

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
MATEMATIČKI ODSJEK

Ivan Kalić

**SUVREMENA NASTAVA FIZIKE:
MEHANIČKI VALOVI**

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
MATEMATIČKI ODSJEK

Ivan Kalić

**SUVREMENA NASTAVA FIZIKE:
MEHANIČKI VALOVI**

Diplomski rad

Voditelj rada:

Doc. dr. sc. Dalibor Paar

Zagreb, 2019.

Ovaj diplomski rad obranjen je dana _____ pred nastavničkim povjerenstvom u sastavu:

1. _____, **predsjednik**

2. _____, **član**

3. _____, **član**

4. _____, **član**

Povjerenstvo je rad ocijenilo ocjenom _____ .

Potpisi članova povjerenstva:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Suvremena nastava Fizike	2
2.1 Interaktivna istraživački usmjerena nastava Fizike	2
2.1.1 Istraživački usmjerena nastava Fizike.....	3
2.1.2 Interaktivna nastava Fizike	5
2.1.3 Interaktivne nastavne metode.....	6
3. Mehanički valovi	15
3.1 Što je val?	18
3.2 Kako nastaje val?.....	22
3.3 Val – objekt ili događaj?.....	24
3.4 Matematički opis vala.....	26
3.5 Valna jednažba	32
3.6 Superpozicija valova	32
3.7 Stojni valovi.....	37
4. Zaključak	40
Literatura	41
Sažetak	44
Summary	45
Životopis.....	46

1. Uvod

Prošloga stoljeća dogodila su se mnoga velika i izuzetno značajna otkrića u području fizike. Sva ta otkrića rezultirala su velikim korakom naprijed u znanosti i tehnološkim otkrićima, a samim time i proširila vidike fizike. Fizika danas nema granica jer su inovativnost i kreativnost, za koje se pokazalo da su to temelji razvoja čovjeka u 21. stoljeću, u prvome planu.

S druge strane nastava Fizike nalazi se pred novim izazovima. Postavljaju se pitanja kako i na koji način razvijati kreativnost i inovativnost te kako potaknuti učenike na aktivno učenje. U 20. stoljeću nastava je imala ulogu reprodukcije znanja, a ne poticanja intelektualne angažiranosti učenika. Cilj je suvremene nastave Fizike potaknuti učenike na razmišljanje, znanstveno zaključivanje i kritičko mišljenje koristeći se pritom interaktivnim nastavnim metodama.

Mnoga istraživanja pokazuju da je za razumijevanje moderne fizike, kao npr. kvantne fizike, potrebno dobro konceptualno razumijevanje valova jednako kao konceptualno razumijevanje mehanike. U nastavi Fizike počinje se s mehanikom i zbog toga učenici ne mogu prihvatiti i pojmiti koncepte na kojima počivaju valovi, a samim time ni koncepte na kojima počiva većina današnjih uređaja koje ljudi svakodnevno koristi. Ovaj rad je iz toga razloga podijeljen na dva dijela. Prvi je dio usredotočen na suvremenu nastavu Fizike i njezine nastavne ishode te na interaktivnu istraživački usmjerenu nastavu Fizike kao nastavni oblik koji je proizašao iz zahtjeva suvremene nastave Fizike, dok je drugi dio usmjeren na transverzalne mehaničke valove i učeničke konceptualne poteškoće vezane uz njih.

2. Suvremena nastava Fizike

Kako izgleda suvremena nastava Fizike? Na čemu se ona temelji? Koja je njezina uloga? Koja je uloga nastavnika u današnjoj nastavi Fizike? Na koji način unaprijediti nastavu Fizike? Ovo su neka od mnogih pitanja, koja se odnose na suvremenu nastavu Fizike, kojima je potrebno s ozbiljnošću pristupiti. Razlog tome je taj što se fizika kao znanost svakodnevno razvija. Ona treba pratiti svakodnevna tehnološka i znanstvena otkrića te napredak svih prirodoslovnih i tehničkih znanosti. No, nastava se Fizike ne zaustavlja samo na fizici kao znanosti. Ona osim fizike kao znanosti uključuje i nastavnike koji moraju u tu nastavu uključiti odgovarajuća stručna i pedagoška znanja i vještine te kvalitativne interaktivne vještine. Ako na nastavu Fizike pogledamo s gledišta prosječnog nastavnika, koji mora znati opsežnu opću fiziku, pedagoška i stručna znanja i vještine, interaktivne vještine, načine pristupa učenicima, načine planiranja i strukturiranja nastavnih sati, načine evaluacije učeničkog znanja i još mnogo toga, taj zadatak izgleda kao nemoguća misija. S druge strane, ako pogledamo koliko nastavnika uspješno ostvaruje taj zadatak, učit ćemo da je to itekako moguće. Kako neki nastavnici uspijevaju u svome poslu, a drugi ne? Kako uspijevaju zainteresirati učenike za fiziku? Koja je tajna njihova uspjeha? Vjerujemo kako bi svi nastavnici to voljeli znati. Na žalost, nema jedinstvene i potpuno ispravne „kuharice“ za uspjeh u radu s učenicima. Jedina sigurna činjenica je ta da je taj uspjeh rezultat velikoga truda i rada samih nastavnika, ponajprije na samome sebi, a zatim u poučavanju učenika.

2.1 Interaktivna istraživački usmjerena nastava Fizike

Brojni fizičari pokušali su otkriti koji je najbolji način poučavanja. Većina istraživanja pokazuje kako je interaktivna istraživački usmjerena nastava Fizike jedno od boljih načina poučavanja jer zadovoljava većinu zahtjeva suvremenoga obrazovanja. Prije nego objasnimo kakav je ovo oblik nastave, prisjetimo se najprije prošloga stoljeća kada je najzastupljeniji oblik nastave bio onaj tradicionalne predavačke nastave. Taj je oblik nastave i danas zastupljen, pogotovo u manjim sredinama, a za obrazovne potrebe 21.

stoljeća nije ni najmanje prikladan. U središtu ovakve nastave nalazi se nastavnik koji učenicima izlaže nastavni sadržaj dok su učenici pasivni slušatelji koji ne sudjeluju u nastavi. Doduše, takav oblik nastave odličan je u prenošenju informacija, ali cilj današnje nastave Fizike više nije sama reprodukcija nastavnoga sadržaja, već razvijanje razumijevanja složenih koncepata i sposobnosti znanstvenog zaključivanja. Također, takva nastava učenicima ne ostavlja mogućnost napredovanja i razvijanja složenih kognitivnih vještina i koncepata. Istraživanja pokazuju da je za uspješno razumijevanje fizike potreban visoki stupanj intelektualnoga angažmana učenika, odnosno aktivno učenje (Minner, Levy i Century, 2010). Prema Hakeu (1998), čak ni prisutnost na svim nastavnim satima, ni rješavanje gomile standardnih zadataka, ni samostalno izvođenje mnoštva pokusa prema zadanim uputama ne obvezuje razumijevanje fizike. Potrebno je učenike aktivirati i motivirati za vrijeme same nastave jer je to ključan trenutak za proces učenja, a time i početni trenutak razumijevanja fizike. Vraćajući se na sam pojam interaktivne istraživački usmjerene nastave Fizike promotrimo njene temeljne sastavnice: istraživački usmjerenu nastavu i interaktivnu nastavu.

2.1.1 Istraživački usmjerena nastava Fizike

Istraživački je usmjerena nastava Fizike oblik nastave koji je nastao kao rezultat suradnje fizičara diljem svijeta s obrazovnim institucijama s ciljem postizanja većeg stupnja razumijevanja fizike te odražavanja istraživačkog karaktera fizike kao znanstvene discipline. Dalje, istraživački je usmjerena nastava Fizike jedno od rješenja koje ispunjava većinu zahtjeva suvremenoga obrazovanja (McDermott et al., 1996; Minner, Levy i Century, 2010). Ona nam pruža ono, što nam tradicionalna predavačka nastava ne može pružiti, a to je razvoj znanstvenoga zaključivanja i kritičkoga razmišljanja učenika. Ovakav oblik nastave izgrađuje učeničke istraživačke vještine kao i razumijevanje fizikalnih sadržaja te učenicima daje uvid u karakter fizike kao znanstvene discipline.

Istraživački usmjerena nastava Fizike idealan je primjer kvalitetnoga spoja nastavnikove i učenikove suradnje jer se učenicima pruža vrijeme i prostor za samostalno zaključivanje i razmišljanje u pažljivo strukturiranim i vođenim istraživanjima, usmjeravanim od strane

nastavnika. U ovome se obliku nastave posebno nastoje razviti istraživačke vještine promatranja, opažanja, opisivanja i skiciranja pokusa, postavljanja i testiranja hipoteza, analiziranja rezultata mjerenja i matematičkog opisivanja fizikalnih veličina. Kvalitetno istraživački usmjeren sat nije jedinstven, ali bi trebao posjedovati određene elemente kako bi se ostvarili navedeni ciljevi suvremene nastave Fizike. Takav nastavni sat trebao bi najprije imati uvodni problem, pitanje ili pokus koji će motivirati učenike za nastavnu jedinicu, a nastavniku omogućiti uvid u učenikovo predznanje na temelju njihovih razmišljanja. Nakon prikupljanja učeničkih ideja, ako je moguće, nastavnik demonstrira nove pojave pomoću pokusa ili simulacije te nakon toga uvodi naziv nastavne jedinice, pojave koju će taj nastavni sat poučavati. Ovi se elementi odnose isključivo na uvodni dio nastavnoga sata i sve dok se oni ne ispune, nije potrebno žuriti na glavni dio nastavnog sata. Glavni bi se dio sata trebao sastojati od barem jednog istraživačkog pitanja koje učenici samostalno pokušavaju riješiti na način da samostalno postave hipoteze, predvide rezultate pokusa, opažaju pokus, a potom i donose zaključke na temelju opaženog. Uloga nastavnika nije učenicima dati gotovu „kuharicu“ kako otkriti odgovor na istraživačko pitanje, već ih pažljivo usmjeravati prema željenome odgovoru. Nakon odgovora, potrebno je postupno izgraditi odgovarajući fizikalni model i matematički opis nove pojave te provjeriti učeničko razumijevanje. Tek nakon utvrđivanja učeničkoga razumijevanja, nastavnik može prijeći na primjenu i testiranje novoga znanja, najprije na jednostavnim primjerima ili pokusima, a potom na sve složenijim.

Uočimo kako u istraživački usmjerenoj nastavi Fizike učenici traže odgovore na znanstvena pitanja, formuliraju i testiraju hipoteze, osmišljavaju i provode pokuse, samostalno predviđaju ishode pokusa, samostalno opažaju i na temelju opažanja donose zaključke te ih iznose drugim učenicima braneći ih vlastitim argumentima. To su ujedno i nastavni ishodi suvremene nastave Fizike koja se ne usmjerava na konačni rezultat znanja, već na put kojim su učenici postigli određenu razinu razumijevanja, odnosno znanja. Prema tome, ovakav je oblik nastave idealan način predstavljanja fizike učenicima kao istraživačke discipline.

2.1.2 Interaktivna nastava Fizike

Interaktivna nastava oblik je nastave čiji je glavni cilj potaknuti učenike na aktivno učenje, odnosno motivirati učenike da već za vrijeme samoga nastavnog sata počnu promišljati o novim fizikalnim pojavama, samostalno zaključivati te time postići bolje razumijevanje nastavnoga sadržaja i napraviti početni korak u procesu znanja. Ispunjavanjem ovih obrazovnih ciljeva ostvaruje se veća učinkovitost nastave Fizike, a o toj učinkovitosti raspravljali su brojni fizičari diljem svijeta. Postavljaju se pitanja: „Je li interaktivni oblik nastave nužno potreban kako bi nastava Fizike uistinu bila učinkovita?“ „Ako smo ustanovili da istraživački usmjerena nastava Fizike zadovoljava tražene nastavne ishode suvremene fizike, čemu dodatno otežavati poučavanje interaktivnim metodama?“ Na temelju istraživanja fizičara danas znamo da nije moguće provoditi istraživački usmjerenu nastavu Fizike bez korištenja interaktivnih metoda jer je sama učinkovitost takvoga oblika nastave izuzetno mala. Jedno od istraživanja bilo je ono američkog fizičara R. Hakea koji je na većem uzorku američkih studenata i srednjoškolaca pokazao da je prosječna učinkovitost interaktivne nastave dvostruko veća od prosječne učinkovitosti predavačke nastave. Pogledajmo primjerice, istraživački usmjerenu nastavu Fizike u kojoj nastavnik dopušta učenicima da samostalno izvode pokuse, opažaju i donose zaključke, ali im daje detaljne upute za svaki korak izvođenja pokusa kao i gotova pitanja iz kojih se jednostavno daju iščitati željeni zaključci. Nastavnik je uistinu učenicima pokazao znanstveni karakter fizike, ali im je uskratio svaku mogućnost samostalnoga promišljanja o problemu i samostalnoga znanstvenog zaključivanja te je time u potpunosti zanemario zahtjeve suvremene fizike kojoj nije cilj konačno znanje, već put do razumijevanja fizike. Za tu svrhu nastavnik je dužan uključiti se u nastavu koristeći se interaktivnim metodama kako bi usmjerio i motivirao učenike te postigao njihovu intelektualnu angažiranost za vrijeme nastave, odnosno aktivno učenje.

