

# Eksperimenti s laserom u nastavi fizike

---

Vukov, Rita Dora

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:260988>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

Rita Dora Vukov

Eksperimenti s laserom u nastavi fizike

Diplomski rad

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: PROFESOR FIZIKE

**Rita Dora Vukov**

Diplomski rad

**Eksperimenti s laserom u nastavi fizike**

Voditelj diplomskog rada: V. pred. dr. sc. Maja Planinić

Ocjena diplomskog rada: \_\_\_\_\_

Povjerenstvo: 1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_

Datum polaganja: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2016.

*Mojoj noni*



*Posebna zahvala v. pred. dr. sc. Maji Planinić na vođenju diplomskog rada, beskrajnom strpljenju i razumijevanju.*

*Od srca se zahvaljujem prof. dr. sc. Mirku Planiniću na ogromnoj potpori tijekom cijelog studija.*

*Beskrajno hvala mojoj obitelji.*

*Mojim dragim prijateljima i svima koji su bili uz mene neizmjereno hvala.*

## Sažetak

Eksperimenti čine važan dio istraživački usmjerene nastave fizike. Mnoge ideje i koncepti optike i moderne fizike mogu se učenicima približiti kroz eksperimente koji uključuju primjenu lasera. Neki eksperimenti s laserom već su u uporabi u školama, no postoje još mnoge neiskorištene mogućnosti primjene lasera u nastavi fizike. Cilj ovog diplomskog rada bio je istražiti, proučiti i prezentirati moguće nove školske eksperimente s laserom, kao i načine njihove implementacije u nastavni proces. Eksperimenti opisani u ovome radu samo su neki od primjera eksperimenata koji se mogu izvesti pomoću lasera. Pomoću njih se mogu objasniti fundamentalni koncepti i pojave geometrijske i valne optike, kao što su indeks loma, ogib svjetlosti, totalna refleksija svjetlosti i primjena lasera u holografiji. Eksperimenti su primjenjivi za svaki uzrast te se upravo iz tog razloga mogu obrađivati i u srednjoj kao i u osnovnoj školi, bilo u sklopu redovne ili dodatne nastave.

# **Experiments with lasers in physics education**

## **Abstract**

Experiments are an integral part of the inquiry based physics teaching. Many ideas and concepts of optics and modern physics can become more accessible to students through experiments with lasers. Certain laser experiments are already commonly used in schools, but there are many other ways of using lasers in physics teaching that have not been fully exploited. The aim of this thesis was to research, study and present various novel school laser experiments, as well as to suggest how to implement them in the teaching process. Experiments described in this thesis are just some examples of experiments which can be performed using a laser. They can help to explain fundamental concepts and phenomenons of geometric and wave optics, such as index of refraction, diffraction of light, total reflection of light and the application of lasers in holography. Experiments are suitable for pupils of all ages and can therefore be used in elementary as well as in high school, in regular or advanced physics classes.

## Sadržaj

1	Uvod.....	2
2	Fizikalna načela lasera .....	3
2.1	Svjetlost.....	4
2.2	Atom.....	4
2.3	Međudjelovanje atoma i fotona.....	5
2.3.1	Apsorpcija .....	6
2.3.2	Spontana emisija .....	6
2.3.3	Stimulirana emisija.....	7
2.4	Posebna svojstva lasera .....	8
2.4.1	Monokromatičnost .....	8
2.4.2	Koherentnost .....	8
2.4.3	Usmjerenost.....	8
2.5	Osnovni dijelovi lasera.....	9
2.6	Princip rada lasera .....	10
3	Uloga eksperimenta u nastavi .....	13
3.1	Način izvođenja eksperimenta .....	13
3.1.1	Frontalni eksperiment.....	13
3.1.2	Individualni ili grupni eksperiment .....	14
3.2	Uloga eksperimenta.....	14
4	Eksperimenti s laserom u nastavi fizike .....	16
4.1	Pravocrtno širenje i totalna refleksija svjetlosti .....	16
4.2	Apsorpcija i refleksija svjetlosti .....	19
4.3	Mjerenje brzine svjetlosti pomoću lasera i želatine .....	23
4.4	Difrakcija na CD-u .....	31
4.5	Holografija .....	38
4.6	Laserska svjetlost – kinestetičko modeliranje .....	47
5	Zaključak.....	51
6	Literatura .....	52

## 1 Uvod

“Laser je rješenje koje traži problem”- tim su riječima znanstvenici opisali uređaj na samom početku njegovog razvoja, koji je do današnjeg dana mnogo puta bio povezan s Nobelovom nagradom. To novo otkriće našlo je široku upotrebu, koriste ga znanstvenici, kao i obični ljudi, i kao takvo zaslužuje maksimalnu pažnju. Pojam laser poznat je široj populaciji kao i ime neke poznate sportske veličine, no većina samo naslućuje njegovu funkciju, a mnogi pod pojmom lasera podrazumijevaju različite stvari.

Laseri su u današnjem modernom društvu duboko ukorijenjeni u ljudsku svakodnevicu. Slušanje CD-a, gledanje filmova ili serija na DVD-u pa čak i očitavanje cijene putem bar kodova u trgovini uključuje prisustvo lasera, nešto što se prije pedesetak godina nije moglo ni naslutiti. Važnu ulogu laser danas ima i u medicini: zbog velike preciznosti koristi se u dijagnostičkim, terapijskim i operativnim zahvatima, zato što su pacijenti tako izloženi manjim traumama. Svoje je mjesto laser također našao i u industriji, gdje se koristi kao vrlo precizan instrument za mjerenje [1]. Očito da latinska poslovice “Historia est magistra vite” nije točna, zato što čovječanstvo ne uči dovoljno iz svoje povijesti, pa se laseri danas koriste i kao vrlo opasno oružje.

Theoderu Maimanu<sup>1</sup> se pripisuje otkriće prve laserske zrake u Hughes Research Laboratoriju u Kaliforniji, 16. svibnja 1960. godine [2].

Laser je izuzetno vrijedan eksperimentalni uređaj te može naći ulogu u nastavi fizike. Ekonomičan je, ne traži velike komplikacije oko eksperimentalnog postava i vrlo je lako dostupan. Prema nastavnom programu fizike, u trećem razredu srednje škole obrađuju se nastavne cjeline “Geometrijska optika” i “Valna optika”. U geometrijskoj se optici, između ostalog, obrađuju nastavne jedinice “Refleksija svjetlosti” i “Lom svjetlosti”. Te su nastavne jedinice upravo idealne za eksperimente u kojima se laser koristi. Zbog svog usmjerenog snopa, laserom se može jasnije prikazati lom svjetlosti nego npr. pomoću ručne baterije. Također, u valnoj optici, laserom se učenicima može lijepo i jasno pokazati interferentni i difrakcijski uzorak. Uz oprezno rukovanje i dobro osmišljen eksperiment pomoću lasera možemo pokazati neke fundamentalne pojave u fizici.

---

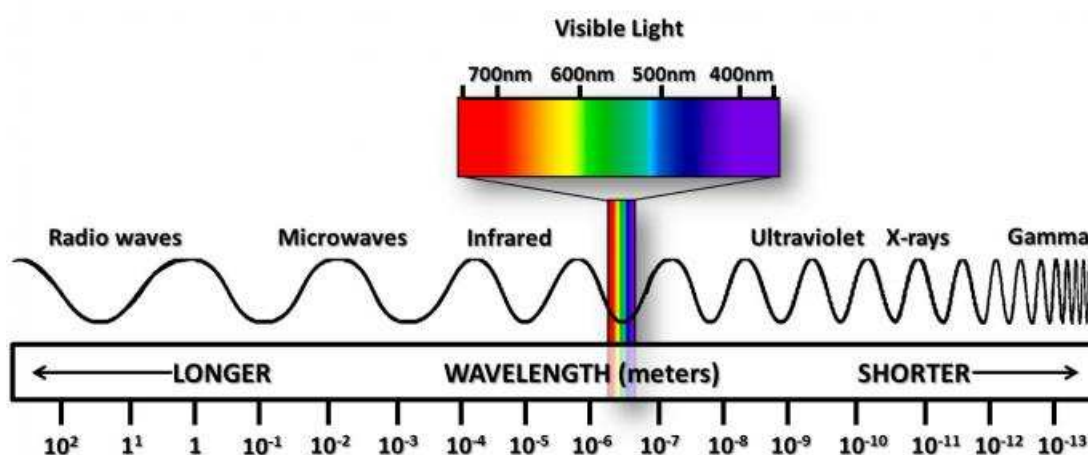
<sup>1</sup> Theodor Maiman (1927 -2007) je bio američki inženjer i fizičar.

## 2 Fizikalna načela lasera

Što je zapravo laser?

Laser je kratica engleskih riječi: “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, što znači pojačavanje svjetlosti putem stimulirane emisije [3]. To se pojačavanje svjetlosti odnosi na elektromagnetske valove u vidljivom dijelu spektra, koji je samo mali dio ukupnog spektra elektromagnetskog zračenja i obuhvaća valne duljine od 380 do 750 nm.

Ljudsko oko registrira samo određeni raspon valnih duljina, tj. može raspoznati samo valne duljine koje su unutar vidljivog dijela spektra elektromagnetskog zračenja. Različite valne duljine u području vidljive svjetlosti percipiramo kao različite boje, gdje su ljubičasta i plava svjetlost okarakterizirane najkraćom valnom duljinom, dok crvena svjetlost ima najdulju valnu duljinu (Slika 2.1).



Slika 2.1 Spektar elektromagnetskog zračenja [17]

## 2.1 Svjetlost

Da bismo uopće razumjeli na koji način radi laser, moramo prvo razmotriti što je zapravo svjetlost. Svjetlost se sastoji od čestica, koje nazivamo fotonima. Svaki foton ima određenu energiju:

$$E=hf,$$

gdje  $h$  označava Planckovu konstantu, a  $f$  frekvenciju svjetlosti.

Da bismo saznali kako svjetlost nastaje potrebno je razumjeti osnovnu jedinicu materije - atom.

## 2.2 Atom

Niels Bohr<sup>2</sup> je postavio 1913. godine model atoma. Prema predodžbi Bohra jedan ili više elektrona kruže u stabilnoj orbiti oko pozitivno nabijene jezgre. Takav opis sadržava u sebi proturječje. Poznato je da se naboji suprotnih predznaka privlače, a to znači da bi se negativni elektroni obušili na pozitivnu atomsku jezgru. Atom bi se tada raspao. To se ipak ne događa, što zaključujemo svojim neposrednim iskustvom [4].

Što znači „stabilnost“ u smislu Bohrove predodžbe? Stabilnost znači ponajprije, da se elektron ne obušiti na atomsku jezgru. No, znači i to da elektron kretanjem po orbiti ne predaje energiju u obliku elektromagnetskog zračenja. Ta pretpostavka ni u kojem slučaju nije sama po sebi razumljiva jer ubrzani naboji emitiraju elektromagnetsko zračenje [4].

U Bohrovom modelu atoma, elektroni se kreću po stabilnim i diskretnim orbitama oko atomske jezgre, a da pritom ne zrače. Orbite pritom imaju određenu udaljenost od atomske jezgre i odgovarajuću energiju vezanja  $E_n$  elektrona<sup>3</sup> koji se giba po toj putanji:

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2},$$

gdje je  $n$  prirodan broj ( $n = 1,2,3, \dots$ ) te je nazvan glavnim kvantnim brojem.

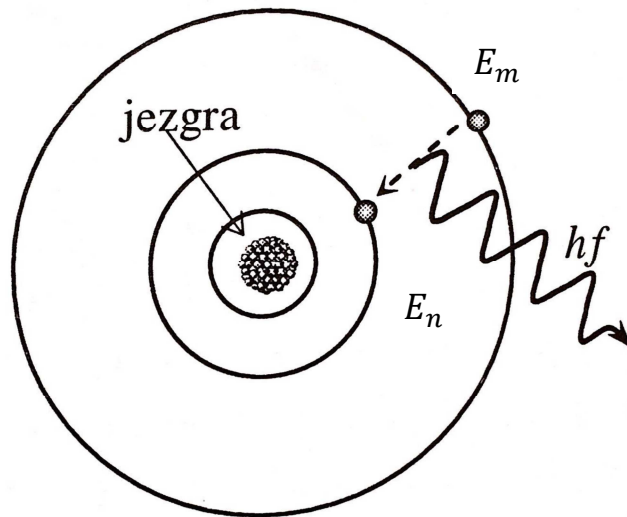
---

<sup>2</sup> Niels Henrik David Bohr (1885 -1962) bio je danski fizičar.

<sup>3</sup> Energija vezanja elektrona je energija koju trebamo uložiti da bismo elektron odvojili od jezgre.

Nadalje, kada elektron prelazi s višeg energetskeg stanja „m“, većeg polumjera, u niže energetske stanje „n“, manjeg polumjera (Slika 2.2), samo tada emitira foton energije  $E_f$ , koja je jednaka razlici energije tih dvaju stanja [5]:

$$E_f = E_m - E_n.$$



Slika 2.2 Prijelaz elektrona [5]

Bohrov model je kasnije napušten i zamijenjen kvantno mehaničkim modelom bez mogućnosti vizualizacije. Umjesto orbita sada se javlja valna funkcija  $\psi$ , čiji kvadrat daje vjerojatnost pronalaska elektrona na određenom mjestu u prostoru. Ipak, oba modela se slažu da su atomu dozvoljene samo diskretne vrijednosti energije.

