

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

Karmen Prugovečki

Diplomski rad

**IMPLEMENTACIJA KONCEPTUALNOG
TESTA IZ VALOVA**

Zagreb, 2010.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER : PROF. FIZIKE

Karmen Prugovečki

Diplomski rad

**IMPLEMENTACIJA KONCEPTUALNOG
TESTA IZ VALOVA**

Mentor: prof.dr.sc Mirko Planinić

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo:

1. _____

2. _____

3. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2010.

Sadržaj

Uvod	4
1. Učenje i poučavanje	5
1.1. Obrazovni ciljevi podjela prema Bloomu (Bloomova taksonomija).....	6
1.2. Cjeloživotno učenje fizike.....	9
1.3. Razvijanje znanstvene kreativnosti kod studenata	10
2. Miskonceptije i intuitivne ideje u fizici	11
2.1. Kako zamijeniti miskonceptije konceptima?.....	11
2.2. Česte miskonceptije u razumijevanju valova	12
2.3. Primjer miskonceptije o širenju zvučnih valova	13
3. Razvoj konceptualnih testova	18
3.1. STEM Concept Inventories	18
3.2. Peer Instruction.....	19
3.3. The Wave Concept Inventory (WCI)	20
4. Test i obrada testa	22
4.1. Mjerne značajke pismenog testa	22
4.2. Statistička analiza testa	23
4.3. Pouzdanost testa (KR20)	23
5. Analiza testa	26
5.1. Rezultati WCI testa	26
5.2. Analiza dobro riješenih zadataka	26
5.3. Analiza testa po zadacima	27
5.3.1. Veza frekvencije, valne duljine i brzine širenja vala (Problem kontrole varijabli).....	27
5.3.2. Ovisnost pomaka s neke točke o vremenu t	28
5.3.3. Ovisnost pomaka s i položaja x neke točke na opruzi.....	29
5.3.4. Superpozicija valova.....	30
5.3.5. Stojni valovi.....	32
5.3.6. Svjetlost.....	34
5.4. Zaključak analize zadataka.....	34
6. Usporedba rezultata konceptualnog testa iz valova s rezultatima FCI i CSEM testova	35
Zaključak	36
Literatura	37
Dodatak : Konceptualni test iz valova	38

Uvod

Evolucijski je razvoj čovjeku omogućio da se na ljestvici živih bića na Zemlji intelektualno izdigne na najvišu točku. Čovjek živi s prirodom, a njegova ga znatiželja i intelekt vode u objašnjenju događaja i pojava u prirodi što pak rezultira napretkom ljudske zajednice i društva. No kroz povijest se pokazalo da ljudi često ne mogu dati pravi odgovor na takve pojave, pa su tako njihova objašnjenja pogrešna ili čak nadnaravne prirode.

Tako se mitovi i legende i danas čitaju i prepričavaju (tko još nije čuo za Iliju gromovnika), ali ih se i znanstveno tumači. Nerijetko su pak takva “narodna razmišljanja” čak i teme književnih djela. Tako primjerice Dinko Šimunović u svojoj “Dugi” opisuje nesreću djevojčice izazvanu neznanjem i mistifikacijom znanstveno lako objašnjive pojave nastanka duge uslijed loma svjetlosti.

Neka od takvih razmišljanja toliko su se duboko usadila u svijesti običnog čovjeka da su i danas, uz razvoj moderne znanosti, i dalje čvrsto prisutna. Ljudi se dive napretku medicinske znanosti, ali i dalje posežu za alternativom, intriganantan im je projekt iz Cerna i potraga za Higgsovim bozonom, ali se boje “propasti svijeta”. Nerijetko se čini da se ljudi u svom neznanju zapravo boje znanosti kao što se poneki boje i Boga.

U sustavu odgoja i obrazovanja nastoji se mlade naraštaje obučiti i pripremiti za samostalan rad u današnjem modernom društvu. Dostupnost informacija danas je veća no ikad, no usprkos tome događa se da iz školskih klupa izlaze nezainteresirani, mladi ljudi koji ne nose operativno znanje i izgrađene koncepte te nemaju razvijeno kritičko mišljenje i stavove, pa su kao takvi čak i teret današnjeg društva.

Moderna znanost nadilazi ovakva razmišljanja, no u tumačenju i usvajanju znanstvenih principa i koncepata pojavljuje se nešto što ometa njenu implementaciju u svakodnevnicu, a to su predkoncepti. Koliko su i oni tvrdokorni, pokazuje se već dugo, no upravo njihovo prepoznavanje i isticanje vodi k smanjenju njihovog utjecaja na usvajanje novih znanja i koncepata.

Ovim se diplomskim radom nastoje prepoznati neki od takvih predkoncepata u području razumijevanja fizike valova, a u svrhu modeliranja novih ili mijenjanja starih načela poučavanja ovog sadržaja.

1. Učenje i poučavanje

Koliko su učenje i poučavanje složeni procesi, ali i važni u razvoju društva, pokazuje i činjenica da se o njihovoj važnosti govori od davnina. Tako se u starogrčkoj filozofiji izdvaja poučavanje kao važna *vještina* koja prema Platonu “ne služi da bi se učenika *učilo*, nego *vodilo* prema znanju”. “Vještina poučavanja se primjenjuje u prevladavanju neznanja i zabluda do kojih pak dolazi kad ono što ne znamo, mislimo da znamo. Zablude se rješavaju metodom očišćenja mišljenja (katarze), a pritom oni koji provode očišćenja djeluju kao i liječnici tijela... Samo se čišćenjem mišljenja dobiva veći stup kritičnosti, a time i bolji uvid u razlikovanje između dobrog i lošeg.”^{(1), (2*)}

Dani citat zapravo potvrđuje “besmrtnost” problema neznanja, ali i danas tako važnog problema u prihvaćanju i usvajanju znanstvenih koncepata – *miskoncepcija*. Koliko ni danas prosječan, moderan čovjek nije usvojio primjerice osnovne zakone (Newtonove) mehanike, pokazuje činjenica da u velikoj mjeri još uvijek razmišlja *aristotelovski*. (Na primjer: ako na tijelo djeluje stalna sila, ono će se gibati stalnom brzinom, a prestane li djelovati sila, tijelo će se zaustaviti.)

Čini se da se tijekom više od 2 tisućljeća nije mnogo toga promijenilo u ljudskom poimanju osnovnih prirodnih pojava, te se i današnji metodičari bore sa sličnim problemima. No dok je odgojni ideal u staroj Grčkoj bio odgojiti mladog čovjeka kao državnika, a u srednjem vijeku kao dobrog i poslušnog kršćanina, tek se u 19. stoljeću stvari počinju mijenjati i javlja se potreba za uvođenjem prirodnih znanosti u škole, a uz to se razvija i metodologija nastave prirodnih znanosti.

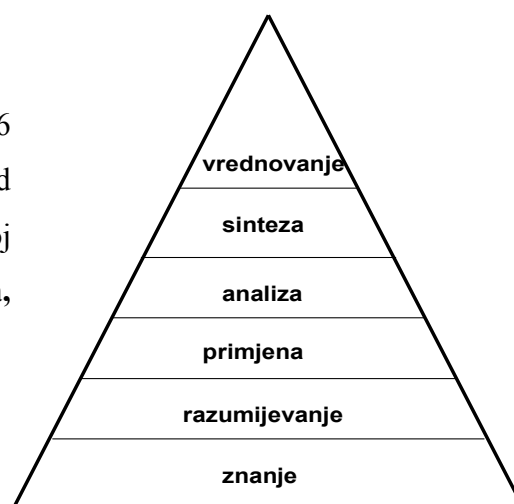
Šezdesetih godina prošlog stoljeća počele su promjene u općem pristupu nastavi pa tako i u nastavi fizike. Promjene su se odvijale paralelno s razvojem kognitivne znanosti koja je otvarala nove poglede kako na prirodu dječjeg mišljenja, tako i na strategije poučavanja. Jedna od najzaslužnijih osoba za navedene promjene svakako je Jean Piaget. Piagetove konstruktivističke ideje u psihologiji utemeljuje u nastavi prirodoslovlja pokret konstrukcionizma čija je najznačajnija predstavica Rosalind Driver (predsjednica na *Science Education at King's College, London*). ⁽¹⁾ Danas sve više prevladava stav da se bit fizike, njenog razvitka i funkcioniranja sastoji u stalnom konstruiranju (djelomice i rekonstruiranju) fizikalnih pojmova (koncepata). Fizikalni pojmovi, ili pak neka njihova svojstva, povezani su preko fizikalnih zakona i teorija u tzv. pojmovne mape, a sve to omogućuje nam uspješno opisivanje tumačenje i predviđanje fizikalnih pojava i procesa. U tom kontekstu osobito važnu ulogu ima pokus (posebno u osnovnoj školi). Učenik (student) polazi od pokusa i misaono ga nadilazi konstruirajući potrebne pojmove i modele. Konstruktivistički stavovi o znanju i učenju utiru put sustavu problemske nastave. Uz Piagetov konstruktivizam prihvaćena je i *Bloomova taksonomija* ciljeva obrazovnog procesa koja učenika i studenta stavlja u prvi plan nastavnog procesa i sagledava sve faze stjecanja novih znanja. ⁽²⁾

1.1. Obrazovni ciljevi - podjela prema Bloomu (Bloomova taksonomija)

Američko psihološko društvo usvojilo je konvenciju o podjeli ciljeva obrazovnog procesa koju je predložio američki psiholog Benjamin S. Bloom (1956.). Prema njegovu se prijedlogu oblici učenja dijele u 3 kategorije: **kognitivnu** (znanje i razumijevanje), **afektivnu** (stavovi i uvjerenja) i **psihomotoričku** (vještine i umijeća). Svako područje sistematizirano je hijerarhijski od niže ka višoj razini usvojenosti, a svaka pak razina pojedine kategorije sadrži **ključne glagole** koji omogućavaju definiranje kvalitativnih i kvantitativnih ishoda učenja na osnovi kojih studenti mogu pokazati usvojena znanja, vještine i stavove. Kako je ovim testom najviše obuhvaćena kognitivna komponenta učenja, dalje u tekstu je ona detaljnije opisana.(1*), (3)

Kognitivna kategorija učenja

U okviru kognitivne kategorije Bloom razlikuje 6 hijerarhijskih razina učenja. To su, počevši od najjednostavnije razine prema najsloženijoj spoznajnoj domeni: **znanje, razumijevanje, primjena, analiza, sinteza i vrednovanje (procjena).**



1. Činjenično znanje

Usvajanje činjeničnog znanja je najniži obrazovni cilj. Znanje se definira kao sjećanje na prije naučene sadržaje. Odnosi se na temeljna znanja koja student mora steći da bi shvatio smisao predmeta koji uči. To se prisjećanje može odnositi na širok raspon sadržaja: od usvajanja terminologije preko prisjećanja na specifične činjenice pa sve do sjećanja na složene teorije. Sve što treba postići na toj razini znanja jest prisjetiti se određene informacije koja ne mora nužno značiti i razumijevanje. Primjerice, student treba **memorirati, definirati, imenovati, opisati, označiti, nabrojiti.**

2. Razumijevanje

Razumijevanje se definira kao sposobnost promišljanja o značenju usvojenih činjenica. Ta se kognitivna kategorija znanja može pokazati interpretiranjem naučenih činjenica, sažimanjem, objašnjavanjem ili predviđanjem učinaka ili posljedica. Ovaj je obrazovni cilj viši od prethodnog

jednostavnog prisjećanja na informacije i predstavlja najniži stupanj razumijevanja. Primjerice, za tu razinu znanja student treba znati **interpretirati** slike, karte, tablice i grafikone, verbalne zadatke prevesti u formule, na temelju činjenica **predvidjeti** posljedice, **opisati, objasniti, prepoznati, navesti primjer, interpretirati, raspravljati...**

3. Primjena

Primjena se odnosi na sposobnost uporabe naučenih pravila, zakona, metoda ili teorija u novim, konkretnim situacijama. Primjerice, na toj spoznajnoj razini student treba znati **riješiti matematički problem, konstruirati** grafikon ili krivulju, **demonstrirati** ispravnu uporabu neke metode ili postupka.

4. Analiza

Na analitičkoj razini znanja student mora biti sposoban naučene sadržaje razdvojiti na sastavne dijelove i prilagoditi ih raznim situacijama. Pritom student mora znati odrediti sastavne dijelove i odnose među njima kao i organizacijske principe. Ovaj je obrazovni cilj viši od razine razumijevanja i razine primjene jer je za tu razinu znanja potrebno združeno razumijevanje sadržaja i organizacijske strukture materijala. Primjerice, na toj razini student mora **uspoređivati, suprotstavljati, prepoznati** neizrečene pretpostavke, **razlikovati** činjenice od zaključaka, razlikovati uzrok od posljedice, odrediti relevantnost podataka, **analizirati** organizacijsku strukturu djela (znanstvenog, umjetničkog, glazbenog, literarnog).

5. Sinteza

Sintetizirati znači iz pojedinačnih dijelova stvoriti novu cjelinu. Obrazovni cilj u ovom slučaju ističe kreativno ponašanje s naglaskom na formuliranje novih obrazaca ili struktura. Primjeri obrazovnih ciljeva sintetičke razine znanja jesu: **sposobnost kombinacije, postavljanja hipoteze, planiranja, reorganizacije**, pisanja dobro organiziranog rada, održati dobro organiziran govor (predavanje), kreativno napisati priču (pjesmu, glazbu), predložiti plan pokusa.

6. Vrednovanje (procjena)

Procjena znači sposobnost svrhovite prosudbe vrijednosti materijala (istraživačkog izvještaja, projekta, pjesme, romana, govora). Prosudbe se moraju temeljiti na točno definiranim kriterijima. Obrazovni ciljevi ovog područja najviši su u spoznajnoj hijerarhiji jer sadrže elemente svih prethodnih razina uz dodatak sposobnosti prosudbe vrijednosti utemeljene na točno definiranim kriterijima. Primjeri obrazovnih ciljeva ove razine znanja jesu: **prosuditi** primjerenost zaključaka iz

prikazanih podataka, **prosuditi vrijednost** nekog djela (znanstvenog, umjetničkog, glazbenog, literarnog) uporabom vanjskih standarada odličnosti, **prosuditi logičnu postojanost** pisanog materijala ili predavanja. (4)

U *Tablici 1* dani su **ključni glagoli** koji definiraju razine kognitivnih postignuća, a **razina primjene** danas je društveno prihvatljiva razina. (5)

	<i>RAZINA</i>	<i>PRIPADAJUĆI GLAGOLI</i>
<i>Kognitivno područje</i>	ZNANJE – prepoznavanje informacija	definiraj, imenuj, zapamti, zabilježi, ispričaj, sastavi popis, ponovi, izvijesti...
	RAZUMIJEVANJE – shvaćanje informacija	opiši, objasni, identificiraj, izvijesti, razmotri, izrazi, prepoznaj, raspravljaj..
	PRIMJENA – primjena znanja u rješavanju problema	primijeni, izvedi, protumači, ilustriraj, vježbaj, izloži, prikaži, prevedi...
	ANALIZA – razdvajanje informacija i prilagodba u različitim situacijama	usporedi, raspravljaj, razluči, riješi, diferenciraj, napravi inventuru...
	SINTEZA – primjena informacija radi poboljšanja kvalitete neke situacije i života	predloži, uredi, organiziraj, kreiraj, sastavi, klasificiraj, poveži, formuliraj
	VREDNOVANJE – prosuđivanje korisnosti	prosudi, izaberi, procijeni, rangiraj, vrednuj, izmjeri, predvidi, odredi prioritet

Tablica 1

1.2. Cjeloživotno učenje fizike

Kad se govori o obrazovnom procesu, nerijetko se on stavlja samo u okvire institucija službeno zaduženih za provođenje obrazovnog procesa i ostvarivanje ciljeva (vrtići, škole, fakulteti...). Ali napredak tehnologije i ljudskog društva u cjelini postavlja nove izazove pred svakog pojedinca, pa tako znanje stečeno u školama i fakultetima više nije dostatno za čitav radni vijek, već se sve više naglašava potreba za kontinuiranim, odnosno cjeloživotnim učenjem što podrazumijeva:

- **Stjecanje i osuvremenjivanje svih vrsta sposobnosti, interesa, znanja i kvalifikacija** od predškole do razdoblja nakon umirovljenja. Promicanje razvoja znanja i sposobnosti koje će omogućiti građanima prilagodbu “društvu znanja” i aktivnom sudjelovanju u svim sferama društvenog i ekonomskog života te na taj način utjecati na vlastitu budućnost.
- **Uvažavanje svih oblika učenja:** formalno obrazovanje (npr. tečaj na fakultetu), neformalno obrazovanje (npr. usavršavanje vještina potrebnih na radnome mjestu) i informalno obrazovanje, međugeneracijsko učenje (razmjena znanja u obitelji, među prijateljima).

