

# Pokusi iz titranja i valova

---

Galić, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:728366>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**ODJEL ZA FIZIKU**



**DINO GALIĆ**

**POKUSI IZ TITRANJA I VALOVA**

**Završni rad**

**Osijek, 2021**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**ODJEL ZA FIZIKU**



**DINO GALIĆ**

**POKUSI IZ TITRANJA I VALOVA**

**Završni rad**

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

**Osijek, 2021**

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

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	vi
ABSTRACT .....	vii
1. STOJNI VALOVI ZVUKA.....	1
1.1. TEORIJSKI UVOD.....	1
1.2. POTREBAN PRIBOR .....	1
1.3. TIJEK POKUSA .....	2
1.4. ZAPAŽANJA.....	3
1.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE.....	3
2. REZONANCIJA NJIHALA.....	4
2.1. TEORIJSKI UVOD.....	4
2.2. POTREBAN PRIBOR .....	4
2.3. TIJEK POKUSA .....	5
2.4. ZAPAŽANJA.....	5
2.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE.....	6
3. BRZINA ELEKTROMAGNETSKIH VALOVA.....	6
3.1. TEORIJSKI UVOD.....	6
3.2. POTREBAN PRIBOR .....	7
3.3. TIJEK POKUSA .....	8
3.4. ZAPAŽANJA.....	9
3.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE.....	10
4. TOTALNA REFLEKSIJA SVJETLOSTI .....	10
4.1. TEORIJSKI UVOD.....	10
4.2. POTREBAN PRIBOR .....	12
4.3. TIJEK POKUSA .....	12
4.4. ZAPAŽANJA.....	13
4.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE.....	13

5. SVJETLOSNE BOJE .....	14
5.1. TEORIJSKI UVOD.....	14
5.2. POTREBAN PRIBOR .....	14
5.3. TIJEK POKUSA .....	14
5.4. ZAPAŽANJA.....	15
5.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE.....	15
6. YOUNGOV POKUS.....	16
6.1. TEORIJSKI UVOD.....	16
6.2. POTREBAN PRIBOR .....	17
6.3. TIJEK POKUSA .....	18
6.4. ZAPAŽANJA.....	19
6.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE.....	20
ZAKLJUČAK .....	22
LITERATURA.....	23
ŽIVOTOPIS .....	24

# POKUSI IZ TITRANJA I VALOVA

DINO GALIĆ

## SAŽETAK

Tema završnog rada su Pokusi iz titranja i valova. Završni rad se sastoji od 6 različitih pokusa u kojima se opisuju pojave titranja i valova. Na početku svakog poglavlja navodi se teorijska podloga vezana za pokuse, a zatim se prikazuje pribor i koraci svakog pokusa. Nadalje se nalaze zapažanja koja su uočena u pokusima, a na kraju se dolazi do fizikalnih pojašnjenja za svaki pokus. Osim pisanog dijela, završni rad se sastoji i od 6 videozapisa u kojima su snimljeni pokusi s detaljnim objašnjenjima fizikalnih pojava. Videozapisi se nalaze na službenom Youtube kanalu Odjela za fiziku na navedenoj internet poveznici:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLsxx8LS6a0ZJ-Rzc8VE8k9yaqDXbSRExG>

**Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku**

**Ključne riječi:** stojni valovi zvuka, rezonancija njihala, brzina elektromagnetskih valova, totalna refleksija svjetlosti, svjetlosne boje, Youngov pokus.

**Mentor:** doc. dr. sc. Maja Varga Pajtler

**Ocjenjivači:**

**Rad prihvaćen:**

# EXPERIMENTS FROM OSCILLATIONS AND WAVES

DINO GALIĆ

## ABSTRACT

The topic of the Bachelor thesis are experiments regarding vibrations and waves. The final paper consists of 6 different experiments in which the phenomena of oscillations and waves are described. At the beginning of each chapter, the theoretical background related to the experiments is given, followed by the needed equipment and steps of each experiment. Furthermore, the observations of the experiments are shown, and at the end, physical explanations are given for each experiment. In addition to the written part, the final paper consists of 6 videos in which experiments with detail explanations of physical phenomena were recorded. The videos can be found on the official Youtube channel of the Department of Physics at the following internet link:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLsxx8LS6a0ZJ-Rzc8VE8k9yaqDXbSRExG>

## Thesis deposited in Department of Physics library

**Keywords:** standing sound waves, pendulum resonance, velocity of the electromagnetic wave, total light reflection, light colors, Young 's experiment.

**Supervisor:** doc. dr. sc. Maja Varga Pajtler

**Reviewers:**

**Thesis accepted:**



# 1. STOJNI VALOVI ZVUKA

## 1.1. TEORIJSKI UVOD

Val je širenje poremećaja kojim se prenosi energija i količina gibanja kroz neko sredstvo, a da se čestice tog sredstva ne prenose prostorom (ili, kao u slučaju elektromagnetskog vala, titraju električno i magnetsko polje) nego samo titraju oko svog ravnotežnog položaja. Od prije je poznato da mehanički valovi mogu putovati samo kroz neki medij, npr. voda, zrak, metal... a također je poznato da je zvuk vrsta mehaničkog vala koji se naziva longitudinalni val. Čestice longitudinalnih valova titraju u smjeru širenja vala odnosno stvaraju se zgušnjavanja i razrjeđenja čestica sredstva kroz koji taj val putuje. Također postoje i transversalni valovi u kojima čestice titraju okomito na smjer širenja vala odnosno stvaraju se brijegovi i dolovi vala. Za razliku od putujućih valova, stojni valovi su vrsta valova kod kojih su neki dijelovi vala konstantno u procesu titranja (trbusi vala - predstavljaju mjesta maksimalnih elongacija odnosno amplitude), a neki dijelovi miruju kako vrijeme prolazi (čvorovi vala). Takvi valovi nastaju superpozicijom dvaju valova jednakih frekvencija i valnih duljina, ali suprotnog smjera širenja. Uz navedene vrste valova za nastavak je potrebno poznavati nekoliko fizikalnih veličina poput frekvencije, koja je fizikalna veličina koja iskazuje broj nekih periodičnih pojava u jedinici vremena, valne duljine koja predstavlja udaljenost koju val prijeđe tijekom jednog perioda, a period je fizikalna veličina kojom se iskazuje trajanje jednog ciklusa neke periodične pojave. Kod stojnih valova postoje pojmovi: osnovni harmonik i viši harmonici, a za primjer harmonika, navodi se titranje niti koja je učvršćena na oba kraja. Prvi harmonik predstavlja frekvenciju kojom stojni val titra i pritom sadrži dva čvora (na rubovima niti) i jednog trbuha i pri tome je valna duljina vala jednaka dvostrukoju duljini niti. Najveća (osnovna) valna duljina i kraće valne duljine (viši harmonici) koje u tim okolnostima mogu nastati odgovaraju harmonijskomu nizu:  $\lambda = 2l/n$ , gdje je  $n = 1, 2, 3, \dots$  prirodni broj, a  $l$  duljina niti. Frekvencije titranja mogu biti:  $f_n = nv/2l$ , gdje je  $v$  brzina širenja vala. Osim stojnih valova u jednoj dimenziji, stojni valovi mogu nastati i u dvije dimenzije što je upravo prikazano u ovom pokusu [1,2,3].