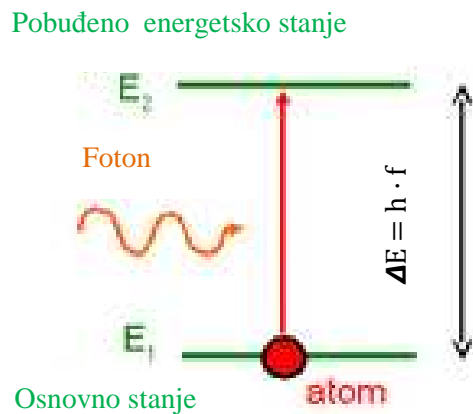
### 2.3 Međudjelovanje atoma i fotona

Prijelaz elektrona između dvaju energetskeg stanja povezan je s emisijom i apsorpcijom svjetlosti. Postoje tri vrste pripadajućih procesa: apsorpcija, spontana emisija i stimulirana emisija.



### 2.3.1 Apsorpcija

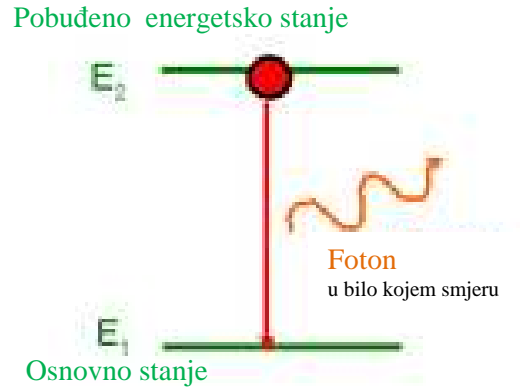
Elektron neće bez vanjskog utjecaja zamijeniti stanje niže energije sa stanjem više energije. Energija, koja je potrebna da bi se elektron potaknuo na prelazak, dolazi u obliku svjetlosti, dakle kao foton određene energije  $E=hf$ , koja točno odgovara razlici energije obaju energetske stanja. To znači da ako foton pogodi atom koji se nalazi u energetske stanju  $E_1$  (Slika 2.3.1), tada atom uzima njegovu ukupnu energiju, tj. apsorbira ga. Foton biva uništen, a atom prelazi u više energetske stanje  $E_2$  [4].



slika 2.3.1 Apsorpcija fotona [18]

### 2.3.2 Spontana emisija

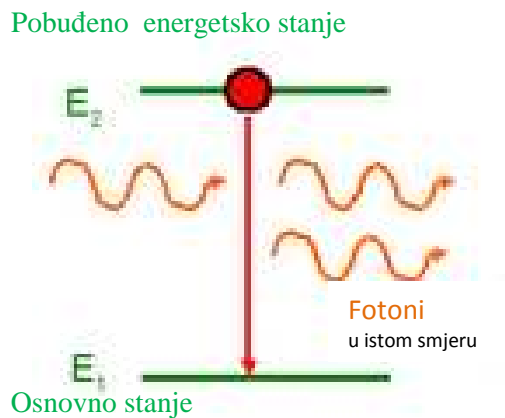
Promotrimo proces koji je suprotan procesu apsorpcije. Naime, dok kod apsorpcije nestaje foton, kod spontane se emisije stvara foton. Jednom kada se atom nalazi u pobuđenom stanju on ima tendenciju prijeći na niže energetske stanje, koje je stabilnije, te se to odvija bez vanjskog utjecaja. Pri prijelazu s pobuđenog stanja  $E_2$  u niže energetske stanje  $E_1$  (Slika 2.3.2) atom emitira foton, čija je energija jednaka razlici tih dvaju stanja. Foton se može emitirati u bilo kojem smjeru [6].



Slika 2.3.2 Spontana emisija [18]

### 2.3.3 Stimulirana emisija

Treća je interakcija fotona i atoma za rad lasera najznačajnija. Kada na već pobuđeni atom naiđe foton, čija energija odgovara razlici pobuđenog stanja  $E_2$  i nižeg energetskeg stanja  $E_1$ , tada atom prelazi u stanje niže energije uz emisiju još jednog dodatnog fotona, koji je potpuno identičan upadnom fotonu (Slika 2.3.3). Za razliku od spontane emisije, smjer gibanja emitiranog fotona nije proizvoljan nego se podudara sa smjerom gibanja upadnog fotona [6].



Slika 2.3.3 Stimulirana emisija [18]

## 2.4 Posebna svojstva lasera

Za razliku od svih ostalih izvora svjetlosti, lasersku svjetlost karakteriziraju posebna svojstva. To su svojstva koja primjenu lasera čine toliko zanimljivom: monokromatičnost, koherentnost i usmjerenost.

### 2.4.1 Monokromatičnost

Obični izvori svjetlosti, kao npr. žarulja, emitiraju bijelu svjetlost, koja je sastavljena od mnoštva različitih valnih duljina, gdje svaka valna duljina svjetlosti predstavlja određenu boju. Za razliku od bijele svjetlosti, laserska se svjetlost sastoji od jedne boje, odnosno vrlo uskog raspona valnih duljina. Možemo reći da je laserska svjetlost monokromatska [7].

### 2.4.2 Koherentnost

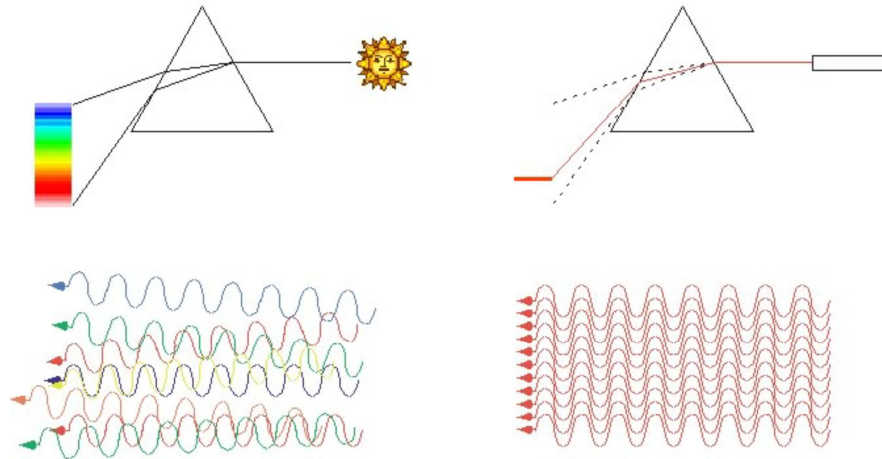
Riječ koherentnost dolazi od latinske riječi „cohaerens“, što znači povezan, spojen, koji se drži zajedno. Svojstvo koherentnosti kod lasera podrazumijeva da svi valovi laserskog snopa titraju u fazi. Budući da nema nikakve razlike u fazi, svaki brijeg ili dol jednog vala se podudara sa brijegom ili dolom svih ostalih valova.

Doseg laserske svjetlosti može biti i do nekoliko stotina kilometara, za razliku od svjetlosti iz uobičajenih izvora, čiji doseg može iznositi svega jedan metar [7].

### 2.4.3 Usmjerenost

Laserske zrake su usmjerene, dakle šire se prostorom u relativno uskom prostornom kutu, što znači da je raspršenje snopa zanemarivo. Na taj način dobivamo ogromnu energiju koju možemo fokusirati [7].

Slika 2.4 prikazuje razliku između bijele i laserske svjetlosti. Vidljivo je da se bijela svjetlost sastoji od više valnih duljina za razliku od laserskog snopa koji se sastoji samo od jedne valne duljine. Nadalje, na slici se vide još dva svojstva koja čine laserski snop toliko posebnim; usmjerenost i koherentnost, svojstva kojima se bijela svjetlost ne može opisati.



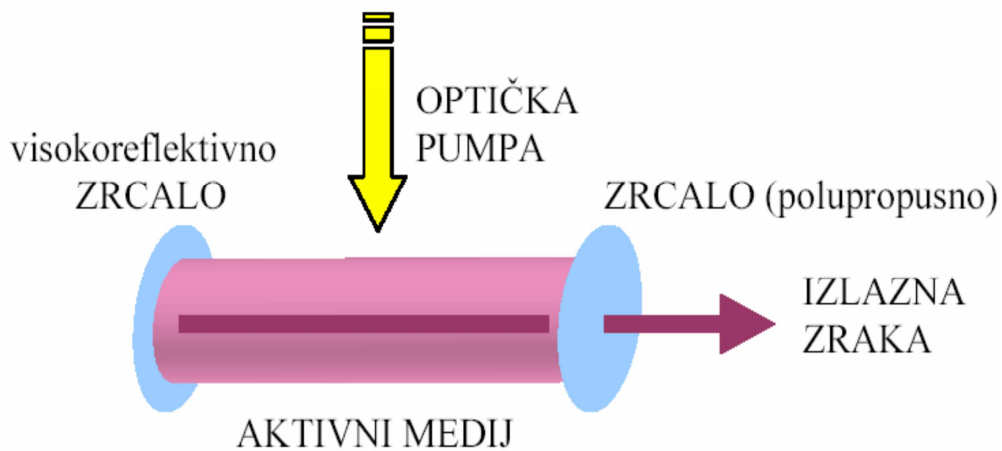
Slika 2.4 Razlika između bijele i laserske svjetlost [19]

## 2.5 Osnovni dijelovi lasera

Osnovni dijelovi lasera mogu se podijeliti na sljedeće komponente:

- **Laserska pumpa** osigurava energiju potrebnu za rad lasera.
- **Aktivni medij** je supstanca koja ispunjava prostor rezonatorske kutije. Ovisno o izboru aktivnog medija možemo odrediti na kojoj će frekvenciji laser raditi.
- **Rezonatorska kutija** ima na svojim krajevima dva ogledala, a u njoj se nalazi aktivni medij. Jedno je ogledalo nepropusno, što znači da reflektira sve upadne fotone, dok je drugo polupropusno.

Slika 2.5 prikazuje osnovne dijelove lasera; lasersku ili optičku pumpu, aktivni medij i rezonatorsku kutiju.



Slika 2.5 Shematski prikaz osnovnih dijelova lasera [20]

## 2.6 Princip rada lasera

Uvjet emisije laserske svjetlosti je inverzija naseljenosti energetske stanja. Ona se događa kada se više atoma nalazi u pobuđenom nego u osnovnom stanju. Dosadašnji pojednostavljeni sustav, kod kojeg atom posjeduje samo osnovno energetske stanje  $E_1$  i jedno pobuđeno stanje, ne dopušta inverziju naseljenosti. Da bi se postigla inverzija gustoće naseljenosti, aktivni medij treba imati barem tri energetske stanja: osnovno stanje  $E_1$  te dva pobuđena stanja  $E_2$  i  $E_3$  (Slika 2.6).

Pomoću Maxwell – Boltzmannove funkcije raspodjele možemo odrediti broj atoma u određenom stanju u plinu. Funkcija opisuje broj atoma  $n_i$  nekog plina u termičkoj ravnoteži pri apsolutnoj temperaturi  $T$ , koji se nalaze u stanju energije  $E_i$ . Broj atoma  $n_i$  jednak je izrazu:

$$n_i = A e^{-\frac{E_i}{kT}},$$

gdje  $k$  označava Boltzmannovu konstantu, dok je  $A$  određena brojem atoma u plinu.

Negativni eksponent ukazuje na to da se manje atoma nalazi u stanju više energije. Ako energiju osnovnog stanja označimo s  $E_n$  i energiju pobuđenog stanja s  $E_m$ , tada je omjer broja atoma tih dvaju stanja jednak:

$$\frac{n_m}{n_n} = \frac{A e^{-\frac{E_m}{kT}}}{A e^{-\frac{E_n}{kT}}} = e^{-\frac{(E_m - E_n)}{kT}}$$

Podimo od pretpostavke da je izraz  $(E_m - E_n)$  jednak 2,0 eV (ili  $3,2 \cdot 10^{-19}$  J). Pri temperaturi od 3 000 K (temperatura usijane žarulje) slijedi izraz:

$$\frac{E_m - E_n}{kT} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{(1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}) \cdot (3\,000 \text{ K})} = 7,73$$

te je

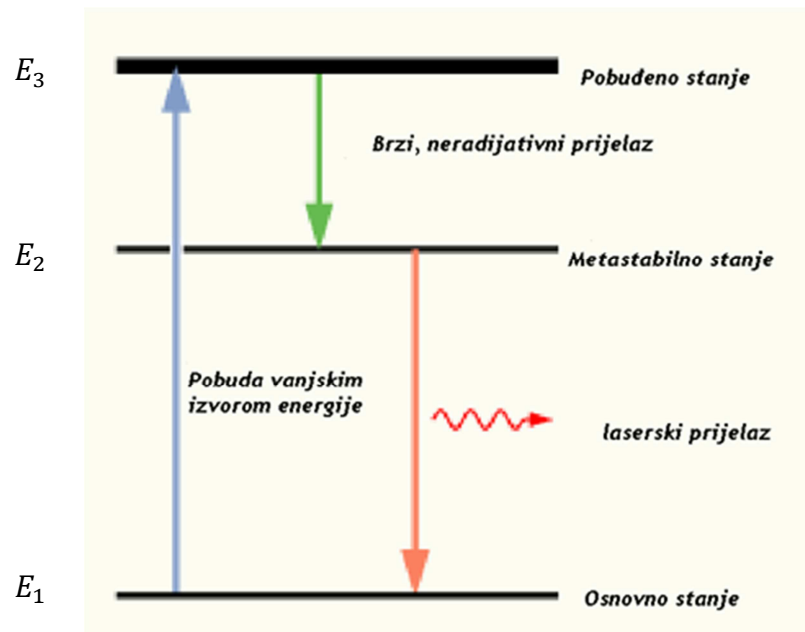
$$\frac{n_m}{n_n} = e^{-\frac{(E_m - E_n)}{kT}} = e^{-7,73} = 0,00044$$

Možemo zaključiti da je broj atoma  $n_m$  u energetsom stanju  $E_m$ , čak i pri visokoj temperaturi, ekstremno malen prema broju atoma  $n_n$  u osnovnom stanju  $E_n$ . To znači da pri umjerenj temperaturi nema dovoljno pobuđenih atoma koji bi bili izloženi stimuliranoj emisiji. Preciznije, emitirani foton nekog pobuđenog atoma zasigurno će biti prije apsorbiran od atoma koji se nalazi u osnovnom stanju nego od atoma u pobuđenom stanju.

