

# UCENICKE KONCEPCIJE U RAZUMIJEVANJU ZVUKA

Zdeslav Hrepic, O.Š.Ravne Njive, Split

## 1. UVOD

Medu metodiciarima prirodnih znanosti općenito je prihvaćeno da učenici već prije formalnog obrazovanja imaju predodžbe o gradivu koje su različite od onih u stručnjaka a koje u temeljnom smislu utječu na njihovo razumijevanje prirodnih pojava.

Takve predodžbe su samonikle i netočne ali ipak čvrsto ukorjenjene spoznajne tvorevine a nazivaju se spontane predodžbe ili miskoncepcije (nadalje S.P.).

Stoga ih kod poučavanja valja uočiti i razotkriti. No valja istaci da postojanje spontanih predodžbi učenika ne čini neznačicom. On ima određeno znanje o fizičkom svijetu, to je znanje razumno i njemu korisno jer mu služi da sebi objasni ono što opaža.

Poznavanje S.P. koje prevladavaju kod učenika, za nastavnika fizike je izuzetno važno, jer poznavajući ih, može vrlo djelotvorno usmjeriti nastavu a osobito raspravu prije i nakon pokusa.

No osim S.P. valja znati i njihovo izvorište.

Iz tog razloga danas se pri promatranju intuitivnog znanja u fizici uzimaju u obzir i prvobitne predodžbe ili "p-primovi" (od engl.: *phenomenological primitives*). To su analogoni (najčešće mehanicki) iz kojih su se razvile određene S.P.

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

## 2. METODE I POSTUPCI

Kao sredstvo prikupljanja željenih obavijesti koristio sam test sa pitanjima koja sam uglavnom sam smislio potaknut (uglavnom) vlastitim poteškoćama u razumijevanju zvuka.

No ovdje valja napomenuti da su pitanja (vidi testove iza): A6, A10, B5, C9, C10, C11 i D3 preuzeta i za ovu svrhu prilagođena pitanja koja se mogu naći u Hewitovoj "Konceptualnoj fizici". Pitanja C6 i D2 ne postoje u toj knjizi ali me gradivo iz nje 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

Testiranja su vršena tijekom kalendarske 1997. godine, a neposredno nakon što su učenici obradili temu zvuk i to najprije u Matematičkoj gimnaziji (M.G.) a zatim i u O.Š.Spinut (O.Š.S.), O.Š.Brda (O.Š.B.), u Jezicnoj gimnaziji (J.G.), Elektrotehničkoj Školi (E.T.Š.) te na Tehnološkom Fakultetu (T.F.) i Fakultetu PMZ i OP (P.M.F.), sve u Splitu.

Pritom napominjem da ni jednog profesora u cijem sam razredu bio nisam otprije poznao, niti su oni bili upoznati sa ovim testom dok su obrađivali zvuk.

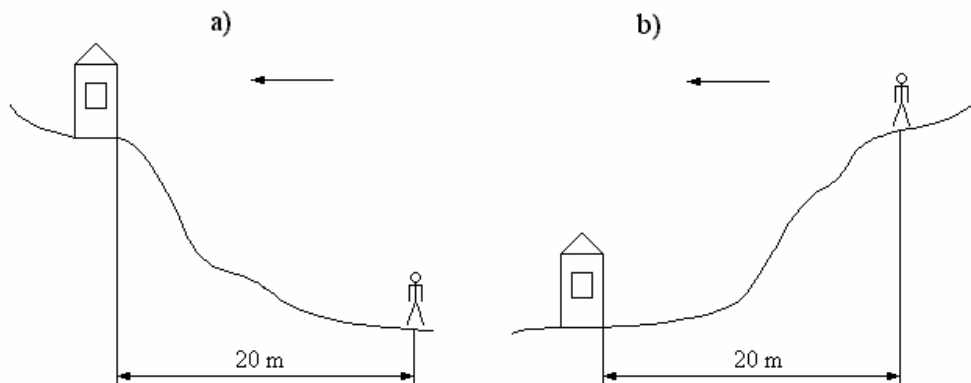
Ovdje prilažem testove kakvi su dati srednjoškolicima i studentima. Osnovci su odgovarali na dio od ovih istih pitanja, ukupno njih 28, razdijeljenih također u 4 skupine.

Škola i razred: \_\_\_\_\_  
Ime i prezime: \_\_\_\_\_

# Z V U K 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). 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 gustoća 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 nje govorni otvor prema slušateljima, oni će čuti jači zvuk nego bez lijevka. Zašto?