## 1.2. POTREBAN PRIBOR

- Plastična kanta
- Vreća za smeće

- Gumica
- Šećer
- Rola od papirnatih ubrusa



*Slika 1. Plastična kanta, vreća za smeće, gumica, šećer i rola od papirnatih ubrusa*

### **1.3. TIJEK POKUSA**

- Na početku potrebno je vreću za smeće navući preko otvora plastične kante te je što više zategnuti (kako bi površina bila što ravnija), a zatim se vreća učvrsti gumicom.
- Nakon što je vreća dovoljno učvršćena, na tu ravnu površinu postavlja se malo šećera koji je ravnomjerno raspoređen po površini (*Slika 2.*).



*Slika 2. Prikaz ravnomjerno raspoređenog šećera na površini učvršćene vreće*

- Kroz rolu od papirnatih ubrusa pjevanjem se proizvodi zvuk. Rola se mora nalaziti na bliskoj udaljenosti od vreće i mora biti usmjerena prema vreći.

## 1.4. ZAPAŽANJA

Na početku pokusa šećer stoji ravnomjerno raspoređen po površini vreće, a kada se kroz rolu papirnatih ubrusa krenu proizvoditi zvukovi raznih frekvencija, šećer počinje „skakati“ po vrećastoj opni te stvarati razne uzorke. Što je zvuk bio dublji odnosno što je bio niže frekvencije to je šećer manje „skakao“ i stvarao slabije uočljivije uzorke, a što je zvuk bio viši, tj. što je frekvencija zvuka bila viša to je šećer sve više „skakao“ te je stvarao sve uočljivije uzorke (*Slika 3.*).



*Slika 3. Prikaz 2 uzorka šećera pri različitim frekvencijama*

## 1.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE

Nakon što je zvuk usmjeren prema vreći sa šećerom, uočava se da šećer počinje „skakati“ po samoj vreći. Kao što je ranije u uvodu navedeno, zvuk je longitudinalni val koji se sastoji od zgušnjavanja i razrjeđenja čestica sredstva kroz koji val putuje (u ovom slučaju to je zrak), a same čestice zraka se ne gibaju kroz prostor nego titraju oko svog ravnotežnog položaja i na taj način prenose energiju. Zatim čestice zraka koje se nalaze u blizini zategnute vreće svojim titranjem pobuđuju vreću da i ona započne titrati te kako vreća titra, tako se valovi šire kroz vreću te se neki valovi i odbijaju od rubove kante. Time dolazi do superpozicije valova, tj. neki valovi se zbrajaju ili oduzimaju te tako nastaju stojni valovi na vreći. Budući da kod stojnih valova postoje područja koja stalno titraju (trbusi vala) i područja koja stalno miruju (čvorovi vala), na vreći zbog toga nastaju uzorci (*Slika 3.*). Područja s malo šećera su navedena područja koja konstantno titraju (zbog tog titranja šećer „odskoči“ sa tih područja), a područja s puno šećera su navedeni čvorovi gdje uopće nema titranja. Ovisno o frekvenciji zvuka koji dolazi do vreće, na vreći će nastajati različiti uzorci šećera. Uobičajeno, nižim frekvencijama se dobivaju manje uočljivi uzorci (prvi ili neki od nižih harmonika) dok se na višim frekvencijama pojavljuju uočljiviji uzorci (viši harmonici) [2,3].

## 2. REZONANCIJA NJIHALA

### 2.1. TEORIJSKI UVOD

Njihalo je tijelo koje se pod djelovanjem povratne sile njiše oko svog ravnotežnog položaja, a razlikujemo više vrsta njihala poput matematičkog, fizičkog, torzijskog itd. Matematičko njihalo se sastoji od dugačke nerastezive niti zanemarive mase, na čijem kraju se nalazi materijalna točka u kojoj je koncentrirana sva masa. Sustav njihala u ovom pokusu se može aproksimirati sustavom matematičkih njihala jer je duljina niti mnogo veća od dimenzija ovješeneog tijela. Kada se jedno od tijela u sustavu otkloni iz ravnotežnog položaja i zatim se ispusti, tijelo započinje s titranjem oko svog ravnotežnog položaja (titranje predstavlja periodičko mijenjanje neke fizičke veličine, u ovom slučaju položaja tijela, u određenim vremenskim intervalima). Budući da je ovaj sustav njihala aproksimiran sustavom matematičkih njihala, period ( $T$ ) titranja određenog njihala će ovisiti samo o duljini niti ( $l$ ) (iz izraza (1) vidi se da većoj duljini niti odgovara veći period titranja), pri čemu je  $g$  ubrzanje slobodnog pada, a  $f$  frekvencija njihala [4].

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

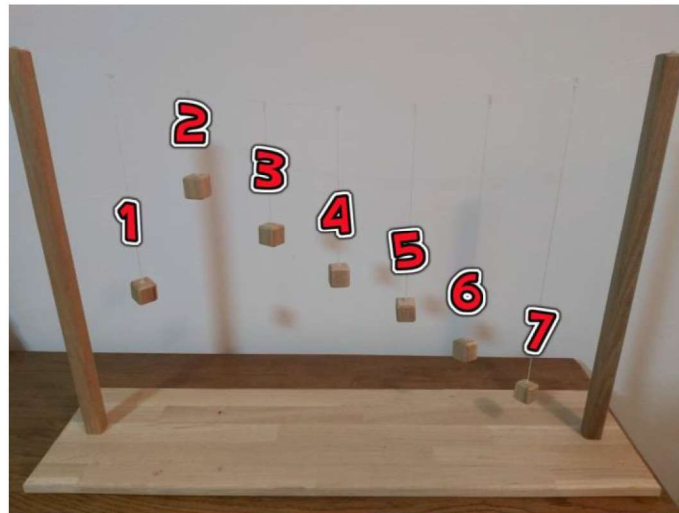
Pokusom ćemo pokazati pojavu rezonancije. Rezonancija je fizikalna pojava koja nastupa kad se pri prisilnome titranju (nametnuto titranje kod kojega, osim harmonijske sile i sile otpora sredstva na česticu djeluje i vanjska periodična sila) frekvencija vanjske periodične sile približi vlastitoj frekvenciji sustava, pri čemu amplituda titranja sustava izrazito poraste [5].

