

UNIVERZITET U SARAJEVU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
ODSJEK ZA FIZIKU

I CIKLUS STUDIJA - NASTAVNIČKI SMJER

**USTALJENE UČENIČKE I STUDENTSKE POTEŠKOĆE U
RAZUMIJEVANJU SADRŽAJA GEOMETRIJSKE I TALASNE
OPTIKE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: doc. dr. Vanes Mešić

Studentica: Hubljar Delila

Sarajevo, septembar 2015.

Zahvaljujem se svim profesorima Prirodno-matematičkog fakulteta, koji su mi predavali tokom studija, čiji je trud i veliko zalaganje da nam obezbjede što bolje znanje rezultiralo uspješnim završetkom studija.

Posebno se zahvaljujem doc.dr. Vanesu Mešiću na izboru teme, na korisnim savjetima i iznimnoj pomoći u izradi svakog dijela ovog rada.

Rad želim posvetiti svojim roditeljima koji su mi bili podrška tokom svih godina studiranja.

U Sarajevu, septembar 2015. godine

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. POJAM UČENIČKIH MISKONCEPCIJA I NJIHOVA PODJELA.....	3
2.1. Učeničke predkonceptije	3
2.2. Učeničke miskoncepcije.....	4
2.3. Karakteristike miskoncepcija i njihova kategorizacija.....	4
2.4. Identifikacija miskoncepcija	5
3. PROCESI KONCEPTUALIZACIJE I KONCEPTUALNE PROMJENE.....	7
3.1. Proces konceptualizacije	7
3.2. Proces konceptualne promjene.....	10
4. PREGLED REZULTATA RANIJIH ISTRAŽIVANJA O UČENJU OPTIKE.....	13
4.1. Učeničke miskoncepcije iz oblasti geometrijske optike	13
4.1.1. Učeničke miskoncepcije o prirodi i prostiranju svjetlosti	13
4.1.2. Učeničke miskoncepcije o odbijanju svjetlosti i ogledalima.....	16
4.1.3. Učeničke miskoncepcije o prelamanju svjetlosti i sočivima.....	17
4.2. Učeničke miskoncepcije iz oblasti talasne optike	18
4.2.1 Učeničke poteškoće u razumijevanju interferencije i difrakcije svjetlosti	18
4.2.2. Učeničke poteškoće koje se odnose na viđenje boja	20
5. MOGUĆI UZROCI UČENIČKIH POTEŠKOĆA U UČENJU OPTIKE	21
5.1. Mogući uzroci učeničkih poteškoća u učenju geometrijske optike	21
5.2. Mogući uzroci učeničkih poteškoća u učenju talasne optike	22
6. MODERNI PRISTUPI POUČAVANJU OPTIKE.....	23
6.1. Poučavanje geometrijske optike.....	23
6.2. Poučavanje talasne optike	25
7. OPIS EMPIRIJSKOG ISTRAŽIVANJA	27
7.1. Svrha istraživanja	27
7.2. Istraživačko pitanje	27
7.3. Zavisna varijabla	27
7.4. Ispitanici	27
7.5. Relevantne karakteristike kurikuluma.....	28

7.6. Mjerenje zavisne varijable	28
8. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA.....	31
8.1. Raspodjela test skorova i usporedba rezultata s obzirom na demografske karakteristike ispitanika	31
8.1.1 Raspodjele test skorova	31
8.1.2 Usporedba rezultata s obzirom na demografske karakteristike ispitanika	33
8.2. Analiza rezultata na pojedinačnim zadacima	35
9. ZAKLJUČAK.....	49
10. REFERENCE.....	52

1. UVOD

Optika je područje fizike unutar kojeg se proučava priroda, nastanak i prostiranje svjetlosti, kao i interakcija svjetlosti sa materijom. Tradicionalno, optika se dijeli na geometrijsku i talasnu optiku. Geometrijska optika, izučava svjetlosne pojave aproksimirajući prostiranje svjetlosti pomoću modela svjetlosne zrake, dok talasna optika objašnjava one pojave za koje je potrebno potpuno poznavanje talasne prirode svjetlosti.

Optika ima veliku primjenu u svakodnevnom životu i modernim tehnologijama, počevši od ogledala kao najjednostavnijeg optičkog instrumenta do mikroskopa i teleskopa kao složenijih optičkih instrumenata. Također, razumijevanje talasne optike može biti dobra podloga za učenje nekih oblasti moderne fizike. Upravo iz tog razloga jako je bitno da nastava optike bude kvalitetna.

Da bi se kvalitet nastave poboljšao, provode se brojna istraživanja koja nam omogućavaju da spoznamo učeničke i studentske poteškoće u razumijevanju optike, kao i načine prevazilaženja tih poteškoća. Istraživačima su posebno zanimljiva učenička i studentska shvatanja koja su ustaljena i široko rasprostranjena među učenicima različitih rasa, starosne dobi i spola, a odstupaju od fizikalno prihvatljivih koncepcija stvarnosti. Ta manjkava shvatanja nazivamo miskoncepcijama.

Izuzetno je bitno da predavači/nastavnici budu upoznati sa miskoncepcijama učenika o optičkim pojavama. Takva saznanja im omogućavaju da nastavu pripreme na način koja će u većoj mjeri biti usmjerena ka procesu konceptualne promjene u odnosu na tradicionalnu nastavu.

Radi organiziranja što efektivnijeg procesa konceptualne promjene nije dovoljno poznavati samo specifične učeničke/studentske miskoncepcije. Nužno je razmotriti i moguće uzroke miskoncepcija, kao i naučno utemeljene načine njihovog prevazilaženja.

Cilj ovog diplomskog rada sastoji se upravo u identificiranju najznačajnijih učeničkih/studentskih poteškoća u razumijevanju sadržaja geometrijske i talasne optike, te razmatranju potencijalnih uzroka tih poteškoća. Shodno tome izvršena je analiza relevantne literature i provedeno je empirijsko istraživanje čija se svrha sastoji u identificiranju

miskoncepcija u oblasti interferencije i difrakcije svjetlosti, kod studenata Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu. Značaj ovog istraživanja sastoji se u inicijalnom prikupljanju podataka o razumijevanju talasne optike kod studenata, a radi obezbjeđivanja orijentacione osnove za planiranje budućih, sistematskih istraživanja usmjerenih ka unapređivanju nastave na Odsjeku za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu.

2. POJAM UČENIČKIH MISKONCEPCIJA I NJIHOVA PODJELA

Tradicionalna nastava fizike ne uzima u obzir široka teorijska i eksperimentalna znanja o tome kako ljudi misle i uče. S druge strane, učenici živeći u fizikalnom svijetu, posjeduju niz duboko ukorijenjenih koncepcija o tome kako fizikalni svijet funkcionira ili bi trebao funkcionirati i sa tim znanjem počinju u školi učiti fiziku. Često se tu radi o ispravnim koncepcijama, ali se susreću i pogrešne koncepcije koje nazivamo miskoncepcijama. One su uglavnom zasnovane na površnom promišljanju svijeta (odsustvo kritičkog mišljenja i eksperimentalnog provjeravanja ideja) i neopravdanom poopćavanju neposrednih iskustava iz svakodnevnih situacija. U zadnje vrijeme za takvo poimanje fizike u upotrebi je i termin „alternativna koncepcija“. Realno, dolazak do fizikalnih koncepcija o funkcioniranju materijalnog svijeta 'potkrijepljen' je strpljivom i brižljivom primjenom teorijsko-eksperimentalnih istraživanja pojava u materijalnom svijetu i taj bi put trebalo didaktički transponovati u proces nastave fizike. Tako je npr. zajednica fizičara trebala puno vremena i kreativnost velikog broja najsposobnijih fizičara da bi se napustile aristotelovske ideje o kretanju („nema kretanja bez sile“) i prešlo na newtonovsko poimanje kretanja i sile („nema ubrzanja bez neuravnotežene sile“).

2.1. Učeničke predkoncepcije

Učeničke predkoncepcije čine znanje koje učenici već imaju o nekom fizikalnom svojstvu, odnosno veličini, pojavi, povezanosti i odnosu među veličinama, prije nego su to započeli učiti u nastavi fizike.

Tako, npr. učenici o sjenkama najčešće znaju samo ono što im je iz svakodnevnog iskustva jasno- da njihova dužina može varirati, da su neuhvatljive i slično. Međutim, dublje razumijevanje pojave sjenki učenici ne posjeduju i oni njihovo stvaranje prilikom svakodnevnog percipiranja stvarnosti (i s tim povezanog svakodnevnog govora) ne povezuju sa „manjkom svjetlosti“. Ovo i nije začuđujuće, jer da bi razumjeli pojavu stvaranja sjenke, učenici najprije moraju razumjeti model pravolinijskog prostiranja svjetlosti.

Učeničke predkoncepcije mogu ispravno odražavati neki konceptualni okvir ili biti pogrešne.

2.2. Učeničke miskoncepcije

Učeničke miskoncepcije čine pogrešne ideje (pogrešna mišljenja) o nečemu. Prve radove o istraživanju učeničkih miskoncepcija u fizici objavila je Driver (1973) koja je niz godina bilježila i tumačila neformalne komentare gimnazijalaca kojima je predavala.

Osamdesetih godina intenzivirana su istraživanja u oblasti miskoncepcija u nastavi fizike. Najprije je pažnja naučnika iz oblasti metodike nastave fizike posvećena identifikaciji miskoncepcija, tj. selekciji i organizaciji činjenica. Zatim se krenulo u izgradnju logičke strukture teorije predkoncepcija (kroz traženje veza sa kognitivnim naukama, idejama iz historije fizike i sl.), da bi se najzad osmišljali načini kako na osnovu te teorije izgrađivati proces konceptualne promjene u nastavi fizike.

Viennot (2004) je ukazala na činjenicu da učeničko spontano zaključivanje često nije samo niz nasumičnih pogrešaka, nego je to manje ili više koherentan način mišljenja koji je nastao refleksijom načina mišljenja u svakodnevnoj konverzaciji, u medijima i na temelju onog što učenici čitaju.

2.3. Karakteristike miskoncepcija i njihova kategorizacija

Driver (1973) izdvaja sljedeća četiri ključna svojstva miskoncepcija:

1. Miskoncepcije su konzistentne sa ostalim konceptima koje učenik posjeduje;
2. Miskoncepcije su često posljedica učeničkog nevladanja jezikom fizike (učenici često koriste neprecizan jezik i nedefinirane pojmove kako bi objasnili neke fenomene);
3. Slične miskoncepcije mogu se naći kod učenika različite dobi i različitog porijekla;
4. Miskoncepcije su otporne na promjene i najčešće ih nije moguće zamijeniti putem tradicionalnog poučavanja.

S obzirom na kontekste koji su doprinijeli njihovom nastanku, miskoncepcije bi se mogle kategorizirati na sljedeći način (Wilkinson&Fox, 1997):

- Široko rasprostranjena shvatanja koja se izgrađuju na osnovu svakodnevnog iskustva učenika;
- Nenaučni pogledi na svijet koje učenik usvaja kroz mitološka i pseudoreligijska

izučavanja;

- Konceptualna konfuzija nastaje kada se učenicima predaje gradivo, a da se pri tome oni ne sučeljavaju sa paradoksima i nekozistentnošću svojih preduvjerenja. U tom slučaju učenici često konstruišu neke alternativne, kompromisne modele koji su veoma slabi i čine njihovo znanje nesigurnim;
- Jezične miskoncepcije imaju svoj izvor u korištenju riječi koji u svakodnevnom iskustvu imaju jedno, a u jeziku nauke drugo značenje (npr. rad, pritisak i sl.);
- Činjenične miskoncepcije koje je pojedinac usvojio u ranom djetinjstvu i nisu godinama dobile alternativu;
- Miskoncepcije kao plod grešaka nastavnika (tzv. didaktogeničke miskoncepcije). Također, mogu biti posljedica postojanja materijalnih grešaka u stručnoj literaturi kojom se učenik služi.

Osim miskoncepcija koje se odnose na razumijevanje sadržaja fizike, prilikom planiranja i implementiranja nastave fizike treba imati na umu i učeničke miskoncepcije o prirodi fizike. Tako npr. shvatanje fizike kao kolekcije velikog broja nepovezanih formula, veoma vjerovatnim čini mehaničko učenje i razvijanje fragmentarnog znanja, bez fokusiranja pažnje na konceptualizaciju.

Vrijedi spomenuti i miskoncepcije koje se tiču epistemologije fizike. Naime, učenici najčešće nemaju ispravnu sliku o procesu fizikalnog saznanja. Oni proces naučnog saznanja vide kao nešto strogo determinirano, nešto idealizirano i usmjereno samo u jednom pravcu. Zasigurno nastavnik treba, i kada je ovaj tip miskoncepcije u pitanju, voditi učenike kroz proces rekonceptualizacije, na način da što je moguće više, približi nastavu fizike istinskom procesu saznanja (vodeći računa o principu primjerenosti).

2.4. Identifikacija miskoncepcija

Mnogi nastavnici i istraživači su kroz svoj rad prikupili dosta činjeničnih podataka i sastavili cijele liste ustaljenih učeničkih miskoncepcija u nastavi fizike na koje treba obratiti pažnju. Metode identificiranja miskoncepcija sežu od intervjua do pažljivo sastavljenih testova, s tim da je kombinacija ove dvije metode najpotpuniji instrument. Treba napomenuti da se metoda intervjuisanja koristila u mnogo većoj mjeri na samom početku razvoja istraživanja u oblasti miskoncepcija u nastavi fizike. Kroz tu fazu stekli su se uvjeti da se konstruišu instrumenti koji

bi onda na velikim uzorcima mogli ispitivati postojanje ustaljenih miskoncepcija. Općenito, možemo reći da se metoda usmenog intervjuisanja preferira uvijek kada za neku oblast fizike ne postoje ranija, duboka saznanja o učeničkom razmišljanju karakterističnom za tu oblast. Kada su u pitanju tehnike pismenog vrednovanja učeničkih koncepcija, dosta didaktičkog potencijala povezano je sa zadavanjem i analiziranjem esejskih zadataka. Tako npr. Hake (1992) u okviru uvodnog praktikuma mehanike zahtijeva od svojih studenata da pišu eseje u kojima bi detaljno opisivali svoja shvatanja izučavanih kretanja. Ovi eseji ne moraju biti ocjenjivani. Oni se mogu prosto shvatiti kao izvor povratnih informacija o učeničkom razumijevanju tačno određenih pojmova, te nivou razvijenosti jezika fizike kod učenika.

Često je korisno prije svakog časa obrade novog gradiva dobro promisliti mogućnost postojanja nekih miskoncepcija kod učenika koje bi ometale usvajanje tog gradiva. Postavljanjem pitanja i kroz diskusiju može se provjeriti eventualno postojanje dodatnih miskoncepcija na koje prethodno nismo obratili pažnju. Tako učenici u velikom broju slučajeva iznenade svoje nastavnike brojem i raznovrsnošću miskoncepcija koje posjeduju. Nastavnik u tom slučaju treba od učenika da zahtijeva da mu predoče argumente koji bi potvrdili ta njihova razmišljanja, uvažavajući da su miskoncepcije često duboko ukorijenjene u kognitivnim strukturama učenika i da oni ne odustaju lako od njih. Neke miskoncepcije mogu se razotkriti na način da se od učenika traži da opišu neki fizikalni objekt ili pojavu. Npr. možemo pitati kako učenici zamišljaju atom prije nego što sami počnemo opisivati njegovu strukturu.

