

# Polarizacija svjetlosti u istraživački usmjerenoj nastavi fizike

---

Sokolić, Katarina

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:579871>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-05**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
MATEMATIČKI ODSJEK

Katarina Sokolić

POLARIZACIJA SVJETLOSTI U  
ISTRAŽIVAČKI USMJERENOJ NASTAVI  
FIZIKE

Diplomski rad

Voditelj rada:  
doc. dr. sc. Maja Planinić

Zagreb, 2022.

Ovaj diplomski rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ pred ispitnim povjerenstvom u sastavu:

1. \_\_\_\_\_, predsjednik

2. \_\_\_\_\_, član

3. \_\_\_\_\_, član

Povjerenstvo je rad ocijenilo ocjenom \_\_\_\_\_.

Potpisi članova povjerenstva:

1. \_\_\_\_\_

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

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

*Ovaj rad posvećujem mojim roditeljima Stjepanu i Verici, sestrama Barbari i Anamariji te bratu Marku u znak zahvale što su uvijek bili uz mene i pružili mi bezuvjetnu potporu i pomoć tijekom mog obrazovanja. Hvala svim prijateljicama i prijateljima zbog kojih će mi studentske godine ostati u najljepšem sjećanju. Na poseban način hvala Luki, Katarini, Mari i Ivani. Posebno, i od srca, zahvaljujem svojoj mentorici, doc. dr. sc. Maji Planinić, na svakoj od pruženih pomoći i uloženom vremenu tijekom pisanja ovog rada.*

## Sadržaj

1	Uvod.....	2
2	Polarizacija.....	3
2.1	Polarizacija svjetlosti.....	4
2.1.1	Polarizirana i nepolarizirana svjetlost.....	4
2.1.2	Polarizacija svjetlosti pomoću polarizatora.....	5
2.1.3	Polarizacija svjetlosti refleksijom.....	7
3	Istraživački usmjerena nastava fizike.....	9
3.1	Tipovi istraživanja u istraživački usmjerenoj nastavi.....	10
3.2	Struktura istraživački usmjerenog sata.....	10
3.3	Interaktivne nastavne metode.....	11
3.4	Učeničke konceptualne poteškoće.....	12
4	Poučavanje o polarizaciji svjetlosti i učeničke poteškoće vezane uz nju.....	13
4.1	Polarizacija svjetlosti u kurikulumu i nastavnoj praksi.....	13
4.2	Učeničke poteškoće vezane uz polarizaciju svjetlosti.....	15
4.2.1	Metodologija istraživanja.....	16
4.2.2	Očekivani odgovori.....	17
4.2.3	Analiza i rezultati ispitivanja.....	17
4.2.4	Analiza rezultata (zaključak istraživanja).....	30
5	Nastavna sekvenca: Polarizacija svjetlosti.....	31
5.1	Prvi sat: Polarizacija svjetlosti pomoću polarizacijskih filtara.....	31
5.2	Drugi sat: Polarizacija svjetlosti refleksijom.....	38
6	Bibliografija.....	44

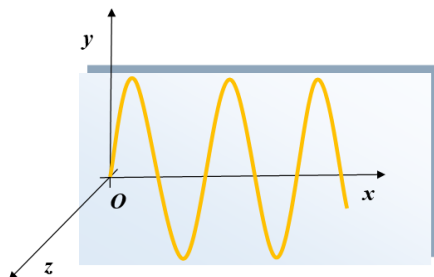
# 1 Uvod

Polarizacija svjetlosti jedna je od tema koje se obrađuju u sklopu gradiva valne optike u srednjoškolskoj nastavi fizike. Iako se ovoj temi posvećuje manji broj sati, dva do tri, ovisno o programu pojedine škole, pojava polarizacije svjetlosti učenicima je vrlo zanimljiva, naročito zbog primjene u svakodnevnom životu. Opis polarizacije učenicima je vrlo apstraktan i zbog toga često pribjegnu pojednostavnjenom, često pogrešnom, tumačenju ove pojave. Za njezino razumijevanje potrebno je mnogo predznanja iz područja elektriciteta i magnetizma, titranja te valne i geometrijske optike.

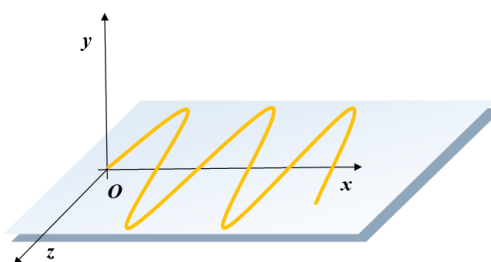
U prvom poglavlju ovog rada pojava polarizacije opisana je općenito na mehaničkim valovima, a zatim i na svjetlosnim. Drugo poglavlje odnosi se na istraživački usmjerenu nastavu fizike i objašnjava najvažnije ciljeve takve vrste nastave i načine kojima se oni mogu ostvariti. Zatim slijedi pregled učeničkih poteškoća u vezi polarizacije svjetlosti, koje su identificirane u sklopu jednog istraživanja na hrvatskim učenicima. Na kraju rada predstavljena je nastavna sekvenca, čiji je glavni cilj obrada polarizacije svjetlosti u školi, sa svrhom da je učenici razumiju i znaju opisati njezine glavne aspekte i primjene, a da se uz to potiče njihov istraživački duh te ih se aktivno uključi u sam proces učenja.

## 2 Polarizacija

Polarizacija je karakteristika transverzalnih valova, pa ćemo je zato proučiti najprije na jednostavnijem primjeru - transverzalnim valovima na niti. Ako zamislimo žicu koja u ravnoteži leži duž  $x$ -osi, tada otkloni od ravnotežnog položaja mogu biti u  $y$ -smjeru ili u  $z$ -smjeru. U prvom slučaju žica će uvijek ležati u  $xy$ -ravnini (Slika 2.1), a u drugom slučaju u  $xz$ -ravnini (Slika 2.2).