### 2.2. POTREBAN PRIBOR

- Konac
- 1 daska
- 2 drvena štapa
- 7 drvenih kockica
- Škare
- Tekuće ljepilo

### 2.3. TIJEK POKUSA

- U početku je potrebno navedeni pribor spojiti kao na *Slici 4*: 2 drvena štapa je potrebno učvrstiti na drvenu dasku (na međusobnu udaljenost od 70-80 cm). Zatim je potrebno koncem spojiti ta dva štapa kako bi se kasnije na taj konac objesila njihala koja se sastoje od drvenih kockica obješenih o niti različitih duljina (koristili smo 7 njihala od kojih su samo dva imala međusobno jednake duljine - oni su označeni brojevima 1 i 5 na *Slici 4*).
- Nakon što su svi dijelovi pribora sastavljeni, njihalo 1 (*Slika 4.*) se otklanja iz ravnotežnog položaja te se zatim ispušta da započne s njihanjem. Zatim se promatra što se događa sa ostalim njihovima.



*Slika 4. Prikaz korištenog pribora za pokus Rezonancija njihala: Njihala označena brojevima 1 i 5 imaju jednake duljine*

### 2.4. ZAPAŽANJA

Nakon što je njihalo 1 (*Slika 4.*) otklonjeno iz ravnotežnog položaja i pušteno u njihanje, primjećuje se da i ostala njihala počinju titrati oko svog ravnotežnog položaja. U videozapisu se primjećuje da njihala pod brojevima 2, 3, 4, 6 i 7 titraju malim amplitudama oko svog ravnotežnog položaja, dok njihalo 1 i njihalo 5 titraju velikim amplitudama oko svog ravnotežnog položaja. Kako vrijeme prolazi, njihalo 1 počinje titrati sve manjom amplitudom dok njihalo 5 počinje titrati sve većom amplitudom oko svog ravnotežnog položaja. Opet, nakon još nešto vremena, njihalo 5 počinje titrati sve manjom amplitudom dok njihalo 1 počinje titrati sve većom amplitudom te takva titranja traju sve dok se sustav njihala potpuno

ne zaustavi. Također može se primjetiti da njihala 4 i 6 titraju nešto većim amplitudama nego njihala 2, 3 i 7.

## **2.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE**

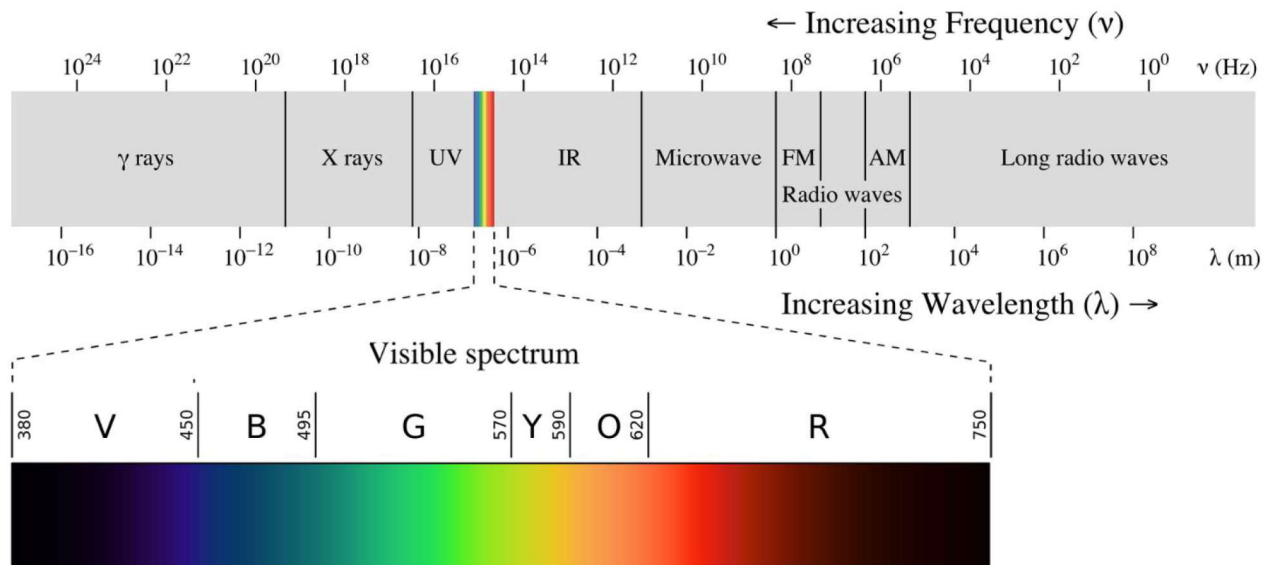
Kako se njihalo 1 otklanja iz ravnotežnog položaja u položaj najveće elongacije (amplituda), gravitacijska potencijalna energija njihala postaje maksimalna, dok je kinetička energija jednaka 0. Kada se njihalo 1 ispusti u njihanje, gravitacijska potencijalna energija njihala se smanjuje sve do ravnotežnog položaja gdje ima iznos 0, dok je u ravnotežnom položaju iznos kinetičke energije maksimalan. Kako se energije s vremenom izmjenjuju, tako se energija prenosi koncem do drugih njihala. Budući da njihala imaju različite duljine, svako od njihala će titrati različitom frekvencijom (izraz (1)). Energija će se najučinkovitije prenijeti s jednog na drugi sustav ako se duljine niti dvaju sustava podudaraju (u našem pokusu to su njihala 1 i 5). U videozapisu pokusa se vidi da uz njihalo 1 najviše titra njihalo 5, a upravo njihalo 5 ima istu duljinu niti kao i njihalo 1 (ili barem najsličniju duljinu niti). Ova pojava gdje je sustav 1 pobudio sustav 5 na titranje naziva rezonancija. Tako s vremenom njihalo 1 gubi energiju jer je najviše predaje njihalu 5 pa opet nakon nekoliko trenutaka njihalo 5 najviše energije predaje njihalu 1 itd. Također iz navedenog zapažanja primjećuje se da njihala 4 i 6 titraju nešto većim amplitudama nego njihala 2, 3 i 7, a to se događa upravo zato jer se one nalaze na najsličnijoj duljini niti kao i njihala 1 i 5. S vremenom, uslijed trenja sa zrakom i zbog toga što dio energije preuzimaju i ostala njihala i drveni štapovi, sustav njihala se zaustavlja.

## **3. BRZINA ELEKTROMAGNETSKIH VALOVA**

### **3.1. TEORIJSKI UVOD**

Mikrovalna pećnica je uređaj koja za rad koristi elektromagnetske valove. Elektromagnetski valovi su valovi koji se sastoje od električnog i magnetskog polja pri čemu su ravnine u kojima titraju električno i magnetsko polje međusobno su okomite. Elektromagnetski valovi se, osim kroz materiju, mogu gibati i kroz vakuum, a njihova brzina u vakuumu iznosi  $299\,792\,458$  m/s. Elektromagnetski valovi obuhvaćaju širok spektar valnih duljina i frekvencija (*Slika 5.*); od radiovalova s valnim duljinama reda veličine nekoliko kilometara pa sve do gama zraka s valnim duljinama manjim od femtometra. Na *Slici 5.* mogu se vidjeti gama

zračenje, rendgensko zračenje (ili X zračenje), ultraljubičasto zračenje, vidljivo područje, mikrovalovi, radiovalovi i dugi radio valovi [6].



