



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



**ZNAČAJ EKSPERIMENTALNIH VJEŽBI I
MULTIMEDIJALNIH SADRŽAJA U NASTAVI FIZIKE PRI
OBRAĐI TEME TALASNA OPTIKA U SREDNJIM
ŠKOLAMA**

- master rad -

Mentor:

dr Fedor Skuban

Kandidat:

Mladen Karajica

Novi Sad, 2018. godina

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. NASTAVA FIZIKE I DIDAKTIČKI PRINCIPI	2
3. ULOGA DEMONSTRACIONIH I EKPERIMENTALNIH VJEŽBI U NASTAVI FIZIKE	
5	
4. PRIMJENA I ZNAČAJ MULTIMEDIJALNIH SADRŽAJA U NASTAVI FIZIKE	7
4.1. Primjeri i primjena multimedija u nastavi fizike	8
4.1.a. Primjena društvene mreže facebook u nastavi	8
4.1.b. Primjena aplikacije skype u nastavi	9
4.1.c. Primjena mrežne aplikacije you tube u nastavi	10
4.1.d. Primjena PowerPoint aplikacije u nastavi	10
5. TALASNA OPTIKA	12
5.1 Interferencija svjetlosti	13
5.1.a. Uslovi za konstruktivnu i destruktivnu interferenciju	15
5.1.b. Jangov modul	17
5.2 Difrakcija svjetlosti	20
5.2.a. Frenelova i Fraunhoferova difrakcija	21
5.2.b. Difrakcija na višestrukim prorezima	24
5.3 Polarizacija svjetlosti	25
5.3.a. Polarizacija pri prelamanju i odbijanju	27
5.3.b. Polarizacija svjetlosti pri prolasku kroz kristale	28
5.3.c. Dvojno prelamanje	29
5.4 Disperzija svjetlosti	29
6. NASTAVNI PLAN I PROGRAM U OBRADI NASTAVNE TEME „TALASNA OPTIKA“	33
7. EKSPERIMENTALNE VJEŽBE	36
7.1 Mjerenje talasne dužine svjetlosti pomoću difrakcione rešetke	36
7.2 Jangov eksperiment	39
8. JEDNOSTAVNI EKSPERIMENTI	41
9. KOMPJUTERSKE SIMULACIJE I ANIMACIJE	44
9.1. Primjeri multimedijalnih simulacija i animacija	45

9.1.a. Difrakcija svjetlosti na jednom ili dva otvora	45
9.1.b. Disperzija svjetlosti na prizmi (Njutnova prizma)	45
9.1.c. Polarizacija svjetlosti	46
9.1.d. Difrakcija elektromagnetsnih (radio) talasa	46
9.1.e. Nastanak duge. Disperzija na kapljicama kiše	47
9.1.f. Interferencija talasa (vodenih, zvučnih, svjetlosnih)	47
9.1.g. Difrakcija talasa na površini vode	48
9.1.h. Animacija polarizacije svjetlosti na kristalima	49
9.1.i. Interferencija na tankim slojevima	49
9.1.j. Simulacija Jangovog eksperimenta	50
9.1.k. Lojdovo ogledalo	50
9.1.l. Majkelsonov interferometar	51
10. ZAKLJUČAK	52
11. LITERATURA	53
12. BIOGRAFIJA	54

1. Uvod

Naučna otkrića pojedinih fizičara objedinjujemo u zajednička znanja, ali kao takva, ona su neupotrebljiva u nastavi fizike, već ih treba obraditi i prilagoditi uzrastu učenika, njihovim prethodno usvojenim znanjima i stepenu psihofizičkog razvoja.

Fizika, kao nastavni predmet ima svoje specifične sadržaje, što zahtjeva i specifičan način izvođenja nastave. Osnovne metode u nastavi fizike su *eksperimentalna metoda* i *metoda demonstracionih ogleda*. One omogućavaju da učenici lično dožive i iskustveno se uvjere u neke fizičke pojave. Samo ličnim iskustvom, oni mogu razviti naučni pogled na svijet, fizički način razmišljanja tj, razumjeti fizičke pojmove, odnosno koncepte. Na ovaj način se stiču kvalitetna i funkcionalna znanja.

Specifičnost fizike ogleda se i u tome da, bez eksperimentalne potvrde, nijedna fizička teorija ne može da opstane. Svaka hipoteza se mora potvrditi eksperimentalno, da bi bila prihvaćena kao fizički zakon.

O značaju eksperimenta u fizici, a samim tim i u nastavi fizike, najbolje govori citat američkog fizičara Ričarda Fajnmana (Richard Phillips Feynman), jednog od najvećih fizičara dvadesetog vijeka. On je rezimirajući naučni proces rekao: „*Uopšte uzevši, novi zakon tražimo sljedećim postupkom: prvo ga pretpostavimo. Zatim krenemo da izračunavamo posljedice i pretpostavke da vidimo šta bi se dogodilo kad bi pretpostavljeni zakon bio ispravan. Onda rezultate izračunavanja uporedimo sa stanjem u prirodi, putem iskustva ili eksperimenta, upoređujući ih direktno sa posmatranjem, da bismo ustanovali slaže li se to. Ako se ne slaže sa eksperimentom, pogrešno je. Ta jednostavna rečenica ključ je za nauku. Uopšte nije važno koliko je lijepa vaša pretpostavka. Uopšte nije važno koliko ste vi pametni, ko je izrekao pretpostavku da li je to poznato ime ili ne. Važno je samo jedno: ako se ne slaže sa eksperimentom, pogrešno je.*“

1. Nastava fizike i didaktički principi

Nastava kao posrednička funkcija vrši se uglavnom komunikacijom koja može biti izvedena na dva načina, verbalno i neverbalno: izlaganjem, objašnjavanjem, pokazivanjem, podsticanjem, postavljanjem pitanja itd.

Od pet osnovnih vaspitnih funkcija, podučavanje je osnovna obaveza nastavnika. Načini podučavanja moraju pratiti osnovne didaktičke principe i didaktička pravila. Nastavni proces bi trebao da pobudi želju za sticanjem funkcionalnih znanja kao i kreativnost kod učenika. Funkcionalno znanje i kreativnost javiće se kroz stvaralački proces koji možemo definisati kao „povezivanje ranije ne povezanih stvari.“

Kreativnost u nastavi bi mogla biti realizovana ako smo napravili nešto novo za sebe što nas zadovoljava i u tom smislu je korisno za nas, ako smo povezali stvari koje su prije toga bile nepovezane u našem iskustvu i ako je proizvod iznenađujući tj. nov za nas.

Nemoguće je tražiti od nastavnika da sve vrijeme bude kreativan i da svakom času pristupa stvaralački. Nije lako preduzeti rizike takvog pristupa nastavi jer se mogu pojaviti kontraefekti koji mogu biti nerazumijevanje i neprihvatanje učenika takvog pristupa nastavnika. Nastavnik se mora disciplinovati, da bi usavršio svaki način nastave. Zbog toga on treba sam da odluči koliko i kada će raditi stvaralački, i isto tako svjesno, odabratи dijelove programa, u kojima će za izvjesno vrijeme, predavati i poučavati na rutinski način. Pokušaji nastavnika da učini nešto na stvaralački način, treba da stvori prilike za one koje podučava da dođu do iskustva i saznanja.

Tokom istorije nastavi se pristupalo na mnogo različitih načina. Vrste nastave koja se primjenjivala i primjenjuje i danas su:

- *Katehetska nastava* koristi princip mašine za okidanje, iznošenje, pamćenje i reprodukcija zadatih sadržaja. Dogmatska nastava koja zabranjuje preispitivanje naučenih ili podučavanih sadržaja.
- *Majeutska (Sokratovska) nastava* koristi princip izvlačenja istine. Opredjeljenje između više ponuđenih odgovora, uz obrazloženje zašto se opredjeljujemo za baš taj odgovor.
- *Predavačka nastava* koristi princip slušaj i pamti, nastavnikovo prenošenje znanja verbalnim putem. Učenik nije subjekt u nastavi nego objekt, kome se nastavnik obraća.
- *Heuristička nastava* koristi princip traži i otkrivaj. Nastavnik vodi proces učenja tako da usmjerava, posmatra i verifikuje ono što učenik radi.
- *Programirana nastava* koristi princip slijedi i izvršavaj korak po korak. Nastavnik didaktički oblikuje sadržaj, racionalno usmjerava učenika ka koracima koje učenik mora da prati do očekivanog cilja - znanja.
- *Egzemplarna nastava* koristi princip poduci reprezentativno, a učenik ostalo radi sam. Nastavnik vrši izbor, selekciju i prezentaciju reprezentativne teme, a učenik radi na pojedinim podtemama (projekat metoda)
- *Timska nastava* koristi princip svako svoj dio, svi zajedno sve. Nastavnik vrši izbor problema, plan i program aktivnosti po grupama. Učenici rade na svojim projektima, a zatim svi zajedno sintezu i evaluaciju rezultata.

- *Problemska nastava* koristi princip utvrdi problem, ponudi rješenje, utvrdi tačnost. Nastavnik vrši osvjećivanje, obrazlaganje i utvrđivanje problema. Učenici postavljaju hipoteze i prikupljaju podatke vezane za problem, sređuju i biraju relevantne podatke za rješavanje problema i izvode zaključke.
- *Konstruktivistička nastava* je stvaranje značenja i razumijevanja sadržaja, stvaranje vlastitih procesa učenja (Palekčić, 2002.), konstruisanje spoznaje te traženje odgovora (Babić, 2007.) u organizovanoj okolini učenja. U konstruktivističkoj paradigmi učenja i nastave mijenja se uloga učitelja koji nije više instruktor, izvor znanja i prenosilac znanja. Učitelj je organizator aktivnosti učenja, iskustva učenja i okoline u kojoj se učenje treba događati. Stoga je učitelj konstruktor učenikova znanja. Uloga učenika nije pasivna „upijanje znanja“, već aktivno učenje, učenje otkrivanjem, rješavanjem problema i istraživanjem s naglašenim individualiziranim učenjem.

Nastava se izvodi na principima poučavanja koji prema *Komenskom (Jan Amos Komenski)* moraju biti prirodni. *Komenski* posebno podvlači, da prvi cilj didaktike treba da bude takva nastavna praksa da nastavnici manje podučavaju, a učenici više da uče. U praksi to znači da učenici trebaju sami da dolaze do nekih rješenja zaključaka, koje mogu da dobiju i od nastavnika.

Principi didaktike su opšti zahtjevi i obavezujući normativi nastavnicima, učenicima i drugim učesnicima u nastavnom procesu. Neki osnovni principi u nastavi su:

- Očiglednost
- Sistematicnost i postupnost
- Odmjerenošć prema prirodi učenika
- Aktivnost
- Vaspitanost
- Naučnost
- Individualno prilaženje
- Povezanos teorije i prakse
- Trajnosc znanja, vještina i navika
- Povezanost nastave sa životom
- Istoričnost i savremenost
- Usmjeravanje prema cilju
- Racionalizacija i ekonomičnost
- Samostalnost
- Princip vođenja računa o uzrastu učenika

Principi su mnogo širi pojam od pravila. Principi su opšti i uvijek se primjenjuju a pravila u zavisnosti od konkretnog slučaja. Neka od osnovnih pravila kako ih je definisao *Komenski* su:

- od bližeg ka daljem,
- od poznatog ka nepoznatom,
- od prostog ka složenom i
- od lakšeg ka težem.

Disterveg (Fridrich A. W. Diesterweg) je, analizirajući pravila *Komenskog*, utvrdio da pravilo od poznatog ka nepoznatom važi bez izuzetka, tj. univerzalno je pravilo jer se nova znanja stiču na osnovu poznatog. On je, takođe, formulisao pravila koja kao smjernice treba da pomognu nastavnicima u radu sa učenicima. Neka od njih, vrlo primjenjiva i u nastavi fizike su:

1. Raspodijeli materijal predmeta prema stepenu zrelosti i zakonima razvoja učenika.
2. Ne budi površan u predavanju osnovnih znanja.
3. Kada obrađuješ neki problem sa učenicima, češće se vraćaj osnovi i zaključivanju, povezivanju između etapa u radu.
4. Rasporedi građu na cjeline i manje dijelove.
5. Ukazuj na svakom od stupnjeva i pojedinih djelova šta je bitno i omogući više izlaza-rješenja kako bi se njegovala racionalnost učenika.
6. Poveži gradivo međusobno srodnih oblasti.
7. Prelazi od stvari ka njihovom značenju, ali ne i obratno.
8. Sadržaj nastave uskladi sa stepenom razvoja nauke.
9. Nastoj da ti predavanja budu uvijek interesantna.

2. Uloga demonstracionih i eksperimentalnih vježbi u nastavi fizike

Fizika kao nauka sve više ima opšti zanačaj u društvu a svojim oblastima nalazi u osnove skoro svih ostalih nauka a posebno tehničkih nauka. Na osnovu eksperimenata formiraju se i nova shvatanja u fizici kao i nova gledišta u nauci uopšte. Specifičnost fizike je i u tome što treba da pobudi zanimanje, zainteresovanost, razmišljanje o proučavanim pojavama a zatim da poveže te pojave sa prethodno poznatim stvarima.

Jedno od najsnažnijih oruđa fizike u tom poslu su demonstracioni ogledi i eksperimenti. Učenici mogu eksperimentalno provjeravati znanje o pojavama koje su stekli u nastavi ili nekim drugim putem, mogu eksperimentalno nalaziti neke fizičke konstate, mogu pronalaziti i utvrđivati neke zakonitosti koje postoje kod fizičkih pojava, a koje još nisu učili.

Danas u nastavi fizike izvodimo u zavisnosti od uslova koje imamo četiri vrste eksperimenata:

- demonstracione oglede,
- frontalne eksperimente,
- fizički praktikum i
- eksperimenti u okviru vanastavnih aktivnosti.

Demonstracioni eksperiment najčešće izvodi nastavnik uz asistenciju nekog učenika. Taj proces mora biti osmišljen ka postizanju nekog cilja. Nastavnik poslije izvođenja demonstracije može da navede ključne činjenice ili da traži od učenika da sami opišu šta su vidjeli, koristeći pri tom znanja koja su prethodno stekli. Može se koristiti u kombinaciji sa usmenim predavanjem nastavnika i pri izlaganju novog gradiva.

Frontalni eksperiment se izvodi u grupama koje bi trebalo da budu sastavljene od tri do pet učenika ali tako da svi učenici učestvuju u radu, gdje grupe koriste isti pribor i utvrđuju istu zakonitost. Na osnovu eksperimenta učenici dolaze do određenih zaključaka i formulacija pravila ili zakonitosti. Frontalni eksperiment se najčešće izvodi radi utvrđivanja i dubljeg razumjevanja gradiva. Ako koristimo ovu vrstu eksperimenta da učenici samostalno prouče njima nepoznatu pojavu, ovaj eksperiment uzima formu istraživačkog eksperimenta.

Fizički praktikum je najviši stepen labaratorijskog eksperimenta pa se može organizovati samo kad učenici budu spremni za rad u laboratoriji i steknu određene navike za rad u laboratorijskim uslovima. Ovakvim eksperimentima se rezimira jedna oblast fizike koja se proučava u okviru jednog tromjesečja ili jednog polugodišta. Za ovu vrstu eksperimenta je potrebna posebna i dugotrajnija priprema učenika koji na ovaj način treba da se osposobe za samostalno rješavanje problema.

Eksperimenti u okviru vannastavnih aktivnosti mogu se organizovati na časovima dodatne nastave. Takvi eksperimenti se obično izvode za talentovane učenike pa oni mogu biti složeniji od eksperimenata koji se održavaju na časovima redovne nastave.

Uvođenje eksperimenata u nastavu fizike je veoma potrebno jer vraća zainteresovanost učenika za fiziku i naglašava naučno-istraživački rad i pristup nastavi fizike. U toku nastave treba uvijek navoditi primjere iz životnih situacija koji se mogu jednostavno demonstrirati sa naglaskom na fizičke pojave u tim slučajevima. Ovom treba pribjegavati ako nedostaje odgovarajuća oprema pa pribjegavamo predmetima iz svakodnevnog života koje možemo naći svuda oko nas.

3. Primjena i značaj multimedijalnih sadržaja u nastavi fizike

Pojam multimedija se koristi kad se govori o sadržajima i informacijama koje se primaju na različite načine, koristeći više čula istovremeno (zvuk, slika, video, film, tekst...). Ovako se dobija bolja, interesantnija, zanimljivija informacija nego kada se koristi klasičan način predavanja. Fizika je u svojoj osnovi eksperimentalna nauka tako da korištenje simulacija i ostalih oblika multimedija ne može u potpunosti da zamjeni eksperiment i mjerjenja, koji su najdragocjenije iskustvo za učenike u toku nastave fizike. Međutim, kada nije moguće izvršiti eksperiment ili demonstraciju, obično uslijed nedostatka sredstava i učila, multimedija je moćno sredstvo koje se može iskoristiti kao zamjena za te nedostatke.

Postoji nekoliko načina korištenja multimedija u nastavi i procesu učenja:

- Korištenje medija kao što su CD ili DVD na kojima postoje programi za interaktivno učenje. Pojavom jeftinih ličnih računara pojavljuju se materijali za učenje, koji koriste mogućnosti računara da se naprave lekcije. One osim teksta nose i zvuk, sliku ili filmske zapise. Postoji i mogućnost izrade interaktivnih obrazovnih materijala i testova znanja i vještina.
- „*On line*“ učenje je oblik učenja gdje korisnici mogu pristupiti *Web* stranicama, uz određenu naknadu ili besplatno, sa lekcijama iz oblasti koje ih trenutno interesuju. Ovaj način učenja omogućava razmjenu iskustava sa drugim učenicima, kao i postavljanje pitanja i dobijanje relevantnih odgovora korištenjem interneta.
- Učenje na daljinu se kod nas vrlo malo primjenjuje. Ono podrazumijeva razmjenu slike i zvuka između učenika i nastavnika u relevantnom vremenu. Na internetu postoji veliki broj *Web* stranica koje su potpuno besplatne, a služe za učenje na daljinu sa izuzetno korisnim i raznovrsnim sadržajima. Npr. čuveni MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) je postavio otvoreni pristup svojim sadržajima na adresi: <http://ocw.mit.edu>
- Računarska simulacija je veoma dobar način na koji računari mogu da prikažu neku pojavu u odnosu na postojeće uslove i parametre. Ti se uslovi mogu mijenjati korištenjem računara i varirati u zavisnosti od potreba i ciljeva koje želimo da postignemo. Zatim se mogu analizirati postignuti rezultati koji su dobijeni promjenom određenih uslova i parametara.

Simulirati se mogu najednostavniji procesi, recimo rad nekih prostih mašina, do složenih procesa kod nuklearnih reaktora i složenih hemijskih procesa.

Riječ *simulacija* ima različita značenja u našem jeziku. Može da znači *oponašanje, pretvaranje*. Računarska simulacija predstavlja isprogramirani model u računaru, a provodi se kodiranjem.

Simulacioni modeli su vrste softvera koji omogućavaju da se jednostavno dođe do koncepcijskog modela. Simulacija je postupak koji objedinjuje više radnji, kao što su:

- snimanje podataka na realnom sistemu
- eksperimentisanje na realnom sistemu
- formulisanje teorije

- izgradnja koncepcijskog modela
- programiranje
- planiranje eksperimenta na računaru
- eksperimentisanje sa programom na računaru
- analizu rezultata.

U okviru simulacija mogu se izvesti i video demonstracije koje učenicima omogućavaju da vide određenu pojavu, odnosno uzrok i posljedicu neke pojave i da sve to povežu sa stvarnim situacijama u prirodi.

Animacija procesa omogućava da učenici vide odvijanje nekog procesa koga inače ne mogu da proučavaju na neki drugi način. Pomoću animacije moguće je naglasiti i istaći određene djelove složenog procesa.