Suvremeni obrazovni trendovi neminovno pomiču poželjne obrazovne ciljeve prema naprednijim stupnjevima Bloomove taksonomije. Još nedavno nastavnici su bili zadovoljni učeničkim reproduciranjem gradiva i iskazivanjem razumijevanja materije, a primjena je za većinu bila nedostižan san. No danas, kao što je već spomenuto, razina primjene je minimalan stupanj Bloomove taksonomije koji pojedinac mora dostići da bi se uspješno uklopio u društvo znanja.

U svim obrazovnim institucijama u RH (škole, fakulteti...) student uči postojeće koncepte (definicije, izvode) na sustavan način koji prati strukturu fizike. Primjer za ovo je tradicionalan redoslijed učenja općih fizika – od mehanike, preko elektrodinamike i optike ka kvantnoj fizici. Izvodi i teorije izloženi su na sustavan i logičan način koji je potpuno usklađen s najsuvremenijim fizikalnim dostignućima, no takva izlaganja uglavnom imaju vrlo malo dodirnih točaka s originalnim načinom razmišljanja koji je doveo do njihova otkrića.

Glavne prednosti postojećeg načina učenja su jednostavnost razrade obrazovnog sustava i postizanje kvalitetnog razumijevanja koncepata na teorijskoj razini ili pak njihove primjene na razini inženjerstva. Glavni nedostaci ovakvog načina učenja su privikavanje studenata na *umjetnu situaciju* (Koliko je to znanje upotrebljivo za snalaženje u novima?) i njihovo ograničavanje na provjerene koncepte (Koliko je poznavanje postojećih koncepata primjenjivo za razvoj novih?). Današnji student fiziku uči na najlakši i najelegantniji način, no nameće se pitanje odgovara li stečeno znanje potrebama suvremenog društva. (6)

1.3. Razvijanje znanstvene kreativnosti kod studenata

Da bi se razvijala znanstvena kreativnost kod studenata, potrebno je jasno postaviti obrazovne ciljeve i težiti njihovom ispunjenju. Prema Bolonjskoj konvenciji, neki od tih ciljeva su:

- Student treba biti motiviran za cjeloživotno učenje.
- Student treba steći sposobnost snalaženja u novim situacijama barem na razini rješavanja problema.
- Student treba biti u stanju brzo i efikasno pronaći potrebne informacije; također treba znati izvršiti njihovu analizu, sintezu i vrednovanje.
- Student treba biti u stanju brzo usvojiti nepoznati koncept, prema potrebi ga modificirati ili kreirati novi.

Ovi obrazovni ciljevi znatno se razlikuju od tradicionalnih, a obrazovni proces postaje sve zahtjevniji kako za predavača tako i za studenta. Navedene ciljeve moguće je postići decentralizacijom učenja i znanja, i to prvenstveno:

- **prostornom** – rast broja visokih učilišta izvan velikih gradova, obrazovanje na daljinu
- **vremenskom** – obrazovanje mora postati dostupnije svima, naročito zaposlenima
- **formalnom** – smanjenje razlike između formalnih i manje formalnih načina stjecanja znanja
- **konceptijskom** – sve znanje potrebno za polaganje ispita više se ne nalazi kod predavača, nego ga treba tražiti u vanjskim izvorima.

2. Miskoncepcije i intuitivne ideje u fizici

U zadnjih dvadesetak godina istraživanja u nastavi fizike u svijetu ukazala su na postojanje brojnih intuitivnih ideja kod učenika, ali i kod studenata. One nastaju kao rezultat potrebe da se protumače pojave iz svakodnevnog života. Neke su od tih ideja, što je već spomenuto, vrlo slične idejama koje nalazimo u povijesti fizike, a koje su u nekim stupnjevima razvoja fizike bile prihvaćene kao valjane (npr. Aristotelova teorija gibanja, teorija impetusa). Neke od ideja nastaju tijekom formalnog učenja fizike, kao mješavina intuitivnih i fizikalnih ideja. Takve se ideje nazivaju **miskoncepcijama**, premda se taj termin često koristi za sve ideje koje nisu u skladu s fizikalnim idejama. Uzrok “privlačnosti” i trajnosti miskonceptija je u njihovoj jednostavnosti i intuitivnoj razumljivosti. Nasuprot tome, neke od temeljnih fizikalnih ideja posve su kontraintuitivne (na primjer 2. Newtonov zakon), te im se često čine nerazumljivima, ili čak besmislenima, pogotovo ako su prezentirane kao gotove činjenice jer ih tada teško usvajaju i vrlo se brzo vraćaju prijašnjim idejama. (2)

2.1. Kako zamijeniti miskoncepcije konceptima ?

Jednom stvorenu i prihvaćenu miskonceptiju može biti teško zamijeniti konceptom (ispravnom fizikalnom idejom, osnovnom tezom za neko znanstveno djelo) jer učenici i studenti pri konstrukciji svoje teorije ulažu znatan mentalni napor, a tada ne odustaju lako od tako stvorenih “konceptata”.

Evo što Rosalind Driver misli o učeničkim miskonceptijama:(1)

1. one su konzistentne s pojmovima (konceptima) koje učenik posjeduje
2. učenici često koriste neprecizan jezik i nedefinirane pojmove kako bi objasnili fenomene
3. slične miskonceptije mogu se naći kod učenika različite dobi i različitog podrijetla
4. miskonceptije su otporne i nije ih moguće zamijeniti putem tradicionalnog poučavanja.

Nameće se pitanje kako onda pomoći učenicima i studentima u uspješnijem učenju fizike te kako unaprijediti njihovo konceptualno razumijevanje. Kako bi se uspješno implementirao konceptualni pristup u nastavni proces, potrebno je:

1. **prepoznati** miskonceptije koje postoje
2. **istražiti** miskonceptije kroz demonstracije i pitanja
3. tražiti od studenata da **pojasne, objasne** svoje koncepte (miskonceptije)
4. **raspraviti** o kontradiktornim konceptima studenata uz pitanja, primjere i pokuse

5. **poticati raspravu**, tražiti da studenti primijene svoje koncepte u konkretnim primjerima
6. **zamijeniti** miskoncepte novim konceptima postavljajući studentima pitanja, izvodeći pokuse, uvodeći neku hipotetsku situaciju inzistirajući ili ne na primjeni nekog fizikalnog zakona te je popratiti određenim pokusom
7. ponovno **analizirati** usvajanje novih koncepata postavljajući konceptualna pitanja. (2)

2.2. Česte miskoncepcije u razumijevanju valova

Kroz nastavnu praksu te implementaciju konceptualnih testova iz fizike prepoznate su i miskoncepcije vezane uz fenomene valne fizike (valova).

Evo primjera takvih miskoncepcija, od kojih su neke potvrđene i ovim konceptualnim testom. (7),(8)

VALOVI

1. Valovi prenose materiju. (Zd. 9)
2. Valovi nemaju energije.
3. Za širenje valova potrebno je neko sredstvo.
4. Svi se valovi šire na jednak način.
5. "Veliki" valovi šire se brže no "mali" u istom sredstvu.
6. Zajedno sa širenjem vala pomiče se i sredstvo kojim se val širi.
7. Što je veća masa tijela ovješeno na niti, ono će se brže gibati (titrati). (Zd. 5)
8. Mijenjanjem frekvencije nekog vala mijenjaju se i valna duljina i brzina vala. (Zd. 12)
9. Nakon susreta dvaju suprotnih i simetričnih valnih pulseva koji se šire duž užeta, uže ostaje mirovati. (Zd. 18)
10. Valne zrake isto su što i valne fronte.
11. U stojnom je valu trenutna brzina točaka duž opruge svugdje jednaka nuli. (Zd.22)
12. Zvuk se širi brže zrakom nego čvrstim tijelom. (Zrak je manje gustoće, pa su čestice zraka manja prepreka širenju zvuka.) (Vidjeti 2.3 Primjer miskoncepcije o širenju zvučnih valova.)

SVJETLOST

1. Svjetlost jednostavno postoji i nema izvora.
2. Svjetlost je čestica (čestične prirode).
3. Svjetlost je mješavina čestica i valova.
4. Svjetlosni valovi nisu isto što i radiovalovi.
5. Odbijanjem svjetlosti mijenjaju se njena svojstva.
6. Brzina svjetlosti se nikad ne mijenja (stalna je).

7. Nema međudjelovanja između svjetlosti i materije. Različite boje svjetlosti različiti su valovi.
8. Zbroj svih boja svjetlosti daje crnu boju.
9. Interferencija svjetlosti na dvostrukoj pukotini pokazuje brjegovu i dolovu vala.
10. Svjetlost daje brijeg vala, a tama dol.
11. Odbijanjem svjetlosti mijenja se njena frekvencija (boja).
12. Odbijanjem se svjetlost savija.
13. Prolaskom kroz neki prozirni materijal svjetlost ne mijenja smjer kretanja. (Zd. 25)
14. Miješanjem boja na slikarskoj paleti nastaju nove boje na isti način kao i kod "miješanja" svjetlosti različitih boja.

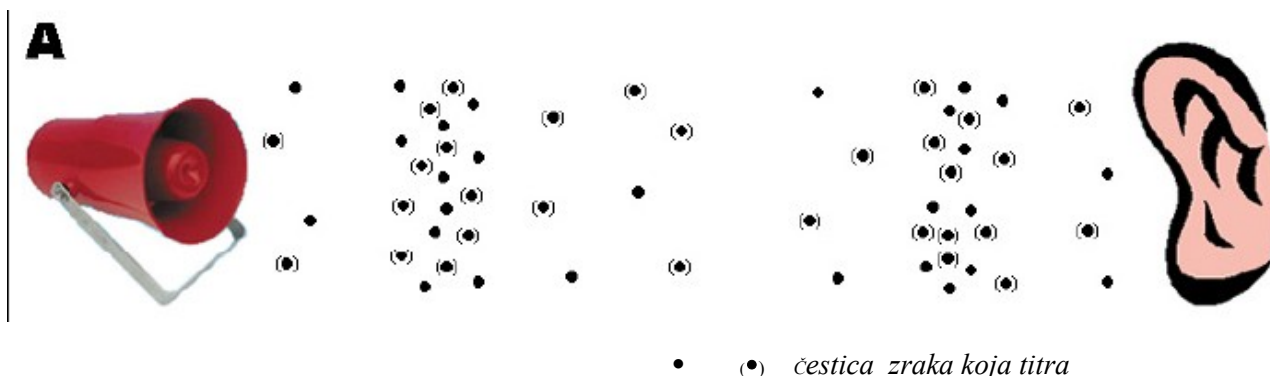
2.3. Primjer miskonceptije o širenju zvučnih valova

Zanimljivi su rezultati istraživanja provedenog 2009. godine na *Universitat Politècnica de Catalunya* u Barceloni, Španjolska. Istraživane su miskonceptije vezane uz razumijevanje širenja zvučnih valova, a testirana je grupa od 65 studenata prve godine smjera inženjer kemije. Trebalo je u dana dva zadatka opisati širenje zvuka zrakom i čvrstim tijelom (zidom). (9)

Pitanje 1.

Koji od modela dobro opisuje mehanizam širenja zvučnog vala između emitera (zvučnika) i receptora (bubnjića u ljudskom uhu)? ("Čestice zraka" ovdje su molekule plinova koji čine zrak!)

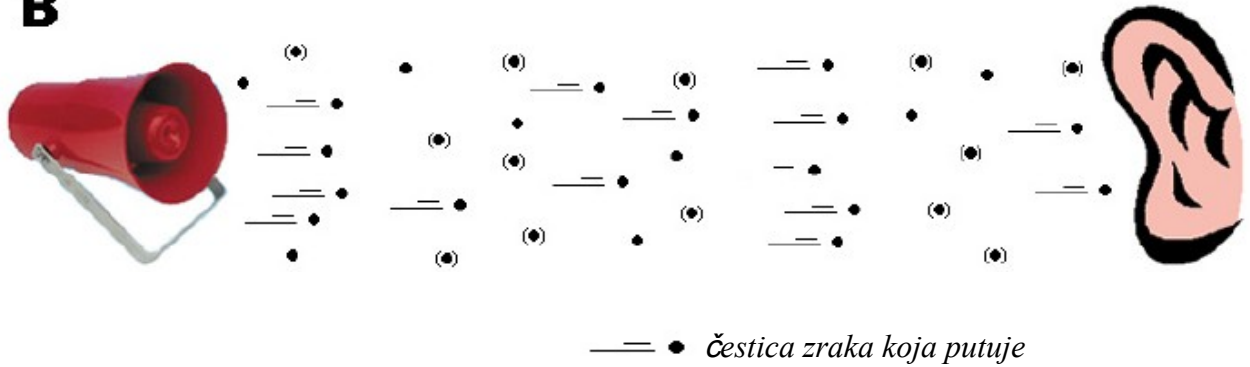
odgovor A)



Čestice zraka, koje se gibaju nasumce u svim smjerovima, počinju se gibati usmjereno nakon kontakta sa zvučnikom i to u smjeru širenja vala (od zvučnika prema uhu). Kad dođu u kontakt sa susjednim česticama zraka, i njih "zatitraju", zvuk se širi tako da se titranje prenosi dalje na susjedne čestice. Tako nastaju područja s većim i manjim brojem čestica, tj. zgušnjavanja i razrjeđenja među česticama.

odgovor B)

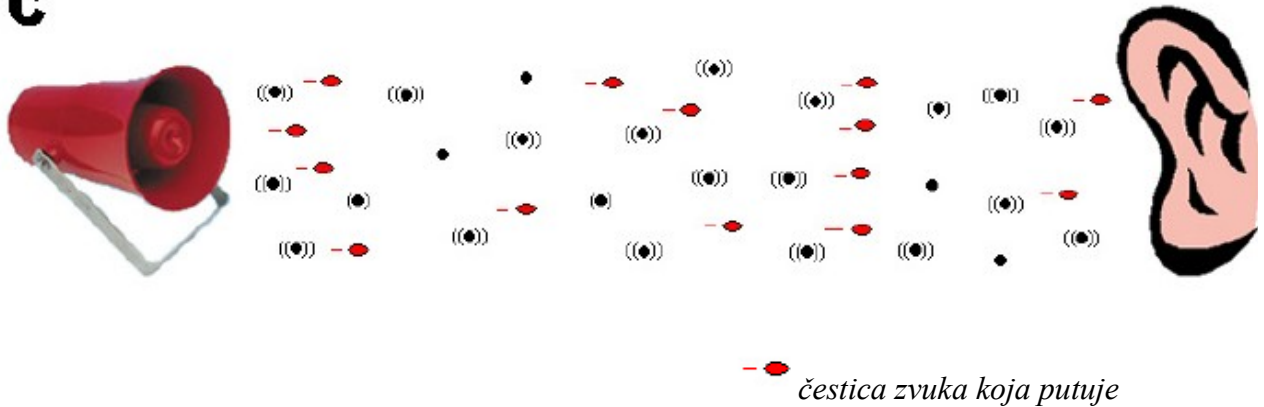
B



Čestice zraka koje su u kontaktu sa zvučnikom putuju između ostalih čestica zraka i tako prenose zvuk od zvučnika do uha. Ostale čestice pritom počinju titrati.

odgovor C)