U zadnje vrijeme, kao plod dugogodišnjih istraživanja, razvijeni su brojni vrijedni i priznati instrumenti kojima je testirano konceptualno razumijevanje fizike desetina hiljada učenika i studenata širom svijeta. Najpoznatiji dijagnostički test u obrazovanju iz fizike je *Force Concept Inventory* (FCI) (Hestenes&Wells, 1992) koji ispituje konceptualno razumijevanje mehanike. Posebna pozornost koju izazivaju učeničke predkoncepcije u mehanici, naročito odnos sile i kretanja, nije bezrazložna, jer je mehanika temeljno područje fizike. Dobro konceptualno razumijevanje mehanike čini temelj razumijevanja u drugim područjima fizike. S druge strane, mehanika je vrlo bliska svakodnevnom iskustvu, te se ona može smatrati i svojevrsnom „kolijevkom miskoncepcija“.

3. PROCESI KONCEPTUALIZACIJE I KONCEPTUALNE PROMJENE

3.1. Proces konceptualizacije

Istraživanja su pokazala da se kroz nastavu fizike trebaju podjednako razvijati obje komponente fizikalnog znanja - sadržaji i procesi. Ako pođemo od toga da je činjenično znanje fizike organizovano u konceptualne mape, a da procesi upravo predstavljaju složene interakcije između činjenica koje dovode do njihovog organizovanja u mape, kao i složena međudjelovanja pojedinih konceptualnih mapa, možemo zaključiti da bez postojanja široke činjenične baze kod učenika nema ni produktivnih misaonih procesa. Naime, operacije se jednostavno ne mogu izvoditi ako nema objekata nad kojima se izvode (Bransford, Brown & Cocking, 2000.). S druge strane, postojanje široke činjenične baze, bez razvijenih strategija koje nude odgovor na pitanje kako povezati pojedine činjenice iz te baze u smislene, funkcionalne cjeline, također vodi do inertnog, fragmentarnog i neupotrebljivog znanja. Koncept je ključni element znanja fizike jer predstavlja prvu organiziraniju tvorevinu u hijerarhiji oblika sadržaja, a proces formiranja koncepata nazivamo konceptualizacijom.

Prema Krsniku (2001), koncepti mogu imati mnogostruka značenja i upotrebljavati se u različite svrhe. Isti koncept može značiti jedno unutar jednog konteksta, a nešto prilično različito unutar nekog drugog konteksta. Zbog kompleksnosti koncepata njihovo usvajanje je dug proces koji nema završetka. U svijesti osobe dolazi do diferencijacije koncepata; obradom novih situacija i pojavom i usvajanjem novih relacija koncepti dobivaju još neka nova značenja. Različite osobe mogu međusobno komunicirati i razumjeti jedna drugu jedino ako se njihove konceptualno-kognitivne strukture preklapaju. Ukratko proces razvoja koncepata je otvoren.

Svaka individua nastoji da organizira svoje svjesno iskustvo u što koherentnije strukture i tako nastaju koncepti. Često se pojam koncepta koristi za označavanje jedne grupe mentalnih fragmenata koji uzeti zajedno opisuju određenu klasu pojava. Tako se pojam koncepta u stvari može shvatiti kao ukupno jedinstvo međusobno blisko povezanih podataka i njihovih uzajamnih veza, odnosa i načina upotrebe, a razvija se kroz procese promatranja i kategoriziranja.

O općim karakteristikama pojma koncepta još uvijek ne postoji jedinstveno, općeprihvaćeno shvatanje. Međutim o nekim od karakteristika je postignuta saglasnost (Wilkinson & Fox, 1997):

1. Koncepti se sastoje od propozicija, predodžbi, procedura kao i iskaza kada i na koji način će biti upotrijebljeni;
2. Koncepti mogu sadržavati međusobno kontradiktorne elemente;
3. Koncepti se izgrađuju tokom cijelog života;
4. Pojedinaac u nekim slučajevima ne zna kako pokrenuti procedure koje neki koncept sadrži;
5. Građivni elementi nekog koncepta nisu međusobno oštro razgraničeni (dolazi lako do ispreplitanja sličnih elemenata);
6. Koncepti veoma teško podliježu izmjenama. Često se radije pribjegava napornom fizičkom radu nego kritičkom promišljanju o sopstvenim konceptima.

Za potrebe planiranja i implementiranja procesa konceptualizacije u nastavi fizike preporučuje se sljedeće sljedećih principa (Muratović & Mešić, 2009):

- ukoliko je moguće, uvođenju novih fizikalnih pojmova treba pristupiti fenomenološki, tj. kroz obezbjeđivanje odgovarajućih čulnih iskustava,
- potrebno je u nastavi fizike u što većoj mjeri podsticati verbalizaciju,
- podsticati učenike, između ostalog i kroz svoj primjer, da se precizno izražavaju,
- prilikom uvođenja pojmova obraćati pažnju na mogućnost njihove nadogradnje,
- koristiti analogije i metafore, uz eksplicitno isticanje uslova primjenjivosti tih analogija i metafora.

Jedan od najpopularnijih, koherentnih pristupa konceptualizaciji u modernoj nastavi prirodnih nauka je tzv. 5 E model poučavanja.

Prema Mešić (2015) 5 E model (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate) se sastoji od sljedećih faza:

- faze privlačenja pažnje,
- faza istraživanja,
- faza objašnjavanja,

- faza elaboracije i
- faza evaluacije.

Unutar faze **privlačenja pažnje** primarni je cilj motivirati i pripremiti učenike za svladavanje gradiva. Pri tome se nastoji probuditi znatiželja kod učenika, a radi se i na aktiviranju relevantnog znanja i isticanju poveznica između starog i novog gradiva, općenito. To se posebno efikasno može postići kroz izvođenje kratkih oglada sa neočekivanim ishodima.

Najzad, u uvodnom dijelu časa preporučivo je i upoznavanje učenika sa očekivanim ishodima učenja, radi usmjeravanja njihovog učenja.

Unutar **faze istraživanja** primarni cilj je u „otkrivanju“ fizikalnih pojmova i zakonitosti. Učenicima se obezbjeđuju konkretna iskustva koja zorno odražavaju tematiku nastavnog časa. Ta iskustva služe kao osnova za prikupljanje podataka na osnovu kojih se onda razvija shvatanje fizikalnih pojmova i „otkrivaju“ se fizikalne zakonitosti. Pomenuta iskustva se najčešće stiču kroz grupni rad na dizajniranju i provođenju eksperimentalnih istraživanja.

Faza objašnjavanja se primarno tiče tumačenja rezultata dobijenih u okviru istraživanja. Bitno je učenicima omogućiti da javno podijele rezultate koje su dobili u okviru faze istraživanja, te da međusobno diskutuju o relevantnim fizikalnim pojmovima i zakonitostima, vodeći se empirijskim podacima i naučnim argumentima.

Unutar **faze elaboracije** učenicima se pruža prilika da stečeno znanje utvrde i primjene u novim kontekstima, što pozitivno utiče na razvijanje konceptualnog razumijevanja.

Faza evaluacije se odnosi na sticanje povratnih informacija o mjeri u kojoj učenici napreduju ka ostvarivanju očekivanih ishoda učenja. Nastavnik bi povratne informacije o učeničkom napretku trebao prikupljati kontinuirano, tj. tokom cijelog časa.

Mnogi istraživači efektivnosti nastave fizike preporučuju sužavanje sadržaja fizike u nastavnim programima kako bi nastavnik mogao učenike više usmjeriti na izučavanje koncepata oko kojih se izgrađuje svo ostalo gradivo neke oblasti fizike, te da se uspostavljanjem standarda veći akcenat stavi na usvajanje procesa fizike.

3.2. Proces konceptualne promjene

Pod konceptualnom promjenom se podrazumijeva proces restrukturiranja pojmovne mreže kod učenika, a radi usklađivanja njegovih struktura znanja sa fizikalno prihvaćenim gledištima.

Posner, Strike, Hewson i Gertzog (1982) složili su se oko četiri glavna preduslova za konceptualnu promjenu:

- Učenici moraju postati svjesni toga da njihova shvatanja nisu u saglasnosti sa fizikalnom stvarnošću (ukoliko učenici vjeruju da se pomoću njihovog koncepta mogu na adekvatan način opisati klase prirodnih fenomena, oni ne vide razlog zbog kojeg bi trebali izmijeniti svoje razumijevanje stvarnosti);
- Učenici moraju posjedovati neki minimum razumijevanja smisla razmatranog fizikalnog koncepta;
- Fizikalni koncept koji učenici usvajaju treba da je kompatibilan sa ostalim konceptima koji postoje u učeničkoj svijesti. U suprotnom je malo vjerovatno da će na njega obratiti ozbiljniju pažnju;
- Učenici treba da shvate aplikativnu vrijednost datog fizikalnog koncepta, tj. mogućnost njegove primjene za interpretaciju jedne klase pojava.

Vođenje procesa konceptualne promjene je težak zadatak za nastavnika koji, prije svega, zahtijeva dosta vremena:

- Kod planiranja časa predvidjeti miskoncepcije koje bi kod učenika mogle biti prisutne, a tiču se nastavnog gradiva;
- Podsticati učenike da budu samokritični kada su njihovi konceptualni okviri u pitanju;
- Podsticati učenike da pronalaze argumente za i protiv nekog koncepta i da osmišljaju načine provjere njegove adekvatnosti;
- Što je moguće češće provoditi ispitivanje prisustva miskoncepcija kod učenika.

Kako ne postoji jedinstven, optimalan pristup poučavanju koji bi doveo do konceptualne promjene kod učenika, nastavnik fizike osmišljava proces rekonceptualizacije vodeći računa o sljedećem (Muratović & Mešić, 2009)

- Svako poučavanje bi trebalo polaziti od učeničkih percepcija i vjerovanja; trebalo bi saslušati učeničke ideje, a ne samo prenositi svoja viđenja na učenike. Jedino putem povratne informacije nastavnici mogu shvatiti da li kod učenika postoje miskoncepcije koje nisu uskladu sa fizikalnim konceptima koji su tema nastavnog časa;
- Dalje je bitno da nastavnik posjeduje dovoljno široko i duboko znanje iz fizike kako bi mogao ocijeniti da li su koncepcije koje posjeduju učenici ispravni konceptualni okviri ili pak miskoncepcije. Ukoliko nastavnik naiđe na neku miskoncepciju, može se kod učenika izazvati kognitivni konflikt, postavljanjem pitanja koja naglašavaju nekonzistentnost između postojeće i poželjne strukture znanja;
- Nakon toga učenici vode debatu razmatrajući dati fizikalni koncept sa aspekta njihovih dotadašnjih vjerovanja i nekonzistentnih fizikalnih pojava koje ta vjerovanja impliciraju;
- Nastavnik mora pomoći učenicima da shvate pravu vrijednost naučne koncepcije u smislu njene konzistentnosti sa ostalim naučnim konceptima, kroz mogućnost interpretiranja raznovrsnih pojava i predviđanja određenih događaja.

Dakle, poučavanje koje uključuje proces konceptualne promjene zahtijeva od nastavnika posjedovanje tri tipa znanja: poznavanje fizike kao nauke, poznavanje predkoncepcija učenika i vladanje tehnikama poučavanja koje bi osigurale pospješivanje i praćenje procesa konceptualne promjene kod učenika.

U nastavi fizike, u biti razlikujemo dvije metode pristupanja procesu konceptualne promjene (Muratović & Mešić, 2009):

1. Metoda kontinuirane promjene - neprekidni prelaz sa starog na novi koncept.

Izbjegava se direktno suočavanje učenika sa neodrživošću njegovih miskoncepcija. Umjesto toga provodi se pažljiva didaktička rekonstrukcija sadržaja, pri čemu se akcent

stavlja na sistematičnost pri obradi sadržaja, na primjenu novih tehnologija i odgovarajućih analogija.

2. Metod diskontinuirane promjene

Kod učenika se namjerno izaziva kognitivni konflikt. Učenik teži da ponovo uspostavi stanje kognitivne ravnoteže. Pri tome se pravi poređenje između „starih“ i „novih“ koncepata. Ovim se također kod učenika razvijaju navike i sposobnosti naučnog rasuđivanja i spoznavanja. Plodotvoran kontekst za stvaranje kognitivnog konflikta je fizikalni eksperiment. Pri tome se preporučuje korištenje tehnike „predvidi – promatraj – objasni“ koja podrazumijeva da nastavnik najprije od učenika zahtijeva da predviđaju ishode variranja parametara eksperimentalne postavke, a da zatim zajedno vrše zapažanja i pokušavaju ih objasniti služeći se znanjem fizike. Veza ove tehnike sa procesom konceptualne promjene ogleda se u tome da se učenici empirijski suočavaju sa ograničenjima intuitivnih koncepcija, nakon čega su u većoj mjeri motivirani i spremni da ih zamijene fizikalno prihvaćenim koncepcijama. Spremnost za promjenu pri tome proističe iz činjenice da su učenici direktno suočeni sa superiornošću naučnih koncepcija nad intuitivnim.

4. PREGLED REZULTATA RANIJIH ISTRAŽIVANJA O UČENJU OPTIKE

Optika je dio fizike unutar kojeg se proučava priroda, nastanak i prostiranje svjetlosti, kao i interakcija svjetlosti sa materijom. Ova oblast se tradicionalno dijeli na geometrijsku i talasnu optiku. Geometrijska optika, izučava svjetlosne pojave aproksimirajući prostiranje svjetlosti pomoću modela svjetlosne zrake. Ona obezbjeđuje relijabilnu korespondenciju sa svijetom fizikalnih realnosti samo kada je talasna dužina svjetlosti vrlo mala u odnosu na veličinu objekata s kojima svjetlost međudjeluje. Radi izučavanja šireg spektra pojava nužno je u potpunosti uvažiti talasnu prirodu svjetlosti, što je slučaj unutar talasne optike.

Tako se npr. unutar talasne optike mogu objasniti i pojave poput interferencije, difrakcije i polarizacije svjetlosti. U isto vrijeme talasna optika je u stanju objasniti i sve pojave koje se uspješno tretiraju pomoću geometrijske optike. Ipak, to ne znači da talasni model svjetlosti ima neograničen doseg. Radi tumačenja određenih pojava interakcije svjetlosti sa materijom (npr. fotoelektrični efekat) korisno je talasni model nadograditi u talasno-čestični model, koji ističe dualnu prirodu svjetlosti.

4.1. Učeničke miskonceptije iz oblasti geometrijske optike

Učeničko razumijevanje geometrijske optike bilo je predmet mnogih obrazovnih istraživanja. Pri tome su identificirane brojne učeničke miskonceptije u ovoj oblasti koje se često zadržavaju i nakon završetka tradicionalnog nastavnog procesa.

