	8 (12,3%)
10.	Bez odgovora	-	1	-	1	-	-	-	2 (3,1%)
Ukupno		13	9	11	14	12	3	3	65

Na temelju tablice odgovora možemo reci da stvari stoje ovako.

- Oblaci ubrzavaju zvuk zbog veće gustoće 21 (odgovori 1, 2, 3)
- Ne utječu na zvuk jer ne predstavljaju prepreku 14 (odgovori 4 i 5)
- Oblaci usporavaju zvuk zbog veće gustoće 14 (odgovor 6)
- Oblaci usporavaju zvuk jer predstavljaju prepreku 14 (odgovori 7, 8, 9)
- Bez odgovora 2

Ocito su ovdje prisutne obje predodžbe (4.1.2.1. i 4.1.4.1.) no zanimljivo je uočiti da u ovom pitanju (4.1.4.1.) prevladava izrazito u gimnazijama a predodžba (4.1.2.1.) izrazito prevladava u osnovnim školama.

Razmotrimo odgovore na pitanje C2.

Pitanje: C2		Škola						Ukupno	
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.		P.M.F
1.	Provodi jer ima cestice, ima svoju gustocu	-	-	6	7	-	-	2	15 (19%)
2.	Provodi (bez obrazloženja)	-	3	3	-	-	1	2	9 (11,4%)
3.	Provodi ali jako slabo zbog velike gustoce	2	1	3	3	2	1	-	12 (15,2%)
4.	Ne provodi jer je previše gust	7	6	-	3	7	1	-	24 (30,4%)
5.	Ne provodi jer je med zvucni izolator	-	-	-	-	-	-	1	1 (1,3%)
6.	Ne provodi (bez obrazloženja)	2	3	-	3	2	-	-	10 (12,7%)
7.	Bez odgovora	2	2	2	-	2	-	-	8 (10,1%)
Ukupno		13	15	14	16	13	3	5	79

Ovdje je jako zanimljivo uociti omjer brojnosti odgovora pod 1 i pod 4 u razlicitim školama, srednjima i P.M.F.-u sa jedne strane i T.F.-u s druge strane.

Dakle 33 ispitanika (41,8%) smatra da med provodi zvuk (odgovori broj 1 i 2) možemo reci, upravo zahvaljujuci svojim cesticama dok 12 ispitanika (15,2%) drži da provodi usprkos svojim cesticama (odgovor broj 3).

Slijedecih 27 (34,2%) ne dopušta tu mogucnost uglavnom zbog "prevelike gustoce" (odgovori 4, 5, 6)

Predodžba o gustoci kao smetnji prolasku zvuka je ocita.

To u biti i nije netocno ali problem je u tome što iza toga stoji vrlo "nefizikalno" tumacenje - cesticna slika o rasprostiranju zvuka kako smo vidjeli u odlomku 4.1.1.1.

Ako pogledamo kako su učenici odgovorili na izravno pitanje o utjecaju gustoće sredstva na brzinu zvuka kroz njega (A8), vidimo da su mišljenja gotovo ravnomjerno podjeljena.

Pitanje: A8		Škola						
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Gustoca obrnuto razmjerno utjece na brzinu	5	5	3	6	2	2	23 (35,9%)
2.	Gustoca razmjerno utjece na brzinu	5	3	10	7	1	3	29 (45,3%)
3.	Gustoca utjece na brzinu	2	2	-	-	-	-	4 (6,3%)
4.	Gustoca ne utjece na brzinu	-	-	-	1	-	-	1 (1,6%)
5.	Gustoca razmjerno utjece na intezitet	-	-	2	-	-	-	2 (3,1%)
6.	Bez odgovora	2	1	2	-	-	-	5 (7,8%)
Ukupno		14	11	17	14	3	5	64

Iz ovih odgovora možemo iščitati gotovo ravnomjeren odnos predodžbe broj 4.1.3.1. (odgovor broj 2.) i predodžbe broj 4.1.1.2. (odgovor broj 1.) u ovom nepristranom pitanju.

Ako usporedimo rezultate svih ovih pitanja koja ukazuju na obje predodžbe tada možemo zaključiti da u osnovnim školama prevladava S.P. 4.1.1.2. a u srednjim S.P. 4.1.3.1.

Studenti su u tome prilično ravnomjerno podijeljeni. Nazovimo ih "nesvrstanima".

Ove dvije predodžbe dolaze u sukob i kod jednih te istih učenika.

D6 (O.Š.)

"Plastika ne provodi zvuk. Vjerojatno zato što je takav raspored cestica odnosno one su preguste. Ali onda zašto cujemo kroz zid, kroz drvo, staklo?"

Slijedeće odgovore na pitanja B2, B6 i B8 dala je ista učenica:

B2a (J.G.)

"Iako nikada nisam probala vjerujem da bi se culo jer ipak smo ucili da se zvuk širi brže što je sredstvo gušće."

B6 (J.G.)

"Ne, možda ga ubrzavaju (oblaci su gušće sredstvo)"

B8 (J.G.)

"Jace ce cuti kucanje na tan... Samo malo, sad me sve ovo zbunilo. Cini mi se logicnije da ce se kroz tanja vrata jace cuti, ali sad mi to i nije baš u skladu sa svim onim prethodnim."

Na kraju se postavlja pitanje kako prevladati ovu zavrzlamu. Najjednostavnije je na primjeru krutih tijela.

Valja shvatiti da gustoca stvari nije jedini cimbenik koji utjece na brzinu zvuka.

Za zorno predocenje uzmimo mehanicki analogon širenju zvuka. To je niz masa povezanih oprugama.



Ako masu 1. izbacimo iz ravnotežnog položaja hoće li se i druge kuglice zatirati nakon nekog vremena? Hoće.

Hoće li se posljednja kuglica prije zatirati ako su to velike kugle s velikom masom ili ako su male kuglice s malom masom? Ako su male mase.

$$v \approx \frac{1}{\rho}$$

Dakle, što je masa veća poremećaj se sporije prenosi.

Nadalje, hoće li titranje prije stići od kuglice 1 do kuglice 5 ako između njih imamo 3 kuglice ili ako je između njih samo jedna.

Ako je samo jedna. $v \approx \frac{1}{\rho}$

Opet vidimo da veća gustoca usporava zvuk.

A hoće li se taj poremećaj brže prenijeti ako su ove opruge snažne i krute poput šipki ili ako su to slaba i tanka pera? Ako su snažne.

Vidimo da što je jača veza između tih masa poremećaj se brže širi.

Dakle, pošto je voda gušća od zraka ona bi trebala zvuk provoditi sporije ali su veze između njenih molekula višestruko jače tako da brzina zvuka u vodi nadmašuje onu u zraku.

U S.Š. i na fakultetu ovo se može upotpuniti obrascem za brzinu zvuka u krutim tijelima

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

gdje E - Youngov modul elastičnosti igra ulogu opruge a ρ ulogu mase na njoj.

Ovaj je obrazac najzorniji no lijepo je bar navesti i one za brzinu zvuka u tekucinama i plinovima.

4.1.4.2. BRZINA ZVUKA OVISI O NJEGOVOJ FREKVENCiji

Ako pogledamo tablicu s odgovorima na pitanje C8 (sljedeća stranica), uvidamo da 29 ispitanika (od 79) drži da frekvencija ne utječe na brzinu (odgovori 1, 2 i 3) dok 37 smatra da utječe (odgovori 4, 5, 6, 7 i 8).

Pitanje: C8		Škola						Ukupno	
O. br.	Odgovor	O.Š.S	O.Š.B	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.		P.M.F
1.	Putuje jednako brzo jer brzina zvuka ovisi samo o sredstvu	-	-	1	-	2	-	3	6 (7,6%)
2.	Putuje jednako brzo jer brzina zvuka ne ovisi o frekvenciji	-	-	1	1	2	1	1	6 (7,6%)
3.	Putuje jednako brzo (bez obrazloženja)	3	3	5	4	2	-	-	17 (21,5%)
4.	Zvuk violine putuje brže zbog veće frekvencije	4	4	1	6	4	-	-	19 (24,1%)
5.	Zvuk violine putuje brže (bez obrazloženja)	-	2	-	3	2	-	-	7 (8,9%)
6.	Zvuk violine putuje sporije zbog manje frekvencije	-	-	2	1	-	-	-	3 (3,8%)
7.	Ne putuje jednako brzo	-	-	2	-	1	-	-	3 (3,8%)
8.	Zvuk violine je sporiji zbog veće frekvencije	1	2	-	-	-	2	-	5 (6,3%)
9.	Bez odgovora	5	4	3	1	-	-	1	14 (17,7%)
Ukupno		13	15	14	16	13	3	5	79

Medu tih 37, 29 ih smatra da frekvencija razmjerno utječe na brzinu. Potpuno ispravan odgovor dalo je 12 ispitanika (15,2%).

No u ovom pitanju imamo i veliki broj onih koji nisu uopće odgovorili.

Dakle, 46,8% od svih ispitanika smatra da frekvencija zvuka utječe na njegovu brzinu a 36,7% smatra da utječe upravo razmjerno.

C8 (J.G.)

"Putuje brže zato što je veća frekvencija. Što je veća frekvencija veća je i brzina."

C8 (M.G.)

"Violina proizvodi zvukove veće frekvencije nego kontrabas (vidi odgovor 5) a kako su frekvencija i brzina upravo proporcionalni onda će i brzina zvuka violine biti veća od brzine zvuka kontrabasa."

C5 (M.G.)

" $f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Fl}{m}}$ Iz formule se vidi da v ovisi o masi žice i to obrnuto proporcionalno.

Tanja žica ima manju masu od one debele, zar ne?"

C8 (M.G.)

" $f = \sqrt{\frac{Fl}{m}}$ Prema ovoj formuli ako uzmemo u obzir da sviramo odnosno djelujemo

istom silom na žicu i violine i kontrabasa a buduci da je žica na kontrabasu duža i veća joj je masa brže putuje zvuk kontrabasa."

C8 (M.G.)

"Neznam koji zvuk od ta dva instrumenta daje više tonove."

"Ja mislim sporije jer kontrabas ima duže žice a razlika između masa žica nije prevelika $f = \sqrt{\frac{Fl}{m}}$."

C8 (J.G.)

"Putuje brže zato što je veća frekvencija. Što je veća frekvencija, veća je i brzina."

"Zvuk violine putuje brže od kontrabasa jer je ugodniji i tanji uhu. (Bar mislim.)"

C 8 (J.G.)

" $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda v$ Zvuk violine putuje brže."

"Brže putuje zvuk violine zbog više frekvencije, znači treba joj manje vremena.

$$v = \frac{1}{T}$$

C8 (E.T.Š.)

"Da. Brže zato jer ima višu frekvenciju."

"Putuje jednako kao zvuk kontrabasa jer putuju kroz isto sredstvo a frekvencija utječe na visinu tona."

"Zvuk violine putuje brže od zvuka kontrabasa jer su brzina i frekvencija proporcionalne."

"Uvjet: $f_{\text{violone}} > f_{\text{kontrabasa}}$, frekvencija violine mora biti veća od frekvencije kontrabasa.

$\lambda = \frac{c}{f}$ za istu brzinu širenja zvuka mislim da zvuk violine brže putuje od zvuka kontrabasa

zbog uvjeta."

C8 (O.Š.S.)

"Brže putuje zvuk kontrabasa jer je manje frekvencije."

"Zvuk violine putuje brže od zvuka kontrabasa jer violina proizvodi veće frekvencije zvuka od kontrabasa."

"Zvuk violine putuje brže jer je tanji, proizvodi više titraja u sekundi, opisala bih ga kao lepšaviji zvuk, jer je zvuk kontrabasa dubok, teže se širi zrakom."

C8 (O.Š.)

"Putuje brže. Zato što je zvuk violine oštrije."

C8 (O.Š.)

"Smatram da zvuk violine koja je jace frekvencije provodi brže, jer je njen zvuk tanji i brži u zraku."

C8 (T.F.)

"Sporije - veca frekvencija - manja brzina."

C8 (P.M.F.)

"Zvuk violine putuje brže jer brzina ovisi o frekvenciji, veca frekvencija i veca brzina."

"Brzina zvuka je ista jer prolazi kroz isto sredstvo."