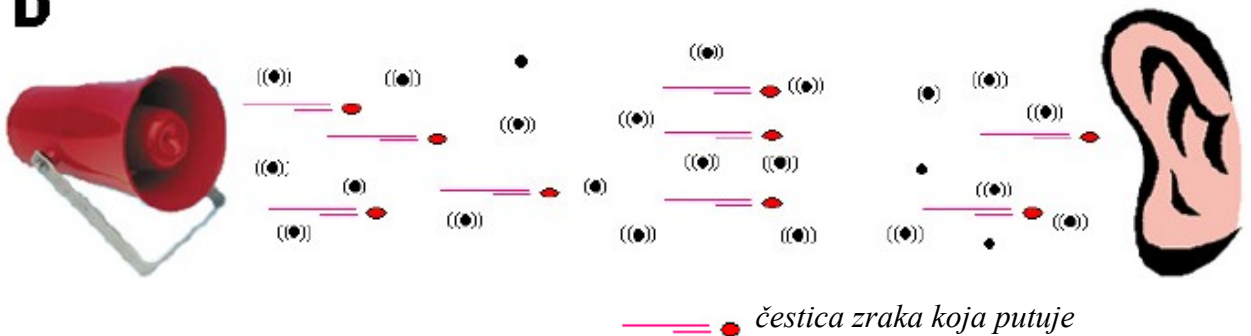
C



Čestice zraka prelaze na čestice zvuka koje emitira zvučnik između. To je moguće jer čestice zraka imaju određenu količinu gibanja prije no što je zvuk emitiran.

odgovor D)

D



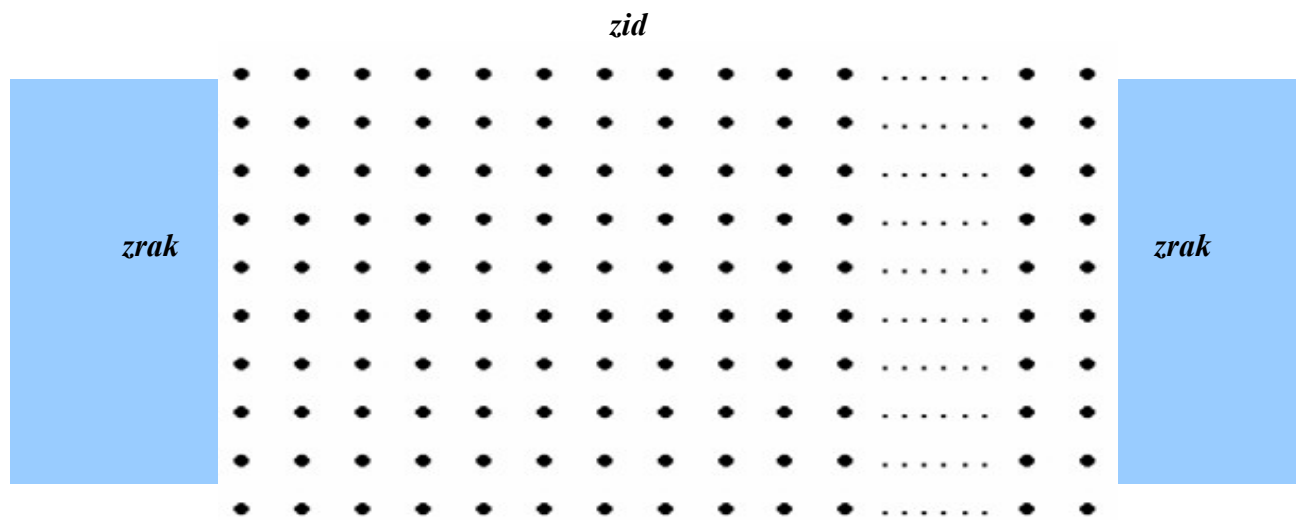
Čestice zvuka koje emitira zvučnik putuju između čestica zraka u smjeru širenja zvuka (od zvučnika prema uhu). Pritom čestice zraka počinju titrati.

odgovor E)

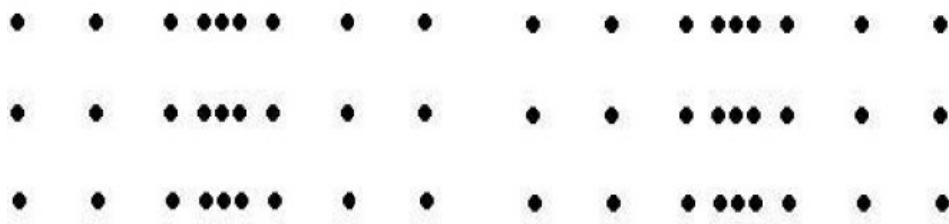
Nijedan odnavedenih opisa nije točan. Mislim da je točan sljedeći opis: _____

Pitanje 2.

Muškarac govori ženi s druge strane zida izgrađenog od opeke. Pod i strop napravljeni su od betona, a u zidu nema nikakvih otvora ni prozora. Muškarac govori dovoljno glasno da ga žena može čuti, mada ne tako razgovijetno kao da su u istoj sobi. Slika prikazuje mikroskopsku pravilnu strukturu zida. (Izraz “čestica” odnosi se na molekulu koja čini zid ili zrak.) Što se događa na mikroskopskoj razini kada zvučni val putuje kroza zid iz sobe u sobu?



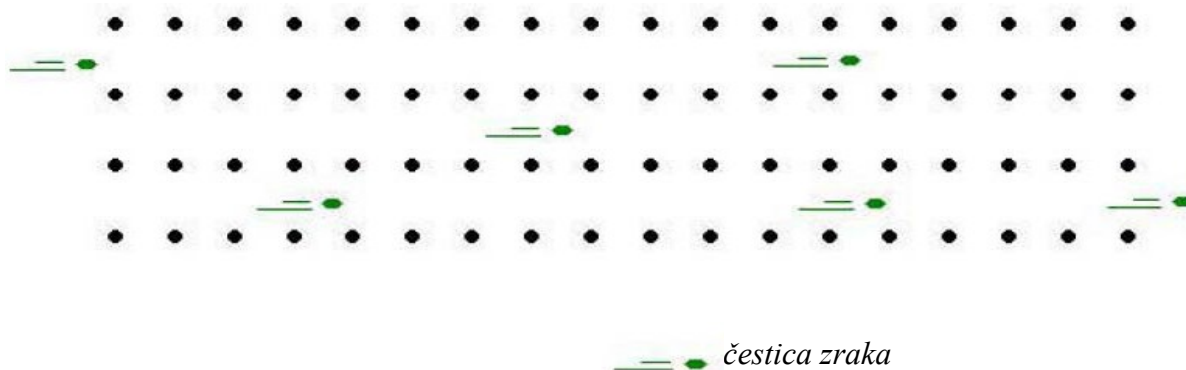
odgovor A)



● čestica zida

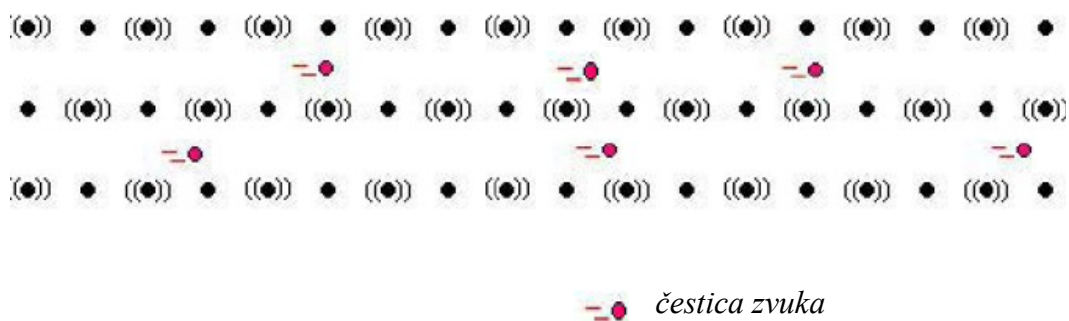
Čestice zida titraju (lijevo-desno) u smjeru širenja vala. Tako postoje područja gdje su čestice bliže jedne drugima i ona gdje su trenutno dalje jedne od drugih.

odgovor B)



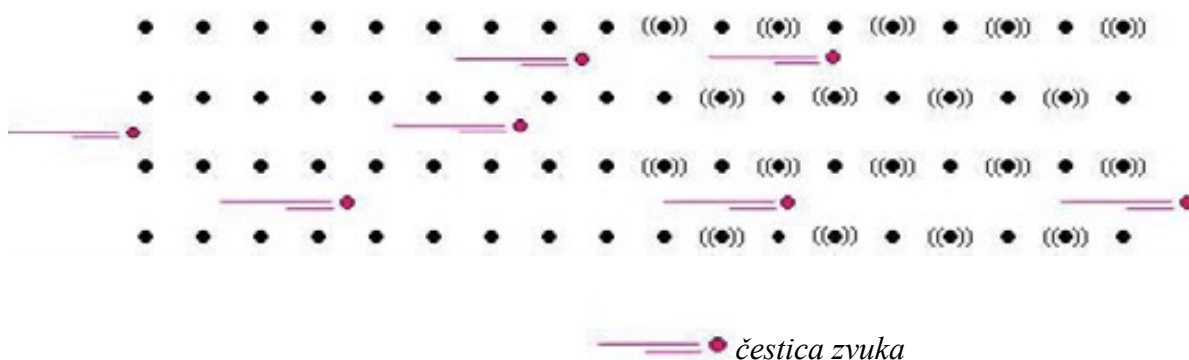
Zvuk prolazi zidom, a prenose ga čestice zraka prolazeći međuprostorom između čestica zida.

odgovor C)



Čestice zida pomiču čestice zvuka naprijed, s lijeve strane zida na desno. To je moguće jer čestice zraka imaju određenu količinu gibanja, bez obzira na to širi li se zvuk zrakom ili ne.

odgovor D)



Čestice zvuka prolaze zidom u smjeru širenja zvuka (s lijeva na desno). Pritom čestice zida titraju .

odgovor E)

Nijedan od navedenih opisa nije točan. Mislim da je točan sljedeći opis: _____

Rezultati:

<i>Pitanje 1</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>ukupno</i>
<i>Broj odgovora</i>	47	6	3	6	3	65
<i>%</i>	72.3 %	9.2%	4.6%	9.2%	4.6%	100%

<i>Pitanje 2</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	\emptyset	<i>ukupno</i>
<i>Broj odgovora</i>	23	29	5	5	0	3	65
<i>%</i>	35.4%	44.6%	7.7%	7.7%	0.0%	4.6%	100%

Tablica 2

Analiziraju li se rezultati odgovora na prvo pitanje, čini se da su studenti koncept širenja zvuka zrakom dobro usvojili (72.3%), no njih gotovo 65 % daje pogrešan odgovor kad je potrebno opisati širenje zvuka čvrstim tijelom (npr. betonskim zidom). Oni u ova dva primjera ne prepoznaju istu fizikalnu pojavu, te polovica njih smatra da se zvučni val širi zidom tako što čestice zraka prolaze međuprostorom između čestica zida.

Ovdje se potvrđuje koliko su miskoncepcije tvrdokorne, odnosno kako je teško postići viši stupanj razumijevanja nekog fizikalnog fenomena ako se miskoncepcije ne prepoznaju, ne razjasne i ne zamijene konceptima.

3. Razvoj konceptualnih testova

3.1. STEM Concept Inventories

Priča o STEM Concept Inventories (*Science, Tehnology, Engineering and Mathematics faculty*) počinje krajem 80-ih i početkom 90-ih godina prošlog stoljeća kada David Hestenes, profesor na *Arizona State University*, na nagovor nekolicine svojih studenata diplomanata testira razumijevanje njutnovske mehanike kod studenata prve godine fizike. Iznenađen postotkom pogrešnih odgovora na, kako on sam kaže, “trivijalna pitanja” razvija *FCI (Force Concept Inventory)*, test koji će otkriti miskoncepcije studenata u tom području i kojim će se uvesti promjene u poučavanje fizikalnih koncepata. Pokazalo se da su studenti u učenju koncentrirani na metode rješavanja problema, a da pri tom ne prepoznaju ili čak ne razumiju fizikalne koncepte koje oni sadrže. U prvom su obliku testa studenti sami davali odgovore na pitanja, dok je kasnije osmišljen test s ponuđenim odgovorima od kojih je moguće više točnih, ali među kojima se nalaze i odgovori koji ukazuju na već tada prepoznate miskoncepcije studenata u tom području. (11),(12)

Dok neki i dalje osporavaju vrijednost ovakvih testova, većina se ipak slaže da će oni uvelike utjecati na poboljšanje poučavanja fizike i razumijevanje fizikalnih koncepata.

Za daljnji razvoj i primjenu ovih testova uvelike je zaslužan Eric Mazur, cijenjeni fizičar i profesor na *Harvard University* (od 1982. godine). Iako specijalist u području fizikalne optike, Mazur djeluje i u području edukacije smatrajući kako je bolja znanstvena edukacija potrebna svima (kako već dokazanim znanstvenicima, tako i studentima) i ključna za stalni napredak znanosti. (10)

Zainteresiran Hestenesovim radom, Mazur se uvjerio u loše razumijevanje elementarne fizike i kod svojih studenata, te uvidio da tradicionalna, predavačka nastava popraćena demonstracijskim pokusima, kakvu i on izvodi, mora ustupiti mjesto novim oblicima poučavanja. Mazur razvija djelotvornije metode poučavanja fizikalnih koncepata i opisuje ih u svojoj knjizi *Peer Instruction*.

U kasnijim 90-ima i drugi su se fizičari ugledali na Hestenesa, pa su tako napravljeni popisi koncepata (*concept inventories*) i u području elektromagnetskih valova, termodinamike, fizike materijala, mehanici fluida, elektromagnetizmu, strujnim krugovima i dr., ali i u drugim znanstvenim disciplinama: kemiji, matematici, geologiji, genetici, psihologiji ... (13),(14)

3.2. Peer Instruction

Tradicionalna nastava, u kojoj studenti nisu aktivno uključeni u nastavni proces, već su, naprotiv, gotovo uvijek slušači opterećeni mnoštvom teksta, bilježaka, izraza, formula..., iz dana u dan sve više postaje prošlost. Studenti se tako često ne uspijevaju koncentrirati na izlaganje predavača tijekom cijelog trajanja izlaganja, a još manje mogu kritički razmišljati i iznositi svoja mišljenja. Naprotiv, mnogi usvajanje novih znanja i koncepata doživljavaju kao puko memoriziranje mnoštva naoko nepovezanih činjenica, relacija, izraza...

Kako bi se sve ovo stubokom promijenilo, osmišljena je nova metoda poučavanja *Peer Instruction (PI)*, koja se od 1991. do danas sve više primjenjuje i dopunjava, a u kojoj je nastavno gradivo isprepletano s kratkim konceptualnim pitanjima osmišljenima tako da otkriju postojeće miskoncepcije kod studenata, ali i povećaju njihovu aktivnost tijekom samog nastavnog procesa.⁽¹⁰⁾

Predavač u određenim trenucima izlaganja (otprilike svakih 15 minuta) postavlja studentima pitanja projicirajući pitanje (*ConceptTest*) na platnu, a oni 1-2 minute mogu razmisliti o postavljenom pitanju i dati odgovor. Studenti odgovaraju na pitanje jednostavno podižući ruku ili obojene kartice s odgovorim (A, B, C, D), mogu napisati odgovor na papiru ili koriste elektronski sistem davanja odgovora (*electronic classroom response system - clickers*). U slučaju odgovaranja pomoću *clickersa*, računalo odmah daje postotak točnih odgovora, čak je moguće i projicirati točnost odgovora prema rasporedu sjedenja (zelena mjesta označavaju točne odgovore, a crvena netočne), pa tako studenti trenutno dobivaju uvid u točnost odgovora.

