

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



MATEJ SUKALAC

DISPERZIJA SVJETLOSTI

Završni rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



MATEJ SUKALAC

DISPERZIJA SVJETLOSTI

Završni rad

Podložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u
Osijeku radi stjecanja zvanja prvostupnika fizike

Osijek, 2017.

„Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Denisa Stanića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku“.

DISPERZIJA SVJETLOSTI

MATEJ SUKALAC

Sažetak:

Svrha ovog rada bila je objasniti i eksperimentalno prikazati pojavu koju nazivamo disperzijom svjetlosti. Rad počinje teorijskim uvodom geometrijske optike koja svojim zakonima omogućuje kasnije razumijevanje zadane teme. Završetkom teorijskog dijela, nastavlja se eksperimentalni dio koji prikazuje disperziju svjetlosti u prirodi.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: *svjetlost, odbijanje svjetlosti, lom svjetlosti, disperzija svjetlosti, optička prizma, spektrometar*

Mentor: doc.dr.sc. Denis Stanić

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

DISPERSION OF LIGHT

MATEJ SUKALAC

Abstract:

The purpose of this study was to explain and experimentally demonstrate the phenomenon of light dispersion. The work begins with a theoretical introduction of geometrical optics which laws enable a later understanding of the given topic. Upon completion of the theoretical part, the work continues with the experimental section that shows the dispersion of light in nature.

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: light, reflections, light refraction, dispersion of light, optical prism, spectrometer

Supervisor: doc.dr.sc. Denis Stanić

Reviewers:

Thesis accepted:

TABLICA SADRŽAJA

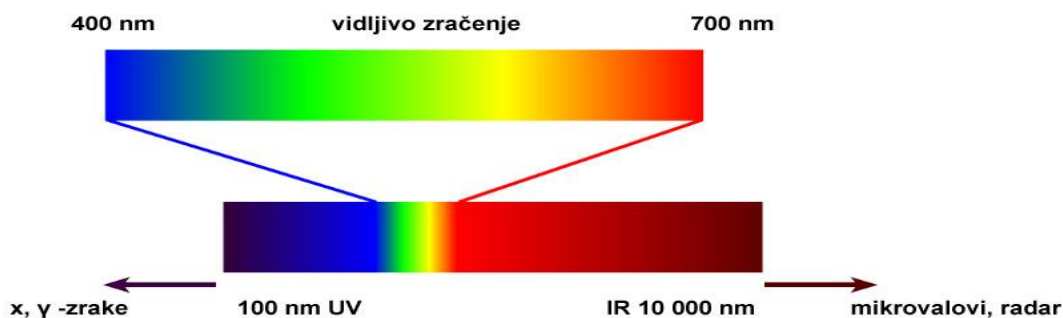
1. UVOD	4
2. GEOMETRIJSKA OPTIKA.....	5
2.1. Zakon odbijanja svjetlosti	6
2.1.1. Fermatov princip refleksije	7
2.2. Zakon loma svjetlosti	8
2.2.1. Fermatov princip loma	9
2.2.2. Indeks loma	10
2.2.3. Snellov zakon loma	11
2.3. Totalna refleksija	12
2.3.1. Perroova prizma (Primjena totalne refleksije)	13
3. OPTIČKA PRIZMA	14
4. DISPERZIJA SVJETLOSTI (RASPRŠENJE).....	18
4.1. Abbeov broj	19
4.2. Spektrograf.....	20
4.3. Duga.....	21
5. EKSPERIMENTALNI DIO	23
5.1. Nastanak duge	23
5.2. Dugine boje na zidu	25
6. ZAKLJUČAK	29
7. LITERATURA I REFERENCE	30
8. ŽIVOTOPIS	32

1. UVOD

Optika je dio fizike koji proučava svjetlosne pojave. Izvori svjetlosti mogu biti različiti - od Sunca, plamena, užarenih predmeta pa sve do objekata koji ne generiraju svjetlo već ga samo reflektiraju. Ljudsko oko je detektor svjetlosti te pomoću njega raspoznamo svjetlost od tame (nedostatak svjetlosti). Svjetlost se za sada prikazuje dvojako. Svjetlost, zavisno o pokusu kojeg izvodimo, ima svojstvo vala ili kao čestice (interakcija s materijom). Valna teorija tumači svjetlost kao elektromagnetski val te vidljiva svjetlost ljudskom oku ima valnu duljinu od oko 400 do 700 nm [1].

Kako bi se bolje upoznali sa pojmom disperzije svjetlosti, u radu se nalaze glavni koncepti koji su potrebni za razumijevanje te veoma zanimljive pojave. Prvi dio se sastoji od teorijskog uvoda dok ćemo se u drugom dijelu susresti s eksperimentalnom metodom. Sama po sebi, optika je veoma zanimljiva u eksperimentu, stoga je i to bio jedan od najvećih razloga i poticaja da se odlučim za ovu temu. Pričajući o eksperimentu, možemo reći da je duga uvijek nosila sa sobom auru misterije i legende. Drevna indijanska plemena diljem Sjeverne Amerike vjerovala su da je duga most između života i smrti. Rimljani su smatrali dugu pozitivnim znakom njihovog boga Sunca, a popularna irska legenda kaže da vilenjaci redovito ostavljaju vrčeve sa zlatom na krajevima duge – jedini trik kako doći do tog zlata bio je da se stigne do krajeva duge prije nego što ona izblijedi u sjećanje. Do dana današnjeg još nije bilo čovjeka koji bi imao puno sreće u ostvarenju ovog nedostižnog zadatka – ali ne zbog toga što to nije pokušao. U stvarnosti oko duge ne postoji ništa mitsko, mistično ili čak tajanstveno.

Potrebno je samo osloniti se na prirodnu znanost koja ima realna i potvrđena rješenja, a to je fizika [1].



Slika 1. Spektar vidljive svjetlosti [2]

2. GEOMETRIJSKA OPTIKA

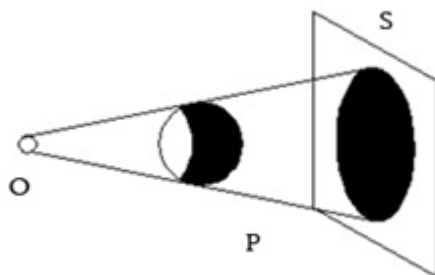
Geometrijskom optikom nazivamo dio optike u kojem se širenje svjetlosti opisuje pomoću svjetlosnih zraka. Iskustvo nam govori da se svjetlost širi u pravcima. Svjetlosna zraka je zamišljena kao linija okomita na valne fronte, usmjerena u pravcu gibanja valnih fronta. Geometrijska optika zanemaruje valni karakter svjetlosti, odnosno ne pita se uopće za njezinu narav. Mnogi optički uređaji rade na načelima geometrijske optike. U geometrijskoj se optici nalaze zakonitosti koja se odnose na optičke sustave i na pojave širenja svjetlosti kroz dioptrijska sredstva, odbijanje i lom svjetlosti na graničnoj plohi dvaju sredstava te nastanak slike za neki svjetlosni izvor. Dakle, svrha geometrijske optike je pronalaženje zakonitosti koje se odnose na stvaranje slika pomoću optičkih sistema [1].

Osnovni zakoni geometrijske optike, odnose se na vladanje svjetlosti kad se ona:

- 1) Širi u prostoru
- 2) Pada na pravilnu glatku plohu i od nje se odbija ili reflektira
- 3) Prolazi kroz glatku, graničnu plohu između dva prozirna sredstva i na njoj se lomi ili refraktira.