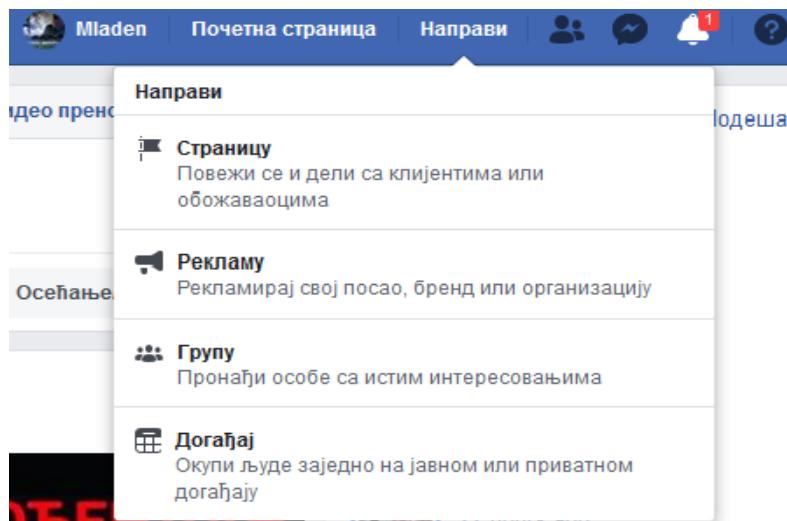
Može se reći da ovi oblici rada sa učenicima omogućavaju uvid u ispoljavanja spoljašnjeg svijeta koji ponekad nije dostupan pručavanju na druge načine tj. udaljen je opasan, nevidljiv i slično. Učenik može da pravi „*virtuelne ekskurzije*“ tj. da dublje proučava odgovarajuće virtualne prikaze stvarnog svijeta uz korištenje većeg broja čula.

4.1. Primjeri primjene multimedija u nastavi fizike

4.1.a. Primjena društvene mreže Facebook u nastavi

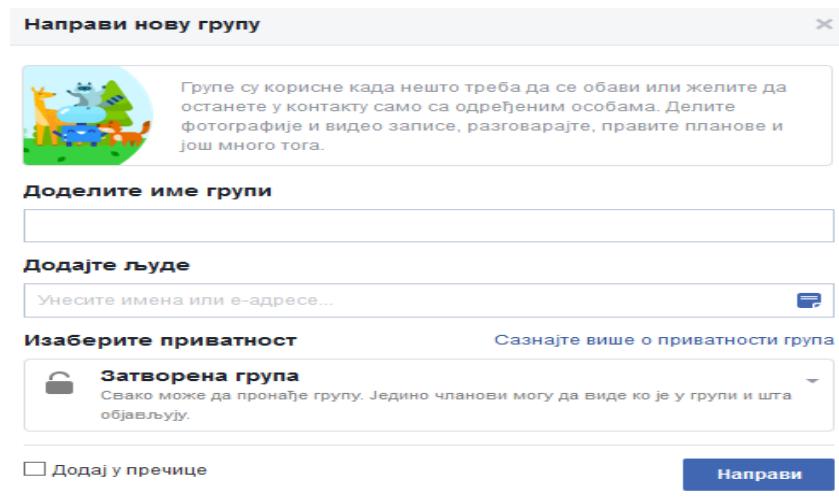
Danas velika većina učenika ima pristup drušvenim mrežama, tako da korištenje društvenih mreža u nastavi spada u vrlo efikasan metod u nastavnom procesu, kako za učenike tako i za nastavnike. Način korištenja *Facebook*-a je vrlo jednostavan i omogućava nastavniku da vodi proces i ima potpunu kontrolu nad svim što se dešava na samoj stranici *Facebook-a*. Učenici i nastavnici morati biti korisnici društvene mreže *Facebook*. Nastavnik je taj koji formira zatvorenu grupu, tako da se postavi za administratora grupe. Postupak je sljedeći:

1. Idite na vaš *Facebook* profil i nađite opciju Napravi (sl.1).



Slika 1.

2. Zatim odaberite ključnu riječ **Grupa**, otvorice se prozor (sl.2).



Slika 2.

Dodjelite ime grupi i izaberite opciju **Zatvorena grupa**. U grupu prihvativate vaše učenike. U mom slučaju, to su učenici računarsko - informatičkog smjera gimnazije kojima sam odjeljenjski starješina. Kao administrator grupe možete da postavljate slike, video, tekstove, šaljete zadatke i pitanja i dobijate odgovore i pitanja od vaših učenika (sl.3).



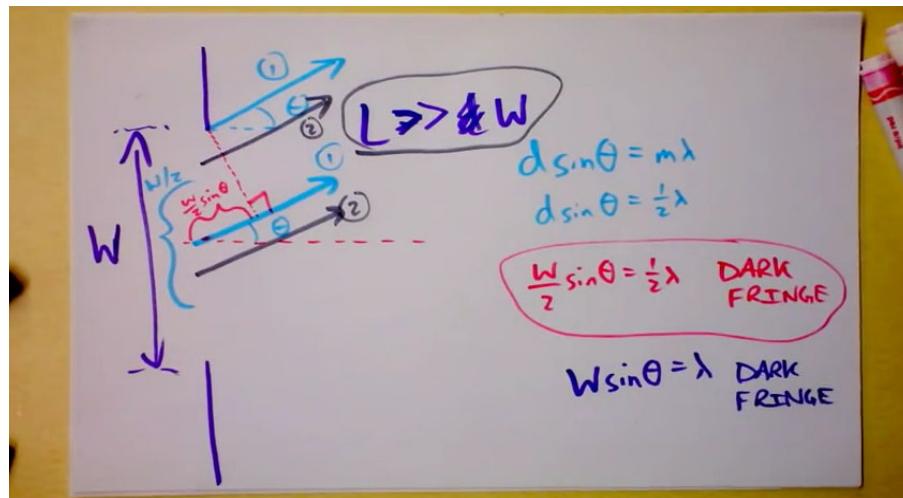
Slika 3.

4.1.b. Primjena aplikacije skype u nastavi

Za rad sa manjom grupom učenika, npr. pri izvođenju pripreme za takmičenje, dodatne nastave, može se koristiti uslužna aplikacija *Skype* koja pored komunikacije tekstrom, zvukom, posjeduje i mogućnost video komunikacije. Registrovanim korisnicima omogućuje da, osim razmjene tekstualnih i video poruka, šalju i primaju digitalne dokumente poput fotografija, tekstova i video snimaka. Osim pojedinačnih, moguće je ostvarivati i konferencijske pozive, te slati kontakte, novac na račun i slično.

4.1.c. Primjena mrežne aplikacije *YouTube* u nastavi

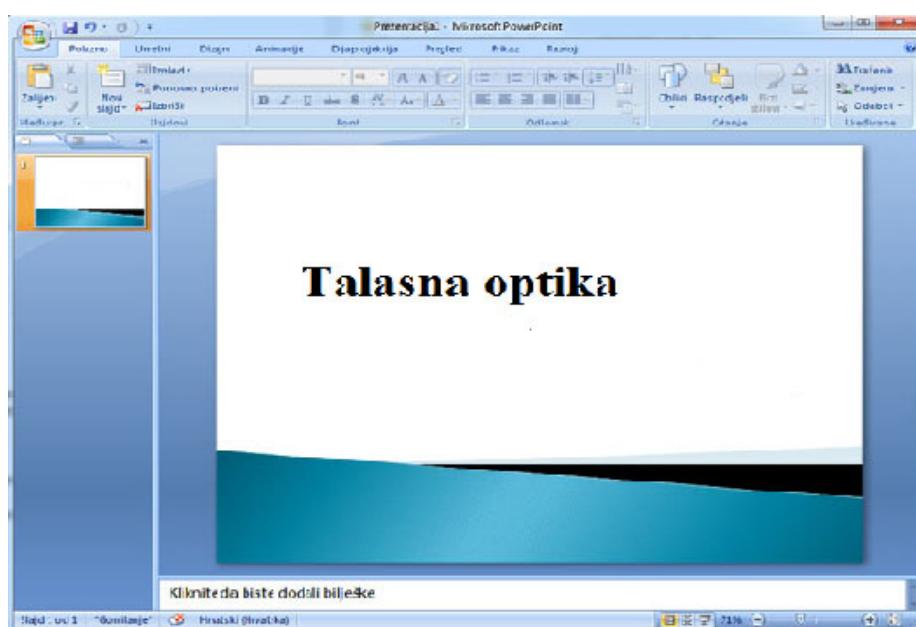
Kod izvođenja nastavnih jedinica difrakcija i interferencija svjetlosti, zbog složenosti i obima nastavnih jedinica, vrijeme je veoma bitan faktor. Korištenje internet servisa ***YouTube*** može da uštedi mnogo vremena na času. Moguće je, ako to tehnički uslovi dozvoljavaju, pustiti video snimak bez zvuka npr. nastavne jedinice *Difrakcija svjetlosti na jednom otvoru* i detaljno objasniti pojavu, vraćajući se na bitne dijelove više puta (sl. 4).



Slika 4.

4.1.d. Primjena PowerPoint aplikacije u nastavi

Ova aplikacija je vrlo popularna jer omogućava vrlo jednostavno i efektno prezentovanje sadržaja većem broju slušalaca. Suština programa je izrada tzv. slajdova, koji čine prezentaciju koristeći slike, tekst i efekte nad njima te prikazivanje iste preko monitora ili video projektoru širem auditorijumu zainteresovanih učenika (sl.5).



Slika 5.

Microsoft Office PowerPoint prezentacija sastoji se od određenog broja pojedinačnih stranica ili tzv. slajdova. Slajdovi mogu sadržavati tekst, slike, animacije, zvuk i druge objekte koji se mogu po volji urediti. Kombinujući tablice, grafikone, tekstove, video i zvučne zapise u osmišljenu cjelinu, dolazi se do efektne prezentacije. Na taj način dobija se moćno sredstvo za prenošenje informacija i ideja. Pri izradi prezentacije određene nastavne jedinice, moja lična zapažanja su, da je potrebno obratiti pažnju na slijedeće:

- prezentacija mora biti zanimljiva učenicima,
- ne treba biti duža od dvadeset pet minuta,
- broj slajdova ne bi trebao prelaziti petnaest i
- treba da sadrži što više slika, video i zvučnih zapisa.

4. Talasna (fizička) optika

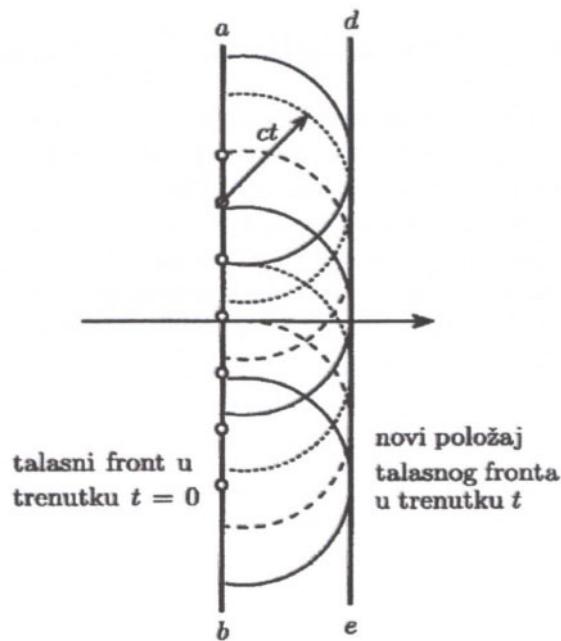
Još su stari narodi poznavali neke osnovne principe optike. Stari Grci su znali zapravolinijsko prostiranje svjetlosti i zakon refleksije (odbijanja) svjetlosti. Arapi su znali da sočiva mogu umanjivati i povećavati likove predmeta. Arhimed je primjenjivao zakone refleksije kod izdubljenih ogledala. Sve ovo je omogućilo, već za vrijeme renesanse, konstrukciju teleskopa i mikroskopa. Još stari Grci pokušavaju da objasne prirodu svjetlosti. Dio optike koji za objašnjenje svjetlosnih pojava koristi odnosno uzima u obzir prirodu svjetlosti nazivamo *talasnom ili fizičkom optikom*.

Među prvim naučnim teorijama o prirodi svjetlosti javlja se krajem XVII vijeka emisiona, korpuskularna teorija svjetlosti koju je zasnovao Njutn (*Isaac Newton*) i objavio u svom djelu *Optika i talasna, vibraciona teorija* koju je Hajgens (*Christiaan Huygens*) u svom djelu *Rasprava o svjetlosti* objavio 1690.godine.

Ove dvije teorije su dijametralno suprotne. U korpuskularnoj teoriji svjetlost se smatra vrlo sitnim materijalnim česticama tj. korpuskulama. Korpuskule su elastične i kroz prostor se kreću pravolinijski velikim brzinama. Kad ove čestice dođu do oka direktno ili zbog odbijanja od nekog drugog tijela, one u oku stvaraju osjećaj svjetlosti.

Njutn je, razmišljajući o uzroku rastavljanja Sunčeve bijele svjetlosti na boje pri prolasku kroz prizmu, došao do zaključka da su korpuskule različite veličine i da svaka boja ima korpuskule različite i tačno određene mase. Pri propuštanju bijele svjetlosti kroz prizmu, ova će uslijed djelovanja gravitacionog polja prizme na korpuskule veće mase jače djelovati, pa će one više skretati sa svog pravolinijskog pravca prostiranja nego korpuskule manje mase. Pošto se ljubičasti zraci najače lome a crveni najslabije, *Njutn* je smatrao da se ljubičasti zraci sastoje od najvećih korpuskula a crveni zraci od najmanjih.

U talasnoj teoriji svjetlosti *Hajgens* je prepostavio da je svjetlost talasna pojava. On smatra da svjetlosni zraci nisu sastavljeni od čestica. Svjetlost po *Hajgensu* nastaje zbog toga što izvori svjetlosti pokreću sredinu, koja prožima cjeli kosmos ima elastične osobine,da osciluje kao i izvor svjetlosti. Taj prenosilac svjetlosnih talasa naziva se eter. Impulsi koje stvara svjetlosni izvor šire se kroz prostor kao prostorni ili sferni talasi. Osnov *Hajgensove* teorije je postupak geometrijske konstrukcije koji omogućuje određivanje položaja datog talasa u bilo kom trenutku u budućem vremenu. Ova konstrukcija se zasniva na principu koji glasi: *Sve tačke talasnog fronta prestavljaju tačkaste izvore sekundarnih sfernih talasa*. Poslije vremena t , novi položaj talasnog fronta će biti površina koja tangentno prolazi kroz sekundarne tačke tj, obvojnica tih sekundarnih talasa. Primjer *Hajgensovog* principa prikazan je na slici 1. Na lijevoj strani ravan ab prestavlja položaj talasnog fronta u trenutku t koji se u vakumu kreće udesno i normalan je na površinu stranice na kojoj se nalazi slika. Ako uzmemo nekoliko tačaka ravni ab koji će nam poslužiti kao sekundarni izvori talasa, poslije vremena Δt svjetlost će preći put $c\Delta t$, gdje je c brzina svjetlosti u vakumu.



Slika 6.

Dakle, poluprečnik tih sekundarnih svernih talasa iznosi $c\Delta t$. Ravan koja tangentno prolazi kroz svere datog poluprečnika je ravan de na slici (sl.6). Ova ravan de je talasni front ravanskog talasa u trenutku Δt . Ona je paralelna ravni ab na normalnom rastojanju $c\Delta t$ od nje. Ravanski talasni frontovi se prostiru kao ravni koje se kreću brzinom c.

Ova *Hajgensova hipoteza* se nalazi u osnovi pojava koje se mogu jedino objasniti, ako svjetlost tretiramo kao talas. Te pojave koje pokazuju talasnu prirodu svjetlosti su:

- interferencija svjetlosti,
- difrakcija svjetlosti,
- polarizacija svjetlosti i
- disperzija svjetlosti.

5.1. Interferencija svjetlosti

Interferencija talasa je slaganje dva ili više talasa tako da u određenim tačkama dolazi do pojačanja, a u drugima do slabljenja intenziteta u odnosu na intenzitet pojedinih talasa u tački susreta. Ta raspodjela maksimuma i minimuma intenziteta je pravilna i predstavlja osnovni efekat interferencije. Efekat interferencije je posljedica sabiranja talasa, koji do tačke susreta prelaze različite puteve. Pošto je svjetlost elektromagnetni talas, razmotrićemo šta to znači u matematičkom smislu tj. šta je rezultat sabiranja dva elektromagnetna talasa. Poslužićemo se metodom sabiranja fazora, ova metoda je veoma dobra za sabiranje većeg broja talasa. Sinusoidalni talas jačine vektora električnog polja E_1 dat je izrazom:

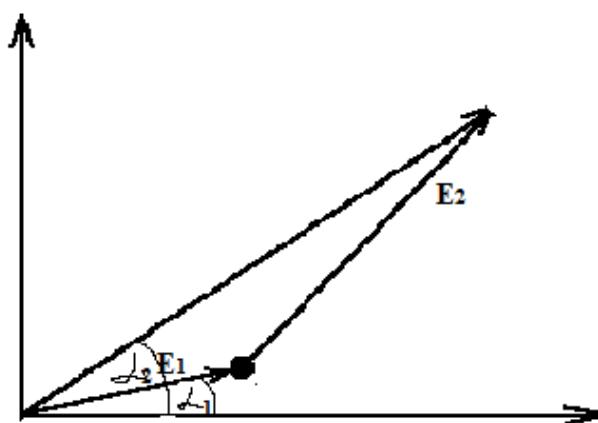
$$E_1 = E_{01} \sin \alpha_1$$

E_{01} je amplituda talasa, a α_1 je faza talasa. Ovaj talasni poremećaj se može grafički predstaviti vektorom intenziteta E_{01} , koji rotira ugaonom brzinom ω_1 oko kordinatnog

početka, u smjeru suprotnom od smjera kretanja kazaljke na satu. Ovako prikazan vektor zove se fazor i koristi se kod opisivanja promjenljivih vektora naizmjenične struje. Ugao između fazora i horizontalne ose predstavlja trenutnu fazu talasa α_1 . Projekcija fazora na vertikalnu osu predstavlja intenzitet talasnog poremačaja u nekom trenutku t. Kako fazor kruži, tako njegova projekcija na vertikalnoj osi osciluje istim periodom. Drugi sinusoidalni talas je predstavljen izrazom:

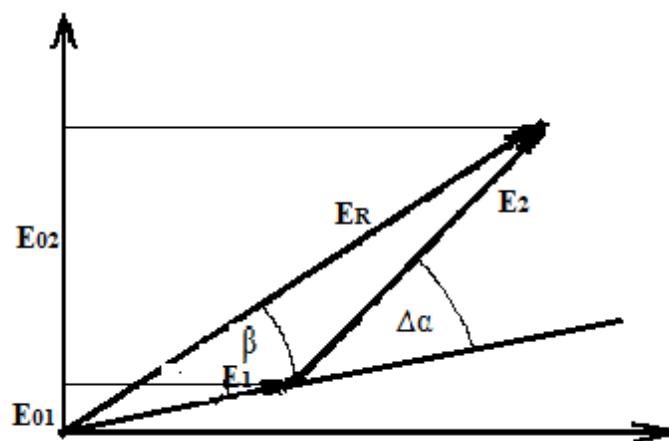
$$E_2 = E_{02} \sin \alpha_2$$

I ovaj talas se može predstaviti fazorom intenziteta E_{02} , koji rotira ugaonom brzinom ω_2 oko kordinatnog sistema, u smjeru suprotnom od smjera kretanja kazaljke na satu. U datom trenutku drugi fazor sa prvim gradi ugao $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ (sl. 7)



Slika 7

Rezultantni talas E_R , koji predstavlja sumu talasa E_1 i E_2 , može se dobiti grafički tako što se njihovi fazori vektorski sabiju (sl. 7), tj. početak drugog vektora se postavi na kraj prvog i povuče vektor od početka prvog do kraja drugog vektora. Na taj način dobijemo vektor E_{0R} koji gradi fazni ugao β sa fazorom jačine polja E_1 (sl.8)



Slika 8.

Zbir trenutnih vrijednosti E_1 i E_2 predstavlja trenutnu vrijednost rezultantnog talasa. Ona je jednaka zbiru projekcija fazora E_{01} i E_{02} na vertikalnu osu (sl.8), odnosno jednaka je projekciji na vertikalnu osu fazora E_R , koji predstavlja amplitudu fazora E_R u datom trenutku t. Ako želimo da izrazimo matematički amplitudu E_R , koristićemo kosinusnu teoremu za fazore (sl.8).

$$E_R^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos\Delta\alpha$$

Dakle, na ovaj način dobijamo intenzitet rezultantnog talasa. Da bi se slaganjem dva talasa dobili efekti interferencije, mjesta pojačanja i slabljenja intenziteta talasa, neophodno je da razlika faza bude vremenski konstantna. Da bi došlo do efekata interferencije kod svjetlosti, moraju biti ispunjeni slijedeći uslovi:

- jednake frekvencije talasa, za takve talase kažemo da su (međusobno) monohromatski
- vremenski konstantnu fazu $\Delta\alpha$.