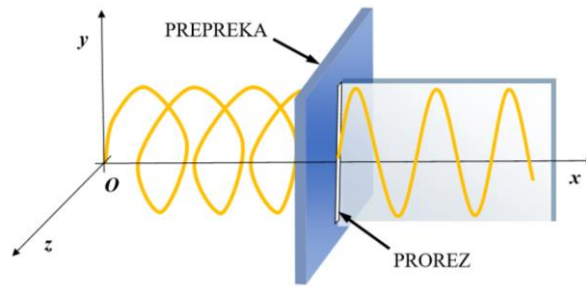
Slika 2.1: Transverzalni val linearno polariziran u  $y$ -smjeru



Slika 2.2: Transverzalni val linearno polariziran u  $z$ -smjeru

Za takve valove kažemo da su linearno polarizirani, odnosno, ako val ima otklone samo u  $y$ -smjeru kažemo da je linearno polariziran u  $y$ -smjeru, a ako ima otklone samo u  $z$ -smjeru, kažemo da je linearno polariziran u  $z$ -smjeru.

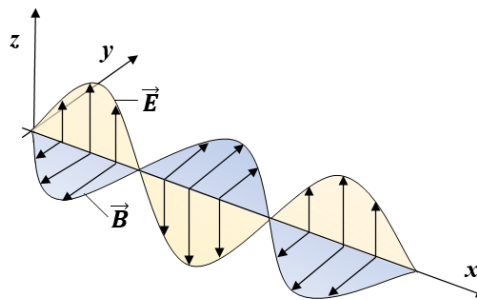
Za mehaničke valove moguće je napraviti polarizirajuće filtre, odnosno polarizatore, koji će propuštati samo valove određene polarizacije. Možemo si to predočiti time da ispred vala koji nije polariziran, odnosno ima otklone u različitim smjerovima, postavimo neki prorez, koji ima ulogu polarizatora, kao na Slika 2.3. Tada će, kada prođe kroz taj prorez, val biti polariziran, odnosno imat će otklone samo u  $y$ -smjeru, ako je i prorez postavljen u tom smjeru, dok su gibanja u  $z$ -smjeru blokirana.



Slika 2.3: Prorez kao polarizator, propušta samo komponente titranja u y-smjeru

## 2.1 Polarizacija svjetlosti

Polarizacijom svjetlosti pokazujemo kako su elektromagnetski valovi, od kojih se sastoji svjetlost, također transverzalni valovi. Elektromagnetski se valovi, kako im i sam naziv veli, sastoje od vremenski promjenjivog električnog i magnetskog polja, ta polja titraju u međusobno okomitim smjerovima (ravninama) i okomito na smjer širenja vala. Bitno je napomenuti kako su polja povezana te u takvom valu bez jedne komponente ne može postojati niti druga.



Slika 2.4: Prikaz svjetlosti kao elektromagnetskog vala koji se širi u x-smjeru

### 2.1.1 Polarizirana i nepolarizirana svjetlost

Smjer polarizacije elektromagnetskog vala uvijek definiramo prema smjeru vektora električnog polja  $\vec{E}$ , a ne prema smjeru magnetskog polja  $\vec{B}$ , iz razloga što mnogi detektori elektromagnetskih valova reagiraju na električne sile elektrona u materijalima, a ne na magnetske [5]. Tako ćemo za elektromagnetski val opisan jednadžbama (2.1 i 2.2)

$$\vec{E}(x, t) = \hat{k}E_{\max} \cos(kx - \omega t) \quad (2.1)$$



$$\vec{B}(x, t) = \hat{j}B_{\max} \cos(kx - \omega t) \quad (2.2)$$

reći da je polariziran u z-smjeru, jer električno polje ima samo z-komponentu.

Na primjer, za elektromagnetske valove koje emitiraju radio-odašiljači, odnosno antene, možemo najčešće reći da su linearno polarizirani. U vertikalno postavljenim antenama elektroni titraju u vertikalnom smjeru te tako proizvode vertikalno polarizirano električno polje koje se širi od antene u horizontalnom smjeru. No, za svjetlost emitiranu npr. iz obične žarulje reći ćemo da je nepolarizirana.

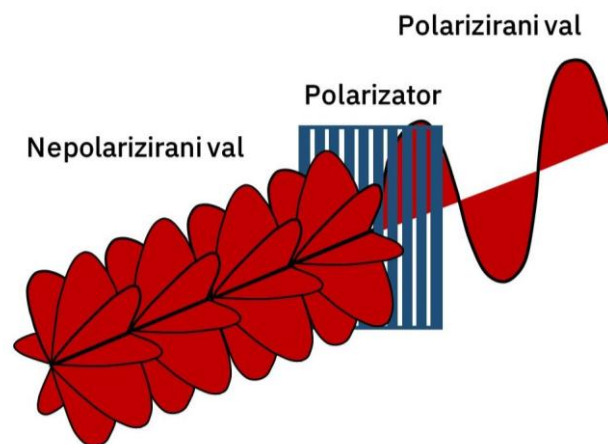
Nepolarizirana svjetlost emitirana je od ogromnog broja molekula nasumičnih orijentacija pa tako dobivamo nasumičnu mješavinu linearno polariziranih valova u svim mogućim transverzalnim smjerovima [5]. Nepolarizirana se svjetlost sastoji od mnogih pojedinačnih valova, a svaki ima svoj smjer titranja električnog i magnetskog polja; time su svi smjerovi jednako zastupljeni, odnosno nijedan se ne ističe. Čim se neki smjer ističe više nego ostali, govorimo o djelomično polariziranoj svjetlosti, a ako postoji samo jedan smjer titranja govorimo o potpuno polariziranoj svjetlosti. Postoji više načina polarizacije svjetlosti, a oni koji se spominju u sklopu srednjoškolske nastave fizike jesu polarizacija svjetlosti pomoću polarizatora (polarizacijskih filtara) i polarizacija svjetlosti refleksijom.