Ponašanje svjetlosti u navedenim prilikama obuhvaćeno je određenim zakonima:

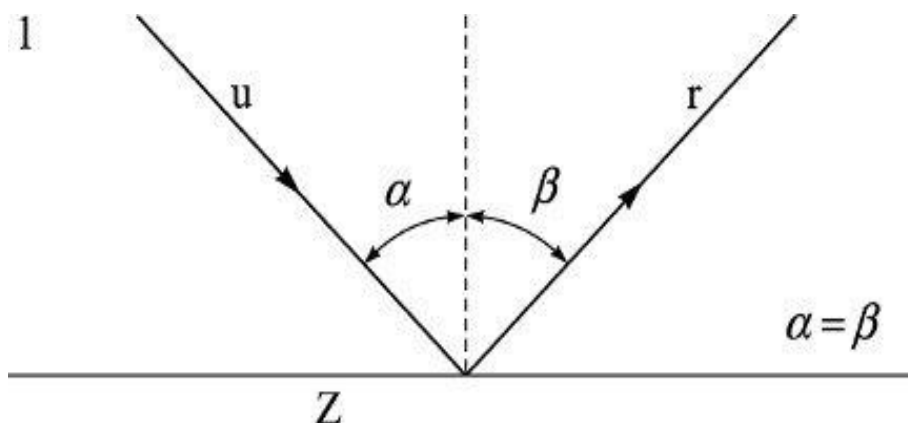
- a) Zakon širenja svjetlosti – svjetlost se u homogenom izotropnom sredstvu širi pravocrtno
- b) Zakon odbijanja svjetlosti (refleksija)
- c) Zakon loma svjetlosti (refrakcija)
- d) Nezavisni snopovi svjetlosti – dva snopa svjetlosti se u prostoru šire potpuno nezavisno, bez međudjelovanja



Slika 2. Sjena na zastoru [3]

2.1. Zakon odbijanja svjetlosti

Kada svjetlost padne na površinu nekog tijela, dio svjetlosti se reflektira. Ako je površina tijela vrlo glatka, tada je refleksija pravilna (paralelan svjetlosni snop reflektira se također u jedan paralelan snop). U slučaju da svjetlosni snop padne na nepravilnu površinu tijela, tada se svjetlost reflektira nepravilno. Kažemo da je to difuzna refleksija. Prilikom pada snopa svjetlosnih zraka na ravnu uglađenu plohu nekog materijala, pokus će pokazati da se snop svjetlosti odbije od plohe i ostaje u ravnini okomitoj na materijalnu plohu, što znači da će upadna i odbijena zraka ležati u upadnoj ravnini koja je određena upadnom zrakom i normalom na plohu [1,9].



Slika 3. Zakon odbijanja svjetlosti [10]

Još su stari Grci otkrili da vrijedi zakon refleksije (odbijanja svjetlosti) :

Kut refleksije svjetlosne zrake jednak je upadnom kutu!

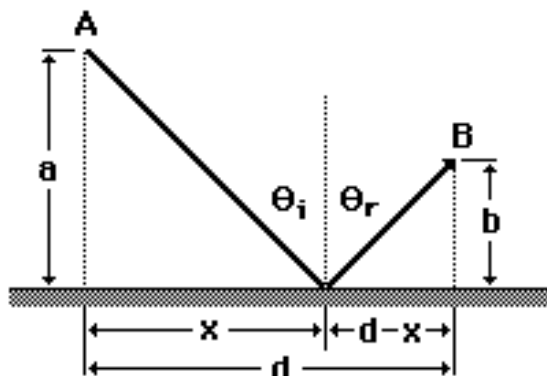
u – upadna zraka

r – izlazna zraka

$$\alpha = \beta$$

2.1.1. Fermatov princip refleksije

Najvažniji zakoni geometrijske optike mogu se izvesti iz Fermatovog principa. Svjetlost ide od jedne do druge točke najkraćim mogućim vremenom.



Slika 4. Fermatov princip refleksije [24]

Svjetlost dolazi iz točke A te pada na površinu(s_1), a od nje se reflektira u točku B(s_2). Kutovi θ_i i θ_r su kutovi upada i refleksije. Udaljenosti točaka A i B od odbojne ravnine označimo sa a i b . Sada se može izvesti zakon odbijanja:

$$s_1 = \sqrt{a^2 + x^2} \text{ (udaljenost od točke A do površine)}$$

$$s_2 = \sqrt{b^2 + (d^2 - x^2)} \text{ (udaljenost od površine do točke B)}$$

$$t = \frac{s_1}{v} + \frac{s_2}{v} = \frac{1}{v} (\sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (d^2 - x^2)})$$

Prema Fermatovom principu derivacija t po x , treba biti jednaka nuli jer tražimo putanju najkraćeg vremena putovanja svjetlosti od A do B:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{2} \frac{2x}{\sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{1}{2} \frac{2(d-x)(-1)}{\sqrt{b^2 + (d^2 - x^2)}} = 0$$

Iz tog izraza dobivamo:

$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{d-x}{\sqrt{b^2 + (d^2 - x^2)}}$$

Iz slike, slijedi da je to ekvivalentno iznosu

$$\sin \theta_i = \sin \theta_r, \text{ odnosno da je } \theta_i = \theta_r$$

Ovaj izraz nazivamo zakonom refleksije. Upadni kut je jednak kutu refleksije [19,25].

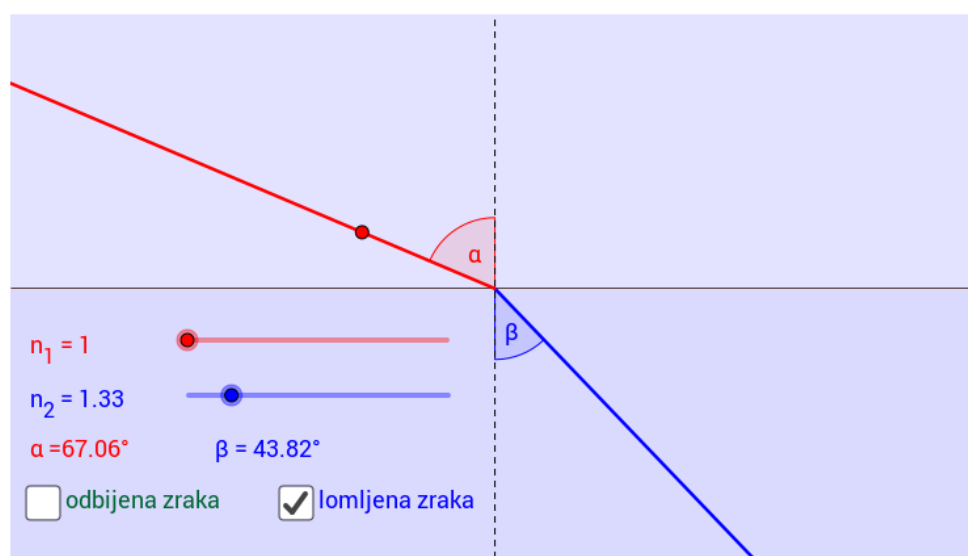
2.2. Zakon loma svjetlosti

Brzina svjetlosti u vakuumu iznosi $c = 300000 \text{ km/s}$. U svakom drugom mediju svjetlost ima manju brzinu. Omjer brzine svjetlosti u vakuumu c , i brzine svjetlosti u nekom optičkom mediju, v , naziva se indeksom loma i označava sa n :

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

Formula za indeks loma

Pri prolasku paralelnih zraka svjetlosti kroz ravnu graničnu plohu dvaju homogenih izotropnih dioptrijskih sredstava, doći će do promjene smjera svjetlosti. Ta pojava se naziva refrakcija ili lom svjetlosti. Ploha koja dijeli dva dioptrijska sredstva naziva se dioptrijska ploha. Ako zraka prelazi iz medija manjeg u medij većeg indeksa loma, ona se lomi prema okomici na graničnu plohu [1,4,9].