Kada talasi ispunjavaju prethodna dva uslova, kažemo da su koherentni. Pošto su frekvencije talasa koji mogu da interferišu jednake, fazori koji ih opisuju rotiraju sa jednakim ugaonim brzinama. Zbog toga su kod fazorskog dijagrama, međusobni položaji fazora u toku vremena konstantni. Rezultantni fazor, zajedno sa pojedinačnim fazorima, zbog toga rotira konstantnom ugaonom brzinom ω . Da bi se dobila stabilna interferaciona slika, talasi koji interferišu moraju biti koherentni. Kada je ovo ispunjeno u svim tačkama prostora, za izvore talasa se kaže da su potpuno koherentni. Koherentni talasi se u praksi dobiju tako da se koristi svjetlost sa jednog te istog izvora, koja se određenim postupkom razdvoji na dva snopa svjetlosti.

5.1.a Uslovi za konstruktivnu i destruktivnu interferenciju

Pošto smo odgovorili na pitanje pod kojim uslovima nastaje interferencija, potrebno je odgovoriti na pitanje šta dovodi do maksimalnog pojačanja intenziteta svjetlosti-konstruktivne interferencije, a šta do njegovog slabljenja - destruktivna interferencija.

Kada analiziramo izraz za sabiranje intenziteta dva konherentna talasa potrebno je naći njegove ekstremne vrijednosti za $\cos\Delta\alpha=1$ i za $\cos\Delta\alpha= -1$

$$I_R = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} \text{ za } \Delta\alpha=2z\pi \text{ gdje je } z = 0,1,2,3\dots \text{ i}$$

$$I_R = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1I_2} \text{ za } \Delta\alpha=(2z+1)\pi \text{ gdje je } z = 0,1,2,3\dots$$

Naizrazitiji efekti interferencije se postižu, kada su talasi koji interferišu istih intenziteta. Vidimo iz ovoga da su uslovi za postizanje konstruktivne, odnosno destruktivne interferencije sljedeći:

- konstruktivna interferencija dešava se kada je fazna razlika jednaka parnom broju π
- destruktivna interferencija dešava se kada je fazna razlika jednaka neparnom broju π
- Kada su ispunjeni uslovi koherentnosti i uz prepostavku da nema skokovitih promjena faze na putu talasa, veza između fazne razlike razlike dužina puta talasa je:

$$\Delta\alpha = k(x_1 - x_2) = k\Delta x$$

Zamjenom ove jednačine u izraze za uslove konstruktivne i destruktivne interferencije, koristeći definiciju talasnog broja ($k = \frac{2\pi}{\lambda}$) i rješavanjem jednačina po Δx dobijaju se uslovi, koji kod konstruktivne odnosno destruktivne interferencije treba da ispunjavaju razlike dužina puteva talasa koji interferišu.

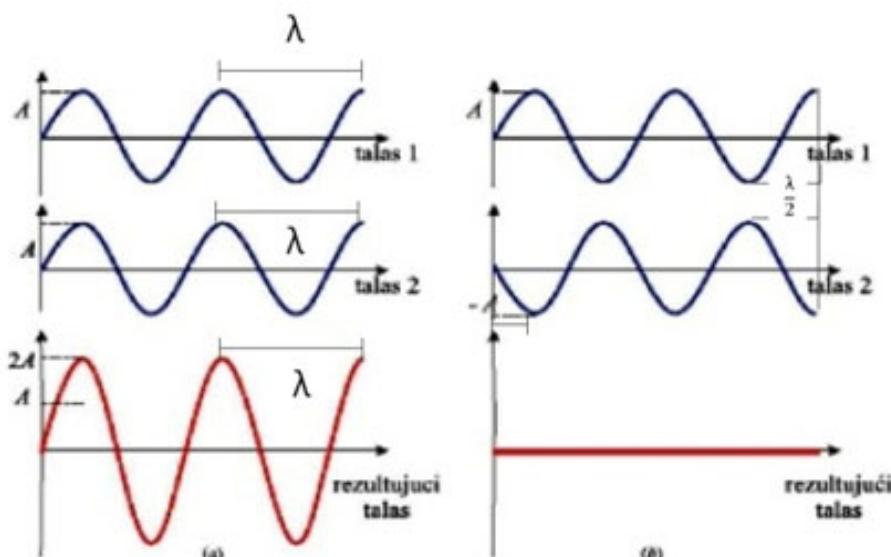
- *konstruktivna interferencija* dešava se kada je putna razlika talasa koji interferišu jednaka cijelom broju talasnih dužina upotrebljene svjetlosti

$$\Delta x = z\lambda, z = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- *destruktivna interferencija* dešava se kada je putna razlika talasa koji interfeiriraju jednaka neparnom broju polovina talasnih dužina upotrebljene svjetlosti

$$\Delta x = (2z+1)\frac{\lambda}{2}, z = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Fazna razlika se izražava u radijanima ili stepenima. U nekim udžbenicima fizike i optička putna razlika se takođe naziva faznom razlikom tj. putna razlika se izražava u radijanima ili stepenima, ali najčešće u talasnim dužinama što takođe ne treba smatrati pogrešnim. Tako je fazna razlika od jedne talasne dužine ekvivalentna faznoj razlici od 2π radijana ili 360° .



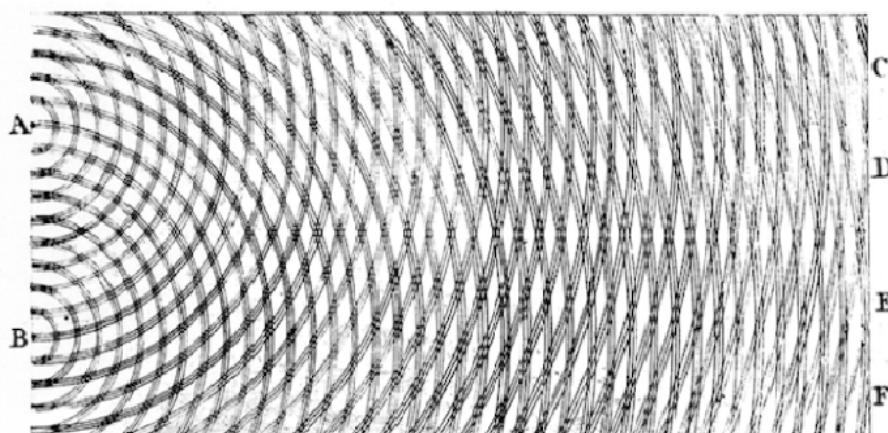
Slika 9.a.

Slika 9.b.

Na slikama 9.a. i 9.b. prikazana je konstruktivna i destruktivna interferencija dva talasa koji dolaze do iste tačke prostora.

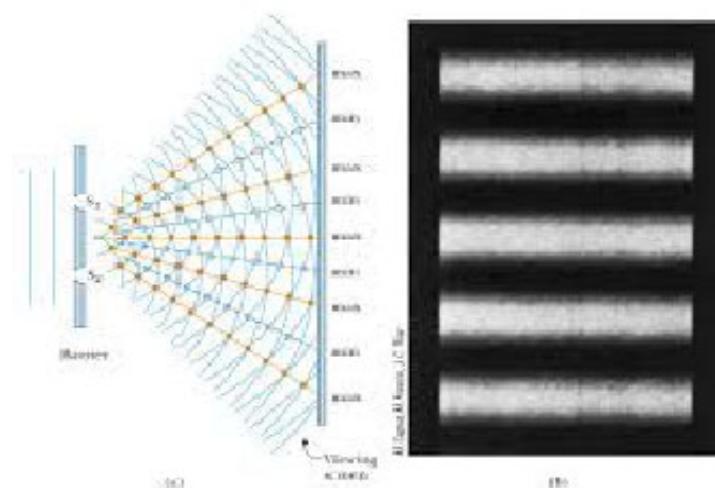
5.1.b Jangov eksperiment

Godine 1801. *Tomas Jang* (*Thomas Young*) je izvršio istorijski eksperiment koji potvrđuje talasnu prirodu svjetlosti, i time je postavio talasnu teoriju svjetlosti na čvrste eksperimentalne osnove. Njegov eksperiment je jasno pokazao talasnu prirodu svjetlosti jer je na osnovu njega mogao da dobije talasnu dužinu korištene svjetlosti, vršeći na taj način prvo mjerjenje ove jako bitne veličine kod opisivanja svjetlosti. Kod *Jangovog* eksperimenta sa dvostrukim prorezom (sl.10).



Slika 10.

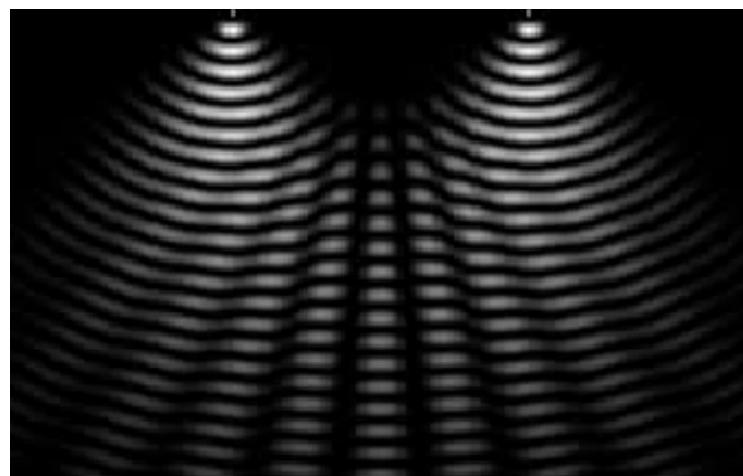
Na zaklonu se nalaze dva uska otvora A i B. Prepostavlja se da su otvori ne veći od reda veličine talasne dužine upotrebljene svjetlosti u eksperimentu. Na ovim prorezima dolazi do difrakcije svjetlosti desno od zaklona sa otvorima A i B. Prorezi A i B služe kao dva izvora koherentne svjetlosti zbog toga što svjetlost, koja dolazi do njih, potiče od istog svjetlosnog izvora. Zbog toga će fazne razlike talasa koji prođu kroz otvore A i B, biti uvijek konstantne u vremenu, tako da će interferacioni efekti moći da se vide. Svjetlosni talasi iz dva izvora A i B preklapaju se i prizvode interferacionu sliku na zaklonu, koji je postavljen na nekoj lako mjerljivoj udaljenosti od sekundarnih izvora svjetlosti. Slika se sastoji od niza svjetlih i tamnih zona, koje se zovu interferencione pruge.



Slika 11.

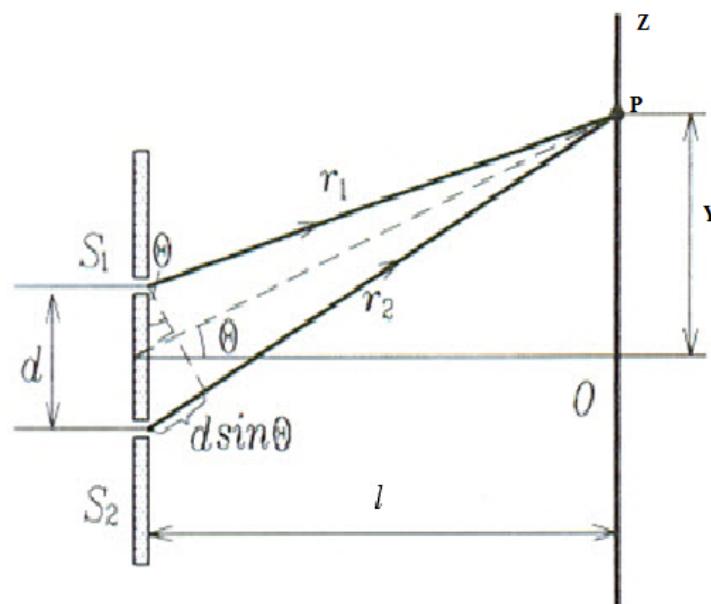
Kada svjetlost iz sekundarnih izvora A i B stigne do zaklona, tako da na tom mjestu dođe do konstruktivne interferencije, na tom mjestu se pojavljuje svijetla pruga. Na bilo kom mjestu gdje se svjetlost kombinuje destruktivno pojaviće se tamna pruga. Svjetle i tamne zone zajedno čine interferpcionu sliku na zaklonu (sl.11.).

Talasni frontovi, po definiciji povezuju tačke iste faze svaka dva susjedna talasna fronta, na slici 9 se razlikuju za 2π , tako da su tačke na svim nacrtanim talasnim frontovima u fazi. Mjesto u prostoru u kojima je interferencija potpuno konstruktivna, vidi se kao mjesto presjeka talasnih frontova. Mogu se zamisliti krive linije koje povezuju te tačke, koje divergiraju od otvora ka zaklonu (sl.12).



Slika 12.

Tamne zone, koje su posljedica destruktivne interferencije, pojaviće se između svake dvije susjedne svjetle zone (sl.11).



Slika 13.

Na slici 13 prikazani su svjetlosni zraci koji se prostiru od dva otvora S_1 i S_2 na zaklonu, do proizvoljne tačke P na zaklonu Z . Centralna osa ovog sistema povučena je od tačke koja se nalazi tačno na sredini između otvora S_1 i S_2 zaklona Z i tačke O . Tačka P nalazi se pod uglom Θ u odnosu na tu osu na rastojanju Y u odnosu na nju. Svaki talas koji prolazi kroz S_2 je u fazi sa onim talasom koji prolazi kroz otvor S_1 . Međutim, talas koji stiže do tačke P iz S_2 može da ne bude u fazi sa talasom koji do nje stiže sa otvora S_1 zbog toga što ovaj prelazi duži ili kraći put u odnosu na prvi talas. Da bi se odredila putna razlika (sl.13), treba naći tačku na zraku S_2-P , tako da je dužina puta od te tačke do P jednaka dužini puta od S_1 do P . Razlika ovih puteva je jednaka dužini od te tačke do izvora S_2 . Kada je zaklon Z blizu otvora S_1 i S_2 , interferencionu sliku je teško matematički opisati. Može se, međutim, uprostiti matematika, ako se pretpostavi da je rastojanje između zaklona mnogo veća od rastojanja između otvora S_1 i S_2 , koje smo označili sa d . Tada se može smatrati, da su zraci r_1 i r_2 približno paralelni i pod uglom Θ u odnosu na centralnu osu. Takođe se može smatrati, da je trougao S_1S_2E približno pravougli i da je Θ jedan njegov ugao. Iz tog trougla može se vidjeti, da je rastojanje od S_2 do E jednako $d \sin \theta$.

Za potpunu konstruktivnu interferenciju svjetlosti koja stiže do tačke P , putna razlika svjetlosti mora da bude jednaka nuli ili cijelobrojnom umnošku talasnih dužina

$$d \sin \theta = z\lambda \text{ za } z=0,1,2,3\dots$$

Ove zone interferencionalih maksimuma na zaklonu za posmatranje interferencione slike, zovu se svijetle pruge i mogu se označiti pomoću vrijednosti z koja se naziva red interferencionalog maksimuma. Za $z=0$ predhodna jednačina daje ugao $\Theta=0$. Dakle, to je centralna svjetla pruga u presjeku centralne ose i zaklona za posmatranje interreferencione slike. Ovako, centralni maksimum ili maksimum nultog reda je mjesto gdje talasi sa otvora stižu sa nultom faznom razlikom. Prvi susjedni maksimum sa bilo koje strane centralnog maksimuma za koje je $z=\pm 1$, zove se maksimum prvog reda, itd. Za sve veće vrijednosti z , jednačina ukazuje da se svijetle pruge vide pod sve većim uglom Θ i to sa obe strane, iznad i ispod centralnog maksimuma. Na primjer, drugi maksimum $z=2$ za koje svjetlost sa otvora stiže sa putnom razlikom 2λ vide se pod uglom iznad i ispod centralne ose.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{2\lambda}{d} \right)$$

Za potpunu destruktivnu interferenciju svjetlost koja stiže u prizvoljnu tačku na zaklonu, putna razlika $d \sin \theta$ mora da bude jednaka neparnom broju polovina talasnih dužina. Ovo izražavamo sa:

$$d \sin \theta = \left(z + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

Vrijednosti z služe sada da bi se odredile zone interferencionalih minimuma, koje se zovu tamne pruge. Prve tamne pruge koje odgovaraju $z=0$ i faznoj razlici $\frac{\lambda}{2}$ vide se pod uglom:

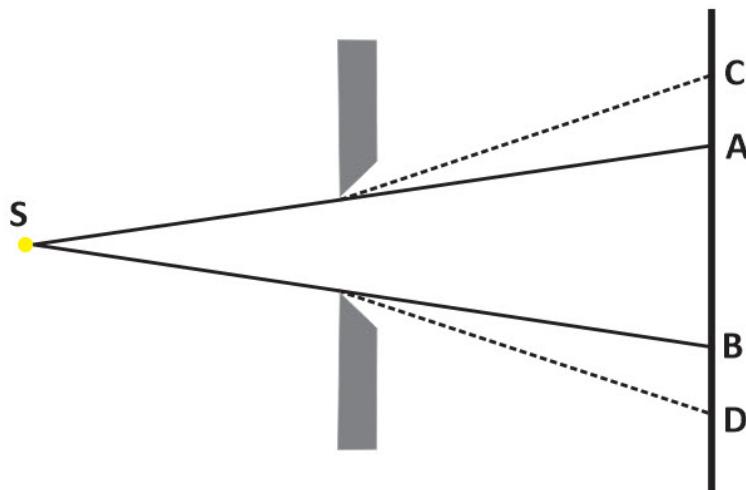
$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2d}\right)$$

Iznad i ispod centralne ose, za sve veće vrijednosti z vide se tamne pruge pod sve većim uglom.

Ovaj eksperiment je pokazao u velikoj mjeri vjerodostojnost talasnog modela svjetlosti. Prema ranijoj korpuskularnoj teoriji, bilo je neshvatljivo da čestice svjetlosti koje prolaze kroz proreze mogu da ponište jednu drugu i da se tako objasne tamne oblasti

5.2. Difrakcija svjetlosti

Difrakcija je pojava skretanja svjetlosnih zraka sa pravolinijskog pravca prostiranja pri nailasku na prepreke malih dimenzija. Ako snop svjetlosnih zraka pada na neku prepreku (ili uski prorez ili otvor), poslije prolaska kroz nju (ili preko nje) svjetlosni snop se širi. Zraci se savijaju, prostiru se i u oblasti u kojoj bi inače bila sjenka kada bi se svjetlost prostirala pravolinijski, kao što predviđa geometrijska optika. Međutim ovo bi bila slaba definicija difrakcije jer ona predstavlja mnogo više od samog rascvjetavanja svjetlosnog snopa. Kada monohromatska svjetlost sa udaljenog izvora ili lasera prođe kroz uzani otvor i padne na zaklon, na njemu će se pojaviti interferencionalna slika. Možemo smatrati da je difrakciona slika posljedica interferencije talasa sa velikog broja izvora. Difrakciona slika se sastoji iz širokog centralnog maksimuma visokog intenziteta i brojnih užih sekundarnih maksimuma manjeg intenziteta sa obe strane centralnog maksimuma. Između maksimuma su difrakcionimi minimumi, tamne zone. Ovakva difrakciona slika je potpuno neočekivana sa stanovištva geometrijske optike. Kada bi se svjetlost prostirala pravolinijski, kako se smatra u geometrijskoj optici zraci koji prođu kroz otvor bi na zaklonu formirali oštru sliku otvora (sl.14).



Slika 14.

Prema tome, da teorija geometrijske optike nije egzaktna, već približna (apromaksativna), važi samo u slučajevima kada su otvori kroz koje prolazi svjetlost mnogo veći dimenzija, od talasne dužine primijenjene svjetlosti.

Difrakcija svjetlosti se javlja kada svjetlost prolazi kroz uske otvore, kao i kada prelazi i preko drugačijih prepreka, sitnih čestica ili oštrih ivica. Difrakcija je izraženija što su dimenzije objekta, preko kojih svjetlost prelazi ili prolazi, manje. Osim kod svjetlosti, difrakcija se javlja i kod drugih vrsta talasa, npr. zvuk se čuje i kada dolazi iza ugla zgrade ili kroz otvorena vrata sobe, iako se ne stoji ispred vrata. Znači, zvučni talas se savija na ivici zida. Zbog toga je difrakcija zvuka tako očigledna i prihvatom je intuitivno kao normalnu pojavu, od malih nogu. Sa svjetlošću stvari stoje drugačije. Pošto su talasne dužine svjetlosti reda veličine 10^{-7} m, a predmeti u našem okruženju su mnogo većih dimenzija, difrakcija svjetlosti je vrlo teško primjetna. Za razliku od zvuka, upravo pravolinjsko prostiranje svjetlosti a ne skretanje, u intuitivnom smislu, kod ljudi se doživljava kao normalna pojava. Ipak, što su oštire ivice i manji otvori, to je izraženija difrakcija svjetlosti.

