

# Fizikalna/valna optika

---

**Zubović, Antonio**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:111407>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



zir.nsk.hr

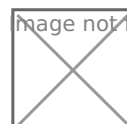


image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Antonio Zubović**

**Fizikalna/valna optika  
Waves Optics**

**Završni rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Prijediplomski sveučilišni studij**

**Fizika**

**Antonio Zubović  
JMBAG: 0114032463**

**Fizikalna/valna optika  
Waves Optics**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2023.**

## **IZJAVA**

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Antonio Zubović

U Rijeci, 01.09.2023.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svima koji su mi bili potpora tokom cjelokupnog studiranja te mentoru uz čiju sam pomoć napravio ovaj završni rad.

## SAŽETAK

Završni rad bavi se razvitkom fizikalne/valne optike, njenim svojstvima, i implikacijama u izučavanju svjetlosti. U radu su spomenuti eksperimenti koji su doveli do znanstvenih otkrića te znanstvenici koji su ih predvodili. Također su objašnjeni fenomeni poput difrakcije, refrakcije, interferencije, te polarizacije koji objašnjavaju ponašanje svjetlosti.

**Ključne riječi:** Fizikalna/valna optika, Huygensovo načelo, Youngov eksperiment, difrakcija, refleksija, refrakcija, interferencija, polarizacija, elektromagnetski valovi

## **ABSTRACT**

The final paper deals with the development of physical/wave optics, its properties, and implications in the study of light. The paper mentions the experiments that led to scientific discoveries and the scientists who performed them. Phenomena such as diffraction, refraction, interference, and polarization that explain the behavior of light are also explained.

**Keywords:** Physical/wave optics, Huygens' principle, Young's experiment, diffraction, reflection, refraction, interference, polarization, electromagnetic waves

## SADRŽAJ

<b>UVOD</b> .....	1
<b>FIZIKALNA/VALNA OPTIKA</b> .....	2
<b>HUYGENSOVO NAČELO</b> .....	3
<b>HUYGENSOVO NAČELO I DIFRAKCIJA</b> .....	5
<b>HUYGENSOVO NAČELO, REFLEKSIJA I REFRAKCIJA</b> .....	7
<b>ZAKON INTERFERENCIJE</b> .....	10
<b>YOUNGOV EKSPERIMENT</b> .....	13
<b>ZAKON POLARIZACIJE</b> .....	16
<b>ELEKTROMAGNETSKI VALOVI</b> .....	20
<b>ZAKLJUČAK</b> .....	22
<b>LITERATURA</b> .....	23



## POPIS SLIKA

Slika 1: Huygensovo načelo [5]

Slika 2: Difrakcija svjetlosti i zvuka [5]

Slika 3: Difrakcija valova [5]

Slika 4: Refleksija [5]

Slika 5: Refrakcija [5]

Slika 6: Nekoherentna i koherentna svjetlost [10]

Slika 7: Konstruktivna interferencija [5]

Slika 8: Destruktivna interferencija [5]

Slika 9: Youngov eksperiment [6]

Slika 10: Youngov eksperiment 2 [6]

Slika 11: Polarizacija [12]

Slika 12: Polarizacija 2 [12]

Slika 13: Linearna polarizacija [16]

Slika 14: Eliptična polarizacija [16]

Slika 15: Cirkularna polarizacija [16]

Slika 16: Sapunica i interferencija [18]

Slika 17: Pad svjetla na tanki film [18]

## UVOD

Optika je područje znanosti koja proučava nastanak i širenje svjetlosti. Nailazimo na fizikalnu/valnu te geometrijsku optiku. Geometrijska optika izučava načela koja objašnjavaju formiranje slika u lećama, ogledalima, te ostalim objektima koji koriste svjetlost. Teorija počiva na zakonu pravocrtnog širenja svjetlosti. Geometrijska optika nije bila dovoljna za objašnjavanje fenomena koji se događaju u prirodi kada svjetlost dolazi u kontakt s nekim objektom. Pravocrtno širenje svjetlosti ne objašnjava lom svjetla kada ono dolazi u kontakt s objektom. Tu se razvija fizikalna ili valna optika koja počiva na teoriji da svjetlost ima valna svojstva i samim time se širi ili nestaje, ovisno o objektu s kojim ima kontakt [3].

Rad se bavi izučavanjem valne/fizikalne optike, njenim nastankom, te fizikalnim svojstvima svjetlosti kao što su interferencija, difrakcija, i polarizacija.

## FIZIKALNA/VALNA OPTIKA

Drugom polovicom sedamnaestog stoljeća, Isaac Newton razvija teoriju da se svjetlost sastoji od malenih čestica, korpuskula, koje se ravnomjerno gibaju brzinom svjetlosti, odbijaju se od ogledala, a pri prolasku kroz određene tvari, mijenjanju smjer i brzinu gibanja. Newton objavljuje *Nova teorija svjetla i boja* (1672) te objašnjava gibanje svjetlosti koje opisuje kao ravnomjerno, te fenomene refrakcije i refleksije. Newtonova teorija svjetlosti ne objašnjava kasnije otkrivene pojave loma, interferencije i polarizacije svjetlosti.

U isto vrijeme, točnije, 1678. godine, nizozemski fizičar Christian Huygens predlaže teoriju valne optike. Fizikalna ili valna optika izučava fizikalna svojstva svjetlosti te je grana optike koja proučava ponašanje svjetlosti u obliku vala. Valna optika također proučava širenje svjetlosti te njenu interakciju s objektima. Zbog Newtonovog utjecaja, Huygensova teorija dobiva na važnosti tek 1801. godine kada Thomas Young izvodi interferencijski eksperiment u kojem dokazuje valna svojstva svjetlosti.

Valna teorija svjetlosti široko je prihvaćena početkom 19. stoljeća, posebice nakon Maxwella koji razrađuje elektromagnetsku teoriju svjetlosti, iz potrebe kako objasniti putovanje valova kroz vakuum, jer se do tad vjerovalo da je za širenje valova potreban medij ili površina o koju se oni odbijaju. Maxwell razvija skup jednadžbi iz zakona elektriciteta i magnetizma te predviđa postojanje elektromagnetskih valova koji se šire u otvorenom prostoru bez kontakta s ikakvom površinom o koju bi se obili i nastavili širenje kretanja. Maxwellove jednadžbe potvrđuju valna svojstva svjetlosti i znanstvenu teoriju na kojoj počivaju [3,10].