Sljedeće 2-3 minute slijedi diskusija po grupama sastavljenim od po 3 ili 4 studenta. Slika prikazuje situaciju u učionici za vrijeme jedne takve rasprave. Mnogi će ovakvu situaciju opisati kao *katastrofa u učionici*, ali studenti ovako odmah, u učionici, kritički razmišljaju o danoj materiji i procjenjuju svoje razumijevanje problema. ⁽¹⁵⁾



Sl.2 "Kaos u učionici"

Optimalan raspon točnih odgovora je 35-70% i tada studenti raspravljaju o odgovorima. Točnost manja od 35% upućuje na to da studenti nisu shvatili dani problem, a tada je potrebno, kaže Mazur, detaljnije sagledati i pojasniti problem te ponoviti valuaciju drugim testom. Ako je točnost pak veća od 70%, smatra se da su pitanja bila prelagana. ⁽¹⁶⁾

Kolika je vrijednost ovakvog učenja, prosuđuju i sami studenti. Evo jednog primjera : ⁽¹⁴⁾

*"The Peer Instruction technique really coaxes you into internalizing the material much faster... You intuitively grasp things better if you have to explain it to someone else." - Eric, student(Harvard University) **

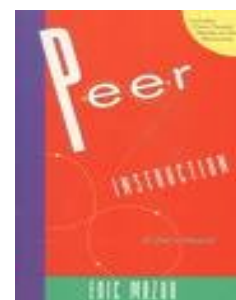
*PI metoda dovodi do bržeg razumijevanja problema... Intuitivno (neposredno) ćete bolje shvatiti "stvari" ako ih morate nekom objasniti. (prevela K. Prugovečki)

Najvažnije je zadovoljstvo koje izražavaju studenti usvajajući nova znanja *PI* metodom. Tako jedna od studentica kaže kako ova metoda daje *Ah-ha!* osjećaj, te dodaje: “Ovdje se ne radi o tome da mi netko jednostavno objasni, ispriča nešto, već to shvatim sama, a ako sam shvatila sad, onda ću to znati na ispitu, ali i dalje u životu.”(15)

Pokazalo se da nakon gotovo 20 godina poučavanja uz *Peer Instruction*, studenti bolje i lakše usvajaju nova znanja i to ne samo da kvantitativno bolje rješavaju dane probleme već ih i konceptualno bolje razumiju.(17)

Danas je *Peer Instruction (PI)* metoda uz *ILT (Interactive Learning Toolkit)* implementirana u Project Galileo, a uključujući sve više znanstvenih disciplina, donosi novine, lakoću i poboljšanja u usvajanju novih znanja. (14)

Primjere konceptualnih testova iz fizike Eric Mazur dao je u knjizi *Peer Instruction – A User's Manual - Conceptests (1997.)*, a neka od pitanja iz područja *titranja (Oscillations)* korištena su u izradi ovog konceptualnog testa.



Sl.3 *Peer Instruction*

3.3. The Wave Concept Inventory (WCI)

Konceptualni test o valovima, *The Wave Concept Inventory (WCI)*, osmislili su Ronald J. Roedel, Samir El-Ghazaly i Teri Reed Rhoads, profesori na *Arizona State University*, kako bi odredili razumijevanje fizikalnog fenomena – valova koje počinje s osnovnim znanjima iz fizike i gradi se do sveučilišnog stupnja.

Njihov se test sastoji od 20 pitanja, od kojih su neka s više točnih odgovora. Davanje više točnih odgovora zapravo ukazuje na bolje razumijevanje problema, što je prema Bloomovoj taksonomiji kognitivnog učenja prepoznato kao viši stupanj učenja. Tako će studenti s višim stupnjem razumijevanja pojedinog koncepta češće odabrati i prepoznati više točnih odgovora, dok oni koji biraju samo odgovore višeg stupnja zapravo ukazuju na nerazumijevanje danog koncepta na toj razini. (18),(19)

Pri izradi konceptualnog testa važno je osmisliti pitanja s više mogućih odgovora, ali prigodna za takav test. Naime, konceptualni test ne bi trebao zahtijevati od studenata da jednostavno “izvuku određene činjenice iz svoje memorije” i prepoznaju problem jer su to onda *pitanja znanja* kojima se kod studenata ne može procijeniti razumijevanje ključnih koncepata. Naprotiv, pitanja bi trebala obuhvatiti područja *razumijevanja* i *primjene* (prema Bloomovoj taksonomiji). *Razumijevanje* na primjer uključuje predviđanje ishoda pokusa ili kako će se mijenjanjem jedne varijable mijenjati

neka druga (pr. *Zd 12*). *Primjena* pak uključuje korištenje poznatih postupaka, pravila ili principa u rješavanju neke nove problemske situacije. (20)

Kako je iznimno teško otkriti miskoncepcije, priznaje i sam Mazur. Naime, neka pojava koju jedan fizičar smatra očitom i jasnom, može studentu početniku biti potpuno nejasna. Tako Mazur kaže kako sluša studente dok iznose pogrešne argumente o nekom problemu i s obzirom na to da zna točan odgovor, teško mu je shvatiti pogrešno razmišljanje. Dakle, on sve ovo mora “naučiti” od svojih studenata. (15),(16)

Za izradu ovog testa korišteni su dijelovi *WCI* testa sastavljenog na *The Department of Electrical Engineering, Arizona State University*, a kojim se nastojalo povezati dva kolegija: Uvod u zakonitosti električnih materijala (*Properties of electronic materials*) i Elektromagnetizam. Testom se nastojalo pokazati jesu li kroz ova dva kolegija studenti uspješno usvojili i valne fenomene implementirane u danim sadržajima (Maxwellove valne jednadžbe, širenje EM valova, fenomene iz područja fizikalne optike...). Uz to, korištena su i pitanja vezana uz titranja u konceptualnom testu *Peer Instructiona*.

Test je koncipiran tako da pokriva široko područje valova. Sadrži 30 pitanja vezanih uz titranja, opis valnog gibanja i valnu jednadžbu, valne pulseve i superpoziciju valova te fenomene fizikalne optike (lom svjetlosti, polarizaciju, difrakciju). Odabirom pitanja nastojalo se ciljano doći do mogućih miskoncepcija u ovom području ili potvrditi pretpostavke o njihovoj prisutnosti.

Primjeri u *Tablici 2* daju pojašnjenje važnosti zadataka s višestrukim odgovorima prema Bloomovoj taksonomiji. Ni u jednom od ova tri zadatka nije testirano činjenično znanje, već se želi provjeriti više stupnjeve učenja kod studenata, tj. ide se do “društveno prihvatljive kategorije” - primjene. Studenti koji daju samo odgovore iz razine razumijevanja, pokazuju niži stupanj razumijevanja i usvojenosti nekog koncepta.

<i>zadatak</i>	<i>znanje</i>	<i>razumijevanje</i>	<i>primjena</i>
12.		C) prepoznati, opisati	D) primijeniti
21.		D) objasniti, prepoznati	A) protumačiti
26.		B) prepoznati, objasniti	A) zaključiti, primijeniti

Tablica 2

4. Test i obrada testa

Za potrebe diplomskog rada, a u svrhu otkrivanja miskoncepcija u području fizike valova, testirane su dvije grupe studenata druge godine studija na fizičkom odsjeku PMF-a, i to 48 studenata sa smjera inženjer fizike i 28 studenata sa smjera profesor fizike. Isti su studenti i na prvoj godini studija testirani u području mehanike - FCI test (OF 1), te elektriciteta i magnetizma - CSEM test (OF 2). Analizom predtestova iz ovih područja fizike nastojalo se prepoznati njihove miskoncepcije te kroz kolegije poboljšati usvajanje novih znanja i koncepata, a što je nakon odslušanih kolegija i potvrđeno posttestovima.

Studenti su testirani na početku slušanja kolegija (OF 3), dakle njihovo je znanje vezano uz koncepte u fizici valova ono koje su dosad stekli kroz srednjoškolsko obrazovanje, te jedan dio istog sadržaja koji se dosad pojavljivao u dva prethodno odslušana kolegija (OF1 i OF2). Tako je i ovo testiranje važno kako bi se dobio uvid u usvojenost ovog fizikalnog fenomena, ali i prepoznale miskoncepcije u razumijevanju.

WCI test sadrži 30 pitanja višestrukog izbora s odgovorima od A) do F), takozvane MCQ (*multiple choice questions*) - pitanja u kojima je jedan od ponuđenih odgovora točan i MRQ (*multiple response questions*) - pitanja u kojima više ponuđenih odgovora može biti točno. Na obrascu za odgovore studenti označe svoju šifru i zacrne odgovore koje smatraju točnima.

4.1. Mjerne značajke pismenog testa

Neovisno o metodi, svako je ispitivanje odgojno-obrazovno mjerenje. Da bi dobiveni rezultati bili pouzdani i korisni, pismeni test (mjerni instrument) treba imati sljedeća svojstva:

- 1) **valjanost** – stupanj preciznosti kojom test uistinu mjeri ono što želimo izmjeriti
- 2) **relevantnost** – stupanj suglasnosti između pitanja u testu i nastavnih ciljeva
- 3) **pouzdanost** – ponovljivost (dosljednost) kojom test mjeri odabranu varijablu, a izražava se koeficijentom pouzdanosti (KR 20).
- 4) **objektivnost** – stupanj suglasnosti među kompetentnim stručnjacima o značenju rezultata

Sastavljeni WCI test s pitanjima višestrukog izbora odgovora (MCQ i MRQ) ima značajne prednosti pred ostalim vrstama pismenih testova (npr. test T/N, test s upisivanjem odgovora ili brojčanog iznosa):

- **bodovanje je jednostavno, precizno i objektivno**
- moguće je ispitivati **različite kognitivne razine znanja** – prema Bloomu su to : usvajanje činjenica, razumijevanje, primjena činjeničnog znanja, analiza, sinteza i evaluacija

- brza i **jednostavna statistička obrada** cjelokupnog testa, ali i pojedinih pitanja
- moguće je **učestalo testiranje**, što daje redovitu **povratnu informaciju** o uspješnosti studenata u svladavanju gradiva (upravo su to načini rada E.Mazura). (4)

4.2. Statistička analiza testa

Statistička analiza testa (*item analiza*) provodi se nakon očitavanja obrazaca pomoću optičkog čitača, a ima ulogu korekcije konačnih rezultata testa. Moguće je da se pronađu pitanja koja valja izbaciti, primjerice ona na koja gotovo svi ili nitko ne odgovara, jer su preteška ili prelagana. Prelagana su pitanja prihvatljiva ako se radi o dijagnostičkom testu (predtestu) ili se iz psiholoških razloga preporučuje da nekoliko prvih pitanja u testu bude lagano (0.9).

Kako su testovi pri obradi podijeljeni u dvije grupe (prof - 28 i ing - 48), dvije su i grupe statističkih podataka. Dobiveni su podaci o riješenosti testa u postocima, srednjim vrijednostima, devijacijama i standardnim devijacijama, te o pouzdanosti testa (KR20).

4.3. Pouzdanost testa (KR 20)

U statističkoj obradi testa važne veličine koje opisuju rezultate testa su: aritmetička sredina M , varijanca testa V_t i standardna devijacija σ . Izrazi (4.1), (4.2) i (4.3) opisuju navedene veličine.

M - **aritmetička sredina** je najčešća mjera središnje vrijednosti nekog skupa rezultata. Algebarska suma odstupanja pojedinačnih rezultata od aritmetičke sredine jednaka je nuli, tj. aritmetička sredina predstavlja težište rezultata.

$$M = \frac{\sum X_i}{N} \quad (4.1)$$

X_i – individualni rezultati u varijabli X
($i = 1, \dots, N$; $X = 0 - 30$)

N – broj rezultata u varijabli (broj studenata)

V_t - **varijanca testa** predstavlja mjeru raspršenja rezultata oko aritmetičke sredine, odnosno prosječnu kvadriranu udaljenost svih rezultata od aritmetičke sredine.

$$V_t = \frac{\sum (X_i - M)^2}{N} \quad (4.2)$$

X_i – individualni rezultati u varijabli X ($i = 1, \dots, N$)

M – aritmetička sredina u varijabli

N – broj rezultata u varijabli (broj studenata)

σ - standardna devijacija daje mjeru raspršenja, a predstavlja drugi korijen iz varijance.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - M)^2}{N}} \quad (4.3)$$

X_i – individualni rezultati u varijabli X ($i = 1, \dots, N$)
 M – aritmetička sredina u varijabli
 N – broj rezultata u varijabli (broj studenata)

Bitna statistička vrijednost koja omogućuje procjenu pouzdanosti testa sastavljenog od dihotomnih binarnih zadataka (zadaci u kojima ispitanik za točan odgovor dobiva 1 bod, a za netočan 0 bodova) je Kuder-Richardson formula 20 (KR 20), a ona uključuje poznavanje indeksa lakoće p i težine q svih zadataka, te varijancu bruto rezultata testa V_t . (21)

p - indeks lakoće zadatka (proporcija ispitanika koji su točno riješili zadatak)

$$p = \frac{fr_{točno}}{N} \quad (4.4)$$

N - broj rezultata u varijabli (broj studenata)
 $fr_{točno}$ - broj studenata koji su točno riješili zadatak

q - indeks težine zadatka (proporcija ispitanika koji nisu točno riješili zadatak)

$$q = \frac{fr_{netočno}}{N} \quad (4.5)$$

N - broj rezultata u varijabli (broj studenata)
 $fr_{netočno}$ - broj studenata koji su netočno riješili zadatak

U dihotomnim binarnim zadacima aritmetička sredina jednaka je proporciji ispitanika koji točno rješavaju zadatak, tj. $M = p$. Varijanca u takvim zadacima jednaka je umnošku proporcija ispitanika koji su točno i onih koji su netočno riješili zadatak, tj. $V = pq$, a standardna devijacija je ponovo drugi korijen varijance zadatka, tj. $\sigma = \sqrt{pq}$. Varijanca cijelog testa V_t je prosječna kvadrirana udaljenost svih rezultata od aritmetičke sredine (4.2).

Uvrštavanjem gore navedenih indeksa (4.4) i (4.5) u izraz (4.6) dobiva se KR20 vrijednost i procjenjuje pouzdanost testa.

$$r = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum p_i q_i}{V_t} \right)$$

r - koeficijent pouzdanosti mjerenja (KR20)
 k - broj zadataka (30)
 p_i, q_i - indeksi lakoće i težine
 V_t - varijanca cijelog testa

(4.6) Kuder-Richardson formula

Vrijednosti variraju od 0.00 do 1.00 (ponekad izražene vrijednostima od 0 do 100). Za dobivene vrijednosti 0.7 i više smatra se da je test dobar i pouzdan. To znači da bi test trebao biti ujednačen u različitim rokovima, tj. kad bi isti student pristupio testu s visokom ponovljivošću (KR20) postigao bi isti rezultat. KR20 ovisi o duljini testa i raste što je test obimniji.(22),(23)

U *Tablici 3* dana su bitna statistička obilježja ovog testa. Uz opće rezultate testa, statističke veličine (M , σ i V_t) i KR20, dane su i vrijednosti kvartila.

Kvartili dijele podatke u četiri jednakobrojne skupine. *Prvi kvartil* je broj od kojeg je 25% podataka manje ili njemu jednako. *Drugi kvartil* je *medijan*, tj. srednji podatak ako je broj podataka neparan, a aritmetička sredina dvaju srednjih ako je broj podataka paran. *Treći kvartil* je broj od kojeg je 75% podataka manje ili njemu jednako. (24)

<i>rezultati</i>	<i>ING (48)</i>	<i>PROF (28)</i>
ukupan broj bodova	30	30
maksimalan postignuti broj bodova	20	21
minimalan postignuti broj bodova	5	6
<i>statistika</i>		
srednji rezultat u postotku	41.60 %	45.95 %
aritmetička sredina - M	12.48	13.78
standardna devijacija - σ	3.86	3.67
varijanca cijelog testa - V_t	14.94	13.43
<i>kvartili</i>		
prvi kvartil (25)	10.00	10.50
drugi kvartil (medijan)	12.00	14.00
treći kvartil (75)	15.50	17.00
<i>pouzdanost testa</i>		
Kuder-Richardson formula 20	0.64	0.65

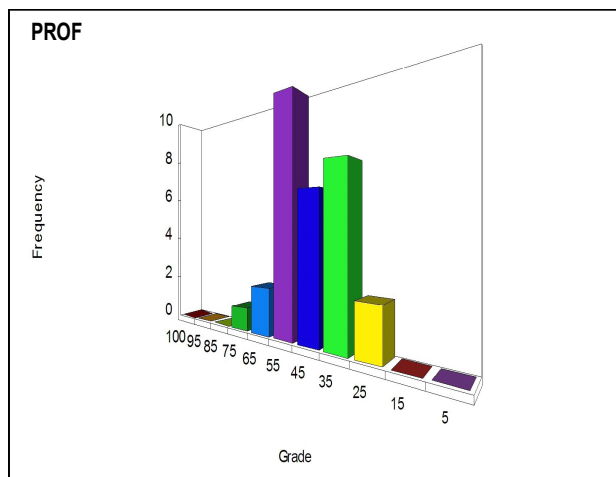
Tablica 3

Analiza pokazuje da su vrijednosti: rješenost testa u postotku, aritmetička sredina i standardna devijacija za obje grupe dosta slični. Nešto je veća raspršenost rezultata od aritmetičke sredine, varijanca cijelog testa (V_t), kod inženjera što je vidljivo dalje iz *Grafova 1* i *2* (5.1. Rezultati WCI testa). Standardna devijacija, koja je kod obje grupe manja od trećine aritmetičke sredine, ukazuje na homogenost grupa. Dobivena je vrijednost KR20 = **0.65**, što je blizu donje granice pouzdanosti testa (0.7), pa se **test** može smatrati **pouzdanim**, odnosno ponovnim testiranjem opravdano bi se očekovao isti rezultat.