Difrakcija se vlo lijepo može objasniti pomoću talasne teorije svjetlosti koju je predložio *Hajgens*, a *Jang* se koristio kod objašnjenja interferencije svjetlosti na dva proresa. Međutim ovoj teorije je bilo potrebno mnogo vremena da bude prihvaćena zbog toga što je bila suprotna, u to vrijeme prihvaćene, *Njutnove* teorije, po kojoj svjetlost predstavlja struju čestica koje se kreću pravolinijski. To shvatanje je preovladavalo u francuskim naučnim krugovima tog vremena sve do pojave *Augustina Frenela* (*Augustin-Jean Fresnel*), mladog vojnog inžinjera koji je proučavao optiku, kad god je mogao da ukrade malo vremena od vojnih dužnosti. 1819. godine, akademija u kojoj su dominirale pristalice *Njutnove* teorije korpuskula kao izazov talasnoj teoriji svjetlosti, raspisali su konkurs tražeći najbolje objašnjenje za difrakciju svjetlosti. *Frenelovo* objašnjenje je tada pobjedilo, ali to nije previše poremetilo *Njutnove* pristalice. *Simeon Poason* (*Siméon Denis Poisson*), skrenuo je pažnju na interesantan rezultat koji bi dala *Frenelova teorija*, kada bi bila tačna: Svjetlost koja pada na neku malu sferu ili disk, prema toj teoriji mora u centru sjenke formirati svjetlu tačku zbog toga što prema *Frenelovoj teoriji* mora da skrene na ivicama sfere ili kružnog diska, a pošto prelazi isti put do centra sfere, u centru, u oblasti sjenke mora da interferira.

Sa stanovišta geometrijske optike, neprovidni predmet stvara sjenku i ne može ni na koji način u središtu sjenke da formira svjetlu tačku. Da bi razrješili ovu dilemu, komisija koja je raspisala konkurs, napravila je provjeru *Poasonovog* zapažanja i otkrila da *Frenelova* tačka, kako se danas zove, postoji i nalazi se tačno tamo gdje je predviđena, u centru sjenke. Ništa ne učvršćuje teoriju bolje od eksperimentalne potvrde nekog njenog neočekivanog predviđanja. A *Poasonova* opaska, umjesto da sruši talasnu teoriju svjetlosti, upravo ju je potvrdila.

5.2.a Frenelova i Fraunhoferova difrakcija

Pojave difrakcije se obično dijele na dva tipa koja su dobila imena po onima koji su ih prvi objasnili:

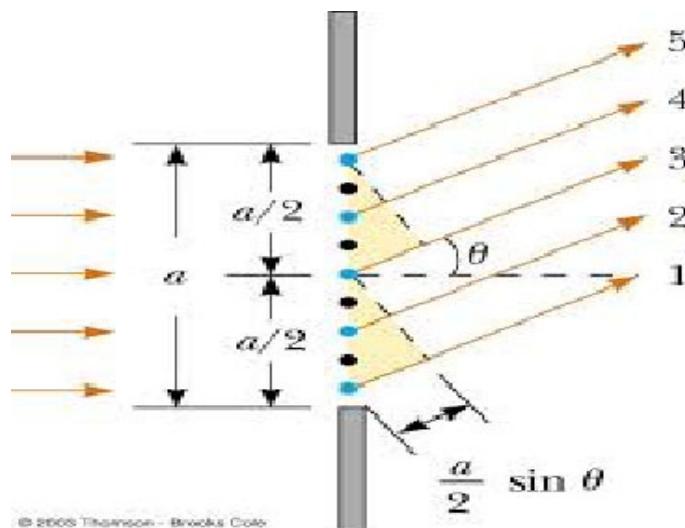
- 1.) *Fraunhoferova* difrakcija se javlja kada zraci koji stižu do zaklona paralelni ili bar djelimično paralelni. Ovaj tip difrakcije se eksperimentalno ostvaruje na dva načina:
 - Kada može da se smatra da je zaklon skoro beskonačno udaljen od prepreke, a to znači da je rastojanje od prepreke do zaklona mnogo veće od dimenzija prepreke.

Tada može da se smatra da zraci poslije prolaska preko ili kroz prepreku skreću pod istim uglom u odnosu na prvobitni pravac, dakle kreću se paralelno, u beskonačnosti na zaklonu se sreću u istoj tački i interferiraju. Efekat njihove interferencije daće ili maksimum intenziteta ili minimum, ili nešto između.

- Kada su prepreka i zaklon međusobno na nekom konačnom rastojanju, ali se između njih nalazi sabirno sočivo tako da se zraci, koji se stvarno a ne približno prostiru paralelno, poslije prolaska kroz sočivo sabiraju u jednoj tački odnosno interferiraju.

2.) *Frenelova difrakcija* je ona kod koje je zaklon na konačnom rastojanju od prepreke i ne koriste se sočiva da fokusiraju paralelne zrake. Matematički opis *Frenelove difrakcije* je vrlo komplikovan i u ovom radu nećemo se sa njim baviti. Dok je onaj kod *Fraunhoferove* difrakcije relativno jednostavan pa ćemo nadalje razmatrati primjere iste.

Neka monohromatski ravanski talas sa paralelnim zracima pada normalno na neprovidni zaklon na kome se nalazi dugačak i uzan prorez konačne širine (sl.15).



Slika 15.

Prema *Hajgensovom* principu, svaki dio proreza do koga stiže svjetlost postaje sekundarni izvor svjetlosti. Svjetlost, koja dolazi sa jednog dijela proreza interferira sa svjetlošću, koja dolazi sa ostalih dijelova proreza. Rezultat te interferencije, koja se može posmatrati na udaljenom zaklonu, jeste niz tamnih i svjetlih pruga, interferacionih maksimuma i minimuma. Rezultantni intenzitet svjetlosti u proizvoljnoj tački zaklona zavisi od ugla θ , kojim je određen položaj svake tačke na njemu. To je ugao koji zaklapaju zraci koji stižu do proizvoljne tačke, sa simetralom sistema (isprekidana linija na slici). Ravanski talas nailazi na zaklon i sve tačke na površini proreza pripadaju jednom talasnem frontu, odnosno svi zraci svjetlosti koji stižu do proreza su u fazi. Zraci koji ne skreću, stižu do zaklona za posmatranje difrakcione slike pod uglom ($\theta=0$) prelaze sasvim jednakim putevima do centralne tačke na zaklonu (tačke presjeka simetrale sistema sa zaklonom). Znači da su, u toj tački, talasi u fazi pa njihova međusobna interferencija proizvodi svjetlu oblast. Da bi odredili uglove pod kojima se vide difrakcioni minimumi, potrebno je da, prvo, podijelimo

prorez zamišljenom linijom na dva jednaka dijela (sl.15). Talasi 1 i 3 dolaze sa donjeg kraja i sa sredine proreza, tim redom. Talas 1 prelazi duži put od talasa 3 za iznos $\frac{a}{2}\sin\theta$. Isto tako ,

putna razlika između zraka 2 i 4 , kao i zraka 3 i 5 iznosi $\frac{a}{2}\sin\theta$. Ako je ova putna razlika

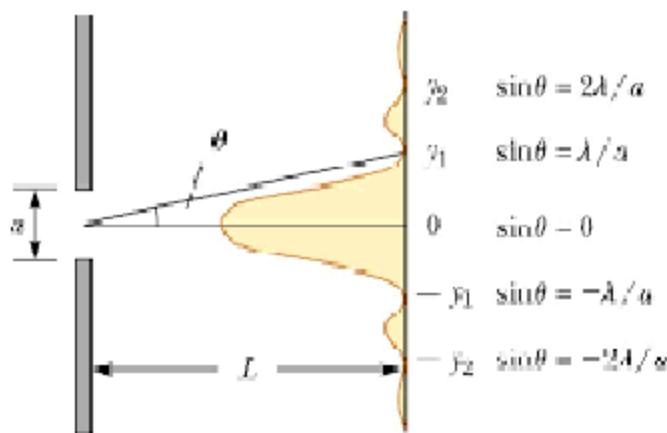
jednaka polovini talasne dužine (što odgovara faznoj razlici od π), kod svakog para talasa dešava se destruktivna interferencija, što znači da se talasi u svakom paru međusobno poništavaju. To će onda važiti za bilo koja dva talasa koja stižu sa tačaka udaljenih za polovinu širine proreza. Dakle, za svaki talas iz gornje polovine proreza, postoji talas iz donje polovine proreza sa kojim destruktivno interferira kada je:

$$\frac{a}{2}\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

ili

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Za poznatu širinu proreza a i talasnu dužinu svjetlosti λ gore navedena jednačina daje ugao pod kojim se vidi prva tamna pruga iznad i ispod centralnog maksimuma (sl.16). Pošto prve tamne pruge označavaju granicu centralne svijetle pruge, ugao prvog difrakcionog minimuma govori o širini centralnog maksimuma.



Slika 16.

Ovdje treba obratiti pažnju na to da, za konstantnu vrijednost talasne dužine ($\lambda < a$), što je uži prorez, to je ugao prve tamne pruge veći, a samim tim je i centralni maksimum širi. Drugim rječima, difrakcija je utoliko izraženija, ukoliko je prorez uži. Za $\lambda=a$ prva tamna pruga se javlja za ugao od 90° , što znači da centralni difrakcioni maksimum zauzima cijelu polusferu iza proreza.

Ako želimo odrediti drugi difrakcioni minimum, potrebno je prorez podjeliti na četiri jednaka dijela. Neka talas 1 prelazi duži put od talasa 2 za jednu polovinu talasne dužine.

Tada se svaka polovina proreza može analizirati na isti način kao cijelo prorez u prethodnom slučaju. Dakle, dobije se:

$$\frac{a}{4} \sin \theta = \frac{\lambda}{2} \text{ odnosno}$$

$$\sin \theta = \frac{2\lambda}{a}$$

Slično ovom, ako podijelimo prorez na šest jednakih dijelova, analognom analizom dobijemo:

$$\sin \theta = \frac{3\lambda}{a}$$

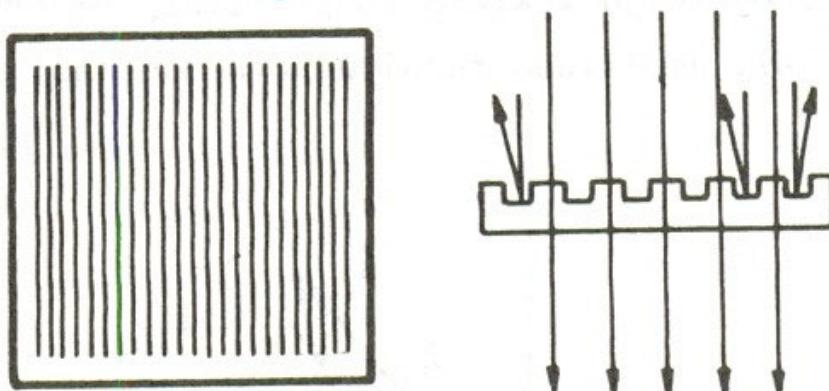
Ovo predstavlja ugao trećeg minimuma. Daljim dijeljenjem širine proreza na osam, deset i više dijelova dolazimo do zaključka da je opšti uslov za pojavu destruktivne interferencije talasa sa proreza:

$$a \sin \theta = z\lambda \quad (z = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Jednačina daje vrijednost ugla θ , za koje je intenzitet svjetlosti na difrakcionej slici jednak nuli, tj. pod kojim se vidi tamna pruga. Broj z označava red difrakcionog minimuma koji ne može da ima vrijednost nula. Položaj svijetlih pruga difrakcionih maksimuma se ne mogu odrediti na ovakav način. Ovdje možemo reći da su oni na polovini rastojanja između susjednih difrakcionih minimuma. Jednačina ne govori o raspodjeli intenziteta na zaklonu.

5.2.b. Difrakcija na višestrukim prorezima - difrakciona rešetka

Razmatranja difrakcije nastavljemo posmatrajući šta se dešava kada povećamo broj proreza na N . Pločica koja sadrži veći broj proreza, često i do 1000 po milimetru dužine, zove se *difrakciona rešetka*.



Slika 17.

Efekat sličan difrakciji svjetlosti na difrakcionoj rešetki može se uočiti posmatranjem plamena svijeće kroz pero, postavljeno blizu oka. Prve difrakcione rešetke pravljene su od tankih žičanih vlakana, zbog čega su i dobile takvo ime (sl.17).

Danas razlikujemo dvije vrste difrakcionih rešetki:

- *Transmisione rešetke* - providna pločica na kojoj su urezane linije (žljebovi) na jednakim rastojanjima; na dijelu pločice gdje je napravljen žljeb ona postaje neprovidna (ne propušta svjetlost), dok je na netaknutom dijelu površine ona providna (propušta svjetlost).
- *Refleksione rešetke* - umjesto na providne pločice urezi se postave na ogledalo ili na glatkoj metalnoj površini.

Visoko precizne difrakcione rešetke danas se prave pomoću dva laserska koherentna snopa, koji se sijeku pod oštrim uglom. U oblasti presjeka laserskih snopova formiran je niz svjetlih i tamnih interferencionalnih pruga, i tu se postavi fotoosjetljivi materijal. Na kraju se hemijskim putem ukloni dio materijala, koji je hemijski izmjenjen stajanjem u oblasti svjetle pruge. Rastojanje između dvije susjedne urezane linije se zove *korak rešetke* ili *konstanta rešetke* d . To je (kod transmisione rešetke), ustvari, zbir širine providnog i njemu susjednog neprovidnog dijela rešetke. Difrakcioni maksimumi su intenzivniji, što su otvorili difrakcione rešetke uži. Uslov za postanak maksimuma prvog reda je

$$d \sin \theta = \lambda$$

Na osnovu gornje jednačine možemo pisati

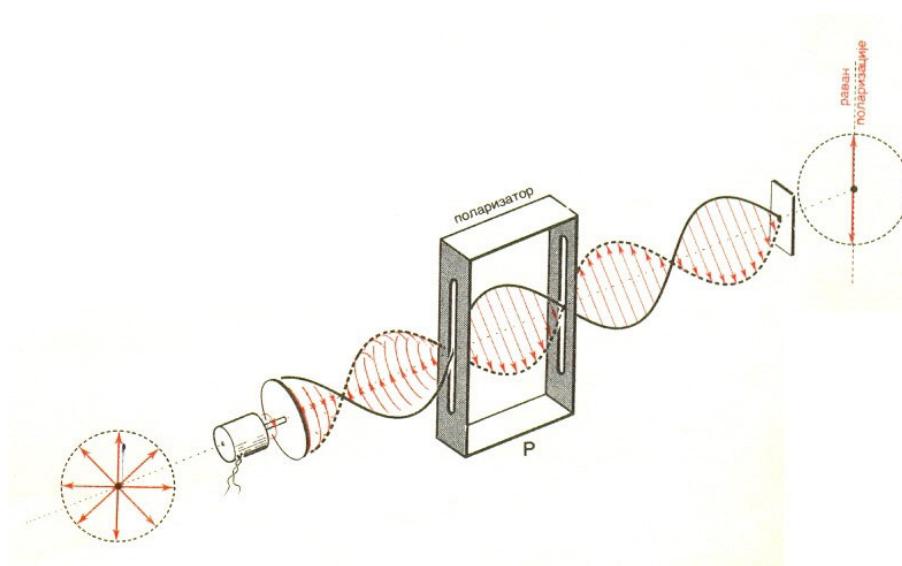
$$d \sin \theta = z\lambda$$

Stoga možemo reći: Pri difrakciji monohromatske svjetlosti kroz optičku rešetku svjetle pruge nastaju za one pravce paralelnih zraka u kojima je putna razlika susjednih snopova jednaka nuli ili cijelom broju talasnih dužina, odnosno, parnom broju polovina talasne dužine upotrebljene svjetlosti.

5.3 . Polarizacija svjetlosti

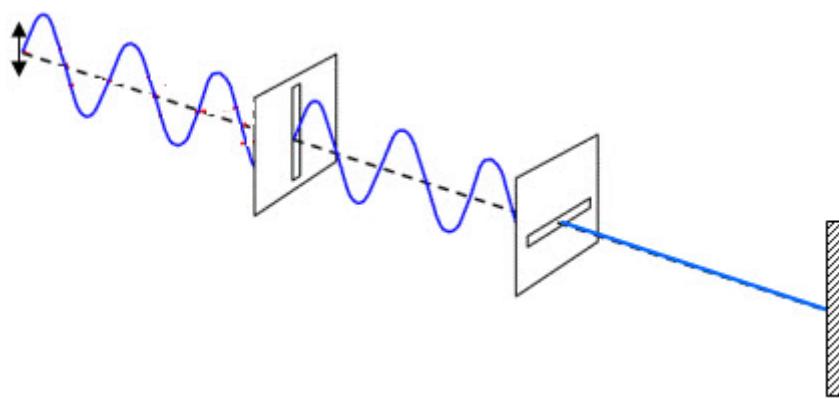
Interferencija i difrakcija svjetlosti su pojave koje potvrđuju da je svjetlost talasne prirode. Međutim, na osnovu ovih pojava ne možemo odrediti da li su svjetlosni talasi transferzalni ili longitudinalni. Odgovor na ovo pitanje daje pojava polarizacije svjetlosti.

Kod transferzalnih talasa djelići sredine mogu da osciluju u jednom ili svim pravcima, normalnim na pravac prostiranja talasa. Kod longitudinalnih talasa djelići sredine osciluju samo u pravcu prostiranja talasa. Da li su svjetlosni talasi longitudinalni ili transferzalni možemo da provjerimo npr. koristeći analogiju sa mehaničkim talasima. Posmatrajmo kanap koji osciluje. Kanap je postavljen tako da prolazi kroz dva proreza(sl.18). Duž kanapa formiramo transferzalni talas u vertikalnoj ravni. Talas prolazi kroz prorez samo kada se pravac proreza poklapa sa pravcem oscilovanja (prorez postavljen vertikalno). Kada je prorez postavljen horizontalno, talas ne može da prođe kroz njega. Potom naizmjeničnim istezanjem i otpuštanjem kanapa izazovemo longitudinalni talas u pravcu pružanja kanapa.



Slika 18.

U tom slučaju prorezi na preprekama ne ometaju prolazak talasa, bez obzira na položaj otvora. Na putu nepolarizovanog talasa, postavlja se prepreka sa prorezom (polarizator). Iza prepreke će se prostirati samo oni talasi, čiji se pravac prostiranja poklapa sa pravcem proresa. Na put polarizovanog talasa postavi se još jedna prepreka sa prorezom, odnosno još jedan polarizator. Ako se ravni polarizacije poklapaju, onda će talas polarizovan na prvom prorezu prolaziti kroz drugi bez promjene. Ali kada je ravan drugog proresa (sl.19) normalna na ravan prvog, oscilacije talasa neće proći kroz drugi prorez. Toznači da nastaje gašenje talasa. Prva prepreka se naziva polarizator, a druga analizator. Pomoću analizatora utvrđujemo ravan polarizacije.

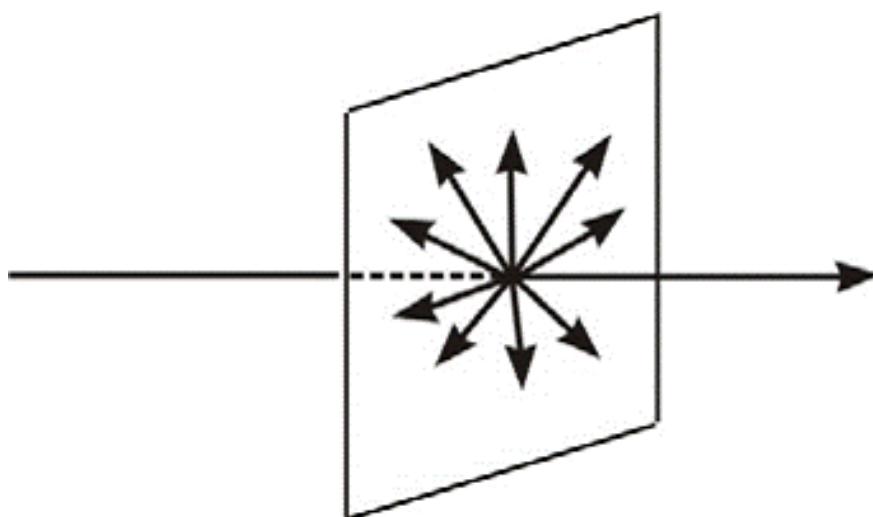


Slika 19.

Treba naglasiti, da nije moguće potpuno polarizovati prirodni talas jednim polarizatorom, jer uvijek ostaju oscilacije u drugim ravnima. Potpuna polarizacija se postiže sa više uzastopno postavljenih polarizatora.