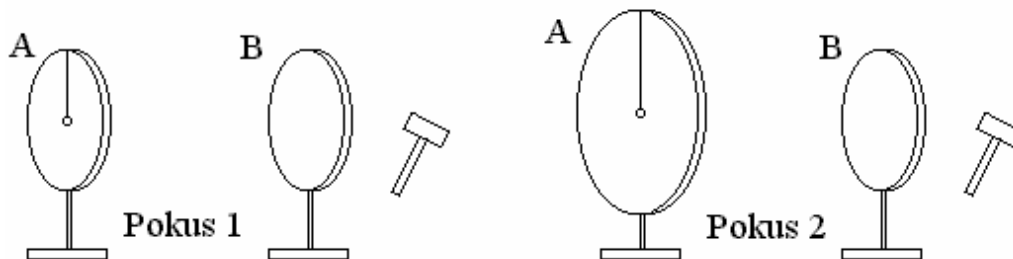


Škola i razred: \_\_\_\_\_  
Ime i prezime: \_\_\_\_\_

# Z V U K 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 uronjen 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. Promatrac 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 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. 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 gušći titranje). Zašto.

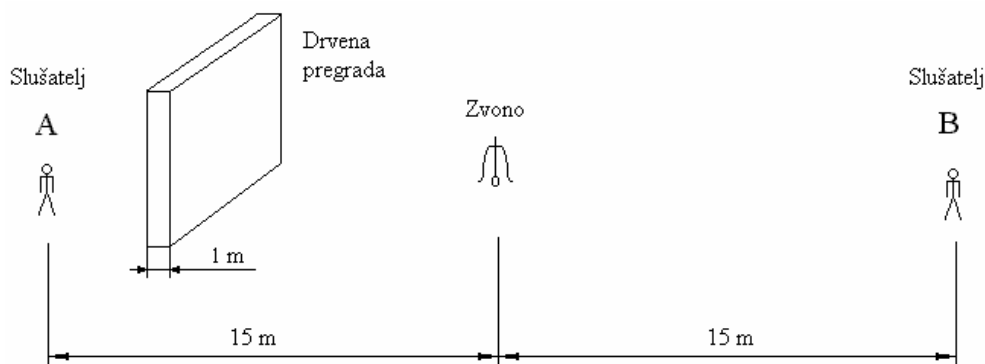


Škola i razred: \_\_\_\_\_  
 Ime i prezime: \_\_\_\_\_

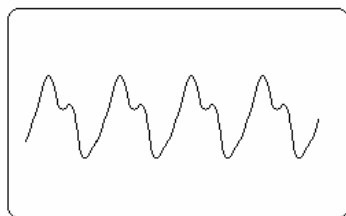
# Z V U K GRUPA C

*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.*

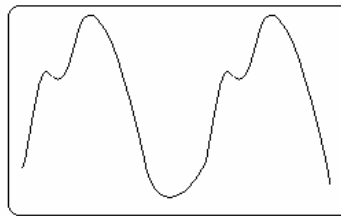
1. Bismo li čuli Mjesec ako bi se puno brže vrtio oko Zemlje? Zašto?
2. Proviđi li med zvuk? Obrazloži.
3. Imamo situaciju kao prema slici. Do kojeg slušatelja će prije stići zvuk kada zazvoni zvono? Objasni.



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? 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 pjevac 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 čuje 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 zgušnjavanja 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 pomoću osciloskopa). Koji je od njih viši? Koji je glasniji? Po čemu to zaključuješ?



A



B

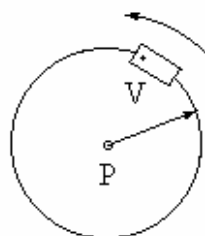
Škola i razred: \_\_\_\_\_  
Ime i prezime: \_\_\_\_\_

# Z V U K GRUPA D

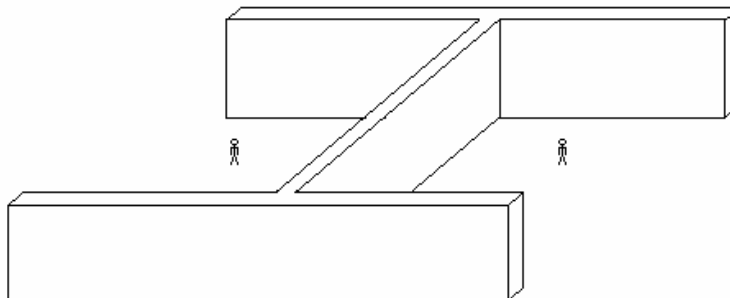
*Molim vas da svaki odgovor logicno obrazložite. To cete najbolje uciniti tako da na papir papir napišete svoje razmišljanje (kao da u pismu uvjeravate prijatelja u ispravnost svog mišljenja). Isto tako molim vas da odgovorite na sva pitanja.*

1. 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. Cujemo zvuk njegove sirene. Kakva promjena zvuka ce nastati ako automobil pocne kružiti oko nas velikom brzinom i na stalnoj udaljenosti.