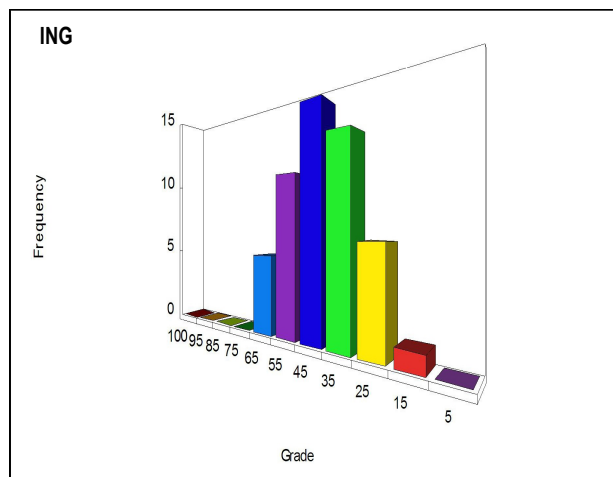
5. Analiza testa

5.1. Rezultati WCI testa

Analiza testa provedena je posebno za inženjerski, a posebno za profesorski smjer. Točnost riješenosti testa je **45.95%** (13.79/30) za profesore i **41.60%** (12.48/30) za inženjere.



Graf 1 – riješenost testa - PROF



Graf 2 – riješenost testa - ING

Raspon točne riješenosti testa kreće se od 16.67% do 66.77% (5/30 - 20/30 bodova) za inženjerski smjer, tj. od 20 % do 70% (6/30 – 21/30 bodova) za profesorski smjer. Grafički prikazi potvrđuju Gaussovu raspodjelu (nešto bolje izraženu kod inženjera), a riješenost testa je očekivano zadovoljavajuća. Važno je, a to je i cilj testiranja, da se s pomoću pojedinih zadatata prepoznaju problemi u usvajanju fizikalnih koncepata i u daljnjem radu oni smanje na što manju mjeru.

5.2 Analiza dobro riješenih zadataka

Studenti pokazuju bolje razumijevanje problema u zadacima vezanim uz dio gradiva koje su dosad slušali, pa su pitanja vezana uz mehanički opis vala (harmonijsko titranje i oscilator) riješena u boljem postotku.

Tako dobro opisuju titranje tijela (Zd. 1, 2, 3, 7, 8.), definiraju val (Zd. 9.), te prepoznaju valnu jednadžbu (Zd. 10. - ovdje se pokazalo da se studenti inženjerskog smjera bolje služe matematičkim alatom).

5.3 Analiza WCI testa po zadacima

5.3.1. Veza frekvencije, valne duljine i brzine širenja vala Problem kontrole varijabli

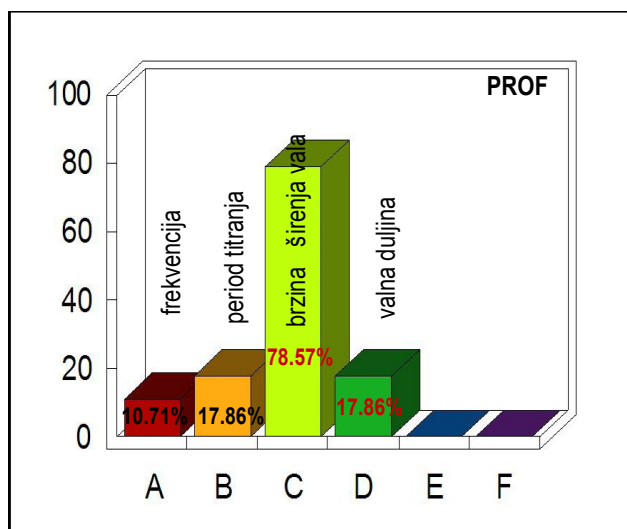
Zadatak 12: Dvije opruge, jedna deblja, a druga tanja, spojene su u jednu dugačku oprugu. Val putuje oprugom i prolazi točkom P u kojoj su opruge spojene. Koja(e) se od navedenih veličina mijenja(ju) u točki P? (f , T , v , λ)

Rezultati pokazuju kako studenti nisu najbolje usvojili zavisnosti veličina kojima je val opisan (frekvencija, period titranja, brzina širenja vala i valna duljina). Njih 54% (40/74) navodi samo jednu veličinu koja se mijenja ne prepoznajući zavisnost te veličine s drugom. (Primjer: Ako se mijenja valna duljina vala, dok je frekvencija stalna, nužno će se promijeniti i brzina širenja vala $v = \lambda \cdot f$, ili obrnuto mijenja li se brzina širenja vala, mora se promijeniti i valna duljina.)

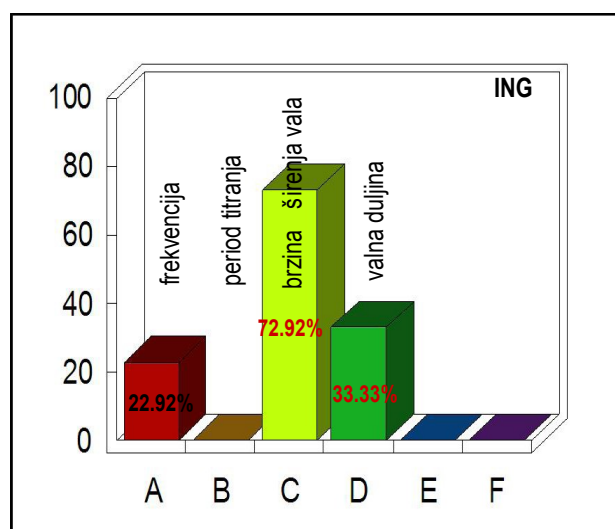
Samo je 20% svih studenata (20/74) dalo potpun odgovor i prepoznalo frekvenciju kao stalnu veličinu u danom primjeru, tj. prepoznalo postupak kontrole varijabli fizikalnih veličina. Čak 15% (11/74) studenata smatra da se mijenjanjem jedne veličine mijenjaju i sve ostale koje opisuju val.

U sličnom će broju studenti odgovoriti i na pitanje : **Koje se veličine mijenjaju ako zvuku koji putuje konačnom uskom cijevi promijenimo frekvenciju?** (odg: valna duljina i brzina širenja). Ovo zapravo znači da niti ovdje nije prepoznata konstantna veličina (valna duljina) određena dimenzijama cijevi, pa je ono što se uz frekvenciju mijenja samo brzina širenja vala.

Očekuje se da studenti dobro vladaju ovim naizgled vrlo jednostavnim konceptima, tim više što se s ovim područjem fizike susreću već u osnovnoj školi. No ovi rezultati upućuju na činjenicu kako nisu najbolje usvojili koncept vala, tj. fizikalnih veličina koje ga opisuju i kako je zapravo mnogima pojam valne duljine i frekvencije nejasan, apstraktan ili čak pogrešno shvaćen.



Graf 3 – rezultati Zd.12 – PROF

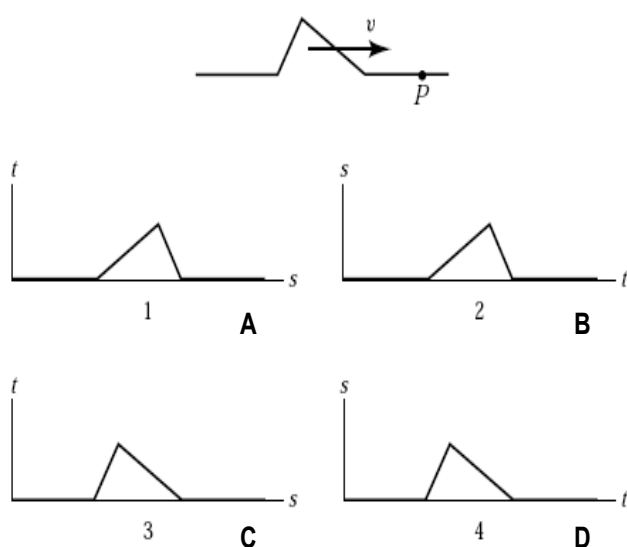


Graf 4 – rezultati Zd.12 - ING

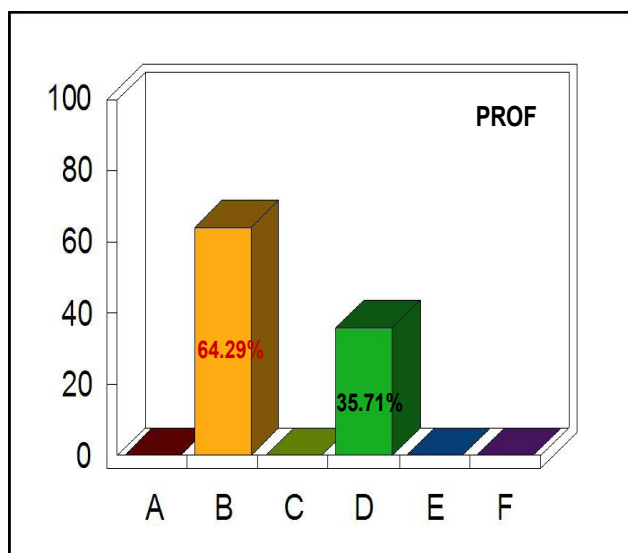
Kako su u *Zadatku 12* točna dva odgovora, C) i D), u grafičkom prikazu danih odgovora (*Graf 3* i *Graf 4*) suma postotaka veća je od 100%. Ono što je vidljivo iz grafova je da veliki broj studenata (više od 70% u svakoj grupi) navodi brzinu širenja vala kao veličinu koja se mijenja, no malo njih povezuje promjenu brzine vala s valnom duljinom (odgovor D) – manje od 20% kod profesora i oko 30% kod inženjera).

5.3.2. Ovisnosti pomaka s neke točke P i vremena t

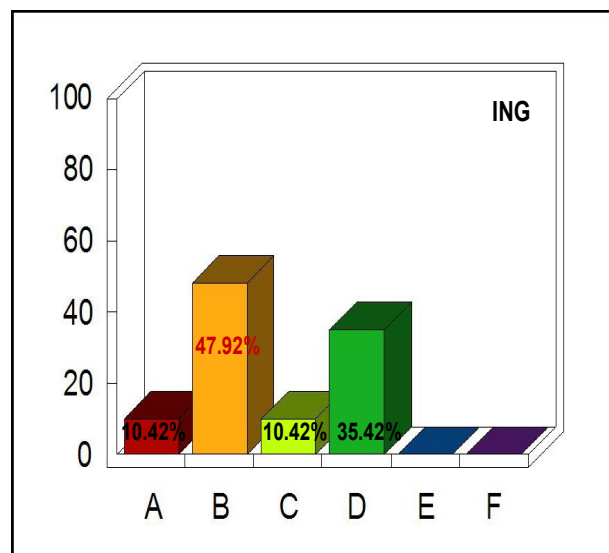
Zadatak 15 : Potrebno je odabrati graf koji opisuje odnos pomaka s točke P i vremena t .



Više se govori o harmonijskom titranju i nerijetko se pojam vala percipira kao sinusoida (simetričan oblik titranja) pa se često ne naglasi dovoljno kako se to stvarno čestice sredstva gibaju bez obzira na oblik pulsa. Uz to, pokazalo se kako studentima nije jednostavno prikazati neku fizikalnu situaciju grafički (osobito ovdje gdje se pojavljuju dvije nezavisne varijable).



Graf 5 – rezultati Zd..15 – PROF

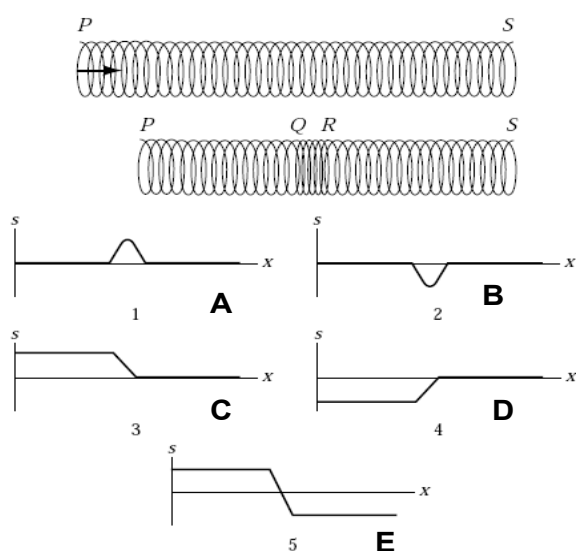


Graf 6 – rezultati Zd..15 - ING

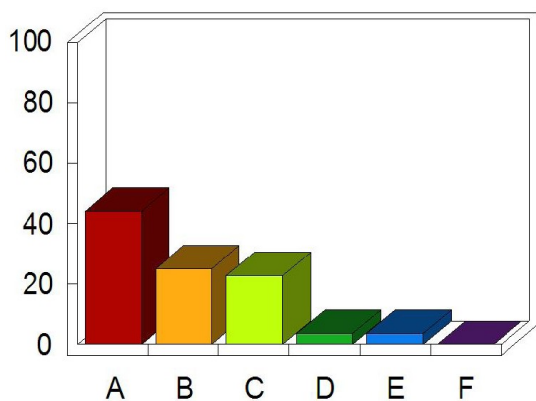
Gotovo 35% studenata odabralo je *Graf 4* (točan opis daje *Graf 2*). Dakle, čak 1/3 studenata ne može pratiti pomak točke uzrokovan neharmoničnim, nesimetričnim valnim pulsom. Deset od 48 studenata (20% ing.) biralo je grafove 1 ili 3 koji su t - s grafovi, što je možda rezultat brzopletosti, ali isto tako može upućivati na nedovoljno razumijevanje ovisnosti ovih veličina (u ovom je slučaju to velik problem s obzirom na to da je s - t graf prvi grafički prikaz gibanja tijela s kojim se studenti, tj. učenici susreću).

5.3.3. Ovisnost pomaka s i položaja x neke točke na opruzi

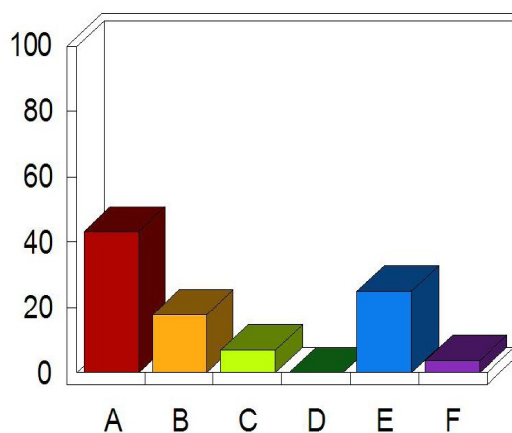
Zadatak 16: Potrebno je odabrati ovisnost između pomaka s i položaja x na nekoj točki na opruzi.



Slične su se pogreške pokazale ovdje kao i u *Zadatku 15*. Manje od 20% studenata dalo je točan odgovor (graf 3), dok njih 43% smatra točnim graf 1, a čak 25% (ing.), tj. 18% (prof.) graf 2. Ovdje se pojavljuje problem nerazlikovanja valnog pulsa (paketa) i kontinuiranog vala (transverzalnog ili longitudinalnog). Naime kod valnih je paketa valno gibanje lokalizirano, tj. ograničeno na određeni dio prostora Δx , a čestice elastičnog sredstva izvan tog prostora miruju.