Predodžba o razmjernom utjecaju frekvencije zvuka na njegovu brzinu jasno se pokazala i u pitanju D1.

D1 (M.G.)

"Zvuk snažnog zvučnika putovati će brže od zvuka slabog zvučnika, jer je frekvencija snažnog zvučnika veca od frekvencije slabog zvučnika."

D1 (E.T.Š.)

"Zvuk snažnog zvučnika putuje isto kao i zvuk slabog zvučnika. Frekvencija zvuka im je ista i ista im je valna duljina."

"Na zvuk ne utječe to da li je zvučnik snažniji ili ne slabiji, nego na zvuk utječe sredstvo kojim se širi i frekvencija."

D1 (P.M.F.)

"Zvuk snažnog zvučnika putuje brže nego zvuk slabog zvučnika jer brzina ovisi o frekvenciji."

D1 (M.G.)

"Zvuk snažnog zvučnika putuje jednako brzo kao i zvuk slabog zvučnika zbog toga što je brzina zvuka konstantna ovisi samo o duljini vala λ i frekvenciji ν , a ne i o snazi ili jačini."

On lijepo objašnjava i snažniju zastupljenost S.P. 4.1.4.2. od 4.1.2.2.

Dakle poznavanje relacije $v = \lambda f$ ne samo da najčešće potvrđuje već često i oblikuje zamisao o razmjernoj uzročno posljedičnoj povezanosti brzine frekvencije.

Stoga pri poučavanju valja naglasiti da ova relacija ne predstavlja uzročno posljedičan već odnosan razmjer.

4.1.4.3. VJETAR UTJECE NA FREKVENCIJU ZVUKA KOJU PRIMA OPAŽAC

Ova predodžba posljedica je prethodne. Naime ako znamo da vjetar povećava brzinu širenja zvuka u smjeru u kojem puše (što je točno), a ne vodeci računa da se za isti faktor povećava i λ krivo interpretiramo obrazac $v = \lambda f$, odnosno $f = \frac{v}{\lambda}$, tada izravno slijedi ovaj krivi zaključak.

Iz tablice odgovora na pitanje A10 vidi se da 13. ispitanika (33,3%) smatra da brzina i smjer vjetra utjecu na frekvenciju zvuka koju opažac prima od izvora.

Pitanje: A10		Škola				Ukupno
O. br.	Odgovor	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	
1.	Vjetar neće utjecati na frekvenciju zvuka ni iz jednog smjera	2	2	-	-	4 (10,3%)
2.	Vjetar iz smjera izvora povećava frekvenciju zvuka a iz suprotnog smjera je smanjuje	5	2	-	2	9 (23,1%)
3.	Vjetar iz smjera izvora smanjuje frekvenciju zvuka a iz suprotnog smjera je povećava	-	-	1	-	1 (2,6%)
4.	Vjetar će utjecati na frekvenciju zvuka	-	-	-	1	1 (2,6%)
5.	Vjetar će utjecati na frekvenciju zvuka samo iz smjera izvora	1	1	-	-	2 (5,1%)
6.	Vjetar iz smjera izvora povećava <i>brzinu</i> zvuka a iz suprotnog smjera je smanjuje	4	3	1	1	9 (23,1%)
7.	Vjetar neće utjecati na <i>brzinu</i> zvuka	-	-	-	1	1 (2,6%)
8.	Vjetar iz smjera izvora povećava <i>snagu</i> zvuka a iz suprotnog smjera je smanjuje	1	2	-	-	3 (7,7%)
9.	Bez odgovora	4	4	1	-	9 (23,1%)
Ukupno		17	14	3	5	39

Medu njima izrazito prevladava predodžba da vjetar u smjeru opažaca povećava frekvenciju a u suprotnom je smanjuje, što je u skladu s prethodnom spontanom predodžbom $v \sim f$.

Odgovore možemo svesti na slijedeće:

33,3% ispitanika smatra da brzina i smjer vjetra utjecu na frekvenciju zvuka koju opažac prima od izvora

23% iskazuje odnos: Vjetar iz smjera izvora povećava f. Vjetar iz suprotnog smjera smanjuje f.

Daljnjih 33,3% ispitanika smatra dovoljnim reci da vjetar iz smjera izvora povećava brzinu zvuka, a da je vjetar iz suprotnog smjera smanjuje.

Samo je 4 od 39 (10 %) učenika točno navelo da vjetar neće utjecati na frekvenciju zvuka.

Ovu S.P. lijepo oslikava odgovor:

A10 (E.T.Š.)

"Hoće, frekvencija će biti veća što je brzina zvuka veća i obratno."

U pozadini ove S.P. jest razmišljanje da će vjetar povećati brzinu pristizanja vala zvuka do opažaca (što je točno) te će on primiti više valova u istom vremenu (što nije točno) jednostavno zbog toga što će vjetar istodobno povećati i valnu duljinu zvuka iz izvora.

Evo još jednog primjera u prilog ovoj tvrdnji:

A10 (J.G.)

"To će utjecati na frekvenciju zvuka tako što će zvuk brže doći i bolje čuti i biti će viša frekvencija. Ako vjetar zapuše iz suprotnog smjera zvuk će sporije doći ili neće doći i frekvencija će biti niža."

No, iz ovog odgovora se ne može zaključiti da učenici toliko kvalitetno razmišljaju o ovom problemu već je češći slučaj da bez puno razmišljanja odgovore na temelju krive interpretacije obrasca $v = \lambda f$.

Evo primjera za to:

A10 (P.M.F.)

"Hoće, zvuk će se bolje čuti, u suprotnom slučaju zvuk će se čuti slabije.

$$v = \frac{\lambda}{T}, f = \frac{1}{T}, v = \lambda f \Rightarrow v \approx f$$

Jednim dijelom krivac za ovu S.P. je i Doppler-ov efekt, koji općenito nije previše dobro shvaćen (kako ćemo kasnije vidjeti).

A10 (P.M.F.)

"s=15 m.,

v=const

Hoće, jer imamo osjećaj kao da se izvor pomakao, a po Doppler-ovom efektu to utječe na frekvenciju.

4.2. POTEŠKOCE U RAZUMIJEVANJU ZVUKOVNIH POJAVA

U ovom drugom dijelu prosudbe osvrnut ću se na poteškoce u razumijevanju određenih tema povezanih sa zvukom, a u kojima se nije iskristalizirala neka određena i jasna S.P. već mogu samo konstatirati da je poznavanje i shvaćanje ovih tema loše ili nedovoljno.

4.2.1 DOPPLER-OV EFEKT

Da bih ispitao razumijevanje Doppler-ovog efekta uvrštena su pitanja C4 i D2.

Uz mali postotak točnosti odgovora, kao ilustraciju poteškoća koje postoje u vezi s Doppler-ovim efektom navodim neke od odgovora.

C4 (M.G.)

"Doppler-ov efekt vrijedi samo ako se giba ili opažac ili izvor, odnosno ako se giba opažac vrijedi Doppler-ov efekt. Prema tome neće se promijeniti visina tona."

C4 (J.G.)

"Visina tona bez obzira trčali mi za autom ili ne je uvijek isto. Samo se može razlikovati je li mi taj ton čujemo slabije ili bolje."

D2 (M.G.)

"Mi ćemo čuti konstantan zvuk, jer one čestice koje su titrale slabije dobit će opet energiju i tako će ponovo titrati."

"Ču ću zvuk više frekvencije zato jer se brzina izvora i brzina zvuka zbrajaju, pa se mijenja frekvencija zvuka (onoga što čujemo)."

"U tom slučaju mi nećemo čuti isti zvuk kao i kad automobil (izvor zvuka) miruje, jer ćemo mi primiti drugu frekvenciju (od one koja je poslata) pa će i zvuk biti drukčiji (Doppler-ov zakon)."

D2 (J.G.)

"Taj zvuk će postati sve ujednačeniji nakon nekog vremena imat ćemo osjećaj da neko pušta neki zvuk konstantno... Kao kad u mraku vrtimo upaljenu cigaretu dobit ćemo osjećaj kruga crvene boje."

"Sirena će se stopiti u jednolican zvuk zbog velike brzine automobila koji kruži oko nas..."

D2 (E.T.Š.)

"Ja mislim da će se slabije čuti nego da stoji automobil. Frekvencija raste."

D2 (T.F.)

"Frekvencija i jakost zvuka koji prima opažac mislim da će biti povećani zbog interferencije zvučnih valova."

A10 (P.M.F.)

"Hoće. Ja imam osjećaj kao da se izvor pomakao, a po Doppler-ovom efektu to utječe na frekvenciju."

Tabelarni prikaz odgovora na pitanje C4:

Pitanje: C4		Škola					
O. br.	Odgovor	M.G.	J.G.	E.T.Š.	T.F.	P.M.F	Ukupno
1.	Visina tona ce se promijeniti uz točno obrazloženje	8	2	6	1	3	20 (39.2%)
2.	Visina tona ce se promijeniti uz netočno obrazloženje	-	3	2	1	1	7 (13.7%)
3.	Visina tona ce se promijeniti bez obrazloženja	1	3	1	-	-	5 (9.8%)
4.	Visina tona se neće promijeniti	3	8	3	1	1	16 (31.4%)
5.	Promijeniti ce se intezitet	1	-	1	-	-	2 (3.9%)
6.	Bez odgovora	1	-	-	-	-	1 (2%)
Ukupno		14	16	13	3	5	51

4.2.2. UTJECAJ AMPLITUDE I FREKVENCije NA VISINU I INTENZITET ZVUKA

Pitanje C11, pokazalo je da učenici imaju velike poteškoće sa očitavanjem parametara vala (amplitude i frekvencije) sa njegovog grafičkog prikaza.

No, osim toga i velike poteškoće u povezivanju tih parametara sa visinom odnosno glasnoćom tona.

Te dvije različite vrste poteškoća zajedno su doprinjele da odgovori na C11 budu najraznovrsniji od svih dosadašnjih.

Kao točan odgovor uzimao sam da je ton A viši zbog veće frekvencije a ton B glasniji zbog veće amplitude ne uzimajući u obzir frekventnu osjetljivost uha (koju učenici nisu učili).

Pogledajmo tablicu na sljedećoj stranici:

Pitanje: C11		Škola					
O. br.	Odgovor	M.G.	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Ton A je viši zbog veće frekvencije Ton B je glasniji zbog veće amplitude	3	-	5	-	2	10 (19,6%)
2.	Ton A je viši Ton B je glasniji (bez obrazloženja)	-	3	-	-	-	3 (5,9%)
3.	Ton A je viši zbog veće frekvencije	1	1	-	-	-	2 (3,9%)
4.	Ton B je glasniji zbog veće amplitude	1	-	1	-	-	2 (3,9%)
5.	Ton A je viši zbog veće frekvencije Ton B je glasniji zbog manje frekvencije	-	1	-	-	-	1 (2%)
6.	Ton A je viši (bez obrazloženja)	1	-	-	-	-	1 (2%)
7.	Ton A je viši zbog manje frekvencije	-	1	-	-	-	1 (2%)
8.	Ton A je glasniji zbog veće frekvencije	-	-	1	-	-	1 (2%)
9.	Ton A je i viši i glasniji zbog veće frekvencije	-	-	-	-	1	1 (2%)
10.	Ton A je glasniji zbog veće frekvencije Ton B je viši zbog veće amplitude	2	1	1	2	1	7 (13,7%)
11.	Ton A je glasniji Ton B je viši (bez obrazloženja)	1	3	1	-	-	5 (9,8%)
12.	Ton B je viši zbog veće amplitude	-	-	1	-	-	1 (2%)
13.	Ton B je viši zbog veće frekvencije	1	-	-	-	-	1 (2%)
14.	Ton B je viši (bez obrazloženja)	-	1	-	-	-	1 (2%)
15.	Ton B je i viši i glasniji zbog veće amplitude	1	-	1	-	1	3 (5,9%)
16.	Ton B je i viši i glasniji (bez obrazloženja)	-	2	-	-	-	2 (3,9%)
17.	Bez odgovora	3	3	2	1	-	9 (17,6%)
Ukupno		14	16	13	3	5	51

Ako kombinatoriku na prethodnoj stranici pokušamo malo pojednostaviti možemo razabrati da bi učenici glasali ovako:

- viši ton je A 19 glasova;
- viši ton je B 20 glasova;
- glasniji ton je A 14 glasova;
- glasniji ton je B 18 glasova.