Slika 5. Lom zrake svjetlosti [11]

2.2.1. Fermatov princip loma

Ako je P početna, a P' krajnja točka zrake svjetlosti koja se lomi kroz zadanu ravninu NN' . Ponovno, svjetlost ide putem koji zahtjeva najkraće moguće vrijeme. Udaljenosti točaka su označene na slici (6). Totalna duljina puta L od A do B je,

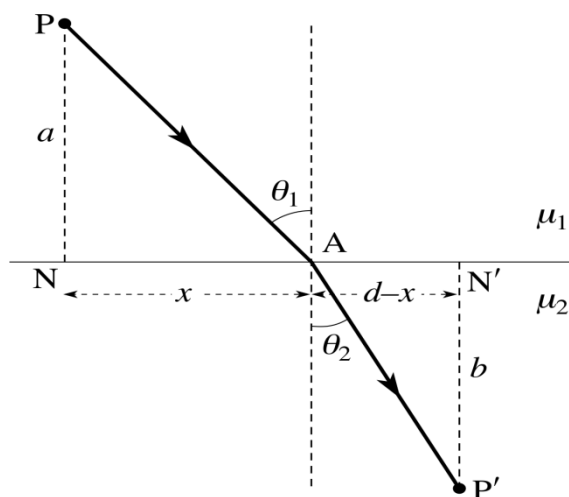
$$L = \sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (d - x)^2}$$

Vrijeme koje je potrebno da prijeđe taj put je

$$t = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (d - x)^2}}{v_2}, \text{ gdje su } v_1 \text{ i } v_2 \text{ brzine svjetlosti.}$$

Uvjet minimuma vremena je takav da se derivacije funkcije izjednači sa nulom što daje:

$$\frac{dt}{dx} = 0 = \frac{x}{v_1 \sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{d - x}{v_2 \sqrt{b^2 + (d - x)^2}}$$



Slika 6. Fermatov princip refrakcije [24]

$$\text{Slijedi: } \frac{\sin \theta_1}{v_1} - \frac{\sin \theta_2}{v_2} = 0, \text{ odnosno } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}}, \text{ dobivamo:}$$

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

Ta se relacija naziva Snellov zakon loma. U nastavku ćemo objasniti Snellov zakon loma na jednostavniji način [19].

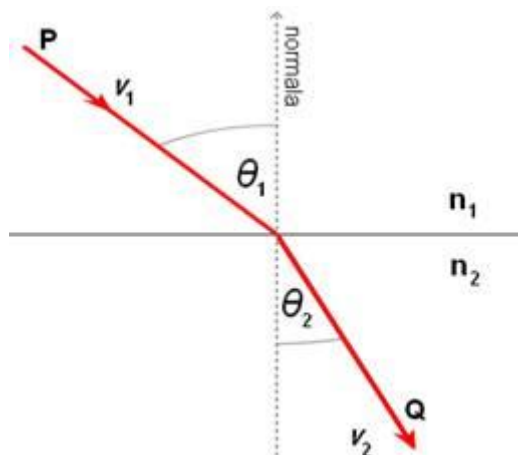
2.2.2. Indeks loma

Indeks loma je bezdimenzionalna fizikalna veličina koja opisuje međudjelovanje svjetlosti i optičke prozirne tvari, a definiramo je kao omjer brzine svjetlosti u vakuumu c i brzine svjetlosti u tvari v , $n = \frac{c}{v}$.

Svjetlost će se u nekoj tvari širiti brzinom $v = \frac{c}{(\epsilon_r \mu_r)^{\frac{1}{2}}}$, gdje je ϵ_r relativna

dielektrička permitivnost, a μ_r relativna magnetska permeabilnost. Obzirom da će za relativnu magnetsku permeabilnost u optičkom sredstvu vrijediti $\mu_r \approx 1$, izaći će da indeks loma ovisi samo o relativnoj dielektričnoj permitivnosti $n = (\epsilon_r)^{\frac{1}{2}}$. Međutim, za mnoge će tvari doći do odstupanja od toga izraza zbog postojanja električnih dipola u dielektricima i ovisnosti relativne dielektričke permitivnosti o frekvenciji svjetlosti. Indeks loma u vakuumu je jednak 1, a u optičkome sredstvu najmanji je za crvenu svjetlost, a najveći za ljubičastu. Disperzija svjetlosti koja je nastala u ovisnosti indeksa loma o valnoj duljini svjetlosti opisuje se pomoću Abbeovog broja (4.1.)[21].

2.2.3. Snellov zakon loma



Slika 7. Snellov zakon loma [5]

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

θ_1 - kut koji zatvara upadna zraka svjetlosti sa okomicom na granicu sredstava

θ_2 - kut koji zatvara lomljena zraka svjetlosti sa okomicom na granicu sredstava

v_1 - brzina upadne zrake

v_2 - brzina lomljene zrake

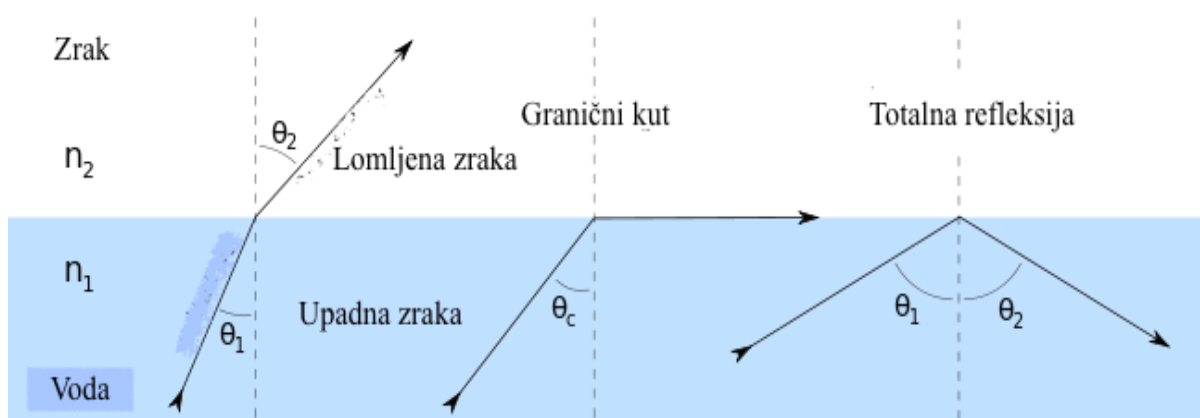
$n_{1,2}$ - indeks loma

Snellov zakon loma omogućuje da predvidimo gibanje svjetlosnih zraka znamo li indekse loma optičkih medija na putu tih svjetlosnih zraka. Pri prijelazu svjetlosne zrake iz jednog optičkog medija u drugi zraka se lomi. Upadna zraka, zraka loma i okomica na graničnu plohu leže u istoj ravnini.

Iz zakona loma vidi se da omjer sinusa upadnog kuta i sinusa kuta loma ima vrijednost koja ovisi samo o indeksima loma optičkih sredstava između kojih se zraka lomi, a neovisna je o upadnom kutu [4].