4.1.1. Učeničke miskonceptije o prirodi i prostiranju svjetlosti

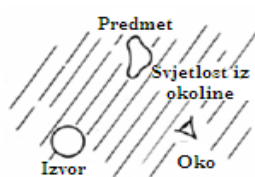
Edith Guesne (1984) je kroz intervju i eseje ispitivala predkonceptije učenika (starosne dobi od 10 do 11 i od 13 do 14 godina) koje se tiču gradiva geometrijske optike. Pri tome se pokazalo da učenici uglavnom koncept svjetlosti izgrađuju kroz predstave o pojmu izvora svjetlosti, efektima koje svjetlost izaziva ili svjetlost shvataju kao neko stanje.

Kada je u pitanju vizuelna percepcija objekata, učeničke predstave bi se mogle svrstati u jednu od sljedeće četiri kategorije (Muratović & Mešić, 2009):

1. Svjetlost zauzima cijeli prostor u kojem se nalaze izvor svjetlosti, promatrani predmet i oko („svjetlosno more“).

Ne uspostavlja se relacija između promatranog predmeta i oka. Jednostavno se uzima da čovjek vidi tako što je zajedno sa predmetom uronjen u „svjetlosno more” i taj argument se smatra bazičnim i ireducibilnim.

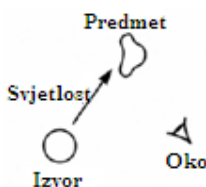
Možemo primijetiti da je ovaj model nedostatan kada je u pitanju objašnjavanje nastanka sjenke.



(Slika 1. - adaptirano prema Guesne, 1985.)

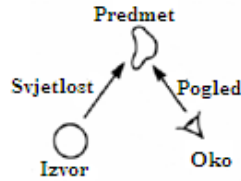
2. Svjetlost osvjetljava (obasjava) promatrani predmet („osvjetljavajuća svjetlost“).

Također ni u okviru ove predstave o svjetlosti ne povezuju se oko i promatrani predmet. Pomoću ovog modela moguće je objasniti nastanak sjenke, ali ne i vizuelnu percepciju objekata.



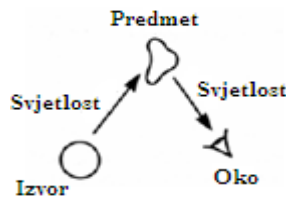
(Slika 2. - adaptirano prema Guesne, 1985.)

3. Manji broj učenika gledanje zamišlja kao proces koji se dešava tako što se oko usmjerava na promatrani predmet („model pogleda“).



(Slika 3. - adaptirano prema Guesne, 1985.)

4. Veoma mali broj učenika posjeduje predodžbu prema kojoj svjetlost pada na objekt i reflektuje se dalje do ljudskog oka („fizikalni model“).



(Slika 4. - adaptirano prema Guesne, 1985.)

Edith Guesne je ove četiri kategorije shvatala kao svojevrsnu skalu napredovanja ka fizikalnom modelu tumačenja vizuelne percepcije objekata iz okoline.

Andersson i Kaerrqvist (1983) su na uzorku ispitanika starosne dobi 12 – 15 godina ispitivali kako učenici vide relaciju između objekta koji se promatra i oka pri vizuelnoj percepciji.

Odgovori, koji su tom prilikom prikupljeni, svrstani su u pet kategorija:

1. Između oka i knjige ne dešava se ništa.
2. Vizuelni sistem je aktivan: Oko zahvata objekt, očno sočivo se fokusira tako da je slika što jasnija.
3. Neka vrsta zraka (talasa, impulsa i sl.) od oka se prostire ka objektu. Ponekad se i ne dešava ništa, ali nekad u oko dopijevaju svjetlosni zraci koji se odatle prostiru dalje do promatranog objekta.
4. Nešto se prostire u oba smjera na relaciji između oka i promatranog objekta. Oko emituje zrake koji se vraćaju opet nazad. Naime, mozak šalje signale do oka, ono ih prosljeđuje do objekta, nakon čega se zrake vraćaju nazad;

5. Nešto dopijeva u oko. To nešto može biti slika, ali može biti i samo svjetlost (u vidu valova ili fotona).

Najveći broj učenika ima predstave koje odgovaraju onome što je opisano pod stavkom 2., s tim da vremenom oni sve više prihvataju predstavu pod stavkom 5.

Osim vizuelne percepcije objekata, korisno je razmotriti i učeničke ideje o prirodi prostiranja svjetlosti. Tako se recimo pokazuje da mnogi učenici smatraju da se svjetlost ne može prostirati u vakuumu (Sexena, 1991). U isto vrijeme, među ispitanicima koji prepoznaju mogućnost prostiranja svjetlosti u vakuumu dosta je onih koji smatraju da se ona u vakuumu može prostirati samo u jednom, horizontalnom pravcu. Ideja prema kojoj se svjetlost prostire nekom konačnom brzinom kroz prostor učenicima koji tek počinju da uče fiziku je također veoma strana. Drugim riječima, učenici u velikom broju slučajeva vjeruju da je brzina prostiranja svjetlosti beskonačna.

Vrijedi još spomenuti i miskoncepcije o prostiranju svjetlosti koje je identifikovao Hubber (2005), a koje se očituju u učeničkim vjerovanjima da:

- Svaka tačka svijetlog predmeta emituje svjetlost samo u jednom pravcu.
- Svjetlost noću može da se prostire na veće udaljenosti od izvora nego danju.

Kada je u pitanju stvaranje sjenke, poznato je ustaljeno učeničko shvatanje sjene kao nečega što postoji (što je materijalno) neovisno o drugim entitetima, kao što je izvor svjetlosti (Bendall i ostali 1993). Također se kod učenika koji tek počinju učiti o fizici javlja i miskoncepcija da sjenka može biti i obojena, ukoliko se odgovarajući predmet obasjava obojenom svjetlošću.

Visoka dosljednost ideji sjenke kao slike ukazuje na to da se temi sjenke posvećuje nedovoljno pažnje. Moguće je da se ova tema karakteriše kao prelagana, i zbog toga se preko nje brzo prelazi ili se u potpunosti isključuje iz preduniverzitetskih i univerzitetskih kurikuluma.

4.1.2. Učeničke miskoncepcije o odbijanju svjetlosti i ogledalima

Tvrđnja prema kojoj je lik predmeta koji se postavi ispred ravnog ogledala smješten upravo na samoj površini ogledala jedna je od češćih i duboko ukorijenjenih učeničkih miskoncepcija (Muratović & Mešić, 2009). Argumenti kojima učenici brane ovu tezu svode se na objašnjenja da „lik ne može biti iza ogledala, jer je iza ogledala zid”.

Mnogi učenici razmišljaju na sljedeći način: „Ogledalo stvara lik onoga što „vidi“ ispred sebe i sve to šalje prema promatraču.“ Odavde bi slijedilo da promatrač, neovisno o svom položaju u odnosu na ogledalo, može da vidi likove svih predmeta koji se nalaze ispred ogledala, što naravno nije tačno.

Učenici nadalje često misle da pojave refleksije i stvaranja slike „na“ ravnom ogledalu uopće nisu međusobno povezane, a nije neuobičajeno ni vjerovanje da likove predmeta možemo vidjeti i bez da svjetlost dopire od predmeta do ogledala.

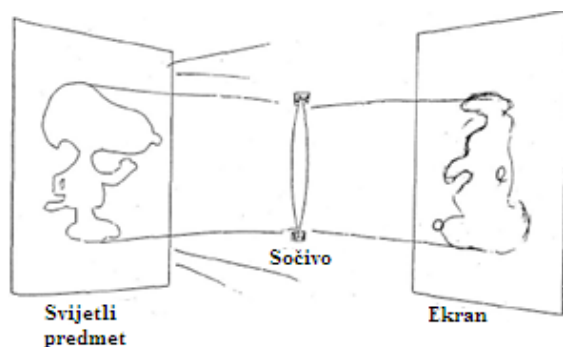
Također je od izrazitog značaja spomenuti miskoncepciju da se pojava odbijanja svjetlosti kod učenika nerijetko (i nekorektno) samo povezuje sa ogledalima.

Kada je u pitanju pojam zaslona, interesantno je primijetiti učeničku miskoncepciju shodno kojoj „bez zaslona nema ni kreiranja slike predmeta“, pri čemu učenici nisu svjesni činjenice da je uloga zaslona tek u tome da lik predmeta učini vidljivim za naše oko.

4.1.3. Učeničke miskoncepcije o prelamanju svjetlosti i sočivima

Jedna od učeničkih miskoncepcija vezanih za sočiva odnosi se na nekorektno vjerovanje da se svjetlost uslijed prolaska kroz sočivo pojačava (Arons, 1996).

Dalje, veoma je rasprostranjena miskoncepcija prema kojoj slika nekog predmeta kao cjelina kroz sočivo prolazi do zaklona, pri čemu se u sočivu obrne.



(Slika 5.- adaptirano prema Wiesner, 1994.)

Ukoliko se ispred sočiva postavi maska sa kružnim otvorom učenici očekuju da će lik predstavljati samo dio predmeta. Isto tako, ukoliko se prekrije jedna polovica sočiva veliki broj učenika očekuje da će se pojaviti lik samo jedne polovice predmeta.

Kada je u pitanju preslikavanje predmeta pomoću sočiva, pokazuje se da učenici rijetko procesu konstrukcije lika pristupaju iz konceptualne perspektive, te se nerijetko dešava da učenici pokušavaju kreirati lik predmeta na sočivu crtajući zrake koje se reflektuju od sočiva (iako refleksija svjetlosti nije dominantan fizikalni proces koji se dešava na sočivu).

4.2. Učeničke miskoncepcije iz oblasti talasne optike

4.2.1 Učeničke poteškoće u razumijevanju interferencije i difrakcije svjetlosti

Vjerovatno najopsežnije studije koje su se bavile teškoćama učenika pri učenju talasne optike sprovedene su od strane istraživačke grupe sa Univerziteta u Washingtonu. U jednoj od tih studija, Ambrose i ostali (1999a) je identificirao poteškoće studenata pri učenju talasne optike i svrstao ih je u tri kategorije (vidi Tabela 1).

Tabela 1. Kategorije studentskih poteškoća pri učenju talasne optike (Ambrose i ostali, 1999a).

Nezadovoljavajuća primjena modela geometrijske i talasne optike	Nedostatak kvalitativnog razumijevanja talasnog modela	Nerazumijevanje koncepta moderne fizike
Korištenje ideja fizikalne optike za objašnjavanje pojava prostiranja svjetlosti kroz široke otvore	Neadekvatno izvođenje zaključaka o potrebi primjene talasne optike, na osnovu poređenja dimenzija pukotine i talasne dužine svjetlosti	Neadekvatno povezivanje interferencije i difrakcije sa prirodom „kretanja/ponašanja“ fotona
Korištenje ideja geometrijske optike za objašnjavanje pojava prostiranja svjetlosti kroz uske otvore	Neprepoznavanje značaja pojmova optičke dužine puta, faze i fazne razlike u talasnoj optici	
Upotreba hibridnih modela sa	Pamćenje algebarskih formula	

elementima geometrijske i talasne optike	bez razumijevanja njihovog značenja	
--	-------------------------------------	--

Coetzee i Imenda (2012) su prilikom svojih istraživanja pokazali da mnogi studenti (pogrešno) misle da superpozicija talasa uključuje i „superpoziciju talasnih dužina“, pri čemu je rezultat takav da „rezultujući talas ima veću talasnu dužinu u odnosu na individualne talase“. Utvrđeno je da učenici vide interferenciju kao pojavu u kojoj se talasi „usrednje“, pri čemu se identični talasi koji se prostiru jedni prema drugom poništavaju. U istoj studiji otkriveno je da mnogi studenti pogrešno razumiju koncept faze talasa, u smislu da ju poistovjećuju sa brzinom prostiranja talasa.

Colin i Viennot (2001) su izučavali učeničke ideje o prostiranju svjetlosti kroz sisteme koji se sastoje od maske sa pukotinama, sočiva i zaslona. Pri tome su došli do zaključka da učenici često pogrešno vjeruju da samo prisustvo maske sa uskim pukotinama dovodi to toga da na sočivu ni u kom slučaju ne može doći do preslikavanja.

S druge strane, postoji i drugi vid ekstremnog rezonovanja, shodno kojem učenici npr. pokušavaju da objasne interferenciju na dvije pukotine, tako što iskazuju razmišljanje da se od dvije pukotine prema zaslonu prostiru samo dvije zrake, umjesto da zamišljaju da se od pukotina prema zaslonu prostiru sekundarni talasi, koji odgovaraju beskonačnom broju zraka koji se prostiru od svake pukotine prema zaslonu (pri čemu u jednu tačku zaslona dopijevaju uvijek tačno dvije zrake, ukoliko je širina pukotina zanemarivo mala). Dalje u istoj studiji je otkriveno da studenti često pogrešno vjeruju da se odstupanje svjetlosti od pravca pravolinijskog prostiranja prilikom prolaska kroz usku pukotinu može objasniti time što „se svjetlost difraktuje samo na rubovima pukotine“.

Slično kao u studiji provedenoj od strane Colin & Vienot (2001), i u studiji koju je provela Maurines (2010) pokazano je da učenici vjeruju kako se „preslikavanje na lećama može dešavati samo u kontekstu pojava koje su striktno povezane samo sa geometrijskom optikom“. Odavde se čini da učenici često ne prepoznaju geometrijsku optiku kao specijalan slučaj talasne optike.

Sengoren (2010) je ukazala na to da učenici pogrešno vjeruju da se sve dimenzije talasa smanjuju kada se smanjuje talasna dužina. Dalje je utvrdila da studenti koji primjenjuju model talasa crtanjem sfernih talasa (a ne sinusnih talasa) na funkcionalniji način koriste talasni model

svjetlosti. Jako je zanimljiv i zaključak shodno kojem učenici često ne shvataju da je raspodjela intenziteta svjetlosti kod interferencijskih i difrakcijskih slika kontinuirana.

Na kraju vrijedi još primijetiti da se priroda miskoncepcija u fizikalnoj optici razlikuje od prirode miskoncepcija u mehanici. Naime, miskoncepcije iz mehanike često imaju svoje porijeklo u svakodnevnom iskustvu (McCloskey, 1983), dok se čini da su miskoncepcije u polju talasne optike uglavnom vezane za pogrešnu primjenu p-primova, nerazumijevanje aspraktnih reprezentacija elektromagnetnih talasa i samu prirodu poučavanja talasne optike.

4.2.2. Učeničke poteškoće koje se odnose na viđenje boja

Kada je u pitanju viđenje boja, ustaljeno je učeničko shvatanje da tijelo ima boju određenu talasnom dužinom svjetlosti koju apsorbuje.

Također, učenici nekorektno smatraju da filteri boje funkcionišu na način da bijeloj svjetlosti „dodaju“ određenu boju (Arons, 1996).

U izražavanju učenika primijeti se i kategorizacija svjetlosti na svijetlu i tamnu svjetlost (npr. „slaba lampa daje tamnu svjetlost“).

Još neke od miskoncepcija koje su identificirane u istraživanjima, a vezane su za viđenje boja:

- Svjetlost nema boju.
- Svjetlost može „sadržavati različite boje“, koje postaju vidljive „pri udaru o bijelu podlogu“.