Pojava polarizacije je proces pretvaranja prostornog u ravanski talas. Oscilacije se gase u svim pravcima, osim jednog. Polarizovani talasi su oni transferzalni talasi čije se oscilovanje odvija u jednoj ravni ili u paralelnim ravnima duž pravca kretanja. Longitudinalni talasi ne mogu da se polarizuju, odnosno pojam polarizacije za longitudinalne talase nema smisla (ne postoji polarizovani zvuk).

Svaki realni izvor svjetlosti se sastoji iz velikog broja atoma i molekula, koji zrače svjetlosne talase potpuno prizvoljno (neuređeno), sa svim mogućim orijentacijama ravnih oscilovanja, normalnim na pravac prostiranja talasa. Znači, svjetlost je takav transferzalni talas kod koga se ravnini oscilovanja stalno mijenjaju. Pošto izvor svjetlosti emituje talas čije se ravnini oscilovanja stalno mijenjaju tj. imaju proizvoljan pravac u prostoru, to grafički možemo prikazati na slijedeći način slika (sl.20).



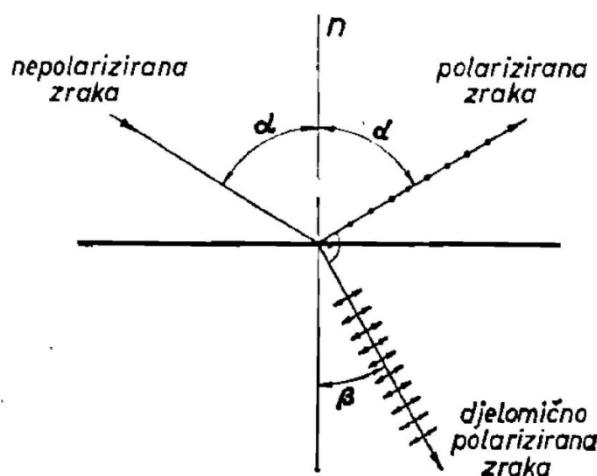
Slika 20.

Svjetlost, kao i svi ostali elektromagnetični talasi, su prostorni talasi pa mogu da se polarizuju. Polarizacija dokazuje da je svjetlost transferzalni talas. Ljudsko oko ne može da uoči razliku između polarizovane i nepolarizovane svjetlosti. Do polarizacije svjetlosti dolazi pri prelamanju i odbijanju svjetlosti, kao i pri prolasku svjetlosti kroz optički izotropne sredine.

5.3.a Polarizacija pri prelamanju i odbijanju

Kada prirodna svjetlost padne iz jedne optičke sredine na drugu optičku sredinu, ona se djelimično odbija a djelimično prelama u ravni, koja je granica između tih sredina. Pri tome su i odbijeni i prelomljeni zrak djelimično polarizovani. Međutim, pri tome je odbijena svjetlost polarizovana više od prelomljene. Ravni polarizacije odbijenog i prelomljenog zraka međusobno su normalne (sl.21).

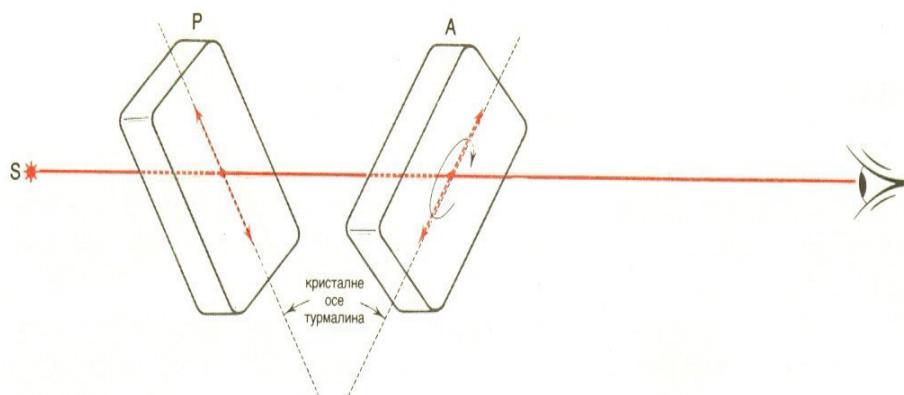
Maksimalna polarizacija se dobije pri takvom upadnom zraku, za koji odbijeni i prelomljeni zrak zaklapaju ugao od 90° . Pri tome je odbijena svjetlost potpuno polarizovana, a prelomljena svjetlost djelimično polarizovana. Taj upadni ugao se zove Brusterov ugao.



Slika 21.

5.3.b Polarizacija svjetlosti pri prolasku kroz kristale

Polarizacija svjetlosti može da se ostvari propuštanjem svjetlosti kroz prirodne kristale. Za polarizovanje svjetlosti pogodni su kristali koji dvojno prelamaju svjetlost. Za dobijanje polarizovane svjetlosti najpodesniji su kristali turmalina, koji su zelene boje. Ovi kristali od upadne prirodne svjetlosti propuštaju samo onu komponentu, kod koje su oscilacije paralelne glavnoj optičkoj osi kristala. Polarizacija svjetlosti pomoću kristala zasniva se na njegovoj anizotropiji. Potrebno je da upotrebimo dvije pločice kristala turmalina, koje su isječene paralelno svojim kristalografskim osama. Pločice se postave jedna iza druge (sl.22).



Slika 22.

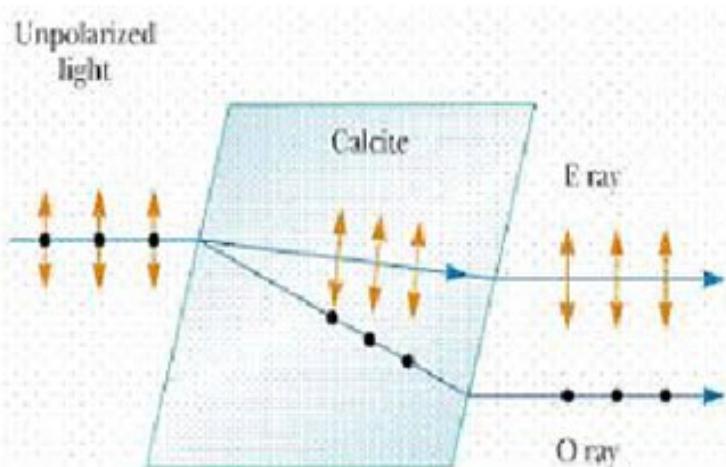
U ovom slučaju pločica P je polarizator, a pločica A je analizator. Okretanjem pločice A može da se pronađe takav položaj, da svjetlosni zrak nesmetano prođe kroz analizator do našeg oka. Taj položaj analizatora nam govori, u kojoj ravni je polarizovana svjetlost prošla kroz polarizator. Ako nastavimo da zakrećemo analizator, u jednom trnutku svjetlost više

neće moći da dođe do našeg oka. U tom položaju analizatora, njegova ravan polarizacije je okomita na ravan polarizacije polarizatora.

5.3.c. Dvojno prelamanje

Mnogi kristali imaju tu osobinu da se svjetlost prolazeći kroz njih razdvaja na dva dijela:

- redovan (regularan) ponaša se u skladu sa zakonima prelamanja i
- neredovan (neregularan) ne ponaša se u skladu sa zakonom prelamanja (sl.23).



Slika 23.

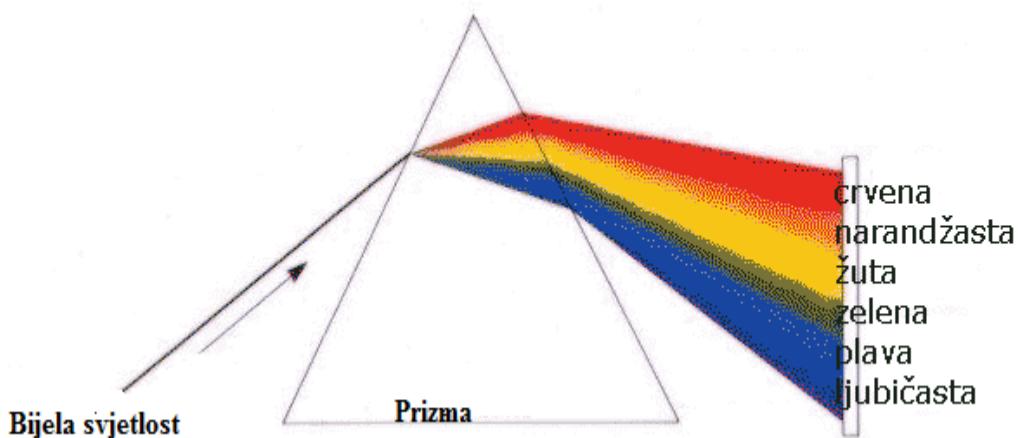
Oba ova talasa su polarizovana, pri čemu su im ravni polarizacije međusobno normalne. Predmeti posmatrani kroz ovakav kristal izgledaju duplirani. Pojava dvojnog prelamanja je uzrokovana kristalnom strukturu. Optičke osobine kristala nisu iste u svim prvcima i brzina svjetlosti zavisi od pravca svjetlosnog zraka u kristalu. Jedino u pravcu optičke ose redovan i neredovan zrak imaju iste brzine, a u svim drugim prvcima njihove brzine su različite. Redovan zrak ima iste brzine u svim prvcima i on se ponaša u skladu sa zakonom prelamanja. Njegov indeks prelamanja je konstantan za svaki upadni ugao.

Brzina neredovnog zraka je promjenljiva pa je i indeks prelamanja kod njega promjenljiv. Najveća vrijednost indeksa prelamanja je kad zrak prolazi paralelno glavnoj optičkoj osi kristala. Tada je indeks prelamanja jednak indeksu prelamanja redovnog zraka. Najmanji indeks prelamanja je kad je pravac upadnog zraka normalan na pravac optičke ose. Prema tome, indeks prelamanja neredovnog zraka zavisi od upadnog ugla. U slučaju kada upadni zrak pada u pravcu optičke ose, zrak se ne dijeli. Kod nekih kristala jedan od tih zraka se apsorbuje pri prolasku kroz kristal, npr. kod turmalina apsorbuje se redovan zrak, dok neredovan prolazi kroz kristal.

5.4 Disperzija svjetlosti

Kad smo razmatrali prelamanje svjetlosti tako da jednom upadnom zraku odgovara jedan prelomljeni zrak, opisivali smo pojavu koristeći geometrijsku optiku. Međutim, kada

snop složene (bijele - polihromatske) svjetlosti padne na optičku prizmu, prelama se i razlaže na svjetlost različitih boja. Ovi zraci, ako padnu na zaklon, daju traku boja koja se zove *spektar*. Ova pojava se naziva razlaganje ili disperzija svjetlosti. Dakle, proces razlaganja svjetlosti na sve sastavne dijelove (boje) naziva se *disperzija svjetlosti* (sl.24).



Slika 24.

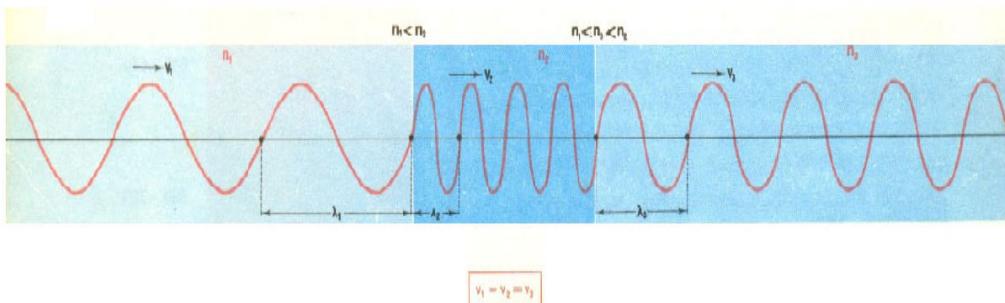
Ovu pojavu je zapazio *Njutn* 1672.godine. Pokazao je da se Sunčeva svjetlost može razložiti na boje, a te boje su povezane sa različitim talasnim dužinama. Da bismo objasnili ovu pojavu, razmotrićemo kako se pri prelasku iz jedne sredine u drugu mijenjaju veličine, kojima je opisana svjetlost.

Eksperimentalno je dokazano da je talasna dužina vidljive svjetlosti u vazduhu, odnosno vakumu, od 380nm do 760nm. Talasni opseg vidljive svjetlosti podijeljen je na sedam oblasti. Svakoj oblasti odgovara po jedna osnovna boja svjetlosti: ljubičasta (380-440nm), zatim u literaturi se često između ljubičaste i plave ubacuje modra (440-460nm), plava (460-510nm), zelena (510-560nm), žuta (560-610nm), narandžasta (610-660nm) i crvena (660-760nm).

Brzina svjetlosti u vakumu iznosi približno $300\ 000 \frac{km}{s}$. Brzina svjetlosti je najveća brzina u prirodi. Brzina svjetlosti u vazduhu približna je brzini svjetlosti u vakumu, dok je u drugim sredinama znatno manja. Što je u nekoj sredini brzina svjetlosti manja, to je ta sredina optički gušća. Optički gustinu sredine određuje apsolutni indeks prelamanja svjetlosti. Apsolutni indeks prelamanja neke sredine predstavlja odnos brzine svjetlosti u vakumu i u toj sredini. Označava se malim slovom n , pošto je količnik dvije iste fizičke veličine predstavlja neimenovan broj (nema mjernu jedinicu).

Talasna dužina svjetlosti nije osnovna karakteristika svjetlosti jer se ona mijenja u zavisnosti od optičke gustine supstance. U optički gušćim sredinama talasna dužina je manja, a to znači da je i brzina svjetlosti manja u tim sredinama. Pošto se pri prelasku u drugu sredinu mijenja talasna dužina, može se zaključiti da svjetlost mijenja boju pri prelasku iz jedne sredine u drugu, ali to se ne dešava. Iz iskustva znamo da je boja svjetlosti ista i u vazduhu i u vodi. Pa treba napomenuti da se prethodna podjela svjetlosti na boje prema talasnoj dužini odnosi samo na vakum (vazduh). Bilo bi ispravno da se ova podjela izvrši

prema frekvenciji jer je ona osnovna karakteristika svjetlosti. Frekvenciju određuje stanje atoma koji emituje svjetlost i ne može da se mijenja (sl.25).



Slika 25.

Talas na svom putu može da mijenja brzinu prostiranja pa time na talasnu dužinu, dok frekvenciju ne mijenja jer frekvencija ne zavisi od prirode sredine kroz koju svjetlost prolazi:

$$c = \lambda v, \lambda = \frac{c}{v}, v = \frac{c}{\lambda}$$

Talas koji sucesivno prolazi kroz tri različite optičke sredine ne mijenja frekvenciju pa možemo pisati:

$$v = \frac{c_1}{\lambda_1} = \frac{c_2}{\lambda_2} = \frac{c_3}{\lambda_3}$$

Ako jednačinu podjelimo sa brzinom svjetlosti u vakumu:

$$\frac{v}{c_0} = \frac{c_1}{\lambda_1 c_0} = \frac{c_2}{\lambda_2 c_0} = \frac{c_3}{\lambda_3 c_0}$$

$$\frac{v}{c_0} = \frac{1}{\lambda_1 n_1} = \frac{1}{\lambda_2 n_2} = \frac{1}{\lambda_3 n_3}$$

Pošto je $\frac{v}{c_0}$ konstantna vrijednost možemo pisati:

$$\lambda n = const$$

Talasna dužina svjetlosti utoliko je manja koliko je absolutni indeks prelamanja sredine veći. Ako je prva sredina vakum (vazduh), tada je talasna dužina svjetlosti u drugoj sredini:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

- λ_0 -talasna dužina svjetlosti u vakumu
- n- apsolutni indeks prelamanja

Pri prelasku svjetlosti iz jedne optičke sredine u drugu talasna dužina svjetlosti se mijenja, dok frekvencija i boja ostaju iste. Boja je određena frekvencijom svjetlosnog talasa. Uticaj sredine na prostiranje svjetlosnog talasa uslovjen je uzajamnim djelovanjem svjetlosti i čestica sredine. To uzajamno djelovanje dovodi do promjene brzine svjetlosti, a time i do promjene apsolutnog indeksa prelamanja. Svjetlost različitih frekvencija (različitih boja) prostire se kroz istu sredinu različitim brzinama i imaće različite indekse prelamanja. Znači, kad na graničnu sredinu površinu dvije sredine pada bijela sunčeva svjetlost (sastavljena od različitih elektromagnetskih talasa različitih frekvencija-boja), ona će se zbog zavisnosti indeksa prelamanja od frekvencije prilikom prelamanja razložiti na komponente, koje se prelamaju pod različitim uglovima. Različiti monohromatski talasi će se prelomiti pod različitim uglovima. Znači, nastaje razlaganje složene svjetlosti po frekvencijama (talasnim dužinama) na spektar. Eksperimentalno je utvrđeno da najmanje skreće crvena svjetlost koja ima najmanju frekvenciju pa samim tim i najmanji indeks prelamanja, a najviše skreće ljubičasta svjetlost. U poređenju sa difrakcionim spektrom uočavamo da difrakcioni spektar ima obrnut raspored boja. Ako se na put razložene svjetlosti postavi na određen način druga prizma, iz nje će izlaziti bijela svjetlost odnosno ista svjetlost, koju je prva prizma razložila.

5. Nastavni plan i program u obradi nastavne teme „Talasna optika“

Nastavna tema Talasna optika obrađuje se po gimnazijskom programu u okviru trećeg razreda. Smjerovi u kojima se obrađuje ova tema su:

- Opšti smjer
- Prirodno matematički smjer
- Računarsko informatički smjer

U srednjim stručnim školama, konkretno u elektrotehničkoj školi, ova tema se obrađuje u drugom razredu u svim odjeljenjima tehničkog smjera tj. u onim odjeljenjima koji proučavaju fiziku dvije školske godine (tj. u prvom i drugom razredu srednje stručne škole). Priložićemo plan i program koji se primjenjuje u gimnazijama i srednjim stručnim školama pri obradi ove tematske cjeline sa traženim ishodima i cjelinama koje je potrebno obraditi.

Тема 4. Оптика

Оперативни циљеви / Исходи	Садржаји програма /Појмови	Корелација са другим наставним предметима
Ученик ће бити способан да: <ul style="list-style-type: none"> • Интерпретира основне законе геометriјске оптике, • Помоћу карактеристичних зрака и основних закона геометriјске оптике конструише ликове предмета за конкретни оптички систем • Објасни недостатке (аберације) у оптичким системима због упрошћених претпоставки геометriјске оптике, • Кроз појаве: интерференције, дифракције, поларизације и дисперзије светlosti изведе закључак да у њима долази до изражaja таласна приroda електромагнетног зрачења. • Уочи практичну примјену наведених појава. 	Одбијање и преламање светlosti. Равна и сферна огледала, конструкција лица. Једначина сферног огледала. Сочива, једначина сочива. Оптичарска једначина сочива. Недостаци сочива. Интерференција светlosti. Дифракција светlosti. Дисперзија светlosti. Поларизација светlosti, Брустеров закон.	