Skica tlocrta 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 culi zvuk njene vrtnje? Zašto?
6. Provodi li plastika zvuk? Obrazloži.
7. Dali na intezitet zvuka utjece njegova frekvencija, amplituda ili oboje? Na koji nacin? 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 rasprostre slama, zašto zbor daje manje zvuka?
11. Pretpostavimo da je na otvorenom prostoru izgraden 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 prikazno na slici. Mogu li se oni medusobno cuti? Objasni zašto.



### 3. REZULTATI

Budući da su bili slobodni, odgovori su jako šaroliki te sam ih podijelio u četiri razreda točnosti:

Raspored odgovora prema školama						
Škola	Broj ispitanika	Ukupno pitanja	Tocni odgovori sa ispravnim ili uglavnom ispravnim obrazloženjem	Tocni odgovori ali sa netocnim obrazloženjima ili bez obrazloženja	Netocni odgovori	Bez odgovora
Ukupno O.Š.	95	665	126 (18,9%)	138 (20,8%)	319 (48%)	82 (12,3)
M.G.	49	415	150 (36,1%)	103 (24,8%)	113 (27,2%)	49 (11,8%)
J.G.	63	693	154 (22,2%)	142 (20,5%)	284 (41%)	113 (16,3%)
E.T.Š.	52	572	160 (28%)	117 (20,5%)	209 (36,5%)	86 (15%)
Ukupno S.Š.	164	1680	470 (28%)	360 (21,4%)	603 (35,9%)	247 (14,7%)
T.F.	11	121	26 (21,5%)	19 (15,7%)	54 (44,6%)	22 (18,2%)
P.M.F.	17	187	76 (40,1%)	34 (18,7%)	64 (34,2%)	13 (7%)
Ukupno F.	28	308	102 (32,8%)	53 (17,5%)	118 (38,3%)	35 (11,4%)
Sve-ukupno	287	2653	698 (26,2%)	551 (20,8%)	1040 (39,2%)	364 (13,7%)

Od ispitanika sam tražio i osvrt na test, a u jednoj fazi istraživanja i odgovor na pitanje: "Da li biste voljeli da se fizika u školi obrađuje na predodžbeni (konceptualan) način, sličan ovom u testu ili ste zadovoljni dosadašnjim načinom obrade fizike u školi?"

Odgovore dobivene u školama gdje sam postavio izravno pitanje (O.Š., E.T.Š., T.F. i P.M.F.-96/97) razvrstao sam u četiri skupine kako prikazuje tablica:

Raspored osvrta prema školama					
Škola	Broj ispitanika	Volio bih da se fizika obrađuje na ovakav (konceptualan) način	Volio bih da se fizika u većoj mjeri obrađuje na ovakav način	Volio bih da se fizika i nadalje obrađuje na dosadašnji način	Bez osvrta
Ukupno O.Š.	95	77 (79,4%)	4 (4,1%)	6 (6,2%)	8 (8,2%)
Ukupno S.Š.	52	24 (46,2%)	21 (40,4%)	6 (11,5%)	1 (1,9%)
T.F.	11	5 (45,5%)	0	0	6 (54,5%)
P.M.F.(96/97)	14	8 (57,1%)	3 (21,4%)	0	3 (21,4%)
Ukupno F.	25	13 (52%)	3 (12%)	0	9 (36%)
Sve-ukupno	287	114 (65,5%)	28 (16,1%)	12 (6,9%)	18 (12,2%)

## 4. PROSUDBA

Ono što se najprije uocava iz priloženih tablica jest jako nizak postotak točnih odgovora - sveukupno 26,3%. Zatim i jako mali pomak u točnosti odgovora ako uspoređujemo osnovce (18,9%), sa srednjoškolicima (28%), odnosno sa studentima (32,8 % točnih odgovora).

No možda najzanimljiviji podatak uocava se analizom tablica točnosti odgovora po pojedinim pitanjima (nisu ovdje priložene). Naime osnovci su bili bolji od srednjoškolaca u 10 od 28 zajedničkih pitanja. Srednjoškolci su od studenata bolje odgovorili na 15 od 44 pitanja. I na kraju osnovci su od studenata bili bolji u 5 od 28 zajedničkih pitanja.

Iako ovo istraživanje ne može ponuditi obrazloženje te situacije, mislim da se dio rješenja može nazrijeti iz uceničkih osvrta.

Naime samo 6,9% ispitanika zadovoljno je fizikom kakvu danas imaju u školi. S druge strane, bez obzira na loše odgovore, njih 65,5% bi voljelo fiziku obrađivati na konceptualan način (u O.Š. čak 79,4%), a daljnjih 16,1% želi više konceptualnog pristupa.

No osnovni rezultat ovog istraživanja je jasno izdvajanje određenog broja spontanih predodžbi, kao i vecine njihovih primova. Kako se među nekima od tih predodžbi uocava i jasna sličnost u procesu njihovog oblikovanja ovdje ih navodim podjeljene u skupine:

### **4.1. PRVI "ZAKON" SPONTANE AKUSTIKE**

#### **4.1.1. Zvuk se rasprostire kao cestica**

Opis predodžbe: Zvuk se širi kao mnoštvo čestica odašlatih zrakasto iz izvora.