5. MOGUĆI UZROCI UČENIČKIH POTEŠKOĆA U UČENJU OPTIKE

5.1. Mogući uzroci učeničkih poteškoća u učenju geometrijske optike

U većini udžbenika fizike na nižim nivoima obrazovanja, tema vida i vizuelne percepcije predmeta jedva da se spominje. Činjenica da svjetlost mora dospjeti do oka da bi se vizuelna percepcija uopšte desila, od autora udžbenika se uzima zdravo za gotovo i ne uvažava se potreba da se ova bitna ideja eksplicitno komunicira prema učenicima. Arons (1996) konkretno primjećuje da se nedovoljno pažnje poklanja isticanju difuznog odbijanja svjetlosti kao ključnog mehanizma koji nam omogućuje da vidimo predmete iz svoje okoline. U vezi s tim je i neshvatanje činjenice da od svake tačke predmeta imamo prostiranje svjetlosti u svim smjerovima.

Zbog svega navedenog kod učenika se nerijetko razvija/zadržava model „spontanog, prirodnog vida“, koji može da otežava učenje svih daljnjih sadržaja geometrijske optike.

Mnogi drugi izvori učeničkog nerazumijevanja geometrijske optike su u velikom broju slučajeva također didaktogeničke prirode. Tako se npr. prilikom poučavanja o kreiranju lika predmeta pomoću ogledala i sočiva, ne naglašavaju dovoljno fizikalni principi na kojima su zasnovane te pojave. Osim toga, konstrukcija lika predmeta često je zasnovana na preslikavanju malog broja tačaka predmeta (najčešće samo jedne tačke!), a uz to se i samo preslikavanje vrši samo pomoću manjeg broja „karakterističnih“ zraka, što nekada kod učenika dovodi do miskoncepcije da osim „karakterističnih“ zraka uopšte i nema drugih zraka koje se prostiru od predmeta prema sočivu/sfernom ogledalu. Najzad, u metodičkoj literaturi se spominje i problem neadekvatnog vizuelnog predstavljanja tankih sočiva i procesa koji se dešavaju na sočivu. Tako se npr. u mnogim udžbenicima i tanko sočivo predstavlja na način koji indicira da njegova debljina i nije baš zanemariva, pri čemu se nekorektno prikazuje proces refrakcije. Konkretno, umjesto da se ističe da do refrakcije dolazi na granici vazduh-staklo, tipične udžbeničke ilustracije stvaraju kod učenika miskoncepciju da do refrakcije tek dolazi kada zraka dospije do vertikalne ose koja prolazi kroz centar sočiva.

Također se problematičnim pokazuje nedovoljno diferenciranje između fizikalnih realnosti i modela tih realnosti. Konkretno, učenici često bukvalno shvataju da svjetlost čine zrake, koje se perfektно ravno prostiru od izvora ka okolini.

5.2. Mogući uzroci učeničkih poteškoća u učenju talasne optike

Jedan od najčešće identificiranih uzroka učeničkih poteškoća pri učenju talasne optike, jeste kognitivna opterećenost učenika koja slijedi iz potrebe da se istovremeno razmišlja o prostornim i vremenskim aspektima talasnog kretanja (Knight, 2004).

Mogli bismo dodati da potreba za aproksimacijskim i ekstremnim rezonovanjem (Zietsman i Clement, 1997) učenicima također značajno otežava da talasnu optiku uče sa razumijevanjem. Na primjer, učenicima je nešto teže zamisliti da se zrake koje potiču od susjednih pukotina optičke rešetke prostiru približno međusobno paralelno prema jednoj te istoj tački zaslona (Wosilait, 1996).

Dalje, Ambrose i ostali (1999b) su došli do zaključka da neke od poteškoća pri učenju talasne optike potiču iz nezadovoljavajućeg razumijevanja reprezentacija kojima se tipično prikazuje prostiranje elektromagnetnih talasa (npr. nekorektno vjerovanje da električno i magnetno polje postoje samo u prostoru ograničenom vizuelnim prikazom talasa).

Deng (1997) izvore učeničkih poteškoća vidi u pretjerano pojednostavljenom prikazivanju sadržaja talasne optike. Ovakvom razmišljanju se pridružuju Colombo, Jaen i de Cudmani (1995), ističući problem poučavanja interferencije, difrakcije i polarizacije kao međusobno izoliranih entiteta. Oni kao otežavajuću okolnost vide još i nemogućnost baziranja učenja na konkretnim predkonceptijama, kao što je to slučaj kod mehanika gdje učenici u nastavu fizike unose respektabilnu intuitivnu bazu znanja. S druge strane, pojave iz talasne optike su najvećim dijelom apstraktne i intuitivno nepristupačne.

6. MODERNI PRISTUPI POUČAVANJU OPTIKE

6.1. Poučavanje geometrijske optike

Preporuke koje se odnose na poučavanje geometrijske optike mogli bismo podijeliti na opšte i specifične, u ovisnosti da li se tiču djelovanja usmjerenog ka otklanjanju samih izvora učeničkih poteškoća u razumijevanju geometrijske optike ili se odnose na otklanjanje specifičnih učeničkih miskoncepcija, respektivno.

Općenito, Arons (1996) preporučuje da se mnogo više pažnje u uvodnim kursevima fizike/optike poklanja vizuelnoj percepciji objekata, te da se mehanizam viđenja objekata iz okoline dovodi u vezu sa difuznim odbijanjem svjetlosti i činjenicom da se pri tome od jedne tačke predmeta u okolinu prostiru svjetlosne zrake u svim smjerovima.

Demonstriranje ogromnog broja svjetlosnih zraka koji se prostiru od većeg broja različitih tačaka predmeta smatra se bitnim i za razumijevanje konstrukcije slike pomoću ogledala i sočiva. U tom smislu moguće je za početak koristiti računarske animacije koje prikazuju veliki broj svjetlosnih zraka koje se od svijetlog predmeta prostiru ka optičkom elementu. Radi lakšeg kognitivnog procesiranja optičkih pojava koje se pri tome događaju korisno je među brojnim zrakama koje se vizuelno predstavljaju neke zrake vizuelno istaknuti (npr. drugačijom bojom) i pomno pratiti njihovo prostiranje. Također je bitno u svakoj prilici isticati fizikalne procese koji se dominantno dešavaju na ogledalima i sočivima, te obeshrabrivati (isključivo) matematički pristup konstrukciji slike na pomenutim optičkim elementima. Ukoliko se sočiva predstavljaju tako da se zorno ilustrira njihov oblik (i konačna debljina) onda je potrebno vizuelno istaknuti pojavu refrakcije na samim granicama optičkih sredina. Alternativa je da prilikom vizuelnog predstavljanja sočiva koristimo simbolička predstavljanja.

Kada su u pitanju mehanizmi vizuelne percepcije lika predmeta, Arons (1996) ističe značaj razvijanja svijesti kod učenika da i lik vidimo tako što zrake koje potiču (ili se čini kao da potiču) od „svih tačaka lika“ dospijevaju do našeg oka. Tako npr. kod ravnog ogledala učenici trebaju shvatiti da svaka tačka predmeta u svim smjerovima emituje svjetlosne zrake, ali da se isto tako čini kao da od svake tačke lika polaze zrake, i to iste one zrake koje se odbijaju od ogledala

nakon što na njega dopijaju sa datog predmeta. Za lik se kaže da je virtualan, jer nastaje u presijecištu produžetaka odbijenih zraka.

Kada su u pitanju sočiva, preporučuje se da se kod učenika nastoji razviti svijest da i u ovom slučaju vrijedi da od svake tačke predmeta polaze svjetlosne zrake u svim smjerovima. Pri tome kroz svaku tačku sočiva prolazi jedna zraka od svake tačke predmeta. Na ovaj način možemo sistematski raditi na prevazilaženju učeničke miskoncepcije shodno kojoj prekrivanjem polovice sočiva nestaje i lik polovice predmeta.

Iz svega navedenog slijedi da je poželjno barem u početku učenicima demonstrirati da se za potrebe konstrukcije lika pomoću sočiva mogu u principu koristiti bilo kakve zrake koje polazeći od predmeta padaju na sočivo. Naknadno, je onda jednostavno preći (iz praktičnih razloga) na konstrukcije lika koje uključuju samo karakteristične zrake.

Najzad, Arons (1996) preporučuje da se od učenika zahtijeva da preslikavanja predmeta na optičkim elementima poprate detaljnim verbalizacijama, a radi ohrabrivanja učenika da prilikom korištenja geometrijskih procedura ujedno i konceptualno rezonuju o datom fizikalnom sistemu. Korisno je također sa učenicima diskutovati o tome zašto se oštra slika predmeta dobija samo pri precizno određenom položaju ekrana, kao i o konceptualnom značenju nejasno dobijenog lika predmeta (tj. objašnjavanju „mutnoće“ lika pomoću dijagrama).

Kada su u pitanju specifične preporuke koje se odnose na geometrijsku optiku, one se u najvećoj mjeri svode na izazivanje kognitivnog konflikta kod učenika, kroz izvođenje odgovarajućih demonstracionih ogleda u kombinaciji sa korištenjem tehnike „predvidi-promatraj-objasni“. Tako je npr. jednostavno učenicima pokazati da se slika formira iza ogledala korištenjem ogleda u kojem se vrši preslikavanje plamena svijeće na ploči od providnog stakla, pri čemu se sa jedne strane ploče postavi upaljena svijeća, a na istoj udaljenosti s druge strane se postavi čaša sa vodom. Učenici zapažaju da je lik svijeće lociran u čaši sa vodom. Ovaj kontekst može poslužiti i kako bi se učenicima ukazalo na činjenicu da iako staklo nije ogledalo, princip kreiranja lika svijeće je isti u oba slučaja, jer se u oba slučaja kreiranje lika zasniva na refleksiji talasa (odbijanje svjetlosti se ne dešava isključivo na ogledalima!).

Također se na jednostavan način može pokazati da prekrivanje polovice sočiva ne dovodi do nestanka lika polovice predmeta.

6.2. Poučavanje talasne optike

Prema Hegarty (citirano u Nersessian, 2008) kognitivna obrada sadržaja učenja dešava se u spregnutom sistemu internih i eksternih reprezentacije tih sadržaja. Imajući u vidu našu raniju konstataciju o kognitivnoj opterećenosti učenika kao glavnom izvoru poteškoća u učenju talasne optike, možemo zaključiti da bi korištenje različitih vizualnih reprezentacija moglo olakšati učenje talasne optike.

U tom smislu, Sengoren (2010) zagovara praksu konzistentnog predstavljanja talasa pomoću talasnih površina, te istovremenog crtanja linija koje odgovaraju smjerovima prostiranja talasa. Tako bismo recimo u kontekstu interferencije i difrakcije na pukotinama od učenika trebali zahtijevati da crtaju talasne fronte u prostoru između maske i zaslona, te da tumače nastanak interferencijske/difrakcijske slike.

Za potrebe razvijanja učeničkog razumijevanja o interferenciji ili difrakciji na većem broju pukotina, jako se korisnim pokazuju fazorski dijagrami. U ovim dijagramima trenutne vrijednosti vektora jačine električnog polja (koji oscilira po sinusnom zakonu) se predstavljaju projekcijom dužine vektora na horizontalnu ili vertikalnu osu. Brzina rotiranja vektora određena je frekvencijom oscilovanja, a dužina vektora amplitudom oscilacija (Young i Freedman, 2014). Ukoliko posmatramo slaganje svjetlosti u jednoj tački prostora, ugao između pojedinačnih fazora odgovara faznoj razlici između pojedinačnih talasa.

Wosilait i ostali (1999) su sistematski kreirali tutorijale koji su usmjereni ka prevazilaženju učeničkih poteškoća u razumijevanju interferencije i difrakcije na pukotinama. Radi kreiranja intuitivne osnove za razumijevanje talasne optike, tutorijal počinje promatranjem talasa na vodi i razmišljanjem o vremenski uslovljenoj promjeni faze pri fiksnom položaju, i prostorno uslovljenoj promjeni faze, u nekom fiksnom trenutku. Zatim studenti izvode praktične aktivnosti kako bi procijenili šta se događa kada u jednoj oblasti prostora postoje dva međusobno blisko postavljena izvora talasa, pri čemu su talasi predstavljeni koncentričnim krugovima na papirima i grafoliji. Zatim se kroz praktične aktivnosti razmatra kako se mijenjaju čvorne linije i linije maksimalne konstruktivne interferencije, prilikom mijenjanja međusobne udaljenosti izvora talasa. Prelazak sa interferencije na dvostruko pukotini na interferenciju na više pukotina, vrši se zornim prikazivanjem superpozicije većeg broja sinusoida (talasa) predstavljenih na papirima i

grafofolijama (pri čemu se svaki put jedna sinusoida daje na papiru, a ostale na folijama). Difrakcija na jednoj pukotini se uvodi kao granični slučaj interferencije na većem broju pukotina, pri čemu broj pukotina teži u beskonačno. Općenito, Wosilait i ostali (1999) naglašavaju važnost da se studentima/učenicima pruži prilika da idu „korak-po-korak“ kroz usvajanje i primjenu temeljnih koncepata talasne optike.

Colin i Viennot (2001) naglašavaju važnost korištenja tehnike "retroaktivnog utvrđivanja smjera prostiranja svjetlosti". Konkretno, preporučuje se da za neku tačku zaslona do koje dolaze talasi učenici diskutuju o tome na koji način i „kojim putem“ su talasi dospjeli do te tačke. Pri tome se preporučuje podsticanje učenika na intenzivno razmišljanje o vezama i odnosima smjerova prostiranja svjetlosti, prirode izvora svjetlosti i raspodjele intenziteta svjetlosti na zaslonu.

Stefanel, Michelini i Santi (2014) preporučuju da se učenju o difrakciji na jednoj pukotini pristupi kroz kombiniranje eksperimentalne metode i modeliranja. Pri tome se od učenika najprije zahtijeva da verbalno opisuju dobijenu difrakcijsku sliku, prije nego što izvrše mjerenja raspodjele intenziteta na zaslonu i dobijenu raspodjelu opišu jezikom matematike.

7. OPIS EMPIRIJSKOG ISTRAŽIVANJA

7.1. Svrha istraživanja

Svrha ovog istraživanja sastoji se u identificiranju miskoncepcija u oblasti interferencije i difrakcije na pukotinama kod studenata Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu. Značaj ovog istraživanja sastoji se u inicijalnom prikupljanju podataka o razumijevanju talasne optike kod studenata, a radi obezbjeđivanja orijentacione osnove za planiranje budućih, sistematskih istraživanja usmjerenih ka unapređivanju nastave na Prirodno-matematičkom fakultetu Sarajevo.

7.2. Istraživačko pitanje

Koje poteškoće u razumijevanju interferencije i difrakcije svjetlosti na pukotinama su karakteristične za studente fizike Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu?

7.3. Zavisna varijabla

U ovom istraživanju zavisna varijabla je bila razumijevanje interferencije i difrakcije svjetlosti na pukotinama kod studenata fizike Prirodno-matematičkog fakulteta Sarajevo?