Istraživanja pokazuju da većina učenika nije u stanju procijeniti vlastito znanje i razumijevanje fizike, niti prepoznati područja u kojima se ne snalaze. Ti učenici ne znaju postaviti pitanja i testirati svoje znanje i razumijevanje onako kako to rade nastavnici i odlični učenici, stoga je uloga nastavnika da prepoznaju te učenike i pruže im značajno vodstvo kako bi i oni postigli razinu razumijevanja i znanja koja im dopušta samostalno

aktivno učenje. Ovo je situacija u kojoj se nalazi većina današnjih nastavnika. U svakome razredu postoje učenici koji mogu samostalno aktivno učiti, učenici kojima je potrebna mala količina usmjeravanja od strane nastavnika i oni koji su u stanju samostalno aktivno učiti tek uz konstantno vođenje od strane nastavnika. Potrebno je paziti da nastavnik ne glumi interakciju s učenicima na način da ne postavlja pitanja kojima nije cilj potaknuti učenike na aktivno učenje. To su najčešće pitanja kojima nastavnik ispituje činjenično znanje, sugestivna pitanja, nadopunjavanja rečenica, i slično. Također, nastavnik ne bi trebao sam odgovarati na svoja pitanja ili upadati učenicima u riječ ako smatra da njihovi zaključci ne vode prema željenom odgovoru. Uz sve navedeno, treba spomenuti i jednu od najvećih grešaka koje čine nastavnici, a to je da ne ostavljaju dovoljno vremena učenicima da promisle prije nego što daju svoj odgovor. Neće se dogoditi ništa loše ako nastavnik pričekava pa i dvije minute dok učenik samostalno ne smisli svoj odgovor. Iduća je obaveza nastavnika istaknuti i naglasiti bitne stvari iz učeničkih odgovora, ali jednako tako nastavnik mora prihvatiti svaki odgovor, bio on točan ili ne, jer time motivira učenike da se odvažavaju iskazati svoje mišljenje i stvara pozitivnu atmosferu u razredu. Dakle, za kvalitetnu interaktivnu nastavu ključna je interakcija nastavnika i učenika i učenika međusobno jer je to učinkovit način kojim se učenike potiče na aktivno učenje. Naravno, kao što je već spomenuto, uz interaktivnu nastavu potrebno je vezati i istraživački usmjerenu nastavu kako bi učinkovitost nastave Fizike bila što bolja te se pokazao karakter fizike kao znanstvene discipline.

2.1.3 Interaktivne nastavne metode

Postoji mnogo načina kojima nastavnici mogu uspostaviti kvalitetnu interakciju među učenicima kao i međusobnu interakciju učenika. Među mnoštvom interaktivnih metoda, istraživanja su pokazala da su za nastavu Fizike idealne sljedeće interaktivne nastavne metode:

- razredna rasprava
- postavljanje konceptualnih pitanja
- kooperativno rješavanje zadataka u malim grupama
- interaktivno izvođenje pokusa.

Ove su metode idealne jer se njihovom primjenom postiže interaktivnost, a time i veći intelektualni angažman učenika. Naravno, učinkovitost ovih nastavnih metoda ponajviše ovisi o nastavniku jer je on zadužen za postizanje kvalitetne interakcije, a to postiže pažljivom formulacijom pitanja i kvalitetnom organizacijom nastavnoga sata te pripremom nastavnih materijala. Dakle, učinak ovih interaktivnih nastavnih metoda proizlazi iz kvalitetne pripreme samoga nastavnika za nastavnu jedinicu koju taj dan obrađuje s učenicima. U sljedećim ćemo odlomcima objasniti cilj, ulogu i provođenje navedenih interaktivnih metoda nastave Fizike.

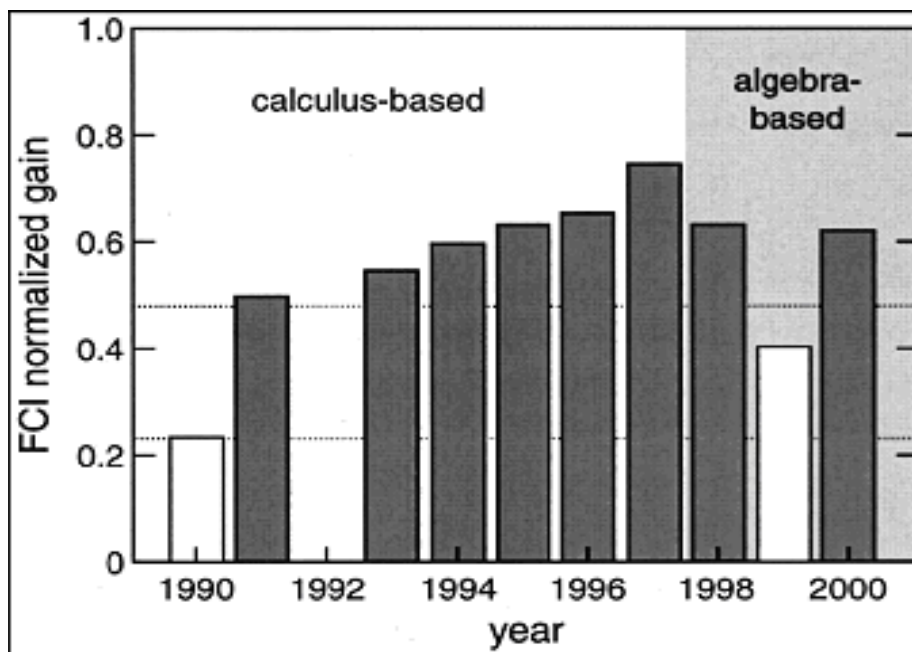
2.1.3.1 Razredna rasprava

Prva je od interaktivnih nastavnih metoda, koja je ujedno i najčešća, razredna rasprava. Razredna rasprava odnosi se, kao i što sam naziv govori, na razred, odnosno na interakciju nastavnika s učenicima i međusobnu učeničku interakciju. Na početku rasprave nastavnik pred učenike postavlja određeni fizikalni problem, usmjerava pažnju učenika na njega i motivira ih, a potom prikuplja njihove ideje te ih na kraju usmjerava prema rješavanju problema pažljivo odabranim pitanjima. Pri postavljanju pitanja nastavnik treba izbjegavati u prethodnom poglavlju spomenute vrste pitanja koje ne potiču intelektualnu aktivnost učenika. Prilikom provođenja ove interaktivne nastavne metode nastavnik treba u raspravu pokušati uključiti sve učenike jer se u suprotnome gubi smisao ove metode, tj. ne postiže se aktivno učenje za vrijeme samoga nastavnog sata te se tada, s učenikova gledišta, nastava pretvara u standardnu tradicionalnu predavačku nastavu. U interakciji se nastavnik treba pozitivno odnositi prema učenicima, pomagati im da dođu do zaključka, postavljati potpitanja u slučaju da su učenici nesigurni i pohvaljivati njihove odgovore te uvažiti svaki od njih kako bi se učenici u budućnosti još više odvažili i uključivali u ovakve rasprave.

2.1.3.2 Konceptualna pitanja

Konceptualna pitanja ne odnose se na pitanja i potpitanja koja nastavnik postavlja učenicima prilikom provođenja razredne rasprave ili demonstracijskog pokusa, već na pitanja koja ispituju učenikovo razumijevanje nove fizikalne pojave. Dakle, nakon što nastavnik s učenicima riješi početni fizikalni problem, slijede konceptualna pitanja kojima nastavnik dobiva uvid u učenikovo razumijevanje nove pojave. Ne treba žuriti s primjenom nove pojave na numeričkim zadacima ili složenijim problemima sve dok nastavnik ne procijeni da većina učenika nije svladala željeni nastavni sadržaj. Također, konceptualna su pitanja od izuzetne važnosti za razumijevanje fizikalnih koncepata i razvoj sposobnosti zaključivanja, stoga je razumljivo da se postavljaju učenicima odmah nakon jednostavnih fizikalnih koncepata kako bi nastavnik odmah ustanovio treba li zastati i dodatno raspraviti o fizikalnom problemu prije nego što započne sa složenijim fizikalnim konceptima. Ova interaktivna metoda ispitana je više puta, ali za naš cilj spomenut ćemo primjer primjene ove interaktivne metode koji je proveden 1991. godine na sveučilištu Harvard. Naime, uvodni kolegiji fizike odvijali su se primjenom ove interaktivne metode koju je E. Mazur (1997) nazvao „peer instruction“, odnosno podukom vršnjaka. Istraživanje je provedeno na način da su se predavanja sastojala od kratkih dijelova nakon kojih su slijedila konceptualna pitanja vezana uz glavnu temu toga dijela predavanja. Odgovore na pitanja studenti bi davali pomoću elektronskog sustava za odgovore putem kojega nastavnik odmah dobiva povratnu informaciju o razumijevanju studenata te vidi raspodjelu odgovora. Zatim nastavnik proziva studente da daju svoje odgovore i pred svima ih argumentiraju te raspravljaju o njima. Nakon rasprave studenti su bili pozvani da međusobno rasprave o odgovorima i svojim zaključivanjima dok ih je nastavnik obilazio, a nakon nekoga vremena nastavnik je ponovno postavio isto konceptualno pitanje i pustio učenike da ponovno odgovore. U slučaju da je nakon ponovnih odgovora većina studenata bila za točan odgovor, nastavnik najprije potvrđuje točan odgovor i kvalitetno ga argumentira te nastavlja s drugim dijelom predavanja i tako u krug. Ukoliko studenti i dalje ne razumiju, nastavnik bi zastao i pomogao studentima usmjeravajući ih i postavljanjem novoga pitanja vezano uz isti fizikalni koncept. Rezultati ovog istraživanja pokazali su veliki porast u rezultatima studenata na ispitima, ali i dijagnostičkim testovima. Na slici 1.

prikazani su srednji normalizirani g-faktori na poznatom FCI testu iz mehanike u 10 godina primjene ove metode.



Slika 1 - srednji normalizirani g - faktor na FCI testu na Harvard University. Tamni stupci označavaju interaktivnu nastavu, a svijetli predavačku nastavu.

Izvor: Crouch, C. H. i Mazur, E. (2001)

Danas je ova metoda iznimno uspješna i u širokoj uporabi diljem svijeta. Čak je razvijena i znatno radikalnija vrsta ove metode koja je uklonila sva predavanja i nastavu svela na sama konceptualna pitanja, a učenicima ostavila da sami uče iz udžbenika kod kuće. No, iako je ova metoda razvijena i provedena na fakultetima, ona je itekako korisna i primjenjiva u školama. Štoviše, konceptualna se pitanja trebaju koristiti u nastavi Fizike jer je to upravo što od nas traži suvremena nastava Fizike, a to je aktivno učenje učenika. Primjenom metode učenici samostalno daju svoja mišljenja, argumentiraju ih, raspravljaju o njima s nastavnikom i međusobno te donose samostalne zaključke. Način na koji ju možemo provesti u školi je pomoću kartica u boji označenih slovima ili brojevima, koje se

mogu jeftino nabaviti ili po potrebi samostalno izraditi. Neke od važnih uputa primjene ove interaktivne metode su:

- tražiti od učenika da istovremeno podignu kartice
- potaknuti učenike na raspravu s učenicima oko sebe
- pitati nekoliko učenika da obrazlože svoj odabir odgovora
- naglasiti da će se u testu pojaviti konceptualna pitanja.

Istovremeno podizanje kartica omogućava sigurnost nastavniku jer se time izbjegava moguće „prepisivanje“ odgovora. Poticanje na raspravu motivira učenike i nastavniku pruža mogućnost da u raspravu uključi sve učenike. Traženjem obrazloženja svog odabira odgovora nastavniku daje mogućnost da po potrebi pokrene i razrednu raspravu, ako smatra da je to potrebno, a napominjanjem da će u ispitu biti konceptualnih pitanja kod učenika se dodatno povećava motivacija i povećava njihova suradnja. Sve u svemu, konceptualna pitanja postala su važan dio svih nastavnih sati jer objedinjuju tražene ciljeve suvremene nastave Fizike.

2.1.3.3 Kooperativno rješavanje zadataka

U današnjoj nastavi Fizike rješavanje zadataka predstavlja jednu iznimno kompleksnu vještinu jer uključuje mnogo koraka i zahtijeva različite sposobnosti učenika, a ono se često svodi na onaj tradicionalni način rješavanja zadataka koji ne odgovara zahtjevima suvremene nastave Fizike. Tradicionalni način rješavanja zadataka, koji zahtijeva da učenici samostalno rješavaju zadatke i da netko od njih riješi zadatak na ploči, i danas je rasprostranjen što dovodi u pitanje učinkovitost takvoga vježbanja. Učenici, koji ne znaju samostalno riješiti zadatak, ostat će pasivni u procesu učenja i čekati da netko zadatke riješi na ploči kako bi ih prepisali. Samim prepisivanjem zadataka učenici neće razviti kompleksne vještine potrebne za samostalno rješavanje zadataka, niti će ih znati samostalno riješiti kada za to bude vrijeme. Iz tog razloga, skupina fizičara sa sveučilišta Minnesota razvila je interaktivnu nastavnu metodu kooperativnog rješavanja zadataka u grupama. Prema njihovim istraživanjima pokazalo se da se rješavanje zadataka može svesti na četiri koraka.

Ti koraci u rješavanju zadataka prema Etkini (1997) su:

- 1) vizualizacija situacije i prepoznavanje relevantne fizikalne vještine,
- 2) modeliranje problema i prikazivanje situacije pomoću dodatne reprezentacije,
- 3) matematičko opisivanje problema,
- 4) rješavanje jednadžbe i evaluacija rezultata.