### 2.1.2 Polarizacija svjetlosti pomoću polarizatora

Vrlo se često kao polarizator za vidljivu svjetlost, npr. za sunčane naočale i leće kamera, koristi materijal naziva polaroid. Takav materijal ima dikroična svojstva, odnosno svojstvo da različito upija svjetlost koja titra u različitim ravninama pa su tako neke komponente apsorbirane više od drugih. Ako polarizator zamislimo kao uređaj koji ima dugolančane molekule koje se protežu sve u istom smjeru tada će električno polje upadne svjetlosti biti apsorbirano od tih lanaca molekula kad je smjer titranja električnog polja paralelan smjeru lanaca molekula. Odnosno, energiju takvog električnog polja apsorbirat će elektroni u molekulama polarizatora. Dakle, kroz taj polarizator neće proći niti električno polje paralelno lancima molekula niti magnetsko polje vezano uz to električno polje. U suprotnom, ako su električno polje upadne svjetlosti i lanci molekula međusobno okomiti, tada će kroz polarizator proći i električno i magnetsko polje.

Ovdje je bitno naglasiti nedostatak analogije prolaska svjetlosnog vala kroz polarizator s prolaskom mehaničkog vala kroz prorez, koja se često spominje u nastavi fizike. Kroz prorez prolaze mehanički valovi kod kojih čestice titraju u smjeru paralelnom prorezu, dok kroz polarizator prolaze elektromagnetski valovi čije električno polje titra okomito na smjer pružanja dugolančanih molekula polarizatora, jer električno polje koje titra u paralelnom smjeru biva apsorbirano od strane molekula. Pravac duž kojeg se događa polarizacija svjetlosti naziva se polarizacijskom osi polarizatora.

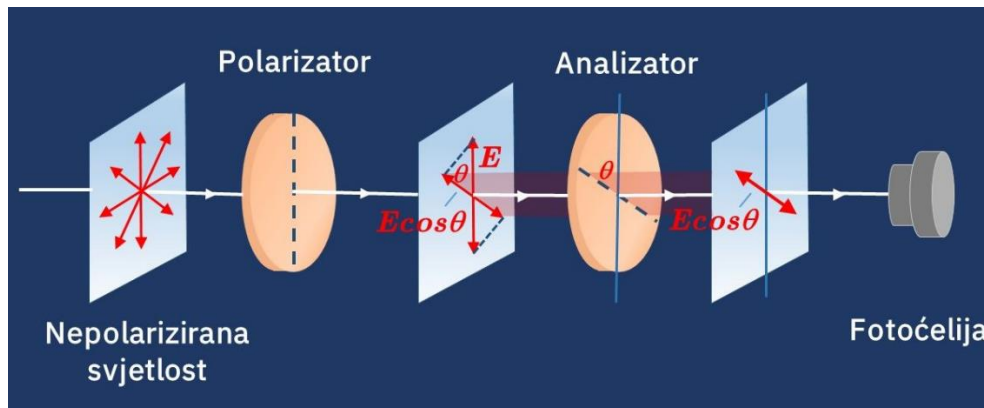
Električno polje nepolarizirane svjetlosti možemo rastaviti na dvije komponente: komponentu paralelnu polarizacijskoj osi i komponentu okomitu na polarizacijsku os. Kako se takva svjetlost sastoji od svih mogućih stanja polarizacija, te su dvije komponente u prosjeku jednake. Zbog toga će prolaskom nepolarizirane svjetlosti kroz polarizator intenzitet propuštene svjetlosti biti jednak točno polovici intenziteta upadne svjetlosti (Slika 2.5).



Slika 2.5 Nepolarizirana prirodna svjetlost upada na polarizacijski filter i biva linearno polarizirana. [11]

Iza prvog polarizatora, možemo postaviti još jedan, njega nazivamo analizator, pa će njime prolaziti već polarizirana svjetlost. Ako je polarizacijska os analizatora zakrenuta za kut  $\theta$  u odnosu na polarizacijsku os prvog polarizatora, električno polje polarizirane svjetlosti ponovno možemo rastaviti na dvije komponente, komponentu paralelnu osi analizatora i okomitu komponentu (Slika 2.5). Tada kroz analizator prolazi samo paralelna komponenta  $E \cos \theta$ . Za kut  $\theta = 0^\circ$  intenzitet propuštene svjetlosti bit će maksimalan ( $I_{\max}$ ), a za kut  $\theta = 90^\circ$  svjetlost neće biti propuštena. Za sve druge kuteve  $\theta$  intenzitet ( $I$ ) propuštene svjetlosti kroz analizator, koji je proporcionalan kvadratu amplitude svjetlosnog vala, računat ćemo prema Malusovom zakonu (2.3):

$$I = I_{\max} \cos^2 \theta \quad (2.3)$$



Slika 2.6 Prolazak polarizirane svjetlosti kroz analizator; fotoćelija mjeri intenzitet propuštene svjetlosti.[11]

### 2.1.3 Polarizacija svjetlosti refleksijom

Svjetlost može biti potpuno ili djelomično polarizirana nakon refleksije na granici dvaju sredstava. Kada nepolarizirana svjetlost upada na granicu dvaju sredstava, za većinu upadnih kutova valovi čije je električno polje okomito na ravninu u kojoj leže upadna i reflektirana zraka (tj. paralelno je s reflektirajućom površinom) bit će u većoj mjeri reflektirani nego oni valovi čije električno polje leži u toj ravnini. Tada je reflektirana svjetlost djelomično polarizirana u smjeru okomitom na ravninu u kojoj leže upadna i reflektirana zraka (zovemo je još ravnina polarizacije). [5]

Za jedan određeni kut upada svjetlosti, svjetlost čije električno polje leži u ravnini polarizacije neće uopće biti reflektirana, već će se u potpunosti lomiti na granici dvaju sredstava. Tada će se svjetlost, čije je električno polje okomito na ravninu polarizacije, djelomično lomiti i djelomično reflektirati. Time će reflektirana zraka biti potpuno polarizirana, odnosno električno polje reflektirane svjetlosti titrat će samo u ravnini okomitoj na ravninu polarizacije (Slika 2.7), a lomljena zraka bit će djelomično polarizirana u smjeru paralelnom ravnini polarizacije (Slika 2.7).