7.4. Ispitanici

Istraživanjem je obuhvaćeno 35 studenata Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu, od toga 11 studenata prve godine, 14 studenata druge godine i 10 studenata treće godine. Od ukupnog broja 24 ispitanika su bili ženskog spola, a 11 muškog spola. Studenti prve godine studija su prilikom anketiranja naveli prosjek ocjena tokom srednjoškolskog obrazovanja, dok su studenti viših godina naveli prosjek ocjena koji su stekli na Fakultetu, kao i ocjenu iz Optike. Prosječna ocjena tokom srednjoškolskog obrazovanja studenata prve godine studija iznosila je 5.00. Kada su u pitanju prosječne ocjene studenata viših godina, prosječna ocjena studenata druge iznosila je

7.58, dok je prosječna ocjena studenata treće godine iznosila 7.63. Prosjek ocjena iz Optike za studente koji su položili Optiku (24 studenta) bio je 8.00.

7.5. Relevantne karakteristike kurikuluma

Na nivou osnovnih škola u Bosni i Hercegovini izučava se samo geometrijska optika. U Federaciji Bosne i Hercegovine o geometrijskoj optici se uči u drugom polugodištu devetog razreda. Najprije se uvodi pojam svjetlosti i svjetlosnih izvora, a zatim se razmatra pravolinijsko prostiranje, odbijanje i prelamanje svjetlosti, većim dijelom na kvalitativnom nivou. Osnovni zakoni geometrijske optike se zatim primjenjuju radi izučavanja kreiranja lika pomoću ogledala (ravna, sferna) i sočiva. Tipično se jedna nastavna jedinica izdvaja za proučavanje spektra elektromagnetnih talasa. Temi vizuelne percepcije objekata (uključujući i viđenje boja) se posvećuje srazmjerno malo vremena.

U važećem nastavnom programu za gimnazije Kantona Sarajevo predviđeno je da se geometrijska i talasna optika obrađuju u drugom razredu gimnazije i to u ukupnom iznosu od 10 nastavnih sati. Pri tome se od srednjoškolskih nastavnika očekuje da za tih 10 časova ponove cjelokupno gradivo koje su izučavali tokom osnovnoškolskog obrazovanja (zakoni geometrijske optike, elementi optičkih sistema i priroda svjetlosti), te da usvoje nova znanja koja se odnose na fotometriju i talasnu optiku (dispersija, interferencija, difrakcija, polarizacija).

Na odsjeku za Fiziku, predmet Optika se izučava na drugoj godini studija (ljetni semestar). Geometrijska optika i fotometrija se izučavaju u prvih osam sedmica ljetnjeg semestra, dok se talasna optika izučava u preostalim osam sedmica. Kada je u pitanju fond sati predmeta Optika, na njega se sedmično izdvajaju 3 časa predavanja i 2 časa vježbi. Radi obrade gradiva Optike nastoje se primjenjivati metode aktivnog učenja, uključujući i autoregulacijsko učenje.

7.6. Mjerenje zavisne varijable

Da bismo odgovorili na naše istraživačko pitanje, kreirali smo test koji mjeri učeničko razumijevanje interferencije i difrakcije svjetlosti. Prema Fordu (2011) konceptualno razumijevanje podrazumijeva sposobnost transfera, na način da pojedinac uspijeva objasniti i pojave koje se u nekim aspektima razlikuju u odnosu na odgovarajuće, nastavom eksplicitno

obrađene pojave. U ovoj studiji konceptualno razumijevanje interferencije i difrakcije svjetlosti je operacionalizirano tako da uključuje sposobnost učenika da interpretiraju različite reprezentacije talasa, kao i sposobnost primjene talasnog modela svjetlosti radi rješavanja kvalitativnih fizikalnih problema. U dobrom dijelu pitanja od učenika se očekivalo da predvide šta će se desiti za izgledom interferencijske slike uslijed modificiranja određenih karakteristika eksperimentalne postavke. Prema Michaelu i Modell (2003), razumijevanje se upravo i demonstrira onda kada je učenik u stanju predvidjeti što će se dogoditi sa stanjem određenog sistema uslijed izmjene određenih parametara sistema.

Kada su u pitanju sadržaji koje smo nastojali obuhvatiti datim testom razumijevanja interferencije i difrakcije svjetlosti, uključili smo pitanja koja pokrivaju: osnovne pojmove talasne optike (valna dužina, faza, fazna razlika, amplituda, intenzitet svjetlosti, frekvencija, period), superpoziciju, koherentnost, Youngov eksperiment na dvostrukoj pukotini, difrakciju na jednostrukoj pukotini i difrakciju na rešetki. Radi aproksimativnog procjenjivanja studentskih sposobnosti koje se odnose na transfer znanja u relativno udaljene kontekste, uključili smo i tri test-zadatka koji se tiču interferencije na više pukotina.

Tabela 2. Kratki opis pitanja

Pitanje 1. Fazna razlika – talasne fronte	Pitanje 2. Faza – period	Pitanje 3. Fazna razlika – sinusne krive	Pitanje 4. Superpozicija, putne razlike, fazne razlike
Pitanje 5. Superpozicija, putne razlike, fazne razlike	Pitanje 6. Superpozicija, pojam početne faze	Pitanje 7. Interferencija na dvostrukoj pukotini, red maksimuma vs. fazna razlika	Pitanje 8. Interferencija na dvostrukoj pukotini, nekoherentni izvori
Pitanje 9. Interferencija na dvostrukoj pukotini, uticaj talasne dužine na udaljenost između susjednih maksimuma	Pitanje 10. Difrakcija na jednoj pukotini (širina $< \lambda$)	Pitanje 11. Difrakcija na jednoj pukotini, uticaj širine pukotine na širinu maksimuma	Pitanje 12. Difrakcija na jednoj pukotini, putna razlika

<p>Pitanje 13. Difrakcija na jednoj pukotini, vremenska promjena resultantnog vektora električnog polja na lokaciji centralnog maksima</p>	<p>Pitanje 14. Difrakcija na jednoj pukotini, vremenska promjena resultantnog vektora električnog polja na lokaciji minimuma</p>	<p>Pitanje 15. Difrakcija na jednoj pukotini, uticaj širine pukotine</p>	<p>Pitanje 16. Difrakciona rešetka, uticaj talasne dužine na udaljenost između susjednih maksimuma</p>
<p>Pitanje 17. Difrakciona rešetka, uticaj konstante rešetke</p>	<p>Pitanje 18. Višestruka interferencija, uticaj povećanja broja pukotina</p>	<p>Pitanje 19. Interferencija na četiri pukotine, putna razlika, uslov za minimum</p>	<p>Pitanje 20. Uporediti interferencijske slike na dvije i na tri pukotine</p>

Pitanja 4 i 5 su adaptirana na osnovu *Light and Optics Conceptual Evaluation* instrumenta (Sokoloff, 2006), a pitanja 10, 18 i 20 bila su inspirirana istraživanjima grupe sa Univerziteta u Washingtonu (vidi Ambrose i ostali, 1999a; Wosilait i ostali, 1999; Wosilait, 1996).

Studenti su imali 60 minuta da završe opisani konceptualni test.

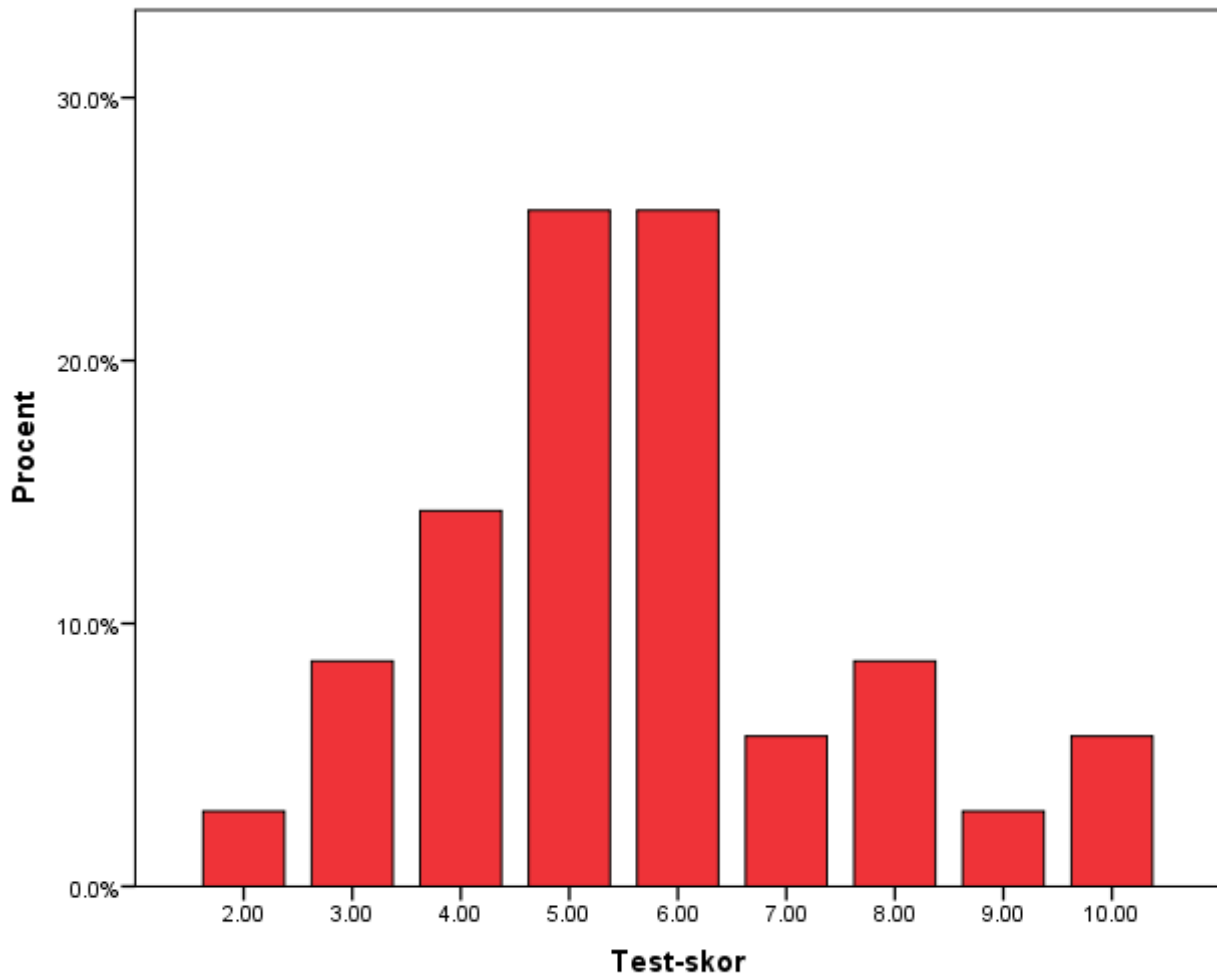
Na kraju, treba napomenuti da je indeks težine pitanja varirao između 0,057 i 0,571, sa srednjim indeksom težine koji iznosi 0,281. Prosječni indeks težine pitanja od 0,5 se smatra optimalnim (Cohen i Swerdlik, 2009), iz čega slijedi da je dati test bio općenito zahtijevan za studente Prirodno-matematičkog fakulteta Sarajevo.

8. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

8.1. Raspodjela test skorova i usporedba rezultata s obzirom na demografske karakteristike ispitanika

8.1.1 Raspodjele test skorova

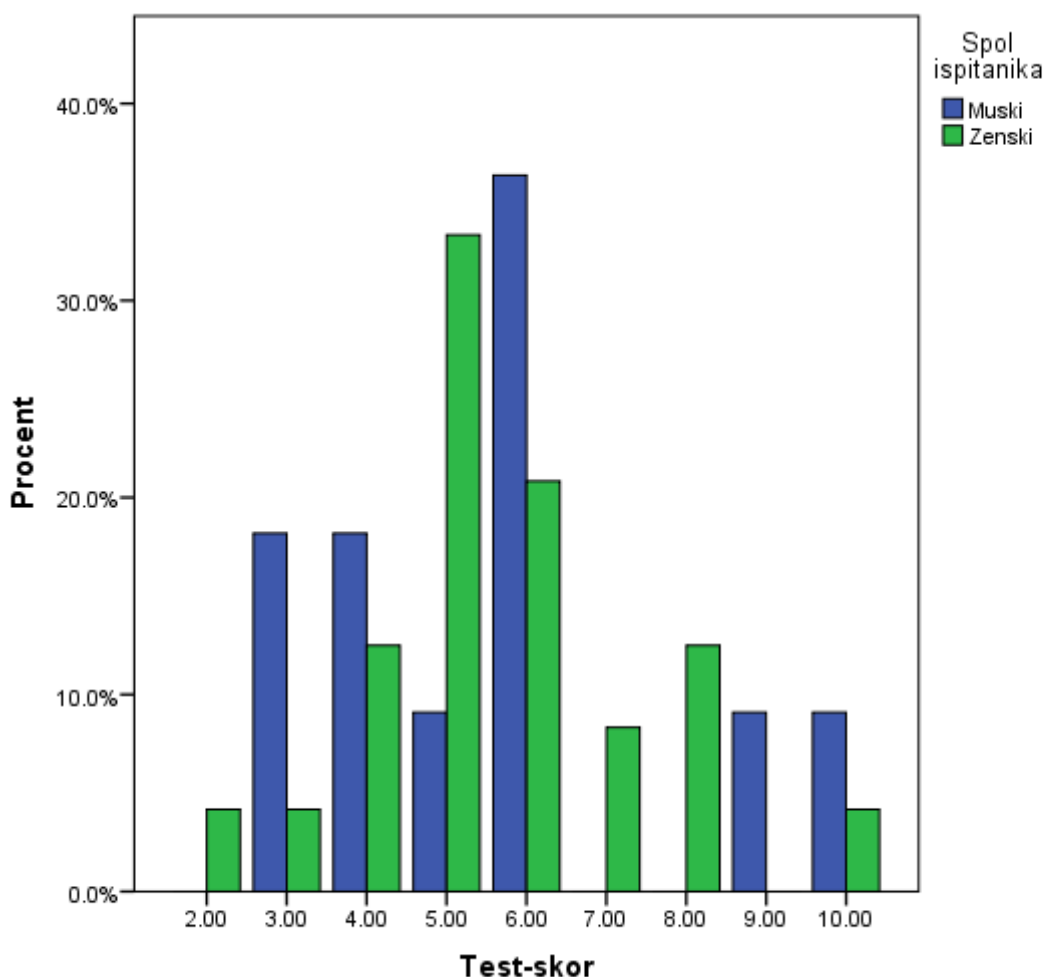
Dijagram sa slike 10. prikazuje raspodjelu test skorova učenika koji su radili test razumijevanja interferencije i difrakcije svjetlosti.



Grafikon 1. Raspodjela test skorova (maksimum skale je 20 bodova)

Možemo primjetiti da je najveći procent studenata odgovorio tačno na pet ili šest pitanja. Također, treba istaknuti da je vjerovatnoća slučajnog pogađanja tačnog odgovora kod zadataka četiri distraktora 25 %, iz čega slijedi da su najčešće ostvareni skorovi mogli biti i rezultat nasumičnog pogađanja. Ovo može značiti ili da studenti rješavanju testa nisu pristupili maksimalno posvećeno, ili da je nivo razumijevanja talasne optike kod studenata Prirodno-matematičkog fakulteta Sarajevo daleko ispod nivoa zahtijevnosti testa. U prilog općenito niskom nivou razumijevanja talasne optike govori i činjenica da su i najuspješniji studenti uspjeli ostvariti tek rezultat od 50 % na datom testu iz talasne optike.