Za ovu miskoncepciju nema izravnog pitanja pa je ne mogu jednoznačno statistički definirati no kako dolje navedene predodžbe iz skupine 4.2., izravno proizlaze iz česticne slike širenja zvuka, njihova statistika opisuje i ovu predodžbu.

Ovdje, kao i u opisivanju ostalih S.P. navodit ću određeni broj karakterističnih odgovora u kojima je dotična predodžba jasno izražena. Prije svakog odgovora naznačena je skupina i redni broj pitanja te škola čiji je učenik dao odgovor.

Karakteristični odgovori koji opisuju miskoncepciju o "česticnosti" zvuka:

B2 (E.T.Š.): "Zvuk čujemo slabo i neprepoznatljivo zbog toga što *čestice zvuka* ne mogu prodirjeti u vodu. Ima gustu molekularnu strukturu."

A9 (E.T.Š.): "Može, jer *čestice zvuka* udaraju u prepreku i čine membranu."

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

B2 (E.T.Š.): "Zvuk se širi tako da djeluje silom na čestice materijala kojim se širi. Što je gustocina materijala veća to se zvuk slabije širi..."

U skladu sa česticnom predodžbom je i određena "aerodinamičnost" zvuka:

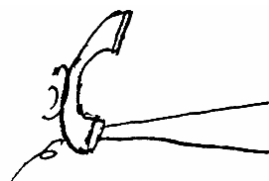
C8 (O.Š.): "Smatram da zvuk violine koja je jače frekvencije provodi brže, jer je njen zvuk tanji i brži u zraku."

C8 (O.Š.): "Brže putuje (zvuk violine od zvuka kontrabasa). Zato što je zvuk violine oštiji."

Iz česticne slike proizlazi predodžba o zrakastom širenju.

C2 (O.Š.): "Ne provodi, zato što je gust, pa *zrake zvuka* ne mogu prolaziti kroz tu gustocu."

A4 (M.G.): "Signal iz telefonske slušalice ne možemo cuti jer se zvuk širi u smjeru odakle dolazi zvuk."  
(priložen crtež )



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 ?

A5 (E.T.Š.) "...dakle, zvuk ce kroz izolator proci samo ako postoje rupe, pukotine kroz koje se može provuci."

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

A8 (O.Š.): "Tako ako je gustoca veca zvuk se provlaci teže jer nema prostora. Inace da ima zvuk bi culi odma."

A8 (O.Š.): "Zvuk sporije prolazi (u gušćim tvarima) zbog toga što je gusto pa nema mjesta za njega."

C2 (O.Š.): "Nije moguće. Med ce popuniti sve praznine, sve stanice u zraku."

### **Zvuk nema valna svojstva**

Odreden broj pitanja zamišljen je da pokaže hoće li i u kojoj mjeri učenici doista primjeniti valna svojstva zvuka na rješavanje određenih problema. Možemo primjetiti da je točnost odgovora daleko od zadovoljavajuće razine.

odbijanje	(A2)	Tocnih odgovora: 10,5 %	Netocnih: 60,5 %
lom	(B2)	Tocnih odgovora: 38,2 %	Netocnih: 55,2%
obijanje, lom	(B4)	Tocnih odgovora: 44,3 %	Netocnih: 43,9%
interferencija	(B9)	Tocnih odgovora: 12,5 %	Netocnih: 71,8 %
rezonancija	(B11)	Tocnih odgovora: 2,3 %	Netocnih: 21,4%
odbijanje	(C6)	Tocnih odgovora: 18,4 %	Netocnih: 68,3 %
ogib	(D11)	Tocnih odgovora: 31,3 %	Netocnih: 9,0 %

P-prim iz kojega proizlazi S.P. da se zvuk rasprostire poput roja čestica odaslatih poput tanadi iz izvora proizlazi jest mehanicka slika o prijenosu objekata – da bi materijalni objekt stigao s jednog mjesta na drugo, on se mora fizicki prenijeti sa polazišne na odredišnu tocku.

## **4.2. SPONTANE PREDODŽBE OBLIKOVANE CESTICNOM PREDODŽBOM O ŠIRENJU ZVUKA**

### **4.2.1. Materijalne prepreke ometaju prolaz zvuka**

Opis predodžbe: Zvuk se "probija" kroz medij cija mu gustoca otežava prolaz, a ako naiđe na materijalni objekt gušći od medija dodatno ce se usporiti.

Ova je predodžba došla do punog izražaja u pitanju C3 u kojem je prepreka najuočljivija. U njemu cak 59,5% ispitanika izricito navodi prepreku kao usporavatelja zvuka naspram 19% točnih odgovora.