Kada mnogo atoma apsorbira fotone energije  $E = E_m - E_n$ , oni prelazi u više energetske stanje te će tada omjer naseljenosti  $\frac{n_m}{n_n}$  narasti. Kako bi atome iz osnovnog stanja energije pobudili do energetske stanja  $E_3$ , treba dovesti energiju sustavu (pomoću svjetlosti ili na druge načine), te se takav proces naziva laserskim pumpanjem.

Uvjet da bi se uspostavila inverzija naseljenosti je da energetske stanje  $E_2$  bude *metastabilno*, odnosno da vrijeme života tog energetske stanja bude dovoljno dugo (tipično  $10^{-3}$  s) tako da su neki atomi zarobljeni u tom stanju. Zbog kratkog života energetske stanja  $E_3$  (tipično  $10^{-8}$  s), atomi će spontano prelaziti u energetske stanje  $E_2$  bez emitiranja fotona. Budući da se atomi ne mogu brzo relaksirati u osnovno stanje, počinju dominirati atomi u metastabilnom stanju. Ako sada naiđe foton, čija energija odgovara razlici energetske stanja  $E_2$  i  $E_1$ , tada će taj foton stimulirati prijelaz u osnovno stanje. Budući da će svaki foton induciran stimuliranom emisijom na isti način potaknuti emisiju daljnjih fotona, na taj se način povećava broj fotona, tj. nastaje lavina fotona.

Najčešće je pojačanje kod jednog prolaza kroz aktivni medij neznatno, stoga je svjetlosnu zraku potrebno usmjeriti više puta kroz medij. Pojačanje svjetlosti se postiže tako da se aktivni medij postavi između dvaju paralelnih zrcala, koja svjetlost reflektiraju više puta kroz aktivni medij. Laserska svjetlost, kakvu mi vidimo i poznajemo, nastaje tako što je jedno od dva zrcala polupropusno. Ukupni rezultat svih ovih procesa je usmjeren, koherentan svjetlosni snop, frekvencije  $f = (E_2 - E_1)/h$ , koji može biti vrlo intenzivan [6], [8].



Slika 2.6 Trostupanjski laser

### 3 Uloga eksperimenta u nastavi

Eksperiment je izuzetno bitan u nastavi fizike. Učenicima eksperiment daje direktno iskustvo fizikalne pojave i mogućnost da je istražuju. Eksperiment u nastavi pridonosi motivaciji učenika i daje polazište za razvijanje učeničkih ideja. Također, eksperiment čini nastavu dinamičnijom, kreativnijom i interesantnijom. No, mora se imati na umu da, koliko god je eksperiment suštinski privlačan, ako učenici nisu u njega aktivno intelektualno uključeni, tada on postaje beskoristan. Eksperiment kao takav ne osigurava automatski razumijevanje samog koncepta. Eksperiment u istraživački usmjerenoj nastavi fizike mora imati ulogu alata kojim bi se došlo do razumijevanja pojava i temeljnih konceptata fizike, te bi trebao biti ključan dio nastave prilikom kojeg su učenici intelektualno angažirani, odnosno prilikom kojeg aktivno uče. Eksperimente u nastavi možemo podijeliti prema njihovom načinu izvođenju i prema njihovoj ulozi.

#### 3.1 Način izvođenja eksperimenta

Prema načinu izvođenja eksperimente možemo podijeliti na frontalne i individualne ili grupne učeničke eksperimente.

##### 3.1.1 Frontalni eksperiment

Frontalni eksperiment izvodi nastavnik u obliku demonstracije, mjerenja ili računalne simulacije. Svaki frontalni eksperiment mora biti dobro vidljiv svim prisutnim učenicima u razredu da bi bilo jasno na koji je način nešto postavljeno ili spojeno. Pri izvođenju eksperimenta neophodno je učenicima ukratko opisati eksperimentalni postav i provjeriti poznaju li instrumente koje će koristiti. Prije početka izvođenja eksperimenta potrebno je učenike pitati kakav ishod eksperimenta očekuju i zašto. Nakon izvođenja eksperimenta važno je učenike pitati što su uočili te tražiti od njih da iznesu svoja opažanja. Ako se opažanja učenika ne slažu, eksperiment se u tom slučaju ponavlja još jedanput ili čak nekoliko puta, usmjeravajući pozornost učenika na ono što želimo da promatraju. Poslije izvedbe slijedi interaktivno tumačenje.



### 3.1.2 *Individualni ili grupni eksperiment*

Za razliku od frontalnog, individualni eksperiment izvode učenici svaki sam za sebe, a grupni eksperiment učenici podijeljeni u male grupe od dva, tri ili četiri člana. Najbolje je kada grupe rade iste eksperimente iz razloga što se tada mogu usporediti njihovi rezultati. Prije samog izvođenja eksperimenta pred učenike se postavi problem, koji bi se trebao pokušati riješiti eksperimentom. Na kraju svaka grupa iznosi svoje rezultate nakon kojih slijedi razredna rasprava.

### 3.2 *Uloga eksperimenta*

Eksperimente možemo podijeliti prema njihovoj ulozi u nastavnom procesu. Prema ulozi, eksperimenti se dijele na opservacijske, istraživačke i aplikacijske.

Svrha opservacijskog eksperimenta je da učenici opažaju i upoznaju novu pojavu kako bi skupili informacije o njoj. Opservacijski eksperiment se izvodi na početku nastavne jedinice, za otvaranje problema i za uvođenje nove pojave ili koncepta te kao osnovica za uvođenje istraživačkog pitanja sata.

Nadalje, za razliku od opservacijskog eksperimenta, istraživački eksperiment se izvodi u središnjem dijelu sata, prilikom konstrukcije modela koji će opisati novu pojavu. Istraživačkim eksperimentom se mogu provjeriti moguća objašnjenja pojave (hipoteze) i istražiti međuovisnost varijabli koje utječu na promatranu pojavu.

Za razliku od prethodna dva tipa eksperimenta, aplikacijski eksperiment se izvodi tek kada učenici dobro vladaju novim konceptima. Aplikacijskim eksperimentom učenici primjenjuju poznate koncepte u novim situacijama.

Bilo kakvu ulogu imao eksperiment, učenici u njega moraju biti aktivno uključeni. Intelktualna angažiranost učenika za vrijeme eksperimenta postići će se postavljanjem pitanja, te učeničkim samostalnim davanjem i zapisivanjem pretpostavki, opažanja, opisa eksperimenta, mjernih rezultata, zaključaka, kao i razrednom diskusijom dobivenih rezultata. Potrebno je napomenuti da eksperiment u nastavi neće proizvesti nikakav napredak u razvijanju učenikova razmišljanja, ako će ga učenici samo pasivno promatrati

bez intelektualnog angažmana. U tom slučaju ekperiment prestaje biti instrument postizanja aktivnog učenja [9], [10].

**Tabela 3.1 Uloga ekperimenta u nastavi**

<b>Ekperiment u nastavi</b>	
<b>Prema načinu izvođenja</b>	<b>Prema ulozi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Frontalni</b></li> <li>• <b>Individualni</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Opservacijski</b></li> <li>• <b>Istraživački</b></li> <li>• <b>Aplikacijski</b></li> </ul>

## 4 Eksperimenti s laserom u nastavi fizike

### 4.1 Pravocrtno širenje i totalna refleksija svjetlosti

Gradivo geometrijske optike se u nastavi fizike prema planu i programu obrađuje u osmom razredu osnovne i trećem razredu srednje škole. Ovdje su opisana dva eksperimenta, koja su jednostavna i ne zahtijevaju veliku opremu, a kojima se mogu pokazati osnovni koncepti geometrijske optike, kao što su pravocrtno širenje svjetlosti, i pojava totalne refleksije [11].

Opis eksperimenta:

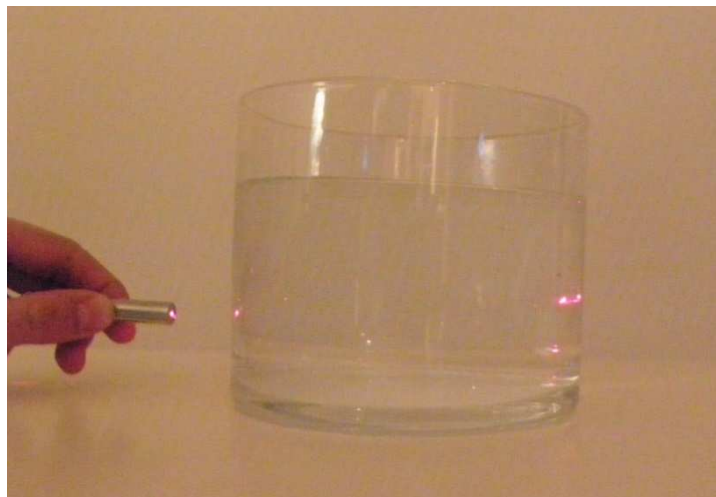
Eksperimentalni postav ovog eksperimenta je vrlo jednostavan, a oprema potrebna za izvedbu eksperimenta je lako dostupna i ekonomična.

Pravocrtno širenje svjetlosti

Materijali:

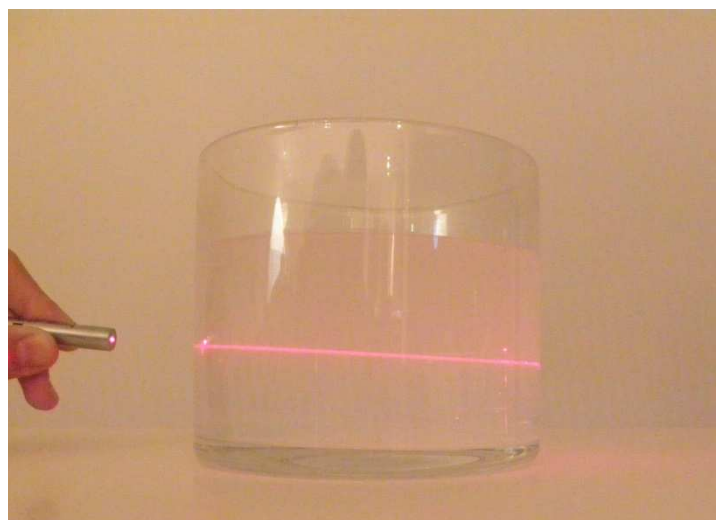
- laser
- staklena (pneumatska) kada
- voda
- bjelilo za kavu (namirnica koja se može kupiti u bilo kojem dućanu mješovite robe).

Staklenu kadu je potrebno postaviti na neko vidljivo mjesto. Staklenu kadu se zatim napuni vodom. Propustite laserski snop kroz staklenu kadu napunjenu vodom. Putanja laserskog snopa se ne vidi (Slika 4.1.1).



**Slika 4.1.1 Laserski snop usmjeren kroz vodu**

Kako bi se laserska svjetlost vidjela, u vodu je potrebno dodati četvrtinu žličice bijelila za kavu. Kada se ponovno usmjeri laserski snop prema novonastaloj koloidnoj otopini, laserski snop postaje vidljiv (Slika 4.1.2).



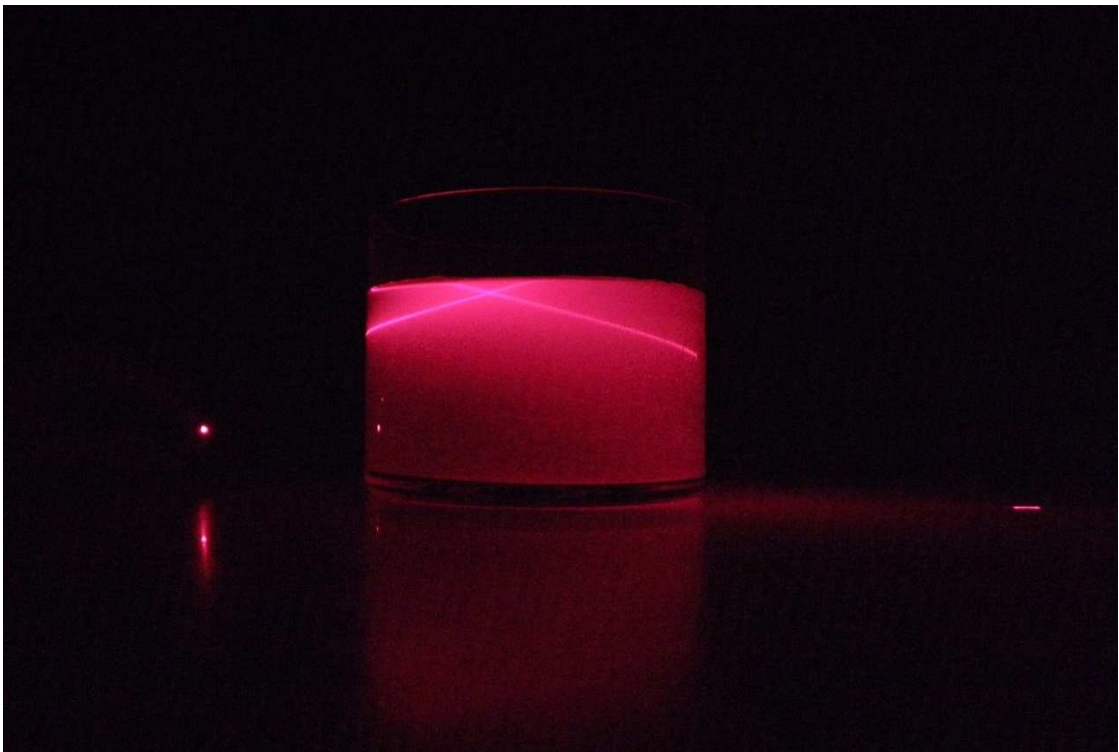
**Slika 4.1.2 Laserski snop usmjeren kroz otopinu**

Ekperiment je atraktivan, jasno vidljiv i vrlo direktan te bi u nastavi bio idealan kao demonstracijski opservacijski ekperiment za upoznavanje pojave pravocrtnog širenja svjetlosti.