Korisno je razmotriti i raspodjelu skorova u odnosu na spol ispitanika.



Grafikon 2. Raspodjela test skorova u odnosu na spol ispitanika

Prosječan broj ostvarenih bodova na testu za dječake je iznosio 5.64 (SD=2.25) ili 28.2 %, a za djevojčice 5.62 (SD=1.76) ili 28.1 %.

Možemo primjetiti da je u cjelini gledano uspjeh studenata gotovo identičan uspjehu studentica. Međutim, čini se da su raspodjele test skorova značajno različite. Naime, kod studenata su mnogo češći ekstremni skorovi nego kod studentica, što je u skladu sa zaključcima iz literature koja se odnosi na rodne razlike. Postojanje veće rastrkanosti skorova kod dječaka vidljivo je i iz usporedbe vrijednosti standardnih devijacija skorova, koja je veća kod dječaka.

8.1.2 Usporedba rezultata s obzirom na demografske karakteristike ispitanika

Usporedba postignuća obzirom na godinu studija u koju su upisani ispitanici

Rezultati usporedbe postignuća s obzirom na godinu studija ispitanika dati su u Tabeli 3.

Tabela 3. Usporedba postignuća s obzirom na godinu studija

Godina studija	Prva godina studija (n=11)	Druga godina studija (n=14)	Treća godina studija (n=10)
Prosječan procenat uspjehnosti na testu iz talasne optike	27.5	29	27
Prosječna ocjena tokom studija, odnosno srednje škole	5.00	7.58	7.63

Možemo primjetiti da je uspjeh studenata na različitim godinama studija relativno ujednačen. Razlika u postignućima učenika prve godine studija i studenata viših godina je neočekivano mala. Ovaj rezultat se dijelom može objasniti činjenicom da su izradi testa pristupili studenti prve godine iz gornjeg kraja raspodjele sposobnosti, dok su uzorci studenata druge i treće godine bili u nešto većoj mjeri reprezentativni.

Ispitivanje povezanosti prosječnih ocjena studenata i postignuća na testu iz talasne optike

Najzad, interesantno je za učenike viših godina razmotriti postojanje veze između prosječne ocjene i uspjeha studenata na testu iz optike. U tom smislu, odlučili smo provesti korelacijsku analizu koja je pokazala da koeficijent korelacije između prosječne ocjene i test skora iz talasne optike iznosi $r_p=0.12$ ($p=0.58$), iz čega se može zaključiti da je veličina povezanosti jako niska, te da povezanost između ove dvije varijable nije statistički značajna. Odgovarajuća analiza za studente koji su položili ispit iz predmeta Optika pokazuje da koeficijent korelacije između ocjene iz optike i test skora iznosi $r_o=0.05$ ($p=0.83$), iz čega se može zaključiti da je veza između rezultata na testu iz talasne optike i prosječne ocjene iz Optike izrazito slaba, tj. da su ove dvije veličine gotovo potpuno neovisne jedna o drugoj.

Najzad, možemo zaključiti da je rezultat shodno kojem je test skor iz talasne optike u većoj mjeri povezan sa prosječnim ocjenama općenito, nego sa prosječnom ocjenom iz predmeta Optika, relativno iznenađujući. Ovaj rezultat indicira da vrsta znanja koja je mjerena testom, dosta odstupa od vrste znanja koja se uzima kao standard ocjenjivanja učenika u okviru predmeta Optika na Prirodno-matematičkom fakultetu Sarajevo.

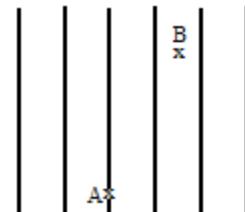
Ispitivanje povezanosti samoprocjene studenata i postignuća na testu iz talasne optike

U okviru instrumenta koji je sadržavao pitanja iz talasne optike studenti su na kraju trebali da procjene vlastito razumijevanje talasne optike na skali koja je sezala od ocjene 5 što predstavlja „izrazito nisko“ do ocjene 10 koja označava „izrazito visoko“. Odgovori na ova pitanja uzeti su kao osnova za mjerenje samoprocjenjenog razumijevanja studenata. Na isti način kao i kod prethodnih demografskih varijabli, se može izvršiti analiza povezanosti samoprocjene studenata i njihovog test skora, a radi prikupljanja informacija o samoevaluacijskim vještinama studenata. Korelacijska analiza pokazuje da koeficijent korelacije između varijable „samoprocjena“ i test skora studenata iznosi $r_s=0.08$ ($p=0.64$), iz čega slijedi da nivo samoprocjene nije značajnije povezan sa nivoom postignuća studenta.

8.2. Analiza rezultata na pojedinačnim zadacima

Zadatak 1

Data slika prikazuje izgled talasnih fronti laserske svjetlosti u nekom trenutku t_0 . Neka vektor jačine električnog polja u trenutku t_0 u tački A prostora ima amplitudnu vrijednost. Za koliko se faza talasa u tački A razlikuje od faze talasa u tački B, u trenutku t_0 ?



- A) $3\pi/4$ - 51,4%
- B) $3\pi/2$ - 40%
- C) 3π - 8,6%**
- D) $3\pi/8$ - 0%

Komentar: U ovom pitanju od studenata se očekivalo da pokažu razumijevanje reprezentacije talasa pomoću talasnih površina. Konkretno, očekivalo se da primjene znanje shodno kojem rastojanje između dvije susjedne talasne fronte odgovara jednoj talasnoj dužini. Izuzetno mali procenat studenata je tačno odgovorio na dato pitanje. Iz najčešće biranih odgovora se da zaključiti da studenti Prirodno-matematičkog fakulteta u velikom broju slučajeva (pogrešno) vjeruju da rastojanje između susjednih talasnih površina iznosi $\lambda/4$ ili $\lambda/2$ (odnosno da je fazna razlika između svake dvije susjedne talasne površine $\pi/2$ ili π).

Zadatak 2

Šta možete reći o vektoru jačine električnog polja u tački A četvrtinu perioda nakon trenutka t_0 ?

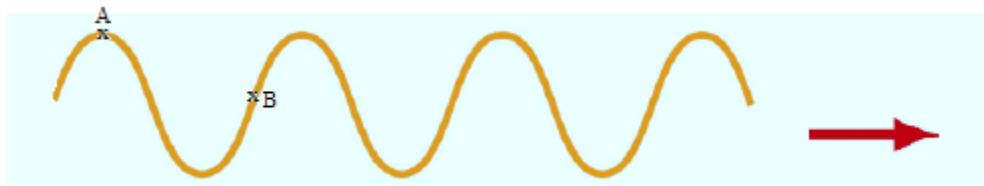
- A) I dalje će imati istu vrijednost kao u trenutku t_0 , tj. imat će amplitudnu vrijednost. – 22,9%
- B) Brojna vrijednost vektora jačine električnog polja će biti ista kao u trenutku t_0 , ali će smjer vektora biti suprotan prvobitnom. – 40%
- C) Brojna vrijednost vektora jačine električnog polja će biti nula. – 28,6%**

D) Brojna vrijednost vektora jačine električnog polja će biti upola manja nego u trenutku t_0 . – 8,6%

Komentar: Dok je u prethodnom pitanju cilj bio provjeriti kako se faza talasa mijenja u ovisnosti o spacijalnom faktoru (za neki fiksni trenutak), u ovom pitanju je cilj bio provjeriti kako se faza talasa mijenja u ovisnosti o vremenskom faktoru (za neku fiksnu tačku prostora). Vektor jačine električnog polja osciluje po sinusnom zakonu u svakoj pojedinačnoj tački. Gotovo svaki drugi student je pri tome iskazao stav da vektor jačine električnog polja iz pozitivnog amplitudnog stanja u negativno amplitudno stanje dopijeva za četvrtinu perioda. Mogli bismo zaključiti da ovaj rezultat ukazuje na poteškoće u razumijevanju temeljnih pojmova oscilatornog kretanja, poput pojma perioda i njegove primjene radi opisivanja smjenjivanja oscilatornih stanja.

Zadatak 3.

Monohromatski talas se prostire u pozitivnom smjeru x -ose. Pri tome, data slika ilustruje intenzitet jačine električnog polja u različitim tačkama prostora, za jedan te isti trenutak t_0 . Za koliko se razlikuje faza vektora jačine električnog polja u tački A od faze vektora jačine električnog polja u tački B prostora?



A) $3\pi/4$ - 28.6%

B) $3\pi/2$ - 57.1%

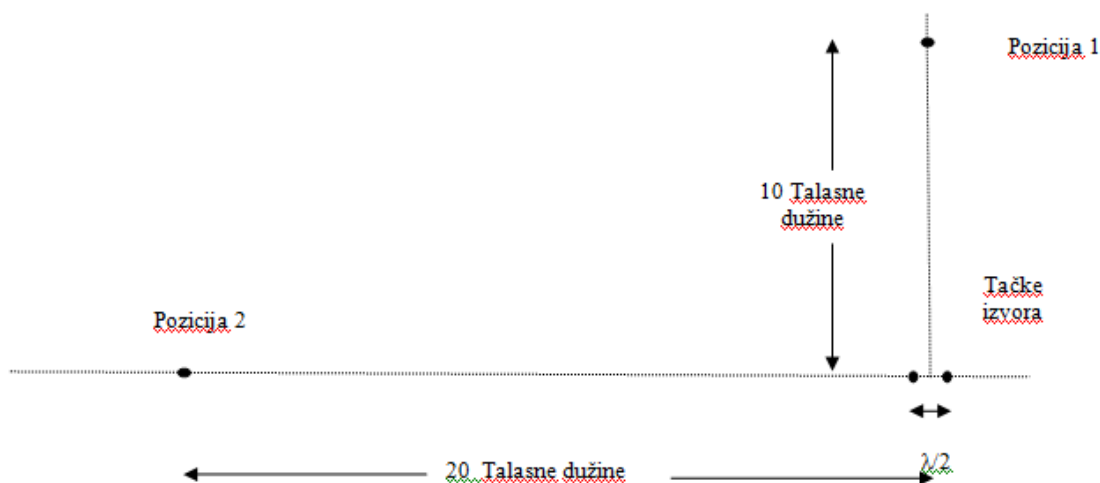
C) 3π - 14.3%

D) $3\pi/8$ - 0%

Komentar: Pitanje 3 se od pitanja 1 razlikovalo samo s obzirom na vrstu reprezentacije talasa unutar koje su studenti trebali da ustanove fazne razlike između pojedinih tačaka, a ipak je razlika u uspješnosti studenata prilikom odgovaranja na ova dva pitanja bila drastična. Oдавde

slijedi da sinusna kriva može biti određena vrsta pomoćne alatke za objašnjavanje faznih razlika uzrokovanih spacijalnim faktorom. U tom smislu bi bilo poželjno da nastavnik eksplicitno ukaže studentima na neposredne veze koje postoje između sinusne krive i reprezentacije koja prikazuje talasne površine .

Pitanja 4 i 5 odnose se na 2 monohromatska, tačkasta izvora svjetlosti koja su međusobno koherentna. Oni su međusobno odvojeni na rastojanje jednako polovini valne dužine, kao što je prikazano na ilustraciji datoj naniže. Sva rastojanja na ilustraciji su izmjerena u odnosu na tačku koja se nalazi tačno između pomenuta dva izvora svjetlosti. Početne faze talasa koje emituju dati izvori su međusobno jednake.



Zadatak 4.

Kada talasi koji potiču od tačkastih izvora prispiju u tačku 1 (koja je smještena neposredno iznad središnje tačke između izvora) oni su:

- A) tačno u fazi jedni s drugim - 36.4%
- B) tačno su u kontrafazi jedni s drugim - 39.4%
- C) niti su u fazi, niti u kontrafazi - 15.2%
- D) nedovoljno informacija - 9.1

Komentar: U ovom pitanju od studenata se očekivalo da prepoznaju činjenicu shodno kojoj će dva koherentna talasa biti u nekoj tački u fazi, ukoliko do te tačke prevaljuju isti optički put (pod uslovom da su inicijalne faze jednake). Ipak, najčešće odabrani odgovor studenata je bio da će talasi u tački 1 biti u kontrafazi. Najvjerovatnije je ovaj odgovor bio uzrokovan mehaničkim zapamćivanjem uslova za destruktivnu interferenciju shodno kojem se talasi poništavaju ukoliko je razlika optičkih puteva $\lambda/2$. U našem slučaju međusobno rastojanje izvora iznosilo je $\lambda/2$ što je studente vjerovatno asociiralo na pojavu destruktivne interferencije.

Zadatak 5.

Kada talasi iz tačkastih izvora dospiju do tačke 2, oni su:

A) tačno u fazi jedni s drugim - 25.7%

B) tačno u kontrafazi jedni s drugim - 37.1%

C) niti su u fazi ni u kontrafazi - 31.4%

D) nedovoljno informacija - 5.7%

Komentar: Rezultati na ovom pitanju ukazuju da su studenti opet razmišljali na sličan način kao i u prethodnom slučaju, ali je ovaj put njihovo razmišljanje rezultiralo tačnim odgovorom, jer u ovoj situaciji rastojanje od $\lambda/2$ između izvora inducira rastojanje od $\lambda/2$ u optičkim dužinama puta, što predstavlja uslov za destruktivnu interferenciju.

Zadatak 6.

Ukoliko bi početna fazna razlika talasa koje emituju izvori iz prethodnih pitanja, umjesto nula iznosila π , kako bi to utjecalo na slaganje talasa u tački 1?

A) intenzitet svjetlosti u tački 1 bi sada bio veći nego ranije - 25.7%

B) intenzitet svjetlosti u tački 1 bi sada bio niži nego ranije - 31.4%

C) rezultat slaganja talasa bi ostao isti kao i ranije, jer se nije promijenila snaga izvora svjetlosti - 28.6%

D) rezultat slaganja talasa bi ostao isti, jer je za rezultat slaganja svjetlosti jedino bitna činjenica da su izvori međusobno koherentni. - 14.3%

Komentar: U ovom pitanju od studenata se očekivalo da pokažu razumijevanje da rezultat interferencije svjetlosti u nekoj tački prostora ne ovisi samo o razlikama između optičkih dužina puta koherentnih talasa, nego i o početnim razlikama u fazi. Pokazalo se da su prve tri opcije bile približno jednako atraktivne za studente. Ogromna većina studenata pokazala je da razumije kako rezultat slaganja svjetlosti nije isključivo određen stepenom koherencije svjetlosti.

Zadatak 7.