2.3. Totalna refleksija

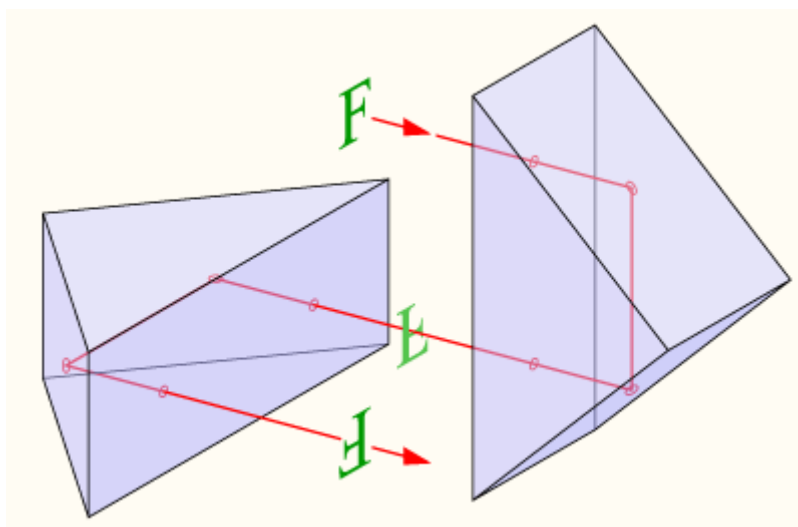
Prilikom lomljenja svjetlosti iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo, može se pojaviti totalna refleksija. U drugom sredstvu svjetlost se otklanja od normale. Totalna refleksija nastaje u slučaju kada je kut upada veći od graničnog kuta. Zraka svjetlosti ne može prijeći u optički rjeđe sredstvo već se totalno reflektira natrag u gušće sredstvo. Totalna refleksija primjenjuje se u optičkim uređajima kako bismo zraku svjetlosti skrenuli u drugi smjer, a da pritom ne izgubimo nimalo svjetlosti. Na tom principu radi pravokutna prizma [4].



Slika 8. Totalna refleksija [6]

2.3.1. Perroova prizma (Primjena totalne refleksije)

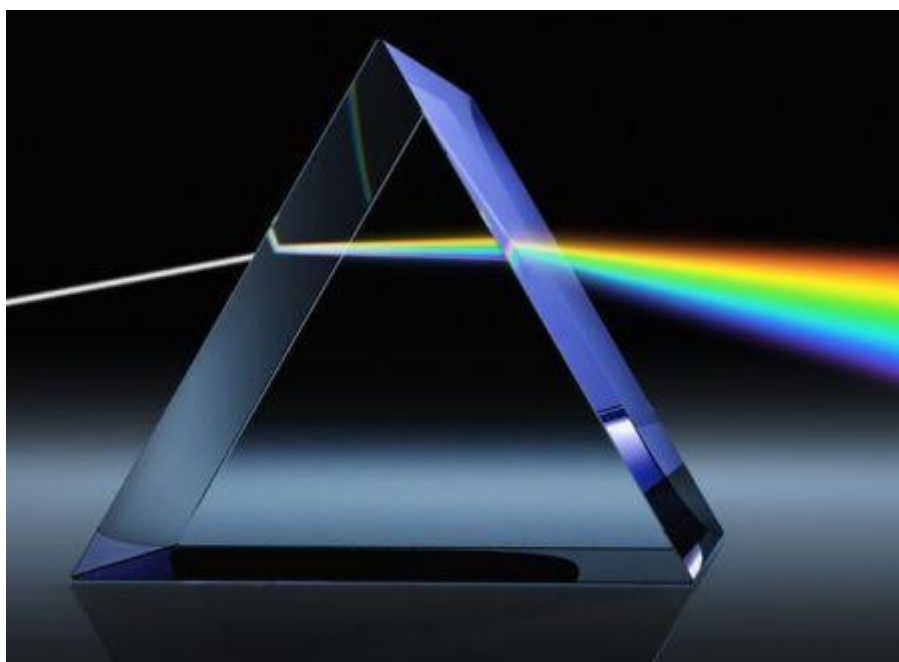
Za sredstva staklo ($n = 1,5$) i zrak, kut totalne refleksije je 42 stupnja. U tom slučaju, staklenu prizmu možemo koristiti za promjenu smjera zrake svjetlosti pomoću totalne refleksije. Na slici (7) je prikazana Perroova prizma sa kutovima 45/45/90 gdje je upadni kut zrake svjetlosti 45 stupnjeva na graničnoj ravnini veći od kuta totalne refleksije (42 stupnja) [22].



Slika 9. Dupla Perroova prizma [20]

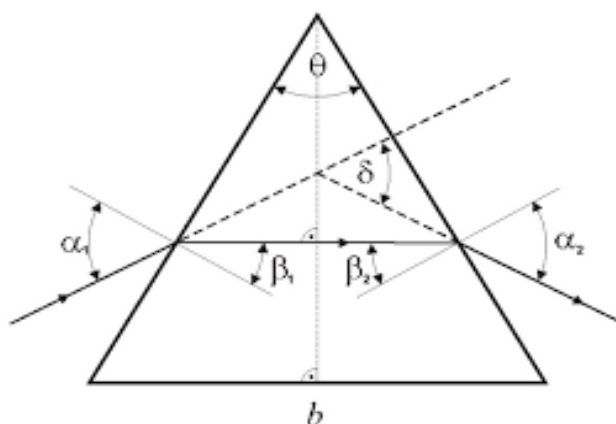
3. OPTIČKA PRIZMA

Newton je u 17. stoljeću eksperimentalno ustanovio da se Sunčeva svjetlost, prilikom prolaska kroz staklenu prizmu razlaže na boje. U svom eksperimentu on je koristio snop Sunčevih zraka koji su prolazili kroz kružni otvor na prozorskom oknu. Kada je ispod otvora postavio prizmu, na zidu je umjesto svjetlosnog kruga dobio obojenu traku, odnosno spektar boja. Uočio je da je prijelaz između boja postepen i da svaka boja zauzima različiti dio spektra.



Slika 10. Optička prizma [7]

Na slici (10) vidimo razlaganje bijele svjetlosti na optičkoj prizmi. Prozirno optičko sredstvo koje je ograničeno sa dvije dioptrijske ravne plohe koje međusobno nisu paralelne nazivamo optičkom prizmom. Kut pod kojim se sijeku te dvije plohe nazivamo kutom prizme, a pravac u kojem se sijeku dioptrijske ravnine nazivamo brid prizme.



Slika 11. Presjek prizme [17]

α_1 – prvi upadni kut

β_1 – prvi kut loma

α_2 – drugi kut loma

β_2 – drugi upadni kut

δ – kut devijacije

U glavnom presjeku promatramo prolazak monokromatske zrake svjetlosti određene valne duljine kroz prizmu koja ima određeni indeks loma n_2 , a nalazi se u sredstvu indeksa loma n_1 . Zraka će se dva puta lomiti (pri ulazu i na izlazu prizme) te će se otkloniti za određeni kut devijacije δ (što je kut između upadne i izlazne zrake).

Snellov zakon loma daje jednadžbe za ulaznu i izlaznu zraku na prizmi ako uzmemo za indekse loma 1 (za zrak), i $n_2 = n$ (prizma):

$$\begin{aligned} \sin \alpha_1 &= n \sin \beta_1 \\ \sin \alpha_2 &= n \sin \beta_2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

U određenom slučaju, kut prizme i indeks loma materijala su zadani, stoga preostaje samo zavisnost kuta devijacije o upadnom kutu na prizmi, ili $\delta = \delta(\alpha_1)$.