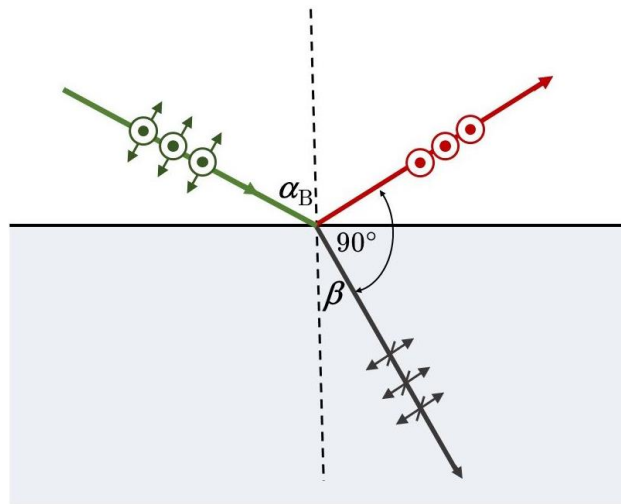
Britanski fizičar Brewster eksperimentalno je otkrio da su u tom slučaju reflektirana i lomljena zraka međusobno okomite (Slika 2.7). Dakle, kut loma  $\beta$  s kutom polarizacije  $\alpha_B$  tada zatvara kut od  $90^\circ$ , a iz Snellovog zakona loma tada imamo:

$$n_a \sin \alpha_B = n_b \sin \beta \quad (2.4)$$

$$n_a \sin \alpha_B = n_b \sin(90^\circ - \alpha_B) = n_b \cos \alpha_B \quad (2.5)$$

$$\tan \alpha_B = \frac{n_b}{n_a} \quad (2.6)$$

Ovu relaciju nazivamo Brewsterovim zakonom. Dakle, za ovako određen upadni kut svjetlosti  $\alpha_B$ , koja upada na granicu dvaju sredstava indeksa loma  $n_a$  i  $n_b$ , reflektirana svjetlost bit će potpuno linearno polarizirana.



Slika 2.7: Polarizacija svjetlosti refleksijom. Reflektirana zraka potpuno je polarizirana, crveni krugovi predstavljaju komponentu električnog polja okomitu na ravninu polarizacije.[11]

Važnost poznavanja ovakve vrste polarizacije očituje se u širokoj upotrebi polarizacijskih filtara kod proizvodnje LCD ekrana, 3D filmova, sunčanih naočala ili u izradi leća za fotoaparate na primjer. Pri refleksiji Sunčeve svjetlosti na horizontalnoj površini, poput glatke ceste, vode, i sl., ravnina polarizacije je vertikalna, a reflektirana svjetlost većim je dijelom polarizirana u horizontalnom smjeru zbog čega se javlja odsjaj kojeg se želimo riješiti ili ga barem smanjiti. Zato se npr. kod polarizacijskih sunčanih naočala polarizacijska os postavlja u vertikalnom smjeru kako bi naočale propustile čim manje horizontalno polarizirane svjetlosti do očiju. Također, takve naočale smanjuju intenzitet propuštene svjetlosti na nešto manje od 50% intenziteta upadne nepolarizirane svjetlosti. [5]

### 3 Istraživački usmjerena nastava fizike

Istraživački usmjerenu nastavu fizike možemo opisati kao vrstu nastave koja nastoji izgraditi učeničko razumijevanje fizikalnih sadržaja, kao i njihovo znanstveno zaključivanje, kroz dobro strukturirana, vođena i usmjeravana učenička istraživanja. [1] Učenici su, u navedenoj vrsti nastave, poticani na razmišljanje, zaključivanje, osmišljanje pokusa, testiranje hipoteza, itd., prilikom čega ih u takvim dobro strukturiranim istraživanjima nastavnici vode i usmjeravaju.

Dok je u tradicionalnom, predavačkom obliku nastave fizike, koji se nastoji što manje primjenjivati u današnje vrijeme, naglasak na prenošenju nastavnih sadržaja u gotovom obliku, u istraživački usmjerenoj nastavi fizike naglasak se ponajprije stavlja na sam proces istraživanja i formiranja znanja, pri čemu se kod učenika razvija niz sposobnosti i vještina, poput razmišljanja i znanstvenog zaključivanja, sustavnog promatranja i opažanja, provođenja mjerenja i analiziranja dobivenih rezultata, izvođenja i opisivanja pokusa, itd. Dakle, glavni su razlozi korištenja istraživački usmjerene nastave fizike razvijanje istraživačkih vještina i znanstvenog zaključivanja te razvijanje razumijevanja rezultata i procesa znanosti, što ne možemo u dovoljnoj mjeri postići uobičajenim načinima poučavanja. [1] Bitno je također naglasiti kako su učenici prilikom predavačkog oblika nastave fizike, gdje je nastavnik u središtu i predaje gradivo, vrlo često intelektualno pasivni, dok se upravo istraživački usmjerenom nastavom i interaktivnim nastavnim metodama može postići aktivno učenje, što rezultira većim stupnjem intelektualnog angažmana učenika.

Ovakvim tipom nastave učenicima će se približiti fiziku kao znanstvenu disciplinu koja je u svojoj srži upravo istraživačkog karaktera. Pritom je važno napomenuti kako je pogrešno istraživački usmjerenu nastavu izjednačavati sa samim izvođenjem pokusa. Kako bi pokusi imali određeni učinak u nastavi učenici ih ne smiju samo pasivno promatrati, nego biti aktivno uključeni u njih. Iako se istraživački usmjerena nastava podosta temelji na pokusima, bili oni frontalni, snimljeni ili izvođeni od strane učenika, njihovo izvođenje mora biti praćeno i poduprto pažljivo osmišljenim pitanjima koja će učenike voditi kroz pokus, nastavnim listićima, razrednom raspravom i samostalnim zapisivanjem rezultata, donošenjem zaključaka te povratnom informacijom o točnosti. Samo će na taj način svrha pokusa u nastavi biti ostvarena, prilikom čega se postiže ključni dio istraživački usmjerene nastave, a to je, već ranije spomenuto, aktivno učenje i visok stupanj intelektualnog angažmana učenika.