U idućim poglavljima glavni fenomeni svjetlosti i znanstvenici koji su ih predvodili su predstavljeni.

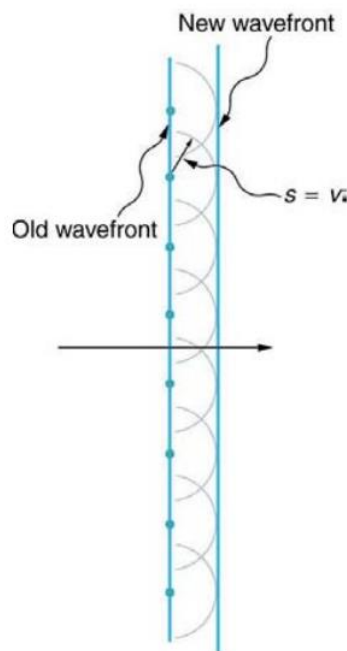
## HUYGENSOVO NAČELO

Huygensovo načelo nalaže „Svaka točka valne fronte može se smatrati izvorom sekundarnih valova koji se rasprostiru u svim smjerovima brzinom jednakom brzini širenja valova”.

Valna fronta je poput dugačke linije koja se kreće gore-dolje, poput vrha ili dna vala. Zamislite da postoji linija koja predstavlja val. Svaka točka na toj liniji stvara polukružni val koji se kreće određenom brzinom. Ako te polukružne valove nacrtamo kasnije, možemo vidjeti da su se pomaknuli na određenu udaljenost na temelju svoje brzine.

Nova valna fronta je poput linije koja dodiruje valove i pokazuje gdje mislimo da će valovi biti u budućnosti. Ovo načelo funkcionira za sve različite vrste valova, poput valova u vodi, zvučnih valova, i svjetlosnih valova.

Iz primjera sa slike proizlazi,  $s = vt$ , udaljenost računamo uzimajući u obzir vrijeme i brzinu kretanja vala.



(Slika 1)

Huygensovo načelo nam govori kako i gdje interferiraju svjetlosne zrake; objašnjava kretanje valova u kontaktu s objektom. Kretanje valova obično zamišljamo linearno u jednom smjeru. Huygens dokazuje da se valovi raspršuju u različitim smjerovima kretanja.

Zamislite da ste u sobi sa samo jednim vratima, a netko izvan sobe viče. U trenutku povika, zvuk se širi na sve strane. Budući da u vašoj sobi postoje samo jedna vrata, zvučni val koji ide prema vratima može proći kroz njih, dok se ostali zvučni valovi odbijaju od zidova. Zamislimo sada da postoji još jedna prostorija pokraj vaše koja je u obliku slova L. Kad bi zvučni valovi putovali ravnom linijom od osobe koja viče, osoba na kraju sobe u obliku slova L ne bi mogla čuti povik jer zvučni valovi ne bi doprli do njih.

Svaka točka valne fronte može se smatrati izvorom sekundarnih valova koji se rasprostiru u svim smjerovima brzinom jednakoj brzini širenja valova, što znači da kad promatramo rub vala, možemo vidjeti kako on stvara seriju cirkularnih valova. Valna fronta može se gledati kao linija tangenta svim ostalim cirkularnim valovima.

Primjerice, kad bacimo mali kamen u miran bazen vode, on stvara valove koji se šire u svim smjerovima. Ovi valovi čine da se voda kreće gore-dolje. Ako pogledate rub valova, možete vidjeti da čine zakrivljenu liniju. Ta se linija naziva valna fronta. To je kao linija koja dotiče sve valove odjednom.

Ako u bilo kojem trenutku snimimo vodu, vidjet ćemo kružne oblike. Dijelovi kruga koji su na istoj udaljenosti od mjesta gdje je kamen udario u vodu kreću se zajedno gore-dolje. To je zato što su sinkronizirani. Ponovno, to nazivamo valnom frontom. Valna fronta se udaljava od mjesta gdje je kamen udario u vodu određenom brzinom, koju nazivamo brzinom vala. Energija vala kreće se u smjeru koji je okomit ili pod pravim kutom na valnu frontu.

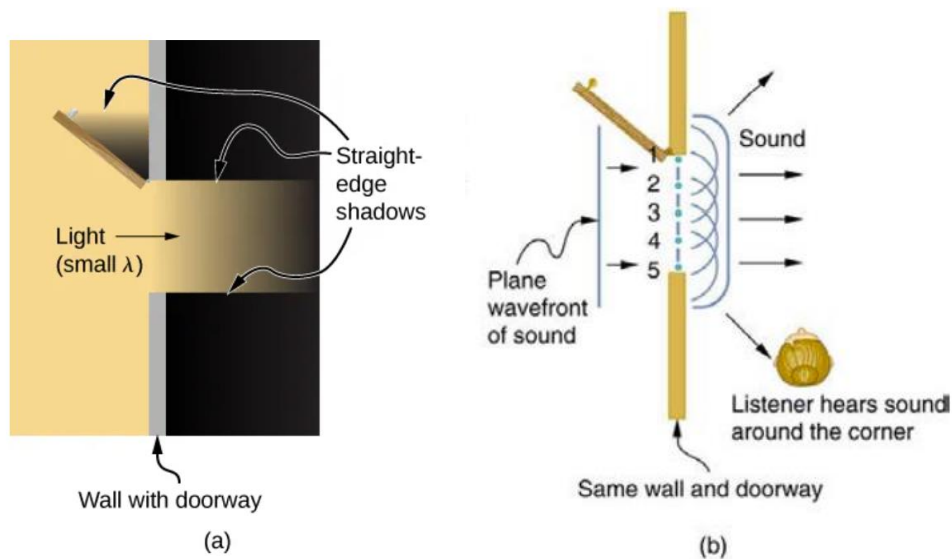
Dakle, Huygensov princip je u biti geometrijske konstrukcije u tom smislu što nam s obzirom na oblik valne fronte, u svakom trenutku omogućuje određivanje oblik valne fronte kasnije [1,3,4]

## HUYGENSOVO NAČELO I DIFRAKCIJA

Što se događa kada svjetlost prolazi kroz otvor? Huygensovo načelo nalaže da se valovi šire nakon što prođu kroz otvor, i to zato jer se svaka točka na valnoj fronti gleda kao novi izvor sekundarnih valova. Isto vrijedi kada svjetlost prodire kroz otvor jer svaka točka vala unutar otvora stvara novi kružni val koji se širi u svim smjerovima prema van iz otvora. Ta promjena smjera širenja svjetlosti naziva se difrakcija. Ona nastaje kada svjetlost prolazi kroz manje otvore, prepreke, ili oštre rubove.