Тема 9. ТАЛАСНА ОПТИКА (15)

Оперативни циљеви / Исходи	Садржаји програма /Појмови	Корелација са другим наставним предметима
<p>Ученик ће бити способан да:</p> <ul style="list-style-type: none"> дефинише монохроматску светлост, кохерентну светлост, интерференцију, дифракцију, поларизацију и дисперзију светлости представи графички конструктивну и деструктивну интерференцију објасни услов за добијање интерференционих максимума објасни опринцип рада интерферометра и његову примјену графички представи дифракцију светлости на једном узаном отвору и расподјелу дифракционих максимума на заклону графички представи дифракцију светлости на оптичкој решетки и објасни услов за дифракциони максимум графички представи поларизацију при преламању светлости и изведе Брустеров закон објасни Малусов закон наведе примјене полароида објасни Доплеров ефекат у случајевима када се извор светлости приближава пријемнику и када се удаљава од пријемника објасни појаве које настају при интеракцији електромагнетних таласа и неке 	<p>9.1. Емисија светлости. Монохроматичност и кохерентност светлости. Интерференција светлости. Интерферометар.</p> <p>Анимација 11 – Интерференција таласа.</p> <p>9.2. Дифракција светлости на једном отвору. Дифракциона решетка.</p> <p>9.3. Поларизација таласа. Поларизована и природна светлост. Полароиди.</p> <p>9.4. Брустеров закон. Малусов закон.</p> <p>9.5. Доплеров ефекат у оптици.</p> <p>9.6. Узајамно дјеловање електромагнетних таласа и супстанцијалних средина.</p> <p>9.7. Дисперзија светлости. Разлагање бијеле светлости на спектар и слагање</p> <p>ДЕМОНСТРАЦИОНИ ОГЛЕДИ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Дифракција светлости на узаном отвору (оптичка клупа) • Дифракција лазерског снопа на оптичкој решетки. • Поларизација светлости (поларизатори). • Дисперзија светлости на 	<p>Математика, Информатика</p>

<p>средине: рефлексију, апсорпцију и трансмисију таласа</p> <ul style="list-style-type: none"> • објасни зависност индекса преламања светlostи неке средине од фреквенције светlostи која пролази кроз средину • наброји боје које чине спектар видљиве светlostи • објасни промјену таласне дужине при расијању фотона на кристалу на основу закона одржања импулса и енергије • рјешава задатке у вези са интерференцијом, дифракцијом и поларизацијом светlostи • компоненти. Расијање и апсорпција светlostи. 	<p>призми.</p> <p>ЛАБОРАТОРИЈСКА ВЈЕЖБА 6</p> <p>Мјерење таласне дужине ласерског спона светlostи помоћу дифракционе решетке</p>	
--	---	--

U srednjim stručnim školama nisu predviđene labaratorijske vježbe, kao ni demonstracioni ogledi. U nastavnoj praksi se pokazalo da je mnogo efikasnije, ako se pri obradi nastavnih jedinica ubace demonstracije fizičkih pojava, koje se obrađuju. U srednjim stručnim školama je izuzetno teško organizovati izvođenje prave labaratorijske vježbe zbog ograničenog broja časova, predviđenih za obradu nastavne teme. Umjesto laboratorijskih vježbi, koriste se jednostavne demonstracije ili, kad su ostvareni uslovi, kompjuterske simulacije i animacije.

Cilj, koji je potrebno postići u srednjim stručnim školama, je da učenici mogu samostalno prepoznati i uočiti pojave o kojima uče tj. da ih mogu opisati, navesti i objasniti primjenu tih pojava u tehnicu.

U gimnazijama je situacija bolja u smislu predviđenih demonstracionih ogleda i laboratorijskih vježbi, koji se uz мало snalažljivosti predmetnog nastavnika mogu izvesti. Otežavajuća okolnost za izvođenje eksperimentalnih vježbi iz teme Optika je nedostatak optičke klupe.

Ciljevi, koje je potrebno postići u gimnaziji, su obimniji i dublji. Odnose se na razumijevanje pojava, njihovo fizičko objašnjenje i shvatanje uslova, pod kojima će se određene pojave dešavati.

6. Eksperimentalne vježbe

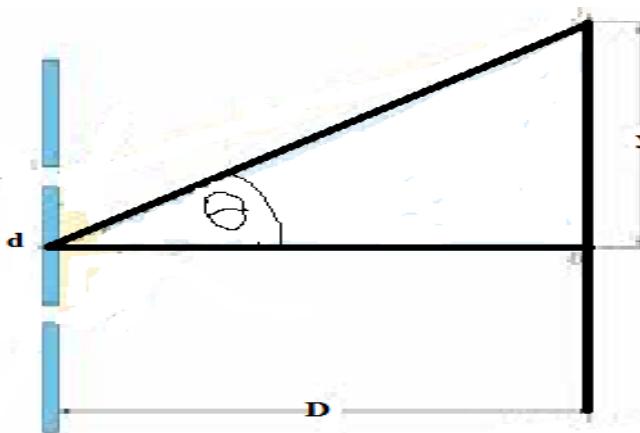
7.1 Mjerenje talasne dužine svjetlosti pomoću difrakcione rešetke

Talasna dužina svjetlosti se može lako odrediti pomoću optičke rešetke, na osnovu jednostavne relacije za ugao skretanja θ paralelnog snopa svjetlosti na optičkoj rešetki. Ta relacija glasi:

$$\sin \theta = \frac{z\lambda}{d} \text{ gdje je } z=0,1,2,3\dots$$

Da bi smo mogli da odredimo talasnu dužinu iz ove relacije, moramo znati konstantu rešetke d . Difrakcione rešetke, koje se koriste u nastavi, već na tijelu rešetke imaju zapisanu vrijednost konstante. Ako to nije slučaj, možemo jednostavno odrediti konstantu difrakcione rešetke na slijedeći način:

Prvo odaberemo izvor monohromatske svjetlosti, čiju talasnu dužinu poznajemo. Recimo, uzmemmo kao izvor natrijumovu lampu. Natrijumove lampe su obično dostupne jer spadaju u nastavna sredstva, koja se često koriste. Kada natrijumovom lampom osvjetlimo difrakcionu rešetku, na zaklonu koji postavimo na udaljenosti D od difrakcione rešetke dobićemo spektralni raspored intenziteta (sl.26)



Slika 26.

Sada $\sin \theta$ možemo naći, vidimo na slici, na slijedeći način:

$$\sin \theta = \frac{y}{\sqrt{D^2 + y^2}}$$

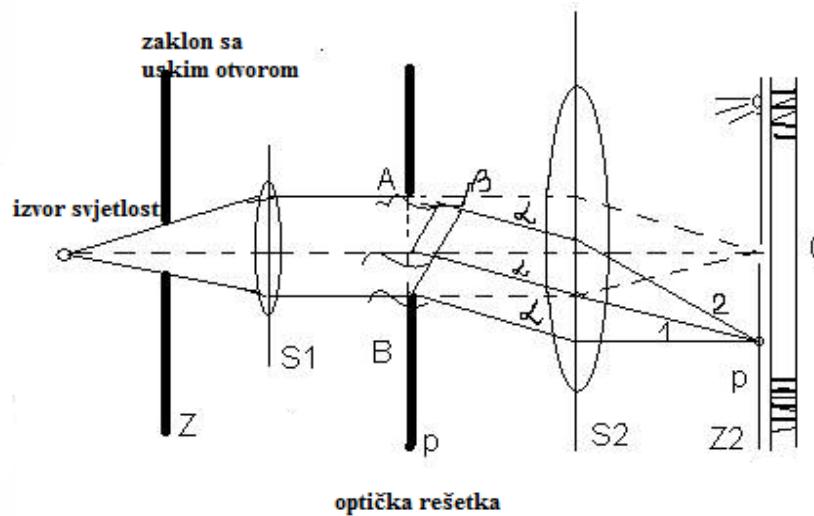
gdje je D rastojanje između difrakcione rešetke i zaklona, a y rastojanje od nultog do prvog difrakcionog maksimuma. Tada konstantu difrakcione rešetke računamo prema relaciji:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

Ovo možemo uraditi u sklopu mjerjenja talasne dužine svjetlosti, ali i kao samostalnu vježbu mjerjenja konstante difrakcione rešetke. Kada smo odredili konstantu difrakcione rešetke, prelazimo na mjerjenje talasne dužine svjetlosti nekog monohromatskog izvora svjetlosti. Taj izvor svjetlosti može da bude i laser. Kod školskih lasera na tijelu lasera je upisana talasna dužina svjetlosti, tako da su rezultati mjerjenja koje izvršimo lako provjerljivi, odnosno možemo uporediti rezultat mjerjenja sa stvarnom vrijednošću talasne dužine upotrebljene svjetlosti.

Kada imamo optičku rešetku, znamo da na uskim djelovima između zareza svjetlost nesmetano prolazi kroz rešetku, dok se na zarezima difuzno rasipa. Prema *Hajgensovom principu* svaka tačka pogodena od strane svjetlosnog zraka postaje sekundarni izvor svjetlosti. Zbog toga, svaka tačka otvora na rešetki postaje izvor svjetlosti tj. od nje polaze svjetlosni zraci na sve strane. Ako optičku rešetku osvijetlimo snopom paralelnih monohromatskih zraka svjetlosti, koji potiču od istog svjetlosnog izvora, tada će talasi koji polaze od svakog proreza biti u fazi. Među velikim brojem talasa koji dolaze sa optičke rešetke, doći će do pojave interferencije. Kao rezultat te interferencije, dobićemo niz paralelnih zraka svjetlosti. Osnovni ili centralni zrak biće sastavljen od zraka koji su prošli bez prelamanja kroz optičku rešetku. Ostalni paralelni zraci zaklapaće neki ugao sa osnovnim zrakom. Svaka svjetlosna zraka sastoji se od zraka sa raznih pukotina, čija je putna razlika jednaka talasnoj dužini svjetlosti koja pada na optičku rešetku.

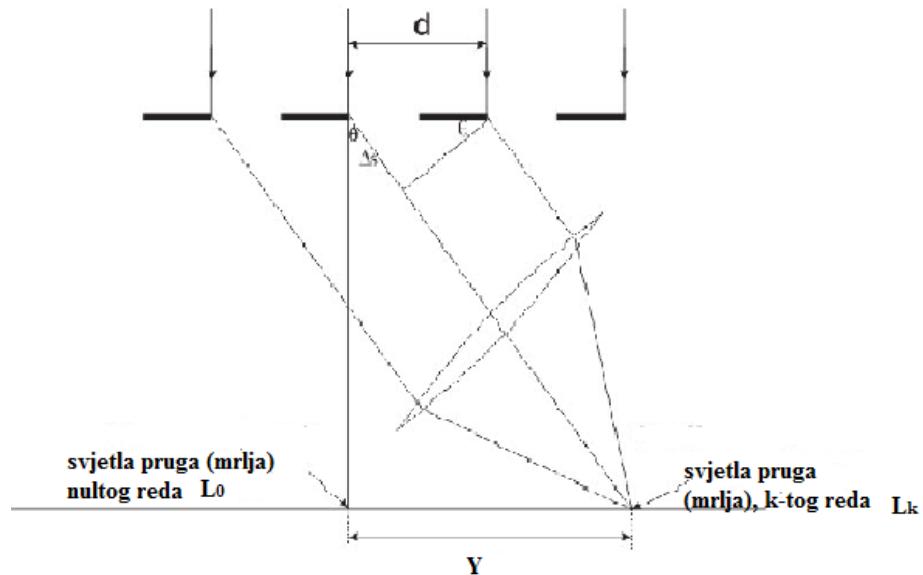
Ako iza rešetke stavimo sabirno sočivo, a u njegovu žihu zaklon, poslije prelamanja osnovni zraci će se sjeći u jednoj, centralnoj tački zaklona. Ostali snopovi paralelnih zraka, koji sa osnovnim snopom zaklapaju neki ugao, poslije prelamanja na sočivu formiraće lijevo i desno od osnovne linije, takođe, svijetle linije (sl.27).



Slika 27.

Ispred svjetlosnog izvora koji daje monohromatsku svjetlost stavi se zaklon sa vrlo uskim prorezom. Iza zaklona se stavi sabirno sočivo S_1 tako da prorez na zaklonu bude u njenoj žizi. Zatim, stavimo optičku rešetku i iza nje sabirno sočivo S_2 , a u njegovu žihu zaklon Z_2 .

Tačke L_0 , L_1 , L_2 predstavljaju položaj svjetlosnih linija nastalih prelamanjem svjetlosnih snopova kroz sočivo S_2 . Najjasnija je u položaju L_0 koji odgovara osnovnom snopu (sl.28).



Slika 28.

Sa slike 28 se vidi da je putna razlika dva talasa koji padaju na zaklon $\Delta s = d \sin \theta$. Kako je uslov za konstruktivnu interferenciju dva koherentna svjetlosna zraka $\Delta s = n\lambda$ slijedi:

$$n\lambda = d \sin \theta$$

Mjerenjem ugla θ možemo iz prethodne jednačine odrediti talasnu dužinu upotrijebljene monohromatske svjetlosti. Pri eksperimentalnom određivanju ugla koji je veoma mali možemo upotrebiti matematičku aproksimaciju za maleuglove koja daje $\tan \theta = \sin \theta$ te iz ovog slijedi da je talasna dužina svjetlosti:

$$\lambda = \frac{dY}{nD}$$

d- konstanta difrakcione rešetke

Y- rastojanje između susjednih svjetlih pruga

D- rastojanje od optičke rešetke do zaklona

n- broj svjetlih pruga računajući od osnovne

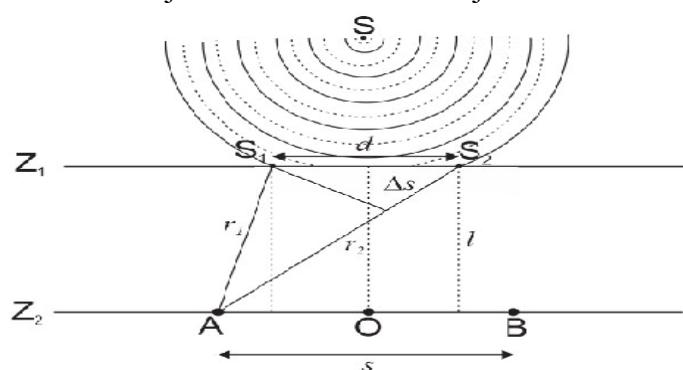
Dakle, trebamo znati konstantu rešetke, rastojanje rešetke od zaklona D i rastojanje između linija L_0 i L_1 , tada je $n=1$. Ako bi uzeli rastojanje između osnovne i druge svjetle pruge, tada bi bilo $n=2$.

Cijelo mjerenje najlakše je izvesti na optičkoj klupi, ako je posjedujemo. Ako nemamo optičku klupu, možemo upotrebiti priručne nosače fiksirane na poznate međusobne udaljenosti, u koje možemo da postavimo sočiva i optičku rešetku kao i zaklone. Kao izvor svjetlosti može da posluži obična sijalica, a da bi dobili monohromatsku svjetlost poslužimo se filterima različitih boja. Tako dobijemo različite talasne dužine monohromatske svjetlosti. Prorez, kroz koji prolazi svjetlosni snop, sočiva, rešetku i zaklon postavljamo kao na slici 28. Rastojanje D kao i Y mjerimo metrom.

7.2. Jangov eksperiment

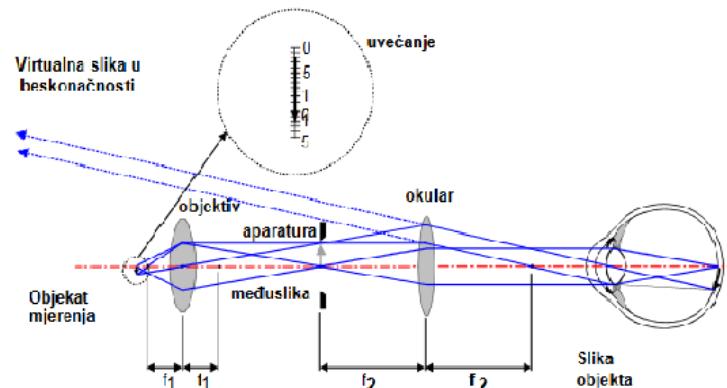
Ovaj eksperiment se može izvesti na času redovne nastave, ali pošto po svojim karakteristikama predstavlja vrh nauke o talasima primjenljive u srednjoj školi, najbolje rezultate daće u dodatnoj nastavi, u radu sa talentovanim učenicima.

Ako posmatramo dva svjetlosna izvora u fazi, očekujemo da u određenim tačkama vidimo svjetlost maksimalnog intenziteta, a u nekim drugim tačkama tamna područja gdje će svjetlosni talasi destruktivno interferirati. Kao svjetlosni izvori mogu poslužiti dva uska proresa osvijetljena sijalicom. Kad svjetlost sa sijalice prođe kroz pukotine, ona se prema *Hajgensovom principu prelaza* (savija). Iza pukotina, svjetlost koja dođe do zaslona, će stvoriti sliku interferencije. Kod izvođenja ovog eksperimenta u školskim uslovima, potrebno je uzeti monohromatski izvor svjetlosti. Izradu pukotina možemo izvesti na više načina, npr. mikroskopsko predmetno staklo premažemo koloidnim rastvorom grafita i pustimo da se osuši. Dva žileta spojena tako da lagano prijanjaju jedan za drugi spustimo na staklo i slabim pritiskom povučemo niz staklo. Tako smo formirali dvije bliske i uske pukotine na koloidnom rastvoru grafita. Potrebno je napraviti više parova pukotina i izabrati onaj par, kroz koji se jasno vide bar tri svijetle interferencione linije.



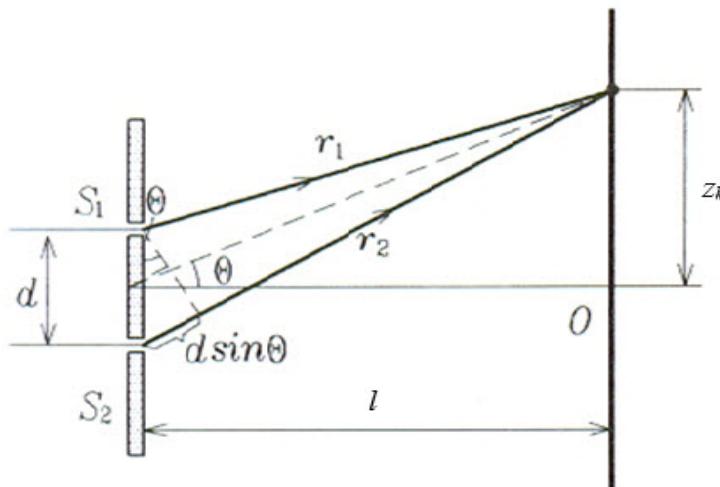
Slika 29.

Pri prolasku monohromatske svjetlosti kroz pukotine, na zaklonu ćemo dobiti interferentne pruge. Centralna pruga će se nalaziti u tački O zbog toga što svjetlost od proresa prelazi jednakom putevima do tačke O (sl.29). Jedan od većih problema koji se javlja u ovom eksperimentu je mjerjenje rastojanja između proresa na koloidnom rastvoru grafita. Taj problem možemo rješiti koristeći mjerni mikroskop čiji princip rada dajemo na slici 30.



Slika 30.

U okviru ovog eksperimenta, pomoću mikroskopa možemo da ponovimo mjerjenje malih rastojanja. Ako je rastojanje k - tog maksimuma od centralnog maksimuma z_k , tada putna razlika svjetlosnih talasa do neke tačke K na zaklonu mora biti jednaka cijelom broju talasnih dužina (sl.31).



Slika 31.

Razlika puteva do tačke K data je sa $\Delta s = r_2 - r_1 = d \sin \theta$, ugao θ ugao skretanja zraka ka tački K koji je približno isti za oba zraka.

$$\Delta s = k\lambda = d \sin \theta$$

Ako je ispunjen uslov da je $l \gg d$, tada je $\tan \theta \approx \sin \theta$ pa možemo pisati:

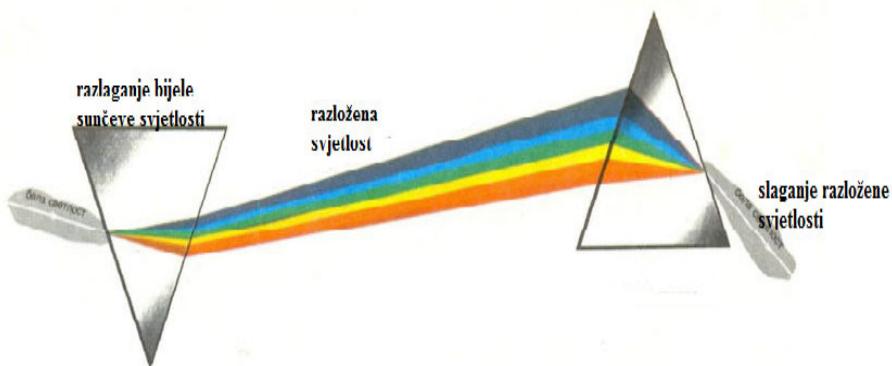
$$\tan \theta = \frac{z_k}{l}$$

Zamjenom možemo izračunati talasnu dužinu primjenjene monohromatske svjetlosti:

$$\lambda = \frac{dz_k}{kl}$$

7. Jednostavni eksperimenti

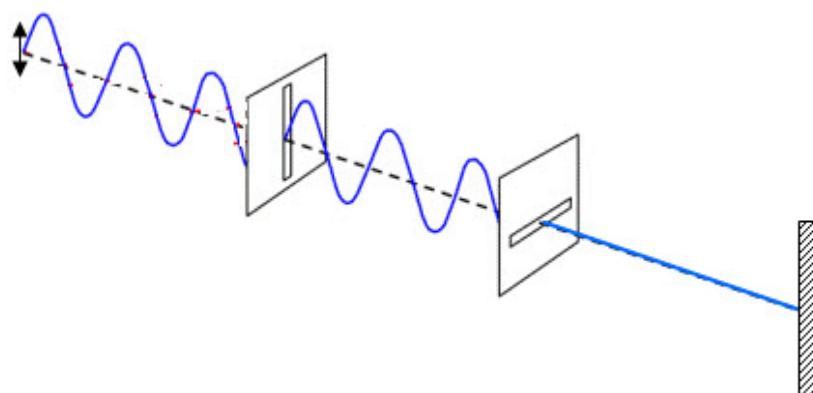
Ovi eksperimenti ili demonstracioni ogledi se mogu efikasno koristiti, da bi se pokazala neka fizička pojava. Ovaj vid ogleda - demonstracija najbolji efekat postiže kao uvod u čas, pri proučavanju neke fizičke pojave. Konkretno, ako želimo da demonstriramo razlaganje (disperziju) svjetlosti, možemo kroz prizmu propustiti zrak svjetlosti i na zaklonu vidjeti spektar boja. Ako želimo pokazati da je prizma razložila upravo taj zrak koji pada na prizmu, jednostavno uzmemmo dvije prizme, prva razlaže svjetlosni zrak, a druga taj razloženi zrak vrati u početno stanje (sl.31).