*Slika 5. Spektar elektromagnetskog zračenja s pripadnim valnim duljinama i frekvencijama*

Ovi valovi pripadaju skupini transverzalnih valova, odnosno titranje električnog i magnetskog polja je okomito na smjer širenja vala. Kao i svi ostali valovi, stojni elektromagnetski valovi također sadrže „trbuhe“ i „čvorove“, što ćemo iskoristiti u sljedećem pokusu.

Za ovaj pokus koristiti će se mikrovalovi koji nastaju unutar mikrovalne pećnice. Brzina svih elektromagnetskih valova može se izračunati iz jednostavnog izraza (2), gdje je  $c$  brzina vala,  $\lambda$  valna duljina, a  $f$  frekvencija vala [1].

$$c = \lambda \cdot f \quad (2)$$

### 3.2. POTREBAN PRIBOR

- Mikrovalna pećnica
- Čokolada
- Kalkulator
- Ravnalo
- Tanjur



*Slika 6. Mikrovalna pećnica, čokolada, kalkulator, ravnalo i tanjur*

### 3.3. TIJEK POKUSA

- Da bi se mogla izračunati brzina elektromagnetskih valova, potrebno je poznavati frekvenciju elektromagnetskih valova mikrovalne pećnice. Stoga tu frekvenciju treba očitati sa stražnje strane mikrovalne pećnice (u našem slučaju to je 2450 MHz) (*Slika 7.*).



*Slika 7. Stražnja strana mikrovalne pećnice s prikazom frekvencije EM valova*

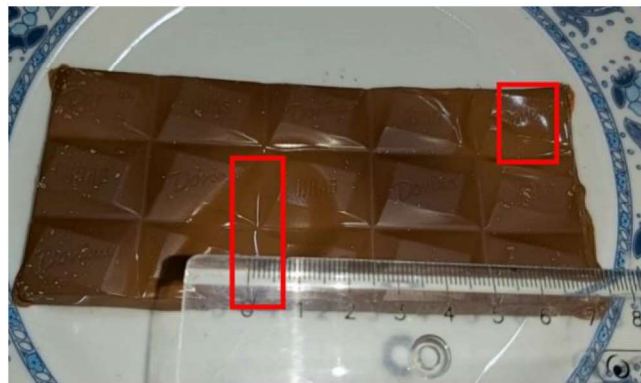
- Čokolada se postavlja u mikrovalnu pećnicu (*Slika 8.*), iz koje smo izvadili rotirajuće postolje, mikrovalna pećnica se zatvara te se uključi na kratko vrijeme (kako se ne bi previše čokolade otopilo).





*Slika 8. Prikaz pravilnog postavljanja čokolade u mikrovalnu pećnicu*

- Kada se mikrovalna pećnica isključi, čokolada se izvadi van te se ravnalom izmjeri razmak između dva otopljena područja (to područje odgovara razmaku između 2 trbuha vala) odnosno mjeri se pola valne duljine elektromagnetskih valova (u našem pokusu ta udaljenost iznosi 6 cm) (*Slika 9.*).



*Slika 9. Otopljena područja na čokoladi*

- Za kraj još preostaje izračunati brzinu elektromagnetskog vala koristeći izraz (2).

### **3.4. ZAPAŽANJA**

Mikrovalovi se odbijaju unutar mikrovalne pećnice o reflektirajuću metalnu stijenku. Kada mikrovalovi dođu do hrane, oni se ne odbiju kao na metalnim stijenkama, nego kao što radio valovi mogu proći ravno kroz zidove kuća, tako i mikrovalovi prodiru unutar hrane. Dok putuju kroz hranu, molekule unutar nje počinju brže titrati, a titrajuće molekule imaju više energije pa što brže molekule titraju, hrana postaje sve više zagrijana. Tako mikrovalovi prenose svoju energiju na molekule u hrani i brzo je zagrijavaju. Nakon što se čokolada izvadi van mikrovalne pećnice vidi se da je čokolada otopljena samo na nekim manjim dijelovima.

Potrebno je razumjeti da udaljenost između 2 otopljena područja (*Slika 9.*) ne predstavlja cijelu valnu duljinu elektromagnetskih valova već samo pola valne duljine.

### **3.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE**

Kao što je već navedeno u uvodu, mikrovalna pećnica radi na principu stojnih elektromagnetskih valova. Područja gdje se nalaze trbusi vala će biti područja gdje su najviše temperature (otopljeni dijelovi), a područja gdje se nalaze čvorovi stojnog vala su područja s nižim temperaturama (čvrsti dijelovi) hrane. Upravo zato u mikrovalnoj pećnici postoji postolje koje se rotira kako bi hranu rotiralo i „provlačilo“ ju kroz trbuhe valova i tako ju ugrijalo [3].

U nastavku, iz izmjerene vrijednosti polovine valne duljine (što iznosi oko 6 cm) i poznate frekvencije mikrovalne pećnice (2450 MHz) može se izračunati brzina tih elektromagnetskih valova (mikrovalova). Unosom navedenih vrijednosti u izraz (2) za brzinu elektromagnetskih valova mikrovalne pećnice  $c = 2 \cdot 6 \text{ cm} \cdot 2450 \text{ MHz}$ , dobiva se iznos od 298 900 000 m/s. U izračunu odstupanja, dobivena brzina elektromagnetskih valova je za 0,3% manja od poznate vrijednosti, što je vrlo malo odstupanje od stvarne poznate vrijednosti.

## **4. TOTALNA REFLEKSIJA SVJETLOSTI**

### **4.1. TEORIJSKI UVOD**

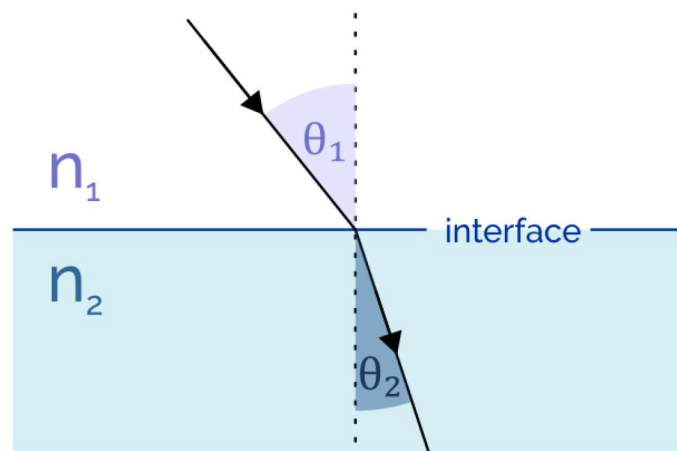
Kao što je navedeno u prethodnom pokusu, elektromagnetski valovi se sastoje od električnog i magnetskog polja čije su ravnine titranja okomite jedna na drugu. Svjetlost je također elektromagnetski val, a predstavlja samo mali dio cijelog elektromagnetskog spektra (valnih duljina u rasponu od 380 nm do 700 nm). Geometrijska optika zanemaruje valnu prirodu svjetlosti, a optičke pojave objašnjava pomoću svjetlosnih zraka i temelji se na 4 zakona – zakon pravocrtnog širenja svjetlosti, zakon o nezavisnosti snopova zraka svjetlosti, zakon refleksije svjetlosti i zakon loma svjetlosti. Zakon pravocrtnog širenja svjetlosti kaže da se svjetlost širi zrakama koji su pravci, a zakon je primjenjiv kad su pojave ogiba ili difrakcije zanemarive tj. kad je valna duljina svjetlosti vrlo mala naspram dimenzija optičke naprave. Zakon o nezavisnosti snopova zraka svjetlosti kaže da se dva snopa svjetlosti u prostoru šire potpuno neovisno jedan o drugom. Zakon refleksije svjetlosti kaže da ako na glatku plohu