Dakle jasno izdvojene predodžbe nema ali ono što je sigurno jest jako loše poznavanje ovog problema.

Pogledajmo neke primjere ovih odgovora.

C11 (J.G.)

"A je viši ton jer je ucestaliji i ima vecu frekvenciju a B je glasniji jer im je frekvencija manja."

"Viši je B a glasniji A jer su kod A brijegovi i dolovi gušci (češće se ponavljaju), zato je A glasniji."

C11 (T.F.)

"Viši je ton B jer je njegov maksimum veci. Ton A je ravnomjeran pa ce njegova glasnost biti konstantna, dok ton B varira. On ima u određenom trenutku maksimum, zatim pada i ponovo se vraća u maksimum."

C11 (P.M.F.)

"Viši je A i ima veci intenzitet zvuka. Ima vecu frekvenciju."

"Viši i glasniji je u B slucaju kada je amplituda veca."

C11 (J.G.)

"Viši je ton B jer mu je krivulja na dva mjesta viša od tona A. Ali ton A je jednolican, dok B nije. I zato je možda ton A glasniji."

"Ton na slici B je viši i glasniji, zaključujem po visini linije (ovakav zadatak nikad prije nisam rješavala)."

C11 (E.T.Š.)

"B je viši, ima višu amplitudu."

Veliki broj odgovora su polovicni (tacni i netocni). Ceste su i zamjene pojmova.

C11 (E.T.Š.)

"Glasniji je pod A zato što je frekvencija veca."

"Viši ton je na slici A zbog toga što je frekvencija titranja tona manja."

Pitanjem D7 želio sam provjeriti svoju pretpostavku da učenici neznaju da na intenzitet vala zvuka, dakle na gustocu energijskog toka zvučnog vala utječe i amplituda i frekvencija i to oboje s kvadratom svoje velicine.

Ta se pretpostavka pokazala opravdanom.

Pitanje: D7		Škola				
O. br.	Odgovor	J.G.	E.T.Š.	TF.	P.M.F	Ukupno
1.	Utjecu oboje s kvadratom velicine	-	1	-	-	1 (2,9%)
2.	Utjecu oboje razmjerno svojoj velicini	2	1	1	-	4 (11,4%)
3.	Utjecu oboje: frekvencija razmjerno a amplituda obrnuto razmjerno	3	-	-	-	3 (8,6%)
4.	Utjecu oboje (bez objašnjenja)	4	4	1	1	10 (28,6%)
5.	Utjece amplituda (bez objašnjenja)	-	2	-	2	4 (11,4%)
6.	Utjece frekvencija (bez objašnjenja)	5	4	-	1	3 (8,6%)
7.	Bez odgovora	-	-	-	-	10 (28,6%)
Ukupno		16	13	2	4	35

Dakle samo je jedan ispitanik dao potpuno točan odgovor te ga je potkrijepio i matematički.

D7 (E.T.Š.)

"Oboje.

$$I = \frac{1}{2} \rho v_z v_0^2 \Rightarrow I = \frac{1}{2} \rho v_z = \left(s_0 \frac{2\pi}{1} \right) \quad v_0 = s_0 \frac{2\pi}{T}$$

v_z - brzina zvuka, s_0 - amplituda

Jako veliki broj točnih odgovora (obojе) sa točnim obrazloženjem i pogotovo bez obrazloženja navodi me na pomisao da pitanje nije bilo dovoljno dobro oblikovano da izvuče pravo stanje stvari o ovom pitanju.

A da je ono puno lošije nego što se da na prvi pogled zaključiti iz tablice odgovora zaključujem iz činjenice da niti jedan ispitanik nije uistinu pokušao fizikalno objasniti svoj odgovor.

No, ipak najveće su mi iznenađenje troje ispitanika koji amplitudu drže obrnuto razmjernom intenzitetu.

Sve u svemu ovdje ima dovoljno otvorenih pitanja za daljnje istraživanje.

4.2.3. UTJECAJ RAZLICITIH PARAMETARA NA FREKVENCIJU ZVUKA

(Pitanja: A3, B3 i C5)

Ova pitanja pokazala su da učenici u nedovoljnoj mjeri poznaju parametre koji utjecu na visinu (frekvenciju) zvuka koji nastaje titranjem žice (napetost, duljina i masa) te u rezonantnim prostorima (oblik i volumen).

Ne mislim da o ovome treba puno detaljizirati ali ovoliko svakodnevnu pojavu valjalo bi poznavati bar na razini poznavanja ovih parametara.

4.2.4 ODNOS BRZINE ZVUKA, BRZINE SVJETLOSTI I BRZINE TIJELA

Iako je ovaj problem naizgled banalan zastupljen je u jako velikoj mjeri. Pitanja koja se bave ovom temom su B5, D3 i A6.

Kako se u pitanju B5 u prvoj inacici testa datoj u M.G. pokazalo izuzetno loše razumijevanje ovog problema (1 točan od 23 ispitanika), u drugoj sam inacici preoblikovao pitanje ne bili ispitanici malo lakše uočili problem te dodao i pitanje D3, kao još lakše.

No, unatoc tome točnost odgovora na B5 iznosi na kraju samo 5,2% (4 od 77). Učenici dakle ne uočavaju da će zvuk uvijek prividno zaostajati za avionom jer je neusporedivo sporiji od brzine svjetla i "problem" je u odnosu tih dviju brzina a ne o odnosu brzine aviona i brzine zvuka.

B5 (M.G.)

"Da, jer zvuk kasni za avionom, sporiji je od njega."

"Ako zvuk stiže iza aviona, *normalno, logično* i strogo *onako kako bi trebalo biti*, avion leti brže od zvuka." (Istaknuo ispitanik.)

"Po mome avion leti velikom brzinom koja je čak brža od brzine zvuka ako zvuk ostavlja u pozadini."

U preformuliranom pitanju imamo jedva nešto bolju situaciju. Primjer lijepo oblikovanog točnog odgovora.

B5 (J.G.)

"Stvar je u tome što je brzina svjetlosti veća od brzine zvuka, pa mi onda prvo vidimo, a onda tek čujemo."

I netočno.

B5 (J.G.)

"Avion putuje brzinom većom od brzine zvuka, jer da putuje sporije zvuk bi došao do promatrača prije nego što bi on prošao iznad njega."

B5 (O.Š.S.)

"Avion putuje brže od brzine zvuka jer njegov zvuk motora do promatrača dolazi tek iza aviona."

B5 (T.F.)

"Slično je i sa gromom, zvuk se sporije giba. Avion se giba brže od brzine zvuka, i to rezultira da sporije čujemo avion."

B5 (P.M.F.)

"Avion ide brže od zvuka. Zvuk se prostorom prostire brzinom 340 m/s, a ako avion ide brže od te brzine normalno da će biti ispred zvuka."

Pitanje D3 oblikovao sam tako da je ovaj problem izrazito lako uočiti. Kod ove formulacije uistinu je usljedilo "veliko otrežnjenje" u odnosu na pitanje B5 no i ovaj je rezultat skroman: 31,4% točnih odgovora.

D3 (J.G.)

"Hoće, zato jer je zvuk brži od aviona."

D3 (E.T.Š.)

"Hoće, a ako leti brzinom većom od zvuka, zvuk će zaostajati za avionom."

"Hoće. Zbog toga što izvor zvuka dolazi od aviona. Ako je avion brži od zvuka, tada ćemo prvo vidjeti avion, tek onda čuti njegov zvuk."

"Ako avion leti brzinom manjom od brzine zvuka, mi ćemo ga prvo čuti a onda tek vidjeti. Međutim, ako leti brzinom većom brzine zvuka, čut ćemo ga tek kad nas preleti. Dok on dolazi prema nama mi ga ne čujemo."

Pitanje A6 posebna je inačica na ovu temu. Naime, zvuk aviona nadzvučne brzine ne može stići do slušatelja u trenutku kada se nalazi točno iznad njega.

No, znajući da probijanje zvučnog zida izaziva prasak među netočnim odgovorima taj je bio najčešći.

Ipak, postotak točnosti ovdje se penje na visokih 42,1% jer je problem ipak jednostavniji od prethodna dva, a i ova situacija se često spominje u školama.

A6 (M.G.)

"Slušaoč čuje zvuk koji proizvodi avion dok se kreće kroz zrak jer je "zvučni zid" avion već probio."

A6 (J.G.)

"Slušaoč čuje zvuk motora od aviona."

"Slušaoč čuje buku i to najjaču jer su bliže slušaoč i izvor zvuka to će slušaoč čuti jače taj zvuk."

"Avion probije zvučni zid, čuje se kao neka detonacija."

A6 (E.T.Š.)

"Eksplozija. Zbog velike gustoće zvučnih valova."

A6 (O.Š.)

"Čut će eksploziju jer je avion prešao brzinu zvuka tj. probio je zvučni zid."

4.2.5. NERAZUMIJEVANJE POJAVA POVEZANIH SA ZVUKOM

Svaka od slijedećih tema izuzetno je zanimljiva učenicima i vrlo je lako zadobiti njihovu potpunu pažnju odgovorima na njih.

Ova pitanja nisu pokazala određene S.P. niti su se one mogle ovdje očekivati. No, ono što sam očekivao to se i potvrdilo: pozadina ovih fenomena učenicima je jako slabo poznata.

Velika je šteta ne obraditi te pojave jer su kao tema jako zahvalne, zanimljive i što je najvažnije većinom svakodnevne.

Ova pitanja navodim bez detaljnijeg obrazlaganja no sa toplom preporukom učiteljima da im posvete bar nekoliko minuta.

a) Pitanje A1.

Postoje vrlo jednostavna pitanja koja mogu pokrenuti silnu misaonu energiju.

Takva su kao stvorena za uvod u neku temu. Koliko bi ovo pitanje moglo biti od pomoći pri objašnjavanju pojma frekvencije i njene povezanosti sa visinom tona prepuštam čitaocu da sam procjeni iz šarenila učenickih objašnjenja ove pojave, od kojih je svaka priča za sebe.

Dakle, od komarca čujemo više tonove nego od bumbara jer:

S.Š.

- ima manju površinu krila;
- ispušta zvuk više frekvencije;
- jer ima manju masu i volumen;
- jer je manji pa se lakše probija kroz zrak;
- jer je aerodinamicijniji;
- jer se brže kreće;
- jer je lakši;
- jer je manji;
- jer lakše "reže" zrak.

O.Š.

- jer je manji i stvara manji otpor;
- jer brže leti;
- jer jace zuji;
- jer ima manju masu i težinu;
- jer ima manju površinu krila;
- jer je manji i tanji.

F.

- zbog veće frekvencije;
- jer je komarac brži.

b) Pitanje A11

"Zašto ljudi stavljaju ruke pred usta kad se dovikuju?"

"Zašto bolje čujemo kad naculimo uši dlanovima?"

"Gdje su životinje ucile fiziku, pa znaju da treba naculiti uši da bi bolje cule?"

Ta su pitanja svakodnevna i zanimljiva a učenici nemaju posve jasne odgovore na njih.

Učitelji su na redu.

c) Pitanje B1.

Mnogi učenici još u srednjoj školi vjeruju da je ono što čuju u školjci šum mora.

Neki i vrlo ozbiljno tako misle.

B1 (M.G.)

"Iz iskustva znam da se cuje šum mora, ali ne znam objasniti zašto je to tako."
A neki i malo šaljivo.

B1 (M.G.)

"Ako stavimo otvor velike školjke na uho culi bismo šumove koji dopiru iz školjke. To je vjerojatno šum mora (naravno ako je školjka bila u moru)."

No, cinjenica je da tek svaki osmi ucenik zna ili naslucuje pojam rezonancije u ovom problemu.

d) Pitanje B10.

Uistinu, zašto se cuje jeka? Pa, to nam nitko nikada nije rekao.

Vjerojatno je nešto slicno pomislilo 53 od 54 ispitanika koje je dopalo ovo pitanje.

A2 (M.G.)

"Po mom skromnom ne-Einstain-ovskom mišljenju, jeka se javlja kada zvuk dode do neke prepreke i od nje se odbije. Svejedno, to mi nije jasno, jer zašto se onda jeka ne javlja npr. u ucionici (zvuk se ne odbija od zidova i glava ucenika). Jeka se ne javlja ni u jednom od ova dva slucaja (samo pretpostavljam)."