Postoji pokus koji ćemo ovdje ipak opravdati teorijskim putem. Pokus se sastoji od toga da se laserski snop svjetlosti usmjeri na prizmu i promatra se kut devijacije. Zakretanjem prizme oko njene uzdužne osi, zamijetit ćemo da se kut devijacije smanjuje, dostiže minimalnu vrijednost i ponovno se povećava iako prizmu zakrećemo i dalje u istom smjeru vrtnje. Ponavljanjem pokusa možemo zaključiti da kut devijacije nastupa kada je $\alpha_1 = \alpha_2$ te $\beta_1 = \beta_2$.

Matematički (teorijski) postupak navedenog pokusa:

Traženje ekstrema odnosno minimuma devijacije funkcije koja zavisi samo o kutu α_1 , izvodimo tako da funkciju deriviramo po α_1 :

$$\frac{d\delta}{d\alpha_1} = 1 + \frac{d\alpha_2}{d\alpha_1} \quad (3.2.)$$

Kako bi odredili značenje derivacije α_2 , deriviramo izraze :

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 d\alpha_1 &= n \cos \beta_1 d\beta_1 \\ \cos \alpha_2 d\alpha_2 &= n \cos \beta_2 d\beta_2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Dijeljenje prve jednadžbe sa drugom dobivamo:

$$\frac{\cos \alpha_2 d\alpha_2}{\cos \alpha_1 d\alpha_1} = \frac{n \cos \beta_2 d\beta_2}{n \cos \beta_1 d\beta_1} \quad (3.4)$$

Diferenciranjem izraza $\varphi = \beta_1 + \beta_2$, daje eksplicitno $d\beta_2 = -d\beta_1$ i uvrštavanjem u jednadžbu (3.4) dobivamo:

$$\frac{d\alpha_2}{d\alpha_1} = -\frac{\cos \beta_2 \cos \alpha_1}{\cos \beta_1 \cos \alpha_2} \quad (3.5)$$

I dobiveni izraz uvrstimo u jednadžbu (3.2) te slijedi:

$$\frac{d\delta}{d\alpha} = \frac{\cos \beta_1 \cos \alpha_2 - \cos \beta_2 \cos \alpha_1}{\cos \beta_1 \cos \alpha_2} \quad (3.6)$$

Minimum funkcije δ nastupa kada je $\frac{d\delta}{d\alpha} = 0$, što zahtjeva da brojnik u (3.6) bude jedan nuli pa slijedi jednadžba:

$\cos \beta_1 \cos \alpha_2 - \cos \beta_2 \cos \alpha_1 = 0$ koja je zadovoljena samo ako vrijedi:

$$\alpha_1 = \alpha_2; \beta_1 = \beta_2 \quad (3.7)$$

Uz uvjet (3.7) jednađžba $\varphi = \beta_1 + \beta_2$ će dati odnos : $\beta_1 = \varphi/2$ dok minimum devijacije iz jednađžbe $\delta = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi$ poprima jednostavniji oblik : $\delta_m = 2\alpha_1 - \varphi$ što daje za upadni kut: $\alpha_1 = (\delta_m + \varphi)/2$. Kad tako izražene kutove β_1 i α_1 uvrstimo u jednađžbu (3.1), dobivamo eksplicitni izraz za indeks loma:

$$n = \frac{\sin(\delta_m + \varphi)/2}{\sin \varphi/2}$$

Gornja jednađžba omogućuje određivanje indeksa loma prizme n , ako mjerimo kut minimuma devijacije δ_m i kut prizme φ [4].

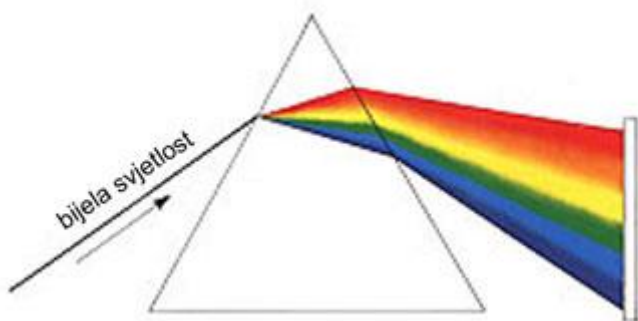
4. DISPERZIJA SVJETLOSTI (RASPRŠENJE)

Kroz dosadašnji dio završnog rada mogli smo se upoznati sa brojnim zakonima, definicijama, jednažbama koje definiraju i spadaju u područje optike. Sve te pojmove smo definirali kako bi došli do cilja našeg rada, a to je disperzija svjetlosti.

Već znamo da je u vakuumu brzina svjetlosti jednaka konstantnoj vrijednosti c , neovisno o valnoj duljini svjetlosti. U drugim pak optičkim medijima, brzina svjetlosti je manja. Brzina se računa prema formuli $v_m = \frac{c}{n}$, pri čemu je n indeks loma dotičnog medija.

Pokusima je utvrđeno da su indeksi loma različiti ovisno o valnoj duljini. Općenito, indeks loma u nekome mediju je veći što je valna duljina svjetlosti manja. To uzrokuje da pri lomu svjetlosti na granici optičkih medija nastaje rasap svjetlosti po valnim duljinama. Ta se pojava zove disperzija svjetlosti. Dakle, zavisnost indeksa loma nekog sredstva o valnoj duljini svjetlosti nazivamo disperzijom svjetlosti.

U prošlom odjeljku kod optičke prizme, mogli smo vidjeti kako se indeks loma može mjeriti uz pomoć prizme i pripadnog kuta minimalne devijacije. Tim eksperimentom možemo zapravo naći odnos valne duljine svjetlosti i indeksa loma te odrediti pripadnu funkciju $n = f(\lambda)$. Dakle, na prizmi će se više lomiti i imati veći kut devijacije svjetlost kraće valne duljine što pokazuje slika 12. Upadna zraka bijele svjetlosti nakon loma se rastavlja na obojene zrake pri čemu se ljubičasta zraka najviše lomi, a crvena najmanje. Između navedenih valnih duljina je i područje vidljive svjetlosti. Ovu pojavu nazivamo rasap odnosno disperzija bijele svjetlosti [16,25].



Slika 12. Disperzija svjetlosti na prizmi [18]

Slika 12. – Upadna zraka bijele svjetlosti disperzijom se rastavlja na obojene zrake

$$(\lambda_c > \lambda_{lj})$$

Kako smo već spomenuli, područje vidljive svjetlosti je između 400 i 750 nm. Samo oko je najosjetljivije na zelenkastu svjetlost valne duljine 555 nm. Možemo reći kako se prizme većinom rade od stakla, što je dioptrijski materijal sastavljen od smjese oksida. U instrumentalnoj optici osobito se koriste grupe tzv. krunskog stakla s indeksom loma 1,5 te flint stakla s indeksom loma 1,8. Disperzija svjetlosti nastala zbog ovisnosti indeksa loma o valnoj duljini svjetlosti opisuje je s pomoću Abbeova broja [25].