Karakteristicni odgovori prakticno su isti isti na svim razinama:



C3 (O.Š.): "Zvuk ce prije stici do slušaoca B zato jer se izmedu 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 izmedu 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", i to tim više što je gušći.

A8 (O.Š.): "Ako su cestice gušće, zvuk ce se sporije kretati jer se mora probijati kroz tu gustocu."

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."

A8 (T.F.): "Što je gustoca manja, veca je brzina širenja...logicno je da ako se val sudara sa cesticama da je brzina širenja manja."

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 (cuti u vodi), jer su cestice vode preguste, pa zvuk ne može dospjeti do uha."

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."

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

P-prim nije teško razotkriti ni za ovu spontanu predodžbu. Naime svatko iz iskustva zna da materijalne prepreke predstavljaju zapreku fizickim 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.

Želim istaci da je predodžbu o "cesticnosti" zvuka na manjem uzorku intervjuiranih studenata uocio i amerikanac Michael Wittman a predodžbu da materijalne prepreke usporavaju zvuk i južnoafrički autor Cedric J.Linder (vidi literaturu). Koliko je meni poznato, sve slijedeće predodžbe su ovdje prvi put objavljene.

#### **4.2.2. Brzina zvuka ovisi o njegovoj jakosti**

Opis predodžbe: Brzina zvuka se povećava s njegovim intezitetom. Poput teniske loptice koja se brže giba ako je snažnije udarimo.

Da jakost zvucnika utjece na brzinu zvuka smatra 38,8% ispitanika, a 16,4% izricito navodi da je brzina zvuka razmjerna njegovoj jakosti. Taj se postotak u osnovnim školama penje na 60%. Da ne utjece drži 59,7% ispitanika. Njih 25,4% dalo je i točno obrazloženje.

Odgovori karakteristicni za ovu predodžbu:

D1 (O.Š.): "Zvuk jaceg zvucnika putuje brže nego od slabijeg. Putuje brže zato što je jace snage i automatski se zvuk brže širi."

D1 (O.Š.): "Putuje jako. Eto zašto."

D1 (J.G.): "Zvuk snažnog zvučnika putuje brže, a zbog cega ne bih znala odgovoriti."

D1 (J.G.): "Zvuk snažnijeg zvučnika brže putuje zato što je jaci."

D1 (P.M.F.): "Zvuk snažnog zvučnika putuje brže nego zvuk slabog zvučnika jer brzina ovisi o frekvenciji."

U pozadini ove S.P. krije se opet cestična 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.

#### **4.2.3. Brzina zvuka ovisi o gibanju izvora zvuka**

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

D2 (M.G.): "Cut cemo zvuk više frekvencije zato jer se brzina izvora i brzina zvuka zbrajaju pa se mijenja frekvencija zvuka (onoga što čujemo)."

Stoga sam, da bih podrobnije istražio tu predodžbu osmislio pitanje C10. U njemu 61,5% ispitanika tvrdi da će brzina izvora zvuka utjecati na njegovu brzinu u mediju. 41,1% smatra da će se zvuk prema opažacu gibati brže ako se izvor zvuka giba prema njemu. Nasuprot tome, 23,1% ispitanika dalo je točan odgovor.

Karakteristični odgovori:

C10 (O.Š.): "Zvuk sirene se brže rasprostire ako se automobil giba jer se automobil (iako malom brzinom, ako usporedimo sa zvukom) ipak nešto giba..."

C10 (J.G.): "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 povećana za iznos brzine automobila."

C10 (E.T.Š.): "Zvuk automobilske sirene putuje brže kada se automobil giba jer kako se automobil giba smanjuje se put za prijeci te se zvuk prije čuje."

C10 (P.M.F.): "Da, putuje jednakom brzinom, jer su brzine automobila tako male da ne mogu utjecati na brzinu zvuka."

Mehanički analogon (i prim) ovoj predodžbi je npr. relativna brzina čovjeka (tijela) koji hoda na vlaku u pokretu.

#### **4.2.4. Zvuk se poput udaljenog predmeta može opaziti u daljini**

Opis predodžbe: Kao što možemo opaziti udaljeni avion, pa i valove na vodi koji još nisu stigli do nas, tako možemo čuti i zvuk koji još nije stigao do nas i to kao da "dolazi iz daleka".

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

Stoga navodim neke odgovore u kojima je ona jasno izražena.

D11 (O.Š.): "Da, (ljudi će se čuti preko zida) jer ako se udalje oko 10 m od tog zida i ako govore glasnije zvučni val će se širiti. Onaj dio zvučnog vala koji se nalazi u razini zida neće drugi čovjek čuti zato jer taj zid neće propustiti zvučni val, a ostatak zvučnog vala koji prolazi iznad zida čovjek će čuti kao da ga sluša na puno većoj udaljenosti."

Čovjek će dakle čuti zvuk koji se nalazi iznad njega, jer u njegovoj razini, zbog prepreke, neće biti zvuka.