U prvome koraku potrebno je uočiti što se zapravo u zadatku traži, skicirati problem i na skici označiti poznate veličine. Drugi korak odgovara prepoznavanju fizikalnog modela vezanog uz problem i prikazivanju toga problema preko neke od poznatih reprezentacija kao što su dijagrami sila, stupčasti dijagrami, grafovi, silnice i slično. U trećem koraku primjenjuje se znanje koje pripada tom fizikalnom modelu na način da se postave jednadžbe koje mu odgovaraju. U zadnjem koraku učenici rješavaju zadatak u smislu da pretvaraju mjerne jedinice, provjeravaju ih, rješavaju jednadžbe i procjenjuju smislenost dobivenog rezultata. Uočavamo da se tek u zadnjem koraku započinje s „numeričkim“ dijelom rješavanja zadatka. Upravo su iz toga razloga ovi koraci prihvatljivi za današnju nastavu Fizike jer ne inzistiraju na brojevima, već na razumijevanju i primjeni znanja na fizikalni problem.

Ključno je usmjeriti učenike da primjenjuju ove korake pri rješavanju zadataka jer ovim putem ne uče rješavati zadatke napamet, već ih motiviramo i potičemo da samostalno započnu s aktivnim učenjem prilikom rješavanja zadataka na nastavnome satu. Kako bi se postigla što veća učinkovitost prilikom primjene ove interaktivne nastavne metode, idealno bi bilo podijeliti učenike u skupine po troje ili četvero, s tim da su u svakoj skupini učenici različitih sposobnosti. Jako je bitno imati učenike različitih sposobnosti jer će se tada slabiji učenici odvažiti, postaviti pitanja i reći što im nije jasno jer se komunikacija ne odvija samo između nastavnika i učenika, već i između učenika. Naime, bolji su učenici tu da pomognu svojim kolegama i na taj način im se pruža prilika da oni poučavaju druge te time vježbaju prenošenje znanja pomoću komunikacije, čime indirektno napreduju. Pokazalo se da se primjenom ove interaktivne nastavne metode premašuje učinak i najboljeg učenika iz skupine.

Naravno, ne smijemo zaboraviti ulogu nastavnika u svemu tome. Njegova uloga započinje i prije samoga nastavnog sata jer mora pripremiti zadatke koje će učenici rješavati. Ti zadaci ne smiju biti trivijalni, ali ni prezahtjevni. Oni moraju potaknuti učenike na razmišljanje i ne smiju biti standardni zadaci gdje učenici samo uvrste poznate fizikalne veličine u formulu. Većina udžbenika i zbirki zadataka u sebi ima uglavnom standardne tipove zadataka u kojim su zadani svi potrebni podaci i eksplicitno je navedeno što se u zadatku traži, tj. koja fizikalna veličina. Istina je da su ti zadaci potrebni na samome početku vježbanja i primjene nove fizikalne veličine, ali kasnije bi bilo poželjno, i učinkovitije, zadati učenicima više nestandardnih tipova zadataka jer su takvi zadaci puno bliži realnim situacijama pa rješavanjem tih zadataka učenici razvijaju više sposobnosti zaključivanja i razmišljanja. Neki od nestandardnih tipova zadataka su:

- zadaci rangiranja,
- zadaci s opširnijim kontekstom,
- zadaci procjene,
- zadaci evaluacije,
- inverzni zadaci,
- eksperimentalni zadaci,
- itd.

Zadaci s opširnijim kontekstom ne zadaju eksplicitno koju je fizikalnu veličinu potrebno odrediti i opširnije opisuju situaciju pa su samim time bliži realnim situacijama. Kod zadataka procjene i evaluacije nije potrebno zadati numeričke vrijednosti, već na temelju niza pretpostavki i aproksimacija usporediti odgovarajuće fizikalne veličine. Posebno su zanimljivi inverzni tipovi zadataka u kojima se zadaje matematički izraz ili reprezentacija problema pomoću dijagrama ili grafova, a potrebno je osmisliti jednu ili više fizikalnih situacija koje bi mogle biti opisane tim podacima.

Dakle, nastavnik mora znati kada koje zadatke upotrijebiti i paziti na njihovu težinu, a tijekom samog rješavanja zadataka dužan je obilaziti skupine i pomagati potpitanjima. Na kraju rješavanja zadataka potrebno je raspraviti s učenicima o dobivenim rješenjima kao i o problemima s kojima su se učenici susreli prilikom rješavanja zadataka. Tu se po potrebi

otvara mogućnost i za razrednu raspravu u slučaju da je cijeli razred zastao na nekome zadatku.

2.1.3.4 Interaktivno izvođenje pokusa

Suvremena nastava Fizike ne zahtijeva puko nabranje situacija ili primjera koji su reprezentacije fizikalnih koncepata, već prepoznavanje tih fizikalnih koncepata u stvarnome životu. Upravo tu nam služe pokusi koji kod učenika bude motivaciju i potiču intelektualni razvoj i logičko zaključivanje. No, pokusi ne smiju biti samo neke ilustracije ili posebni efekti, nego uistinu dio svakodnevne nastave jer na taj način aktiviraju učenike. Svrha je pokusa višestruka. Oni služe da učenike upoznaju s novim fizikalnim pojmovima, otvore probleme na početku nastavnoga sata, potaknu razrednu raspravu, učine nastavu zanimljivijom, ali i zabavnijom. Pokusi su idealno oruđe, čijom pravilnom uporabom, nastavnik potiče razvoj učeničkih ideja i omogućuje im stjecanje izravnog iskustva o fizikalnim pojavama. Ukoliko su pokusi vješto i atraktivno izvedeni, a učenici ih pasivno promatraju i zapisuju nastavnikova objašnjenja, učenici neće napredovati u razumijevanju fizike jer je to jednako tome da im je nastavnik izdiktirao što trebaju zapisati. Od iznimne je važnosti prilikom izvođenja pokusa komunikacija s učenicima na način da im se najprije objasni cijeli eksperimentalni postav, zatim im se objasni izvedba pokusa, a prije izvedbe zatraži njihovo predviđanje koje zapisuju u bilježnice. Nakon izvedbe od učenika se traži opis njihovoga opažanja i skica onoga što su uočili, zatim ih se potiče na razmišljanje i traže njihova objašnjenja pojave, a potom nastavnik započinje razrednu raspravu u kojoj sudjeluju svi učenici. Bitno je da se kod izvedbe pokusa ide postupno i polako kako bi svi učenici mogli pratiti izvedbu i pitanja koja postavimo.

Drugi je način izvedbe pokusa usmjeren još više na učenike. Npr., nakon otkrivanja nove fizikalne veličine nastavnik može od učenika zatražiti da osmisle pokus ili više njih kojima će istražiti o čemu sve ovisi ta nova fizikalna veličina. Prilikom ovoga načina izvedbe pokusa nastavnik mora donekle usmjeravati učenike, ali ne previše jer je to idealna prilika za razvijanje njihovih vještina. Također, ako je potrebno provesti mjerenja, bitno ih je ispisati na ploču i raspraviti o njima.

Prema Etkini (1997), pokusi se mogu podijeliti prema cilju pokusa i tako dobijemo sljedeće tri vrste:

- 1) opservacijski pokusi čiji je cilj promatrati i otkriti novu fizikalnu pojavu
- 2) istraživački pokusi čiji je cilj potvrditi ili opovrgnuti neku hipotezu
- 3) aplikacijski pokusi čiji je cilj primijeniti stečena znanja o nekoj fizikalnoj pojavi na novim primjerima.

Općenito se opservacijski pokusi koriste na početku nastavnog sata prije uvođenja naslova nastavne jedinice kako bi učenici bili aktivni u raspravi i promatranju, samostalno zaključivali i promišljali. Istraživački pokusi se odnose na situacije kada su učenici otkrili novu fizikalnu veličinu ili pojavu i sada nastoje istražiti o čemu ona ovisi pa iz toga razloga samostalno osmišljavaju pokus i postavljaju hipotezu. To je već spomenuti drugi način interaktivne izvedbe pokusa i od učenika zahtijeva puno više aktivnosti od opservacijskih pokusa. Na kraju, aplikacijski pokusi, u kojima se primjenjuje već naučeni fizikalni koncept novome problemu, ne smiju biti prejednostavni, ali ni presloženi (barem za početak). Treba pronaći pokuse primjerene težine kako bi učenici mogli razviti vještine razumijevanja fizike i znanstvenog zaključivanja.

Dakle, interaktivna istraživački usmjerena nastava Fizike pokazala se kao najprihvatljiviji oblik nastave koji ispunjava sve zahtjeve suvremene nastave Fizike. Iz toga je razloga ključno povezati interaktivnost s istraživačkim, odnosno znanstvenim karakterom fizike kako bismo učenicima pokazali fiziku u svom njezinom sjaju. Za kraj poglavlja, kao motivaciju za sve nastavnike, prilažemo ovaj citat:

„Kreativni istraživači teže biti ambiciozni, izdržljivi, traže određenost, teže biti dominantni, vođe, agresivni, neovisni, strogi i ne podržavajući. Suprotno tome, uspješnog nastavnika je najbolje opisan kao otvoren, društven, vođa, ekstrovert, smiren, objektivan, podržavajuć, neautoritaran, nepovučen, inteligentan i estetski osjetljiv.“ (Jackson, 1994)

3. Mehanički valovi

Valovi su prirodni fenomeni koje opisujemo s frekvencijom, valnom duljinom i amplitudom. Valovi općenito prenose energiju prostorom određenom brzinom vala. U prirodi imamo dvije osnovne vrste valova s obzirom na mehanizam njihovog širenja. Elektromagnetski valovi vakuumom se šire brzinom svjetlosti i za njihovo širenje nije potrebno sredstvo, a opisani su Maxwellovim jednadžbama. Mehanički valovi šire se puno manjim brzinama i za njihovo širenje prostoru potrebno je elastično sredstvo te ih opisujemo Newtonovim zakonima. Primjeri mehaničkih valova su valovi na vodi, valovi na opruzi, zvuk, itd. (slika 2).

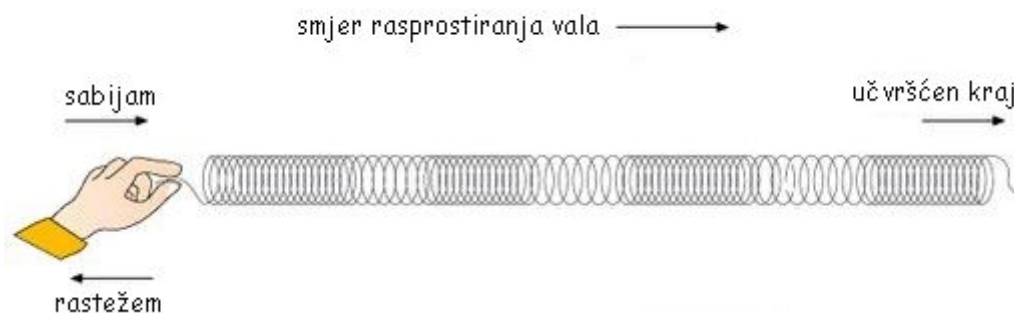


Slika 2 - valovi na opruzi (lijevo¹) i valovi na vodi (desno²)

¹ Izvor: <https://www.e-sfera.hr/dodatni-digitalni-sadrzaji/55bca6c5-0a98-4e29-a1ec-d2ba104bc8bb/assets/image/fphoto-26959005d-2rm.jpg> (preuzeto 2. rujna 2019.)

² Izvor: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRmM47bMnNhNPcWfhbjXV01rgCxZBxZqoYuNvqS4_9XUJgx-EIR (preuzeto 2. rujna 2019.)

Titranja medija kod mehaničkih valova mogu biti transverzalna i longitudinalna (slika 3, slika 4), odnosno čestice medija titraju okomito na smjer širenja vala ili u smjeru širenja. Dok na opruzi možemo generirati i transverzalne i longitudinalne valove, zvuk je longitudinalni val. Valovi na vodi imaju i transverzalnu i longitudinalnu komponentu. Tijekom potresa kroz Zemlju se šire i transverzalni i longitudinalni valovi.



Slika 3³ - prikaz longitudinalnog vala na opruzi



Slika 4 - prikaz transverznog vala na opruzi

Izvor: <http://www.inet.hr/~vantolko/transverzalni.jpg> (preuzeto 2. rujna 2019.)

³ Izvor: https://sites.google.com/site/zvukoviivalovi/_/rsrc/1472762970475/valovi/proucimo-valove/longitudinal.jpg (preuzeto 2. rujna 2019.)

Kao što je navedeno u uvodu, za potrebe ovoga rada bavit ćemo se transverzalnim mehaničkim valovima i konceptualnim poteškoćama učenika vezanih uz njih.

Vratimo se na porijeklo mehaničkih valova. Riječ mehanički često čujemo u svakodnevnome govoru, znamo njezino značenje i znamo da joj je porijeklo od imenice mehanika. Mehanika u fizici predstavlja veliki fizikalni koncept koji je još od 18. stoljeća, kada je Newton predložio zakone gibanja, poslužio razumijevanju fizike i objašnjavanju mnogih drugih koncepata koje danas poznamo. Mnogi temeljni fizikalni koncepti poput zakona očuvanja, inercijalnih sustava i dr. proizašli su iz mehanike. To je razlog što se u nastavi fizike značajan naglasak stavlja na razumijevanje ovog područja fizike. Nastavnih sadržaja povezanih s mehanikom ima puno pa ne čudi da učenici, koji ne svladaju osnovne koncepte mehanike, nisu u stanju razumjeti složenije fizikalne koncepte u koje sa sigurnošću možemo ubrojiti mehaničke valove. Temeljni koncepti vezani uz interakcije u okviru mehanike i mehaničke valove važni su za daljnje razumijevanje tema suvremene fizike, posebice kvantne mehanike u kojoj se priča gradi oko valno-čestičnog karaktera materije.