Graf 7 – rezultati Zd..16 - PROF



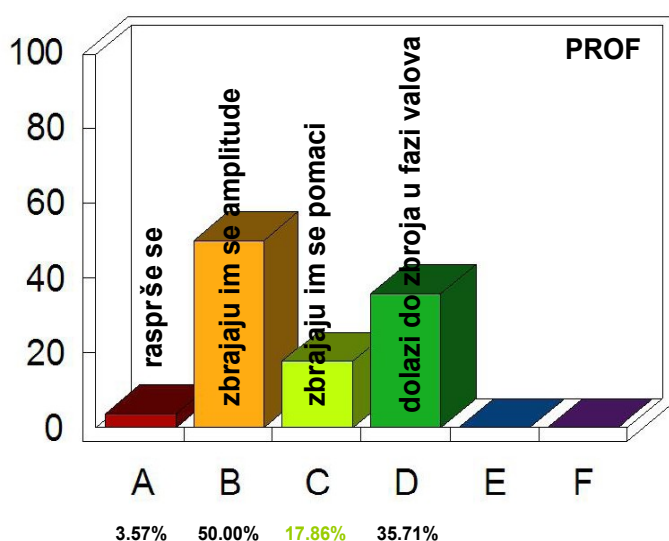
Graf 8 – rezultati Zd.16 - ING

Veliki postotak odgovora A) i B) (*Graf 7 i Graf 8*) potvrđuje nerazumijevanje matematičkog opisa vala i poistovjećivanje svakog oblika valnog gibanja sa sinusoidom ili s jednim njenim dijelom.

5.3.4 Superpozicija valova

Zadatak 17 Što će se dogoditi kad se dva zvučna vala sretnu?

Samo je 18 % studenata dalo ovdje točan odgovor. Velik broj odgovora B) (25 % kod inženjera i 50 % kod profesora), upućuje na to da studenti poistovjećuju pomak i amplitudu vala zaboravljajući pritom da nema bilo koja čestica sredstva u svakom trenutku maksimalan pomak ($y(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$).



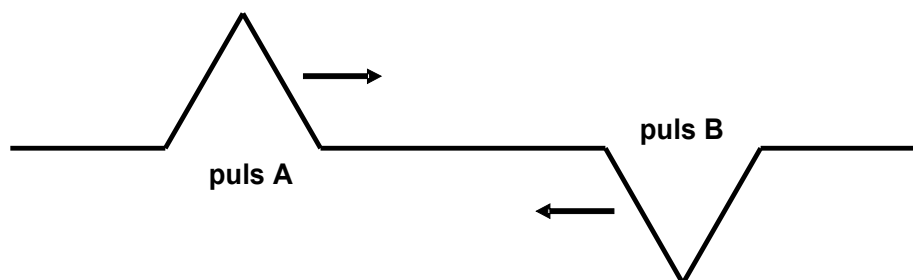
Graf 9 – rezultati Zd..17 -PROF

35% studenata bira i odgovor D). Očito je da studenti nisu najbolje usvojili pojam *faze vala*, te pojmove *dva su vala u fazi ili protufazi* kada dolazi do konstruktivne, odnosno destruktivne interferencije pri čemu se zbrajaju pomaci valova, a ne faze.

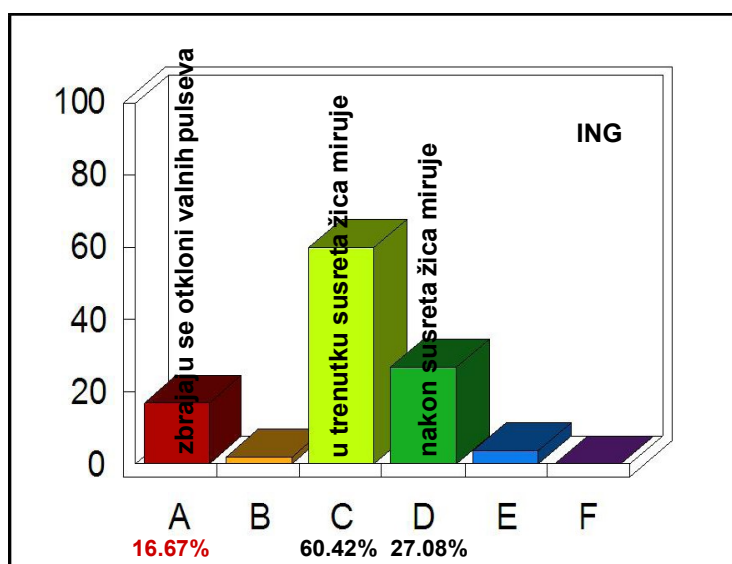
Ovdje je dan samo jedan graf riješenosti zadatka, jer su rezultati obiju grupa vrlo slični.

Zadatak 18: Dva se simetrična valna pulsa suprotnih orijentacija šire žicom napredujući jedan prema drugome. Što je od navedenog točno?

- A) u trenutku susreta, a i nakon toga, zbrajaju se otkloni valnih pulseva
- B) pri susretu nastaje veći trokutasti puls
- C) u trenutku susreta žica miruje
- D) nakon susreta žica ostaje mirovati
- E) pulsevi će se odbiti jedan od drugog i vratiti istim putem natrag



Ponovno ovdje nije prepoznat neharmonijski valni puls i superpozicija valova. Velika je razlika u odgovorima u *Zd. 18* i *19* kod profesora. Naime njih svega 17.86% navodi da se pri susretu valova zvuka zbrajaju njihovi pomaci, dok u primjeru suprotnih i simetričnih valnih pulseva čak 53.57% njih daje točan odgovor. Može se zaključiti da znatan broj studenata ne uočava sličnost neharmonijskog valnog pulsa i kontinuiranog vala. (Sličan primjer dan je u **2.3.** o konceptu širenja valova zvuka.) Uz to pokazalo se kako studenti češće razmišljaju “lokalno” nego u skladu sa zakonima mehanike (odgovor D).



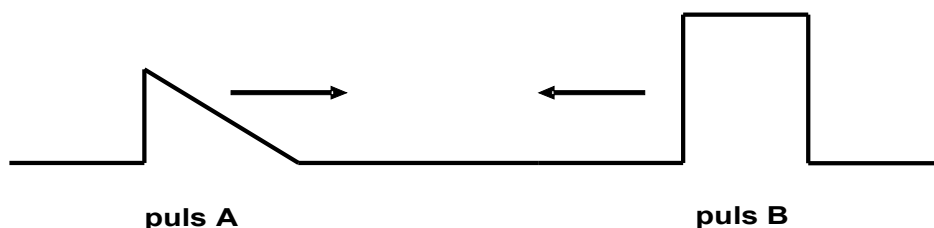
Graf 10 – rezultati *Zd.18* – ING

Više od 60% studenata smatra da će žica pri susretu pulseva mirovati, čak njih 27% (ing) smatra da će mirovati i nakon susreta. Čini se da je rezultat ovih odgovora pogrešno usvojen koncept stojnih valova.

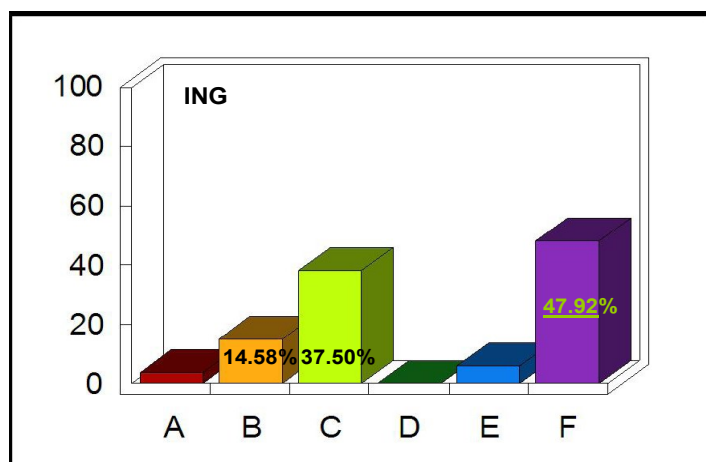
Iako ovaj primjer, i sličan u *Zd.19*, nisu realni (ovakav se “oštar” oblik valnog pulsa ne može stvarno širiti žicom ili užetom), njime se zapravo lakše usvajaju pravila u stvarnom primjeru superpozicije.

Zadatak 19: Što od navedenog je točno?

- A) pri susretu nastaje puls pravokutnog oblika
- B) pri susretu nastaje puls trokutastog oblika
- C) nakon susreta novi se oblik pulsa nastavlja širiti u smjeru početnog pulsa B jer je njegova maksimalna amplituda veća
- D) pulsevi će se odbiti jedan od drugoga i vratiti natrag istim putem
- E) nakon susreta ne mijenja se oblik pulseva A i B, ali im se smanjuje brzina
- F) oblik i brzina pulseva A i B jednaki su prije i nakon susreta



U ovom je zadatku nesrazmjer među rezultatima najveći. Naime, 85.71% studenata profesorskog smjera dalo je točan odgovor, dok je kod inženjera točno odgovorilo njih 48%. Zanimljivo je da njih 37.5% smatra da će se novi puls širiti u smjeru pulsa B zbog veće amplitude vala, što ponovo potvrđuje nerazumijevanje superpozicije valnih pulseva.



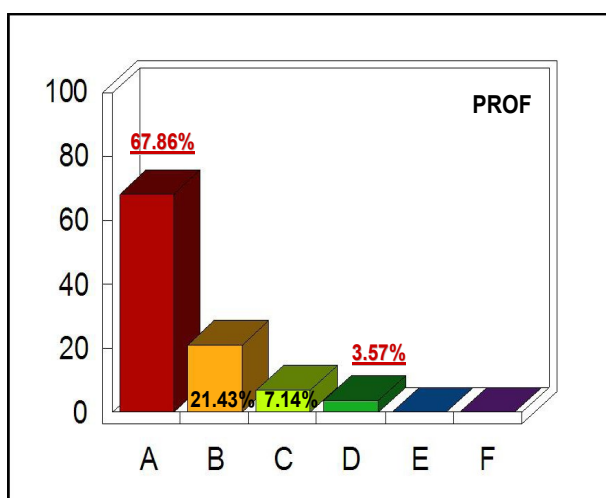
Graf 11 - rezultati Zd. 19 - ING

Koliko je koncept superpozicije nerazumljiv studentima potvrdilo se iz ovih zadataka (Zd 17, 18 i 19). I kad se čini da je koncept dobro usvojen, kroz sličan se problem ponovno prepoznaje njegovo nepotpuno razumijevanje.

5.3.5. Stojni valovi

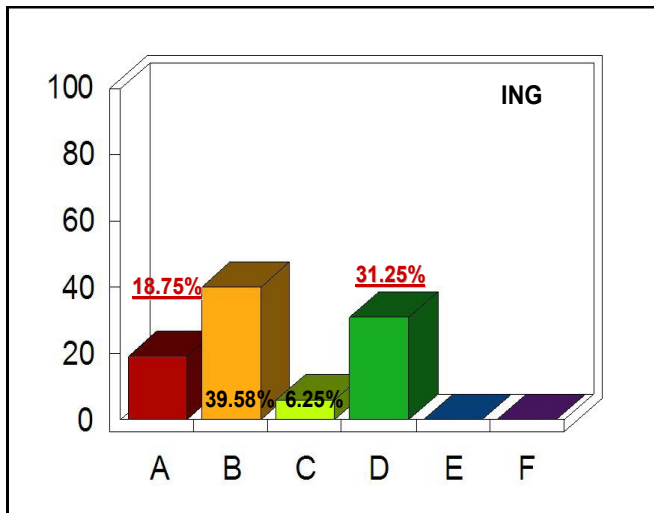
Zadatak 21: U mnogim fizikalnim sistemima pojavljuju se takozvani stojni valovi. Što od navedenog objašnjava naziv "stojni" val?

- A) takvi valovi nastaju superpozicijom dvaju valova koji se šire sredstvom
- B) fazna brzina im je nula
- C) šire se bez raspršenja
- D) grupna brzina im je nula



Graf 12 – rezultati Zd. 21 -PROF

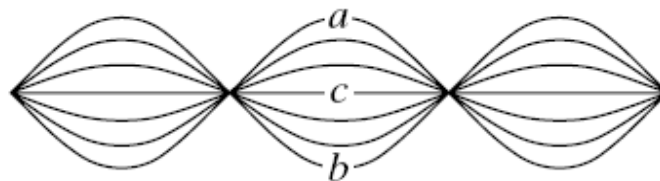
67.86% profesora pokazuje danim odgovorom A) da su dobro usvojili koncept superpozicije valova (što se pokazalo i kroz Zd. 17, 18 i 19), no njih samo 3.57% (jedan student) daje i odgovor D). Tako možemo zaključiti da i ovdje ponovno izostaje viši stupanj razumijevanja ovog koncepta.



Kod inženjera je pokazano nerazumijevanje pojmova fazne brzine (brzine titranja čestice sredstva) i grupne brzine (brzine širenja vala sredstvom). Gotovo 40% studenata smatra da je fazna brzina stojnih valova jednaka nuli.

Graf 13 - rezultati Zd.21 – ING

Zadatak 22: Opruga, učvršćena na oba kraja, titra tako da nastaju stojni valovi maksimalnih otklona a i b . Kad je opruga u položaju c , trenutna brzina točaka duž opruge je:



- A) svugdje jednaka nuli
- B) svugdje pozitivna
- C) svugdje negativna
- D) ovisi o položaju

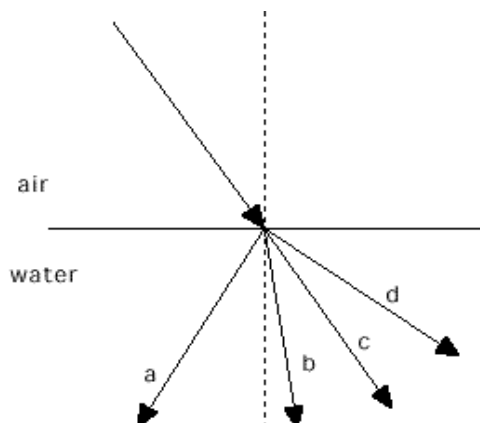
Greška u poimanju stojnih valova te fazne i grupne brzine pokazuje se i ovdje. Oko 30 % studenata smatra kako je u stojnom valu trenutna brzina točaka duž opruge svugdje jednaka nuli.

5.3.6. Svjetlost

Zadatak 25 Lom svjetlosti

Monokromatska zraka svjetlosti iz zraka upada na površinu vode pod kutom prikazanim na slici. Koja od zraka prikazuje put zrake u vodi ?

- A) zraka a
- B) zraka b
- C) zraka c
- D) zraka d



Ovo se pitanje čini vrlo trivijalno i očekivalo se više točnih odgovora (ponovno: ovo je dio fizike s kojim se učenici susreću već u osnovnoj školi). No gotovo 28 % studenata čini se nije usvojilo koncept loma svjetlosti (promjena brzine ovisno o sredstvu kojim se svjetlost širi) i ne daje točan odgovor. Usporedimo li ovo s rezultatima *Zd. 28*, ne iznenađuje da više od 30 % (ing.), tj. 60 % (prof.) studenata ne prepoznaje interferenciju na linearnoj pukotini.

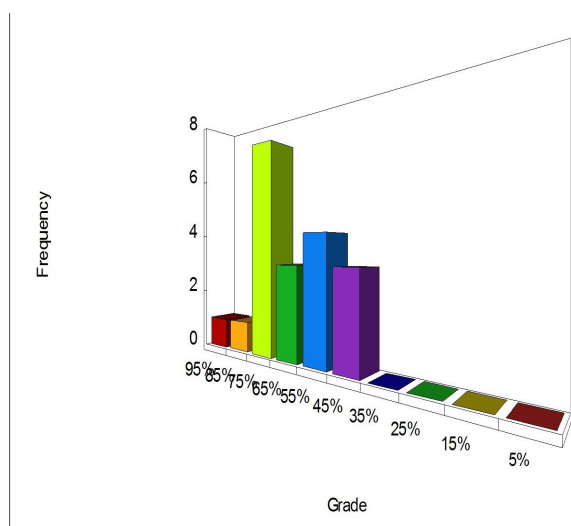
5.4. Zaključak analize zadataka

Kroz analizu odabranih zadataka, otkrivaju se poteškoće u usvajanju koncepata vezanih uz valove, a koje sežu i u druge grane fizike (mehanika, elektricitet ...). Čini se da dosta studenata ima problema s razumijevanjem osnovnih koncepata vezanih uz valove (karakteristične veličine koje opisuju valno gibanje i njihove zavisnosti, opis vala i valna jednadžba, te specifične slučajeve valnih fenomena – superpozicija valova i stojni valovi, lom, difrakcija, interferencija...). Koncepte vezane uz opis titranja, harmonijskog oscilatora studenti su bolje usvojili i potvrdili to kroz do sad odslušane kolegije. Tako je za očekivati da će i miskoncepcije otkrivene ovim testom dalje kroz nastavu biti razjašnjene i zamijenjene konceptima.