Ako promotrimo svjetlost koja prolazi kroz otvorena vrata u mračnoj sobi, primijetit ćemo oštru sjenu na podu sobe ali ne i svjetlost u ostalim kutovima sobe. Kada svjetlost prođe kroz vrata, stvara jasnu liniju na podu. Svjetlo se sastoji od vrlo sitnih valova, ali oni djeluju kao ravna linija jer su tako mali u usporedbi s vratima (slika 2,a).

Usporedbe radi, kada zvuk prolazi kroz vrata čut ćemo ga posvuda u prostoriji jer je duljina zvučnog vala slična veličini vrata. Razlika između svjetlosnih i zvučnih valova je u tome što svjetlost ima jako krute valne dulje (slika 2,b).



(Slika 2)

Kada puštamo svjetlost kroz male rupice, možemo vidjeti da se ona savija kao zvuk. Ovo savijanje svjetlosti oko rubova naziva se difrakcija, a događa se kod svih vrsta valova. Upravo to savijanje dokazuje valna svojstva svjetlosti.

Kad val prolazi kroz malu rupu, savija se više nego kad prolazi kroz veliku rupu. To se događa jer se val ponaša više poput vala kada je u interakciji sa stvarima koje su slične veličine kao sam val (slika 3).

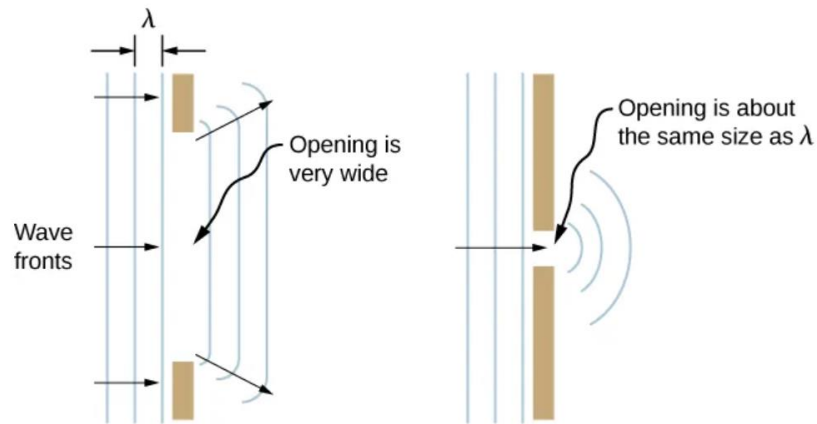


Figure 1.31 Huygens's principle applied to a plane wave front striking an opening. The edges of the wave front bend after passing through the opening, a process called diffraction. The amount of bending is more extreme for a small opening, consistent with the fact that wave characteristics are most noticeable for interactions with objects about the same size as the wavelength.

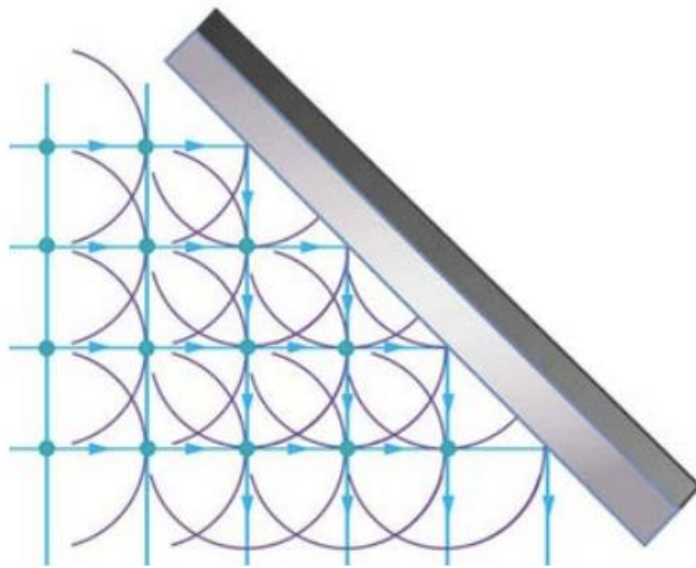
(Slika 3)

Difrakciju možemo gledati poput posebnog alata koji nam pomaže vidjeti stvari koje su premalene da bismo ih vidjeli vlastitim očima. To čini promatranjem uzorka koji se događa kada svjetlost ili valovi prolaze kroz nešto ili se odbijaju od nečega. Ovaj uzorak nam pomaže da shvatimo kako predmet izgleda i od čega je napravljen. Znanstvenici koriste difrakciju kako bi pomoću X-zraka vidjeli kako kristali izgledaju [1,2,3,4,9].

## HUYGENSOVO NAČELO, REFLEKSIJA I REFRAKCIJA

Huygensov princip pomaže nam razumjeti kako svjetlost i valovi mijenjaju smjer kada udare u nešto. Kaže da kada val udari o površinu, svaka točka na valu djeluje kao mali izvor novih valova. Ovi novi valovi se šire i savijaju zbog novog materijala kroz koji putuju. I refleksija i lom čine da valovi iz točke idu u drugom smjeru.

Kada val udari u ogledalo, odbije se natrag pod istim kutom pod kojim je došao. To se zove zakon refleksije. Zamislite da je val poput niza mravi koji hodaju prema ogledalu. Prvo počnu hodati mravi s lijeve strane ogledala, a zatim mravi s desne strane. Mravi s lijeve strane imaju više vremena za hodanje pa stvaraju liniju koja ide u istom smjeru kao i val.