Zadnjih desetljeća, mnogo istraživanja usredotočilo se na učeničke koncepcije, načine kojima ih možemo otkriti i načine kojima ih možemo ispraviti. Rezultati tih istraživanja pokazali su da učenici imaju najviše problema s konceptualnim razumijevanjem fizike (Hake, 1998; Lee, 2007; Wittmann, 2002, 2003). Štoviše, unatoč sposobnosti rješavanja složenih numeričkih zadataka, pokazalo se da učenici nisu u stanju riješiti jednostavne konceptualne zadatke važne za razumijevanje fizike (Kim i Park, 2002; Mazur, 1997). Iako je provedeno mnogo istraživanja, izuzetno je malo onih koji su provjeravali učenička konceptualna razumijevanja mehaničkih valova. Ona koja su provedena, uglavnom su bila na studentskoj populaciji, ali su dala rezultate koji se jednako tako odnose i na učenička konceptualna razumijevanja širenja valova.

Neke od studentskih miskoncepcija koje su pokazala istraživanja (Wittmann, 2002, 1998; Wittmann, Steinberg, Redish, 1999) su:

- 1) Sredstvo je samo prijenosnik vala i nije izravno povezano sa širenjem vala.
- 2) Pulsevi različitih veličina gibat će se različitim brzinama u istom sredstvu.

- 3) Veća sila kojom ruka djeluje na užu uzrokovat će veću brzinu širenja vala.
- 4) Val je objekt, a ne poremećaj koji se širi prostorom.
- 5) Širenje vala ovisi o nastanku vala, a ne o svojstvima sredstva u kojem se širi.

S većinom ovih poteškoća nalaze se i učenici u školama, a samim time i njihovi nastavnici. Promatrajući ove i slične rezultate istraživanja o konceptualnim poteškoćama učenika vezanim uz mehaničke valove te izbacivanjem onih koncepata koje učenici ne moraju znati u osnovnim i srednjim školama, učeničke konceptualne poteškoće mogu se svesti na njih sedam te ćemo se u svakom sljedećem odlomku posvetiti jednoj od njih i predložiti načine razrješavanja tih miskoncepcija.

3.1 Što je val?

Prije nego što uopće prijedemo na konceptualnu poteškoću koju ovo naizgled jednostavno pitanje predstavlja, moramo se prisjetiti pojma titranja. Titranje je nastavna cjelina koja se poučava prije valova i predstavlja temelj konceptualnoga razumijevanja općenito valova, a samim time i transverzalnih mehaničkih valova.

Titranje se opisuje kao periodičko gibanje oko ravnotežnog položaja. To može biti periodičko gibanje tijela na opruzi, na površini vode, matematičkog njihala i slično. Periodičko gibanje oko ravnotežnog položaja u nastavi se zove harmoničko titranje jer je vremenski nepromjenjivo, odnosno pokazuje harmoniju, sklad. Kod ovakvoga gibanja ključno je da u promatranom sustavu postoji povratna promjenjiva sila koja tijelo uvijek vraća, odnosno nastoji vratiti u ravnotežni položaj. Ako pogledamo slučaj elastične opruge (slika 5), povratna sila zapravo je elastična sila kojom opruga djeluje na tijelo koje ju je opteretilo.

Izraz za elastičnu silu je

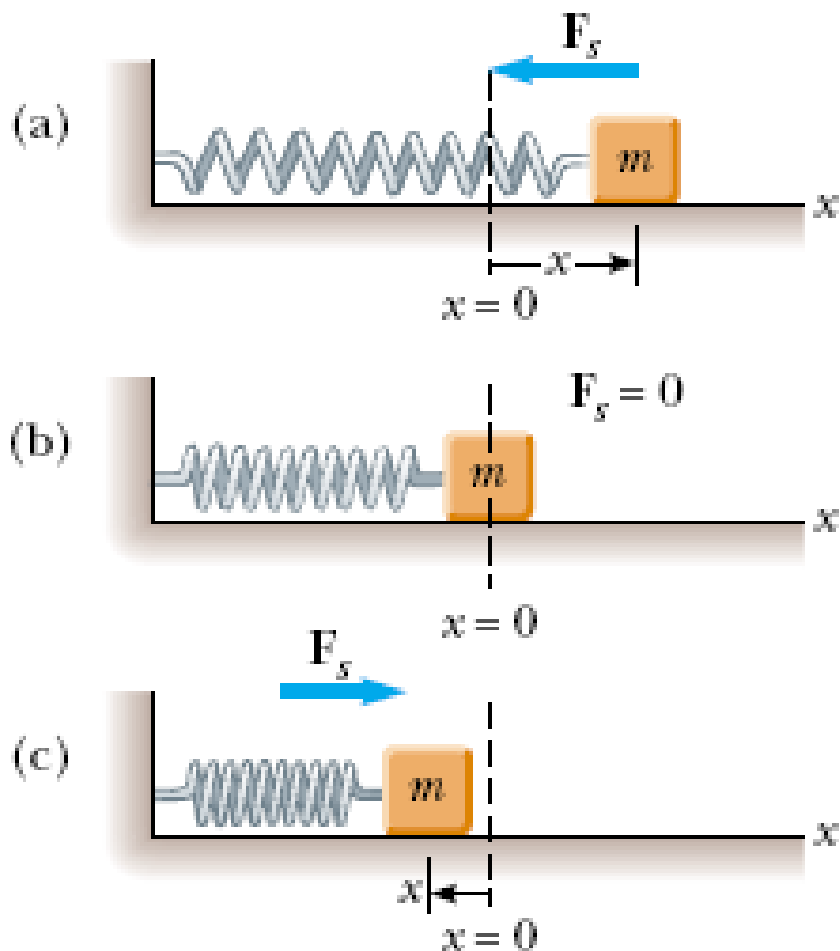
$$\vec{F} = -k\vec{x},$$

gdje nam je \vec{x} vektor pomaka iz ravnotežnog položaja, a k konstanta elastičnosti opruge. Lako se vidi da je sila uvijek suprotne orijentacije nego vektor pomaka, drugim riječima sila uvijek nastoji vratiti tijelo u ravnotežni položaj.

Na koji način pomak ovisi o vremenu. Logična pretpostavka je da se titranje može opisati trigonometrijskim funkcijama koje su periodične:

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

gdje je A amplituda titranja, T period titranja, φ fazni pomak i t proteklo vrijeme. Može se pokazati da je prikazana ovisnost rješenje jednadžbe gibanja dane 2. Newtonovim zakonom u kome je sila harmonijska.



Slika 5 - titranje opruge

Izvor: <http://kolegij.fizika.unios.hr/of1/files/2014/11/07-Titranje.pdf>

(preuzeto 2. rujna 2019.)

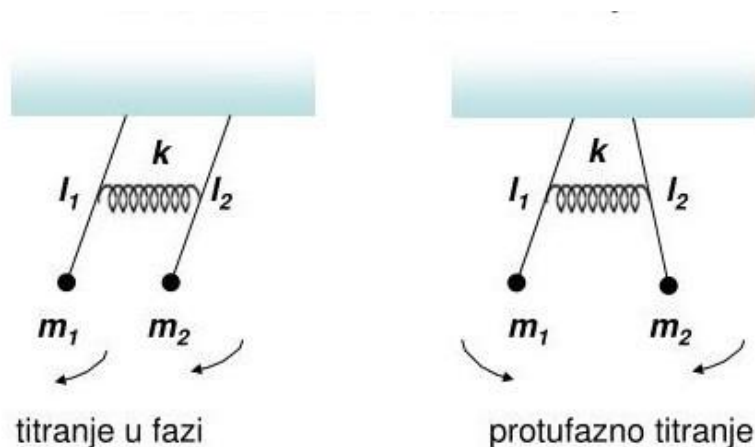
Dakle, titranje opisujemo pomoću amplitude, elongacije, perioda i frekvencije titranja. Amplituda titranja predstavlja maksimalnu elongaciju titranja, a frekvencija je fizikalna veličina kojom označavamo broj titraja u jednoj sekundi te je povezana s periodom pomoću izraza

$$f = \frac{1}{T}.$$

Period je fizikalna veličina koja nam govori vrijeme potrebno za jedan titraj, dok s matematičkog gledišta on predstavlja najmanji vremenski interval nakon kojeg vremenska funkcija elongacije postiže jednake vrijednosti, odnosno za period T vrijedi

$$x(t + T) = x(t).$$

Iduća bitna fizikalna veličina je valna duljina koja nam predstavlja najmanju udaljenost dviju točaka, čestica koje titraju u fazi. Čestice, koje titraju u fazi, predstavljaju nam sinkronizirano titranje što znači kada jedna čestica ide gore, onda i druga istovremeno jednakom brzinom ide prema gore i isto tako prema dolje (slika 6). Fazu nekoga vala predstavlja izraz $\frac{2\pi}{T}t + \varphi$, a fazni pomak određen je početnim uvjetima, primjerice nalazili izvor vala u početnom trenutku u ravnotežnom ili amplitudnom položaj, ili negdje između.

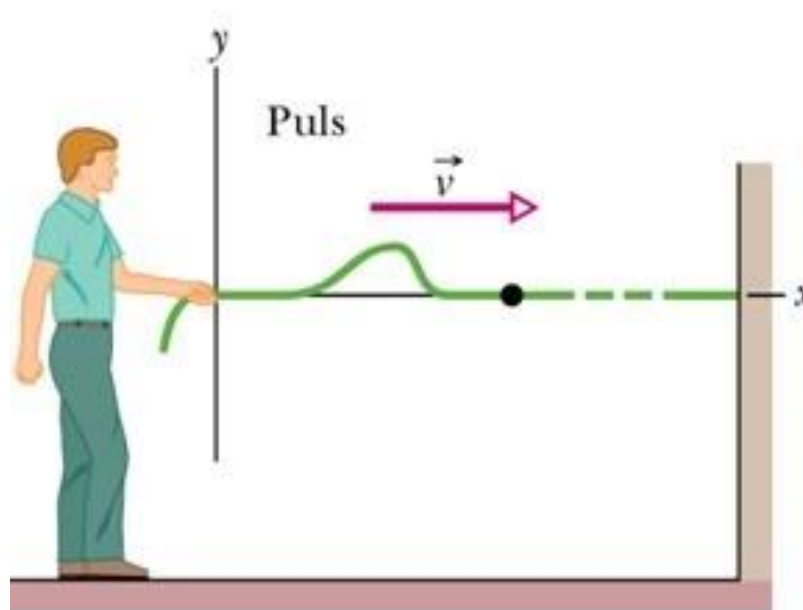


Slika 6 - dva osnovna načina titranja

Izvor: <https://image2.slideserve.com/4805840/slide3-n.jpg> (preuzeto 2. rujna 2019.)

Sada možemo prijeći na pitanje što je to val. Učenicima najveću konceptualnu teškoću vezanu uz ovo pitanje predstavlja nerazumijevanje koncepta što kod valova „putuje“. Kao što su istraživanja pokazala, problem je u tome što se učenici ne mogu odvojiti od koncepta mehanike. Naime, učenicima je neshvatljivo kako sad nešto drugo, osim materije, može putovati. Učenici donekle mogu shvatiti da je val poremećaj i da poremećaj putuje kroz prostor, no istovremeno taj poremećaj povezuju s česticom koja putuje i na taj način predstavlja širenje vala. Ono, u što svaki nastavnik mora uvjeriti svoje učenike, jest to da kod valova putuju poremećaj i energija, a čestice sredstva titraju oko svog ravnotežnog položaja.

Pogledajmo najprije oprugu ili užu koje smo jednim krajem pričvrstili o zid. Ovisno o učionici, možemo razvući dugačku oprugu po podu. Najprije pomaknemo rukom početak opruge okomito od smjera opruge i stvorimo jedan puls (slika 7).



Slika 7 - prikaz pulsa na užetu

Izvor: <https://player.slideplayer.com/1/235240/data/images/img0.jpg> (preuzeto 3. rujna)

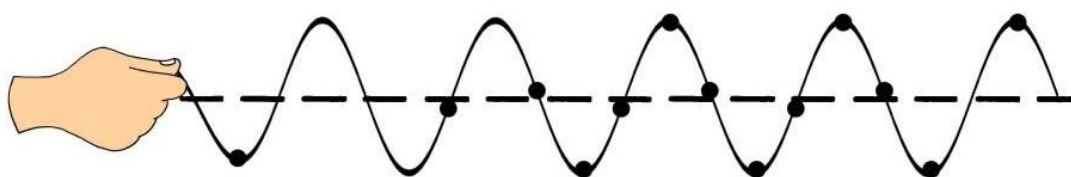
Tu nastavnik može pitati učenike što su uočili, odnosno što se tu giba. To je prilika za pokrenuti razrednu raspravu i usmjeravati učenike da uoče, da je početak užeta nakon

početnog zamaha mirovao dok se ostatak užeta gibao. Nakon toga, učenici bi mogli i samostalno doći do zaključka da je energija povezana s time, dok je prijenos poremećaja očit. Dalje, potrebno je usmjeriti učenike da je nastavnik obavio rad, odnosno prenio energiju na užu koja se potom širila u obliku poremećaja.

Ovim demonstracijskim pokusom nastavnik od učenika traži da samostalno promišljaju i zaključuju te im daje zoran primjer da se početak užeta nije „prošetao“ do kraja i vratio nazad, već da je val prijenos poremećaja i energije kroz sredstvo.