Istaknimo još jednom kako je svrha istraživačkog pristupa u nastavi fizike razvijati znanstveno razmišljanje i zaključivanje te postizanje boljeg razumijevanja fizičkih pojava, procesa i njihovih zakonitosti. [2]

### **3.1 Tipovi istraživanja u istraživački usmjerenoj nastavi**

U istraživački usmjerenoj nastavi fizike primjenjuju se dva tipa istraživanja; otvoreno i vođeno istraživanje.

Otvoreno se istraživanje zbog svojih karakteristika manje primjenjuje u svakodnevnom nastavnom radu; ono je pogodnije za naprednu grupu učenika ili samostalno istraživanje, jer traži više vremena nego li je na raspolaganju u razredu. Uključuje posve samostalno postavljanje istraživačkog pitanja, odabir metode istraživanja i samu provedbu istraživanja. Takvo se istraživanje može provesti na primjer u obliku kućnih projekata koje bi učenici trebali sami provesti kod kuće. Jedan do dva takva projekta, naravno ne previše zahtjevana, po polugodištu itekako će doprinijeti razvoju sposobnosti samostalnog istraživanja.

Vođeno istraživanje glavni je oblik istraživanja u redovnoj nastavi fizike. U takvom obliku istraživanja, nastavnici imaju značajnu ulogu pripremiti istraživanje, voditi i usmjeravati učenike, pa tako oni zadaju istraživačko pitanje, ali učenici su ti koji osmišljaju eksperimente, postavljaju hipoteze i testiraju ih, provode kontrolu varijabli, opažaju i zapisuju rezultate samostalno te dolaze do zaključaka.

### **3.2 Struktura istraživački usmjerenog sata**

Na početku sata nastavnik bi pred učenike trebao staviti uvodni problem u obliku pitanja ili pokusa, što za primarni cilj ima pobuđivanje interesa i prikupljanje učeničkih ideja. Učenici će temu povezati s iskustvima iz svakodnevnog života i raspravljati o njima, a nastavnici će imati uvid u prethodna znanja učenika, ne tražeći od njih samo točne odgovore već njihova cjelokupna razmišljanja. Ukoliko se uvodi nova pojava, važno je demonstrirati je opservacijskim pokusom, i to na način da učenici pokus promotre više puta, detaljno i sustavno, te da sami opišu što su opazili.

U središnjem dijelu sata postavlja se istraživačko pitanje na koje učenici istraživanjem (istraživačkim pokusom) trebaju dati odgovor. Potrebno ga je dobro naglasiti i napisati na

ploču kako bi se učenici fokusirali na njega i počeli davati svoje hipoteze te prijedloge pokusa kojima će iste ispitati. Nakon što učenici skiciraju pokus, zapišu svoja opažanja i zaključke, slijedi prezentacija rezultata i diskusija u razredu o njima te sistematizacija zaključenog na ploči. Također, slijedi konstrukcija matematičkog modela kojim će se nova pojava opisati.

Završni dio sata nosi primjenu novog modela što će učenicima omogućiti da vide čemu on služi i zašto je bitan, dok će nastavnik odmah ustanoviti u kojoj su mjeri, i jesu li uopće, učenici razumjeli novo gradivo. Novi se model sada može primijeniti i na problem postavljen na početku sata, a mogu se postaviti i neka druga eksperimentalna pitanja (aplikacijski pokusi) te konceptualna pitanja uz diskusiju.

### **3.3 Interaktivne nastavne metode**

Kako bi se učenike na nastavi učinilo intelektualno aktivnima, potrebno je koristiti se interaktivnim nastavnim metodama. Na taj će se način proces učenja početi odvijati već na nastavi kada nastavnik trenutno može uspješno pomoći učenicima u izgradnji njihovog razumijevanja sadržaja. Interaktivnost u nastavi nužna je općenito za razvijanje razmišljanja, jer potiče verbalizaciju ideja (bilo govorom, bilo pisanjem), omogućava nastavniku uvid u stupanj razvijenosti učeničkih koncepata i eventualne učeničke poteškoće, te potiče aktivno učenje i produbljivanje razumijevanja kroz postavljanje dobro odabranih pitanja ključnih za razvoj razumijevanja određene teme. [1]

Prema [1] interaktivne metode koje se najčešće primjenjuju u nastavi fizike jesu:

- 1) vođenje razredne rasprave
- 2) korištenje kartica ili „klikera“ za odgovaranje na konceptualna pitanja s ponuđenim odgovorima
- 3) kooperativno rješavanje zadataka u malim skupinama
- 4) interaktivno frontalno izvođenje demonstracijskih pokusa (učenici predviđaju, opisuju, opažaju, zaključuju) ili učeničko izvođenje pokusa u malim skupinama
- 5) korištenje interaktivnih nastavnih softvera uz diskusiju

Pritom svaka interakcija mora biti dobro pripremljena i osmišljena od strane nastavnika kako bi se postigla željena učinkovitost navedenih metoda. Primjenom ovih metoda moguće je također kod učenika izgraditi kvalitetnije stavove prema učenju.

### 3.4 Učeničke konceptualne poteškoće

Za nastavnike je vrlo važno poznavati sam mentalni proces učenja, odnosno, način na koji učimo, kako bi u bilo kojem trenutku toga procesa kod učenika mogli pravovremeno reagirati. Švicarski psiholog Jean Piaget učenje je opisao konstruktivističkim modelom, koji kaže da ljudi svoje znanje konstruiraju od novih informacija i prethodnih znanja. Dakle, važno je imati na umu kako učenički umovi nisu “tabula rasa“, već se njihovo učenje temelji na dogradnji znanja koje već posjeduju. Kod učenika već postoji niz pojednostavljenih načina zaključivanja i pojednostavljenih objašnjenja fizičkih pojava koja su najčešće nastale na temelju vlastitih iskustava. Te je ideje potrebno identificirati i osvijestiti prije učenja novih sadržaja, jer su one temelj na kojima će se graditi novo znanje i filter kroz koji će prolaziti nove informacije.