Još jedna zanimljiva i neiskorištena tema.

e) Pitanje C1.

Da bi zvuk stigao do nas potrebno je sredstvo.

Veliki broj ucenika u razlicitim je pitanjima pokazalo da zna da je brzina zvuka u vakuumu nula. No, to je znanje na ovom pitanju primjenio tek svaki peti.

Kako se ucenici lako hvataju za astronomske teme ovaj je primjer izrazito dobar da se ta stvar rascisti.

f) Pitanje C7.

Da bismo culi zvuk potreban je udar cestica u naš bubnjic.Zato ne postoji mogucnost da slušatelj cuje onaj ton koji je zadnji odsviran u trenutku kad je krenuo.

Potreban je udarac, a mi se od njega udaljujemo njegovom brzinom.

Ovo je savršen primjer nacina na koji naše uho registrira zvuk.

A kao nadopuna i potpora istoj temi može poslužiti pitanje D5.

g) Pitanje D5.

"Zašto cujemo kad se vrti bušilica a ne cujemo kad se vrti Zemlja?"

"Jeli Zemlja prespora?"

U doba dinosaura Zemlja se okretala dvostruko brže oko svoje osi nego danas.

Dan je trajao 12 sati. Što su culi dinosauri?

Lijepa tema za konstruktivan razgovor.

h) Pitanje C9.

Na ovo pitanje tocan odgovor da putuju u istom smjeru dalo je cak 55,7% ispitanika.

No, niti jednog podrobnijeg obrazloženja.

Što bi se, uopce, dogodilo kada bi zgušnjenja i razrjedenja zvucnog vala putovala u suprotnim smjerovima?Ima se i ovdje o cemu razgovarati.

i) Pitanje D4.

Cemu služi tijelo gitare?Što je to rezonantna kutija?
Ako se zvuk stišao zatiranjem otvora, bi li se pojačao njegovim povećanjem?Što je još rezonantna kutija?

j) Pitanje D9.

Zamislimo džunglu veliku 500 km u polumjeru i u kojoj nema ni jednog jedinog covjeka. Hoće li nastati zvuk ako se sruši stablo u sredini te džungle?

Dakle, što je zvuk?Titranje čestica materije ili ono što čujemo?
Ovo drugo sigurno nije. Barem ne za fizicara. Na kraju krajeva, tada ni ultrazvuk ni infrazvuk nebi bili zvuk.

Pokušajmo sada ponovo odgovoriti na pitanje D9.

4.3. POTEŠKOCE SA RAZUMIJEVANJEM POJMOVA

U ovom trecem dijelu samo kratko želim istaci da se u velikom broju odgovora moglo uociti da ucenici vrlo loše barataju pojmovima odnosno njihovim znacenjima, te ih cesto i zamjenjuju.

Takoder je jako cest slucaj neprimjerene upotrebe inace tocnih matematickih obrazaca i izvlacenje krivih zakljucaka iz njih.

Ovdje želim navesti samo nekoliko primjera za ilustraciju ove tvrdnje i možda za poticaj daljnjim istraživacima.

Pojmovi

D1 (M.G.)

"Zvuk snažnog zvucnika putuje brže jer *snažan zvucnik ima vecu frekvenciju* od manjeg zvucnika. Pošto zvucnik ima vecu frekvenciju imat ce i vecu valnu duljinu i tako ce zvuk ici brže.

A11 (M.G.)

"Zato što čestice zvuka na vecem otvoru imaju *veci intenzitet, a samim tim i vecu frekvenciju*, koja uzrokuje da slušatelj cuju jaci zvuk."

B9 (M.G.)

"Mogu se cuti zbog loma vala zvuka. Zvuk dolazi do prepreke i onda se lomi i prelazi preko zida.

"Ovo dvoje ljudi trebalo bi imati *dovoljno jaku frekvenciju da bi se culi*, jer ako oni budu šaptali onda se val zvuka zaustavlja na prepreci."

B5 (J.G.)

"Mislim da ne, jer postoji razlika između nekog *slabog zvuka (zvuka niže frekvencije)* npr. zvonce i zvuka vrlo visoke frekvencije koji se baš i ne bi mogao izolirati kao npr. atomska bomba u eksploziji."

B9 (E.T.Š.)

"Ne, ali se mogu *superponirati, tj. doci do rezonancije*."

D1 (O.Š.)

"Putuje jednako jer je brzina zvuka jednaka i u snažnog i u slabog zvučnika, ali je *frekvencija snažnog veća* pa ga dalje i glasnije čujemo."

D11 (E.T.Š.)

"Mogu se čuti... (ne znam kako se naziva ta pojava...), ja mislim da se zove filtracija.

C4 (J.G.)

"Visina tona je uvijek ista, mislim da se samo frekvencija mijenja."

B9 (E.T.Š.)

"Mogu i to ako jedna titra frekvencijom npr. 5 Hz a druga npr. -5 Hz."

D1 (P.M.F.)

"Zvuk snažnog zvučnika putuje brže nego zvuk slabog zvučnika jer brzina ovisi o frekvenciji"

Neprijerena upotreba formula

C8 (J.G.)

"Brže putuje zvuk violine zbog više frekvencije, znaci treba joj manje vremena.

$$v = \frac{1}{T} "$$

C8 (J.G.)

" $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda v$ Zvuk violine putuje brže."

Ç1 (J.G.)

"Bi, jer je intenzitet zvuka proporcionalan sa brzinom $I = \frac{1}{2} \rho v_z v_0^2$."

D8 (M.G.)

"Pošto je frekvencija broj titranja u jedinici vremena, žica je prestala titrati jer je vrijeme koje je bilo predviđeno za tu frekvenciju isteklo $v = \frac{1}{T}$. Žica se vratila u svoj ravnotežni položaj."

A11 (M.G.)

"Očigledno je da ce se zvuk pojačati. Zvuk ce se akumulirati u lijevku. Jednaka kolicina energije koja prolazi kroz malu površinu prolazi i kroz vecu površinu. Intenzitet se

mijenja $I = \frac{P}{S}, P = \frac{E}{\tau} = \frac{E}{\tau}, P = IS$."

4.4. UCENICKI OSVRTI

Uistinu najljepše od svega u ovom istraživanju za mene su bili osvrti učenika na ovakav test i na prijedlog da se fizika u većoj mjeri ili u cijelosti predaje sa naglašeno konceptualnim pristupom.

Da su ova pitanja u njima probudila želju za znanjem uvjerio sam se pod kišom njihovih pitanja jer sam u svim razredima bio i nakon testiranja te im rekao rezultate i odgovore na njihova pitanja.

Moj je subjektivni dojam ostao najljepši u osnovnim školama.

No, vidnom zainteresiranošću vrlo ugodno su me iznenadili i učenici Jezicne gimnazije i osobito E.T.Š.-a sa nizom lucidnih i zanimljivih pitanja.

Dostojanstveno zainteresirani bili su i studenti PMF-a. U svim ovim školama na povratnom razgovoru bio sam neposredno nakon testa.

To nije bio slučaj i u M.G. gdje je prošlo više od mjesec dana.

Možda je to bio razlog prilično ravnodušnog stava na koji sam naišao.

Tehnološki fakultet je prica za sebe. Studenti su svoje odradili, pomogli mi pri izradi ovog rada i otišli za svojim poslom.

No, da se vratim na pismene osvrte.

Nacin njihova klasificiranja i tablica osvrta nalaze se u prethodnom poglavlju.

Kao opći rezultat imamo 65,5% učenika koji bi u cijelosti željeli konceptualnu fiziku u školama.

Nasuprot njima 6,9% učenika zadovoljno je sadašnjim načinom obrade fizike, koji bi ja nazvao matematičko - definicijski.

Taj je omjer još veći u osnovnim školama: 79,4% naspram 6,2%.

Ovdje želim napomenuti da od učenika 8A razreda O.Š. Spinut pri pisanju testa nije zatraženo da se izjasne kakvu bi fiziku voljeli pa sam ih zamolio da se izjasne o tome nakon što sam na sljedećem satu odgovorio na njihova pitanja.

Rezultat je bio (od 27 učenika):

- 25 učenika za predodžbenu fiziku (iz testa)
- 2 za dosadašnji način obrade fizike.

Relativno je velik i postotak učenika koji bi željeli skladan spoj ovih dvaju pristupa (dominantno konceptualni i dominantno matematičko - definicijski), što su u sadašnjim uvjetima izrazili kao želju da bude više konceptualnog pristupa nego do sada.

U M.G. tražen je osvrt u smislu razumljivosti pitanja, mogućnosti odgovaranja na njih na temelju znanja iz škole. Osim toga u J.G. sam tražio i osvrt na ovakav pristup u fizici.

Iako su se učenici u J.G. gotovo odreda vrlo pohvalno izrazili o pristupu i samom testu nisu dali i mišljenje o njihovoj primjeni u školama jer to tada još nisam tražio.

No, sve osvrte učenika i te kako se isplati pročitati svakome imalo zainteresiranome za unaprijeđenje nastave ne samo fizike nego i ostalih prirodnih znanosti u školama.

Za ilustraciju učenickih razmišljanja izdvajam neke osobite ili karakteristične osvrte.

"Na ovakva pitanja nisam navikao odgovarati. Jer mi u školama ucimo samo formule. Odnosno veca je tenzija za rješavanjem zadataka nego za primjenu gradiva u svakidašnjem životu, iako se i naš profesor trudi u tome, ipak je sve ostalo na brojkama."

"Pitanja i nisu tako teška, ali mi nismo tako ucili..."

"Pitanja su previše prakticna, više se odnose na primjenu nego obicno."

"Ovakav tip pitanja nisam ocekivala, smatrala sam da ce biti pitanja tipa (formule, pokoji primjer, definicije, itd.) pitanja za koje nije potrebno zaista shvatiti gradivo (u ovom je slucaju to zvuk) nego pogledati formule, procitati koju definiciju i gotovo."

"O ovakvim pitanjima zapravo nikad nisam ni razmišljala, niti sam ocekivala ovakav tip pitanja. Zapravo su sasvim logicna, samo treba malo razmišljati."

JEZICNA GIMNAZIJA

"Ovaj mi se pristup sviđa, jer pokazuje primjenu i snalaženje pri pojavama koje susrecemo u svakodnevnom životu na osnovu znanja iz fizike."

"Smatram da bi se trebali ovakvi testovi uvesti i ocjenjivati i iz drugih predmeta."

"Pisati test na ovaj nacin za mene je nešto potpuno novo i drukcije od onog na što sam navikla. Novi pristup mi se sviđa jer smatram da se na ovaj nacin može puno više i bolje nauciti i zapamtiti..."

"Kad god idem nešto odgovoriti (onako ? što mi prvo cini se ispravnim) sjetim se nekog gradiva ili neke definicije u fizici koja mi to poljulja. Kada ovo odgovoram trebam li se koncentrirati i razmišljati o zakonima fizike ili samo ono što mi se cini iz iskustva?"

Ovdje želim primjetiti da je ovaj osvrt gotovo definicija poteškoca koje ucenici imaju zahvaljujuci mentalnim obrascima o kojima sam govorio u prvom dijelu.

No nastavimo s osvrtima (jezicne gimnazije):

"Test je krajnje zanimljiv jer osoba koja nema "žicu" za fiziku (kao ja) može se naci zainteresirana i zapitati se "zašto". Ovaj pristup mi je mnogo zanimljiviji i draži jer nije dosadan. I ja bih da su nam ovakvi kriteriji u školi."

"Mislim da je ovo zanimljivo, samo što me "zašto" iza svakog pitanja nervira."

"Zadaci nisu bili ništa slicni onome što u školi radimo. Trebali smo samo logicno razmišljati i zakljucivati zašto je to tako kako je. Sam predmet fizike bio bi mnogo zanimljiviji kad bi satovi ovako tekli, a ne sa tablom punom formula koje uopce ne razumijemo tj. ne znamo primjeniti."

ELEKTROTEHNICKA ŠKOLA

"Učenje fizike na ovaj način puno je zanimljivije i praktičnije."

"Volio bih zato što bi onda više razumijevali svoje individualne mogućnosti, razvila bi nam se logika i više bi se oslanjali na sebe, bilo bi manje dosadno."