3.2 Kako nastaje val?

U prošleme pokusu donekle smo zavarali učenike da smo proizveli val, ali sada nakon što su usvojili koncept širenja energije i poremećaja možemo ih pitati kako se može proizvesti val. Ovdje možemo ponovno pokrenuti razrednu raspravu ili čak pustiti učenike da samostalno pokušaju proizvesti val. Bitno je usmjeriti ih da zaključe kako ne može bilo koji medij prenositi poremećaj. U tu svrhu nastavnik može zamahnuti rukom, na način da učini jedan puni titraj i pitati učenike je li on sada proizveo val. Tu nastavnik može ponoviti pokus s oprugom ili užetom čineći sve češće pulseve sve dok ne počne stalno i periodično titrati rukom (slika 8).

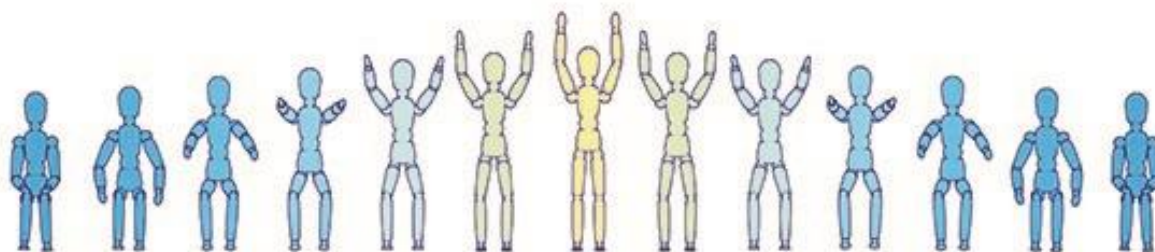


Slika 8⁴ - transverzalni val na užetu

⁴ Izvor: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a743968a-901e-4aa4-9117-d7d5dedac0d5/video-posters/19747.0.mm-f8-04-1533199037020.jpg> (preuzeto 3. rujna 2019.)

Cilj je ponavljanja pokusa usmjeriti učenike da promatraju pojedine dijelove opruge. Nakon što učenici uoče da svaki pojedini dio opruge sada periodički titra, potrebno je usmjeriti ih da se titranje prenosi s jednog tijela na drugo. Tu se nastavnik poziva na učeničko razumijevanje harmoničkog oscilatora te usmjerava učenike da zaključe kako je potrebno imati puno harmoničkih oscilatora. Ovdje se nastavnik, kada je proizveden pravi val, može povezati s prijašnjom poteškoćom i ispitati učenike o čemu ovisi energija vala, tj. kada će biti veći prijenos energije. Opet se jednostavnom demonstracijom valova različitih amplituda učenike može usmjeriti da zaključe kako je veća energija vala onih valova čiji izvor ima veću amplitudu titranja.

Sljedeće je pitanje moraju li harmonički oscilatori biti povezani što je iz samog pokusa očito. Dalje, nastavnik mora uvesti pojam elastičnoga sredstva koje prikazuje kao skup povezanih harmoničkih oscilatora. Na kraju kao provjeru usvojenosti i razumijevanja zanimljivo je postaviti pitanje „ljudskoga“ vala (slika 9) koji se često pojavljuje na nogometnim stadionima i drugim prigodnim mjestima.



Slika 9 - prikaz "ljudskog" vala

Izvor: <https://www.exploratorium.edu/blogs/tangents/stadium-waves>

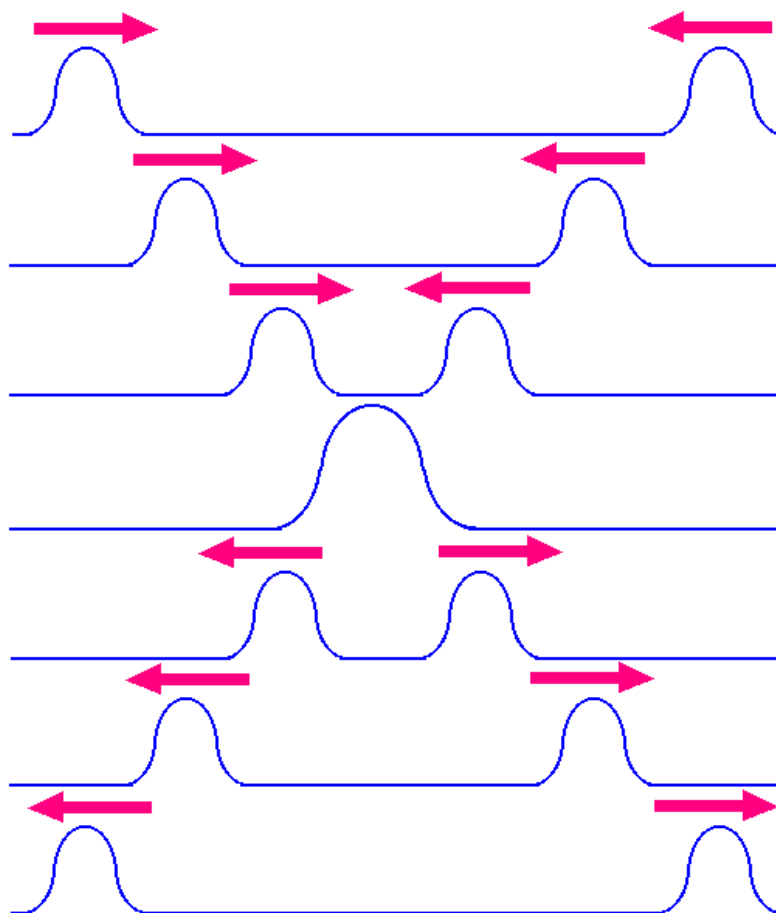
(preuzeto 3. rujna 2019.)

Tu nastavnik provjerava razumiju li učenici što je val i koja je razlika „ljudskoga“ vala i pravoga vala. Također, potrebno je usmjeriti učenike da uoče kako ljudi nisu međusobno povezani elastičnim silama te i ovim putem naglasiti kako je potrebno elastično sredstvo, kako bi se poremećaj i energija mogli širiti proizvodeći val.

3.3 Val – objekt ili događaj?

Pitanje je naizgled jednako prvoj poteškoći, ali postoji činjenica koju nisam u potpunosti naglasili kod samog opisa vala. Naime, kada smo govorili što je val, govorili smo da je val prijenos poremećaja i energije. Nigdje nismo naglasili da se ne prenose čestice što je očito promatrajući pokus s oprugom ili užetom. Ipak, većina učenika se ne može odvojiti od starih koncepata mehanike, a to je činjenica da čestice u gibanju posjeduju energiju, a samim time prenose i energiju. S učeničkog gledišta ovaj bi se koncept mogao primijeniti i na valove. Možda smo odmah nakon opisa vala trebali prijeći na ovu poteškoću, ali, kako je ovo samo pregled učeničkih poteškoća i mogućih načina njihovih rješavanja, na svakom je nastavniku da odabere kojim će redosljedom poučavati svoje učenike. Razlog zbog kojeg smo htjeli ovo pitanje ostaviti za kasnije je taj da možemo učenicima postaviti sljedeća pitanja.

Za potrebe razrješavanja ove učeničke miskonceptije poslužit ćemo se primjerom u kojem dva pulsa jednakih amplituda i brzina, od kojih svaki dolazi iz suprotnog smjera, dolaze na isto mjesto (slika 10).



Slika 10 - superpozicija dvaju simetrična pulsa koji putuju u suprotnim smjerovima

Izvor: <https://courses.cit.cornell.edu/phys101/p101/6/gif/superp.gif>

(preuzeto 3. rujna 2019.)

Ova je slika idealna za uvid u učeničko razumijevanje vala kao gibanja poremećaja i energije jer će učenik, koji i dalje vidi val kao gibanje čestica, odnosno materije, reći da će se dva pulsa poništiti. Kod takvog odgovora lako se da iščitati da se učenik još uvijek čvrsto drži koncepata mehanike te zamišlja val, u ovom slučaju pulseve, kao dvije čestice koje se sudaraju te, prema zakonu očuvanja količine gibanja, nakon sudara miruju. Ključno je ponovno raspraviti s učenicima o činjenici da val nije gibanje materije te ovdje naglasiti da je val gibanje poremećaja i energije bez prijenosa materije i predstaviti to kao svojevrsnu definiciju valova.

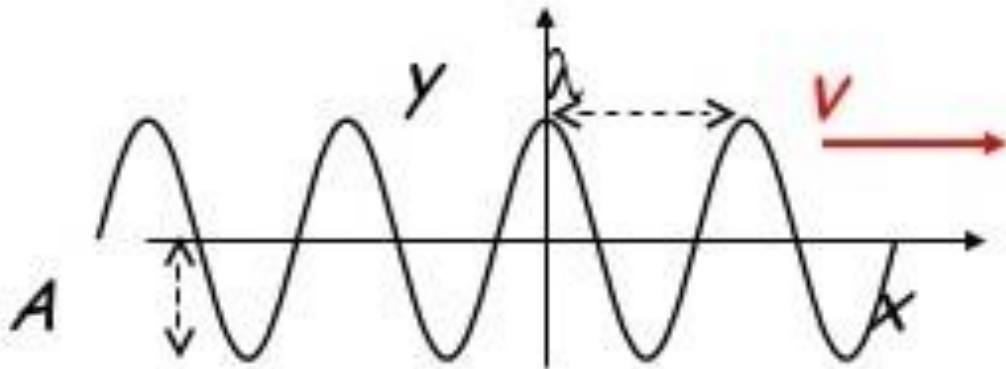
3.4 Matematički opis vala

Kao i u svakoj nastavnoj cjelini, osim konceptualnoga razumijevanja potrebno je i matematički opisati promatrani model. Mnogi nastavnici će se naći u kušnji da učenicima odmah daju gotov izraz koji matematički opisuje valove jer će smatrati da nije potrebno s učenicima prolaziti izvod koji je, prema njima, vrlo sličan matematičkom opisu harmoničkog titranja te će učenicima odmah dati gotov izraz. No, izraz do kojeg ćemo u ovome radu doći krije u sebi puno više poteškoća, nego što se na prvi pogled čini. Za ovu svrhu dat ćemo prijedlog interaktivnog izvoda koji se može primijeniti u svakom razredu.

Pogledajmo prvi korak u interaktivnome izvodu matematičkoga opisa valova. Prvo je pitanje, koje se nameće, što ćemo promatrati i što će nam biti varijabla. Već u ovom koraku potrebno je učenike usmjeriti da razmisle od koliko se harmoničkih oscilatora sastoji sredstvo u kojem se širi val. Kada učenici shvate da postoji beskonačno mnogo takvih oscilatora, treba ih usmjeriti da pokušaju razmisliti možemo li ih nekako povezati. Ne treba očekivati da će učenici odmah doći do zaključka, ali im je potrebno dati vremena da barem samostalno pokušaju. Ukoliko ne uspiju doći do zaključka, nastavnik treba započeti s izvodom na način da učeničku pažnju usmjeri na izvor vala koji je prvi počeo titrati, a zatim sve ostale čestice. Tu nastavnik može postaviti pitanje, primjerice kako možemo odrediti u kojem se položaju nalazi neka druga čestica nakon nekog vremena. Tu započinje interaktivni izvod i nastavnik na ploči označi izvor vala i na nekoj udaljenosti x česticu koja titra u trenutku t . Za naše potrebe navest ćemo da se val giba u pozitivnom smjeru x -osi i da se titranje svih čestica sredstva odvija u y -smjeru (slika 11).

Sljedeće je pitanje vezano za izvor vala i nastavnik od učenika traži da kažu kako on titra, što bi učenici trebali već znati, te zapisuje na ploču izraz koji opisuje titranje izvora:

$$y(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right).$$



Slika 11⁵ - transversalni val koji se giba u pozitivnom smjeru x-osi

Iduće je pitanje koliko će vremena trebati valu koji se giba brzinom v da dođe do neke točke udaljene od izvora vala za x . Jednostavno pitanje iz mehanike na koje će učenici najvjerojatnije znati odgovor, a nastavnik će ga zapisati na ploču:

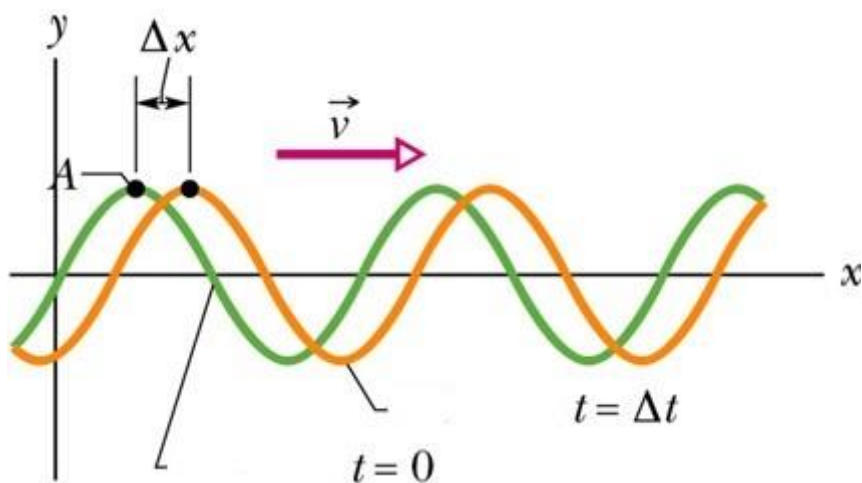
$$\Delta t = \frac{x}{v}.$$

Ovdje slijedi ključan korak u razumijevanju, u kojem nastavnik od učenika traži da usporede ove dvije elongacije, čestice na udaljenosti x od izvora vala i česticu samog izvora vala. Potrebno je s učenicima neko vrijeme raspravljati i dopustiti im da dođu do zaključka da je elongacija čestica na udaljenosti x u trenutku t jednaka elongaciji izvora, ali u nekom ranijem trenutku (slika 12). Postavlja se pitanje u kojem je to trenutku. Bitno je usmjeriti učenike da pogledaju vrijeme potrebno valu da dođe do mjesta udaljenog za x od izvora vala i interaktivnom raspravom voditi ih do zaključka da je to vrijeme jednako $t - \frac{x}{v}$.