padne zraka svjetlosti, ona se od nje odbije, a kut odbijanja je jednak upadnome kutu (gledano prema normali). I posljedni zakon, zakon loma svjetlosti kaže da ako zraka svjetlosti prelazi iz jednoga sredstva u drugo, ona mijenja smjer, odnosno kut upada i kut loma nisu isti. Refleksija i lom svjetlosti se događa u istoj ravnini u kojoj putuje i upadna svjetlost. Da bi se svjetlost lomila, navedena sredstva trebaju imati različite indekse loma gdje je indeks loma  $n$  bezdimenzionalna fizikalna veličina koja opisuje međudjelovanje svjetlosti i optički prozirne tvari, a definira se kao omjer brzine svjetlosti u vakuumu  $c$  i brzine svjetlosti u određenom sredstvu  $v$  kroz koje svjetlost putuje (izraz 3) [6,7,8].

$$n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

Kada svjetlost putuje iz optički rjeđeg u optički gušće sredstvo, kut upada svjetlosti je veći od kuta loma svjetlosti i obratno. Zakon koji opisuje povezanost između upadnog kuta  $\theta_1$  i kuta loma  $\theta_2$  se naziva Snellov zakon i dan je izrazom (4), pri čemu je  $n_1$  indeks loma prvog sredstva i  $n_2$  indeks loma drugog sredstva (Slika 10.) [9].

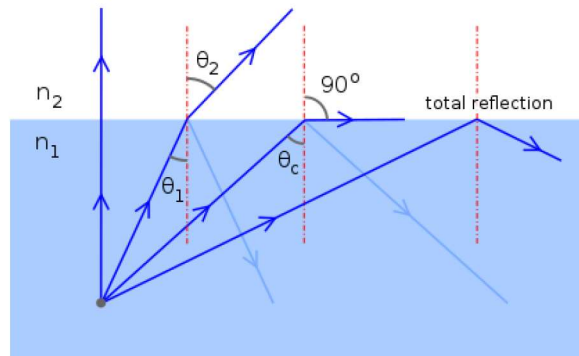
$$n_1 \cdot \sin\theta_1 = n_2 \cdot \sin\theta_2 \quad (4)$$



Slika 10. Prikaz Snellova zakona

Totalna refleksija (Slika 11.) je pojava potpunog odbijanja ili refleksije svjetlosti koja iz optički gušćeg sredstva pada na granicu s optički rjeđim sredstvom te se u cijelosti reflektira. Kada je kut upada svjetlosti dovoljno velik tj. kada je kut pod kojim svjetlost upada na granicu dvaju sredstava veći od graničnog kuta loma svjetlosti  $\theta_c$  (danog izrazom 5), tada dolazi do totalne refleksije svjetlosti [10].

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}, \quad n_2 > n_1 \quad (5)$$



Slika 11. Prikaz loma svjetlosti i totalne refleksije svjetlosti

## 4.2. POTREBAN PRIBOR

- Boca s vodom (probušena)
- Izvor laserske svjetlosti
- Posuda za vodu
- Kartonska kutija
- Ljepljiva vrpca



Slika 12. Probušena boca s vodom, laser i posuda za vodu

## 4.3. TIJEK POKUSA

- Praznu bocu potrebno je probušiti nekim oštrim predmetom, a pritom treba paziti da ne dođe do ozljeda. Tada se preko te rupe zalijepi ljepljiva vrpca.
- Boca se napuni s vodom i postavi se na postolje koja se nalazi pored posude za vodu koja će iscuriti iz boce (Slika 13.).



*Slika 13. Pravilno postavljanje boce, postolja i posude za vodu*

- Uklonimo čep s boce, kako bi kasnije voda mogla iscuriti van. Nakon toga uklanja se ljepljiva vrpca s rupe, a laserom s druge strane boce se cilja upravo u tu rupu gdje izlazi voda.
- Promatra se što se događa sa svjetlošću lasera u mlazu vode.

#### **4.4. ZAPAŽANJA**

Nakon što se ukloni ljepljiva vrpca s rupe na boci, voda počinje izlaziti u obliku mlaza. Tada se laserom cilja u tu rupu. Uočava se da se svjetlost lasera ne giba pravocrtno nego prati zakrivljenost mlaza vode koji izlazi iz boce (*Slika 14.*).



*Slika 14. Prikaz svjetlosti lasera koja prati zakrivljenost mlaza vode*

#### **4.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE**

Poznato je da zrak i voda imaju različite indekse loma (indeks loma zraka je približno 1, a indeks loma vode je oko 1,33). Ako se svjetlost lasera usmjeri okomito na bocu s vodom, tada nema loma svjetlosti pri prijelazu zrak-voda jer je kut upada  $0^\circ$  pa je stoga i kut loma  $0^\circ$ .

Kada svjetlost putuje iz vode u zrak (prijelaz iz mlaza vode u zrak), a kut upada svjetlosti je veći od graničnog kuta, tada ne dolazi do loma svjetlosti, a u pokusu se zapaža da svjetlost lasera ostaje zarobljena unutar mlaza vode. Odnosno, kut upada svjetlosti na granicu voda-zrak je bio dovoljno velik da bi se svjetlost lasera uspjela totalno reflektirati na granici voda-zrak i ne može „pobjeći“ van mlaza vode, nego prati zakrivljenost tog mlaza.

## **5. SVJETLOSNE BOJE**

### **5.1. TEORIJSKI UVOD**

Bijela svjetlost Sunca sastoji se, između ostalog, od dijela elektromagnetskog spektra koje ljudsko oko može vidjeti (vidljivi dio spektra sadrži (valne duljine od 380 nm do 700 nm)). Poznato je da će svijetli objekti bolje reflektirati svjetlost koja padne na njih u odnosu na tamne objekte. Ako se neki crni objekt obasja bijelom svjetlošću, taj objekt će većinu svjetlosti apsorbirati te će izgledati crno. Na primjer, ako se žuto tijelo obasja bijelom svjetlošću, ono će apsorbirati sve valne duljine koje ne odgovaraju valnoj duljini žute boje, a žuta boja će se reflektirati upravo zato što je tijelo žute boje.