### Totalna refleksija

Totalna refleksija svjetlosti nalazi praktičnu primjenu u našem svakodnevnom životu, a da te činjenice nismo niti svjesni. Na principu totalne refleksije funkcioniraju optički kablovi, koji se upotrebljavaju u telekomunikacijama za prijenos informacija. Također, u medicini se koriste optički kablovi u sklopu endoskopa, uređaja koji se koristi za promatranje unutarnjih organa. Totalna refleksija je nastavna jedinica u sklopu nastavne cjeline „Geometrijska optika“ u trećem razredu srednje škole.

S donje strane prema površini otopine usmjeravajte laserski snop pod raznim kutovima. Polako i pažljivo mijenjajte kutove laserskog snopa te ovisno u kutu upadnog snopa laserskih zraka promatrajte što se događa s laserskim snopom svjetlosti. Pri određenom upadnom kutu dolazi do totalne refleksije snopa. Ovaj eksperiment pogodan je za primjenu u nastavi fizike kao opservacijski eksperiment (Slika 4.1.3).



**Slika 4.1.3 Totalna refleksija**

#### 4.2 *Apsorpcija i refleksija svjetlosti*

Ljudsko oko može vidjeti samo dio elektromagnetskog spektra u rasponu od 380 nm do 750 nm. Taj dio elektromagnetskog spektra naziva se vidljivi dio spektra. Dojam boja koje ljudsko oko može vidjeti određen je osjetljivošću oka na zračenje različitih valnih duljina u navedenom rasponu spektra. Ljudsko oko može razlikovati oko 160 nijansi boja iz razloga što su prijelazi boja postepeni. Eksperimentom apsorpcije i refleksije svjetlosti učenike možemo dovesti do boljeg razumijevanja boja. Eksperimentalni postav nije kompliciran i ne zahtijeva mnogo vremena. Svi potrebni materijali za eksperiment su vrlo lako dostupni. Od pribora su potrebni samo gumeni poluprozirni bomboni (tijekom ovog eksperiment su upotrijebljeni Haribo bomboni) i laser ili laserski pokazivač različitih boja, tj. valnih duljina. Prilikom ovog eksperimenta upotrijebljeni su crveni, zeleni i plavi laser. Bogatstvo ovog eksperimenta je upravo u tome što je zbog svoje jednostavnosti prikladan i za osnovnu i srednju školu. U osnovnoj školi prilikom obrade teme „Disperzija svjetlosti“ ovaj eksperiment bi se mogao izvoditi frontalno ili kao grupni učenički eksperiment (ako u razredu ima manji broj učenika). Eksperiment bi imao ulogu istraživačkog eksperimenta, u kojem bi se model gledanja (kako gledamo) pobliže dočarao učenicima, jer je upravo svjetlost intuitivno povezana s gledanjem. Ovakav pristup bi bio dobar jer bi približio znanstveni pristup gledanju u kojem svjetlost putuje od izvora do predmeta te na kraju završava u našem oku. Upravo pomoću boja, nečega što vidimo svaki dan, pokušali bi se zaobići učenički miskoncepti vezani uz modele gledanja, kao npr. da svjetlost izlazi iz izvora i zaustavlja se na predmetima. Nadalje, prema planu i programu za srednje škole u nastavi fizike, u sklopu nastavne cjeline „Geometrijska optika“ obrađuju se nastavne jedinice „Spektar elektromagnetskog zračenja“ i „Disperzija svjetlosti“ te bi se ovaj eksperiment mogao izvoditi nakon navedenih nastavnih jedinica. U tom slučaju, ovaj eksperiment bi imao ulogu aplikacijskog eksperimenta u kojem bi učenici mogli primijeniti svoja znanja. Zbog povećeg broja učenika u razredima u srednjoj školi ovaj eksperiment bi se izvodio frontalno, a u sklopu dodatne nastave mogao bi se izvoditi individualno ili kao grupni učenički eksperiment, ali naravno uz nadzor nastavnika zbog prisustva laserskog snopa [12].

Materijali:

- Gumeni bomboni različitih boja (crveni, zeleni i plavi) i oblika (medvjedići; zmije)
- Izvor bijele svjetlosti
- Laser ili laserski pokazivač različitih boja (prilikom ovog eksperimenta upotrijebljen je zeleni laser)

Opis eksperimenta:

Potrebno je nanizati nekoliko bombona jednakih boja u red kao na Slika 4.2.1.



**Slika 4.2.1 Nanizani bomboni**

U prvom dijelu eksperimenta potrebno je uperiti bijelu svjetlost u nanizane bombone različitih boja u obliku zmije. U drugom dijelu eksperimenta u nanizane medvjediće koji su prikazani na Slika 4.2.1 Nanizani bomboni različitih boja bit će uperena samo laserska svjetlost zelene boje te će se na taj način usporediti kako pojedine boje apsorbiraju određenu valnu duljinu.

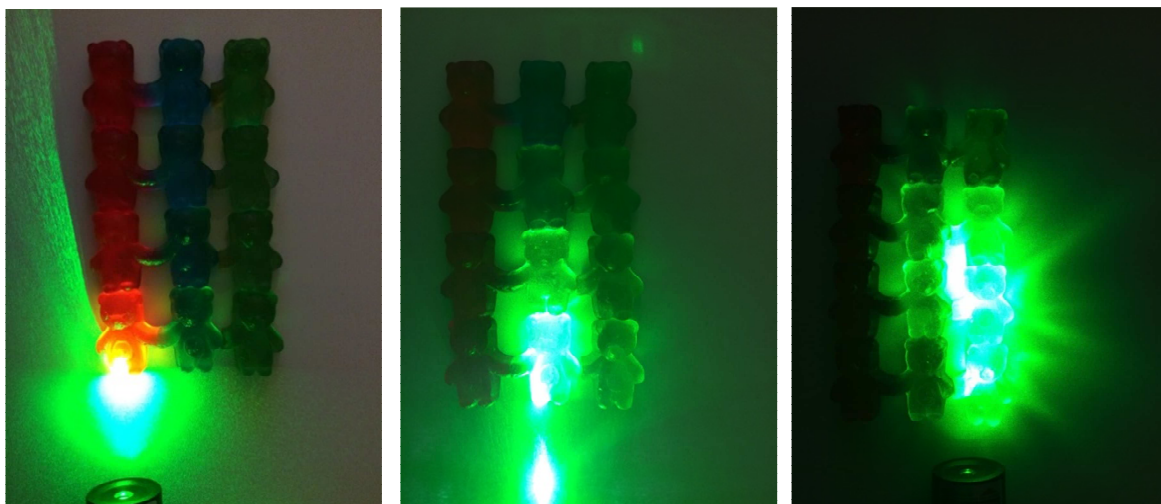
Rezultati:



**Slika 4.2.2 Apsorpcija bijele svjetlosti**

Tijelo će pokazivati selektivnu apsorpciju odnosno bit će obojano nekom kromatskom bojom, ako površina tog tijela apsorbira bijelu svjetlost samo u određenom valnom području. Na primjeru gumene zmijske (Slika 4.2.2) možemo vidjeti da će, nakon što je zmijska obasjana bijelom svjetlošću (koja se sastoji od više valnih duljina), crveno obojani dio zmijske propuštati samo crvenu boju, plavi plavu itd. To se događa upravo iz tog razloga što npr. crveni dio apsorbira sve valne duljine bijele svjetlosti osim crvene. Nadalje, osim što se dio svjetlosti apsorbira, jedan dio se i reflektira. Upravo zbog refleksije svjetlosti mi vidimo predmete, koji mogu biti raznih boja. Ako je predmet npr. crven, tada to znači da je najjače apsorbiran plavozeleni dio spektra, a najjače se reflektira zračenje koje odgovara crvenom dijelu spektra. Boja predmeta (onaj dio zračenja koji se reflektira) uvijek je komplementarna apsorbiranoj boji.





**Slika 4.2.3** Apsorpcija na a) crvenim, b) plavim i c) zelenim bombonima

Nadalje, eksperiment s medvjedićima bi mogao poslužiti kako bi se učenici mogli upoznati s konceptom i ulogom filtra. Zeleni gumeni medvjedići će propuštati zeleni laserski snop (Slika 4.2.3c), dok crveni medvjedići neće (Slika 4.2.3a). Plavi medvjedići apsorbiraju djelomično i zelenu svjetlost te je vidljivo na Slika 4.2.3b da će oni djelomično apsorbirati laserski snop zelene boje, iz razloga što plavi filter ne propušta samo plavu boju nego i susjednu boju spektra npr. zelenu.

### 4.3 Mjerenje brzine svjetlosti pomoću lasera i želatine

Prema planu i programu za treći razred srednje škole u fizici se obrađuje optika, u sklopu koje se ujedno obrađuje i lom svjetlosti. Stoga bi ovaj eksperiment bio prikladan za obradu nastavne jedinice: „Lom svjetlosti“. Zakon loma svjetlosti, poznat kao Snellov zakon, svakodnevno se pojavljuje u našim životima te objašnjava što se događa sa smjerom širenja svjetlosti koja prelazi iz jednog materijala u drugi, npr. iz zraka u staklo.

U ovom eksperimentu možemo izračunati brzinu svjetlosti u želatini pomoću Snellovog zakona. Eksperiment je vrlo jednostavan, primjenjuje temeljne koncepte optike, a prednost mu je u tome što su za njegov postav potrebni lako nabavljivi i jeftini materijali.

U sklopu dodatne nastave eksperiment bi se mogao izvoditi tako da ga izvode učenici u grupama uz upozorenje učenika na sigurnosne mjere pri uporabi lasera. Eksperiment bi imao ulogu aplikacijskog eksperimenta u kojem bi učenici primjenjivali poznate koncepte (Snellov zakon) u novim situacijama (mjerenje brzine svjetlosti u želatini).

Također, ovaj eksperiment bi mogao poticati kreativnost učenika. Uz zadani materijal moglo bi se od učenika tražiti da osmisle eksperiment, izvrše potrebna mjerenja te da na kraju eksperimenta povežu i formuliraju rješenje problema koje je postavljeno pred njih (kolika je brzina svjetlosti u želatini). Prilikom eksperimenta bi bila izvršena mjerenja te bi se matematičkim putem moglo provjeriti objašnjenje pojava.

Materijali:

- Laser ili laserski pokazivač
- Učvršćivač za laser npr. plastelin
- Kutomjer
- Želatina

Od materijala je potreban laser ili laserski pokazivač i nešto čime bi se laser pričvrstio. Također je potreban kutomjer koji može biti i ručne izrade (pokazuje kut loma unutar želatine). Upotrijebljena želatina u ovom eksperimentu bi trebala biti prozirna ili obojana bojom koja je transparentna za laserski snop. Kako bi želatina poprimila pravilan oblik, potrebna je plastična posudica u kojoj će se želatina napraviti.

**Opis eksperimenta:**

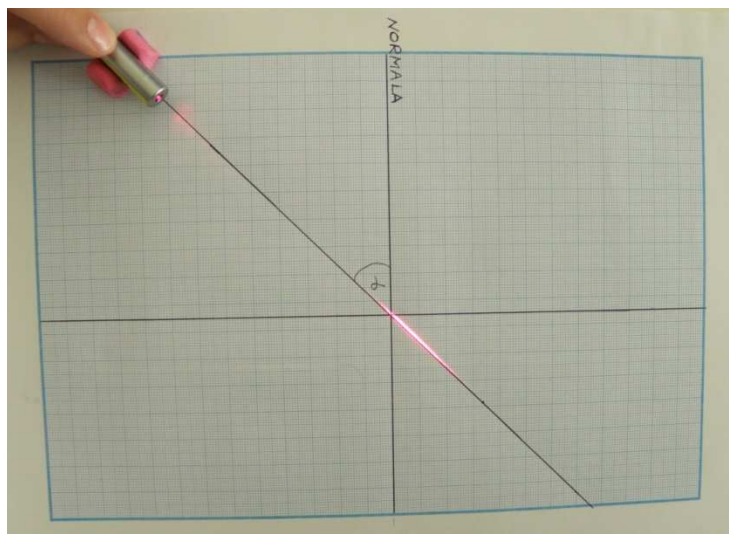
Prvotno je potrebno napraviti želatinu prema danim uputama na vrećici. Kada se želatina stvrdne, potrebno ju je maknuti iz plastične posudice. Za uspješnije ishode želatina bi trebala biti pripravljena u kockastoj plastičnoj posudici. Naravno, želatina se može napraviti u bilo kojoj posudici, ali je onda poželjno da se izreže u obliku kocke. Vrlo je važno da bridovi budu ravni da ne bi došlo do prekida laserskog snopa. Također, prilikom vađenja želatine iz posudice, želatinu je lako oštetiti te je onda nevaljana za eksperiment. Kako bi se spriječila oštećenja, posudicu sa želatinom može se uroniti u posudu s mlakom vodom. Zbog topline se želatina lakše može odvojiti od stijenki posudice. Posudicu preokrenite na drugu stranu i izvadite želatinu. Napravljena želatina ima čistu optičku površinu te je upravo zbog toga prihvatljiva u ovom eksperimentu (Slika 4.3.1) [13].