A6 (M.G.): "Buduci da je avion brži od zvuka, do slušaoca će prvo doći avion, a tek onda zvuk. To dakle znači da će u tom trenutku (kad je avion točno iznad njega), slušaoc čuti udaljen zvuk aviona..."

Dakle 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.

### **4.3. SPONTANE PREDODŽBE OBLIKOVANE LOŠIM TRANSFEROM ZNANJA**

#### **4.3.1. Elektroizolatori loše provode i zvuk**

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

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

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

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."

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

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."

U ovom testu ova se predodžba uocava u tragovima, no u dovoljnoj mjeri da mogu tvrditi da miskoncepcija postoji a njenu raširenost valjalo bi dalje istraživati.

U pitanju D6 31,3 % ispitanika tvrdi da plastika ne provodi zvuk, 9% da ga provodi slabo te 44,8 % da provodi. Plastika dakle jest vrlo "sumnjiv" materijal po pitanju vodenja zvuka ali iz slobodnih odgovora ne možemo izdvojiti jasan razlog.

Karakteristicni odgovori:

D6 (J.G.): "Ne, plastika ne provodi zvuk jer ne spada u vodice."

D6 (J.G.): "Ne, jer ona je izolator."

D6 (E.T.Š.): "Ovisi o debljini plastike i o njenim izolacijskim svojstvima tj. o otporu prolaska vala.

D6 (P.M.F.): "Provodi ali jako slabo jer ima malo slobodnih cestica koje mogu titrati. "

#### **4.3.2. Energija zvuka nije općenito transformabilna**

Opis predodžbe: Zvuk se ne može pretvoriti u svjetlost ni na koji način

Na pitanje B7 jedan jedini ucenik je odgovorio potpuno točno ( i to osnovac). Navodim njegov odgovor: "Može (sa zvuk pretvoriti u svjetlost) jer je i zvuk oblik energije a energija se iz jednog oblika pretvara u drugi."

Ukupno 68,3% ispitanika drži da ta pretvorba nije moguća a 12,7% ipak dopušta mogućnost takve pretvorbe. Razlozi protiv te pretvorbe su različiti. Evo i primjera:

B7 (O.Š.): "Ma nemože. To su dvije sasvim različite pojave."

B7 (M.G.): "Nemože, jer je svjetlosni val transverzalni, a zvučni val longitudinalni."

B7 (J.G.): "Ne, jer nije moguća takva transformacija energije."

B7 (J.G.): "Nemože, jer je zvuk gibanje materije dok svjetlost predstavlja kvant elektromagnetskog zračenja."

B7 (J.G.): "Zvuk se nemože pretvoriti u svjetlost, jer je zvuk mehanicki val, a svjetlost elektromagnetski, tako da su njihove prirode potpuno različite i nespojive."

B7 (E.T.Š.): "Nemožemo, zato jer zvuk nema brzinu svjetlosti."

B7 (P.M.F.): "Nemože, jer je zvuk mehanicki val a svjetlost elektromagnetski."

#### **4.4. SPONTANE PREDODŽBE OBLIKOVANE ODNOSNO OSNAŽENE ŠKOLSKIM ZNANJEM**

##### **4.4.1. Tvari to brže provode zvuk što su gušće**

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 razlicitim postocima iskazala se u drugom krugu istraživanja kod učenika svih škola.

A8 (O.Š.): "Cuo sam da se u vodi brže rasprostire zvuk nego u zraku, pa ako voda ima vecu gustocu onda što je gustoca tvari veca to se zvuk brže širi."

A8 (E.T.Š.): "Što je tvar gušća, to se zvuk brže širi. Primjer: Zvuk je kroz vodu brži nego kroz zrak."

A8 (J.G.): "Gustoca neke tvari utjece na brzinu odnosno zvuk se brže giba kroz sredstvo koje je gušće. Najbrže se kreće kroz celik."

Ova S.P. ima cak i p-prim koji je naucen u školi.

A8 (J.G.): "Za zvuk (mehanicke val) potrebno je sredstvo. Ako je nužno potrebno to nam govori i da što je mehanicka tvar gušća da je i brzina zvuka veca."

Taj zakljucak ima i snažnu logicku pozadinu kao dokaz.

A8 (P.M.F.): "Što je veca gustoca, brži je zvuk jer su cestice bliže pa se brže prenosi djelovanje medu njima."