"Fiziku bih volio učiti i na jedan i na drugi način, jer mislim da jedan način nadopunjuje drugi."

"Ako bi ovako učili u školi više bi razumjeli i brže naučili."

"Bolje bi bilo da se obređuje na ovakav način, jer je taj način nama bliži i može se sve objasniti iz samog života."

"Mislim da bi bilo bolje da se fizika obrađuje na način da ima 50% teoretskih pitanja i 50% računa."

"Draži su meni zadaci."

OSNOVNA ŠKOLA "SPINUT"

"Volio bih da se fizika objašnjava i rješava na ovaj način, bez kompliciranih jednadžbi i abnormalnih brojki. Na ovaj način fizika bi se mogla proučavati od prvog razreda O.Š."

"Iako (lako je zaključiti) nisam imala veze sa vezom u prijašnjim zadacima, više mi se sviđa ovaj način obrađivanja gradiva, nego matematički. Kad učenik shvati fizička svojstva pojava i tvari, predmeta može ih u potpunosti memorirati, a formule i definicije ne potraju ni jedno obrazovno razdoblje.

P. S. Nadam se da ovo neće pročitati profesorica iz fizike."

"Apsolutno bih voljela učiti fiziku na ovakav način, na način koji nam pomaže da upotrebjavamo mozak, a ne preko štrebanja formula koje nam poslije u životu neće nikad trebati. Ovo su zanimljive stvari iz svakodnevnog života. Sama ne bih ni pomislila, a kamoli znala odgovoriti (a ipak se s njima suočavamo svaki dan)."

"Fizika mi je oduvijek bila drag predmet i super, ali kada bi ona cijela bila u ovakvim pitanjima kao što su u ovom testu, svima bi nam bilo mnogo draža i zanimljivija. Ocjene bi bile mnogo bolje i zato out sa zadacima!"

"Ovi su zadaci zaista bili za razmišljanje. Ujedno i nisu baš bili laki jer nikad na ovakav način nismo obrađivali fiziku - logički. Često su to gomile formula i definicija koje moramo nabubati napamet ako želimo dobru ocjenu. Rijetki su slučajevi kada to nije tako."

Bilo bi zaista zanimljivo ovako obrađivati fiziku kada bi se malo uhodali. Svida mi se ovakav pristup, teži, drukčiji ali na neki način logički."

"Bilo bi zanimljivo učiti fiziku na ovakav "prijateljski" način. Tek sad shvaćam da o ovakvim stvarima nisam nikad razmišljala a voljela bih znati odgovore."

OSNOVNA ŠKOLA "BRDA"

"Možda bi ovakvih detalja i trebalo biti u knjizi, ali kad priča o zvuku neka konkretno kažu šta je zvuk, a ne puste primjere, pa kad te neko pita što je zvuk bleneš kao tele i počneš pričati o nekim primjerima.

Ovo je samo kritika na knjigu, jer bi bilo super kad bi saznali kako čujemo ono s čim se susrećemo svaki dan, a ja mislim da mi u životu neće trebati računati koliko treba titraja od mene do moje prijateljice Maje P."

"Ja bih voljela da se fizika predaje na ovakav način jer bi ovako više razumjeli što je uistinu zvuk. A ne, nastavnica nam malo pojasni, da formule i to je sve, a u knjizi je također slabo objašnjeno, te dakle to nije pravi način za objašnjavati zvuk. Već bi trebali nastavnici objašnjavati po ovim pitanjima. Meni su sva pitanja bila čudna, ja sam ih odgovorila i iz iskustva i pretpostavke."

"Volim kad se fizika uči pomoću matematike jer je lakše za shvaćanje i potpomaže radu matematike."

"Ovakav način obrade fizike je bolji nego preko matematičkih formula ili definicija."

"Ovim primjerima vjerojatno bi se zadobio interes učenika jer se ne bi puno morali vezati za matematičke formule već za nešto puno zanimljivije, za pitanje čovječanstva, kako i zašto. Ova pitanja su razumljiva i navode na razmišljanje. Sa znanjem stecenim do sada u fizici može se doći do nekih odgovora."

"Pitanja su potpuno bez veze, mi smo se nadali pitanjima iz našeg udžbenika. A ne bi voljeli da ovakva fizika bude ubuduće jer je ovo sasvim dosadno, formule su super i više razumne. Pitanja sam na neki način razumjela, ali o ovome u školi nismo govorili."

TEHNOLOŠKI FAKULTET

"Ovaj način izlaganja fizike bio bi interesantan posebno sa eksperimentalnim prikazom (kako nešto izgleda) i da se učenici uvjere i na taj način zapamte neke bitne stvari u realnom životu. Ali ovaj način treba koristiti kao nadogradnja na neko opće znanje koje isto treba prezentirati bez pretjeranih formula."

"To su pitanja manje - više iz opće kulture i svatko bi to trebao znati."

"Ovakav način izlaganja fizike mnogo je interesantniji od klasičnog i trebalo bi ga češće provoditi."

"Pitanja su jako interesantna, odgovori vjerujem još interesantniji (ne moji nego točni), a bilo bi jako lijepo kad bi se ovako obradivala fizika."

PRIRODOSLOVNO MATEMATICKI FAKULTET

"Mislim da je ovo super, jer ovako stvarno nešto saznaš o stvarima oko tebe. Mi bismo ovo trebali znati iz teoretske osnove, ali to smo malo zaboravili, a malo i nije dovoljno. Ovako bi trebalo raditi pogotovo u školama."

"Ovakav pristup fizici je dobar. Mislim da bi se budućnost načina predavanja i uopće pristupa ovom predmetu trebala promijeniti."

"Pitanja su zanimljiva i domišljata. Zvuku se ne pridaje gotovo nikakva važnost na fakultetu. Prve eksperimente iz zvuka smo radili kod prof. Luketina (ako se dobro sjećam). Idejno razumijevanje i eksperimentalni pristup nije baš prisutan na fakultetu, za razliku od prof. Luketina."

"Ovakav pristup nastavi fizike općenito je veoma dobar jer potiče na razmišljanje i povezuje gradivo sa svakidašnjim životom. Nažalost, činjenica je da ovakav pristup učenju fizike nisam doživjela u toku školovanja (premda bih mogla navesti i neke razloge koji bi to opravdavali, smatram to velikim propustom u nastavi fizike."

"Kada sam išla razmišljati o pitanjima pokušala sam se sjetiti svojih znanja o zvuku pa bi mi nastala opća zbrka jer bi mi se sve izmiješalo, pa sam zato odlučila intuitivno odgovoriti na pitanja..."

"Mislim da se premalo bavimo ovakvim problemima na fakultetu jer nam, kada počnemo raditi u školi, učenici mogu postaviti slična pitanja, a mi im nećemo znati odgovoriti."

4.5. PRIJEDLOZI ZA DALJNJE ISTRAŽIVANJE

Nakon mnogih išcitanih testova uvidio sam da četiri razreda točnih odgovora nisu dovoljno istancan pokazatelj sve šarolikosti datih odgovora.

Stoga sam se za buduće radove odlučio na razvrstavanje odgovora u 5 razreda u kojima bi točni odgovori bili podjeljeni u 3 skupine, a isto predlažem i drugima.

Dakle oznake a), b), c), d) i e) označavale bi:

- a) točan odgovor sa ispravnim i potpunim obrazloženjem;
- b) točan odgovor sa u najvećem dijelu ispravnim obrazloženjem,
 - točan odgovor sa nepotpunim obrazloženjem,
 - točan odgovor sa prikladnim primjerom kao obrazloženjem,
 - točan odgovor sa ispravnim obrazloženjem uz suvišne i nepotrebne netočnosti;
- c) točan odgovor sa krivim obrazloženjem,
 - točan odgovor bez obrazloženja,
 - točan odgovor na jedan, a netočan na drugi dio pitanja,
 - točan odgovor sa najvećim dijelom netočnim obrazloženjem,
 - točan odgovor sa nedovoljnim obrazloženjem;
- d) netočan odgovor,
 - najvećim dijelom netočan odgovor ,
 - promašeni odgovor,
 - odgovor sa pobrkanim pojmovima;
- e) bez odgovora,
 - besmislen odgovor.

Drugim rječima:

- a) Učenik potpuno razumije o čemu je riječ.
- b) Učenik naslućuje o čemu je riječ.
- c) Učenik nagađa o čemu je riječ.
- d) Učenik ne shvaća o čemu je riječ.
- e) Učenik uopće ne prepoznaje problem ili ne razumije pitanje.

Takav bi sustav razvrstavanja odgovora po mojoj ocjeni bio u potpunost zadovoljavajući za ovakav vid istraživanja.

Kao svoj prilog daljnjim istraživanjima nudim završnu inacicu (prijedlog) testa za istraživanje u srednjim odnosno osnovnim školama koja sam sastavio brižljivo proučavajući prednosti i nedostatke pitanja i njihovih formulacija u prethodna dva testa.

Kako sam čuo razmišljanje da učenicima nije u redu postaviti neka pitanja na koje iz obradenog gradiva nemogu odgovoriti, u ovoj sam inacici testa izostavio pitanje o utjecaju oblaka na brzinu zvuka (B6 u prethodnoj inacici).

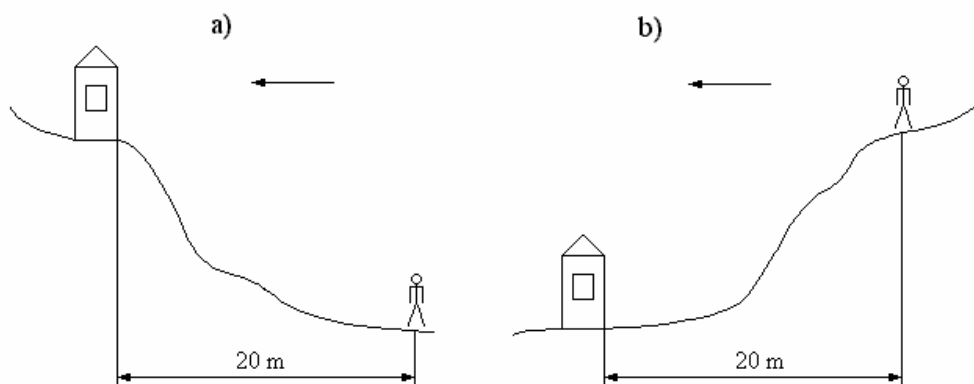
No, svedjedno želim budućem istraživacu koji bi se bavio S.P. o utjecaju gustoće medija na brzinu zvuka toplo preporučiti da koristi i to pitanje jer se pokazalo izuzetno kvalitetnim.

Ista je situacija sa pitanjem B8 a koje je dalo velik doprinos pri istraživanju S.P. o utjecaju fizicke prepreke na brzinu zvuka.

Škola i razred: **Z V U K** SKUPINA A
Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Kad leti komarac čujemo viši ton nego kad leti bumbar. Zbog čega?
2. Hoće li se u nekom od slučajeva prikazanih na crtežima a) i b) čuti jeka?
(U oba slučaja čovjek gleda u smjeru strelice). Obrazložite odgovor.
Napomena: Situacije a) i b) nisu međusobno povezane.



3. Na koji način gustoća neke tvari utječe na brzinu zvuka kroz tu tvar? Obrazložite odgovor.
4. Možemo li čuti signal iz telefonske slušalice ako je okrenemo od sebe i prislonimo na uho, kako je prikazano na crtežu?



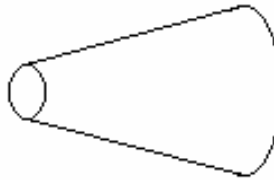
5. Izvor zvuka stalne frekvencije (visine) nalazi se nasuprot opažacu na udaljenosti oko 15 m (na otvorenom prostoru). Ako iz smjera izvora zvuka prema opažacu započne puhati stalan vjetar hoće li to i kako utjecati na frekvenciju zvuka koju prima opažac? Što ako vjetar zapuše iz suprotnog smjera?
6. Provodi li med zvuk? Obrazložite.
7. Može li zvuk obavljati rad? Obrazložite.