Ista stvar se događa i ovom pokusu s dva gumena bombona gdje će u pokusu doći do transmisije svjetlosti, koja predstavlja prolaz svjetlosti kroz neki medij bez promjene valne duljine te refleksije [6,11].

### **5.2. POTREBAN PRIBOR**

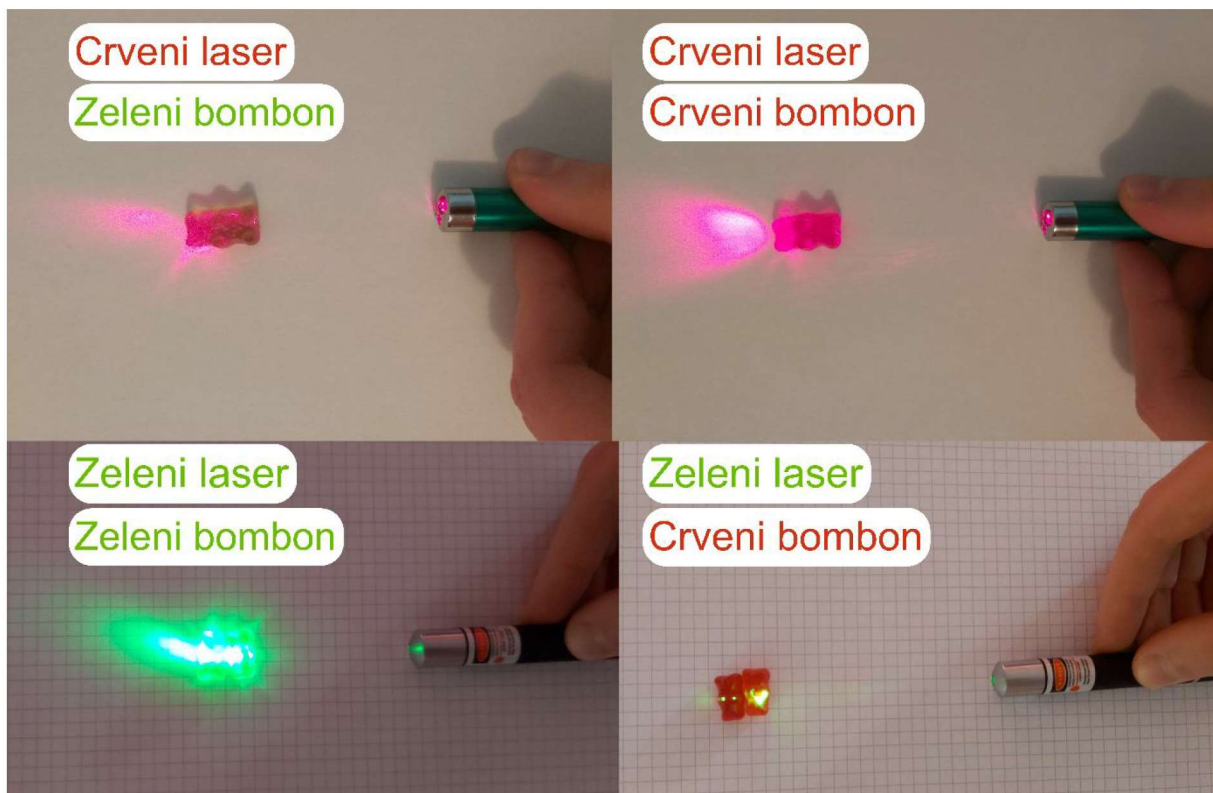
- Crveni laser
- Zeleni laser
- Gumeni bomboni

### **5.3. TIJEK POKUSA**

- Crvenim i zelenim laserom prvo pogađamo crvene bombone, a zatim zelene bombone.
- Prilikom obasjavanja bombona laserskom svjetlošću, promatraju se razlike u apsorpciji, refleksiji i transmisiji svjetlosti.

## 5.4. ZAPAŽANJA

Nakon što se proces obasjavanja bombona laserskom svjetlošću ponovi više puta primjećuju se neke bitne razlike. Kada se bomboni obasjaju crvenom svjetlošću, zapaža se da transmitirane svjetlosti van zelenog bombona ima, ali ne puno dok se kod crvenog bombona zapaža znatna razlika, odnosno van bombona ima znatno više transmitirane svjetlosti. Kada se postupak ponovi, ovaj puta sa zelenom laserskom svjetlošću, zapaža se da sada zeleni gumeni bomboni transmitiraju više zelene svjetlosti nego crveni bomboni (Slika 15.).



Slika 15. Obasjavanje bombona crvenom i zelenom laserskom svjetlošću

## 5.5. FIZIKALNO OBJAŠNJENJE

U prvom dijelu pokusa zeleni gumeni bombon se obasja crvenom svjetlošću, a iz Slike 15. se vidi da je većinu svjetlosti apsorbirao, a manji dio svjetlosti se zbog prozirnosti bombona transmitirao. To se dogodilo upravo zato što on u sebi ne sadrži crvenu boju te se stoga crvena svjetlost ne može transmitirati (niti reflektirati) ili se transmitira (ili reflektira) zanemarivo malo (odnosno većina crvene svjetlosti se apsorbira). Kada se crveni gumeni bombon obasja crvenom svjetlošću, on većinu te svjetlosti transmitira i reflektira jer upravo je on crvene boje te se stoga crvena svjetlost može transmitirati (odnosno samo vrlo mali dio crvene svjetlosti se apsorbira). Kada se pokus ponovi sa zelenom svjetlošću događa se slična stvar. Sada zeleni

bomboni transmitiraju i reflektiraju većinu dolazne svjetlosti dok crveni bomboni većinu zelene svjetlosti apsorbiraju. Upravo zato ih ljudsko oko vidi kao zeleni i crveni bombon, tj. bijela svjetlost pada na njih, oni apsorbiraju sve valne duljine svjetlosti koje su različite od valnih duljina crvene i zelene svjetlosti, a transmitiraju i reflektiraju upravo te dvije navedene svjetlosne boje.