⁵ Izvor: <https://image.slidesharecdn.com/lecture05-mechanicalwaves-140114101558-phpapp01/95/lecture-05-mechanical-waves-transverse-waves-12-638.jpg?cb=1389694736> (preuzeto 2. rujna 2019.)

Tu nastavnik sada može na ploču zapisati sljedeći izraz:

$$y(x, t) = A \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right).$$



Slika 12 - prikaz putujućeg vala u početnom trenutku i trenutku $t = \Delta t$

Izvor: <https://player.slideplayer.com/1/235240/data/images/img21.jpg>

(preuzeto 3. rujna)

Za početak nemojmo ništa spominjati učenicima o funkciji dvije varijable i zadajmo im da pokušaju samostalno doći do matematičkog opisa vala. Samostalno, jer su u mogućnosti primijeniti svojstva trigonometrijskih funkcija, konkretno adicijskih formula za kosinus razlike koja glasi:

$$\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y.$$

Primjenjujući ovo svojstvo, naš izraz se svodi na sljedeći:

$$y(x, t) = A \left[\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \cos\left(\frac{2\pi}{vT}x\right) + \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \sin\left(\frac{2\pi}{vT}x\right) \right].$$

Tu nastavnik prepušta učenicima da samostalno uoče da za umnožak vT vrijedi sljedeće:

$$vT = \lambda,$$

dok ih on obilazi za vrijeme njihova rješavanja.

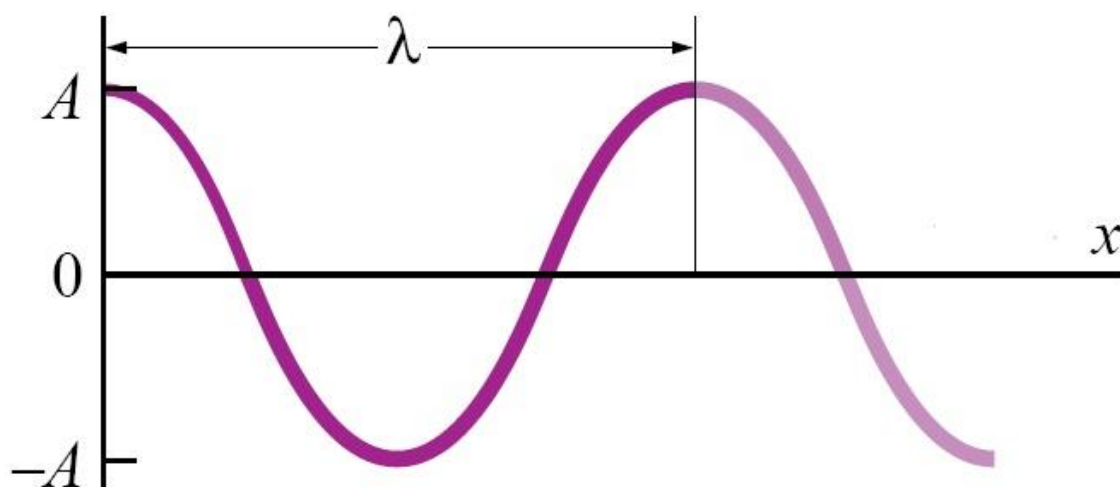
Na kraju, kada nastavnik zaključi da je većina učenika otkrila konačni izraz, on ga zapisuje na ploču u sljedećem obliku:

$$y(x, t) = A \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

Sada slijedi onaj teži dio, onaj u kojem se od učenika traži razumijevanje i interpretacija značenja ovog izraza. Najprije nastavnik učenicima govori da je ovo jednačina vala koji putuje u pozitivnom smjeru x-osi, a zatim učenike ispituje bi li se štogod promijenilo da se val gibao u negativnom smjeru x-osi. Cilj je usmjeriti učenike da zaključe kako se samo predznak unutar argumenta mijenja. To je najlakši matematički dio. Onaj puno zahtjevniji matematički razlog, zbog kojega ne smijemo učenicima dati odmah gotov izraz za jednačinu vala, je taj da je ovo funkcija dviju varijabli. Nama kao nastavnicima to može zvučati smiješno, no ako se prisjetimo kurikulumu nastave Matematike, funkcije se obrađuju tek u četvrtom razredu srednje škole, dok se valovi obrađuju prije toga. Štoviše, čak se ni ne poučavaju funkcije više varijabli. Stoga ne čudi što ovaj izraz može izazvati zbunjenost i nerazumijevanje u učenika. S druge strane, kada učenici postavljaju hipoteze ili samostalno provjeravaju o čemu ovisi neka fizikalna veličina, oni primjenjuju kontrolu varijabli jer znaju da moraju „zamrznuti“ sve osim jedne varijable koju će promatrati pa i u fizikalnome smislu nailaze na mogući problem. Dakle, sama jednačina može izazvati poteškoće u razumijevanju valova i u matematičkom i u fizikalnom smislu.

Prema tome, put kojim smo došli do ove jednačine iznimno je važan jer smo prilikom interaktivnoga izvoda učenicima naglasili da smo promatrali kako titra čestica na udaljenosti x od izvora vala u trenutku t . Stalnim ponavljanjem ove rečenice doprinosimo učeničkom razumijevanju valova na način da sami uoče da smo samo dodali još jednu varijablu. Možemo im to predočiti kao da nismo bili u mogućnosti ostaviti samo jednu varijablu „nezamrznutu“ pa smo ih ostavili dvije. Ovim objašnjenjem donekle smo zadovoljili poteškoću vezanu uz funkcije dviju varijabli, ali za fizikalnu poteškoću potrebno je potruditi se više. Počnimo od dimenzionalne analize i pustimo učenike da vide kako je argument kosinusa bezdimenzionalan pa smo s time riješili taj mogući problem. Sada, da bismo učenicima objasnili jednačinu vala, predložimo sljedeća dva misaona pokusa.

U prvome pokusu zamislimo da smo samo bilježili funkciju ovisnosti elongacije vala o položaju duž sredstva bez vremenske ovisnosti, tj. vrijeme nam je bilo konstantno. Pitanje za učenike je kako bi izgledao jedan takav val. Tu se od učenika traži da zaključe, da bez vremenske ovisnosti dobijemo sljedeću sliku vala (slika 13) i da nam ona predstavlja stvaran raspored čestica u prostoru. To je kao da smo uspjeli fotografirati sve čestice u jednom trenutku i dobili sinusoidalnu sliku.



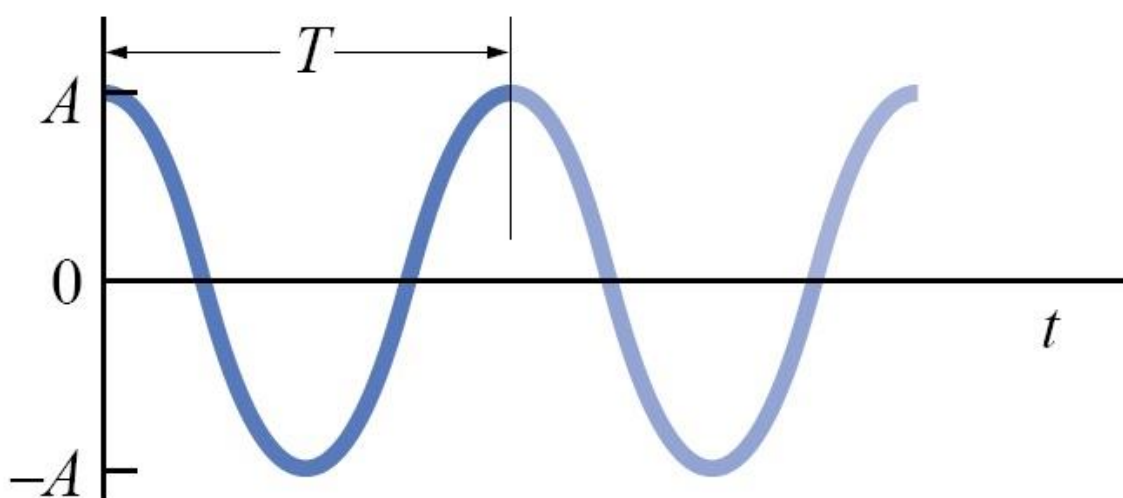
Slika 13 - prikaz ovisnosti elongacije vala o položaju duž sredstva u jednom trenutku

Izvor: http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/7%20F2%20Valovi.pdf

(preuzeto 3. rujna 2019.)

Učenike treba usmjeriti da nam ova slika predstavlja graf ovisnosti elongacije o položaju duž sredstva u jednom trenutku i pitati ih što nam predstavlja udaljenost između dvaju točaka koje su u fazi. Cilj je zadnjeg pitanja da učenici zaključe kako nam ta udaljenost predstavlja valnu duljinu.

Drugi misaoni pokus usmjerio bi se na prikaz ovisnosti elongacije vala o vremenu s konstantnim položajem u sredstvu. Od učenika bismo sada dobili brže dobili odgovor i sliku (slika 14), ali ih možemo dodatno pitati kako bismo utvrdili njihovo razumijevanje.



Slika 14 - prikaz ovisnosti elongacije vala o vremenu na jednom položaju u sredstvu

Izvor: http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/7%20F2%20Valovi.pdf

(preuzeto 3. rujna 2019.)

Vjerojatno će učenici samostalno doći do zaključka da nam ovaj graf predstavlja elongaciju čestice na položaju x tijekom vremena što je zapravo prikaz titranja te čestice.

Ovim ćemo putem postići kvalitetno matematičko i fizikalno razumijevanje jednadžbe vala kao opisa titranja u vremenu i prostoru kao i razumijevanje grafičkoga prikaza valova, bilo s konstantnim vremenom ili s konstantnim položajem.

3.5 Valna jednadžba

Valna je jednadžba danas od velike koristi i velikog značaja u modernoj fizici i ona glasi:

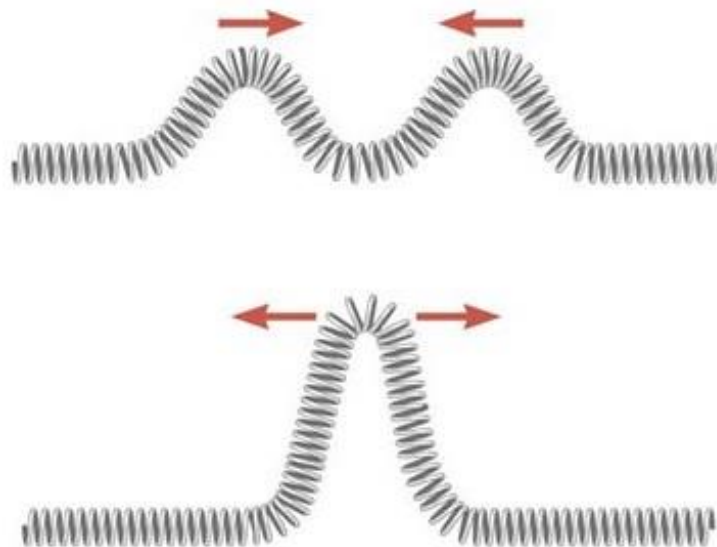
$$v = \lambda f.$$

Iz nekog razloga, unatoč svim pokusima koji pokazuju kako brzina vala ovisi o sredstvu u kojem se val širi i njegovim parametrima, primjerice o napetosti, masi i duljini niti ako imamo valove na niti, o Youngovom modulu elastičnosti i gustoći ako imamo čvrsto tijelo. U tim trenucima poželjno je vratiti učenike na početak, a to možemo postići koristeći se jednostavnim pokusom s užetom. Uzmemo uže i rastegnemo ga te pustimo učenika da titra rukom okomito na smjer užeta i pokuša natjerati val da se brže giba na način da brže titra rukom. Tu učenici mogu lako opaziti da će brzina širenja vala ostati nepromijenjena iako se mijenjala frekvencija vala. S druge strane, iz oblika vala može se uočiti da se valna duljina smanjila i to onoliko puta koliko se početna frekvencija povećala pa je time brzina vala ostala nepromijenjena.

Potrebno je naglasiti učenicima da valna jednadžba predstavlja vezu valne duljine i frekvencije vala, ali ne govori o brzini širenja vala. Učenicima je to zbunjujuće jer je očito da se u valnoj jednadžbi pojavljuje brzina vala. Štoviše, ako jednadžbu zapišemo u obliku koji smo naveli, gdje se brzina nalazi s lijeve strane, to smo učenicima dali dodatan razlog da oni to protumače kako brzina ovisi o valnoj duljini i frekvenciji vala. Za tu svrhu nastavnik može samo obrnuti strane ove jednadžbe naglašavajući pritom navedeni problem i upozoravajući da ju ne tumače na taj način.

3.6 Superpozicija valova

Do sada smo se koncentrirali na jedan val i promatrali kako se on širi kroz prostor, ali što ako bi došlo do interakcije dvaju ili više valova. Sasvim je realno očekivati da se u jednoj točki prostora susretne više valova, a za naše potrebe uzet ćemo da su se sreli dva pulsna vala jednakih amplituda, koji se gibaju jednakim brzinama, ali u suprotnim smjerovima (slika 15).