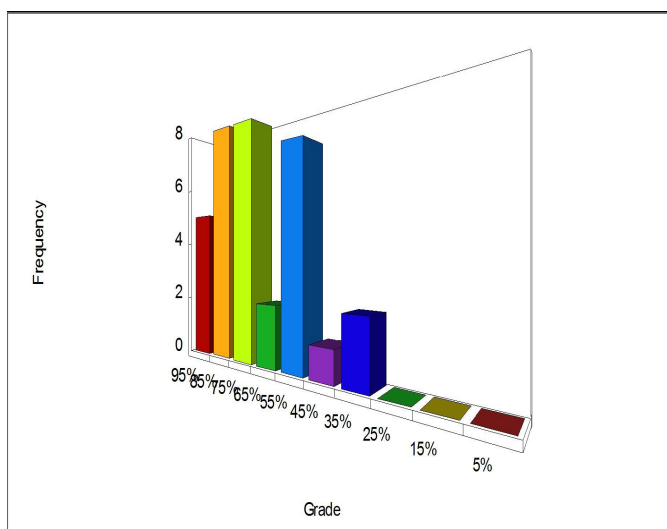
6. Usporedba rezultata konceptualnog testa iz valova s FCI i CSEM testovima

Usporede li se rezultati predtesta i posttesta, npr. CSEM testa kod inženjera, pokazuje se da studenti koji su ostvarili dobre rezultate u predtestu (od 55% pa čak do 95%) ponavljaju dobre rezultate i u posttestu (85-95%). Dakle kod tih studenata, a njih je oko 1/5, stupanj razumijevanja i usvojenost koncepata su jako dobri. Studenti koji su pak ostvarili loše rezultate u predtestu, najčešće nisu niti pristupali posttestu.

Analizirajući rezultate FCI i CSEM posttestova kod grupe profesora, dolazi se do podatka da studenti koji su ostvarili dobre rezultate u FCI posttestu, ponavljaju uspješnost i u CSEM posttestu. Od 19 studenata testiranih FCI posttestom i 32 CSEM posttestom, njih je 9 najboljih ostvarilo podjednako dobre rezultate u oba testa. To upućuje na zaključak da su jednom dobro izgrađeni koncepti u elementarnim područjima fizike trajni te da je tada, uz izdvojene eventualne miskoncepcije, studentima lako usvajati nove koncepte.



Graf 14 - rezultati CSEM posttesta – PROF
(srednja vrijednost = 66.94%)



Graf 15 - rezultati FCI posttesta - PROF
(srednja vrijednost = 71.41%)

Grafovi 14 i 15 također potvrđuju sličnost u rezultatima FCI i CSEM posttestova. Riješenost za FCI bila je 71.41%, a za CSEM 66.94%, što su dosta bliske vrijednosti.

Gore navedeni rezultati mogu se usporediti i s rezultatima provedenog WCI testa, mada on nije kreiran kao predtest, s obzirom na to da se pretpostavlja kako je znanje studenata na ovom stupnju obrazovanja već znatno obogaćeno i prošireno novim sadržajima. Srednja vrijednost riješenosti testa za profesorski smjer je 45.95%, što bi više odgovaralo rezultatima predtesta. Moguće je da su odabrana pitanja ipak bila malo preteška i da su se od studenata očekivali nešto bolji rezultati. No iz rezultata je vidljivo da su i ovaj put studenti koji su i prethodne testove dobro riješili, ostvarili najbolje rezultate (kod inženjera je to ponovno 1/5 studenata).

Zaključak

Možda će se naizgled činiti da je ovaj test kap u moru sličnih (do sad primijenjenih, ali i onih koji slijede) iz raznih područja fizike i znanosti općenito, no on zasigurno ima svoju vrijednost.

Testom je prije svega pokazano kako testirani studenti nisu nimalo zakinuti načinom, metodama i kvalitetom poučavanja na našim sveučilištima, a što su oni i potvrdili zavidnim znanjem. Uz to, test je ocijenjen kao pouzdan, pa će se kao takav moći koristiti u daljnjem praćenju usvojenosti koncepata iz ovog područja.

Ono što je isto tako važno, a što je i cilj ovog rada, je da su prepoznate i potvrđene miskoncepcije u osnovnim područjima fizike valova, te da će se dalje kroz nastavu one moći razjasniti i zamijeniti konceptima. Ovakva su testiranja vrlo stimulirajuća za veliku većinu studenata; mogu pratiti svoje osobno napredovanje i usporediti svoju uspješnost s ostalim kolegama, što itekako može biti važan psihološki faktor motiviranosti za usvajanje novih znanja.

Konstruktivističkim pristupom u nastavi, te velikim angažmanom i uvažavanjem studenata sve se više demistificira i popularizira fizika kao znanost, a tako onda i upliće u sve sfere današnjeg modernog, tehničkog društva.

Literatura :

- (1*) Bloom, B.S.(Ed.) (1956) : Taxonomy of educational objectives: The clasification of the educational goals: Handbook I
- (2*) Platon (Zagreb,1975.) : Sofist - predgovor Branka Bošnjaka
- (3*) Mazur, E. (Pearson Prentice Hall,1997.) : Peer Instruction-A User´s Manual-Conceptests
- (4*) Paić, M. (SNL, 1991.) : Osnove fizike IV : Svjetlost, holografija, laseri
- (5*) Paar, V. (ŠK, 2009.) : Fizika 3
- (6*) Hrupec, Godinić, Takač (Neodidacta,2008.) : Temelji fizike 3
- (7*) Krsnik, Mikuličić (ŠK,1995.) : Fizika 3
- (8*) Planinić, Poljak (ŠK, 2008.) : Zbirka zadataka iz mehanike

Internetske stranice:

- (1) <http://calteach-ucsc.edu>
- (2) <http://nastava.hfd.hr>
- (3) <http://www.azoo.hr>
- (4) <http://www.carnet.hr>
- (5) <https://www.ffri.hr>
- (6) http://www.wyp2005.hr/ljepota_fizike
- (7) <http://phys.udallas.edu>
- (8) <http://www.aip.org>
- (9) <http://baldufa.upc.edu>
- (10)<http://mazur-www.harvard.edu/emdetails.php>
- (11)<http://sitedown.aaas.org>
- (12)<http://www.pitt-edu/~chi>
- (13)<http://magazine.mines.edu>
- (14)<http://galileo.harvard.edu>
- (15)<http://www.columbia.edu>
- (16)<http://serc.carleton.edu>
- (17)<http://scitation.aip.edu>
- (18)<http://citeseerx.ist.psu.edu>
- (19)<http://fie.conference.org>
- (20)<http://www.physics.umd.edu>
- (21)<http://en.wikipedia.org>
- (22)<http://cpi.ffzg.hr>
- (23)<http://cms.mef.hr>
- (24)<http://www.vef.hr>

Dodatak : Konceptualni test iz valova (18),(19),(3*),(4*),(5*),(6*),(7*),(8*)

- Što je potrebno da bi tijelo bez prisile moglo titrati?
 - stabilna ravnoteža
 - malo ili nimalo trenja u odnosu na ostale sile u sustavu
 - poremećaj iz stanja ravnoteže
 - sve navedeno od A) do C)

- Tijelo je u ravnoteži kad su ukupna sila i ukupan zakretni moment na njega jednaki nuli. Koja je od sljedećih tvrdnji točna za tijelo u inercijalnom sustavu?
 - Svako tijelo u ravnoteži miruje ili se giba stalnom brzinom.
 - Tijelo u ravnoteži ne mora mirovati.
 - Tijelo koje miruje mora biti u ravnoteži.

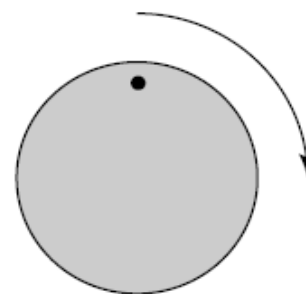
- Tijelo može titrati oko:
 - bilo koje ravnotežne točke
 - bilo koje točke stabilne ravnoteže
 - nekih točaka stabilne ravnoteže
 - bilo koje točke ako sile koje na nju djeluju zadovoljavaju Hookeov zakon
 - bilo koje točke

- Tijelo miruje ovješeno na elastičnoj opruzi, a zatim ga se izvuče iz tog položaja prema dolje. Pritom suma elastične potencijalne energije opruge i gravitacijske potencijalne energije između tijela i Zemlje:
 - poraste
 - ostaje ista
 - smanjuje se

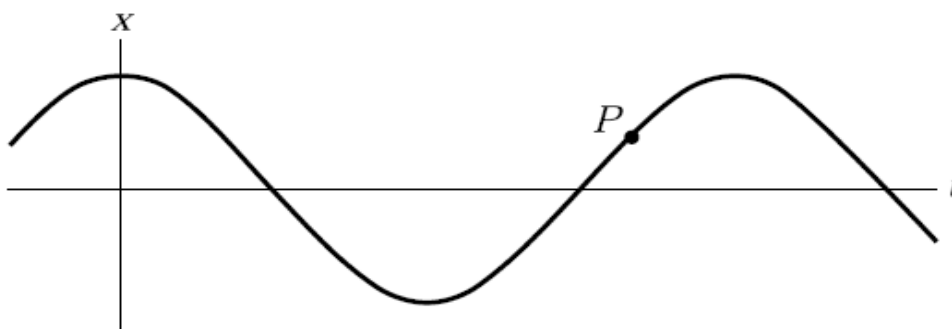
- Dječak se ljulja na ljuljački. Kada sjedi mirno na ljuljački, ona titra naprijed-natrag svojom osnovnom frekvencijom. Ako dvojica dječaka sjednu na ljuljačku, osnovna frekvencija ljuljačke će:
 - porasti
 - ostati ista
 - se smanjiti

6. Disk na slici rotira u smjeru kazaljke na satu s 29 okretaja u sekundi. Disk snima kamera koja snimi 30 fotografija u sekundi. U usporedbi sa stvarnim gibanjem diska, crna točka na filmu izgleda kao da se giba :

- A) u smjeru kazaljke na satu i vrlo sporo
- B) obrnuto od smjera kazaljke na satu i vrlo sporo
- C) u smjeru kazaljke na satu i vrlo brzo
- D) obrnuto od smjera kazaljke na satu i vrlo brzo
- E) nasumce



7. Tijelo učvršćeno na kraju opruge titra naprijed-natrag. Slika prikazuje ovisnost položaja tijela (x) i vremena (t). U točki P tijelo ima :



- A) pozitivnu brzinu i pozitivnu akceleraciju
 - B) pozitivnu brzinu i negativnu akceleraciju
 - C) pozitivnu brzinu i akceleraciju jednaku nula
 - D) negativnu brzinu i pozitivnu akceleraciju
 - E) negativnu brzinu i negativnu akceleraciju
 - F) brzinu jednaku nula, ali ubrzava (pozitivno ili negativno)
8. Iznad ulaza u restoran montiran je red jednako raspoređenih žarulja. Počevši od lijevog kraja, svaka se žaruljica redom pali u razmacima od pola sekunde tako da izgleda kao da se upaljena žarulja miče slijeva nadesno. Kad micanje upaljene žarulje dosegne desnu stranu, gibanje promijeni smjer. Je li takvo "gibanje" jednostavno harmoničko ?
- A) Da, jer se jednaki događaji odvijaju u jednakim vremenskim razmacima.
 - B) Da, jer je brzina "gibanja" stalna.
 - C) Ne, jer je brzina "gibanja" stalna.
 - D) Ne, jer nema povratne sile.
 - E) Da, jer ovakav sustav ima položaj ravnoteže.

9. Val možemo definirati kao:

- A) širenje periodičkog poremećaja koji prenosi materiju kroz prostor i vrijeme
- B) širenje neperiodičkog poremećaja koji prenosi materiju kroz prostor i vrijeme
- C) isčezavajući periodički poremećaj kojim se prenosi elektromagnetska energija kroz prostor i vrijeme
- D) širenje periodičkog poremećaja koji prenosi energiju i određenu količinu gibanja kroz prostor i vrijeme

10. Matematički model valnog gibanja dan je takozvanom valnom jednačkom.

Koju od sljedećih jednački prepoznajete kao klasični val? (Y, K, P konstante; x, t položaj i vrijeme; u poremećaj)?

$$(a) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = K^2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$(b) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = Y^2 \frac{\partial u}{\partial t} + K^2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$(c) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = Y^2 \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$(d) \frac{\partial u}{\partial x} = P^2 \frac{\partial u}{\partial t}$$

11. x -komponenta elektromagnetskog progresivnog vala opisana je izrazom:

$$E_x(x, y, z, t) = E_0 \exp[i(\alpha x + \beta y + \gamma z - \omega t)]$$

Ovakav se val naziva ravni val jer:

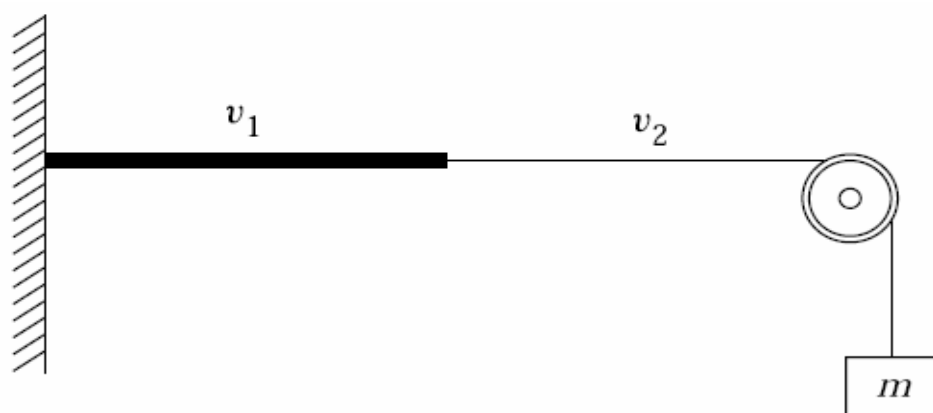
- A) ovo je najjednostavniji matematički opis progresivnog vala
- B) radi se o valu stalne amplitude
- C) površina, na kojoj je faza vala konstanta, je ravnina
- D) smjer pomaka okomit je na smjer širenja vala

12. Dvije opruge, jedna deblja, a druga tanja, spojene su u jednu dugačku oprugu.

Val putuje oprugom i prolazi točkom P u kojoj su opruge spojene. Koja(e) se od navedenih veličina mijenja(ju) u točki P:

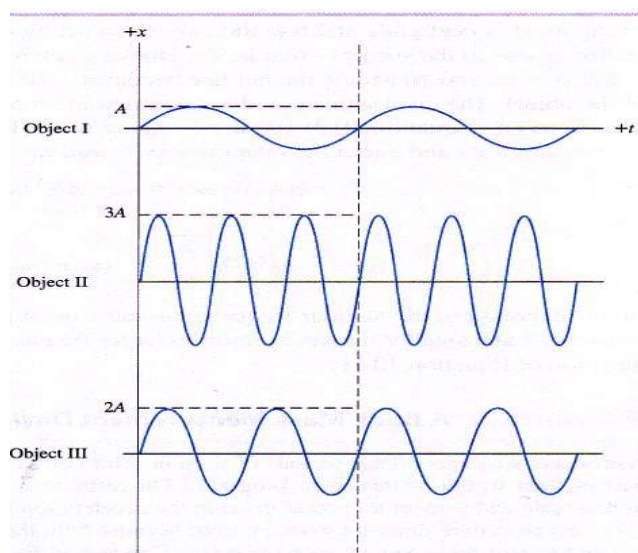
- A) frekvencija
- B) period titranja
- C) brzina širenja vala
- D) valna duljina

13. Masa obješena preko kolotura vezana je za žicu načinjenu od dva dijela, ali od jednakog materijala. Promjer deblje žice četiri je puta veći od promjera tanje. Trzanjem žice širi se puls brzinom v_1 kroz deblji dio i brzinom v_2 kroz tanji. Koliko je v_1 / v_2 ?