Sukob predodžbi o cesticama (gustoci) kao nositelju zvuka i kao prepri zvuku lijepo se uocava iz polariziranosti odgovora na pitanja B6, C2 i A8

- |  |        |
|--|--------|
| • Oblaci ubrzavaju zvuk zbog vece gustoce                  | 32,3%  |
| • Ne utjecu na zvuk jer ne predstavljaju prepreku          | 21,5%  |
| • Oblaci usporavaju zvuk zbog vece gustoce                 | 21,5%  |
| • Oblaci usporavaju zvuk jer predstavljaju prepreku        | 21,5%  |
| • Bez odgovora   | 3,1%   |
| • Med provodi zvuk zahvaljujuci svojoj gustoci (cesticama) | 41,8%  |
| • Med provodi zvuk usprkos velikoj gustoci (cesticama)     | 15,2%  |
| • Med ne provodi zvuk zbog "prevelike gustoce"             | 34,2%  |
| • Gustoca razmjerno utjece na brzinu zvuka u tvari         | 45,3 % |
| • Gustoca obrnuto razmjerno utjece na brzinu zvuka u tvari | 35,9 % |

Istraživanje je pokazalo da u osnovnim školama prevladva S.P. da gustoca (zapreka) usporava zvuk a u srednjim da gustoca ubrzava zvuk. Studenti su u tome prilicno ravnomjerno podijeljeni.

Ovdje treba uociti i porijeklo predodžbe da je brzina zvuka razmjerna ustoci medija. Ona izravno nastaje iz tablica priloženih u udžbenicima u kojima se usporeduju brzine zvuka u pojedinim materijalima. Nekritickom usporedbom tih brzina sa gustocama materijala (poput zraka, vode i celika) lako se dolazi do ovog krivog zakljucka.

Na kraju se postavlja pitanje kako prevladati ovu zavrzlamu. Najjednostavnije je na modelu niza masa povezanih oprugama. Učenici brzo i lako uocavaju da je masa i brojnost kuglica ometajući faktor u brzini prenošenja poremećaja a da bržem širenju doprinosi jakost veza između tih masa.

#### 4.4.2. Brzina zvuka ovisi o njegovoj frekvenciji

Predodžbu da frekvencija zvuka utjece na njegovu brzinu iskazuje 46,8% od svih ispitanika a 36,7% smatra da utjece upravo razmjerno. Da ne utjece drži 36,7% ispitanika a potpuno točan odgovor dalo je njih 15,2%. To uvjerenje najčešće proizlazi iz krive interpretacije obrasca  $v=\lambda f$ , na temelju koje učenici često zaključuju da je  $v\sim f$ .

Ilustrirajmo to razmišljanje:

C8 (M.G.): "Violina proizvodi zvukove veće frekvencije nego kontrabas, a kako su frekvencija i brzina upravo proporcionalni onda će i brzina zvuka violine biti veća od brzine zvuka kontrabasa."

C 8 (J.G.): " $v = \frac{l}{T} = l n$  Zvuk violine putuje brže."

C 8 (J.G.): "Brže putuje zvuk violine zbog više frekvencije, znači treba joj manje vremena.  $n = \frac{1}{T}$ "

C8 (E.T.Š.): "Zvuk violine putuje brže od zvuka kontrabasa jer su brzina i frekvencija proporcionalne."

C8 (P.M.F.): "Zvuk violine putuje brže jer brzina ovisi o frekvenciji, veća frekvencija i veća brzina."

Međutim osnovci često navode aerodinamičnost zvukova viših frekvencija kao uzrok razmjernosti brzine i frekvencije.

C8 (O.Š.): "Zvuk violine putuje brže jer je tanji, proizvodi više titraja u sekundi, opisala bih ga kao lepršaviji zvuk, jer je zvuk kontrabasa dubok, teže se širi zrakom."

C8 (O.Š.): "Putuje brže. Zato što je zvuk violine oštiji."

C8 (O.Š.): "Smatram da zvuk violine koja je jače frekvencije provodi brže, jer je njen zvuk tanji i brži u zraku."

Ova predodžba jasno se uocava i u pitanju D1.

D1 (M.G.): "Zvuk snažnog zvucnika putuje jednako brzo kao i zvuk slabog zvucnika zbog toga što je brzina zvuka konstantna i ovisi samo o duljini vala  $\lambda$  i frekvenciji  $v$ , a ne i o snazi ili jačini."

D1 (E.T.Š.): "Na zvuk ne utječe to da li je zvucnik snažniji ili ne slabiji, nego na zvuk utječe sredstvo kojim se širi i frekvencija."

D1 (P.M.F.): "Zvuk snažnog zvucnika putuje brže nego zvuk slabog zvucnika jer brzina ovisi o frekvenciji."

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 razmjernost.

#### 4.4.3. Vjetar utjece na frekvenciju zvuka koju prima opažac

Ova predodžba posljedica je prethodne. Naime ako je " $v\sim f$ ", i ako vjetar povećava brzinu širenja zvuka u smjeru u kojem puše tada izravno slijedi ovaj krivi zaključak ukoliko ne vodimo računa da se za isti faktor povećava i  $\lambda$  te omjer  $f=v/\lambda$  ostaje isti.

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 10 % učenika točno navelo da vjetar neće utjecati na frekvenciju zvuka.