**Slika 4.3.1 Želatina pravilnog oblika**

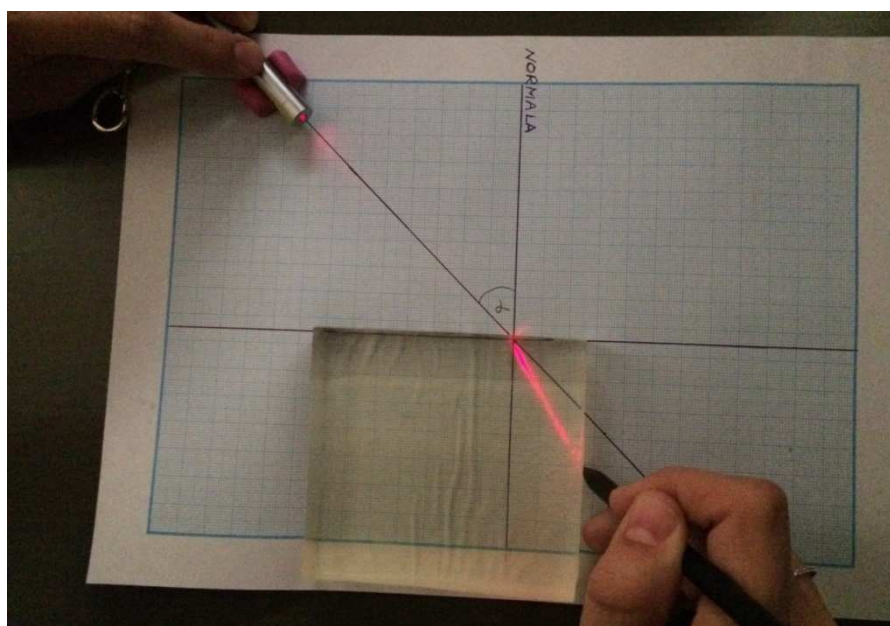
Da bismo razumjeli teoriju koja se krije iza ovog eksperimenta, prvo je potrebno složiti eksperimentalni postav. Sama izvedba uključuje kreativnost. Treba razmisliti kako se može mjeriti kut u odnosu na normalu dok laserska zraka prolazi kroz želatinu. Normala je linija koja je okomita na ulaznu površinu želatine.

Na Slika 4.3.2 je prikazan jedan od mogućih eksperimentalnih postava.



**Slika 4.3.2 Eksperimentalni postav**

Na papiru je potrebno nacrtati dvije okomite linije koje se sijeku u svojim polovištima. Za jednu od linija odredite da će biti normala na ulaznu plohu želatine. Nadalje, potrebno je nacrtati dijagonalu koja će prolaziti kroz polovište dviju linija. Kut između normale i dijagonale iznosi  $45^\circ$  i to je upadni kut svjetlosti. Na dijagonalu je potrebno učvrstiti laser (plastelinom ili samoljepljivom trakom). Usmjerite laserski snop prema dijagonali kako biste provjerili da je laser namješten ravno.



**Slika 4.3.3 Mjerenje kuta izlazne zrake crvene svjetlosti**

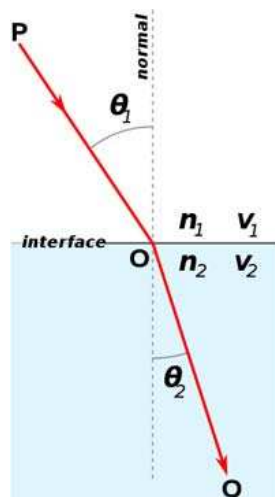
Na Slika 4.3.3 može se vidjeti točka ulaska laserske zrake u želatinu te se može primijetiti dio laserske zrake u obliku točke tamo gdje laserska zraka dodiruje stijenu prvi put nakon ulaska. Te dvije točke možemo lako povezati da bismo dobili smjer lomljene zrake. Ovdje možemo točno izmjeriti kut loma. Nadalje, potrebno je koristiti Snellov zakon kako bi se izračunao indeks loma želatine (Slika 4.3.4).

Snellov zakon je dan sljedećom relacijom:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

gdje je:

- $\theta_1$  - kut između upadne zrake i normale
- $\theta_2$  - kut između lomljene zrake i normale
- $v_1$  - brzina svjetlosti u prvom materijalu ( u ovom je eksperimentu to zrak)
- $v_2$  - brzina svjetlosti u drugom materijalu ( u ovom je eksperimentu to želatina)
- $n_1$  - indeks loma prvog materijala (u ovom je eksperimentu to zrak)
- $n_2$  - indeks loma drugog materijala (u ovom je eksperimentu to želatina)

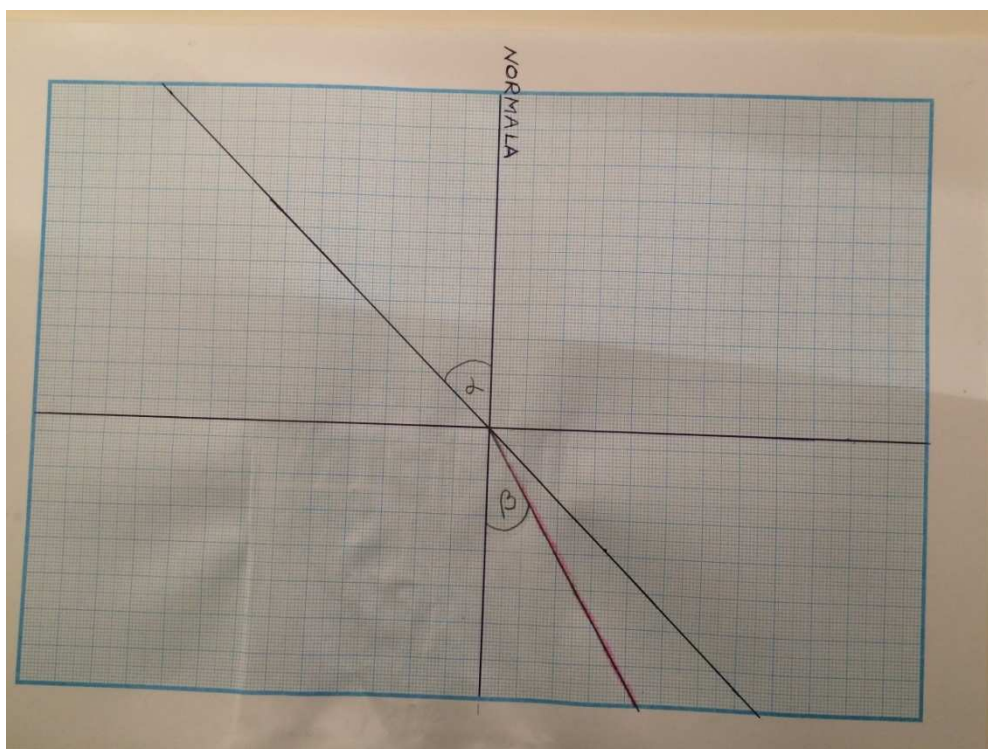


Slika 4.3.4 Primjena Snellovog zakona

Iz rezultata za indeks loma, koji bi bio dobiven eksperimentom, može se izračunati brzina svjetlosti u sredstvu.

Rezultati mjerenja:

1. za crvenu svjetlost (Slika 4.3.5)



Slika 4.3.5 Izmereni kut izlazne zrake crvene svjetlosti

$$\alpha = (45 \pm 1)^\circ$$

$$\sin \alpha = (0,71 \pm 0,01)^4$$

$$R_{\sin \alpha} = \frac{0,01}{0,707} \cdot 100\% = 1,41\%$$

$$\beta = (30 \pm 1)^\circ$$

$$\sin \beta = (0,50 \pm 0,02)$$

$$R_{\sin \beta} = \frac{0,02}{0,5} \cdot 100\% = 4\%$$

$$n_1 = 1$$

<sup>4</sup> Pogreška za  $\sin \alpha$  pomoću granica intervala kutova npr. 44 i 46 stupnjeva

$$n_2 = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \cdot n_1$$

$$\bar{n}_2 = 1,414$$

$$R_{n_2} = R_\alpha + R_\beta = 5,55\%$$

$$\Delta n_2 = R_{n_2} \cdot \bar{n}_2 = 0,078$$

$$\mathbf{n_2 = (1,41 \pm 0,08)}$$

$$v_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot c$$

$$\bar{v}_2 = 2,12 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

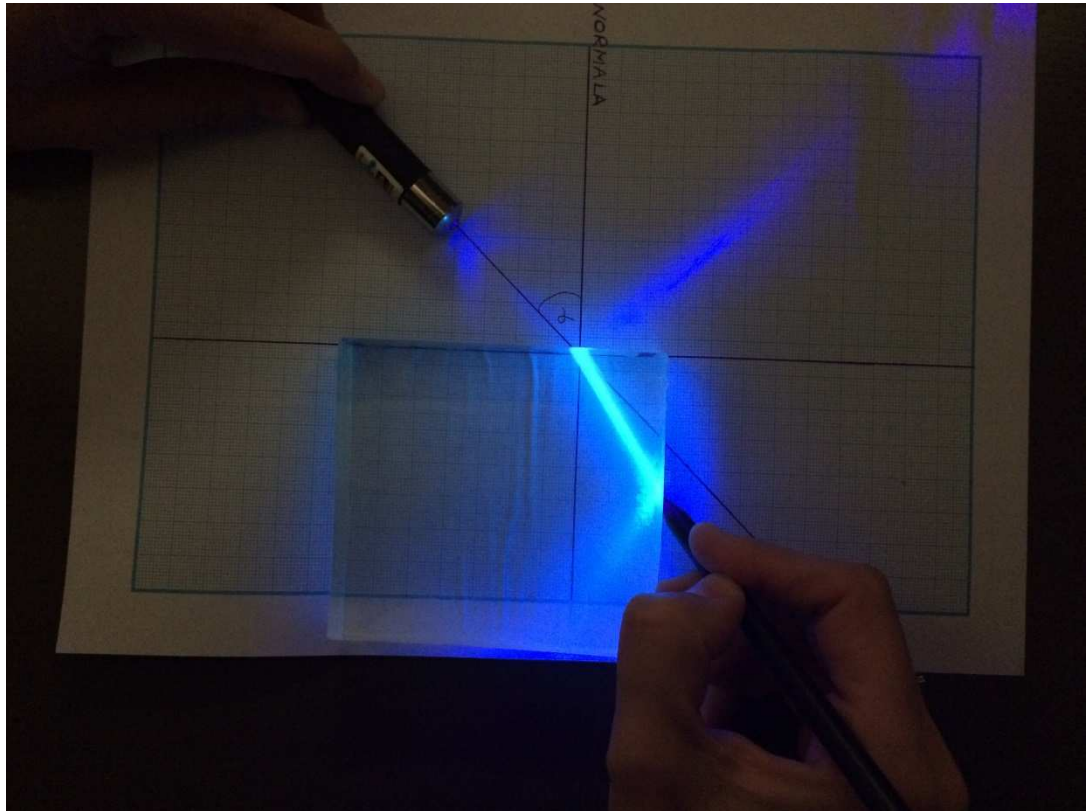
$$R_{v_2} = R_{n_1} + R_{n_2} = 5,55\%$$

$$\Delta v_2 = R_{v_2} \cdot \bar{v}_2 = 0,117 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

$$\mathbf{v_2 = (2,1 \pm 0,1) \cdot 10^8 \frac{m}{s}}$$



2. za plavu svjetlost (Slika 4.3.6):



Slika 4.3.6 Mjerenje kuta izlazne zrake plave svjetlosti

$$\alpha = (45 \pm 1)^\circ ; R_\alpha = \frac{1}{45} \cdot 100\% = 2,22\%$$

$$\beta = (27 \pm 1)^\circ ; R_\beta = \frac{1}{27} \cdot 100\% = 3,7\%$$

$$n_1 = 1$$

$$\bar{n}_2 = 1,557$$

$$R_{n_2} = R_\alpha + R_\beta = 5,92\%$$

$$\Delta n_2 = R_{n_2} \cdot \bar{n}_2 = 0,033$$

$$\mathbf{n_2 = (1,56 \pm 0,03)}$$



$$\bar{v}_2 = 1,923 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

$$R_{v_2} = R_{n_1} + R_{n_2} = 5,92\%$$

$$\Delta n_2 = R_{n_2} \cdot \bar{v}_2 = 0,113 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = (1,9 \pm 0,1) \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

Tijekom prolaska zrake svjetlosti kroz medij promatramo kut loma u odnosu na normalu. Kut loma ovisi o valnoj duljini svjetlosti. Za male valne duljine kut je veći, nego za velike valne duljine. Budući da ljubičasta boja ima najmanju valnu duljinu, kut loma je u tom slučaju najveći. Najmanji kut loma je za crvenu boju jer ona ima najveću valnu duljinu.

U svakom sredstvu, osim u vakuumu, indeks loma ovisi o valnoj duljini upadne svjetlosti. Indeks loma je omjer između brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u nekom sredstvu:

$$n = \frac{c}{v}$$

Provedeni eksperiment je upravo pokazao gore navedeno – plava svjetlost se više otklonila nego crvena.

U literaturi je pronađen indeks loma želatine, koji ovisi o postotku šećera u otopini. Ovisno o koncentraciji želatine njezin indeks loma za crvenu svjetlost se kreće u rasponu vrijednosti od 1,38 do 1,49 [13].

Rezultati eksperimenta su pokazali da indeks loma želatine za crvenu svjetlost iznosi 1,41, što je u suglasnosti sa podacima iz literature. Izračunati podatak indeksa loma za plavu svjetlost iznosi 1,9, a za razliku od crvene svjetlosti podatak za indeks loma želatine plave svjetlosti nije pronađen u literaturi.