(Slika 4)



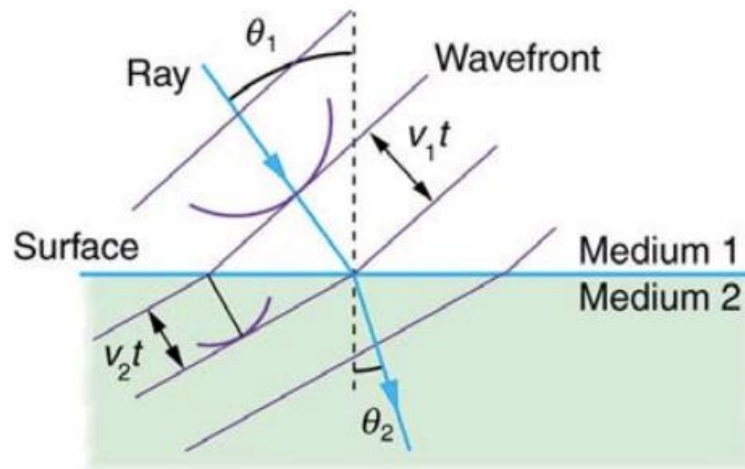
Valovi koje vidite odaslani su kada je svaki dio vala udario u ogledalo. Crta koja dodiruje valove pokazuje da se novi val odbio od ogledala pod istim kutom pod kojim je došao. Smjer kretanja valova je ravno gore-dolje, kao što pokazuju strelice prema dolje (slika 4).

Iz čega proizlazi da prema zakonu refleksije, kut reflektirane zrake u odnosu na normalu na površinu, odnosno crtu okomitu na površinu u točki dodira, jednak je kutu upadne zrake. Reflektirana zraka uvijek je bila u ravnini definiranoj upadnom zrakom i normalom na površinu u točki gdje upadna zraka dolazi u kontakt s površinom. [1,3,9].

Zakon refrakcije je pravilo koje objašnjava kako svjetlosni valovi mijenjaju smjer kada prelaze s jedne stvari na drugu. Tu pojavu također možemo razumjeti pomoću Huygensovog načela, koji nam pomaže objasniti kako se valovi kreću.

Svaki mali val na slici nastao je kada je prednji dio vala prešao s jednog mjesta na drugo. S druge strane, budući da svjetlost putuje sporije, valovi ne idu tako daleko u istom vremenu. Zbog toga val mijenja smjer, zbog čega se svjetlosni snop približava ravnom gore kada usporava.

Zamislite da imate autić koji se vozi po cesti. Cesta je kao prvi medij, a automobil je kao fronta vala. Sada zamislite da se cesta odjednom promijeni i postane poput blatnjave staze. Auto će usporiti jer je teže voziti po blatnoj stazi. To je slično onome što se događa s valnom frontom kada putuje iz jednog medija u drugi gdje se valovi kreću sporije. Valna fronta se savija prema okomitom smjeru, baš kao što automobil usporava i mijenja smjer dok vozi po blatnoj stazi [1,2,10].



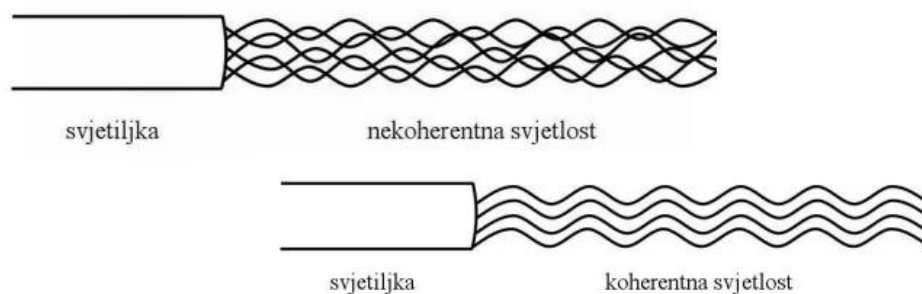
(Slika 5)

## ZAKON INTERFERENCIJE

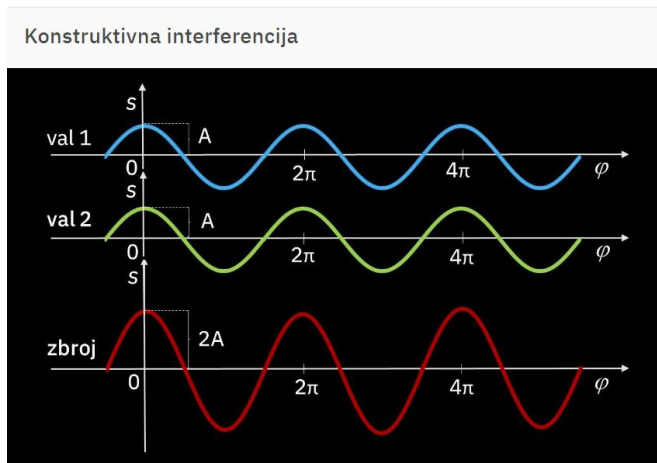
Interferencija je kada se valovi spajaju i stvaraju veće valove ili nestaju. To je kao kad se dva mreška u vodi susretnu i ponekad naprave veće valove na nekim mjestima ili nestanu na drugim. Veličina valova ovisi o tome koliko je svaki val morao prijeći da bi se susreo.

Interferencija je nešto što se događa kada se valovi, poput onih u vodi, spoje. Ako postoje dva izvora valova blizu jedan drugome, možemo vidjeti da ponekad valovi postaju veći na određenim mjestima (konstruktivna interferencija, slika 7), a ponekad nestaju na drugim mjestima (destruktivna interferencija, slika 8). Valovi koje vidimo ovise o tome koliko su daleko prešli da bi se susreli. Svaki val mora prijeći određenu udaljenost kako bi došao do mjesta gdje se susreću. Razlika u udaljenostima koje valovi prijeđu naziva se razlika putovanja. Uglavnom, ako se dva vala iz različitih izvora sretnu na istom mjestu, oni se kombiniraju i stvaraju svijetlu ili tamnu mrlju.

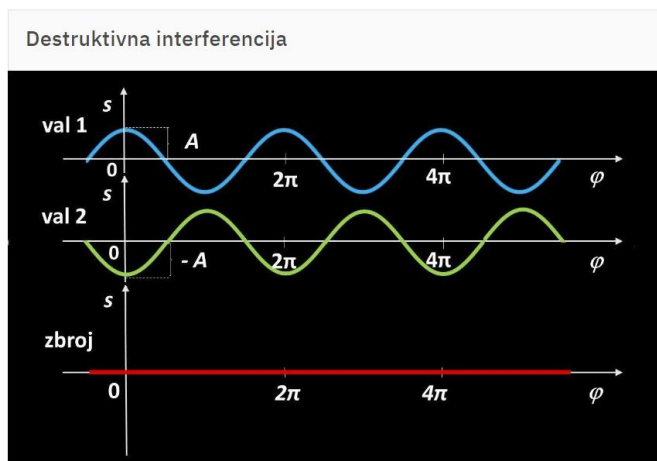
Uvjeti za interferenciju su slijedeći. Prvo, moraju biti malo drugačiji kada počnu. Drugo, moraju biti iste duljine. I treće, moraju biti jednake snage [10,11,14].