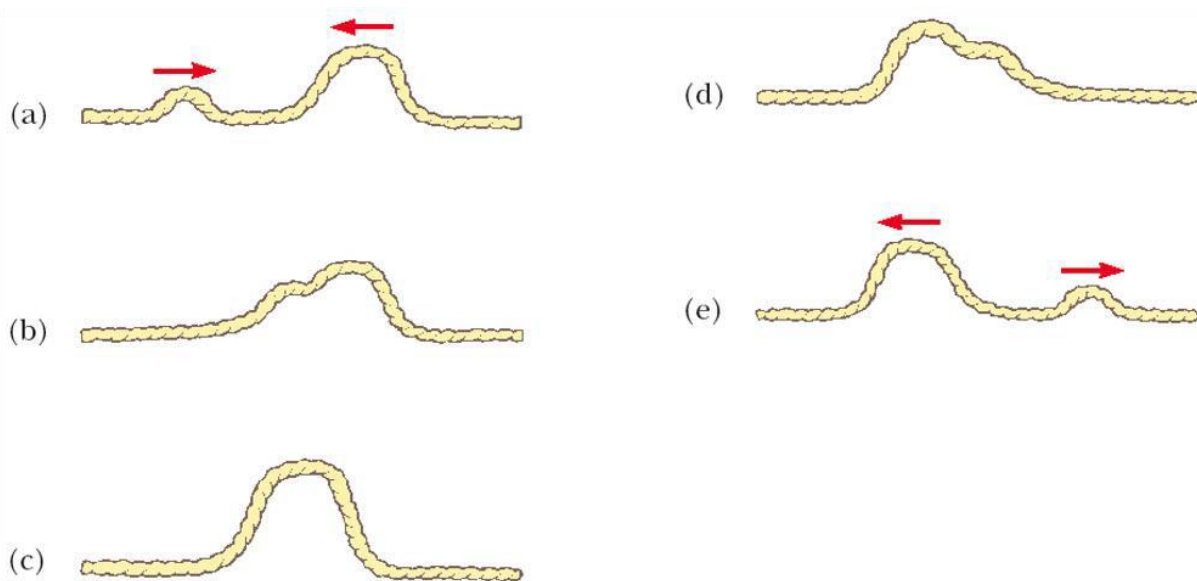
Slika 15 - superpozicija dvaju pulseva jednakih amplituda i valnih duljina

Izvor: [https://slideplayer.com/slide/9267407/27/images/3/The+Principle+of+Superpositio
n.jpg](https://slideplayer.com/slide/9267407/27/images/3/The+Principle+of+Superpositio+ion.jpg) (preuzeto 2. rujna 2019.)

Ovakvi primjeri u kojima učenicima pokazujemo dva vala koji putuju jedan prema drugome i tražimo od učenika da pritom nacrtaju rezultatni val od velike su važnosti za razumijevanje superpozicije valova. Prva je činjenica da nastavnik može učenicima podijeliti nastavne listiće i omogućiti dijelom kooperativno rješavanje zadataka u skupinama, a dijelom razrednu raspravu ili demonstracijske pokuse koje čak mogu i učenici samostalno izvoditi. Ono što je opet poteškoća, koja učenike koči u razumijevanju superpozicije valova, je mehanika, odnosno promatranje valova kao gibanja čestica. Kao nastavnik moramo biti spremni ponoviti s učenicima što je val i što val prenosi, a potom usmjeriti učenike da promatraju susret dvaju valova kao susret poremećaja i energije.

Bitno je proći s učenicima puno primjera u kojima učenici skiciraju rezultatne valove nakon prolaska određenom točkom prostora i interferentni val u toj točki prostora. Za početak učenicima možemo dati primjere valova s jednakim amplitudama, a zatim s različitim.

Više puta smo spomenuli da od učenika očekujemo da skiciraju rezultatni val za vrijeme preklapanja dvaju valova, ali nismo rekli kako će učenici to znati prije nego što im uopće spomenemo amplitude valova. Naime, za početak učenicima ne moramo reći da se amplitude valova u svakoj točki prostora zbrajaju. Najprije ćemo im zadati zadatak ili dva da vidimo mogu li sami doći do tih zaključaka. Ukoliko to ne uspiju, prelazimo na pokuse. Primjerice, uzmemo jedno uže koje drže dvojica učenika i zategnu ga te svaki zatitra svoj kraj tako da dobijemo dva pulsa koji se gibaju jedan prema drugome. Zadatak učenika je uočiti što se događa u trenutku kada se ta dva pulsa susretnu i što se dogodi nakon što se mimođu. Jako jednostavan pokus koji daje dobre rezultate u razumijevanju superpozicije valova. Na kraju, kada nastavnik ustanovi da su učenici razumjeli princip superpozicije koji nam govori da svaka točka sredstva titra pod utjecajem obaju valova, vrijeme je za složenije primjere kao što prikazuje sljedeća slika (slika 16).



Slika 16 - vremenski prikaz superpozicije dvaju pulseva različitih amplituda koji se gibaju u suprotnim smjerovima

Izvor: http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/9_valovi.pdf

(preuzeto 2. rujna 2019.)

(Preporučujemo zadatke u kojima se valovi kreću u kvadratnoj mreži gdje se mogu lako iščitati elongacije kako bi nastavnici mogli preciznije evaluirati učeničke skice.)

Ključan pojam kod principa superpozicije je interferencija valova. Ovo je iznimno važan pojam koji se ne može samo tako definirati niti na brzinu objasniti. Istina je da će učenicima biti sasvim jednostavno kada shvate princip superpozicije da je interferencija valova zapravo jedno te isto, no postoje razlozi zbog kojih moramo ući dublje u ovu tematiku. Pitanje je, kojim bismo mogli razoružati učenike, mogu li tijela interferirati. Ovim jednostavnim pitanjem učenicima treba ukazati na važnost ove pojave koja je specifična za valove, a nemoguća za klasične objekte. Potrebno je naglasiti kako je interferencija pojava koja razlikuje valove od klasičnih objekata. Osim ove činjenice, kod interferencije je potrebno zadržati se nešto dulje prilikom objašnjavanja jer se pokazalo da učenici često primjenjuju princip superpozicije valova samo u točkama maksimalne amplitude i da ne razumiju uvjete konstruktivne i destruktivne interferencije.

Pojava interferencije valova uključuje neke ključne točke. Prva i početna su važne kako bismo mogli uopće razgovarati i raspravljati o interferenciji jer nam omogućuje da se ostvari ili destruktivna ili konstruktivna interferencija, a to je da su izvori koherentni izvori i sinkronizirano emitiraju jednake valove koji su u fazi. Ovom pretpostavkom osigurali smo se da su valovi nakon jednakih putova i dalje u fazi što nam govori da će, u slučaju preklapanja ta dva vala, valovi konstruktivno interferirati u toj točki prostora. U slučaju da udaljenosti dvaju izvora do točke u kojoj promatramo interferenciju valova nisu jednake promatramo razliku tih putova te će o njoj ovisiti hoće li valovi konstruktivno ili destruktivno interferirati ili ništa od navedenog. Tu dolazimo do uvjeta za konstruktivnu i destruktivnu interferenciju koji glase:

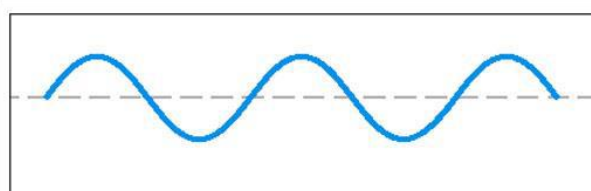
$$\Delta x = m\lambda; m \in \mathbb{Z},$$

za konstruktivnu interferenciju, a

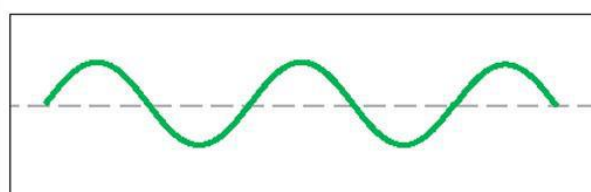
$$\Delta x = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}; m \in \mathbb{Z},$$

za destruktivnu interferenciju. Bitno je s učenicima proći i verbalnu, odnosno fizikalnu interpretaciju ovih uvjeta. Prema toj interpretaciji konstruktivna interferencija događa se

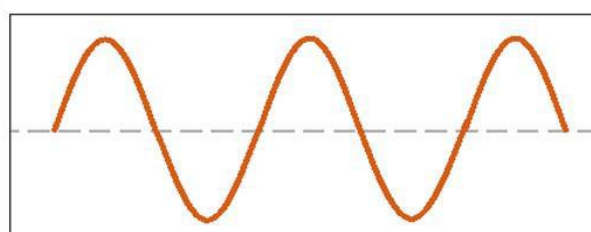
kada je razlika putova jednaka cjelobrojnom višekratniku valne duljine dok će valovi interferirati destruktivno kada je ta razlika jednaka neparnom cjelobrojnom višekratniku polovice valne duljine. Ovako gledano, možda će učenici prije polomiti jezik prije nego razumjeti ove interpretacije, ali je ključno usmjeriti ih da ne uče napamet ove uvjete. Ako ih naučimo da će valovi, ako je razlika putova višekratnik valne duljine, konstruktivno interferirati jer će sinusoidalni oblici valova izgledati jednako (slika 17), fizikalna interpretacija će imati puno više smisla. S druge strane, ako sinusoidalni valovi pokazuju da su valovi u protufazi (slika 18), što nam govori da je razlika putova višekratnik od $\frac{\lambda}{2}$, interpretacija destruktivne interferencije ima više smisla.



(a)



(b)

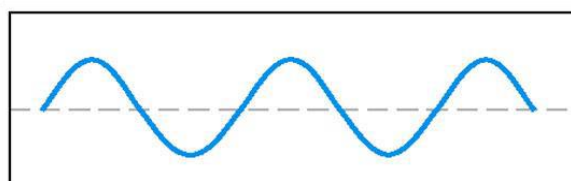


(c)

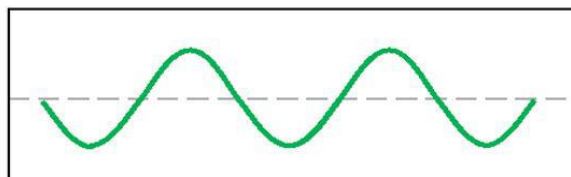
Slika 17 - funkcijski prikaz valova koji su u fazi (a, b) i njihove konstruktivne interferencije (c)

Izvor: http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/9_valovi.pdf

(preuzeto 2. rujna 2019.)



(a)



(b)



(c)

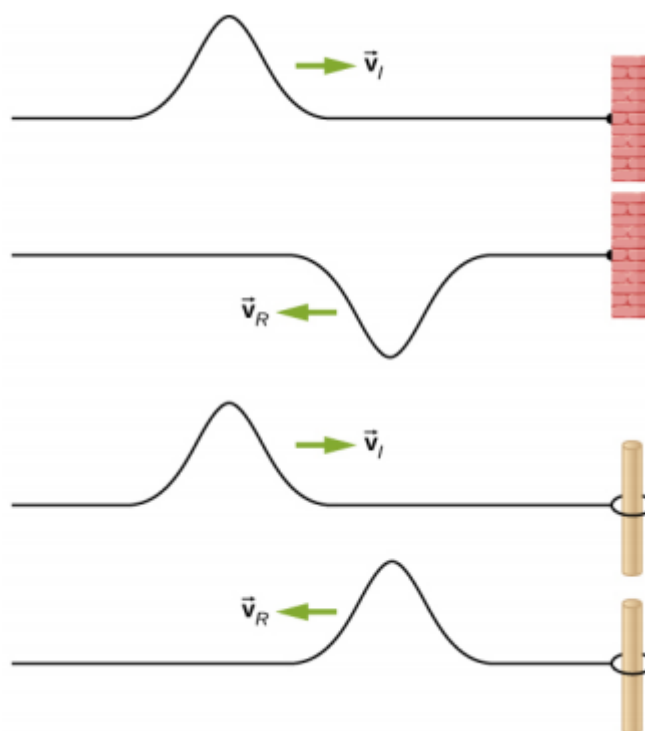
Slika 18 - funkcijski prikaz valova koji su u protufazi (a, b) i njihove destruktivne interferencije (c)

Izvor: http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/9_valovi.pdf

(preuzeto 2. rujna 2019.)

3.7 Stojni valovi

Do sada smo promatrali valove koji se gibaju u neograničenome sredstvu, a takve valove zovemo putujućim valovima. S druge strane, postoje i stojni valovi koji nastaju kada se val širi u ograničenome sredstvu, ali pod određenim uvjetima. Stojni valovi su poteškoća koju učenici ne razumiju u potpunosti jer im njihovo iskustvo govori da nije moguće da samo čestice na određenim mjestima ne titraju niti da oni nastaju kada sustav titra točno određenim frekvencijama. Prije nego prijedemo na stojne valove, moramo s učenicima temeljito proći refleksiju valova na slobodnom i čvrstom kraju (slika 19).