#### 4.4 Difrakcija na CD-u

Kompaktni disk ili CD je u današnjem društvu poznat kao sredstvo za pohranu informacija. Ono što je zaslužno za njegovu veliku mogućnost pohrane podataka jest upravo njegova sjajna površina na kojoj se očigledno može primijetiti uzorak duginih boja. Pojava duginih boja je zapravo difrakcijski uzorak bijele svjetlosti.

Kompaktni disk se ponaša kao optička rešetka. Periodičku rešetku kompaktnog diska čini periodički raspored zareza, koji se u obliku spirale šire od središta diska prema njegovom rubu. Dimenzija zareza iznosi  $500\text{ nm}$ , što je izuzetno mala veličina. Uzmimo kao primjer zareze na CD-u koji su široki  $0.5\ \mu\text{m}$  te ih usporedimo s vlasi ljudske kose, koja ima širinu otprilike  $100\ \mu\text{m}$ . Uspoređujući njihove veličine, na širinu jedne vlasi bili bismo u mogućnosti staviti 200 zareza.

Budući da se iz ovog eksperimenta može naučiti kako nastaje difrakcijski uzorak te se također pomoću lasera može odrediti udaljenost između zareza na CD-u ili DVD-u, eksperiment bi bio prikladan za obradu nastavne jedinice „Ogib svjetlosti“. Naime, prema nastavnom programu, u trećem razredu srednje škole iz fizike se obrađuje nastavna cjelina „Valna optika“, u sklopu koje se obrađuje difrakcija svjetlosti. Stoga bi gore navedeni eksperiment bio prikladan, jer pokazuje kako se pomoću difrakcijskog uzorka može izmjeriti udaljenost između zareza na kompaktnom disku.

Kompaktni disk obasjan laserskim snopom daje na zastoru difrakcijsku sliku. Eksperiment je efektan kada se izvodi demonstracijski, jer je difrakcijska slika koja se nalazi na zastoru (zidu) jasno vidljiva, velika i vrlo se jednostavno mogu izmjeriti udaljenosti između maksimuma. Također, ovaj eksperiment je izvanredan za primjenu znanja o difrakciji. Difrakcija je možda za učenike dosta apstraktan pojam te je istraživanje principa rada kompaktnog diska motivirajući problem, koji se postavlja pred učenike i koji povezuje fiziku sa svakidašnjim životom i tehnologijom.

Ovim je eksperimentom moguće istražiti sličnost CD-a i optičke rešetke pomoću mjerenja. U eksperimentu se mjere udaljenosti između središnjeg maksimuma i ostalih maksimuma i udaljenost između kompaktnog diska i zastora (zida). Na temelju izračunatih kutova pod kojima se vide ogibni maksimumi može se nadalje izračunati konstanta rešetke. Upravo iz razloga što se moraju znati koncepti difrakcije kako bi se mogla izračunati

konstanta rešetke, ovaj je eksperiment izuzetno dobar kao aplikacijski, gdje se usvojeni koncepti (difrakcija) koriste u novim situacijama [14], [15].

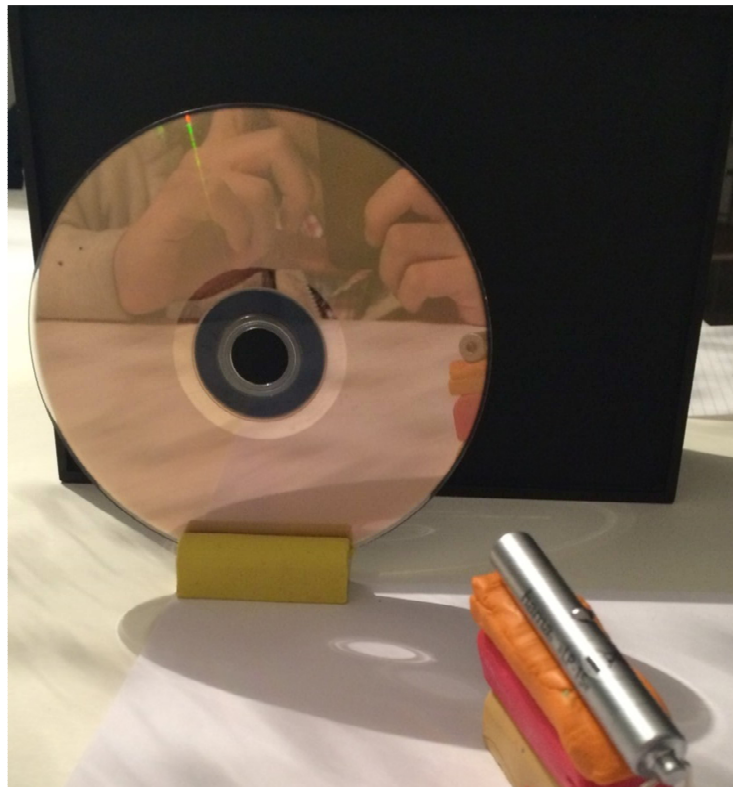
Materijali:

- Laser poznate valne duljine
- CD
- Komad plastelina

Opis eksperimenta:

Potrebno je napomenuti da se iz sigurnosnih razloga ovaj eksperiment izvodi demonstracijski. Također, eksperiment se može koristiti i u dodatnoj nastavi, gdje bi ga učenik sam mogao izvoditi, ali samo u prisustvu i uz kontrolu odrasle osobe. Mora se imati na umu da čak i slabiji laseri mogu nepovratno oštetiti ljudski vid.

Na Slika 4.4.1 vidi se jedan od mogućih eksperimentalnih postava. Kompaktni disk je potrebno učvrstiti na plastelin te sjajnija strana kompaktnog diska treba gledati prema zidu. Unaprijed je potrebno prirediti bijele papire koji će se kasnije lijepiti na zid.



**Slika 4.4.1 Eksperimentalni postav**

Usmjerite laserski snop prema kompaktnom disku te na mjestima gdje se na zidu pojavljuju maksimumi zalijepite papire na zid i olovkom označite položaj svijetle točke.



**Slika 4.4.2 Difrakcija crvene svjetlosti na CD-u**

Na Slika 4.4.2 mogu se vidjeti crvene točke na zidu. Najsvjetlija točka na zidu pripada središnjem maksimumu, dok ostale pripadaju ogibnim maksimumima višeg reda. Ovdje se mogu izmjeriti udaljenosti između maksimuma, kao što se može izmjeriti i udaljenost od zida (zastora) do kompaktnog diska. Kako bi se došlo do konstante rešetke potrebno je primijeniti slijedeću formulu:

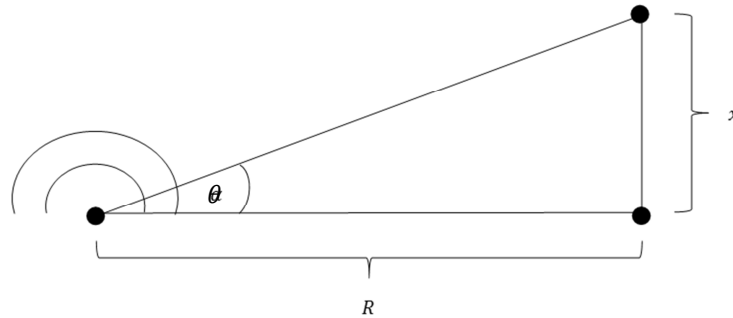
$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda.$$

Dakle, potrebno je izračunati kut  $\theta$  između središnjeg maksimuma i ogibnog maksimuma prvog reda, odnosno prvog sljedećeg maksimuma.

Za male kuteve vrijedi

$$\sin \theta \sim \tan \theta.$$

Skica koja se nalazi na Slika 4.4.3 pomaže pri izračunu traženog kuta.



**Slika 4.4.3 Skica traženog kuta**

- $R$  je udaljenost između kompaktnog diska i zida (zastora)
- $x$  je udaljenost između središnjeg maksimuma i interferentne pruge prvog reda

te vrijedi:

$$\tan \theta = \frac{x}{R}$$

Kako bismo odredili konstantu rešetke kompaktnog diska potrebno je primijeniti sljedeću formulu:

$$d = \frac{m \cdot \lambda \cdot R}{x}$$

Ponovite mjerenja barem tri puta. Prije svakog novog mjerenja potrebno je zamijeniti papir na zidu kako ne bi došlo do pomutnje u dobivenim rezultatima. Također je potrebno imati na umu da bi upadni kut laserskog snopa trebao biti jednak prilikom svakog mjerenja.

U tabeli kao u dolje navedenom primjeru (Tabela 4.1) zapisivat će se izmjerene udaljenosti  $x$ . Za neke udaljenosti  $x$  možda neće biti moguće vidjeti sve redove ogibnog uzorka te u tom slučaju stupac ostavite neispunjenim.

**Tabela 4.1** Primjer tablice za unošenje eksperimentalnih podataka

<i>broj mjerenja</i>	<b>m = -2 x (cm)</b>	<b>m = -1 x (cm)</b>	<b>m = +1 x (cm)</b>	<b>m = +2 x (cm)</b>
1.				
2.				
3.				
prosječna vijednost				

Rezultati mjerenja za crvenu svjetlost:

<i>broj mjerenja</i>	<b>m = -2 x (cm)</b>	<b>m = -1 x (cm)</b>	<b>m = +1 x (cm)</b>	<b>m = +2 x (cm)</b>
1.		27,5	29	
2.		28	28,5	
3.		27,5	28,7	
prosječna vijednost $\bar{x}$		27,67	28,73	

$$x_{-1} = (27,7 \pm 0,3) \text{ cm}; R_{x_{-1}} = \frac{0,3}{27,7} \cdot 100\% = 0,108\% \sim 0,1\%$$

$$x_{+1} = (28,7 \pm 0,3) \text{ cm}; R_{x_{+1}} = \frac{0,3}{28,7} \cdot 100\% = 0,104\% \sim 0,1\%$$

$$\lambda = 640 \text{ nm}$$

$$R = (20 \pm 1) \text{ cm}; R_R = \frac{1}{20} \cdot 100\% = 5\%$$

$$\overline{d_{x+1}} = 0,446 \mu\text{m}$$

$$R_d = R_{x_{-1}} + R_R = 5,1\%$$

$$\Delta d_{x+1} = R_d \cdot \overline{d_{x+1}} = 0,023 \mu\text{m}$$

$$\mathbf{d_{x+1} = (0,45 \pm 0,02) \mu\text{m}}$$

Slika 4.4.4 prikazuje ogibanje plave svjetlosti na CD-u.



**Slika 4.4.4 Difrakcija plave svjetlosti na CD-u**



#### 4.5 Holografija

Za većinu ljudi, hologram je trodimenzionalna slika, koja izgleda kao realni objekt zato što gledajući u nju imamo osjećaj da sama slika ima dubinu. Međutim, bitno je napomenuti da trodimenzionalne slike ne moraju nužno biti hologrami.

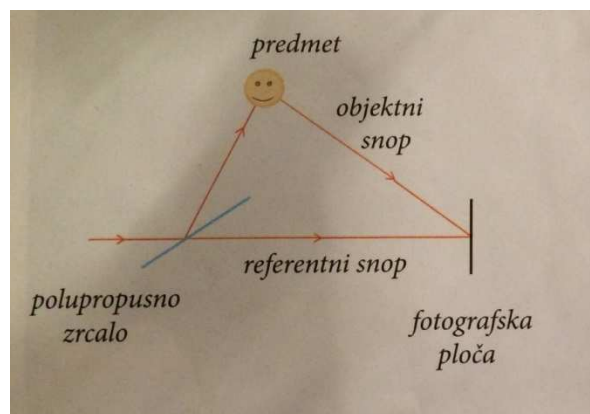
Poznato je da obične dvodimenzionalne slike nemaju dubinu, a prilikom fotografiranja svjetlost koja dolazi s objekta uzrokuje zacrnjenje na fotografskom filmu. Dobiveno zacrnjenje na fotografskom filmu ovisi o intenzitetu upadne svjetlosti, odnosno o kvadratu amplitude. Uz informacije o amplitudi upadnih svjetlosnih valova, hologram je vrsta fotografije koja sadrži i informacije o fazi upadnih svjetlosnih valova.

Upravo zbog svoje složenosti holografija nije gradivo koje se obrađuje u redovitoj nastavi. Međutim, holografija je idealno gradivo koje bi se moglo primijeniti u sklopu dodatne nastave ili bi se mogla obraditi kao mali znanstveni projekt. U kontekstu dodatne nastave holografija bi isključivo imala ulogu aplikacijskog eksperimenta, jer bi se na taj način primjenjivali usvojeni koncepti pri postavljanju novog problema. Za nastanak holograma potrebna je izuzetno mirna i tvrda podloga te prilikom njegovog nastajanja ne smije biti nikakvih vibracija, glasnog razgovora ili hodanja oko samog holograma. Upravo iz tog razloga ovaj eksperiment bi bio prigodan za frontalno izvođenje od strane nastavnika. Naravno, ako u sklopu dodatne nastave ima manji broj učenika, sam eksperiment bi mogao imati funkciju grupnog učeničkog eksperimenta u kojem bi učenici sami konstruirali hologram uz kontrolu i nadzor nastavnika.

Holografija je jedna od tema koja bi trebala naći svoje stalno mjesto u dodatnoj nastavi fizike iz razloga što holografija danas ima veliku primjenu u znanstvenim istraživanjima, za pohranjivanje podataka u informatici i pri snimanju organa u medicini [16].