(Slika 6)



(Slika 7)



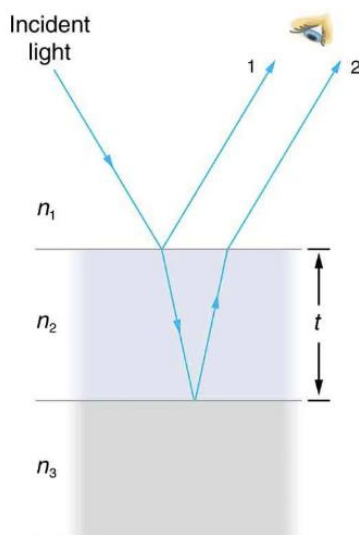
(Slika 8)

Svijetle boje koje se vide u naftnoj mrlji koja pluta na vodi, ili u suncem obasjanom mjeheru od sapunice, uzrokovane su interferencijom. Najsvjetlije boje su one koje konstruktivno interferiraju. Ova interferencija je između svjetlosti reflektirane od različitih površina tankog filma; stoga je učinak poznat kao interferencija tankog filma. Destruktivna interferencija čini boje mutnima. To se događa jer je film vrlo tanak u usporedbi s veličinom svjetlosnih valova. Budući da različite boje svjetlosti imaju različite valne duljine, vidimo različite boje ovisno o debljini filma (slika 16).

Kao što smo primijetili prije, učinci interferencije su najizraženiji kada svjetlost stupa u interakciju s nečim što ima veličinu sličnu njegovoj valnoj duljini. Tanki film je onaj koji ima debljinu  $t$ , manji od nekoliko puta valne duljine svjetlosti,  $\lambda$ . Budući da je boja neizravno povezana s  $\lambda$ , a budući da sve smetnje na neki način ovise o omjeru  $\lambda$  prema veličini uključenog objekta, trebali bismo očekivati različite boje za različite debljine filma.



(slika 16)



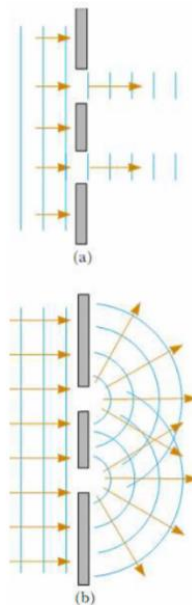
(slika 17)

Svjetlost koja pada na tanki film djelomično se reflektira (zraka 1) i djelomično lomi na gornjoj površini. Na donjoj površini, lomljena zraka djelomično se reflektira i pojavljuje se kao zraka 2. Te zrake interferiraju na način koji ovisi o debljini filma i indeksima loma različitih medija.

Ako je film na slici 17 mjehurić od sapunice (u biti voda sa zrakom s obje strane), tada postoji  $\lambda/2$  pomak za zraku 1 i nijedan za zraku 2. Dakle, kada je film vrlo tanak, razlika u duljini puta između dviju zraka je zanemariva, one su točno izvan faze, a destruktivna interferencija će se pojaviti na svim valnim duljinama i tako će mjehurić sapunice biti mračan [18].

## YOUNGOV EKSPERIMENT

Ekperiment Thomasa Younga pomogao je ljudima da shvate da se svjetlost sastoji od valova. U prošlosti je bilo teško vidjeti kako ti valovi međusobno djeluju jer su vrlo kratki. Young je koristio dva mala otvora kako bi vidio interakciju. Propustio je sunčevu svjetlost kroz jedan otvor i stavio drugi otvor iza njega. To je stvorilo dva vala koja su se međusobno poklapala. Kad je pogledao zaslon iza otvora, vidio je uzorak načinjen od valova koji se međusobno preklapaju. Uzorak je imao različite boje jer je koristio bijelo svjetlo. Srednji dio šare uvijek je bio bijele boje.

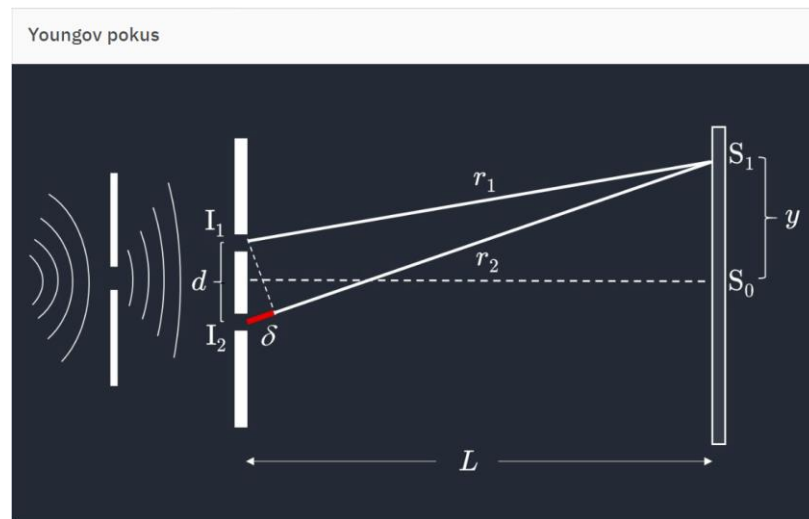


(Slika 9)

Young je otkrio da kada je pustio svjetlost da prođe kroz dvije sićušne rupe koje su bile blizu jedna drugoj, svjetlost se raširila i pomiješala (slika 10). Na mjestima gdje se svjetlost miješala, bile su svijetle trake i tamne linije. To je pokazalo da se svjetlost ponaša poput valova. Young je također koristio ovu ideju valova da objasni zašto neke stvari, poput

mjehurića od sapunice, imaju različite boje. Otkrio je da različite boje imaju različite veličine valova. Također je otkrio da se svjetlosni valovi kreću s jedne strane na drugu umjesto gore-dolje, što pomaže objasniti nešto što se zove polarizacija.

Kada svjetlost prođe kroz male rupice, pretvara se u dvije nove svjetlosti i stvara svijetle linije ili može nestati i stvara tamne linije na površini.