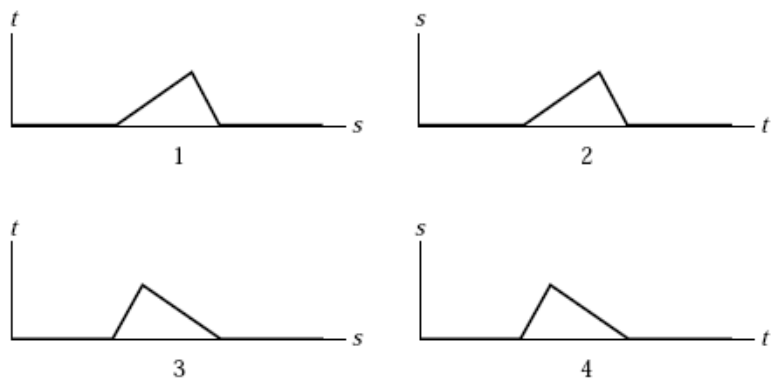
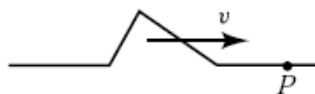
- A) 1
 B) 2
 C) $1/2$
 D) $1/4$

14. Svaki crtež predstavlja graf pomak-vrijeme za neko tijelo. Koje tijelo ima najveću maksimalnu brzinu?



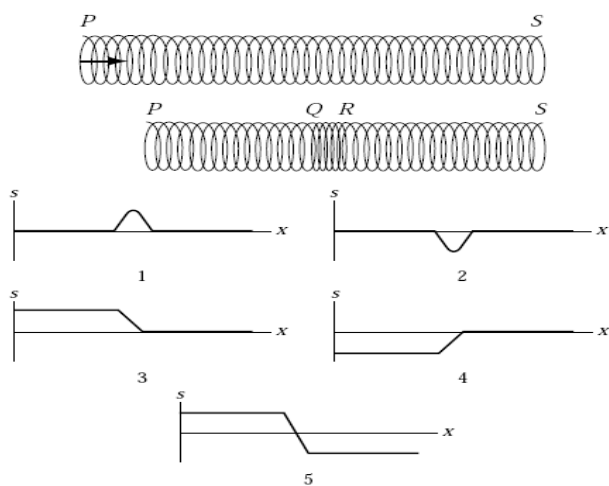
- A) tijelo I
 B) tijelo II
 C) tijelo III
 D) maksimalne brzine su im jednake

15. Slika prikazuje širenje vala kroz uže stalnom brznom v . Koji od donjih grafova (od 1 do 4) opisuje odnos pomaka s i vremena t ?



- A) graf 1
 B) graf 2
 C) graf 3
 D) graf 4

16. Val se brzo širi dugačkom oprugom slijeva nadesno (iz točke P u točku S). Slika prikazuje valni poremećaj na QR dijelu opruge. Koji od grafova (od 1 do 5) prikazuje odnos između pomaka s i položaja x na nekoj točki na opruzi? (Pomaci udesno su pozitivni.)

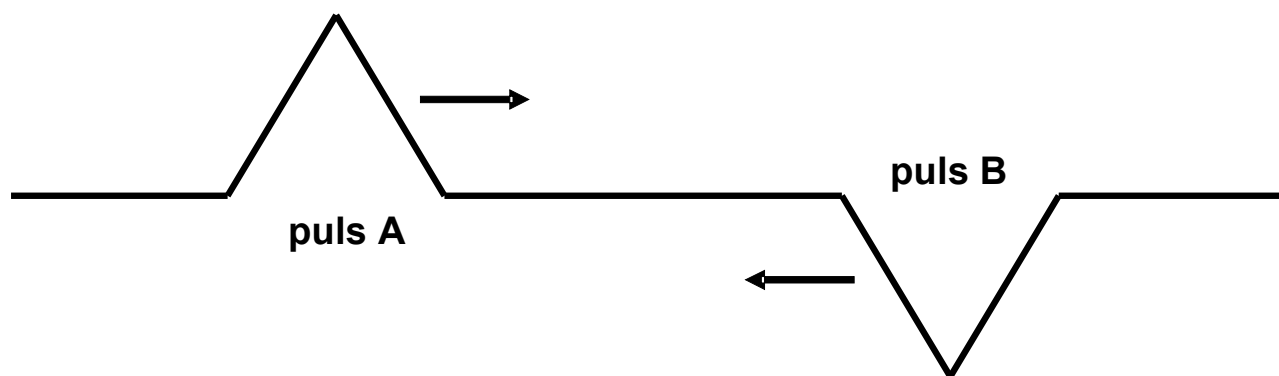


- A) graf 1
 B) graf 2
 C) graf 3
 D) graf 4
 E) graf 5

17. Pretpostavimo da se dva različita zvučna vala susretnu u isto vrijeme na istome mjestu u prostoru. Što će se dogoditi?

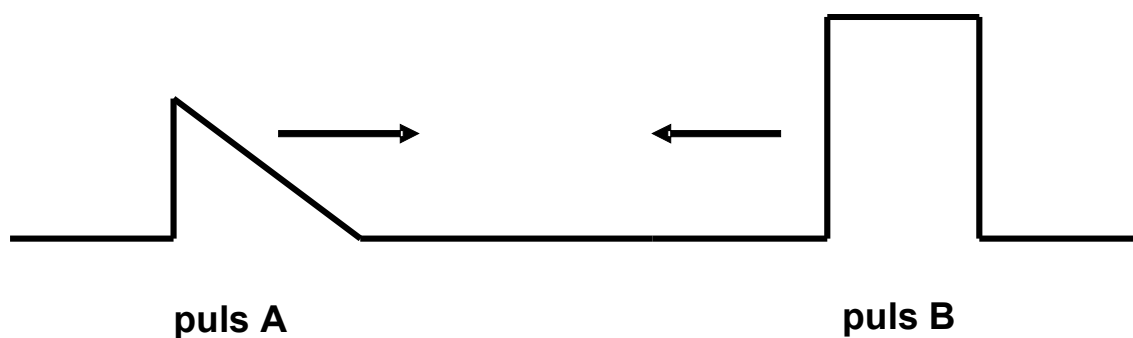
- A) Raspršit će se i nakon toga širiti u različitim smjerovima.
- B) Amplitude im se zbrajaju.
- C) Pomaci im se zbrajaju.
- D) Dolazi do zbroja u fazi valova.

18. Dva se simetrična valna pulsa suprotnih orijentacija šire žicom napredujući jedan prema drugome. Što je od navedenog točno?



- A) U trenutku susreta, a i nakon toga, zbrajaju se otkloni valnih pulseva.
- B) Pri susretu nastaje veći trokutasti puls.
- C) U trenutku susreta žica miruje.
- D) Nakon susreta žica ostaje mirovati.
- E) Pulsevi će se odbiti jedan od drugog i vratiti istim putem natrag.

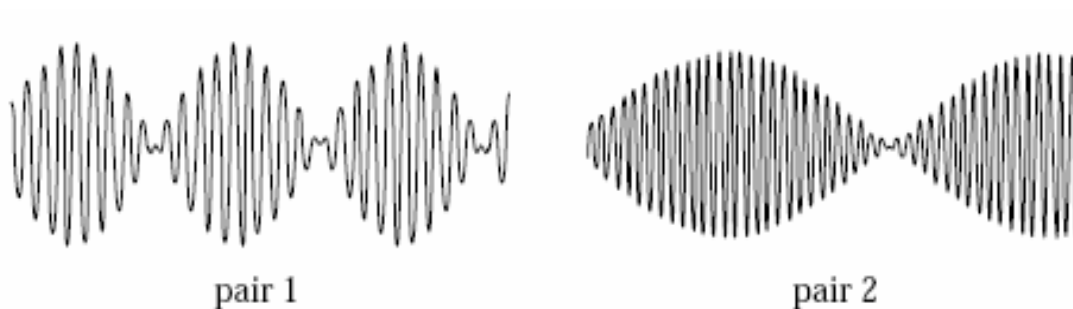
19. Dva valna pulsa A i B napreduju jedan prema drugome i susretnu se nakon nekog vremena.



Što je od navedenog točno?

- A) Pri susretu nastaje puls pravokutnog oblika.
- B) Pri susretu nastaje puls trokutastog oblika.
- C) Nakon susreta novi se oblik pulsa nastavlja širiti u smjeru početnog pulsa B jer je njegova maksimalna amplituda veća.
- D) Pulsevi će se odbiti jedan od drugoga i vratiti natrag istim putem.
- E) Nakon susreta ne mijenja se oblik pulseva A i B, ali im se smanjuje brzina.
- F) Oblik i brzina pulseva A i B jednaki su prije i nakon susreta.

20. Slike prikazuju udare koji nastaju superpozicijom dvaju različitih parova valova. Za koji je od parova valova razlika u frekvenciji veća?

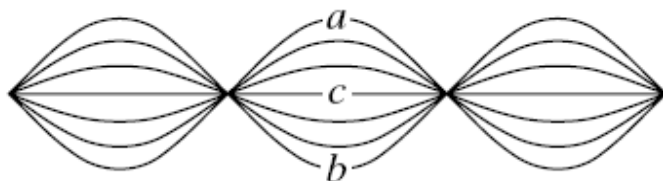


- A) par 1
- B) par 2
- C) razlika u frekvenciji valova jednaka je za oba para
- D) potrebno je više podataka o valovima

21. U mnogim fizikalnim sustavima pojavljuju se takozvani stojni valovi. Što od navedenog objašnjava naziv "stojni" val?

- A) Takvi valovi nastaju superpozicijom dvaju valova koji se šire sredstvom.
- B) Fazna brzina im je nula.
- C) Šire se bez raspršenja.
- D) Grupna brzina im je nula.

22. Opruga, učvršćena na oba kraja, titra tako da nastaju stojni valovi maksimalnih otklona a i b . Kad je opruga u položaju c , trenutna brzina točkaca duž opruge je:



- A) svugdje jednaka nuli
- B) svugdje pozitivna
- C) svugdje negativna
- D) ovisi o položaju

23. Trzajem žice gitare nastaje zvučni val. Takav val sadrži spektar sastavljen od tona samo osnovne frekvencije f i viših harmonika. Razlog tome je:

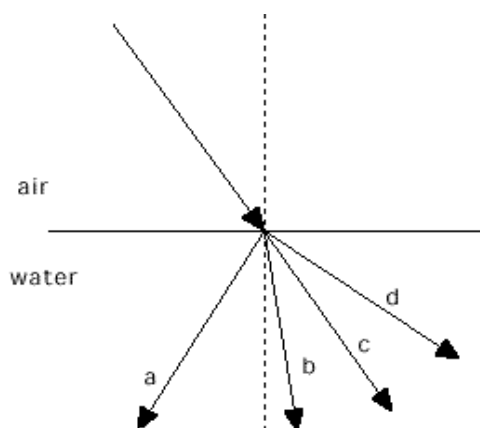
- A) Valovi su ograničeni dimenzijama gitare.
- B) Moguće su samo određene frekvencije zbog interferencije.
- C) Žica titra opaženim spektrom jer je trzanje tjera na to.
- D) Minimalizira se potencijalna energija sistema.

24. Za sredstvo kojim se šire valovi kažemo da je disperzivno. Tada vrijedi:

- A) Valovi imaju istu grupnu i faznu brzinu.
- B) Frekvencija širenja vala nije linearna funkcija valnog broja k .
- C) To sredstvo je vakuum.
- D) Longitudinalni i transverzalni valovi ne šire se tim sredstvom jednakim brzinama.

25. Monokromatska zraka svjetlosti iz zraka upada na površinu vode pod kutom prikazanim na slici. Koja od zraka prikazuje put zrake u vodi ?

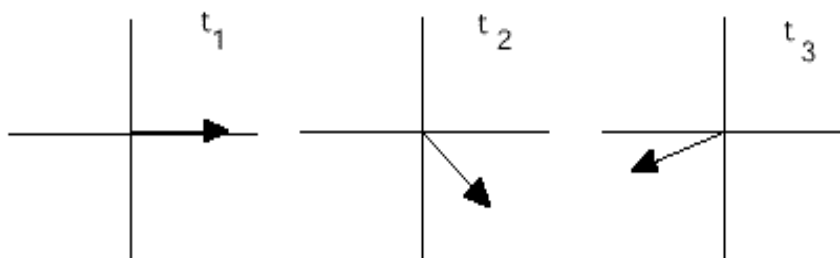
- A) zraka a
 B) zraka b
 C) zraka c
 D) zraka d



26. Pri prolasku svjetlosti kroz staklenu prizmu izlazna se svjetlost rasipa u snop od nekoliko boja. Uzrok tome je:

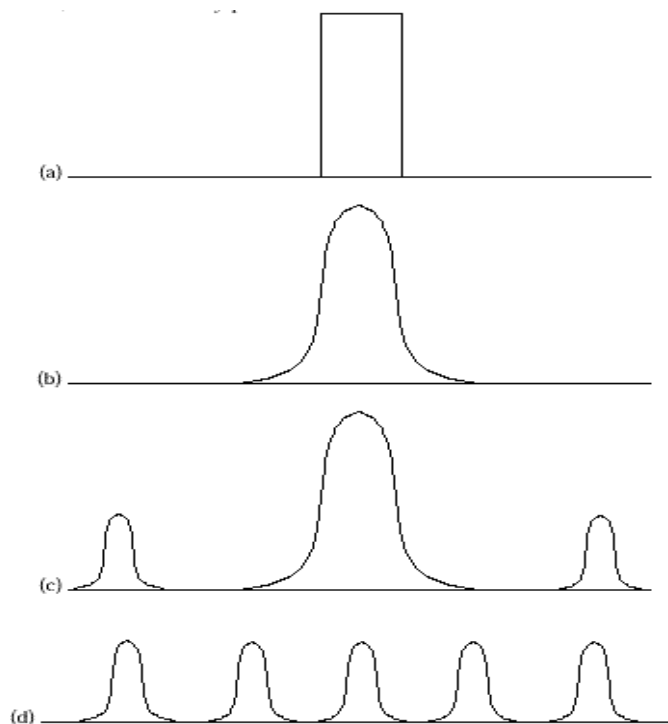
- A) Kut loma staklo – zrak ovisi o valnoj duljini svjetlosti.
 B) Pojedine komponente bijele svjetlosti šire se staklom različitim brzinama.
 C) Svjetlost se u čvrstim materijalima širi po zakrivljenim linijama, a zakrivljenost ovisi o njenoj valnoj duljini.
 D) Nečistoće u staklu apsorbiraju bijelu svjetlost i zrače energiju u obliku različitih valnih duljina.

27. Pomoću posebnog uređaja moguće je promatrati vektor električnog polja elektromagnetskog vala koji se širi prema nama. Slike prikazuju promjene orijentacije vektora u nekim proizvoljnim vremenima ($t_1 < t_2 < t_3$). Promatrani val je:



- A) nepolariziran
 B) linearno polariziran
 C) kružno polariziran
 D) eliptično polariziran

28. Ravni val dolazi na prepreku s uskom linearnom pukotinom. Prolaskom kroz pukotinu svjetlost pada na zastor te nastaje slika:



- A) slika (a)
- B) slika (b)
- C) slika (c)
- D) slika (d)

29. Valovi koji se šire Zemljom su seizmički valovi. Oni su:

- A) transversalni valovi
- B) longitudinalni valovi
- C) valovi koji pokazuju polarizaciju
- D) valovi koji postoje samo na površini Zemlje

30. Elektromagnetski valovi mogu nastati ubrzavanjem ili usporavanjem naboja. Ubrzavajući masu nastat će:

- A) toplinski valovi
- B) zvučni valovi
- C) gravitacijski valovi
- D) elektromagnetski valovi