Učeničke ideje često su u sukobu s fizikalnim idejama, te kao takve predstavljaju zapreku usvajanju fizikalnih ideja. [1] Prema Piagetu, kad naiđu na nove ideje ili koncepte, učenici će iste asimilirati, akomodirati ili odbaciti. Asimilirat će novu ideju ako je u skladu s postojećim idejama, a akomodirati je ako je s postojećim idejama u sukobu, odnosno restrukturirat će svoj postojeći sklop ideja i integrirati novu ideju. Također, ako je u sukobu s postojećim idejama moguće je da učenici nove ideje u potpunosti odbace. U oba slučaja postoji mogućnost da učenici u procesu učenja stvore miskoncepcije, odnosno hibridne ideje koje nisu u skladu sa znanstvenim spoznajama. Tako nastale miskoncepcije, ali i neispravne pretkoncepcije, ako postoje, potrebno je zamijeniti fizikalno ispravnim idejama, što se može postići konceptualnom promjenom kroz proces aktivnog učenja. U tu svrhu nastavnik se može poslužiti raznim tehnikama induciranja konceptualne promjene, od kojih su najpoznatije: metoda kognitivnog konflikta, metoda zamjene koncepata, metoda analogije i metoda sokratskog dijaloga.



## 4 Poučavanje o polarizaciji svjetlosti i učeničke poteškoće vezane uz nju

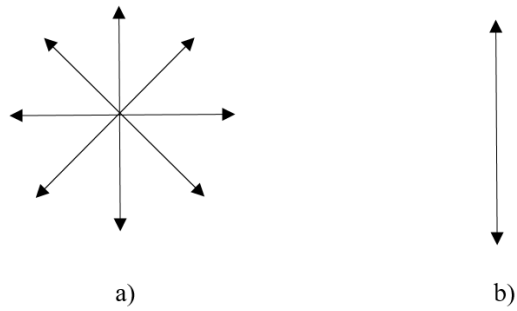
### 4.1 Polarizacija svjetlosti u kurikulumu i nastavnoj praksi

Kurikulum Fizike [4] polarizaciju svjetlosti smješta u četvrti razred srednje škole u sklopu cjeline Valna optika, gdje redom dolaze sljedeće nastavne jedinice: interferencija svjetlosti, ogib svjetlosti i polarizacija svjetlosti. Interferencija i ogib demonstriraju valna svojstva svjetlosti, dok polarizacija svjetlosti služi kako bismo pokazali da je svjetlost transverzalni val.

Kurikulum Fizike [4] navodi sljedeće ishode vezane uz nastavnu jedinicu polarizacije svjetlosti:

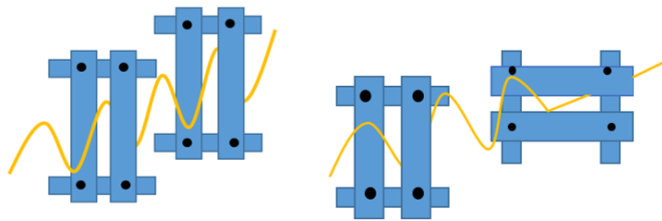
- FIZ SŠ C.4.1.
- FIZ SŠ D.4.1. Analizira valnu prirodu svjetlosti.
  - Opisuje polarizaciju svjetlosti.
  - Opisuje pojavu polarizacije i primjene u tehnologiji.
- FIZ SŠ C.4.2.
- FIZ SŠ D.4.2. Objašnjava nastanak, svojstva i primjene elektromagnetskih valova.
  - Analizira elektromagnetske valove.
- FIZ SŠ ABCD 4.10. Istražuje fizičke pojave.
  - Istražuje prirodne pojave.
  - Istražuje pojavu izvedeći učenički pokus.
  - Istražuje pojavu s pomoću demonstracijskog pokusa.
  - Istražuje pojavu s pomoću računalne simulacije.

U većini naših srednjoškolskih udžbenika [9], [10] ponuđeni su slični pristupi polarizaciji svjetlosti. Polarizirana svjetlost shematski je predstavljena dvostrukom strelicom (Slika 4.1.b), a nepolarizirana „zvjezdicom“ takvih strelica (Slika 4.1.a) Strelice predstavljaju smjer titranja električnog polja u elektromagnetskim valovima.



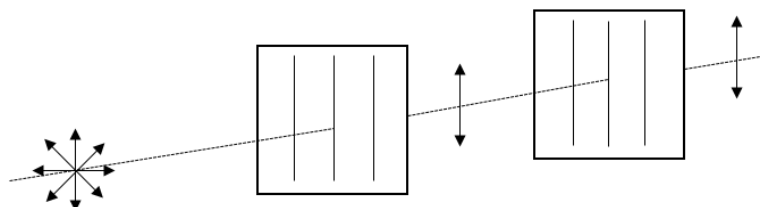
Slika 4.1: Shematska reprezentacija nepolarizirane svjetlosti (a) i polarizirane svjetlosti (b).

Također, većina udžbenika spominje analogiju titranja elektromagnetskog vala s transverzalnim oscilacijama užeta koje prolazi kroz dvije ograde (Slika 4.2). Ako uže titra u smjeru paralelnom dužem prorezu ograde i ograde su paralelne, titranje će se nastaviti i nakon prolaska kroz drugu ogradu, a ako titra u okomitom smjeru, a druga oграда je postavljena horizontalno, titranje se neće nastaviti nakon što prođe kroz takvu ogradu.



Slika 4.2: Analogija polarizacije svjetlosti s valovima na užetu koji prolaze kroz dvije ograde.

Zatim se promatra pokus s dvama polarizatorima, čiji se međusobni položaj mijenja, te se time uvodi linearna polarizacija svjetlosti (Slika 4.3). Nepolarizirana svjetlost prolazi kroz prvi polarizator i postaje linearno polarizirana. Ovisno o relativnoj orijentaciji drugog polarizatora, polarizirana svjetlost prolazi kroz njega u potpunosti, djelomično ili ne prolazi. Polarizacijske osi polarizatora uglavnom su predstavljene linijama duž polarizatora, što često kod učenika stvara dojam da se radi o prorezima.



Slika 4.3: Shematski prikaz pokusa s dva polarizatora.