(Slika 10)

Kad bi svjetlost putovala ravnom linijom kroz pukotinu, poput sitnih čestica, ne bi stvarala uzorke svijetlih i tamnih mrlja. Kada se svjetlost kreće, ona se ponaša kao val. Svaki put kad udari u nešto, poput pukotine, stvara novi val. Ti valovi zatim međusobno djeluju jedni na druge i stvaraju posebne linije koje se nazivaju interferencijske linije [4,6].

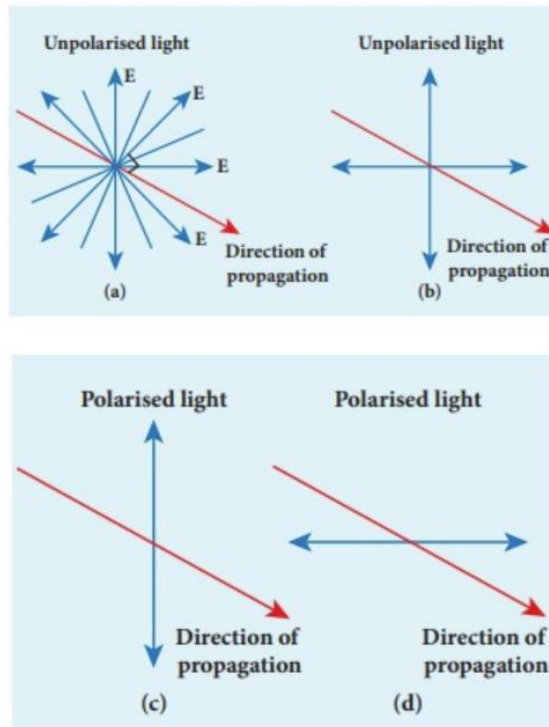


## ZAKON POLARIZACIJE

Proveli smo neke testove kako bismo saznali kako svjetlost putuje. Saznali smo da se svjetlost kreće u valovima, kao što se ocean kreće u valovima. U početku nismo bili sigurni kreću li se ti valovi gore-dolje ili s jedne na drugu stranu. Ali onda smo napravili još nekoliko testova i otkrili da se valovi pomiču samo s jedne strane na drugu.

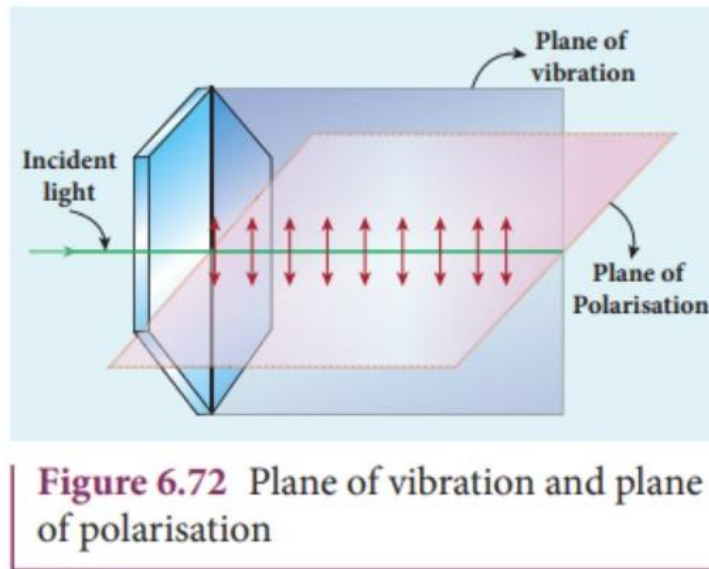
Također smo otkrili da su svjetlosni valovi posebna vrsta valova koji se nazivaju elektromagnetski valovi. Kada govorimo o polarizaciji, mislimo na to da valovi mogu ići samo u određenom smjeru, kao pravilo koje moraju slijediti.

Nepolarizirana svjetlost je poput vijugave linije koja se kreće na različite načine. Može se podijeliti na dijelove koji idu gore i dolje i dijelove koji idu s jedne strane na drugu. Polarizirana svjetlost je poput ravne linije koja se kreće samo u jednom smjeru, ili gore-dolje ili s jedne na drugu stranu (slika 11).



(Slika 11)

Ravnina u kojoj se kreće električno polje naziva se ravnina vibracija. Ravnina koja je pod pravim kutom u odnosu na ravninu titranja i ima svjetlosnu zraku naziva se ravnina polarizacije (slika 12).



(Slika 12)

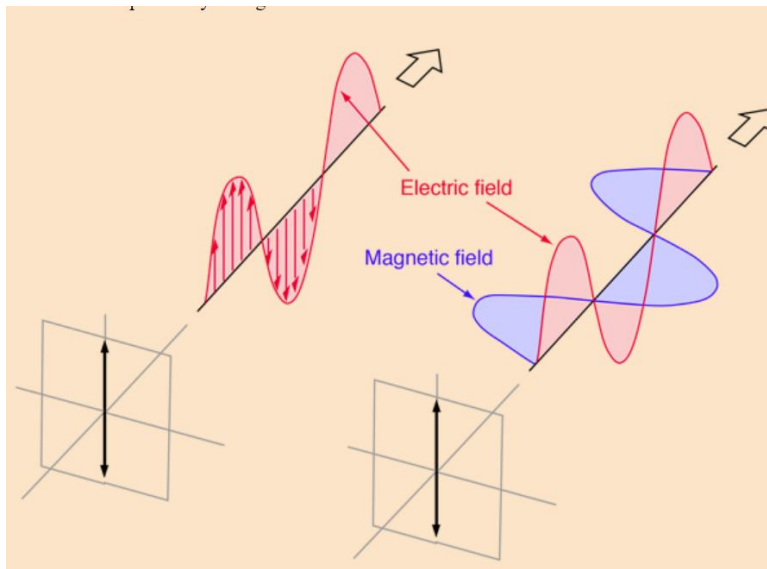
Polarizirano svjetlo je posebna vrsta svjetla koje ide samo u jednom smjeru umjesto da ide u svim smjerovima odjednom. To je kao kad se češljate i sve dlake idu u istom smjeru. Ovo je poput hrpe valova koji se kreću ravnom linijom, a način na koji se kreću je poput gore-dolje ili s jedne na drugu stranu, ali uvijek u istom smjeru. Nije isto s obje strane gledajući u gredu. To je kao kada koristite posebne sunčane naočale kako bi svjetlost izgledala drugačije. Sunčane naočale pomažu promijeniti svjetlo kako bismo mogli vidjeti stvari na određeni način.