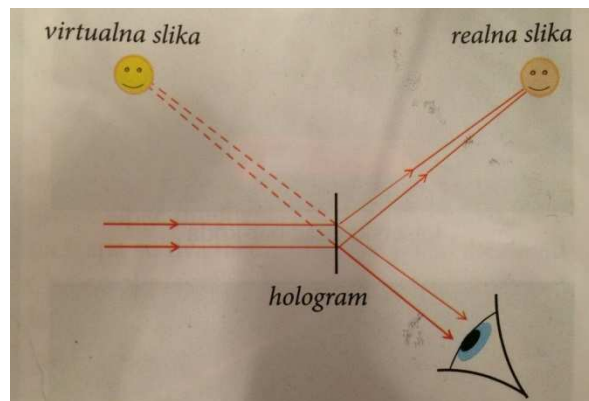
## Princip snimanja holograma:

Eksperimentalni postav za nastajanje holograma mora uključivati polupropusno zrcalo, fotografsku ploču i predmet. Laserski snop je potrebno usmjeriti prema polupropusnom zrcalu koji cijepa snop svjetlosnih zraka na dva snopa. Snop koji izravno pada na fotografsku ploču zove se referentni snop, dok se drugi snop raspršuje na predmetu i nakon toga upada na fotografsku ploču te se taj snop naziva objektnim ili predmetnim snopom. Prilikom konstruktivne interferencije referentnog i predmetnog snopa, fotografska ploča se zacrnjuje. Nakon razvitka fotografske ploče dobije se hologram, odnosno složen objektivni uzorak (Slika 4.5.1). Novonastali hologram je zatim potrebno obasjati referentnim snopom svjetlosti u istom smjeru kao što je bio obasjan prilikom prvog snimanja. Kada valovi pristignu na hologram, koji ima ulogu difrakcijske rešetke, oni se tada ogibaju te nastaju virtualna i realna slika obasjanog predmeta.



Slika 4.5.1 Snimanje holograma [22]

Virtualna slika nastaje na mjestu gdje se prethodno nalazio predmet tijekom snimanja holograma (Slika 4.5.2).



Slika 4.5.2 Promatranje holograma [22]

Opis eksperimenta:

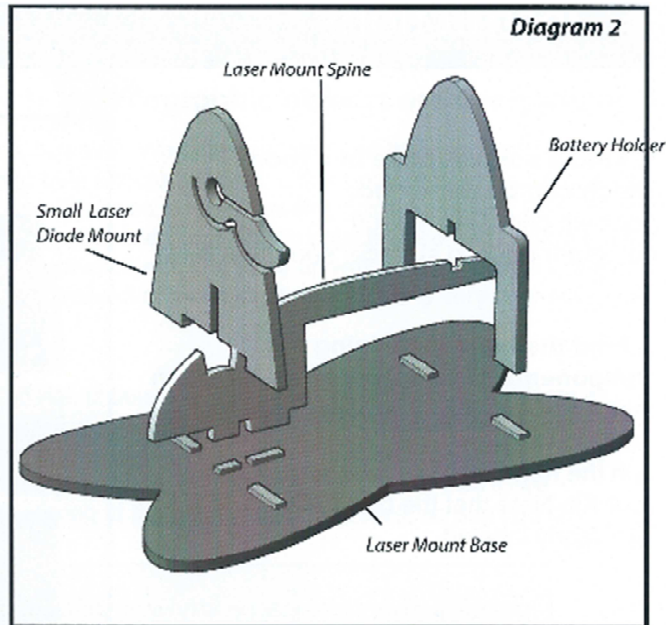
Slijedite upute prema sljedećim koracima kako bi se postavio eksperimentalni postav.

1. Pronađi čvrstu površinu u sobi koju možeš zamračiti.
2. Pogledaj Slika 4.5.3 i upoznaj se s aparaturom. Primijeti da su crni plastični dijelovi jasno označeni.



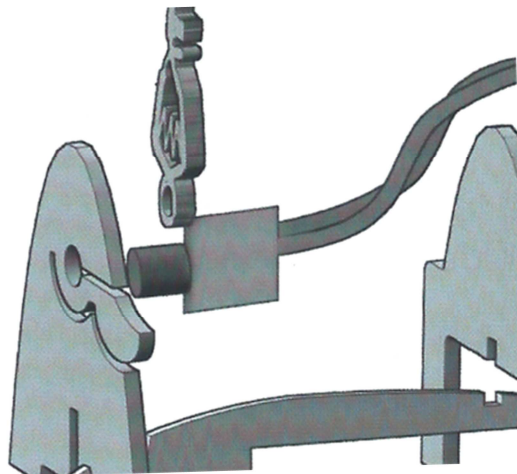
**Slika 4.5.3 Dijelovi eksperimentalnog postava holograma**

3. Sastavi postolje za laser i holografski sistem:
  - a) Sastavi postolje za laser koje se sastoji od sljedećih dijelova (Slika 4.5.4):
    - Baza za postolje lasera (Laser Mount Base)
    - Postolje za malu lasersku diodu (Laser Diode Mount-Small)
    - Postolje za držač baterija lasera (Laser Mount Battery Holder)
    - Postolje za držač lasera(Laser Mount Spine)



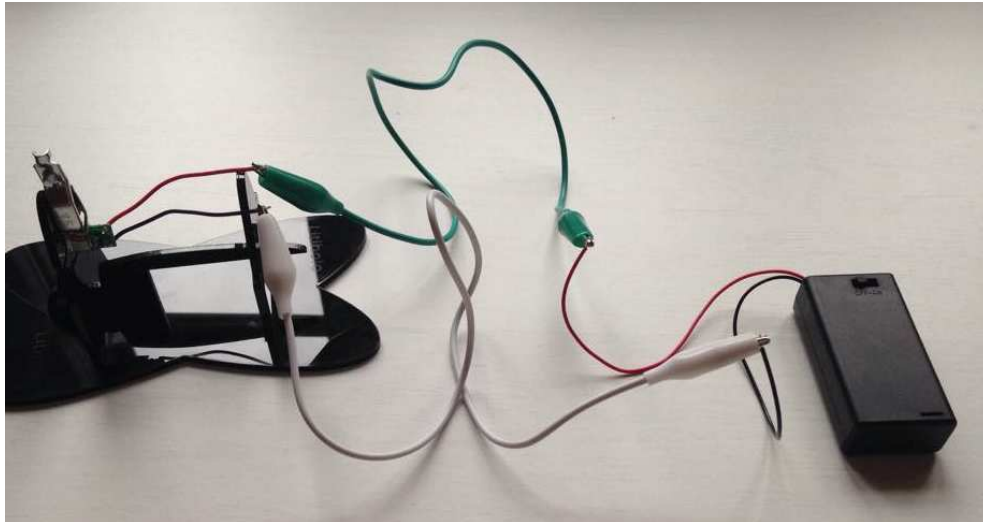
**Slika 4.5.4 Eksperimentalni postav holograma**

- b) Odvrni kapicu od lasera i uklopi je u postolje za malu lasersku diodu kao što je prikazano na Slika 4.5.5.



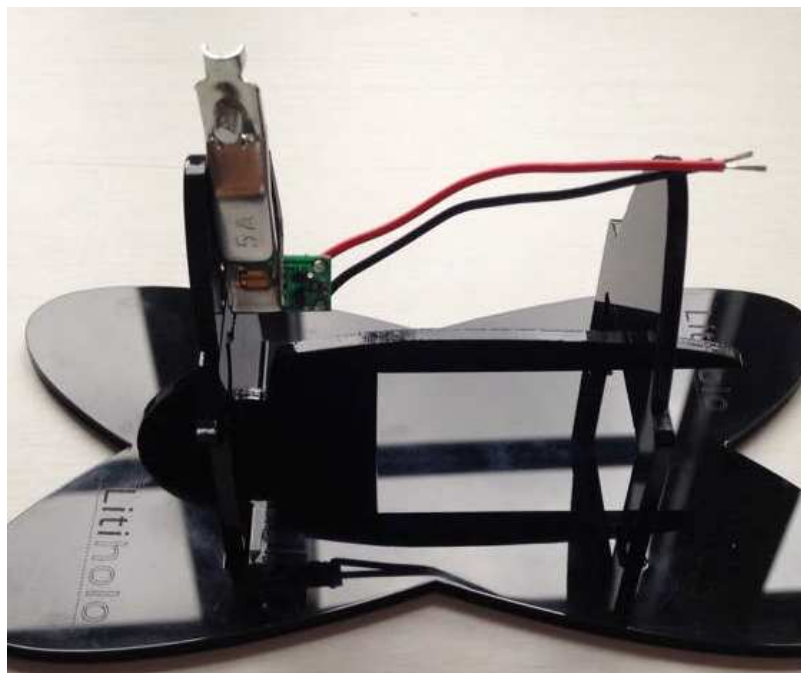
**Slika 4.5.5 Umetanje lasera u postolje**

- c) Umetnite dvije AA baterije u utor za baterije te ga stavite na mjesto držača za baterije žicama okrenutim prema natrag. Utor za baterije treba ostati isključen. Pomoću štipaljke poveži crvenu i crnu žicu utora baterije sa crvenom i crnom žicom na laserskoj diodi (Slika 4.5.6).



**Slika 4.5.6 Utor za baterije spojen s laserskom diodom**

- d) Uхвати štípaljkom vertikalno lasersku diodu. Postavi je ispred kružne ploče. Štípaljka će uхватiti samo mali dio lasera, ali ne smije dotaknuti kružnu ploču (Slika 4.5.7).



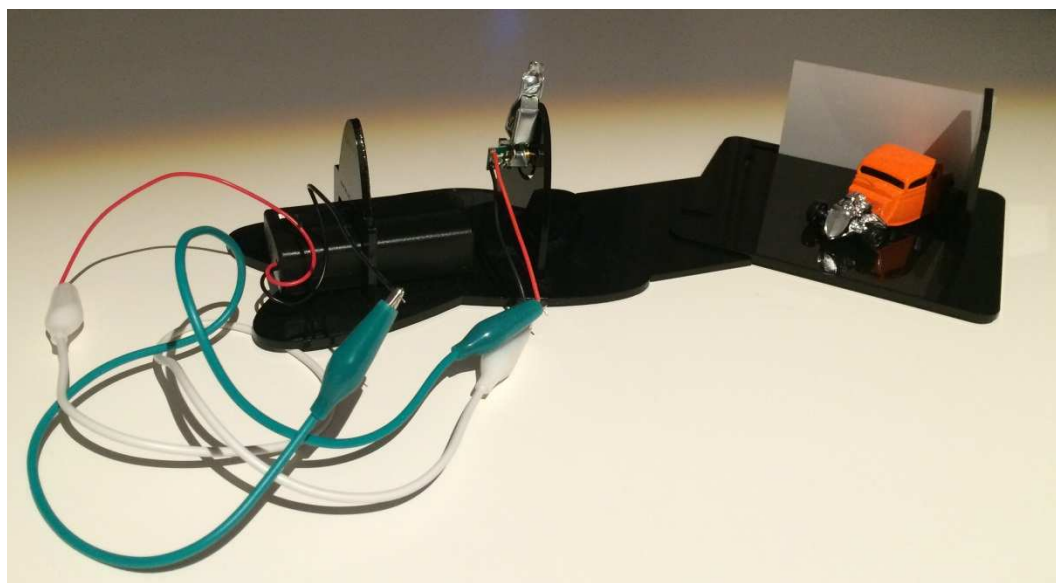
**Slika 4.5.7 Dio eksperimentalnog postava s štípaljkom, laserskom diodom i kružnom pločom**

- e) Sastavi sve dijelove hologramskog postolja. Na držač hologramske ploče umetni ploču koja služi kao oslonac i razmaknicu (Slika 4.5.8).



**Slika 4.5.8** Dijelovi hologramskog postolja

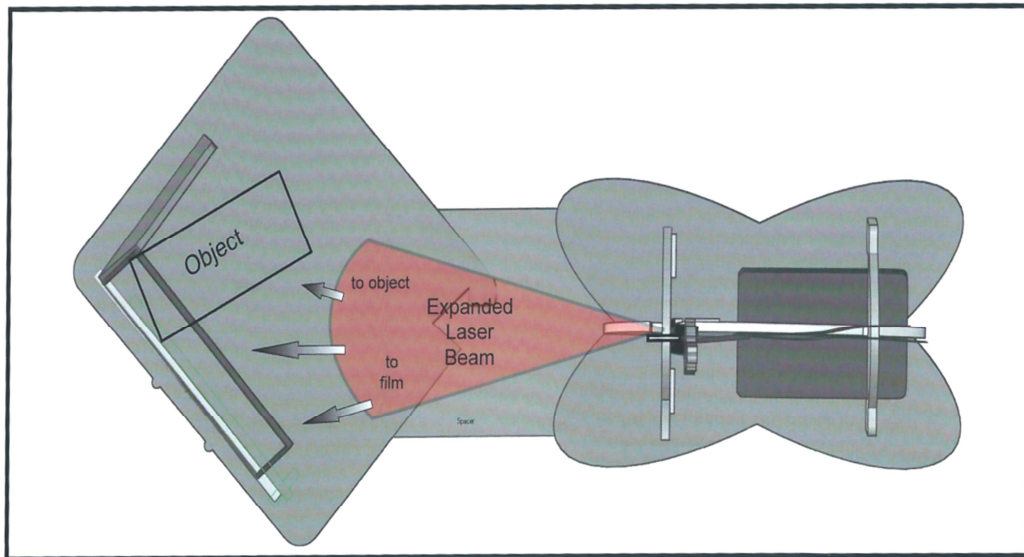
- f) Sada, kada si sve sastavio, spreman si načiniti svoj prvi hologram. Uključi utor za baterije tako da laserska dioda krene s radom. Laserska dioda se treba zagrijati oko 5 min. Ispred laserske diode postavite crni karton. Dok čekaš da se laserska dioda zagrije, postavi staklo na držač hologramske ploče. Pronađi objekt za svoj hologram i stavi ga na pravokutnik, koji je ucrtan na holografskoj ploči (Slika 4.5.9).