Karakteristični odgovori:

A10 (E.T.Š.): "Hoće, frekvencija će biti veća što je brzina zvuka veća i obratno."

A10 (P.M.F.)

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

$$v = \frac{\lambda}{T}, f = \frac{1}{T}, v = \lambda f \quad ? \quad v \sim f$$

No, ima i drugacijih obrazloženja:

A10 (P.M.F.) "... Hoće, jer imamo osjećaj kao da se izvor pomakao, a po Dopplerovom efektu to utječe na frekvenciju.

## 5. UCENICKI OSVRTI

Za ilustraciju učenickih razmišljanja izdvajam neke osobite ili karakteristične osvrte.

### OSNOVNA ŠKOLA

- ✧ "Volio bih da se fizika objašnjava i rješava na ovaj način, bez kompliciranih jednadžbi i abnormalnih brojeva. 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, tvari i 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 upotrebljavamo mozak, a ne preko štrebanja formula koje nam poslije u životu neće nikad trebati. Ovo su zanimljive stvari iz svakodnevnog života..."
- ✧ "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 bila 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. Sviđa 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."
- ✧ "Možda bi ovakvih detalja i trebalo biti u knjizi... 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."
- ✧ "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."

### **MATEMATICKA GIMNAZIJA**

- ✧ "Na ovakva pitanja nisam navikao odgovarati. Jer mi u školama učimo samo formule. Odnosno veća je tenzija za rješavanje 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 učili..."
- ✧ "Ovakav tip pitanja nisam očekivala, smatrala sam da će biti pitanja tipa (formule, pokoji primjer, definicije, itd.) pitanja za koje nije potrebno zaista shvatiti gradivo (u ovom je slučaju to zvuk) nego pogledati formule, pročitati koju definiciju i gotovo."
- ✧ "O ovakvim pitanjima zapravo nikad nisam ni razmišljala, niti sam očekivala ovakav tip pitanja. Zapravo su sasvim logična, samo treba malo razmišljati."

### **JEZICNA GIMNAZIJA**

- ✧ "Ovaj mi se pristup sviđa, jer pokazuje primjenu i snalaženje pri pojavama koje susrećemo u svakodnevnom životu na osnovu znanja iz fizike."
- ✧ "Pisati test na ovaj način za mene je nešto potpuno novo i drukčije od onog na što sam navikla. Novi pristup mi se sviđa jer smatram da se na ovaj način može puno više i bolje naučiti i zapamtiti..."
- ✧ "Kad god idem nešto odgovoriti (onako, što mi prvo čini se ispravnim) sjetim se nekog gradiva ili neke definicije u fizici koja mi to poljulja. Kada ovo odgovaram trebam li se koncentrirati i razmišljati o zakonima fizike ili samo ono što mi se čini iz iskustva?"
- ✧ "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 slični onome što u školi radimo. Trebali smo samo logično razmišljati i zaključivati 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 uopće ne razumijemo tj. ne znamo primjeniti."

### **ELEKTROTEHNICKA ŠKOLA**

- ✧ "Učenje fizike na ovaj način puno je zanimljivije i praktičnije."
- ✧ "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 obraduje na način da ima 50% teoretskih pitanja i 50% računa."
- ✧ "Draži su meni zadaci."

### **TEHNOLOŠKI FAKULTET**

- ✧ "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 obrađivala fizika."

## **PRIRODOSLOVNO-MATEMATICKI FAKULTET**

- ✧ "Ovakav pristup nastavi fizike općenito je veoma dobar jer potice 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."
- ✧ "Ovakav pristup fizici je dobar. Mislim da bi se budućnost načina predavanja i uopće pristupa ovom predmetu trebala promijeniti."
- ✧ "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."

## **6. ZAHVALE:**

Od svih dragih i dobrih ljudi koji su mi pomogli u ovom istraživanju želim izdvojiti prof. mr. Ivicu Luketina i ovdje mu još jednom zahvaliti na prijateljskom vodstvu, nesebičnom trudu i silnom vremenu koji su mi bez ostatka bili na raspolaganju.

## **7. LITERATURA:**

1. Pereljman J. I.: Zanimljiva fizika  
Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb 1969
2. Hewitt G. Paul: Conceptual Physics  
Little, Brown & Company Boston - Toronto, 1981 (4.th edition)
3. Michael Wittman: Identifying and Addressing Student Difficulties with the Physics of Sound  
<http://www2.physics.umd.edu/~wittmann/research/denversound/tsld001.htm>
4. Linder J. Cedric: University Physics Students Conceptualization of Factors Affecting the Speed of Sound Propagation  
International Journal of Science Education, 1993 vol 15, No. 6
5. Zdeslav Hrepic: Diplomski radnja: Učeničke koncepcije u razumijevanju zvuka  
Fakultet PMZ i OP Sveučilišta u Splitu, Split 1998