Nakon toga, spominje se i polarizacija svjetlosti refleksijom i lomom svjetlosti na prozirnem mediju, čime se uvodi Brewsterov zakon. Na kraju lekcije, spominju se i polarizirajuće naočale te je ukratko objašnjeno njihovo funkcioniranje.

## **4.2 Učeničke poteškoće vezane uz polarizaciju svjetlosti**

Mnoga istraživanja pokazala su kako učenici vrlo često imaju problema u shvaćanju apstraktnih pojmova poput električnog i magnetskog polja ili elektromagnetskog vala, kao i valne optike općenito. U ovom ćemo se radu osvrnuti samo na one učeničke poteškoće u valnoj optici koje su vezane uz polarizaciju svjetlosti.

Iako u literaturi ima fragmentarnih rezultata istraživanja učeničkih i studentskih poteškoća vezanih uz polarizaciju svjetlosti [6], [7], [8] istraživanje koje je provela Grupa za edukacijsku fiziku s PMF-a u Zagrebu (sa suradnicima) u sklopu HRZZ projekta INVESTIGATE IP-01-2018-9085 prvo je iscrpnije istraživanje posvećeno konceptualnom razumijevanju polarizacije svjetlosti kod srednjoškolaca. U nastavku rada prezentirat ću rezultate iz članka [3] do kojih je Grupa došla u svrhu prepoznavanja učeničkih poteškoća o polarizaciji svjetlosti, sve s ciljem kako bih oblikovala nastavnu sekvencu koja bi spriječila nastanak tih poteškoća.

Najprije spomenimo najvažnije koncepte o svjetlosti koje su učenici srednje škole trebali usvojiti kako bi mogli u potpunosti razumjeti polarizaciju svjetlosti, a prema [3] to su:

- 1) Svjetlost se može modelirati kao elektromagnetski val.
- 2) Električno i magnetsko polje u elektromagnetskom valu su povezani, međusobno okomiti i stalno titraju.
- 3) Elektromagnetski val širi se u smjeru okomitom na smjer titranja električnog i magnetskog polja.
- 4) Nepolarizirana svjetlost sastoji se od velikog broja elektromagnetskih valova, čija električna polja titraju u različitim smjerovima, ali u ravnini okomitoj na smjer širenja.
- 5) Prolaskom nepolarizirane svjetlosti kroz linearni polarizator nastaje linearno polarizirana svjetlost.
- 6) Linearno polarizirana svjetlost sastoji se od elektromagnetskih valova čija električna polja titraju u samo jednom smjeru.
- 7) Linearni polarizator ima samo jednu os polarizacije.

- 8) Ako električno polje elektromagnetskog vala titra u smjeru paralelnom s osi polarizatora, elektromagnetski val će proći kroz polarizator (proći će i električno i magnetsko polje).
- 9) Ako električno polje elektromagnetskog vala titra u smjeru okomitom na os polarizatora, elektromagnetski val neće proći kroz polarizator ( niti električno, niti magnetsko polje).

#### 4.2.1 Metodologija istraživanja

U istraživanju je sudjelovalo 27 učenika, od toga 13 učenica i 14 učenika. Svi su bili maturanti i u vrijeme ispitivanja već su završili gradivo valne optike u trajanju od otprilike 10 nastavnih sati. Učenici dolaze iz 6 različitih škola, devetero njih ocijenjeno je prethodne godine ocjenom dobar, desetero njih ocjenom vrlo dobar, a osmero njih ocjenom odličan iz fizike. Svaki ispitanik označen je u članku [3] kodom, koji se sastoji od slova S, broja 1-27 i oznake za ocjenu (E za odličan, VG za vrlo dobar, G za dobar). Svi su intervjui održani na Fizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Ispitivanje je uključivalo pitanja o interferenciji, ogibu i polarizaciji svjetlosti a za potrebe članka izdvojeno je samo ono što je vezano uz polarizaciju. Istraživanje je trebalo odgovoriti na pitanja: Koje strategije zaključivanja i koje kognitivne resurse koriste učenici srednje škole da bi objasnili polarizaciju svjetlosti? Koje se poteškoće javljaju u tom procesu? [3]

Tijekom razgovora učenicima su postavljena dva glavna pitanja vezana uz polarizaciju svjetlosti i jedan eksperimentalni zadatak. I dodatno, kako bi se dobilo bolji uvid u njihovo razumijevanje, traženo je od njih da objasne kakve modele imaju o svjetlosti. Tijekom razgovora, učenicima su postavljena i brojna potpitanja kako bi se pojasnili njihovi odgovori.

**1. pitanje:** Zašto se polarizirajuće sunčane naočale preporučuju vozačima? Zašto su one bolje od običnih sunčanih naočala? (Studentima su pokazane dvije slike automobila na cesti, jedna snimljena sa, a druga bez polarizacijskog filtra)

**Eksperimentalni zadatak** (učenicima su dana 3 naizgled jednaka slajda koja su sadržavala plastičnu foliju): Pred vama su 3 slajda. Ovaj ovdje je polarizator. Jedan od preostala dva je također polarizator, a drugi nije. Osmislite eksperiment kojim biste odredili koji je slajd polarizator.

**2. pitanje:** Što je polarizacija svjetlosti?

#### **4.2.2 Očekivani odgovori**

U prvom pitanju učenici su trebali znati da obične sunčane naočale smanjuju intenzitet reflektirane svjetlosti, no za razliku od polarizirajućih naočala, ne otklanjaju odsjaj od nekih površina. Polarizirajuće naočale otklanjaju odsjaj, jer ne propuštaju dio djelomično polarizirane reflektirane svjetlosti. Tijekom razgovora učenicima su pokazane i dvije fotografije nadolazećeg automobila. Jedna fotografija bila je snimljena kamerom s polarizirajućim filtrom i sadržavala je jasnu sliku auta, a druga kamerom bez polarizirajućeg filtera na kojoj je auto bio jedva vidljiv zbog velikog odsjaja. Učenici su trebali odrediti koja je fotografija snimljena pomoću polarizatora svjetlosti.