Z V U K

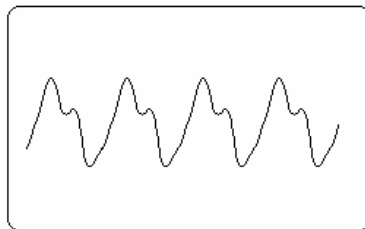
Škola i razred: _____
 Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

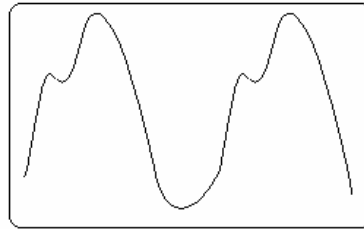
1. Zbog čega se u velikoj školjci čuje šum kad njen otvor prislonimo na uho?
2. a) Ako uronimo glavu u kadu ispunjenu vodom možemo li čuti sviranje radija koje se nalazi u kupaonici?
 b) Ako bi to radio bilo voodopomo i ako bismo uronili i njega, dali bismo njegovu glazbu i dalje čuli?
 c) Ako je radio uronjeno možemo li ga čuti izvana? Objasni zbog čega.
3. Putuje li zvuk automobilske sirene jednako brzo prema slušatelju kad automobil miruje, kao i kad se giba prema slušatelju?
4. Može li se iz zvuka na neki način dobiti svjetlost? Objasni zašto.
5. Ako govornik ispred usta stavi lijevak (poput ovog na crtežu) i usmjeri njegov veći otvor prema slušateljima, oni će čuti jači zvuk nego bez lijevka. Zašto?



6. Avion koji leti brzinom većom od zvuka u jednom trenutku nađe se točno iznad slušatelja. Što slušatelj čuje od aviona? Zašto?
7. Dva tona prikazana su na crtežima A i B (njihov izgled dobiven je pomoću osciloskopa). Koji je od njih viši? Koji je glasniji? Po čemu to zaključuješ?



A

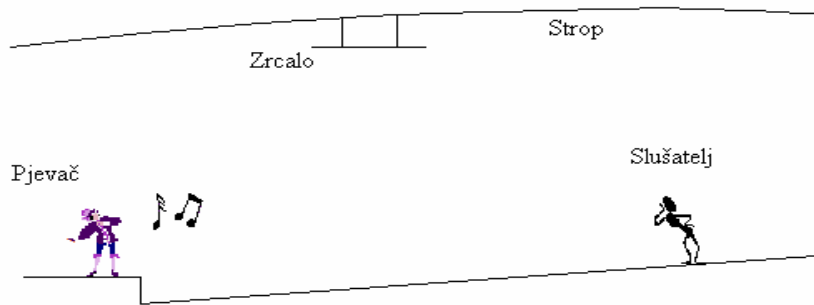


B

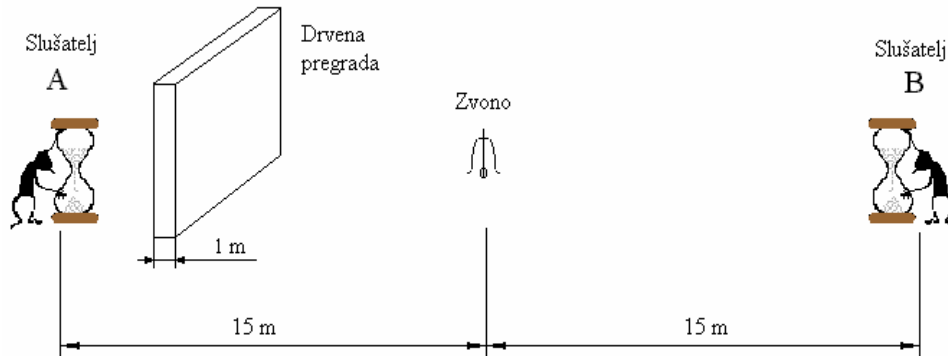
Škola i razred: _____
 Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Bismo li čuli Mjesec ako bi se puno brže vrtio oko Zemlje? Zašto?
2. Slušatelj sjedi u gledalištu opere. Ako bi uprava kazališta objesila veliko zrcalo (npr. 2 x 2 m) sa stropa tako da gledatelj u njemu vidi pjevača sa scene, bi li to utjecalo na zvuk koji gledatelj prima od pjevača? Vidi crtež. Objasni.



3. Ako žicu na gitari zatiramo ona se nakon nekog vremena zaustavi. Zašto?
4. Slušatelj se nalazi pokraj orkestra koji glasno svira. U jednom trenutku, na neki način, slušatelj se započne udaljavati od orkestra brzinom zvuka. Što nakon tog trenutka slušatelj čuje od glazbe orkestra? Objasni. (Pretpostavi da se šum vjetra koji nastaje zbog brzine može zanemariti).
5. Imamo situaciju kao prema crtežu. Ako u jednom trenutku zazvoni zvono, do kojeg slušatelja će prije stići taj zvuk? Objasni.



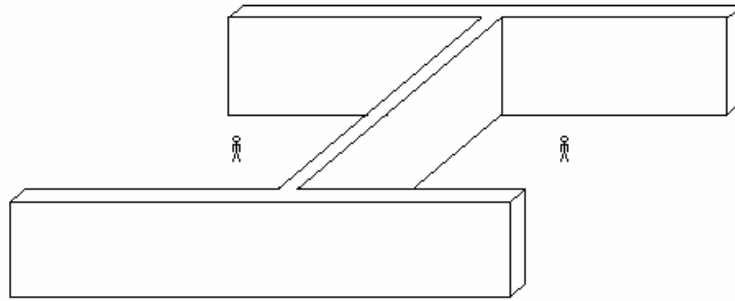
6. Mogu li se zvukovi dviju violina koje zajedno sviraju poništiti?
7. Vozilo prve pomoći udaljava se od nas stalnom brzinom od 50 km/h. Njegova sirena daje određen ton koji čujemo iz svog automobila koji miruje na mjestu. Hoće li se i kako promijeniti visina tona koji čujemo ako krenemo za vozilom prve pomoći i vozimo:
 - a) 25 km/h
 - b) 50 km/h
 - c) 75 km/h

SKUPINA D

Škola i razred: _____
 Ime i prezime: _____

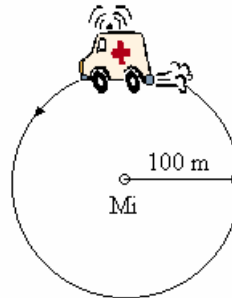
Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Putuje li zvuk zvučnika veće snage (npr 100 W) brže, sporije ili jednako brzo kao i zvuk zvučnika manje snage (npr 20 W) ako oba rade najvećom snagom? Objasni.
2. Pretpostavimo da je na otvorenom prostoru izgrađen zid koji je potpuno nepropustan za zvuk. Kad se gleda iz zraka zid ima oblik slova H, a visok je 10 m (vidi sliku). Dvoje ljudi nalazi se kako je prikazano na crtežu. Mogu li se oni međusobno čuti? Objasni zašto.



3. Promatrac vidi avion na jednom dijelu neba a njegov zvuk dopire s drugog dijela neba (iza aviona). Možemo li zaključiti da avion putuje brže od zvuka? Zašto?
4. Ako bi se Zemlja puno brže okretala oko svoje osi bismo li čuli zvuk njene vrtnje? Zašto?
5. Provodi li plastika zvuk? Obrazloži.
6. Putuje li zvuk violine brže, sporije ili jednako brzo kao zvuk kontrabasa, ako znamo da violina proizvodi više frekvencije? Obrazloži.
7. Vozilo prve pomoći nalazi se na širokoj zaravni 100 m od nas. Čujemo zvuk njegove sirene. Ako vozilo počne kružiti oko nas velikom brzinom (npr. 120 km/h) i na stalnoj udaljenosti, hoće li se frekvencija zvuka koji primamo povećati, smanjiti ili ostati ista?

Skica tlocrta situacije:



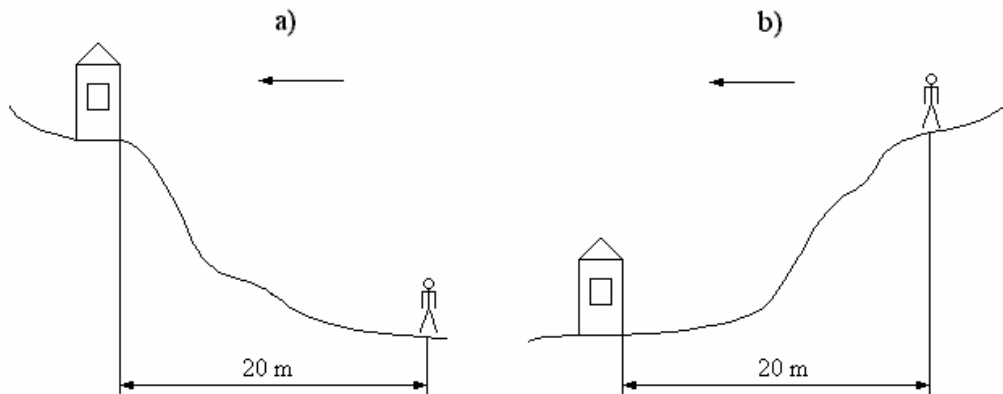
Škola i razred: _____
 Ime i prezime: _____

Z V U K

SKUPINA A

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To biste najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Kad leti komarac čujemo viši ton nego kad leti bumbar. Zbog čega?
2. Hoće li se u nekom od slučajeva prikazanih na crtežima a) i b) čuti jeka?
(U oba slučaja čovjek gleda u smjeru strelice). Obrazložite odgovor.
Napomena: Situacije a) i b) nisu međusobno povezane.



3. Na koji način gustoća neke tvari utječe na brzinu zvuka kroz tu tvar? Obrazložite odgovor.
4. Možemo li čuti signal iz telefonske slušalice ako je okrenemo od sebe i prislonimo na uho, kako je prikazano na crtežu?



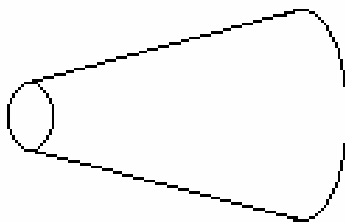
5. Izvor zvuka stalne frekvencije (visine) nalazi se nasuprot opažacu na udaljenosti oko 15 m (na otvorenom prostoru). Ako iz smjera izvora zvuka prema opažacu započne puhati stalan vjetar hoće li to i kako utjecati na frekvenciju zvuka koju prima opažac? Što ako vjetar zapuše iz suprotnog smjera?
6. Provodi li med zvuk? Obrazložite.

Škola i razred: **Z V U K** SKUPINA B

Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To čete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Zbog čega se u velikoj školjci čuje šum kad njen otvor prislonimo na uho?
2. a) Ako uronimo glavu u kadu ispunjenu vodom možemo li čuti sviranje radija koje se nalazi u kupaonici?
b) Ako bi to radio bilo vodootporno i ako bismo uronili i njega, dali bismo njegovu glazbu i dalje čuli?
c) Ako je radio uronjeno možemo li ga čuti izvana? Objasni zbog čega.
3. Putuje li zvuk automobilske sirene jednako brzo prema slušaču kad automobil miruje, kao i kad se giba prema slušaču?
4. Može li se iz zvuka na neki način dobiti svjetlost? Objasni zašto.
5. Ako govornik ispred usta stavi lijevak (poput ovog na crtežu) i usmjeri njegov veći otvor prema slušačima, oni će čuti jači zvuk nego bez lijevka. Zašto?



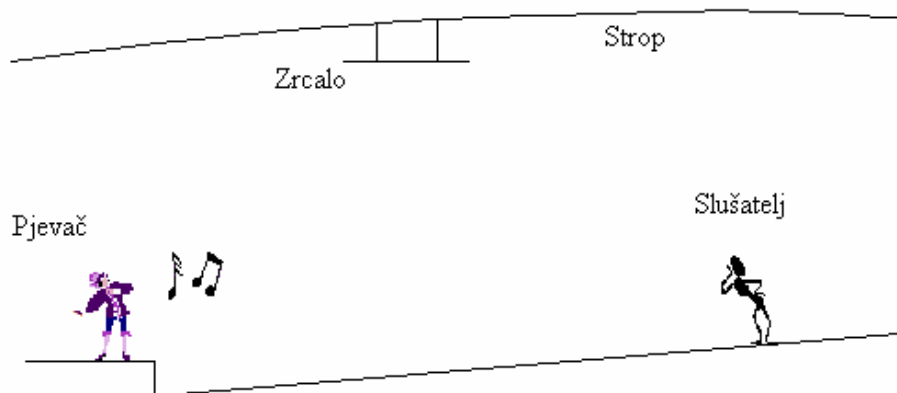
6. Avion koji leti brzinom većom od zvuka u jednom trenutku nađe se točno iznad slušača. Što slušač čuje od aviona? Zašto?