Crvena laserska svjetlost pada okomito na dvostruku pukotinu. Širina pukotina manja je od talasne dužine svjetlosti,. Na zaslonu koji se nalazi naspram pukotina dolazi do formiranja interferencijske slike. Kolika je razlika u fazama talasa čijom interferencijom nastaje maksimum trećeg reda? *Napomena: Uzeti da je centralni maksimum, nulti maksimum.*

A) 3π - 25.7%

B) 6π - 5.7%

C) $3\pi/2$ - 62.9%

D) Ta razlika se tokom vremena periodično mijenja od 0 do 3π . - 5.7%

Komentar: Kod ovog pitanja se očekivalo da studenti pokažu razumijevanje o faznim razlikama talasa čijom interferencijom nastaju maksimumi/minimumi kod interferencije na dvostrukoj pukotini. Osim toga zahtijevalo se razumijevanje konceptualnog značenja pojma reda maksimuma/minimuma. Izrazito niski procent tačnih odgovora na ovo pitanje ukazuje na nerazumijevanje pojma reda maksimuma/minimuma, te nepovezivanje faznih razlika talasa sa izgledom interferencijske slike, općenito.

Zadatak 8.

Eksperimentalna postavka iz prethodnog zadatka se sada modificira na sljedeći način: crvena laserska svjetlost obasjava samo jednu od dvije pukotine, a na drugu pukotinu se usmjeri zelena laserska svjetlost. Šta se dešava pri tome sa izgledom zaslona?

- A) Raspored minimuma i maksimuma bi ostao isti, oni bi samo promijenili boju - 26.5%
- B) Duž cijelog zaslona bili ni naizmjenično poredani maksimume crvene i zelene boje - 47.1%
- C) Na zaslonu uopšte ne bi bilo naizmjeničnih maksimuma i minimuma osvijetljenosti - 17.6%**
- D) Na jednoj polovici zaslona bili bi naizmjenično poredani maksimumi crvene boje, a na drugoj polovici zaslona naizmjenično poredani maksimumi zelene boje. - 8.8%

Komentar: Kod ovog pitanja cilj je bio da se ispita sposobnost studenata da u konkretnom kontekstu primjene zahtjev o koherentnosti talasa, kao nužnom uslovu za pojavu interferencijske slike. Također, bitno je bilo primijetiti da do interferencijske slike kod Youngovog eksperimenta može doći samo ukoliko koherentna svjetlost osvjetljava obje pukotine u isto vrijeme. Kada je širina pukotine manja od talasne dužine svjetlosti (kao ovdje), nema difrakcijskih minimuma, a samim time ni karakterističnog naizmjeničnog rasporeda maksimuma i minimuma. Odavde slijedi da studenti Prirodno-matematičkog fakulteta smatraju u relativno visokom procentu da i osvjetljavanjem samo jedne pukotine kod Youngovog eksperimenta dobijamo interferencijsku sliku. U tom smislu, bilo bi korisno u budućnosti dublje razmatrati veze između širine pukotina i talasne dužine svjetlosti i implikacija koje odnosi između tih veličina imaju za izgled interferencijske/difrakcijske slike.

Zadatak 9.

Šta bi se desilo sa izgledom zaslona u odnosu na zadatak 7, ukoliko bismo samo umjesto crvene laserske svjetlosti koristili zelenu?

- A) samo bi se promijenila boja maksimuma na zaslonu - 17.1%
- B) promijenila bi se boja maksimuma i njihova međusobna udaljenost bi se smanjila - 37.1%**
- C) promijenila bi se boja maksimuma i njihova međusobna udaljenost bi porasla - 31.4%
- D) sa zelenom laserskom svjetlošću uopšte nije moguće na zaslonu dobiti naizmjenične interferencijske maksimume i minimume -14.3%

Komentar: Iz odgovora studenata slijedi da je većina njih svjesna činjenice da talasna dužina svjetlosti kod Youngovog eksperimenta utiče na međusobnu udaljenost maksimuma na zaslonu. Ipak, dobar dio studenata koji prepoznaju da talasna dužina svjetlosti utiče na međusobnu udaljenost maksimuma na zaslonu, nisu u stanju adekvatno utvrditi smjer te veze.

Zadatak 10.

Šta bi se desilo sa izgledom zaslona u odnosu na zadatak 7, ukoliko bismo samo jednu od pukotina prekrili neprovidnim materijalom?

A) Ukoliko prekrijemo desnu pukotinu, nestat će lijeva polovica interferencijske slike i obratno - 11.4%

B) Ukoliko prekrijemo desnu pukotinu, nestat će desna polovica slike, a ako prekrijemo lijevu pukotinu nestat će lijeva polovica interferencijske slike - 37.1%

C) Na zaslonu bismo mogli uočiti lasersku svjetlost, ali bi nestalo naizmjeničnih maksimuma i minimuma - 37.1%

D) Promijenila bi se udaljenost između naizmjeničnih maksimuma. - 14.3%

Komentar: U ovom zadatku od učenika se očekivalo da shvate da u slučaju kada je širina pukotine manja od talasne dužine svjetlosti (kod difrakcije na jednoj pukotini), nema pojave difrakcijskih minimuma. Možemo reći da su studenti Prirodno-matematičkog fakulteta u velikom broju slučajeva iskazali poznatu miskoncepciju shodno kojoj je za polovicu interferencijske slike odgovorna jedna pukotina, a za drugu polovicu druga pukotina. Ovakvo razmišljanje studenata ukazuje na to da oni ne posjeduju bazično razumijevanje o talasima koji interferiraju na zaslonu kod interferencije na dvostrukoj pukotini – u svakoj tački interferira talas koji dopijeva od jedne pukotine sa talasom koji dopijeva od druge pukotine.

Zadatak 11.

Crvena laserska svjetlost pada okomito na masku sa jednom pukotinom čija je širina nešto veća od talasne dužine svjetlosti. Na zaslonu se vidi, između ostalog, centralni difrakcijski maksimum. Šta će se desiti sa izgledom centralnog difrakcijskog maksimuma ukoliko povećamo širinu pukotine?

A) Širina centralnog maksimuma ostat će ista, on će samo postati intenzivniji - 17.1%

B) Širina centralnog maksimuma će porasti - 37.1%

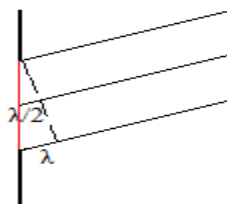
C) Širina centralnog maksimuma će se smanjiti - 34.3%

D) Širina centralnog maksimuma će ostati ista, on će samo biti manje intenzivan - 11.4%

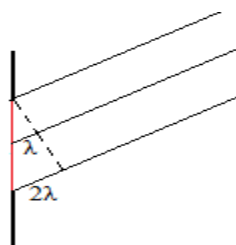
Komentar: U ovom zadatku cilj je bio ispitati učeničko razumijevanje ovisnosti difrakcijske slike kod difrakcije na jednoj pukotini ($a > \lambda$) o širini pukotine. Odgovori studenata Prirodno-matematičkog fakulteta indiciraju da je kod njih slično kao i kod njihovih vršnjaka iz ostatka svijeta, prisutna poteškoća koja se ogleda u primjeni modela geometrijske optike na razmatranje pojava iz talasne optike. Naime, najčešće birani odgovor B ukazuje na to da su studenti i prilikom odgovaranja na ovo pitanje primjenjivali modele geometrijske optike koji za datu situaciju nisu prikladni.

Zadatak 12.

Crvena laserska svjetlost pada okomito na masku sa pukotinom, pri čemu na naspramnom zaslonu nastaje difrakcijska slika. Slika 1 i Slika 2 prikazuju talase koji se pod različitim uglovima prostiru prema zaslonu. Šta ćemo za date uglove uočiti na zaslonu?



Slika 1



Slika 2

A) Pod uglom prikazanim na slici 1 pojavit će se na zaslonu maksimum, a pod uglom prikazanim slikom 2 pojavit će se na zaslonu minimum. - 22.9%

B) Kako za ugao prikazan na slici 1, tako i za ugao prikazan na slici 2 pojavit će se na zaslonu minimum. - 28.6%

C) Pod uglom prikazanim na slici 1 pojavit će se na zaslonu minimum, a pod uglom prikazanim slikom 2 pojavit će se na zaslonu maksimum. - 40%

D) Kako za ugao prikazan na slici 1, tako i za ugao prikazan na slici 2 pojavit će se na zaslonu maksimum. - 8.6%

Komentar: Kod ovog pitanja od studenata se zahtijevalo da pokažu razumijevanje uslova za nastanak minimuma kod difrakcije na jednoj pukotini, gdje minimum na zaslonu nastaje kada god je razlika optičkih puteva između zraka koje potiču od rubova pukotine jednaka cijelom broju talasnih dužina. Odgovori studenata pokazuju ponovo da ih svako spominjanje putne razlike od $\lambda/2$ u svim kontekstima talasne optike asocira na poništavanje talasa, a putna razlika od λ na maksimalno pojačavanje talasa. U kontekstu difrakcije na jednoj pukotini ovakvo razmišljanje nužno vodi do pogrešaka.

Zadatak 13.

Svjetlost se usmjerava na masku sa jednom pukotinom čija je širina nešto veća od talasne dužine svjetlosti. Šta možete reći o rezultujućem vektoru jačine električnog polja u tački zaslona gdje nastaje centralni difrakcijski maksimum?

A) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja se stalno mijenja, ali ni u jednom trenutku ne poprima vrijednost nula. - 25.7%

B) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja se stalno mijenja, a periodično poprima i vrijednost nula. - 42.9%

C) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja je stalna, bez obzira na prirodu svjetlosti. - 20%

D) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja je stalna samo ako se radi o visokokoherentnoj svjetlosti. - 11.4%

Komentar: Kod pitanja broj 13 i broj 14, cilj je bio provjeriti predodžbe studenata o ponašanju rezultujućeg vektora jačine električnog polja na mjestima gdje se pojavljuju minimumi i maksimumi. Iz relativno visokog procenta tačnih odgovora na ovom pitanju i veoma niskog procenta tačnih odgovora na pitanju broj 14 (v. nastavak) slijedi da učenici razmišljaju o

vektorima električnog polja kao o veličinama čije vrijednosti se periodično smjenjuju po pravilnom zakonu.

Zadatak 14.

Svjetlost se usmjerava na masku sa jednom pukotinom čija je širina nešto veća od talasne dužine svjetlosti. Šta možete reći o rezultujućem vektoru jačine električnog polja u tački zaslona gdje nastaje prvi difrakcijski minimum?

A) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja se stalno mijenja, ali ni u jednom trenutku ne poprima amplitudnu vrijednost. -42.9%

B) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja se stalno mijenja, a periodično poprima i amplitudnu vrijednost. - 31.4%

C) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja je stalna i jednaka nuli. - 5.7%

D) Brojna vrijednost rezultujućeg vektora jačine električnog polja poprima tokom vremena i pozitivne i negativne vrijednosti, ali je njegova srednja vrijednost jednaka nuli. - 20%

Komentar: U zadatku 14 studenti su najvećim dijelom primijenili slično razmišljanje kao i u prethodnom zadatku, ali ih ovaj put to razmišljanje nije odvelo do tačnog odgovora. Naime, u tačkama u kojima se dobija minimum amplituda rezultujućeg vektora jačine električnog polja mora biti jednaka nuli, jer bi inače na tom mjestu uočavali određenu osvjetljenost zaslona. To znači da intenzitet rezultujućeg vektora jačine električnog polja na tim mjestima mora biti svo vrijeme jednak nuli.

Zadatak 15.

Crvena laserska svjetlost pada okomito na masku sa jednom pukotinom čija je širina $30\ \mu\text{m}$, pri čemu na naspramnom zaslonu nastaje difrakcijska slika. Šta će se desiti ukoliko gornju i donju četvrtinu pukotine prekrijemo sa neprovidnim materijalom, tako da u odnosu na prvobitnu situaciju samo polovica pukotine propušta svjetlost? Napomena : Dužina pukotine se tokom eksperimenta ne mijenja.

- A) Približno na mjestu gdje je bio drugi minimum pojavit će se maksimum. -45.7%
- B) Približno na mjestu gdje je bio četvrti minimum pojavit će se maksimum. - 20%
- C) Samo će se suziti maksimumi, a raspored maksimuma i minimuma će ostati isti. - 22.9%
- D) Približno na mjestu gdje je bio treći minimum pojavit će se maksimum. - 11.4%**

Komentar: Kod ovog pitanja zahtijevalo se složeno razmišljanje o relativnom rasporedu maksimuma i minimuma kod difrakcije na jednoj pukotini. Zadatak je bilo najjednostavnije riješiti kombiniranjem analitičke reprezentacije i aproksimacije da se maksimumi kod difrakcije na jednoj pukotini nalaze približno između minimuma. Tek svaki deseti ispitanik je korektno odgovorio na pitanje. Uvjedljivo najveći broj ispitanika odabrao je opciju A, jer su se vjerovatno koristili p-primovima u svom razmišljanju (promjena širine za dva puta ih je vjerovatno asociirala na opciju u kojoj se pojavljuje također broj dva).

Zadatak 16.

Crvena laserska svjetlost pada okomito na optičku rešetku pri čemu se na naspramnom zaslonu može uočiti difrakcijska slika. Šta će se desiti sa izgledom difrakcijske slike ukoliko umjesto crvene laserske svjetlosti koristimo zelenu lasersku svjetlost?

- A) Samo će se promijeniti boja difrakcijskih pruga. - 17.6%
- B) Udaljenost između susjednih maksimuma će porasti. - 32.4%
- C) Udaljenost između susjednih maksimuma će se smanjiti. - 38.2%**
- D) Sa zelenom laserskom svjetlošću nećemo uopšte dobiti naizmjenične maksimume i minimume. - 11.8%

Komentar: Kod ovog pitanja cilj je bio provjeriti da li studenti razumiju vezu između difrakcijske slike i talasne dužine svjetlosti u kontekstu difrakcije na optičkoj rešetki. Primijetimo da su na gotovo identično pitanje studenti odgovarali i u zadatku 9, pri čemu su i obrasci odgovaranja jako slični. U oba slučaja studenti u značajnom broju prepoznaju da postoji veza između geometrije difrakcijske slike i talasne dužine svjetlosti, ali dobar dio učenika nekorektno razmišlja o smjeru te veze.

Zadatak 17.

Crvena laserska svjetlost pada okomito na centar optičke rešetke A pri čemu se na naspramnom zaslonu može uočiti difrakcijska slika. Šta će se desiti sa izgledom difrakcijske slike ukoliko umjesto rešetke A budemo koristili rešetku B koju odlikuje niža vrijednost konstante rešetke?

- A) Udaljenost između difrakcijskih maksimuma će porasti - 20%**
- B) Udaljenost između difrakcijskih maksimuma će opasti - 17.1%
- C) Udaljenost između difrakcijskih maksimuma će ostati ista. - 37.1%
- D) Intenzitet centralnog maksimuma će opasti. - 25.7%

Komentar: Dok je u pitanju broj 16 ispitivana veza između izgleda difrakcijske slike i talasne dužine svjetlosti, u ovom zadatku je ispitivana veza između difrakcijske slike i konstante optičke rešetke. Iznenaduje činjenica da gotovo 40 % studenata smatra da konstanta optičke rešetke ne utiče na rastojanje između difrakcijskih maksimuma, iako su u kontekstu difrakcije na jednoj pukotini u većoj mjeri prepoznali da geometrija slike ovisi o širini pukotine. Ovakav rezultat sugerira da učenici nedovoljno povezuju različite kontekste u kojima se proučava interferencija i difrakcija svjetlosti.

Zadatak 18.