## 6. YOUNGOV POKUS

### 6.1. TEORIJSKI UVOD

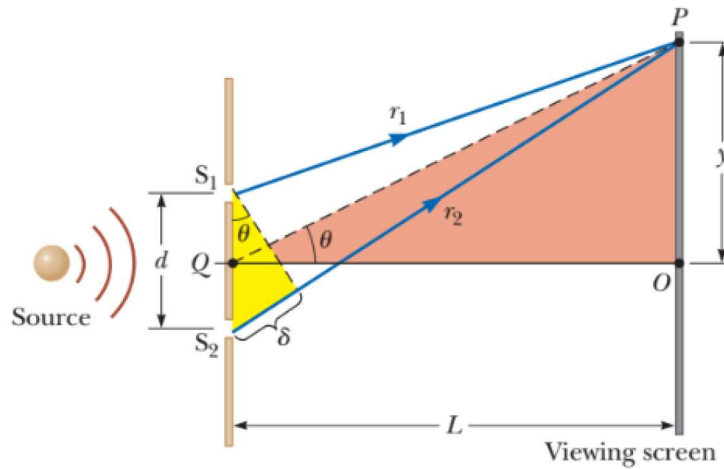
Poznato je da je svjetlost dualne prirode, odnosno da se ponaša i kao val i kao čestica, a Youngovim pokusom pokazuje se da se svjetlost ponaša kao val (elektromagnetski val). Iz prirode je poznato da se mehanički valovi poput valova na vodi mogu ogibati na raznim preprekama te mogu međusobno interferirati. Interferencija je međudjelovanje dvaju ili više valova jednakih valnih duljina i frekvencija koji istovremeno prolaze kroz isti prostor, a može biti konstruktivna ili destruktivna. Konstruktivna interferencija nastaje kada se dva vala jednakih valnih duljina, frekvencija i pomaka u fazi sastanu istovremeno u istom dijelu prostora, a u slučaju vidljivih elektromagnetskih valova očituje se kao svjetla područja na zastoru, dok destruktivna interferencija nastaje kada se dva vala jednakih valnih duljina i frekvencija, ali s razlikom u fazi od pola valne duljine sastanu istovremeno u istom prostoru te se očituje kao tamna područja na zastoru.

Ogib je fizikalna pojava koja nastaje kod skretanja valova iza ruba zapreke na koju valovi naiđu. Dalje, može se zaključiti da ako se svjetlost ponaša kao val, onda se i ti svjetlosni valovi mogu ogibati i interferirati. Da bi se pokus mogao potpuno shvatiti potrebno je navesti Huygensovo načelo koje kaže da se svaka točka valne fronte može smatrati izvorom novog vala. Youngov pokus je pokus u kojem se svjetlost iz točkastog izvora propušta kroz dvije bliske pukotine (u ovom slučaju dvije tanke linije), a na zastoru pojavljuju se interferencijski uzorci (*Slika 16.*). Izgled interferencijskih uzoraka ovisi o širini pukotina, udaljenosti među pukotinama, valnoj duljini svjetlosti i udaljenosti zastora od pukotina [1,12,13].

Izraz (6) predstavlja udaljenost  $m$ -tog maksimuma od središnjeg maksimuma odnosno od središta svjetlosnog uzorka.



$$y_{\text{svjetlo}} = \frac{\lambda \cdot L}{d} \cdot m \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6)$$



Slika 16. Prikaz značenja oznaka iz relacije (6)

$d$  predstavlja udaljenost između dvije pukotine,  $S_1$  i  $S_2$  kroz koje će se ogibati svjetlosti,  $r_1$  predstavlja put koji prijeđe zraka svjetlosti od pukotine  $S_1$  do točke P, a  $r_2$  predstavlja put koji zraka svjetlosti prijeđe od pukotine  $S_2$  do točke P, broj  $m$  predstavlja redni broj maksimuma interferencije,  $y$  je udaljenost  $m$ -tog maksimuma od središta interferencijskog uzorka,  $L$  je udaljenost između prepreke i zastora,  $\lambda$  predstavlja valnu duljinu svjetlosti, kut  $\theta$  je kut ogiba, a zastor se nalazi na pravcu opisanom točkama P i O. Ako u pokusu postoje dva različita izvora svjetlosti treba se pobrinuti da izvori emitiraju jednake frekvencije imaju jednake valne duljine kako bi mogli interferirati. Takvi valovi s jednakim valnim duljinama i frekvencijama se nazivaju koherentnim valovima. U ovom pokusu postoji jedan izvor svjetlosti tako da se za taj problem ne treba brinuti [14].

## 6.2. POTREBAN PRIBOR

- Laser
- Upaljač
- Svijeća
- Staklena ploča
- Igla



*Slika 17. Laser, upaljač, svijeća, staklena ploča i igla*

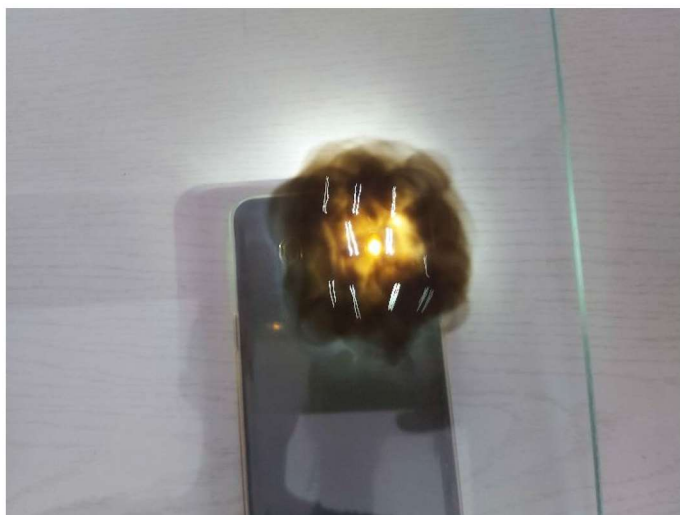
### **6.3. TIJEK POKUSA**

- Za početak potrebno je zapaliti svijeću i staviti je na radnu podlogu.
- Staklena ploča se drži iznad svijeće i lagano se pomiče kako se staklo ne bi previše zagrijalo i kako bi se moglo zatamniti što veći dio stakla. Staklo se zatamnjuje kako bi se kasnije mogli napraviti parovi linija na tom dijelu stakla (*Slika 18.*)



*Slika 18. Staklena ploča iznad zapaljene svijeće*

- Nakon što se staklo zatamni, iglom se (idealno je da igla bude što tanja) naprave vrlo tanke linije različitih debljina na zatamnjenom mjestu (kroz te linije će se ogibati svjetlost) (*Slika 19.*).



*Slika 19. Prikaz primjera linija na zatamnjenom području staklene ploče*

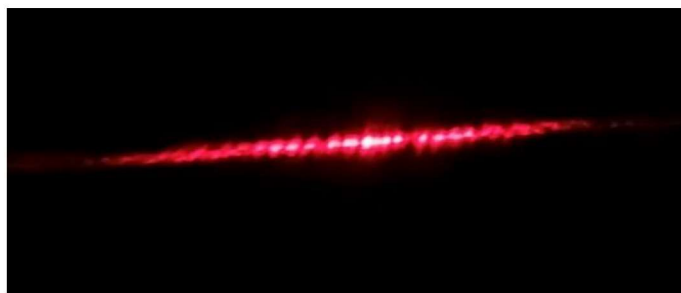
- Staklena ploča se u zatamnjenoj prostoriji učvrsti na udaljenost od 3-4 metra od zida te se laserom obasjavaju linije koje su iscrtane na zatamnjenom dijelu stakla.
- Promatra se ogib svjetlosti kroz linije i zapažaju se različiti svjetlosni uzorci koji dolaze od različitih vrsta parova linija.