**Slika 4.5.9** Postav holograma



Postavljajući bijelu karticu na staklo trebaš opaziti zraku koja se rasprši prema objektu (Slika 4.5.10).



**Slika 4.5.10 Skica eksperimentalnog postava**

6. Uključi plavu svjetlost koja se nalazi na posebnom prekidaču te ugasi sva svjetla u prostoriji. Hologramu ne može naštetiti malo osvjetljenje prostorije (npr. svjetlo ispod vrata)
  - a) Iz razloga što su fotografski filmovi fotoosjetljivi, potrebno ih je oprezno i tek u zatamnjenoj prostoriji izvaditi iz kutije. Fotografski film treba umetnuti na za to predviđeno mjestu na postolju holografa te se prisloni na crni oslonac. U slučaju da fotografski film nije dovoljno dobro učvršćen, hologram neće biti jasno vidljiv ili neće uopće nastati.
  - b) Pažljivo makni crni karton tako da više ne blokira lasersku zraku. Izložite predmet laserskoj zraci 5 do 10 minuta (Slika 4.5.11).



**Slika 4.5.11 Eksperimentalno snimanje holograma**

- c) Nakon što je predmet bio osvijetljen 5 do 10 minuta, postavite ponovno crni karton ispred laserske diode.
7. Bez pomicanja fotografskog filma, makni predmet i crni karton tako da laserska zraka može obasjati fotografski film. Promatranjem fotografskog filma trebaš vidjeti sliku predmeta na mjestu gdje se izvorno nalazio predmet.



Rezultat:



**Slika 4.5.12 Eksperimentalno promatranje holograma**

Za uspješno izveden hologram (Slika 4.5.12) potrebno je napomenuti da tijekom izvođenja treba imati mirnu podlogu te izbjegavati vibracije (trešnju podloge, govor).

#### 4.6 Laserska svjetlost – kinestetičko modeliranje

Kinestetičko modeliranje je jedna od nastavnih metoda koja se pokazala dobrim načinom za postizanje vizualizacije problema. Interaktivnim vođenjem nastavnika kroz modeliranje, učenici su aktivno uključeni u rješavanje postavljenog problema te su na taj način intelektualno angažirani.

Laserska svjetlost je izborna nastavna jedinica prema nastavnom programu iz fizike za osmi razred osnovne škole. Kinestetičkim modeliranjima učenicima će se pokazati razlika između bijele svjetlosti i laserskog snopa, te će se unutar prve radionice demonstrirati različitost bijele svjetlosti (sastavljene od više valnih duljina) i monokromatske svjetlosti. Učenici će također biti upoznati s posebnim svojstvima lasera kao što su koherentnost, usmjerenost i monokromatičnost.

Pribor koji će biti potreban za radionice je lako dostupan i jednostavan.

Materijali:

- Bijeli papiri i papiri u boji (crvena, narančasta, žuta, zelena, plava i ljubičasta)
- Samoljepljive trake
- Drveni štap

Prije izvedbe radionice potrebno je prije sata napraviti određene pripreme. Označite na podu duljinu koraka samoljepljivom trakom. Samoljepljive trake će biti u bojama koje odgovaraju određenoj boji svjetlosti (crvena i ljubičasta). Udaljenosti između crvenih samoljepljivih traka neka bude 1 m, a između ljubičastih 0.5 m (Slika 4.6.1).



**Slika 4.6.1 Model valnih duljina crvene i ljubičaste svjetlosti**

## KINESTETIČKO MODELIRANJE 1

Učenici će prilikom ovog kinestetičkog modeliranja predstavljati bijelu svjetlost. Svakom će se učeniku dodijeliti boja (papir u boji) te će se oni na temelju toga poredati u redoslijedu duginih boja. Oni učenici, koji će predstavljati plavu svjetlost, kretat će se malim koracima za razliku od učenika koji predstavljaju crvenu boju, budući da plava boja ima manju valnu duljinu od crvene. Učenici koji predstavljaju zelenu svjetlost kretat će se srednjim koracima. (Crvena predstavlja najdulju valnu duljinu stoga crvena mora imati najdulji korak npr. 1m, dok bi duljina koraka za ljubičastu svjetlost trebala biti upola manja). Potrebno je naglasiti učenicima prilikom radionice da se sve boje svjetlosti gibaju jednakom brzinom. Kada će učenici hodati po učionici, svi će morati hodati jednakom brzinom. Učenici će se kretati s jednog kraja učionice prema drugom. Potrebno je da učenici promatraju druge boje dok se kreću (Slika 4.6.1).



**Slika 4.6.1 Model bijele svjetlosti**

Problem koji bi se mogao javiti je da učenici hodaju istom frekvencijom umjesto jednakom brzinom te bi zbog toga mogli zaključiti kako plava svjetlost putuje sporije od crvene svjetlosti, što nije slučaj. Kako bi riješili ovu miskoncepciju, potrebno je tijekom radionice naglasiti vezu između frekvencije i valne duljine. Učenike će se podijeliti na dvije boje (crvenu i ljubičastu). Prethodno na podu učionice označite duljinu koraka za

svaku boju pomoću samoljepljive trake. Više učenika će predstavljati jednu boju na način da će biti poredani u kolonu. Kako bi se sve boje gibali jednakom brzinom, predstavnici boja, učenici na početku kolone bi zajedno držali drveni štap te na taj način koračali bok uz bok (Slika 4.6.2). Ovo je dobar primjer da se naglasi kako ljubičasta svjetlost ima malu valnu duljinu (duljina koraka) i visoku frekvenciju (broj koraka u sekundi), dok crvena svjetlost ima veliku valnu duljinu i malu frekvenciju.



**Slika 4.6.2 Model istih brzina crvene i ljubičaste svjetlosti**

## KINESTETIČKO MODELIRANJE 2

Prilikom ovog modeliranja učenici će predstavljati lasersku svjetlost. Na temelju prethodnih radionica učenici bi trebali sami osmisliti model laserske svjetlosti. Učenici će prikazati lasersku svjetlost na način da hodaju s jednog kraja učionice prema drugom bok uz bok, tako da budu u koraku jedni s drugima te će se na taj način objasniti koherentnost laserskog snopa. Još jedno svojstvo lasera, monokromatičnost, prikazat će se na način da će se učenicima pridijeliti samo jedna boja (npr. crvena).

U sklopu radionice, usmjerenost lasera se može prikazati vrlo jednostavnim eksperimentom. Potrebno je istodobno usmjeriti laserski snop i snop ručne baterije s manje udaljenosti te se polako udaljavati od zida (Slika 4.6.3).



**Slika 4.6.3** Usmjerenost laserskog snopa

Iz eksperimenta se može vidjeti da se povećavanjem udaljenosti između zida i ručne svjetiljke ujedno povećava i osvijetljena površina zidu, dok se osvijetljenje od lasera na zidu ne povećava, bez obzira na udaljenost između lasera i zida, što je upravo dokaz usmjerenosti laserskog snopa.

## 5 Zaključak

Svakodnevnica ljudi modernog 21. stoljeća uključuje razne moderne izume bez kojih se život više ne može niti zamisliti, a među njima svoje mjesto nalazi i laser. Osim slušanja CD-a, gledanja filmova ili serija na DVD-u, laser može naći i primjenu u nastavi fizike. Sada kad je vrlo lako dostupan, laser bi trebao imati širu primjenu u eksperimentalnim postavima u nastavi fizike. Također, upravo zbog svojih posebnih svojstava, monokromatičnosti, koherentnosti i usmjerenosti, prikladan je za izvedbu eksperimenata u nastavi fizike vezanih za fundamentalne koncepte geometrijske i valne optike.

Eksperiment u nastavi fizike mora motivirati učenike, doprinosti kreativnosti i dinamičnosti same nastave. Međutim, ako se tijekom eksperimenta ne ostvari intelektualna angažiranost učenika, tada eksperiment gubi svoj ciljani učinak i postaje samo još jedna viđena atrakcija. Eksperimenti opisani u ovome radu samo su neki od primjera eksperimenata koji se mogu izvesti pomoću lasera. Pomoću njih se mogu objasniti fundamentalni koncepti i pojave geometrijske i valne optike, kao što su indeks loma, ogib, totalna refleksija i primjena lasera u holografiji. Eksperimenti su primjenjivi za svaki uzrast te se upravo iz tog razloga mogu obrađivati i u srednjoj kao i u osnovnoj školi, bilo u sklopu redovne ili dodatne nastave. Laser kao dio eksperimentalnog postava ovih eksperimenata podiže atraktivnost eksperimenta, pobuđuje intelektualnu angažiranost učenika, povezuje nastavu s pojavama i uređajima iz svakodnevnog života, što povećava njenu relevantnost za učenike, te svime time povećava učinkovitost nastave fizike..

## 6 Literatura

- [1] Vujičić, N. (2010) *50 godina lasera – otkriće koje je promijenilo znanost, ali i svijet*.  
[Online] Dostupno na:  
[http://eskola.hfd.hr/clanci/50\\_godina\\_lasera\\_Natasa\\_Vujicic.pdf](http://eskola.hfd.hr/clanci/50_godina_lasera_Natasa_Vujicic.pdf).  
[Pristupljeno: 2. prosinca 2016]
- [2] WIKIPEDIA [Online] Dostupno na:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Theodore\\_Harold\\_Maiman](https://en.wikipedia.org/wiki/Theodore_Harold_Maiman).  
[Pristupljeno: 3. prosinca 2016]
- [3] WIKIPEDIA [Online] Dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser>.  
[Pristupljeno: 3. prosinca 2016]
- [4] Demtröder, W. (2005) *Experimentalphysik 3 Atome, Moleküle und Festkörper*.  
3. überarbeitete Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- [5] Brković, N. (2006) *FIZIKA 4. Udžbenik za četvrti razred gimnazije*.  
Zagreb: Luk d.o.o
- [6] Donges, A. (2000) *Physikalische Grundlagen der Lasertechnik*. 2. Auflage.  
Heidelberg: Hüthig Verlag
- [7] Tipler, P. und Mosca, G. (2006) *Physik – Für Wissenschaftler und Ingenieure*. 2.  
Auflage. München: Spektrum Akademischer Verlag
- [8] Young, H. and Freedman, R. (2011) *University Physics with modern physics*.  
13<sup>th</sup> Edition. San Francisco: Pearson Education
- [9] RUTGERS (2001-2014) *Physics Teaching Technology Resource - Introduction*.  
[Online] Dostupno na: <http://paer.rutgers.edu/pt3/introduction.php>  
[Pristupljeno: 1. veljače 2016].
- [10] Oregon State University (2016) *ISLE labs for Physics 21X*.  
[Online] Dostupno na:  
[http://physics.oregonstate.edu/~demareed/COURSES/ph211/211\\_Lab\\_packet.pdf](http://physics.oregonstate.edu/~demareed/COURSES/ph211/211_Lab_packet.pdf)  
[Pristupljeno: 1. veljače 2016].
- [11] [Online] Dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=HHXgyZrdACs>  
[Pristupljeno: 8. veljače 2016].
- [12] [Online] Dostupno na: [https://www.youtube.com/watch?v=DThUKDM\\_Wtk](https://www.youtube.com/watch?v=DThUKDM_Wtk)  
[Pristupljeno: 5. veljače 2016].

- [13] Science Buddies Staff. (2014) *Using a Laser to Measure the Speed of Light in Gelatin*. [Online] Dostupno na:  
[http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project\\_ideas/Phys\\_p009.shtml](http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_ideas/Phys_p009.shtml)  
 [Pristupljeno: 10. prosinca 2016].
- [14] Science Buddies Staff. (2014) *Using a Laser Pointer to Measure the Data Track Spacing on CDs and DVDs*. [Online] Dostupno na:  
[http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project\\_ideas/Phys\\_p011.shtml](http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_ideas/Phys_p011.shtml)  
 [Pristupljeno: 10. prosinca 2016].
- [15] Planinić, M. (1996/97) *CD kao optička rešetka*. Matematičko fizički list. 47, 2/186
- [16] Litiholo. (2014) *Hologram Kit*. [Online] Dostupno na:  
[https://www.litiholo.com/hologram\\_kits.html](https://www.litiholo.com/hologram_kits.html)  
 [Pristupljeno: 5. rujna 2016].
- [17] CLIMATE SCIENCE INVESTIGATIONS. (2016) [Online] Dostupno na:  
<http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>  
 [Pristupljeno: 3. prosinca 2016].
- [18] OPI. (2007) *Laser: Fundamentals*. [Online] Dostupno na: [http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI\\_ang\\_M01\\_C01/co/Contenu\\_05.html](http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI_ang_M01_C01/co/Contenu_05.html)  
 [Pristupljeno: 4. prosinca 2016].
- [19] Runzka, M. (2012) *Lasertechnik. Ein Überblick*. [Online] Dostupno na:  
[http://www.haw-hamburg.de/fileadmin/user\\_upload/IWS/PDF/Fuegetechnik/Lasertechnik\\_Grundlagen\\_Schweissen.pdf](http://www.haw-hamburg.de/fileadmin/user_upload/IWS/PDF/Fuegetechnik/Lasertechnik_Grundlagen_Schweissen.pdf)  
 [Pristupljeno: 5. rujna 2016].
- [20] Ban, T. (2008) *Laseri u znanosti i tehnologiji*. [Online] Dostupno na:  
<http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Laseri.pdf>  
 [Pristupljeno: 5. prosinca 2016].
- [21] [Online] Dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser>  
 [Pristupljeno: 5. rujna 2016].
- [22] Labor, J. (2007) *FIZIKA 3. Udžbenik za treći razred gimnazije*.  
 Zagreb: Alfa