Slika 31.

Demonstraciju slaganja svjetlosti možemo izvesti na još jedan specifičan način, koristeći krug obojen u spektar bijele sunčeve svjetlosti (dugine boje). Ako takav krug zarotiramo relativno velikom ugaonom brzinom, naše oko će vidjeti da je krug obojen bijelom bojom.

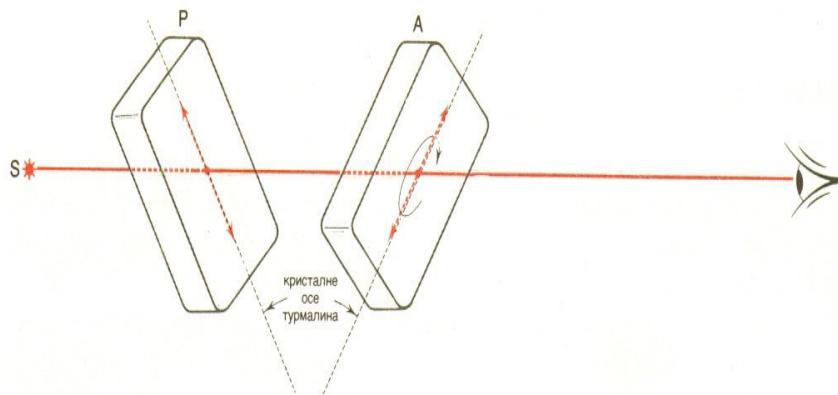
Polarizacija svjetlosti se može demonstrirati na jednostavan način korištenjem priručnih materijala: malo debljeg papira (kartona) i elastičnog kanapa (lastiša). Na početku možemo pokazati da je svjetlost transferzalni talas na slijedeći način: Na kartonu se naprave dva uska i duža otvora, širina otvora treba biti dovoljna da kroz njega bez zapinjanja može da prođe elastični kanap (sl.32).



Slika 32.

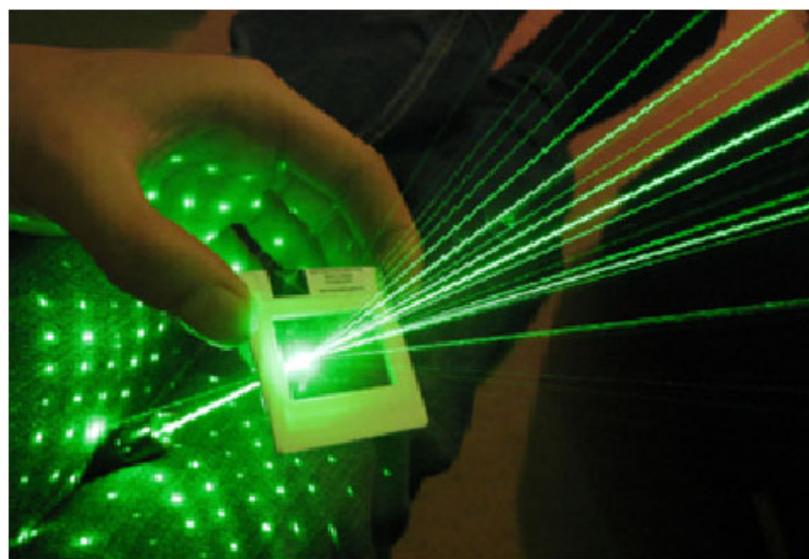
Kada se pokazuje da je svjetlost transferzalni talas, uzmemо jedan karton sa otvorom i pokažemo da kanap može da osciluje samo u jednoj ravni, koja je okomita na pravac prostiranja talasa. Ako pokušamo da pokrećemo kanap u nekom drugom pravcu oscilovanja, nećemo dobiti talas duž elastičnog kanapa. Kanap možemo da zatežemo i opuštamo, deformacija duž kanapa će se prostirati bez ikakvih smetnji, kako god da postavimo karton sa otvorom. Znači, longitudinalni talas prolazi kroz otvor na kartonu bez smetnji. Ovim postupkom smo pokazali da svjetlost mora biti transferzalni talas, jer očigledno longitudinalni talasi ne mogu da se polarizuju.

Za demonstraciju polarizacije svjetlosti potrebno je da imamo polarizator, koji može da bude kristal turmalina sa sposobnošću da propušta svjetlosni talas samo u jednoj ravni. Da bi ispitali svjetlost propuštenu kroz turmalin, moramo imati još jedan kristal turmalina koji nazivamo analizator. Propustimo svjetlosni zrak kroz prvi kristal, polarizator, zatim pustimo učenike da pogledaju kroz kristal (polarizator) prema izvoru svjetlosti. Učenici mogu da uoče da kroz polarizator prolazi zrak svjetlosti, koji je slabijeg intenziteta nego svjetlost samog izvora, koja dolazi do polarizatora. Zatim, između oka i polarizatora postavimo drugi kristal turmalina (analizator), tako da svjetlosni zrak koji dolazi sa polarizatora prolazi i kroz njega. Ako učenici pogledaju kroz analizator, oni takođe vide svjetlosni zrak istog intenziteta kao i kada su gledali kroz polarizator. Sada polako zakrećemo analizator za neki ugao i pratimo šta se dešava sa svjetlosnim zrakom koji prolazi kroz analizator. Učenici će primjetiti, da se intenzitet svjetlosti smanjuje sa povećanjem ugla zakretanja do trenutka, dok svjetlost potpuno prestane da prilazi kroz analizator. Uočićemo da se nestanak svjetlosti poklapa sa uglom zakretanja od 90^0 stepenu u odnosu na početni položaj analizatora (sl.33).



Slika 33.

Prikazati pojavu difrakcije je veoma jednostavan postupak. Sav pribor koji je potreban je laserski pokazivač i optička (difrakciona) rešetka iz pribora za talasnu optiku. Možete držati optičku rešetku u ruci i laserskim pokazivačem usmjeriti svjetlost kroz optičku rešetku, обративши pažnju da svjetlost pada na zaklon. Može poslužiti i zid učionice u kojoj izvodite čas (sl.34)



Slika 34.

Efektniji način prikazivanja difrakcije možete izvesti sa bijelim ptičijim perom i izvorom svjetlosti. Gusto ptičije pero igra ulogu optičke rešetke, a mala baterija može poslužiti kao izvor svjetlosti. Ako svjetlost nije monohromatska, na zaklonu će se pojaviti svijetle pruge u boji. Prikazivanje interferencije i difrakcije je isto. Pošto je uzrok interferencije difrakcija, svaka pojave difrakcije vidi se kao interferaciona slika na zaklonu.

8. Kompjuterske simulacije i animacije

Pod simulacijom se podrazumjeva predstavljanje fizičkih pojava i procesa brojevima, simbolima ili živim slikama. Mogu se simulirati realna ili nerealna stanja. U nastavi fizike su važne sljedeće simulacije: *simulacija fizičkog eksperimenta, simulacija procesa u oblastima atomske, nuklearne fizike i fizike elementarnih čestica*. Ove simulacije su veoma korisne kod onih procesa u kojima se ne mogu pri laboratorijskoj vežbi zapaziti suštinska dešavanja u materiji (alfa, beta raspad, određivanje energije alfa čestica pomoću tragova, nuklearna fisija, fuzija, Komptonov i fotoefekat, sudari elementarnih čestica i drugo). Međutim, u nekim slučajevima je korisnije izvršiti eksperiment nego simulirati proces na računaru (gasni zakoni, Omov zakon, itd. – tu računar može da služi za prikupljanje i obradu rezultata mjerjenja). Znači, simulacije ne bi trebalo nikada potpuno da zamjene realnost, ali su ekstremno upotrebljive kada se proučavaju eksperimenti, koje je nemoguće uraditi praktično (zato što su veoma skupi, veoma opasni, vrlo brzi, vrlo spori, itd.).

Na našim prostorima, prijatno iznenadenje predstavljala je i pojava naših CD-ova sa programima iz fizike, to su Fizika 1 i Fizika 2, koje je izdala Kvark medija, 1999. godine. Programi su izrađeni prema programima za gimnaziju i obuhvaćeni su svi vidovi nastave: fenomenološki pristup fizičkim pojavama kroz animacione slike, potom teorijski pristup, eksperimentalne vežbe i na kraju računski zadaci. Prednost ovih programa, u odnosu na do sada pomenute, je što su na veoma atraktivan i savremen način predviđene oblasti iz fizike kroz interaktivan vid nastave, što su inače savremeni standardi (zahtjevi) metodike nastave. Najinteresantniji dio ovih programa su eksperimentalne vježbe. U nedostatku materijalnih sredstava i nemogućnosti nabavke skupih učila (kojih inače nema na našem tržištu) gimnazije bi mogle ovim CD-ovima taj problem da riješe na zadovoljavajući način. Prednost ovakvih „eksperimentalnih vježbi“ je i u tome što se vježbe mogu raditi individualno, a ne u grupama; što postoji mogućnost većeg broja ponavljanja iste vježbe, dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati i što učenici lakše mogu da uoče napravljene greške pri mjerenu.

Na sajtu phet.colorado.edu nalazi se veliki broj simulacija za sve oblasti fizike. Da biste mogli da radite sa ovim simulacijama potrebno je da na svom računaru imate softversku platformu Java. Prednost ovog sajta je što ga mogu koristiti i učenici i nastavnici, kao i to što sve simulacije kao i platformu u cjelini imamo prevedene na srpski jezik. Aplikacija može da se besplatno skinie i da se koristi sa računara, a ako u školi imate internet, možete je koristiti *online*. Ako ste aplikaciju skinuli sa sajta, potrebno ju je redovno ažurirati sa novim simulacijama i animacijama.

Na adresi <http://www.walterfendt.de/ph14yu/> postoji veliki broj simulacija iz fizike koje se izvršavaju u veb-pretraživaču (*Java appleti*). Da bi se uopšte vidjele, potrebno je da veb pretraživač podržava Java aplete. Ako to nije slučaj, treba prethodno instalirati okruženje za izvršavanje Java apleta. Ono je besplatno i lako se i brzo instalira. Sve animacije imaju kratko tekstualno objašnjenje na srpskom jeziku. Takođe je moguće mijenjati parameter koji određuju pojavu ili proces i, odmah nakon toga, vizuelno uočiti kako se simulirana pojava mijenja.

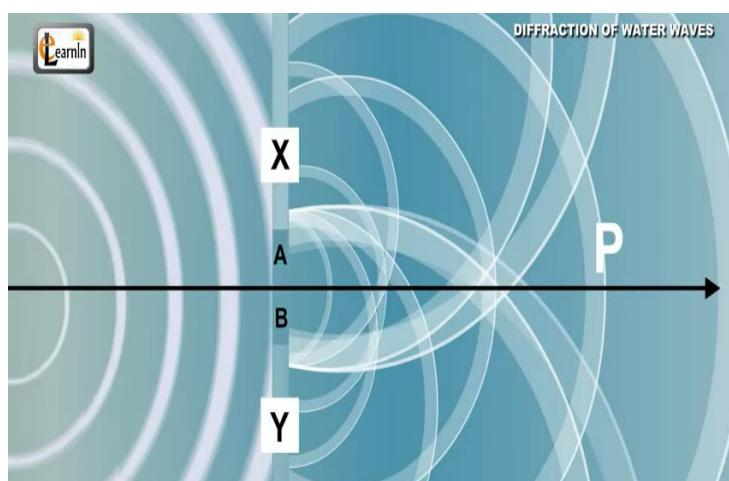
Na adresi <http://physics.decapoa.altervista.org/fisica/index.php?w=physics> postoji veliki broj kraćih video zapisa, koji slikovito objašnjavaju različite fizičke pojave. Neki od njih mogu poslužiti kao ideja za demonstracije, koje se mogu izvesti u učionici.

Na stranici *YouTube* korištenjem ključne riječi *physics* u polju za pretraživanje izlistaće se veliki broj video zapisa, koji se odnose na demonstracije fizičkih pojava, eksperimente i zadržavajuće efekte. Pri korištenju ovih materijala, potreban je određen oprez jer bilo ko može da postavi bilo šta i da da bilo kakvo objašnjenje, koje ne mora biti u skladu sa fizičkim zakonima. Izbor video materijala je vrlo šarolik, od vrlo kvalitetnih i stručnih do potpuno amaterskih. Na nastavniku je da procjeni vrijednost odgovarajućih materijala.

9.1 Primjeri multimedijalnih simulacija i animacija

9.1.a Difrakcija svjetlosti na jednom ili dva otvora

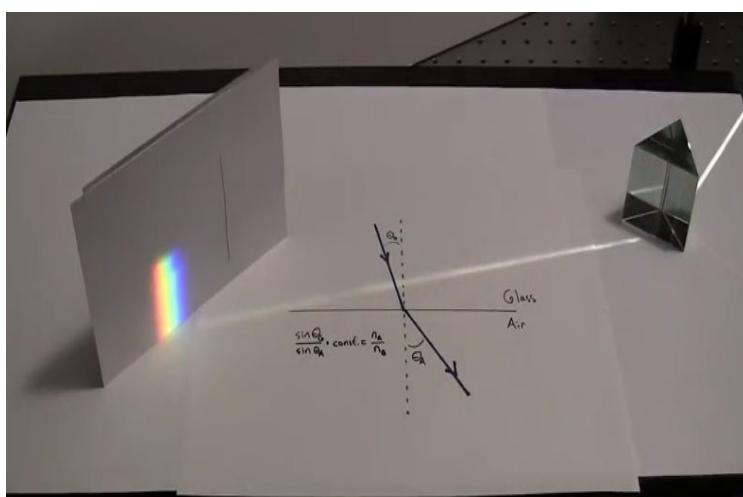
Na sajtu *E - learning* (elektronsko učenje) postoje predavanja, simulacije i demonstracije pojava koje se proučavaju iz talasne optike. Tako da se na ovom sajtu može naći prikaz difrakcije talasa na jednom otvoru, na dva otvora (*Jangov eksperiment*, sl.35). Na



ovojo video demonstraciji se vidi kako primarni talas dolazi do uskog otvora, pri čemu svaka tačka otvora postaje izvor sekundarnog talasa (*Hajgensov princip*). Cilj je demonstrirati pojavu sekundarnih izvora svjetlosti odnosno kako svaka tačka otvora postaje sekundarni izvor svjetlosti.

Slika 35.

9.1.b Disperzija svjetlosti na prizmi (Njutnova prizma)



Kada se bijela svjetlost usmjeri na jednu od bočnih strana prizme, svjetlosni zraci se dva puta prelамaju, pri ulasku i izlasku iz prizme. Zbog disperzije svjetlosti se dobije spektar bijele svjetlosti i na zaklonu se vide: crvena, narandžasta, žuta, zelena, plava i ljubičasta svjetlosna pruga (sl. 36).

Slika 36.

Crveni zraci (najmanja frekvencija) prelamaju se pod najmanjim uglom, a ljubičasti zraci (najveća frekvencija) prelamaju se pod najvećim uglom skretanja. Na *YouTube* se mogu pronaći eksperimenti, simulacije i animacije procesa disperzije.

Eksperimentalno je utvrđeno da su indeksi prelamanja različiti i da zavise od talasne dužine svjetlosti. Indeks prelamanja u nekoj optičkoj sredini je veći, što je talasna dužina manja. Posljedica toga je, da pri prelamanju svjetlosti na granici optičkih sredina, dolazi do razdvajanja svjetlosti po talasnim dužinama. Pojava je poznata kao *disperzija svjetlosti*. Ova pojava omogućava mjerjenje indeksa prelamanja uz pomoć prizme i pripadajućeg ugla devijacije. Tim eksperimentom nalazimo odnos talasne dužine svjetlosti i indeksa prelamanja, a na osnovu toga se može odrediti funkcija oblika $n=f(\lambda)$, zavisnosti indeksa prelamanja od talasne dužine.

9.1.c. Polarizacija svjetlosti



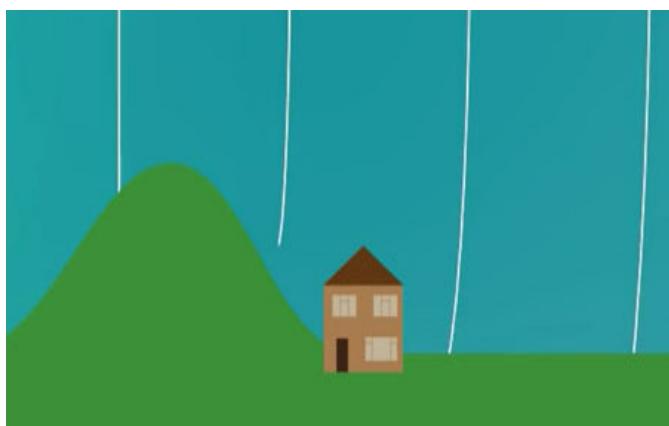
Slika 37.a.



Slika 37.b.

Bijela složena svjetlost osciluje u svim pravcima, okomito na pravac prostiranja svjetlosti. Poslije prolaska kroz polarizator, svjetlost osciluje samo u jednoj ravni (ravan polarizacije). Video prikazuje jednostavnu demonstraciju polarizacije izvedenu pomoću dva polarizatora (sl.37.a.b.). Video je preuzet sa sajta na srpskom jeziku <https://fizikica.wordpress.com> Polarizacija se može izvesti i sa dva para sunčanih naočara.

9.1.d. Difrakcija elektromagnetskih (radio) talasa



Animacija difrakcije talasa u potpunosti dočarava šta se dešava, kada elektromagnetni talasi nailaze na prepreku u prostoru, npr. brdo (sl.38) Uočava se kako front elektromagnetskih, u ovom slučaju radio talasa, skreće prema objektu iza brda

Slika 38.

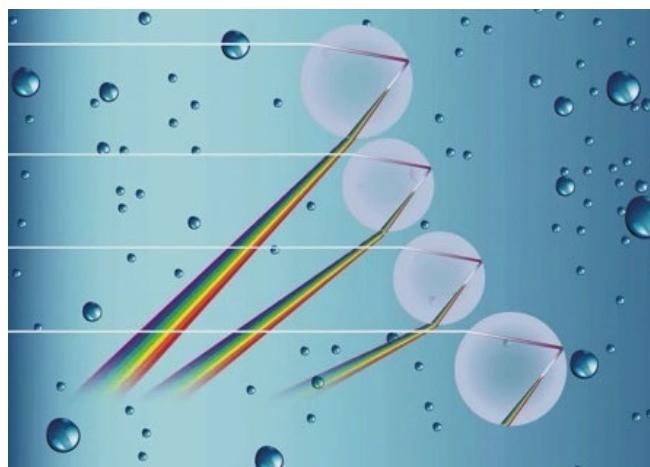
i može da primi signal, iako je zaklonjen brdom u odnosu na pravac prostiranja ovih talasa.

Ova animacija je preuzeta sa odličnog sajta, koji se bavi izradom simulacija i animacija fizičkih procesa u prirodi <https://phet.colorado.edu>.