#### **6.4. ZAPAŽANJA**

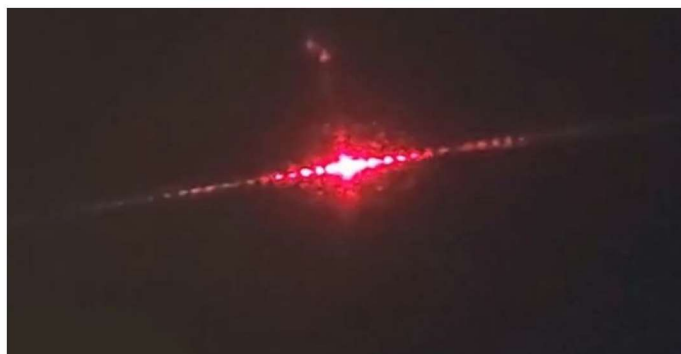
Kada se laserska svjetlost propusti kroz dvije tanke linije na međusobno jako malom razmaku, na zastoru se primjeti da ogibana svjetlost čini zanimljiv uzorak koji se sastoji od svjetlih i tamnih područja. Zatim se svjetlost nastavi propuštati kroz parove linija različitih debljina te se uočavaju različiti svjetlosni uzorci koji su prikazani na idućim slikama.



*Slika 20. Interferencijski uzorak svjetlosti na paru linija s iznimno malim međusobnim razmakom*



*Slika 21. Interferencijski uzorak svjetlosti na paru linija s malim međusobnim razmakom*



*Slika 22. Interferencijski uzorak svjetlosti na paru linija sa nešto većem međusobnom razmaku*

## **6.5. FIZIKALNO OBJAŠNENJE**

Kada se laserska svjetlost usmjeri prema parovima linija, svjetlost se počinje ogibati kroz te linije. Budući da su na staklenoj ploči parovi linija, izvor svjetlosti se „razdvaja“ u dva izvora svjetlosti, odnosno čini se kao da svaka od pukotina predstavlja jedan izvor svjetlosti (koherentni izvori, Huygensovo načelo). Na putu do zastora, svjetlosni valovi iz ova dva izvora interferiraju i čine svjetlosne uzorke koji su prikazani na slikama. Svijetla i tamna područja vidljiva na zidu nastaju upravo zbog interferencije svjetlosti, a odgovaraju konstruktivnoj, odnosno destruktivnoj interferenciji. Konstruktivna interferencija nastaje kada se na istom području sastanu dva „brijega“ ili dva „dola“ vala. Stoga se intenziteti svjetlosti zbrajaju te nastaju svijetla područja uzoraka na zastoru. Destruktivna interferencija nastaje kada se na istom području sastanu jedan „brijeg“ i jedan „dol“ vala. Oblik i izgled uzoraka ovisi o širini samih parova linija, njihovoj međusobnoj udaljenosti, udaljenosti parova linija od zastora i o valnoj duljini svjetlosti. Ako su linije na vrlo bliskoj udaljenosti tada je udaljenost  $m$ -tih maksimuma (minimuma) od središta uzorka veća nego kod linija koje su na međusobno većim udaljenostima. Slično, što su valna duljina svjetlosti veća i što je udaljenost

zastora od linija veća, to je udaljenost  $m$ -tih maksimuma ili minimuma od središta veća. Potvrda navedenih tvrdnji se očituje iz izraza (6) .

Ovim pokusom je pokazana valna priroda svjetlosti (ili općenito valna priroda elektromagnetskih valova).

## ZAKLJUČAK

U završnom radu prikazali smo i pojasnili 6 različitih pokusa iz titranja i valova. Na početku svakog pokusa, napisan je teorijski uvod u kojem se navode i objašnjavaju određene fizikalne pojave koje možemo očekivati u pokusu, fizikalne veličine i njihove mjerne jedinice, izrazi pomoću kojih računamo neke fizikalne veličine... Nakon navedenih teorijskih uvoda, u pokusima tada slijede koraci izvođenja pokusa (uz navedeni pribor), a poslije toga slijede zapažanja koja se uočavaju u pokusima. U zapažanjima se navode samo uočene pojave u pokusima poput „skakanja“ šećera po vreći iz pokusa „Stojni valovi zvuka“, smanjivanje i povećavanje amplituda njihala iz pokusa „Rezonancija njihala“, čvrsti i otopljeni dijelovi čokolade iz pokusa „Brzina elektromagnetskih valova“, laserska svjetlost ostaje zarobljena u mlazu vode iz pokusa „Totalne refleksije svjetlosti“, razlika u transmisiji svjetlosti iz pokusa „Svjetlosne boje“ te svjetla i tamna područja u uzorcima iz pokusa „Youngov pokus“. Na kraju svakog pokusa nalaze se fizikalna objašnjenja pokusa, odnosno pojašnjeno je koje se fizikalne pojave događaju, zašto se događaju te na koji način nastaju.

Osim pisanog dijela, završni rad se sastoji i od 6 videozapisa. Videozapisi se sastoje od nekih navedenih dijelova iz pisanog dijela (pribor, tijek pokusa, zapažanja i fizikalno objašnjenje), ne sadrže teorijski uvod, a dodatno, sadrže snimke izvođenja pokusa. Svi videozapisi su objavljeni na službenoj Youtube kanalu Odjela za fiziku na navedenoj internet poveznici:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLsxx8LS6a0ZJ-Rzc8VE8k9yaqDXbSRExG>

## LITERATURA

- [1] Young & Freedman University Physics 13th txtbk.pdf
- [2] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63780>, pristupljeno 22.06.2021.
- [3] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58219>, pristupljeno 22.06.2021.
- [4] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=44501>, pristupljeno 23.06.2021.
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Resonance>, pristupljeno 23.06.2021.
- [6] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17633>, pristupljeno 24.06.2021.
- [7] <http://www.kontaktne-lece.eu/magazin/zakoni-geometrijske-optike/>,  
pristupljeno 25.06.2021.
- [8] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=69487>, pristupljeno 25.06.2021.
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s_law), pristupljeno 25.06.2021.
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Total\\_internal\\_reflection](https://en.wikipedia.org/wiki/Total_internal_reflection), pristupljeno 25.06.2021.
- [11] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=3445>, pristupljeno 26.06.2021.
- [12] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Interferencija\\_valova](https://hr.wikipedia.org/wiki/Interferencija_valova), pristupljeno 27.06.2021.
- [13] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=44828>, pristupljeno 27.06.2021.
- [14] <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=69457>, pristupljeno 27.06.2021.

## **ŽIVOTOPIS**

Dino Galić rođen je 27. svibnja 1998. u Vinkovcima, u Republici Hrvatskoj. Pohađao je smjer arhitektonskog tehničara u Tehničkoj školi Ruđera Boškovića u Vinkovcima koju je završio 2014. godine. Daljnje obrazovanje nastavlja te upisuje preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.