Na masku sa 5 jako uskih pukotina pada crvena laserska svjetlost. Šta se dešava sa intenzitetom centralnog maksimuma kada povećavamo broj pukotina koje osvjetljava laserski snop, a njihovo međusobno rastojanje i ostale karakteristike postavke držimo stalnim?

- A) Intenzitet centralnog maksimuma poraste - 21.2%**
- B) Intenzitet centralnog maksimuma opadne - 36.4%
- C) Intenzitet centralnog maksimuma može i da opada i da raste, ovisno o tome koliko je međusobno rastojanje između pukotina - 24.2%
- D) Intenzitet centralnog maksimuma može i da opada i da raste, ovisno o tome koliko tačno broj pukotina smo dodali - 18.2%

Komentar: Kod ovog zadatka cilj je bio da se provjeri da li studenti povezuju pojam intenziteta osvjetljenosti zaslona sa amplitudom rezultujućeg vektora, kao i da li povezuju broj jako uskih pukotina sa brojem talasa koji interferiraju u svakoj od tačaka zaslona. Na prvi pogled se najčešće birani, nekorektni odgovor studenata čak čini kontraintuitivnim. Radi dubljeg tumačenja iskazanog rezonovanja studenata bilo bi poželjno provesti dodatno, usmeno intervjuiranje studenata.

Zadatak 19.

Crvena laserska svjetlost pada na masku sa četiri jako uske pukotine. Za koliku putnu razliku između međusobno susjednih pukotina se dobije prvi minimum?

- A) 4λ - 2.9%
- B) $\lambda/2$ - 58.8%
- C) $\lambda/4$ - 29.4%**
- D) λ - 8.8%

Komentar: Kod ovog pitanja cilj je bio ispitati razumijevanje studenata koje se odnosi na spoznavanje uslova za dobijanje minimuma kod interferencije na više pukotina. Dati zadatak se da veoma lako riješiti korištenjem fazorskog dijagrama. Međutim, i u ovom zadatku, kao i u mnogim prije njega studenti konstantno iskazuju miskoncepciju da putna razlika od $\lambda/2$ u svim mogućim kontekstima vodi do destruktivne interferencije talasa.

Zadatak 20.

Šta će se desiti sa izgledom zaslona ako u okviru Youngovog eksperimenta sa dvostrukom pukotinom, na masku dodamo još jednu identičnu pukotinu, i to tako da je rastojanje između sve tri susjedne pukotine podjednako (i jednako prvobitnom rastojanju između pukotina)?

A) Na mjestu gdje je prvobitno bio maksimum, pojavit će se minimum i obratno - 22.9%

B) Tamo gdje su bili maksimumi, biće i dalje maksimumi, ali na mjestima gdje su bili minimumi, više neće biti minimumi - 34.3%

C) Tamo gdje su bili minimumi, biće i dalje minimumi, ali na mjestima gdje su bili maksimumi, više neće biti maksimumi - 25.7%

D) Maksimumi i minimumi će biti raspoređeni kao i ranije, samo će maksimumi biti intenzivniji nego ranije - 17.1%

Komentar: Kod ovog pitanja cilj je bio da studenti pokažu da razumiju kako dodavanjem treće pukotine na mjestima gdje su prvobitno dobijeni minimumi, nikako ne mogu ostati minimumi, jer imamo dospijevanje dodatnog talasa u tu tačku koji također daje doprinos rezultujućem vektoru jačine električnog polja u toj tački. Ukoliko je prethodno rezultujući vektor jačine električnog polja bio nul-vektor, sada rezultujući vektor više ne može biti jednak nuli. Približno svaki treći student je uspio korektno odgovoriti na ovo pitanje.

9. ZAKLJUČAK

Rezultati metodičkih istraživanja konzistentno ukazuju na činjenicu da su oblasti geometrijske i talasne optike jako zahtijevne za učenike i studente, pri čemu je problem razvijanja adekvatnog razumijevanja naročito izražen u slučaju talasne optike.

Imajući u vidu navedeno, ovaj diplomski rad imao je za cilj sistematsko analiziranje literature o učeničkim miskoncepcijama u optici, kao i o izvorima tih miskoncepcija i načinima njihovog prevazilaženja. Radi unapređivanja primjenjivosti zaključaka ovog rada za potrebe unapređivanja nastave u lokalnom kontekstu, provedeno je i empirijsko istraživanje studentskog razumjevanja interferencije i difrakcije svjetlosti, kao dijela optike koji je naročito zahtijevan za studente.

Kada je u pitanju teorijski dio istraživanja, najbitniji zaključci do kojih se došlo u okviru ovog diplomskog rada su sljedeći:

- U okviru poučavanja geometrijske optike učenje o mehanizmima vizuelne percepcije objekata iz okoline treba da zauzima visoko mjesto, pri čemu je potrebno naglašavati značaj difuznog odbijanja svjetlosti.
- Kako u kontekstu pojašnjavanja načina putem kojih vidimo objekte oko nas, tako i u kontekstu poučavanja o preslikavanju objekata na optičkim elementima, potrebno je isticati da se od svake tačke svijetlog predmeta svjetlost prostire u svim smjerovima.
- Prilikom poučavanja o preslikavanju na optičkim elementima nije dovoljno ograničiti se na razmatranje karakterističnih zraka i potrebno je u svakoj prilici isticati fizikalne procese do kojih dolazi u ovim situacijama.
- Prilikom poučavanja talasne optike jako je bitno, koristeći se odgovarajućim vizualizacijama, povezivati procese na mjestima izvora talasa, sa procesima u prostoru između izvora talasa i zaslona i procesima koji se dešavaju na samom zaslonu.
- Prilikom poučavanja o interferenciji i difrakciji svjetlosti na pukotinama nužno je ukazati na implikacije koje slijede iz činjenice da je širina pukotine manja ili veća od talasne dužine svjetlosti.
- Prilikom poučavanja talasne optike nužno je više vremena posvetiti razmatranju odnosa između geometrijske i talasne optike. Također je nužno više vremena posvetiti razvijanju

razumijevanja o temeljnim konceptima (npr. faza, amplituda, period, frekvencija, talasna dužina, koherentnost) i reprezentacijama (npr. talasne fronte, fazorski dijagrami) talasne optike.

Kada je u pitanju empirijski dio istraživanja, rezultati tog istraživanja zasnovani su na testu koji je većim dijelom koncipiran na bazi ranijih kvalitativnih istraživanja studentskog razumijevanja interferencije i difrakcije svjetlosti, a uključivao je ispitivanje razumjevanja temeljnih pojmova talasne optike, kao i: pojavu interferencije na dvostrukoj pukotini (Youngov eksperiment), difrakciju na jednoj pukotini, difrakciju na rešetki i interferenciju na većem broju pukotina.

U istraživanju je učestvovalo 35 studenata Prirodno-matematičkog fakulteta Sarajevo, sa prve, druge i treće godine studija, pri čemu vrijedi istaknuti da su svi uključeni studenti druge i treće godine studija na dan testiranja imali položen ispit iz predmeta Optika.

Iz učeničkih odgovora na pitanja iz testa i njihovih demografskih karakteristika, možemo izvesti sljedeće zaključke:

- Razumjevanje interferencije i difrakcije svjetlosti je na jako niskom nivou, čak i kod studenata iz gornjeg kraja raspodjele sposobnosti, a među studentima različitih godina studija gotovo da i ne postoje razlike u prosječnim postignućima na testu.
- Ispitanike muškog spola u većoj mjeri karakterišu ekstremni skorovi, što je u skladu sa rezultatima ranijih istraživanja o rodnim razlikama.
- Rezultati korelacijskih analiza ukazuju da je ocjenjivanje studentskih postignuća iz optike bilo zasnovano na drugačijim kognitivno-psihološkim principima u odnosu na procjenjivanje provedeno testom koji je koncipiran za potrebe ovog rada. Osim toga, pokazuje se da je kod uključenih studenata sposobnost procjenjivanja sopstvenog razumijevanja talasne optike bila na relativno niskom nivou.
- Rezultati analiza pojedinačnih zadataka ukazuju na to da i studenti Prirodno-matematičkog fakulteta iskazuju mnoge miskonceptije koje su već ranije identificirane kod njihovih vršnjaka iz svijeta, npr.: nekorektno shvatanje shodno kojem karakteristična interferencijska slika može nastati i obasjavanjem samo jedne pukotine ($a < \lambda$), nekorektno shvatanje shodno kojem povećavanjem širine pukotine širina maksimuma raste (uzrokovano primjenom modela geometrijske optike) i sl.

- Rezultati analiza pojedinačnih zadataka ukazali su i na neke studentske poteškoće u razumijevanju talasne optike koje ne bismo mogli svrstati u miskoncepcije, kao što je: nedovoljna osposobljenost za tumačenje često korištenih, vizuelnih reprezentacija talasnog kretanja (npr. interpretacija talasne fronte), te fragmentarno znanje koje se očituje u asociranju svih situacija u kojima se spominje neka dužina koja je jednaka $\lambda/2$, sa destruktivnom interferencijom talasa.

Zaključci do kojih se došlo u okviru ovog rada poslužit će kao osnova za dizajniranje budućih eksperimentalnih studija koje će biti usmjerene ka unapređivanju kvaliteta poučavanja optike.

10. REFERENCE

1. Ambrose, B.S., Heron, P.R.L., Vokos, S., & McDermott, L.C. (1999b). Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena. *American Journal of Physics*, *67*, 891-898
2. Ambrose, B.S., Shaffer, P.S, Steinberg, R. N., & McDermott, L.C. (1999a). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *American Journal of Physics*, *67*, 146-155.
3. Andersson, B.R., Kaerqvist, C. (1983). How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, *5*, 387-402.
4. Arons, A.B. (1996). *Teaching Introductory Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
5. Bransford, J., Brown, A. L., & Cocking, R.R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington: NAP.
6. Clement, J. J., & Steinberg, M. S. (2002). Step-Wise Evolution of Mental Models of Electric Circuits: A "Learning-Aloud" Case Study. *The Journal of the Learning Sciences*, *11*(4), 389-452.
7. Coetzee, A., & Imenda, S. N. (2012). Alternative conceptions held by first year physics students at a South African university of technology concerning interference and diffraction of waves. *Research in Higher Education Journal*, *16*, 1-13.
8. Cohen, R.J., Swerdlik, M. (2009). *Psychological Assessment: An Introduction to Tests and Measurements*. Boston, MA: McGraw-Hill Higher Education.
9. Colin, P., & Viennot, L. (2001). Using two models in optics: Students' difficulties and suggestions for teaching. *American Journal of Physics*, *69*, S36-S44.
10. Colombo, E. M., Jaen, M., & de Cudmani, L. C. (1995, October). The concept of coherence of learning wave optics. In *SPIE's 1995 International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation* (pp. 452-458). International Society for Optics and Photonics.
11. Deng, Z. (1997). The nature of key ideas in teaching high school physics: three topics in optics, color the speed of light, and light interference. Ph.D. thesis, Michigan State University.
12. Driver, R. (1973). *Student's conception and the learning of science*. PhD. Thesis.

13. Ford, K. (2011). *Inquiry Learning: Students' perception of light wave phenomena in an informal environment* (Unpublished doctoral dissertation). Southern University and A&M College, Baton Rouge
14. Fox, A., & Wilkinson, D. (1997). *Science Teaching Reconsidered: A Handbook*. Washington: NAP.
15. Galili, I., Bendall, S., & Goldberg, F. (1993). Prospective elementary teachers' prior knowledge about light. *Journal of Research of Science Teaching*, 30, 1169-1187.
16. Guesne, E. (1985). Light. In: Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A., *Children's ideas in science*. Buckingham, England: Open University Press.
17. Hake, R. R. (1992). Socratic Pedagogy in the introductory physics lab. *Physics Teacher*, 30, 546-552.
18. Hestenes, D., & Wells, M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30, 159-166.
19. Hestenes, D., & Wells, M., (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
20. Hubber, P. (2006). Year 12 students' mental models of the nature of light. *Research in science education*, 36, 419-439.
21. Ibrahim, B., & Rebello, N. S. (2012). Representational task formats and problem solving strategies in kinematics and work. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 8, 010126.
22. Kesonen, M. (2014). Improving students' learning about optics at university. Ph.D. Thesis, University of Eastern Finland
23. Knight, R. D. (2004). *Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching*. San Francisco, CA: Addison Wesley.
24. Krsnik, R. (2001). Učenik i učenje fizike: Što govore rezultati istraživanja. *Peti hrvatski simpozij o nastavi fizike*.
25. Maurines, L. (2010). Geometrical Reasoning in Wave Situations: The case of light diffraction and coherent illumination optical imaging. *International Journal of Science Education*, 32, 1895-1926.
26. McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 122-130
27. Meltzer, D. E. (2005). Relation between students' problem-solving performance and representational format. *American Journal of Physics*, 73, 463-478

28. Michael, J., & Modell, H. I. (2003). *Active learning in secondary and college science classrooms: A working model for helping the learner to learn*. London: Routledge
29. Muratović, H., & Mešić, V. (2009). *Didaktičko-metodički prilozi nastavi fizike*. Sarajevo: Prirodno-matematički fakultet Sarajevo.
30. Nersessian, N. (2008). *Creating Scientific Concepts*. Cambridge, MA: MIT Press
31. Pena, C.M. & Alessi, S.M. (1999). *Promoting a qualitative understanding of physics*. *Journal of computers in mathematics and science teaching*, 18, 439-457.
32. Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 221-227.
33. Posner, G., Strike, K., Hewson, P., Gertzog, W. (1982.), Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change, *Sci. Educ.*
34. Sadaghiani, H. R. (2012). Controlled study on the effectiveness of multimedia learning modules for teaching mechanics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 8, 010103.
35. Saxena, A. B. (1991). The understanding of the properties of light by students in India. *International Journal of Science Education*, 13, 283-289.
36. Sengoren, SK. (2010). *Turkish students' mental models od light to explain the single slit diffraction and double slit interference od light: A cross- sectional study*, 61-71
37. Sokoloff, R.D. (2006). *Active Learning in Optics and Photonics Training Manual*. Paris: UNESCO.
38. Stefanel, A., Michelini, M., & Santi, L. (2014, July). Upper secondary students face optical diffraction using simple experiments and on-line measures. *Proceedings of Science, Frontiers of Fundamental Physics 14*. Marseille: Aix Marseille University
39. Viennot, L. (2004). *Reasoning in Physics: The Part of Common Sense*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
40. Watts, M. (1985). Student conceptions of light: a case study. *Physics Education*, 20, 183-187.
41. Wiesner, H. (1994). Ein neuer Optikkurs fuer die Sekundarstufe I der sich an Lernschwierigkeiten und Schuelervorstellungen orientiert. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 22, 7-15.

42. Wosilait, K. (1996). Research as a guide for the development of tutorials to improve student understanding of geometrical and wave optics. Ph.D. thesis, University of Washington.
43. Young, H. D., & Freedman, R. A. (2014). *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics: Technology Update*. NJ: Pearson Education
44. Zietsman, A., & Clement, J. (1997). The Role of Extreme Case Reasoning in Instruction for Conceptual Change. *The Journal of the Learning Sciences*, 6, 61-89.