Škola i razred: _____
Ime i prezime: _____

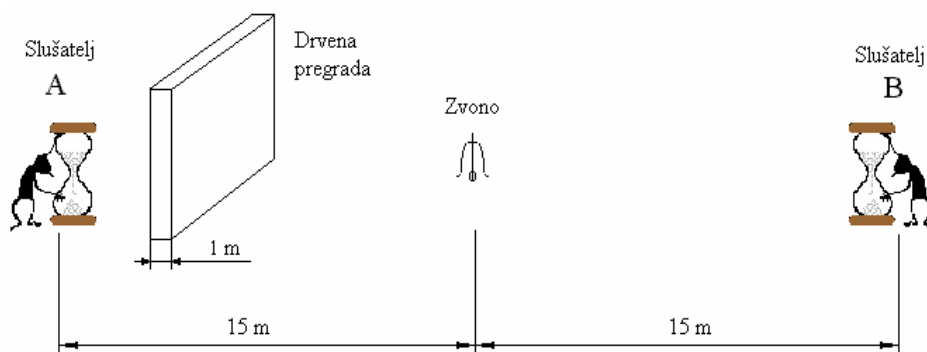
Z V U K SKUPINA C

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja) Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Bismo li čuli Mjesec ako bi se puno brže vrtio oko Zemlje? Zašto?
2. Slušatelj sjedi u gledalištu opere. Ako bi uprava kazališta objesila veliko zrcalo (npr. 2 x 2 m) sa stropa tako da gledatelj u njemu vidi pjevacu sa scene, da li bi to utjecalo na zvuk koji gledatelj prima od pjevacu? Vidi crtež. Objasni.



3. Ako žicu na gitari zatitrano ona se nakon nekog vremena zaustavi. Zašto?
4. Slušatelj se nalazi pokraj orkestra koji glasno svira. U jednom trenutku, na neki način, slušatelj se započne udaljavati od orkestra brzinom zvuka. Što nakon tog trenutka slušatelj čuje od glazbe orkestra? Objasni. (Pretpostavi da se šum vjetra koji nastaje zbog brzine može zanemariti).
5. Imamo situaciju kao prema crtežu. Ako u jednom trenutku zazvoni zvono, do kojeg slušatelja će prije stići taj zvuk? Objasni.

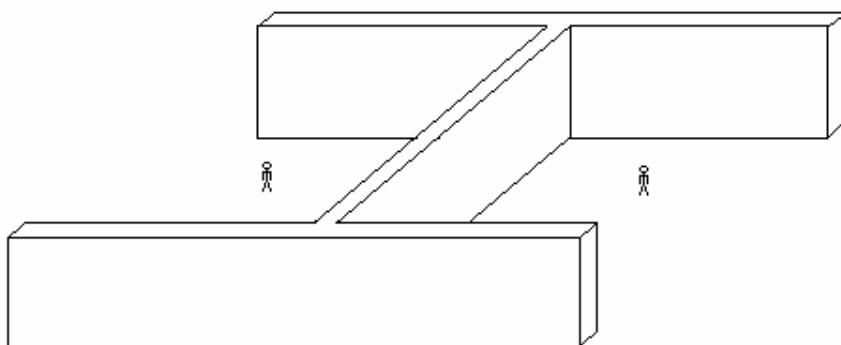


Škola i razred: **Z V U K** SKUPINA D

Ime i prezime: _____

Molim vas da svaki odgovor logično obrazložite. To ćete najbolje učiniti tako da na papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.

1. Putuje li zvuk zvučnika veće snage (npr 100 W) brže, sporije ili jednako brzo kao i zvuk zvučnika manje snage (npr 20 W) ako oba rade najvećom snagom? Objasni.
2. Pretpostavimo da je na otvorenom prostoru izgrađen zid koji je potpuno nepropustan za zvuk (direktno kroz taj zid zvuk ne može proći). Kad se gleda iz zraka zid ima oblik slova H, a visok je 10 m (vidi sliku). Dvoje ljudi nalazi se kako je prikazano na crtežu. Mogu li se oni međusobno čuti? Objasni zašto.



3. Promatrac vidi avion na jednom dijelu neba a njegov zvuk dopire s drugog dijela neba (iza aviona). Možemo li zaključiti da avion putuje brže od zvuka? Zašto?
4. Ako bi se Zemlja puno brže okretala oko svoje osi bismo li čuli zvuk njene vrtnje? Zašto?
5. Provodi li plastika zvuk? Obrazložite.
6. Putuje li zvuk violine brže, sporije ili jednako brzo kao zvuk kontrabasa, ako znamo da violina proizvodi više frekvencije? Obrazložite.

5. ZAKLJUCAK

5.1. PROBLEM POSTOJI

Iz svega recenog u 4. poglavlju vidi se da je razumijevanje zvuka kod učenika najblaže receno nedovoljno.

Sveukupna točnost odgovora (svih ispitanika na sva pitanja) iznosi 26,3%.

Nadalje, odnos točnosti u osnovnim školama (18,9%), srednja škola (28%) te na fakultetima (32,8%), dakle raste, no daleko manje nego što bi se očekivalo s obzirom da se ovdje ipak radi o završnoj godini studija fizike (odnosno kemije).

No, pravo iznenađenje nastaje ako usporedimo točnost odgovora na pojedina pitanja.

Tada vidimo da su osnovci u čak 10 od 28 postavljenih im pitanja bili bolji od srednjoškolaca. Srednjoškolci su od studenata bolje odgovorili na 15 od 44 pitanja. I na kraju osnovci su od studenata bili bolji u 5 od 28 pitanja.

Iako se općenito gledano školovanjem povećao postotak točnosti očito je da u nekim situacijama (o tome je u prethodnom poglavlju bilo dosta riječi) nepotpuno formalno znanje, možemo reci, čini više štete nego koristi.

Mislim da to jasno odražava nesposobnost postojećeg pristupa nastavi fizike da se nosi sa zadacima koje se pred njega postavljaju.

Što treba učiniti?

5.2. PROMJENA PRISTUPA POUCAVANJU FIZIKE

Kao učitelji fizike kojima je do fizike stalo, skloni smo usredotociti se na fizikalni sadržaj koji poučavamo.

Pritom smo često najviše zaokupljeni onim učenicima koji su poput nas samih - tim malim dijelom naših učenika kojima je fizika zanimljiva i uzbudljiva i koji će biti slijedeći naraštaj profesionalnih fizicara.

Međutim promjene u našem društvu te uloga tehnologije u svakodnevnicima ukazuju da moramo promijeniti pristup poučavanju. Reprodukcijski pristup nas samih više nije dovoljan.

Društvo ima veliku potrebu ne samo za nekolicinom tehnički obrazovanih ljudi već za velikom skupinom pojedinaca koji razumiju znanost.

Podaci u proteklim desetljećima pokazuju da kao učitelji fizike nismo uspjeli bitnije utjecati na način razmišljanja većine naših učenika o svijetu koji nas okružuje.

Ako uistinu želimo doseći znatan dio učenika moramo daleko više pažnje posvetiti načinu na koji učenici uče i na koji se odazivaju na naše poučavanje.

Rječju, poučavanju fizike moramo pristupiti kao znanstvenom problemu.

Nekolicina fizicara započela je s izvođenjem istancanih pokusa da bi utvrdili kako učenici uistinu razmišljaju i što stvarno djeluje u nastavi fizike.

Ovi radovi izuzetno su važni i vjerujem da bi svaki učitelj fizike trebao biti upoznat sa njima. Njihov značaj za unaprjeđenje poučavanja fizike netreba ni spominjati. I ovaj rad je, nadam se kvalitetan, prilog tom nastojanju.

No, važno je također razviti i opći teorijski okvir koji bi organizirao i povezoao te rezultate na odgovarajući način.

Iako je ovo područje u razvoju, do danas je spoznat određen broj načela (od kojih sam neka spominjao u uvodu) koja mogu biti od velike koristi učitelju u nastavi.

Ovdje ću se ukratko osvrnuti na nekoliko osnovnih.

Načelo 1.

Ljudi nastoje organizirati svoja iskustva i opažanja u mentalne obrasce ili modele. (O mentalnim obrascima više je rečeno u uvodu.)

Pri prevladavanju poteškoća koje već stvoreni obrasci stvaraju pri usvajanju znanja iz fizike možemo reći da je cilj postići tri stvari kod učenika:

- razviti sposobnost kvalitativnog razmišljanja o fizikalnim procesima;
- ustrojiti taj sadržaj u skladan, odgovarajuće organiziran i odgovarajuće dostupan - mentalni model.
- naučiti kako primijeniti taj model da bi "radili" fiziku na stručan i stvaralacki način.

Ovo stoga, jer nije dovoljno da učenik "zna" određeni fizikalni princip. On također mora biti sposoban pristupiti tom znanju na pravi način i u pravom trenutku, te ga unakrsno prosuditi da bi provjerio ispravnost svojih rezultata.

Da bi to postigli moramo istražiti pozadinske mentalne modele koje učenici razvijaju.

Uobičajeni testovi ovi ne mogu istražiti jer mnogi predlošci koji nisu ispravni mogu ipak dovesti do točnog rješenja problema.

Naime, učenik često zna određenu informaciju ali ona je troma i beskorisna jer ju učenik ne zna pozvati osim u vrlo malom broju uglavnom predprogramiranih situacija. Osim toga učenici često pozivaju točne informacije na neogovarajućim mjestima.

Primjera za ove tvrdnje u ovom istraživanju kako smo vidjeli ima na pretek.

Stoga kao učitelji fizike trebamo shvatiti da učenik nije tabula rasa (prazna ploča), već nam dolazi sa svojim iskustvom o fizickom svijetu i određenim naivnim mentalnim modelima o tome kako taj svijet funkcionira.

Postojanje "krivih" predodžbi uistinu ne iznenađuje ako malo razmislimo o iskustvu koje svaki učenik ima.

Zašto bi se uopće trebali čuditi da učenik misli da će se svako tijelo koje se giba na kraju zaustaviti. Oni iz osobnog iskustva znaju da se to uvijek događa. Pa čak i kada im pokusom u razredu želimo dokazati suprotno.

Odakle učenicima zamisao da je elektricitet nešto što izlazi iz zida i troši se u uredaju? Zašto ne razmišljaju o strujnom krugu?

Je li u pravu učenik koji je na učiteljevo objašnjenje da struja mora doći jednom žicom i otići drugom primjetio: "Ako se sva struja vraća natrag u zid, za što onda mi placamo?"

Dakle određeni mentalni modeli u učenika postoje, utemeljeni su na iskustvu, i "primjenjivi" u pojedinim okolnostima.

Na nama je da ih prepoznamo (čemu je nadam se pridonijelo i ovo istraživanje) i preoblikujemo.

Dok ozbiljno ne poradimo na tome princip učenja fizike (znanosti općenito) kod učenika i studenata ostat će isti kao i do sada, a to je:

- Zapiši sve obrasce i zakone koje učitelj napiše na ploči i koji se nalaze u knjizi. Zapamti ih zajedno sa popisom obrazaca na kraju poglavlja.
- Vježbaj dovoljno da možeš raspoznati koji obrazac valja upotrijebiti u kojem problemu.
- Prodi na ispitu pravilnim odabirom obrazaca za zadate probleme u testu.
- Nakon ispita izbriši sve te informacije iz svog mozga da bi napravio mjesta za slijedeću zbirku pojmova.

Pri postizanju naše namjere od velike nam pomoći može biti poznavanje već utvrđenih načela spoznavanja.

Nacelo 2:

Razmjerno je lako naučiti nešto što je u skladu s postojećim mentalnim modelom ili ga nadopunjuje.