9.1.e. Nastanak duge. Disperzija na kapljicama kiše

Kada Sunčevi zraci prolaze kroz kapljice vode u atmosferi, one se ponašaju kao prizme, prelamajući svjetlost i omogućavajući nam da vidimo dugu pod određenim uslovima (sl.39). Duga nastaje zbog prelamanja svjetlosti na kapljicama vode i ona nije na nekoj određenoj udaljenosti od posmatrača, već je ustvari optička iluzija. Nakon kiše u atmosferi su

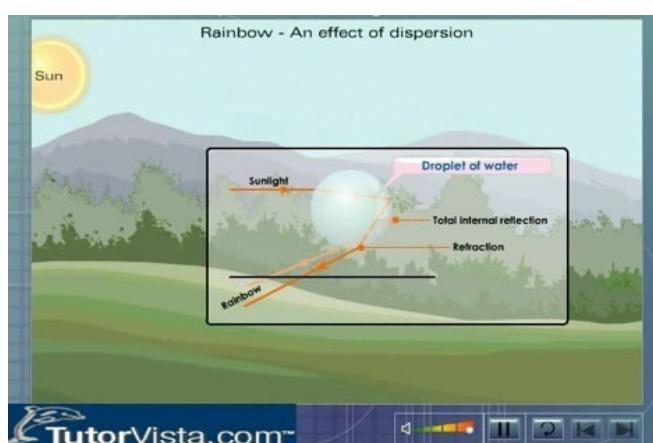
koncentrovane kapljice vode. Kad na njih padne bijela Sunčeva svjetlost, one se ponašaju kao prizme i dolazi do prelamanja i refleksije unutar kapi. Svjetlost se prelama odnosno refraktuje pri ulasku na površinu kapi, odbija u unutrašnjosti kapi, a zatim ponovo prelama pri izlasku iz kapi. Simulacija nastanka duge nalazi se na sajtu: www.schultime-netz.de.



Slika 39.

Duga se vidi samo za vrijeme kiše, kada istovremeno pada kiša i sija Sunce. Ako se tada nalazimo u sredini tako da je iza nas Sunce, a ispred nas pada kiša, tada vidimo dugu. Ova simulacija omogućava promjenu uglova i položaja posmatrača u odnosu na Sunce. I tako

se stvara duga ili ne (sl.40). Simulacija može da vam omogući da utvrđite pod kojim uslovima možete da vidite dugu. Iz teorijskog razmatranja nastanka ovog prirodnog fenomena, znamo da ugao pod kojim svjetlost pada na kišne kapi ne smije biti veći od 42° . Simulacija pokazuje i daje odgovor na pitanje zašto je to tako.

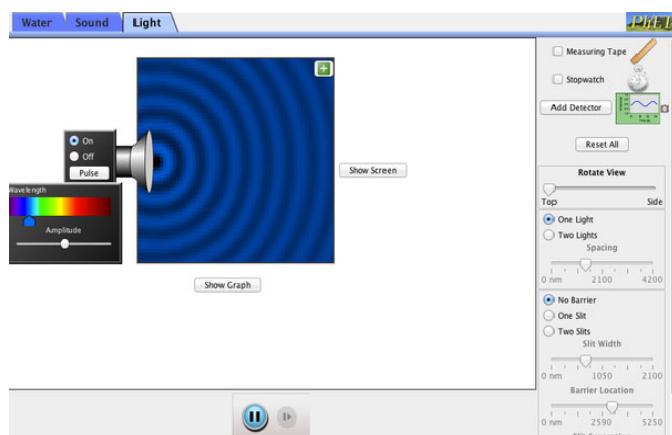


Slika 40.

9.1.f. Interferencija talasa (vodenih, zvučnih, svjetlosnih)

Ovu odličnu simulaciju sam primijenio pri obradi nastavne jedinice interferencija talasa. Simulacija omogućava mijenjanje mnogih parametara i omogućuje praćenje šta se dešava sa određenom vrstom talasa, pri tim promjenama. Simulacija može da se primjenjuje pri obradi novih nastavnih jedinica, kao i kod ponavljanja.

Postoji mogućnost promjene vrste talasa (talasi na vodi, zvučni talasi, svjetlosni talasi). Takođe, može se mijenjati talasna dužina svjetlosti koja se koristi pri simulaciji, postaviti zaklon sa jednim ili dva otvora na pravac prostiranja svjetlosti, zatim mijenjati udaljenost zaklona u odnosu na izvor svjetlosti, kao i širina otvora na zaklonu (sl.41). U zavisnosti od toga, koja se nastavna jedinica obrađuje, ciljevi primjene simulacije se mijenjaju. Konkretno, primijenio sam simulaciju da bi učenici uočili šta se dešava, kada se mijenja širina otvora na zaklonu. Širina otvora može da se mjeri simuliranim uređajem. On može da mjeri red veličine nanometara.



Slika 41.

9.1.g. Difrakcija talasa na površini jezera

Svi smo se ponekad igrali na jezeru bućkajući vodu i izazivajući talase. Video prezentacija, koji pokazuje kako izazvati difrakciju talasa na mirnoj površini vode, ima jak vizuelni efekat, a cilj joj je bolje razumijevanje difrakcije svih vrsta talasa. Ovo je dobar način da se objasni interferencija talasa, koja može da se vizuelno prikaže na ovaj način.

Može se mijenjati razmak između lopti i proučavati efekat, koji nastaje na površini vode (sl. 42.a.b.). Cilj video prezentacije je da učenici efikasnije prepoznaju pojavu i uoče efekte, koje ona izaziva. Sve video prezenetacije, kojima se pokazuje tj. simulira pojava na kvalitativnom nivou, je bolje i efikasnije upotrijebiti u školama u kojima se fizika izučava jednu ili dvije godine. U gimnaziji

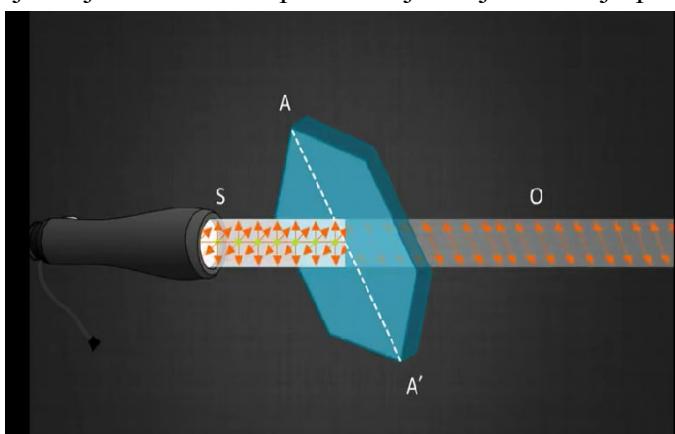


je bolje uputiti učenike da sami pogledaju video kao pripremu za nastavnu jedinicu, jer se od njih očekuje da imaju veće razumijevanje fizičkih pojava i na kvalitativnom i kvantitativnom nivou.

Slika 42.a.b.

9.1.h. Animacija polarizacije svjetlosti na kristalu

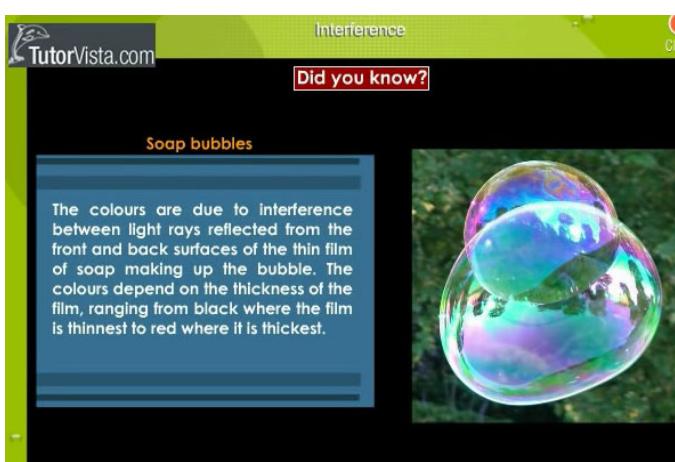
Animacija prikazuje polarizaciju svjetlosti na kristalu (sl.43), koja se može koristiti na času obrade nastavne jedinice: *Polarizacija svjetlosti*. Cilj ove simulacije je da učenici uoče vizuelno oscilovanje svjetlosti u svim mogućim prvcima okomito na pravac prostiranja svjetlosti. Kada svjetlost dođe do kristala (polarizatora), ona će proći kroz kristal samo u jednoj ravni - ravni polarizacije. Svjetlost koja prođe kroz kristal, osciluje samo u toj ravni.



Zakretanjem kristala se vidi da će i dalje svjetlost prolaziti u jednoj ravni, ali ne istoj kao u navedenom slučaju. Prednost ove animacije je u tome, što učenici mogu vizuelno da uoče šta znači oscilovanje svjetlosti u svim prvcima okomito na smjer prostiranja, a zatim i da uoče kako se to prostire polarizovani zrak svjetlosti

Slika 43.

9.1.i. Interferencija na tankim slojevima



Interferencijski efekti najčešće se vide na tankim slojevima, kao što su mrlje od ulja na površini vode (sl 44b) ili mokrog asfalta i mjehurovi od sapunice (sl.44.a). Razne boje, koje se vide kada Sunčeva svjetlost (bijela) pada na takve slojeve pruzrokovane su interferencijom svjetlosnih talasa, odbijenih od prednje i zadnje površine tankog sloja. Debljina sloja je, obično reda veličine, talasne dužine upotrijebljene svjetlosti. Takođe, žive boje perja nekih ptica, kao što su pauni i neke tropске ptice ili krila nekih leptira, ne potiču od njihovog pigmenta nego od interferencije svjetlosti na tankim slojevima providne materije, od koje su napravljeni. Tehnologija tankih filmova (slojeva) je veoma razvijena i široko se koristi u kontroli odbijanja ili propuštanja svjetlosti ili izračene toplote na površinama.

Slika 44.a.b.

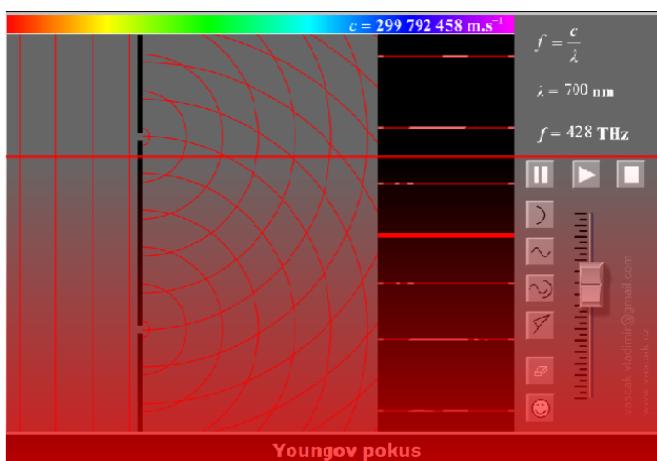
Ove animacije i simulacije su pogodne za kvalitativno shvatanje pojava. Daju mogućnost prepoznavanja sličnih pojava u prirodi. Takođe, u gimnazijama mogu da se primjene prije kvantitativnog razmatranja pojave interferencije na tankim slojevima, odnosno fizičkog i matematičkog razmatranja i objašnjavanja nastanka pojava.

9.1.j. Simulacija Jangovog eksperimenta

Tomas Jang (*Thomas Young; Milverton 1773-1829*) je izvršio eksperiment koji potvrđuje talasnu prirodu svjetlosti i time postavio talasnu teoriju na čvrste eksperimentalne osnove. Njegov eksperiment je bio posebno ubjedljiv, jer se osnovu njega može izračunati talasna dužina upotrijebljene svjetlosti u eksperimentu. Na ovaj način je prvobitno izmjerena talasna dužina svjetlosti. Ova simulacija omogućava prikaz talasa na različite načine: kao sinusoidalnu promjenu koja se kreće od otvora do tačke na zaklonu ili kao talasni front koji

dolazi do otvora i širi se dalje od otvora na osnovu *Hajgensovog principa*. On kaže da svaka tačka otvora postaje sekundarni izvor talasa. Jangov eksperiment omogućava vizuelan prikaz načina stvaranja koherentnih talasa, korištenjem jednog izvora (sl.45). Talasi, koji kreću od otvora, su koherentni. Potiču od istog izvora pa je prema tome ispunjen osnovni uslov za pojavu interferencije.

Slika 45.



9.1.k. Lojdovo ogledalo



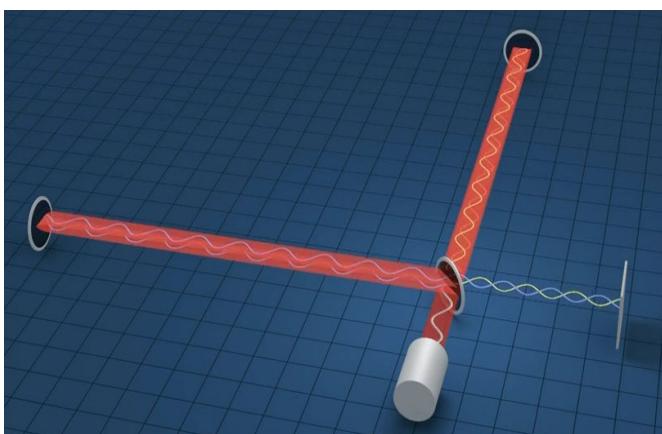
Kod pojave interferencije je potrebno da talasi svjetlosti uvijek budu koherentni, jer to je potreban uslov da bi uopšte došlo do interferencije svjetlosti. Kod primjene Lojdovog ogledala (sl.46.a), položaj tamnih i svjetlih pruga su obrnuti u odnosu na sliku, dobijenu pomoću dva stvarna koherentna izvora

(kao kod Jangovog eksperimenta). Ovo ukazuje na činjenicu da se svjetlosni talasi, pri dolasku sa izvora i slike izvora sa Lojdovog ogledala, razlikuju u fazi za 180° . Ta fazna razlika nastaje prilikom odbijanja svjetlosti.

Slika 46.a.b.

Ova simulacija može da se primjeni kao način da se pokaže kako formirati koherentne izvore svjetlosti i da elektromagnetični talasi, prilikom odbijanja od gušće sredine u odnosu na onu kroz koju su do tada išali, uvijek doživljavaju promjenu faze za 180^0 (sl.46.b).

9.1.l. Majkelsonov interferometar



Interferometar je uređaj koji se može koristiti za mjerjenje dužina ili promjene dužine, pomoću interferacionih pruga (sl.47). Ovaj uređaj je prvobitno projektovao *A.A. Majkelson* 1881. godine.

Slika 47.

Princip rada se zasniva na promjeni dužine puta svjetlosnog zraka koji prolazi kroz predmet čiju debljinu želimo mjeriti. Talas svjetlosti dolazi sa izvora do ogledala, koje je postavljeno pod uglom od 45^0 , u odnosu na pravac svjetlosnog zraka. Ogledalo propušta polovicu talasa, a polovicu odbija. Svjetlost se podijelila na dva zraka. Talasi se odbijaju od dva ogledala, koji su postavljeni na jednakoj udaljenosti od polupropusnog ogledala. Oba talasa na kraju stižu do oka posmatrača. Ono što posmatrač vidi su krive ili približno prave interferencione linije koje liče na zebrine pruge. Razlika puteva ova dva talasa je $2d_2 - 2d_1$. Što god da mijenja ovu putnu razliku, izazvaće promjenu fazne razlike između ovih talasa u oku posmatrača. Cilj animacije je prikaz primjene interferencije u mjerenu veoma malih dužina u fizici.

9. Zaključak

Eksperimenti bi trebalo da budu zastupljeniji u nastavi fizike. U toku nastavnog procesa, savršeno bi bilo kada bi se gotovo svaki pojam koji naučimo, svaki fizički zakon ili veličina mogli eksperimentalno potkrijepiti. To bi pomoglo ne samo učenicima, koji bi na očigledan način lakše uočavali pojave i shvatali nastavno gradivo nego bi i njihovim predavačima omogućilo da lakše i na zanimljiviji način približe apstraktne pojmove, preko očiglednih primjera.

Današnje generacije đaka veoma dobro vladaju informacionim tehnologijama pa je primjena računara i multimedijalnih sadržaja u nastavi gotovo obavezna. Način razmišljanja, tumačenja, kao i shvatanja novih pojnova ovih generacija đaka, zavisi od načina prezentovanja tih pojava.

Sve to ističe potrebu za mijenjanjem načina rada, načina organizovanja nastave i načina pogleda na svijet. Multimedija kao način za organizovanje informacija, prezentovanja sadržaja, sredstvo za učenje ili stvaranje ideja, postavlja učenike u aktivnu poziciju nastavnog procesa i može se uspješno ugraditi u nastavni proces izučavanja fizike.

10. Literatura

1. Đurić, B. , Ćulum, Ž. , (1978). Fizika IV deo-Optika, Univerzitet u Novom Sadu, Mašinski fakultet, Novi Sad
2. Grupa autora, (2018). Zbornik izabralih radova 6. Međunarodne konferencije o nastavi fizike u srednjim školama, Aleksinačka gimnazija, Aleksinac
3. Grupa autora. (2005). Predavanja iz fizike, Tehnički fakulteti Univerziteta u Beogradu, Beograd
4. Majl, A. (1968). Kreativnost u nastavi, „Svetlost“- Izdavačko preduzeće, Sarajevo
5. Matijević, M. (2017). Nastava i škola za net – generacije, Učiteljski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
6. Topolovčanin,T., Rajić,V., Matijević, M. (2017). Konstruktivistička nastava (teorija i empirijska istraživanja), Učiteljski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
7. Tomljenović, I. (2013). Eksperimentalne vježbe iz fizike-Optika, Univerzitet u Banjaluci, Prirodno matematički fakultet, Banjaluka
8. Vučić, V. (1986). Osnovna merenja u fizici, Naučna knjiga, Beograd
9. <https://phet.colorado.edu/sr/simulations/category/physics>
10. <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=hr>
11. <https://sr-rs.facebook.com/fizika.animacije/>
12. <https://www.tutorvista.com/>
13. <https://www.physics-chemistry-interactive-flash-animation.com/>

Biografija:



Mladen Karajica

Rođen u Prijedoru 30.12.1968. godine. Završio Osnovnu školu „Bratstvo“ u Trnopolju kao i Srednju elektrotehničku školu u Prijedoru. Diplomirao na Prirodno matematičkom fakultetu u Banjoj Luci na Odsjeku za fiziku, smjer profesor fizike. Zaposlen u JU Gimnazija „Sveti Sava“ Prijedor i JU Elektrotehnička škola Prijedor.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsti rada: Master rad

VR

Autor: Mladen Karajica

AU

Mentor: Dr Fedor Skuban, vanredni profesor

MN

Naslov rada: Značaj eksperimentalnih vježbi i multimedijalnih sadržaja u nastavi fizike pri obradi teme »Talasna fizika« u Srednjim školama

Jezik publikacije: srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda: srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja: Srbija

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2018

GO

Izdavač: Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa: Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,
Novi Sad

MA

Fizički opis rada: 9 poglavlja/50 strana/ / 42 slika/

FO

Naučna oblast: Fizika

NO

Naučna disciplina: Nastava fizike

1.1.1.1 ND

Predmetna odrednica/ ključne reči: Difrakcija, interferencija, polarizacija, disperzija, multimedija, nastava, metodika nastave fizike, simulacije, animacije

PO**UDK**

Čuva se: Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

Važna napomena: nema

VN

Izvod: Cilj ovog rada je da prikaže eksperimente i demonstracije koje je moguće izvesti u nastavi fizike pri obradi teme Talasna optika. Objasnji značaj upotrebe multimedijalnih sadržaja u nastavi , kao i upotrebu simulacija i animacija u obradi zadate teme.

Datum prihvatanja teme od NN

veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik: dr Ivana Bogdanović, docent

član: dr Fedor Skuban, vanredni profesor

član: dr Mirjana Šiljegović, docent

UNIVERSITY OF NOVI SAD**FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS****KEY WORDS DOCUMENTATION**

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograph publication

DT

Type of record: Textual printed material

TR

Content code: Final paper

CC

Author: Mladen Karajica

AU

Mentor/comentor: Ph.D.Fedor Skuban, Associate profesor

MN

Title: The importance of using the multimedial contents and doing experiments during physical education in the frame of the theme called "Wave optics" in high schools".

Language of text:

LT

Serbian (Latin)

Language of abstract: English

LA

Country of publication: Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2018

PY

Publisher: Author's reprint

PU

Publication place: Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića
4, Novi Sad

PP

.1.1.1.1 *Physical description:* 10 chapters/ 50 pages/ 2 tables/42 pictures/

.1.1.1.2 PD

Scientific field: Physics

SF

Scientific discipline:

SD

Subject/ Key words: Diffraction, interference, polarization, dispersion, multimedia-
classes, methods of teaching physics, simulations and
animations

Holding data:

HD

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

Note:

none

N

Abstrakt:

The purpose of this paper is to present experiments and demonstrations which could be shown at physics classes as the subject of optics. The aim of this paper is also to explain the importance of using multimedia classes as well as using simulations and animations while teaching the relevant subject.

*Accepted by the Scientific
Board:*

ASB

Defended on:

DE

Thesis defend board:

DB

President: dr Ivana Bogdanović, docent

Members: dr Fedor Skuban, Associate profesor

Members: dr Mirjana Šiljegović, docent