4.1. Abbeov broj

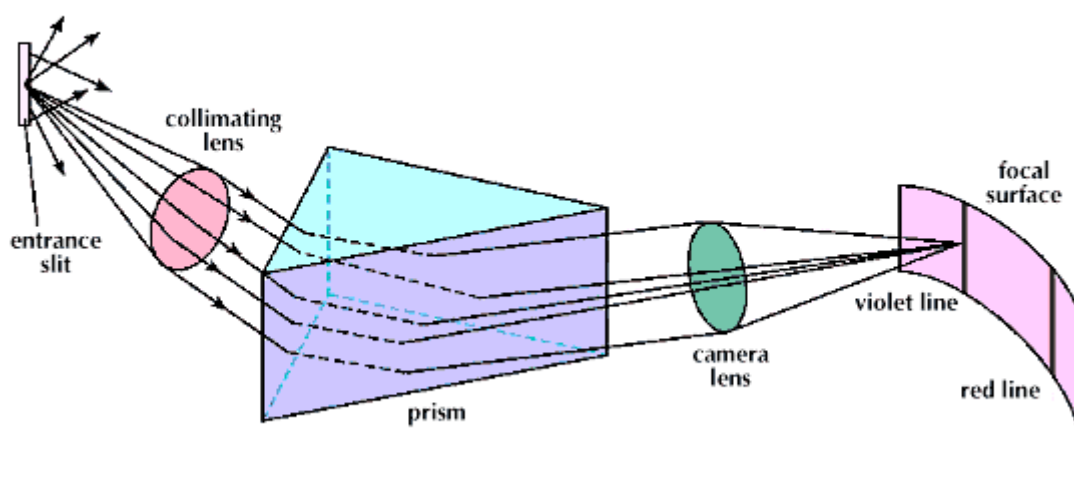
Abbeov broj je veličina kojom se opisuje disperzija svjetlosti u optičkome sredstvu. Definiramo je kao omjer indeksa loma sredstva za različite valne duljine svjetlosti: $V = (n_D - 1)/(n_F - n_C)$, gdje će n_D biti indeks loma Fraunhoferove linije D (valne duljine 589,2 nm), n_F indeks loma Fraunhoferove linije F (486,1 nm) i n_C indeks loma Fraunhoferove linije C (656,3 nm). Što je Abbeov broj manji, to je veća disperzija boja [21].

4.2. Spektrograf

Rastavljanjem neke polikromatske svjetlosti na sastavne boje, dobivamo spektar svjetlosti. Uređaj za mjerenje spektra svjetlosti nazivamo spektrografom ili spektroskopom. Svaki spektrograf sadrži disperzijski i detekcijski dio uređaja. U spektrografu s prizmom disperzijski uređaj za vidljivu svjetlost je prizma od stakla.

Pri analiziranju spektra svjetlosti s valnim duljinama kraćim od duljine svjetlosti (ultraljubičasto područje) koristi se prizma od kvarca dok kod većih valnih duljina od vidljive svjetlosti (infracrveno područje) se rabe prizme od natrij-bromida, kalij-bromida i sl. Kao izvor svjetlosti služi osvijetljena pravokutna dijafragma kroz koju svjetlost pada preko konvergentne leće na prizmu, gdje se ona rasipa i na zastoru se pojavljuju obojene slike pukotine. Isto tako, bitno je reći kako se na zastoru zapravo nalazi detekcijski dio spektrografa, najčešće je to fotoćelija, fotografska ploča itd [4].

Principles of a Prism Spectrograph



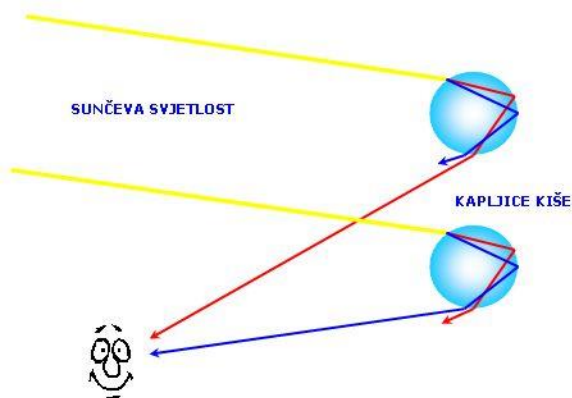
Slika 13. Spektrograf [8]

4.3. Duga

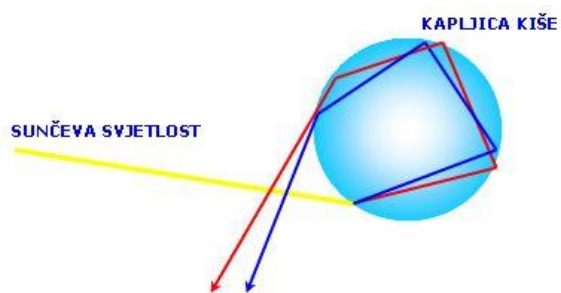


Slika 14. Duga [13]

Duga nastaje zbog raspršenja Sunčeve svjetlosti na vodenim kapljicama u atmosferi, odnosno - kombinacijom disperzije i unutarnjeg odbijanja (totalne refleksije) sunčeve svjetlosti. Pitamo se što se zbiva sa svjetlosnom zrakom bijele Sunčeve svjetlosti koja pada na vodenu kapljicu? Upadna zraka se najprije lomi pri ulasku u kapljicu, zatim nastaje totalna refleksija na stražnjoj strani kapljice i konačno, drugi lom pri izlasku iz kapljice (slika 15), uz disperziju upadne svjetlosne zrake, odnosno rasap prema valnim duljinama [4,12,19].



Slika 15. Nastanak duge(primarna)[14]



Slika 16. Nastanak duge (sekundarna)[15]

Kako pokazuje slika 15, duga će nastati od zraka koje se jedanput odbijaju, a dva puta lome, dok drugu dugu (slika 16) daju zrake koje se dva puta odbijaju i dva puta lome, otkud i potječe disperzija. Kad sunčeve zrake upadaju horizontalno na kapljice vode u atmosferi motritelj će vidjeti donju ljubičastu boju duge (slika 15) pod kutom od 40° prema vertikali (gornju crvenu boju duge (15) motritelj će vidjeti pod kutom od 42°), dok donju crvenu boju duge (16) vidi pod kutom od 50° [27].

Dakle, postoje dvije vrste duge koje se uz povoljne uvjete (ovisno o kutu upadnih zraka, položaju motritelja, kapljica vode u zraku, npr. od vodopada ili kiše) mogu vidjeti:

- Unutarnja (primarna) – karakterizira ju veća sjajnost, izvana je crvena, iznutra ljubičasta
- Vanjska (sekundarna) – ima obrnuti redoslijed boja



Slika 17. Primarna i sekundarna duga[9]

5. EKSPERIMENTALNI DIO

U teorijskom dijelu kroz same početke geometrijske optike, odnosno odbijanja svjetlosti, loma svjetlosti pa sve do totalne refleksije, objasnili smo mogućnosti kako se svjetlost može ponašati u određenom trenutku. U ovom odjeljku pokazat ćemo kako eksperimentalno izgledaju 2 pokusa.

5.1. Nastanak duge

Obzirom kako se duga vidi za vrijeme kiše kad istodobno pada kiša i sija Sunce tako smo za vrijeme sunčanog dana priključili stroj za pranje kako bismo umjetno izazvaliugu.



Slika 18. Eksperimentalni dio – nastanak duge

Prisjetimo se važne postavke kako se duga vidi samo onda kada je opažatelj leđima okrenut od Sunca. Preko ramena nam je sijalo Sunce i obasjavalo kišne kapi koje su prelamale svjetlost i pretvarale ju u spektar ili vrpču boja. Sunce, naše oči i središte luka duge morale su stajati u pravoj liniji. U trenucima kada je Sunce bilo suviše visoko, taj uvjet se nije mogao postići. Zato se duga može najbolje vidjeti ili rano ujutro ili kasno poslijepodne. Jutarnja duga znači da Sunce sija na istoku, a kiša pada na zapadu.