Nacelo 3:

Jako je teško trajno i temeljito zamijeniti već uvriježeni mentalni model. Da bi to postigli odgovarajuća zamjena mora imati slijedeće osobine:

- Mora biti razumljiva.
- Mora biti uvjerljiva.
- Moraju postojati snažne proturječnosti u predviđanjima utemeljenim na postojećem modelu.
- Novi model mora biti doživljen i prihvaćen kao koristan.

Da ni to nije sve kazuje nam slijedeće "pravilo".

Nacelo 4:

Kako svaki pojedinac oblikuje svoju vlastitu mentalnu ekologiju različiti učenici imaju različite mentalne modele vezane za fizikalne pojave kao i različite obrasce učenja.

Znatna standardna odstupanja dobivena u mnogim obrazovnim pokusima nisu eksperimentalno pogreška, ona su dio dobivenih rezultata.

Kao znanstvenici moramo se naviknuti na tu činjenicu. Odatle "kombinatorika" odgovora u nekim pitanjima ovog testa.

Posljedica toga je da različiti učenici mogu imati različite razloge za davanje istog odgovora, o čemu istraživanju u području edukacije fizike svakako moraju i vode računa.

Nadalje treba imati na umu i individualni pristup učenju kod različitih studenata.

Držim da je i ovaj rad potvrdio utemeljenost ovih postavki i ozbiljnost situacije u pogledu (ne)razumijevanja fizikalnih pojava kod učenika na svim razinama.

5.3. TIJEK SPOZNAJE U NASTAVI

U prevladavanju postojećih poteškoca izuzetnu ulogu imaju istraživanja ovog tipa u svim područjima fizike i na svim razinama školovanja.

Nakon definiranja iskustvenih mentalnih modela, prvobitnih i spontanih predodžbi valja to znanje usustaviti u prikladan teorijski okvir. Sva istraživanja u području edukacije fizike lijepo napreduju u tom smjeru. Slijedeci je korak primijeniti steceno znanje u nastavi.

Tu se proces ne završava već ponovo kruži preko procjene učinka na preoblikovanje i opet na nastavu.

Smatram da je osnovni nedostatak postojeće nastave fizike gotovo potpuno zanemarivanje procesa kojim je došlo do stvaranja novog znanja u fizici kao znanosti.

U želji da se što prije obavi prijenos postojeće količine spoznatog izbjegava se razmatranje povijesnog razvoja tih spoznaja, koji je najčešće predložak za kvalitetan pristup preobrazbi naivnog mentalnog modela u znanstvenu paradigmu.

Osim toga taj brzi transfer znanja pokušava se često obaviti pomoću matematičkih obrazaca a bez jasnih kvalitativnih odnosa koji bi im svakako trebali prethoditi.

Uz poznavanje intuitivnih mentalnih predodžbi, koje kako smo vidjeli ne moraju biti samo prepreka usvajanju znanstvenih modela već ih se dapače može i iskoristiti u tu svrhu, mislim da je ovo slijedeci nužan iskorak u nastavi fizike.

Naime proces usvajanja znanja u razredu mora u što je moguće većoj mjeri nalikovati procesu kojim su do određene spoznaje o prirodi došli znanstvenici.

Taj proces najčešće je kronologija razoblicavanja intuitivnih predodžbi i sam bi po sebi uvelike olakšao proces usvajanja prikladnijeg modela.

5.4. MODULARNI PRISTUP

Sve receno nužan je uvjet pozitivnog pomaka no nažalost ne i dovoljan. Za kraj nam ostaje da riješimo još jednu veliku poteškocu s kojom se suočava nastava a to je silna količina postojećeg znanja koje se povećava nezapamćenom brzinom.

Jednostavno više nije moguće obraditi sve. A istraživanja su pokazala da nije ni nužno. Vrlo kvalitetno rješenje ove poteškoce nudi modularni pristup nastavi.

Što je programski modul?

To je zaokružena cjelina određenih sadržaja koje, kao projektne zadatke obraduju (rješavaju, izrađuju) učenici samostalno, uz manju ili veću pomoć učitelja a obuhvaćaju različita područja (i razine) znanosti i tehnike.

Valja istaknuti da svaki programski modul mora biti sadržajno samostalna cjelina neovisno o tome je li predviđen kao dio ili "podmodul" nekog "višeg" modula.

Mora predstavljati određeni konkretni uradak koji ima konkretnu (uporabnu) vrijednost, čak i u slučaju kada se radi o čisto teorijskom sadržaju.

Posebnu pozornost treba posvetiti formuliranju cilja (svrhe) obrade datih sadržaja kako bi učenik nedvojbeno shvatio što će "učiti" i radi čega će "učiti" baš te sadržaje, te što se od njega očekuje na kraju "učenja".

Ključni element za usporedbu između linearnog i modularnog pristupa oblikovanja kurikuluma jest prilagodljivost i sistematiziranost.

Modularni pristup se dokazao kao ucinkovitiji u poucavanju premda je nužno razmatrati pojedinačne a ne prosjecne rezultate.

Brojna su podrucja njegove primjene: Prirodne znanosti, tehnologija, medicina, ekonomija, moralno obrazovanje, poucavanje hendikepiranih, borba protiv alkohola i droge, ekologija, slobodno vrijeme i dr.

Trend modularizacije jest ucinkovit odgovor na razlicite poteškoce profesionalnog obrazovanja, imajući na umu njegove ucinke i dosege u školi i na buducem poslu.

Što to konkretno znaci u nastavi fizike?

Ovim pristupom pri obradi određenog podrucja, nakon opceg konceptualnog i matematskog uvoda, pojava bi se razradila na jednom ali vrijednom primjeru.

Posljedica toga je nemogucnost da sve teme jednako duboko protresemo no to je i onako neucinkovito, nepotrebno, a danas i nemoguće postići.

Pokušaji u tom smislu rezultiraju fragmentarnim i neupotrebljivim znanjem.

Nadalje, modularni pristup omogućuje i nastavniku i uceniku da za modul uzmu temu koja im najviše odgovara kao i individualan način i razinu rješavanja problema. Pritom se odricemo nekih drugih lijepih tema ali to je cijena koju valja platiti.

Ovaj pristup zahtjeva određene preinake u provjeravanju i ocjenjivanju znanja, no ne bitne.

Jedina ozbiljna primjedba modularnom pristupu je problem prijemnih ispita. Kako usporediti znanje ucenika koji je valove obradivao na modulu vezanom za svjetlost i ucenika koji je o njima ucio na primjeru zvuka?

Ovaj problem se elegantno može riješiti tako da se ocjene uzimaju kao temelj za upis umjesto prijemnih ispita (što se već danas najčešće i radi).

Dokazali smo da uceniku jako malo vrijedi veliko a površno znanje.

S druge strane blagodati koje znanost može očekivati od modularne nastave u smislu popularizacije i širenja su izuzetne.

To nesmiijemo zanemariti u situaciji kada fizika iščezava iz ucionica kao beskorisna i neomiljena.

Veliku zaslugu za to imaju i fizicari koji sastavljaju kurikulum namjenjen odgajanju fizicara od struke tj. vode racuna o 1% populacije ucenika. Danas je nekolicini potrebno znanstveno obrazovanje a svima je potrebna znanstvena svjesnost tj. poznavanje svijeta u kojem živimo.

U zemljama zapadnog svijeta ta je cinjenica odavno prihvacena i na njoj se odavno radi.

Stoga u Hrvatskoj imamo mogucnost napraviti izuzetan iskorak u tom smislu ako jednostavno slijedimo pozitivne primjere kojih je na pretek. Od udžbenika i kurikuluma do ustroja nastave i škola.

Ovaj dio želim završiti toplom preporukom svim kolegama da razmotre zvuk kao moguci modul pri obradi valova jer se pokazao kao izvanredno zahvalna tema za obradu koja pobuđuje izuzetno zanimanje ucenika.

6. ZAHVALE

Od srca želim zahvaliti svima koji su na bilo koji način pridonijeli ostvarenju mog prvog istraživačkog rada.

Među inima u prvom redu želim izdvojiti svog mentora prof. Ivicu Luketina na njegovom nesebičnom trudu i silnom vremenu koji su mi bez ostatka bili na raspolaganju. Njegova iskrena želja za novim spoznajama u metodici fizike te znalacki i sveobuhvatan pristup toj građi, zajedno sa potporom koju mi je pružio bili su dovoljan poticaj da se prihvatim i obavim posao koji je s prekidima iziskivao oko dvije i pol godine rada.

Mislim da rezultati dokazuju da se trud isplatio jer ovaj rad ima sva obilježja izvornog znanstvenog.

No, ovdje svakako želim punim srcem zahvaliti i profesorima koji su mi odreda, bez zadržke izišli u susret pri testiranju u školama.

Redom testiranja:

prof. Miljenko Cubric

prof. Đurdica Devčić

prof. Smilja Delin

prof. Ana Kapović

prof. Ante Šuško

prof. Sanja Matas

prof. dr. Vesna Gotovac

Matematička gimnazija;

Jezična gimnazija;

O.Š. Spinut;

O.Š. Brda;

O.Š. Brda;

Elektrotehnička škola

Tehnološki Fakultet;

te svim učenicima i studentima koji su svojom dobrom voljom i iskrenim odgovorima omogućili ovaj rad.

7. POPIS KORIŠTENE LITRATURE

1. Dix H. M.
Environmental Pollution-(Institution of Environmental Sciences Series)
by John Wiley & Sons Ltd.
2. Ingemansson, Stig
Zaštita od buke: Nacela i primjena
ZIRS Zagreb, 1995
3. Kurtovic Husnija
Ozvucavanje
Tehnicka knjiga, Beograd, 1961
4. Damjanovic A., Kurtovic H.
Elektroakustika I
Zavod za izdavanje udžbenika N.R.S. Beograd, 1960
5. Goselle / Schulle
Zvuk toplota vlaga
Gradevinska knjiga Beograd, 1979
6. Feynman R.
The Feynman Lectures on Physics
Addison Wesley Publishing Company, 1971 (6.th edition)
7. Mayer Dragutin
Objektivna I subjektivna akustika
Društvo psihologa Hrvatske Zagreb,, 1980
Tisak: "Zrinski" Cakovec
8. Mayer Dragutin
Elektricitet, optika, akustika
Sveucilište u Zagrebu, 1967
Tisak: Izdavacki odjel Sveuc ilišta u Zagrebu
9. Hewitt G. Paul
Conteptual Physics
Little, Brown & Company Boston - Toronto, 1981 (4.th edition)
10. Pereljman J. I.
Zanimljiva fizika
Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb 1969
11. Linder J. Cedric
Universiti Physics Students Conteptualization of Factors Affecting the Speed of Sound
Propagation
International Journal of Science Education, 1993 vol 15, No. 6
12. Hammer David
More than Misconception: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning,
and an appropriate role for education research
<http://www.tfts.edu/~dhammer/AJPMultipersp.html>
In press, American Journal of Physics
13. Marentic - Požarnik Barica
Suvremene teorije ucenja I profesionalnog razvoja kao teorijska osnova didacticog
usavršavanja visokoškolskih nastavnika

Napredak, 1996

14. Redish F. Edward (1994)
The Implications of Cognitive Studies for Teaching Physics
The American Journal of Physics 62(6) 796-803(1994)
15. Skupina autora
Design of a Computer Augmented Curriculum for Mechanics
International Journal of Science Education, 1995, Vol 17, NO 1 75-92
16. Allan D. Pierce
Acoustical Society of America
The Wave Theory of Sound
<http://asa.aip.org/pierce.html>
17. Rudolf Krsnik, Branka Mikulicic
Medudjelovanja, relativnost, titranja i zvuk
Školska knjiga, Zagreb 1992
18. Višnja Henc-Bartolic, Petar Kulišic
Valovi i optika
Školska knjiga, Zagreb 1991
19. Frankk S. Crawford, Jr
Waves
McGraw Hill Book Company
20. Gustav Šindler, Branimir Valic
Fizika: Gibanje, elektricna energija i svjetlost
Školska knjiga, Zageb 1993
21. Josip Milat, Vlado Matas, Mirko Ceglec
Programiranje sadržaja nastave tehnicke kulture, izrada razrada programskih modula.
Školski vjesnik 45 (1996) 2, 131-156
22. Ivica Boljat
Modularna nastava:.. Primjena, israživanje, iskustvo
Školski vjesnik 45 (1996) 2, 117-130