Nepolarizirana svjetlost je poput hrpe svjetlosnih valova koji su svi izmiješani i idu u različitim smjerovima. To je kao grupa ljudi koja trči u različitim smjerovima bez određenog reda. To znači da su valovi ravnomjerno raspoređeni u svim smjerovima, poput velikog kruga oko grede. To znači da ako zamislite liniju koja ide ravno kroz sredinu nečega, to bi izgledalo isto s obje strane te linije [12].

Dvije vrste valova postoje u ovom fenomenu, transverzalni i longitudinalni. Transverzalni su kao kad bacite kamen u vodu i on stvara valove i zvučne valove koji se kreću gore-dolje. Longitudinalni valovi su kada se čestice u vodi kreću u istom smjeru kao i valovi.

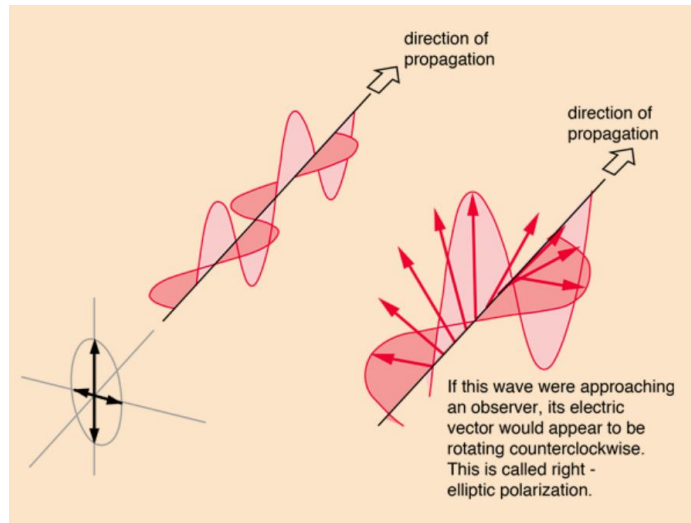
Kombinacija električnih i magnetskih sila koje putuju svemirom poznata je kao svjetlost. Električne i magnetske vibracije svjetlosnog vala okomite su jedna na drugu. Magnetsko polje putuje u jednom smjeru, a električno polje u drugom, ali su uvijek okomita. Dakle, imamo električno polje u jednoj ravnini, magnetsko polje okomito na nju i smjer kretanja koji je okomit na oba. Električne i magnetske vibracije mogu se dogoditi u različitim ravninama [17].

Također poznajemo tri vrste polarizacije, linearna, eliptična, i cirkularna polarizacija. U linearnoj polarizaciji, električno polje svjetlosti je ograničeno na jednu ravninu duž smjera širenja svjetlosti (slika 13)[17].



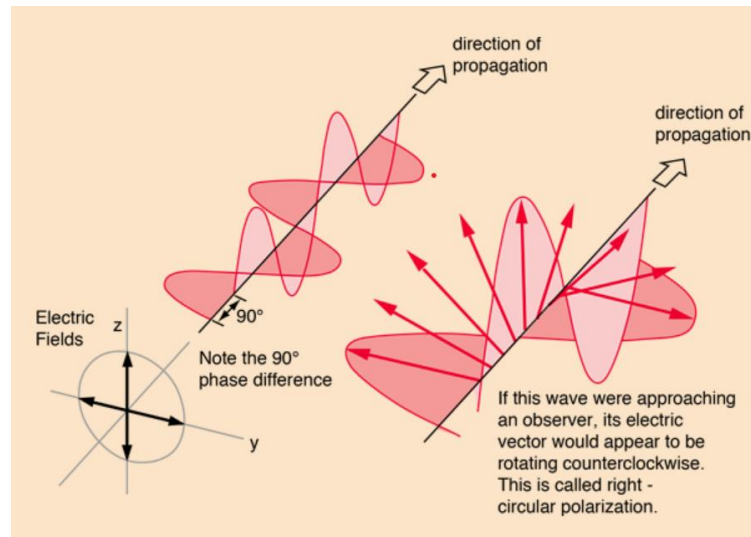
(slika 13)

U eliptičnoj polarizaciji, električno polje svjetlosti širi se po eliptičnoj putanji. Dvije linearne komponente nemaju istu amplitudu i faznu razliku u eliptičnoj polarizaciji (slika 14)[17].



(slika 14)

U cirkularnoj polarizaciji, električno polje svjetlosti ima dvije linearne komponente koje su okomite jedna na drugu i imaju identične amplitude, ali je razlika faza  $\pi/2$ . Električno polje koje se javlja širit će se u kružnom gibanju (slika 15)[17].



(slika 15)

## ELEKTROMAGNETSKI VALOVI

Dosad razrađene teorije nisu mogle objasniti kretanje valova kroz vakuum. Vjerovalo se da je za kretanje valova potrebna površina o koju se val može odbiti kako bi nastavio svoju putanju. 1860-ih godina, znanstvenik po imenu James Clerk Maxwell došao je na doista važnu ideju. Shvatio je da su elektricitet, magnetizam i svjetlost povezani. Reкао je da je svjetlost poput vala koji se sastoji od električnog i magnetskog polja.

Također je rekao da postoje druge vrste valova koji se nazivaju elektromagnetski valovi koji putuju istom brzinom kao svjetlost. Drugi znanstvenik po imenu Heinrich Hertz dokazao je da ti valovi postoje i imaju slična svojstva kao svjetlost koju možemo vidjeti. Maxwell je proučavao elektricitet i magnete. Smislio je način izračunavanja jakosti električnog i magnetskog polja na bilo kojem mjestu. Prije toga ljudi su znali da električni naboji i električne struje stvaraju ta polja. Ali Maxwell je otkrio da promjenjiva magnetska polja također mogu stvarati električna polja. Došao je do teorije koja kaže da promjenjiva električna polja stvaraju magnetska polja.

Maxwell je napravio 4 matematičke jednadžbe koje objašnjavaju kako elektricitet i magneti rade. Koristio se ovim jednadžbama kako bi shvatio da postoje posebni valovi koji se nazivaju elektromagnetski valovi. Otkrio je da ti valovi putuju istom brzinom kao i svjetlost. To ga je navelo na pomisao da je svjetlost zapravo elektromagnetski val. Prema Maxwellu, svjetlosni valovi dolaze od promjenjivih električnih i magnetskih polja. Kada se električno polje promijeni, mijenja se i magnetsko polje, i obrnuto. Ova promjenjiva polja stvaraju elektromagnetske valove, čak i u praznom prostoru [4,11,13,14].