Slika 19. Eksperimentalni dio – nastanak duge (2)

Boje u dugi čine kontinuirani spektar sa crvenom na vanjskoj i ljubičastoju na unutarnjoj strani luka, ali se tradicionalno navode sve dugine boje, a to su: crvena, narančasta, žuta, zelena, plava i ljubičasta.

5.2. Dugine boje na zidu

Cilj ovog eksperimenta je prikazati dugine boje na zidu. Kako bismo prikazali navedeni eksperiment, potrebni su nam bili ogledalo, baterijska svjetiljka i posuda s vodom. Pokus smo izveli u zamračenoj prostoriji. Napunili smo plitku posudu vodom te smo u nju stavili ogledalo sa lomljivom stranom koja gleda prema gore pod određenim kutom na površinu vode. Upalili smo baterijsku svjetiljku i snop usmjerili na ogledalo.



Slika 20. Puštanje snopa svjetlosti prema ogledalu koje se nalazi u vodi

Nakon što smo usmjerili svjetlosni snop prema ogledalu prizmatske boje su se reflektirale uslijed refrakcije i disperzije svjetla baterijske svjetiljke. Ovim pokusom smo zapravo jednostavno pokazali način razlike između loma, odbijanja i disperzije svjetlosti.

Eksperimentalni podaci: debljina sloja vode u posudi – 4,5 cm

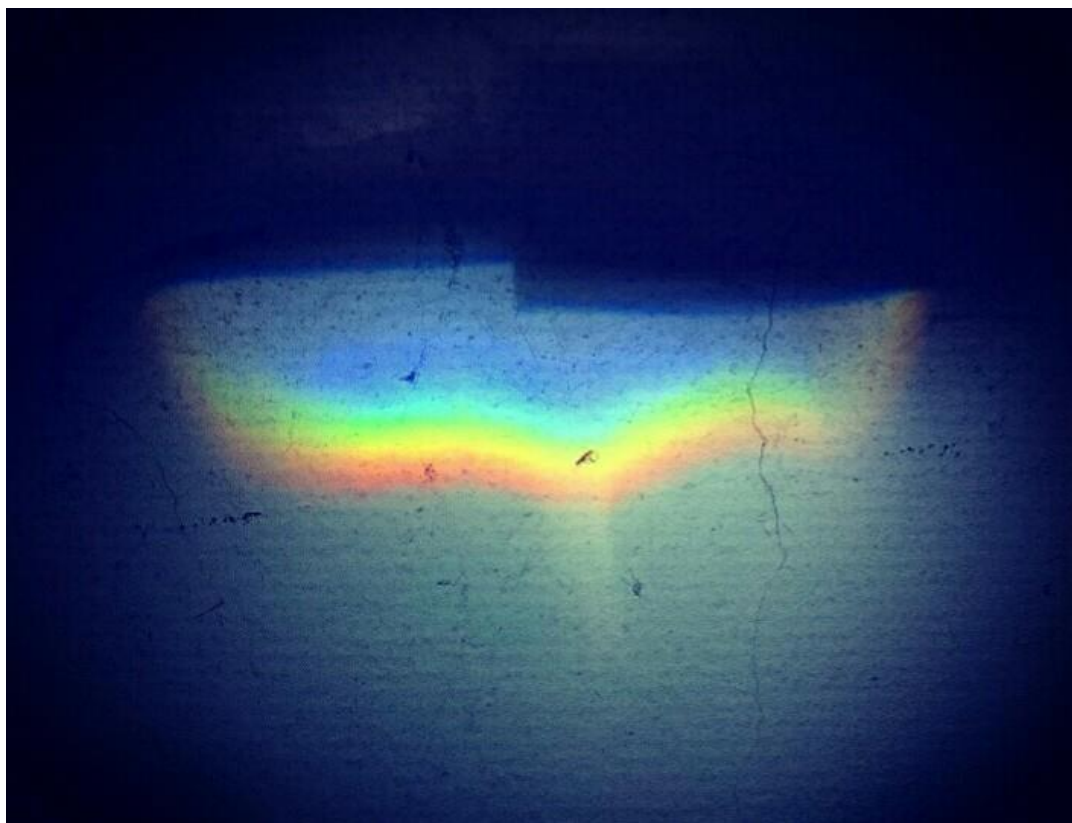
horizontalna udaljenost lampe do točke loma svjetlosti – 18 cm

dijagonalna udaljenost lampe do točke loma svjetlosti – 59 cm

debljina prizmatskih boja na zidu – 1,45 cm

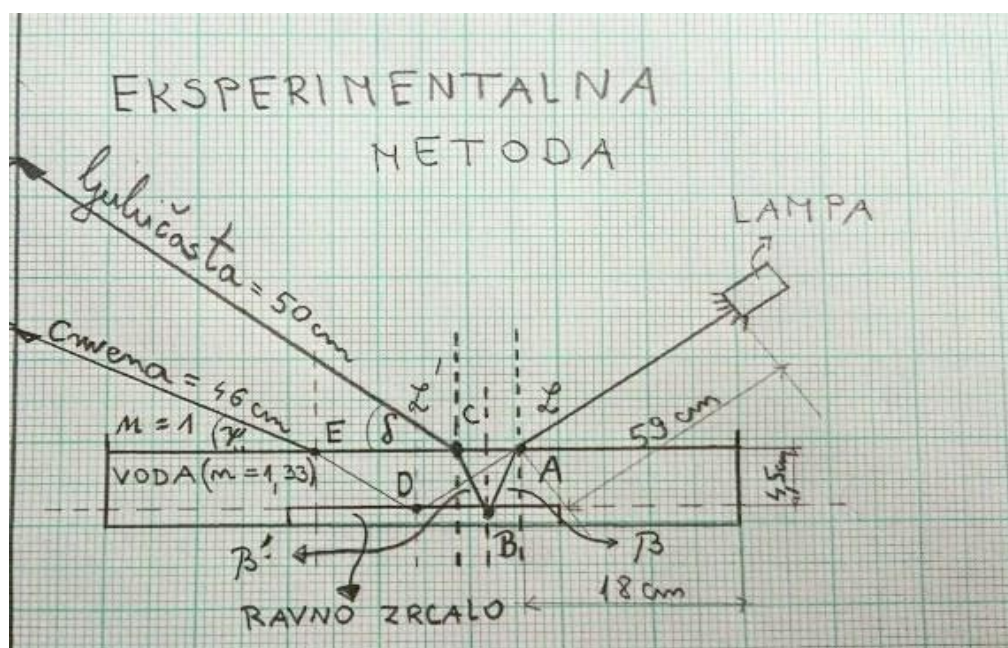
udaljenost od površine vode do ljubičaste boje na zidu – 50 cm

udaljenost od površine vode do crvene boje na zidu – 46 cm



Slika 21. Dugine boje na zidu

Skica i geometrijski izračun:



Slika 22. Geometrijski prikaz putanje svjetlosti
(Crtež nije u realnom mjerilu)

$$b = 18 \text{ cm} \quad n_z = 1$$

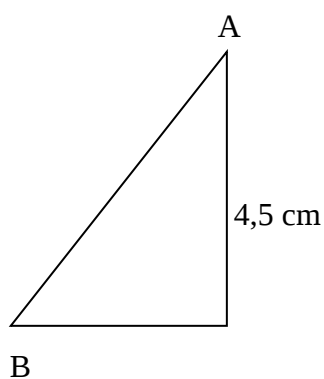
$$c = 59 \text{ cm} \quad n_v = 1.33$$

$$a = \sqrt{59^2 - 18^2} = 56.18 \text{ cm}$$

$$\cos \alpha = \frac{18}{59} = 0.305 \quad \alpha = 72^\circ 14' = \alpha'$$

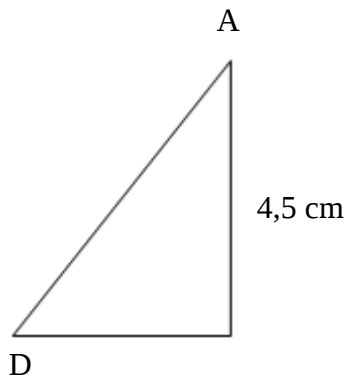
$$\text{Snellov zakon loma: } \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n} \rightarrow \sin \beta = \frac{n_z \sin \alpha}{n_v} = \frac{1 \cdot \sin(72^\circ 14')}{1.33} = 0.716$$

$$\beta = 45^\circ 43' = \beta'$$



$$\cos \beta = \frac{4,5}{AB} \rightarrow \overline{AB} = \frac{4,5}{\cos(45^\circ 43')} = 6.44 \text{ cm}$$

$$\overline{AB} = \overline{BC}$$



$$\cos \alpha = \frac{4,5}{AD} \rightarrow \overline{AD} = \frac{4,5}{\cos(72^\circ 14')} = 14.74 \text{ cm}$$

$$\overline{AD} = \overline{DE}$$

Ljubičasta boja na zidu:

dijagonala = 50 cm

$$\delta = 17^\circ 45'$$

$$\sin \delta = \frac{d_{lj}}{50 \text{ cm}}$$

$$d_{lj} = 50 \cdot \sin(17^\circ 45') = 15.24 \text{ cm}$$

Crvena boja na zidu:

dijagonala = 46 cm

$$\psi = 17^\circ 45'$$

$$\sin \psi = \frac{d_c}{46 \text{ cm}}$$

$$d_c = 46 \cdot \sin(17^\circ 45') = 14.02 \text{ cm}$$

$$d_{lj-c} = 15.24 \text{ cm} - 14.02 \text{ cm} = 1.22 \text{ cm (teorijski račun)}$$

$$d_{lj-c} = 1.45 \text{ cm (eksperimentalno mjerenje)}$$

d_{lj-c} - debljina prizmatskih boja na zidu

6. ZAKLJUČAK

Možemo zaključiti da je optika znanost koja je usko povezana sa drugim granama fizike, a njihov razvoj bi bio nemoguć bez proučavanja optičkih procesa. Fotografija, televizija, kino su područja tehnike s kojima se svaki dan susrećemo, a zasnovane su na optičkim zakonima. Nakon što sam čitatelja uveo kroz optičke zakone, odradio sam dva eksperimenta od kojih sam drugi numerički izračunao te s tim računom potvrdio ispravnost fizikalnih zakona uz mala odstupanja. Upravo je to bio razlog mog odabira ove veoma zanimljive teme jer svoje znanje želim jednoga dana prenositi djeci, a to je po mojem mišljenju svakako najbolje uz eksperiment i numeričku potvrdu tog eksperimenta.

7. LITERATURA I REFERENCE

- [1] URL : http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Optika_web%20skripte.pdf
(25.8.2016.)
- [2] Slika – Spektar vidljive svjetlosti (25.8.2016.)
(http://fot-o-grafiti.hr/slike/nauchi/svjetlo_i_rasvjetu/osnove/emg-spektar.jpg)
- [3] Slika – Sjena na zastoru (25.8.2016.)
(<http://kluszeljka.weebly.com/svetlost-prostiranje-svetlosti-senka-polusenka.html>)
- [4] *prof.dr.sc. Josip Planinić – Osnove fizike 3 (valovi – akustika – optika – Uvod u atomsku fiziku, Filozofski fakultet Osijek, 2005. Godina*
- [5] Slika – Snellov zakon loma (25.8.2016.)
(http://www.zemris.fer.hr/predmeti/ra/Magisterij/10_Sajko/fms.html)
- [6] Slika – Totalna refleksija (25.8.2016.)
(<https://hr.wikipedia.org/wiki/Refleksija>)
- [7] Slika – Optička prizma (25.8.2016.)
(<http://kako-zasto-znanost.blogspot.hr/p/kako-se-boje-rasporeuju-u-dugi.html>)
- [8] Slika – Spektrograf (19.3.2017.)
(<http://kids.britannica.com/students/assembly/view/54021>)
- [9] URL : http://kolegij.fizika.unios.hr/of3/files/2011/11/03-Geometrijska_optika-1.pdf
(25.8.2016.)
- [10] Slika – Zakon odbijanja svjetlosti (25.8.2016.)
(<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=52212>)
- [11] Slika – Lom zrake svjetlosti (25.8.2016.)
(<https://www.geogebra.org/m/XYFxnqRc>)
- [12] URL : http://repozitorij.fsb.hr/226/1/11_03_2008_Vukovic_zavrsni_rad.pdf
(26.8.2016.)
- [13] Slika – Duga (4.9.2016.)
(<http://blog.meteo-info.hr/zanimljivosti/carobne-igre-svjetlosti-s-neba/>)
- [14] Slika – Nastanak duge(primarna) (4.9.2016.)
(<http://dominis.phy.hr/~dnovak/RUN/vjezba2-3.html>)
- [15] Slika – Nastanak duge(sekundarna)(4.9.2016.)
(<http://dominis.phy.hr/~dnovak/RUN/vjezba2-3.html>)

- [16] URL: http://www.school-for-champions.com/science/light_dispersion.htm#.V9aXyjWLVME (29.8.2016.)
- [17] Slika – Presjek prizme (25.8.2016.)
(<http://www.maturski.org/FIZIKA/Zakoni-optike-novo.html>)
- [18] Slika – Disperzija svjetlosti na prizmi (25.8.2016.)
(<http://www.zlatarna.com/kamenje/disperzija-na-dragom-kamenju>)
- [19] Henč-Bartolić, V., Kulišić, P., *Valovi i optika*, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- [20] Slika – Dupla Perroova prizma (25.8.2016.)
(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Double-porro-prism.png>)
- [21] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=15435> (4.4.2017.)
- [22] http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Optika_web%20skripte.pdf (4.4.2017.)
- [23] Slika – Fermatov princip refleksije (4.4.2017.)
(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/Fermat.html>)
- [24] Slika – Fermatov princip refrakcije (4.4.2017.)
(http://www.met.reading.ac.uk/pplato2/h-flap/phys6_2.html)
- [25] <http://www.seminarski-diplomski.co.rs/FIZIKA/Disperzija-svjetlosti.html> (5.6.2017.)
- [26] Slika – Primarna i sekundarna duga (4.9.2016.)
(<https://welltempered.wordpress.com/tag/music-education/>)
- [27] <http://sadaovdje.com/portal/razno/duga/> (5.6.2017.)

8. ŽIVOTOPIS

Matej Sukalac rođen je 13.10.1993. godine u Virovitici. Pohađao je Osnovnu školu Slavka Kolara u Hercegovcu, a nakon završetka Osnovne škole upisao je Tehničku školu u Bjelovaru koju je završio 2012. godine. Poslije Srednje škole upisuje preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, gdje trenutno studira.