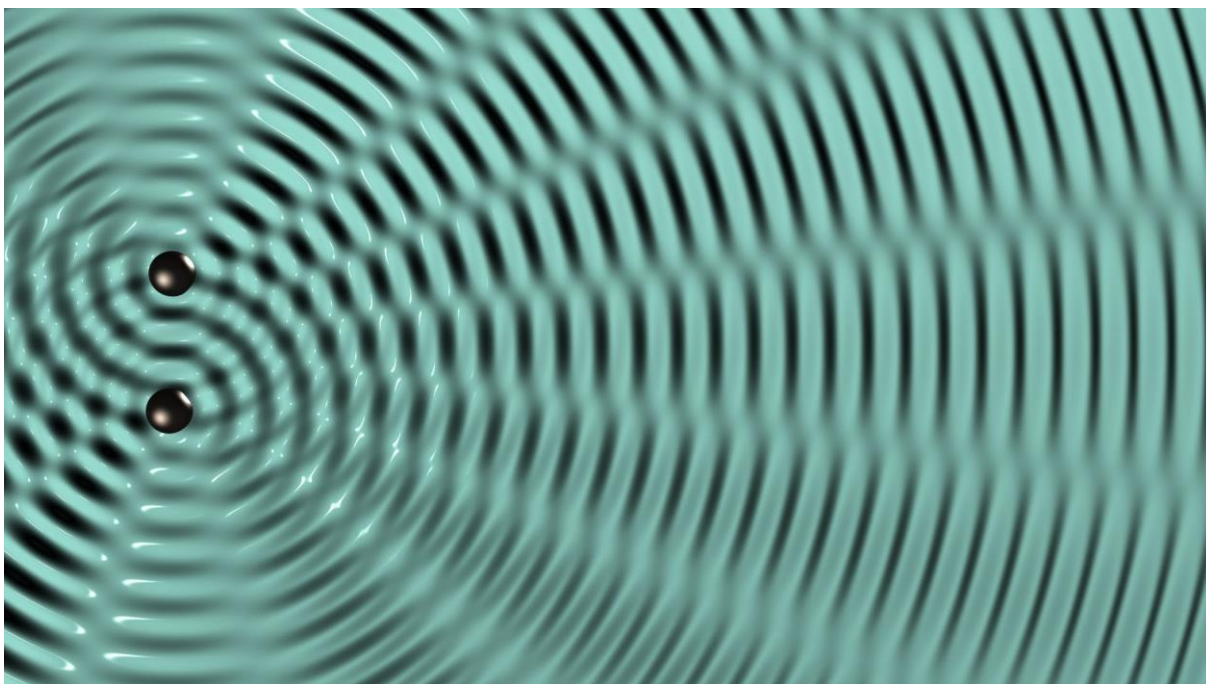
Slika 19 - refleksija valova na čvrstome (gore) i na slobodnome (dolje) kraju

Izvor: https://cnx.org/contents/6dHkc9zc@1.1:atV-gRHg@8/2-5-Interference-of-Waves#CNX_UPhysics_16_05_BounCond (preuzeto 2. rujna 2019.)

Refleksiju valova učenicima možemo zorno prikazati na način da uzmemo užu, rastegnemo ga i počnemo titrati rukom okomito na smjer užeta, dok je drugi kraj užeta najprije pričvršćen, a zatim slobodan. Za početak možemo slati pulseve dok učenici ne uoče što se događa kada valovi dođu do „ruba“ sredstva kojim se šire. Kao što slika pokazuje, refleksijom na čvrstome kraju dolazi do pomaka u fazi za π i val se reflektira kao invertirani val jednake amplitude, dok se refleksijom na slobodnome kraju val vraća kako je i došao. Ovi zaključci poslužit će nam u raspravi s učenicima u sljedećem pokusu.

Idealan je pokus za prikaz stojnih valova napeta žica kojom titramo stvarajući stojne valove. Istina je da je potrebna velika priprema i količina spretnosti nastavnika kako bi proizveo stojne valove jer je potrebno uzeti točnu duljinu žice i pogoditi frekvenciju titranja pa je preporuka učenicima pokazati simulacije koje se mogu lako naći na internetu,

a na kojima se jasno vidi da postoje mjesta koja nikad ne titraju pri odgovarajućim frekvencijama. U tu svrhu nastavnik može spomenuti i žičane instrumente koji su idealan primjer stojnih valova. Pokus koji se zapravo može provesti je onaj s valovima na vodi (slika 20).



Slika 20⁶ - stojni valovi na vodi. Linije koje su mutne predstavljaju čvorne linije, odnosno mjesta koja uvijek miruju.

Ovdje učenici mogu sami uočiti linije koje predstavljaju čvorne krivulje, odnosno mjesta koja nikada ne titraju. Ovi pokusi su neizbježni jer ostaju zapamćeni i na taj način učenicima pokazuju da takvi valovi uistinu postoje.

⁶ Izvor: <https://i2.wp.com/elitetrack.com/wp-content/uploads/2016/07/maxresdefault.jpg?resize=1078%2C516&ssl=1> (preuzeto 3. rujna 2019.)

4. Zaključak

Suvremena je nastava Fizike u stalnome razvoju i nastoji ispuniti sve zahtjeve koje nam zadaje svijet u kojem živimo. Zahtjevi su, koji se trenutačno traže od nastave Fizike, intelektualna angažiranost učenika prilikom izvođenja nastavnoga sata i prikaz znanstvenog karaktera fizike. Nastavni oblik, koji je nastao kao rezultat ovih zahtjeva, naziva se interaktivna istraživački usmjerena nastava Fizike. Primjenjujući ovaj nastavni oblik u nastavi Fizike, pokazalo se da su učenici potaknuti aktivno učiti, odnosno postigao se intelektualni angažman učenika koji je rezultirao boljim konceptualnim razumijevanjem fizike i znanstvenim zaključivanjem.

Konceptualno razumijevanje valova kod učenika nije na razini koju od nas traži vrijeme u kojem živimo. U vremenu u kojem su učenici svakodnevno okruženi uređajima i pojavama čiji se koncepti temelje na razumijevanju valova, učenici nailaze na niz poteškoća već pri osnovnim pojmovima vezanim za valove. Kao nastavnicima naša je obveza da se usredotočimo na te poteškoće i pronađemo načine na koje ih možemo razriješiti. Ključno je pružiti učenicima mogućnost konceptualnoga razumijevanja valova i ne odustati prilikom nailaska na prepreke koje se čine nepremostivima. Ustrajnost, kreativnost i topao pristup uz puno truda i komunikacije ključ je uspjeha, a ako uspijemo ispravno poučiti učenike, možemo biti ponosni jer smo učenicima usadili korijene samostalnog razmišljanja i promatranja svijeta oko sebe koji mogu uroditi velikim plodom.

U ovome radu posvetili smo se suvremenoj nastavi Fizike i metodama koje odgovaraju na zahtjeve 21. stoljeća te mehaničkim valovima kao jednom od temelja konceptualnoga razumijevanja većine pojava i uređaja koji nas svakodnevno okružuju.

Literatura

- [1] Arayathanitkul K., Johnston, I. D., Sharma, M. D., Soankwan, C., Tongchai, A. (2009). Developing, Evaluating and Demonstrating the Use of a Conceptual Survey in Mechanical Waves. *International Journal of Science Education*, 31 (18), 2437-2457.
- [2] Cakir, M. (2008). Constructivist approaches to learning in science and their implication for science pedagogy: A literature review. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3 (4), 193-206.
- [3] Crouch, C. H., Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results.
- [4] Cutnell, J. D., Johnson, K.; *Physics – 8th edition*. John Wiley & Sons, Hoboken, 2009.
- [5] Eshach, H., Schwartz, J. L. (2006). Sound Stuff? Naïve materialism in middle-school students' conceptions of sound. *International Journal of Science Education*, 28 (7), 733-764.
- [6] Etkina, E. (1997). *Teaching Physics to Gifted Students*. Ph. D. Dissertation, Moscow State Pedagogical University.
- [7] Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand- student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.
- [8] Halloun, I. A., Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53, 1043-1055.
- [9] Harrison, A. G., Grayson, D. J., & Treagust, D. F. (1999). Investigation a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 55-87.
- [10] Heller, P., Keith, R., Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60 (7), 627-636.

- [11] Heller, P., Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60 (7), 637-644.
- [12] Hestenes, D., Wells, M., Swackhammer, G. (1992). Force Concept Inventory. The Physics Teacher 30 (141-158). *American Journal of Physics*, 69 (9), 970-977.
- [13] Jackson, C. (1994). How personality profiling can change your life. *Physics World* 7 (4), 101-103.
- [14] Kim, E., Park, S-J. (2002). Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems. *American Journal of Physics*, 70 (7), 759-765.
- [15] Lee, J. S. (2007). Exploring students' understanding concerning batteries - Theories and practices. *International Journal of Science Education*, 29 (4), 497-516.
- [16] Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's manual*. Prentice-Hall series in educational innovation. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- [17] McDermott, L.C. & the University of Washington Physics Education Group (1996.) *Physics by Inquiry*, John Wiley and Sons Inc.
- [18] Meltzer, D. E., Manivannan, K. (2002). Transforming the lecture hall environment: The fully interactive physics lecture. *American Journal of Physics*. 70 (6), 639-653.
- [19] Minner, D. D., Levy, A. J., Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction - What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (4), 474-496.
- [20] Opis kooperativnog rješavanja zadataka u skupinama:
<http://groups.physics.umn.edu/physed/Research/CGPS/CGPSintro.htm>
- [21] Planinić, M. (2009). Interaktivni načini poučavanja fizike, *Deveti simpozij o nastavi fizike: Interaktivna nastava fizike, Zbornik radova*. Zagreb: Hrvatsko fizikalno društvo
- [22] Schroeder, C., Scott, T., Tolson, H., Huang, T., & Lee, Y. (2007). A meta-analysis of national research: Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (10), 1436-1460.

[23] Sengoren, S. K., Tanel, R., Kavcar, N. (2006). Drawings and ideas of physics teacher candidates relating to the superposition principle on a continuous rope. *Physics Education*, 41 (5), 453-461.

[24] Sokoloff, D. R., Thornton, R. K. (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*, 35 (6), 340-347.

[25] Treagust, D. F. (1986). Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple choice items. *Research in Science Education*, 16 (1), 199-207.

[26] Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10 (2), 159-169.

Sažetak

U današnje vrijeme, u kojem tehnologija i prirodoslovne znanosti, među njima i fizika, napreduju nevjerojatnom brzinom, javlja se potreba da suvremena nastava Fizike prati taj razvoj. Za tu je svrhu bilo potrebno uvesti novi nastavni oblik koji bi ispunio uvjete suvremene nastave Fizike i rezultirao razvojem razumijevanja fizike kao znanstvene discipline. Metoda, koja je pritom razvijena, naziva se interaktivna istraživački usmjerena nastava Fizike čiji je glavni cilj potaknuti intelektualni angažman učenika i prikazati znanstveni karakter fizike.

Istraživanja pokazuju da su temelji razvoja znanosti i tehnologije u 21. stoljeću kreativnost i inovativnost. Primjenom interaktivne istraživački usmjerene nastave Fizike kao glavnog oblika nastave pokazalo se da se ti temelji mogu kvalitetno razviti, a s obzirom da se većina današnjih i budućih tehnologija i uređaja zasniva na konceptualnome razumijevanju pojma valova, ovaj je rad usmjeren na glavne učeničke poteškoće vezane uz mehaničke valove i načine njihova rješavanja.

Summary

Ivan Kalić

Modern Physics Education: Mechanical Waves

In this world, in which technology and science, including physics, are advancing at an incredible pace, the need for a modern continuation of Physics is emerging to accompany this development. For this intent, it was necessary to explore new teaching forms that would meet the requirements of modern teaching of Physics and result in a different understanding of physics as a scientific discipline. The method that has been developed is called an interactive research-oriented teaching of Physics that aims to inspire the intellectual engagement of the students and outline the scientific nature of physics.

Research say that creativity and innovation are the base of science and technology in 21st century. It has been affirmed that, by using an interactive research-oriented teaching of Physics as a main method, innovation and creativity can be properly developed, and considering that most of today's and future technologies and devices are based on conceptual understanding of the concept of the waves, this paper is looking back at the main student's difficulties related to mechanical waves and ways to resolve them.

Životopis

Moje ime je Ivan Kalić. Rođen sam 4. travnja 1995. godine u Vinkovcima. Odrastao sam i živio s roditeljima, dvije sestre i jednim bratom.

Školovanje sam započeo 2002. godine u Osnovnoj školi Bartola Kašića u Vinkovcima te sam ju završio kao odličan učenik. Daljnje školovanje nastavio sam u Gimnaziji Matije Antuna Reljkovića, također u Vinkovcima. Tu sam završio prirodoslovno-matematički smjer s odličnim uspjehom. Za vrijeme moga pohađanja gimnazije, sudjelovao sam na brojnim županijskim natjecanjima iz Matematike, Fizike, Kemije, Hrvatskoga jezika, Njemačkoga jezika. Sudjelovao sam u dodatnoj nastavi iz Njemačkog jezika i pritom položio međunarodni ispit poznavanja njemačkog jezika. Osim njemačkog jezika, govorim i engleski jezik. Maturu sam polagao 2014. godine te sam ju položio s odličnim uspjehom.

Svoje studiranje započeo sam 2014. godine u Zagrebu, gdje sam upisao Prirodoslovno-matematički fakultet, nastavnički smjer Matematika i Fizika. Studij sam završio s vrlo dobrim uspjehom.

Dvije godine držao sam demonstrature iz kolegija Osnove fizike. Studentsku praksu iz Fizike imao sam u XV. gimnaziji, a studentsku praksu iz Matematike u OŠ Prečko i XV. gimnaziji u Zagrebu. Četiri godine sam volontirao u oratoriju „Dominik Savio“ kod salezijanaca, gdje sam držao instrukcije iz prirodoslovnih nastavnih predmeta.

Vjenčao sam se u ožujku 2019. godine i od tada živim sa suprugom u Zagrebu.