Maxwell razvija 4 jednadžbe. Prvo, linije električnog polja proizlaze od pozitivnih naboja i idu prema negativnim nabojima. Električno polje je način da se izmjeri koliko je jaka sila na probnom naboju, a ta sila ovisi o posebnom broju koji se naziva električna konstanta. Gaussov zakon za elektricitet posebna je verzija Columbovog zakona koji proizlazi iz prve Maxwellove jednadžbe.

Drugo, linije magnetskog polja idu u petlju i nikada ne prestaju. Nismo pronašli nijedan magnetski objekt sa samo jednim krajem. Jačina magnetske sile povezana je s nečim što se zove  $\mu_0$ , što je kao poseban broj za magnete. Znanstvenici ovo pravilo nazivaju Gaussovim zakonom za magnete.

Nadalje, kada se magnetsko polje kreće ili mijenja, ono stvara posebnu silu koja pokreće elektricitet. Ova sila pokušava spriječiti prebrzu promjenu. Zove se Faradayev zakon indukcije i uključuje Lenzov zakon.

I zadnje, magnetska polja nastaju kada se naboji kreću ili kada se mijenjaju električna polja. Ovo posebno Maxwellovo pravilo uključuje Ampereov zakon i govori nam da promjenjiva električna polja također mogu stvoriti magnetizam.

Maxwellova teorija kaže da su elektricitet i magnetizam zapravo ista stvar koja se zove elektromagnetska sila. Ovo otkriće nadahnulo je znanstvenike da pokušaju pronaći način da spoje sve različite sile u prirodi. Prije Maxwellovog vremena bilo je teško pronaći promjenjiva električna polja jer stvaraju slaba magnetska polja. Ali Maxwell je shvatio da naboji koji se kreću naprijed-natrag, kao u krugovima koji mijenjaju smjerove, stvaraju promjenjiva električna polja. Mislio je da će ta promjenjiva polja nestati tamo gdje počinju, kao kad riba skoči u jezero i napravi valove u vodi.

Maxwell je rekao da valovi mogu biti sastavljeni od električnih i magnetskih stvari koje se miču. Elektromagnetski valovi bili bi sposobni djelovati silama na naboje na velikim udaljenostima od svog izvora, pa ih se stoga može detektirati [15]. Maxwellove jednadžbe krajnji su dokaz valnih svojstva svjetlosti.

## ZAKLJUČAK

Znanstveno izučavanje svjetlosti započinje još u 16-om stoljeću. Teoretiziranje je krenulo s mišlju da je svjetlost sačinjena od puno malih čestica koje se kreću ravnomjernom crtom. Ta teorija je dominirala svijetom sve dok se nisu postavila pitanja što se to do događa sa svjetlom kada se lomi i reflektira na površini koju obasjava. Ispostavilo se da i svjetlost mijenja smjer kretanja što je značilo da nije bilo moguće da se ona kreće ravnomjerno. Razni pokusi dokazali da svjetlost ima valna svojstva, ali ne samo valna, već i elektromagnetska. U 19-om stoljeću zahvaljujući Maxwellovim jednadžbama, uspijevamo svjetlost, njena svojstva, i njeno gibanje, znanstveno i matematički izmjeriti. Time valna optika dobiva novu dimenziju i ulazi u bazičnu teoriju svjetlosti.

## LITERATURA

- [1] Jones, Andrew Zimmerman, Huygens' Principle of Diffraction, <https://www.thoughtco.com/huygens-principle-2699047>, pristup 21.08.2023.
- [2] Anderson, F.L. Huygens' Principle geometric derivation and elimination of the wake and backward wave. *Sci Rep* 11, 20257 (2021)
- [3] Wellner, M. Wave Optics. In: Elements of Physics. Springer, Boston, MA, 1991.
- [4] Crowell, Benjamin, Conceptual Physics, [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Conceptual\\_Physics/Book%3A\\_Conceptual\\_Physics\\_\(Crowell\)](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Conceptual_Physics/Book%3A_Conceptual_Physics_(Crowell)), pristup 21.08.2023.
- [5] OpenStax, Introduction to Science and the Realm of Physics, Physical Quantities, and Units, <https://openstax.org/books/college-physics/pages/27-introduction-to-wave-optics>, pristup 21.08.2023.
- [6] Chodos, Alan, May 1801: Thomas Young and the Nature of Light, <https://www.aps.org/publications/apsnews/200805/physics/history.cfm>, pristup 21.08.2023.
- [7] Wave Optics, National Council of Educational Research and Training, <https://ncert.nic.in/ncerts/l/leph202.pdf>, pristup 23.08.2023.
- [8] Thompson, Brian, J., & Kingslake, Rudolf, Optics, <https://www.britannica.com/science/optics>, pristup 24.08.2023.
- [9] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., Huygensovo načelo. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=71196>, pristup 24.08.2023.
- [10] Gupta, S. D., Ghosh, N., & Banerjee, A., Wave Optics: Basic Concepts and Contemporary Trends, CRC Press, 2015.
- [11] Hawkes, P. W. & Kasper, E., Principles of Electron Optics: Wave Optics, Academic Press, 1996.
- [12] Brainkart, Wave Optics – Polarisation, [https://www.brainkart.com/article/Polarisation\\_41465/](https://www.brainkart.com/article/Polarisation_41465/), pristup 24.08.2023.



- [13] Britannica, Light as electromagnetic radiation, <https://www.britannica.com/science/light/Light-as-electromagnetic-radiation>, pristup 24.08.2023.
- [14] Labinac, V. & Milotić, B. FIZIKA III: VALOVI I OPTIKA, Sveučilište u Rijeci, Fakultet za fiziku, 20.lipnja 2023.
- [15] OpenStax, *College Physics chapters 1-17, Maxwell's Equations: Electromagnetic Waves Predicted and Observed*, <https://pressbooks-dev.oer.hawaii.edu/collegephysics/chapter/24-1-maxwells-equations-electromagnetic-waves-predicted-and-observed/>, pristup 31.08.2023.
- [16] Hyperphysics, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>, pristup 31.08.2023.
- [17] GeeksforGeeks, <https://www.geeksforgeeks.org/polarization-of-light/>, pristup 31.08.2023.
- [18] OpenStax, *College Physics, Thin Film Interference*, <https://openstax.org/books/college-physics/pages/27-7-thin-film-interference>, pristup 31.08.2023.