U eksperimentalnom zadatku učenici su trebali osmisliti i provesti eksperiment na način da prvo upotrijebe poznati polarizator i ispred njega postave jedan od nepoznatih slajdova. Potom bi trebali gledati kroz oba slajda prema izvoru svjetlosti i pritom rotirati jedan slajd. Ukoliko primijete promjenu u intenzitetu svjetlosti prilikom rotacije, trebali bi zaključiti da se radi o polarizatoru, a u suprotnom da se ne radi o polarizatoru.

S obzirom na ono što se uči u srednjoj školi, u drugom pitanju od učenika se očekivao odgovor kako je polarizacija svjetlosti pojava koja ukazuje na to da je svjetlost transverzalni val te da se ona manifestira kao uklanjanje više smjerova titranja električnog polja nepolarizirane svjetlosti njezinim prolaskom kroz linearni polarizator te tako dobivamo linearno polariziranu svjetlost sa samo jednim smjerom titranja električnog polja. Za potpun odgovor učenici bi trebali komentirati i međusobne odnose smjerova titranja električnog polja elektromagnetskog vala i osi polarizatora, pa će tako upadna svjetlost biti propuštena ako je smjer titranja električnog polja paralelan osi polarizatora, a neće biti propuštena kroz polarizator ako su ti smjerovi međusobno okomiti.

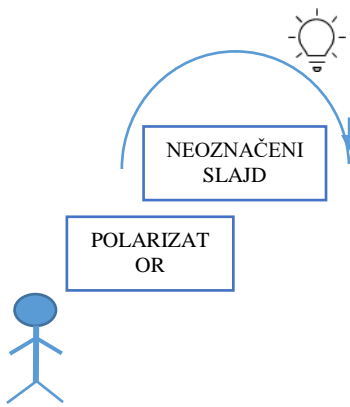
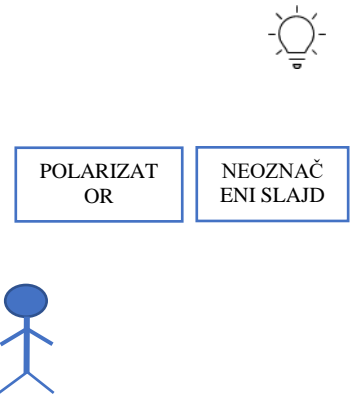
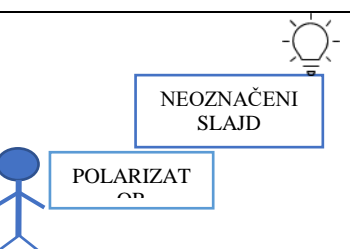
#### **4.2.3 Analiza i rezultati ispitivanja**

Analizom obavljenih razgovora napravljena je kategorizacija učeničkih poteškoća i učeničkih strategija zaključivanja koje su bile prepoznate tijekom ispitivanja. Identificirane su tri kategorije koje opisuju učeničke strategije rješavanja eksperimentalnog zadatka, sedam kategorija učeničkih poteškoća o polarizaciji svjetlosti i tri kategorije učeničkih modela primijenjenih na svjetlost.

### 4.2.3.1 Strategije rješavanja eksperimentalnog zadatka

Učeničke strategije rješavanja primijenjene na eksperimentalni zadatak koji je pred njih bio postavljen svrstane su u 3 kategorije s oznakama E1, E2 i E3, a prikazane su u Tablica 4.1.

Tablica 4.1: Strategije i shematske reprezentacije strategija rješavanja eksperimentalnog zadatka prema [3].

Strategija	Reprezentacija strategije	Broj učenika i distribucija ocjena	
E1. Gledanje kroz oba slajda u isto vrijeme i rotiranje jednog		9/27	
		dobar	1
		vrlo dobar	3
		odličan	5
E2. Gledanje prema izvoru svjetla kroz svaki slajd zasebno i usporedba promatranja		16/27	
		dobar	8
		vrlo dobar	6
		odličan	2
		2/27	
		dobar	0

E3. Gledanje kroz oba slajda u isto vrijeme, ali bez rotacije		vrlo dobar	1
		odličan	1

**E1:**

Možemo vidjeti kako je 9 učenika, od kojih petero odlikaša, primijenilo ispravnu strategiju, tj. gledali su istovremeno prema izvoru svjetlosti kroz oba slajda i rotirali jednoga od njih. Ako se intenzitet svjetla mijenjao tijekom rotacije, zaključili su da je drugi slajd također polarizator. U protivnom, ako nije bilo promjene intenziteta svjetlosti, zamijenili su neoznačeni slajd drugim i zaključili koji je od njih polarizator.

**E2:**

Više od polovice učenika, njih 16 od 29, primijenilo je strategiju u kojoj su gledali najprije kroz označeni polarizator prema izvoru svjetlosti, a onda kroz neoznačeni slajd, bez rotiranja te su potom uspoređivali opažanja. Većina njih, ono što je vidjela kroz polarizator, opisala je kao *čisto* i *jasno*. Izdvojeno je kako se je jedan učenik prisjetio pokusa sa sata gdje su koristili dvoje polarizirajuće naočale i rotirali jedne od njih, no svejedno je koristio poviše opisanu strategiju E2.

**E3:**

Dvoje učenika primijenilo je strategiju E3 u kojoj su dobro kombinirali slajdove, odnosno gledali kroz oba istovremeno prema izvoru svjetlosti, jednom s jednim pa onda s drugim neoznačenim slajdom i tražili razlike, no nedostajao je dio s rotacijom pa nisu mogli ustanoviti koji je od njih također polarizator.

#### 4.2.3.2 Strategije zaključivanja i poteškoće o polarizaciji svjetlosti

Učeničke strategije zaključivanja i otkrivene poteškoće u intervjuima svrstane su u 7 kategorija, s oznakama P1, P2, P3, P4, P5, P6 i P7, a prikazane u Tablica 4.2.

Tablica 4.2: Kategorije učeničkih strategija zaključivanja i poteškoća u vezi polarizacije svjetla prema [3].

OZNAKA	Naziv kategorije	Broj učenika i distribucija ocjena		Frekvencija kategorije
P1	Miješanje smjera titranja električnog polja i smjera širenja svjetlosti	8/27		14
		dobar	2	
		vrlo dobar	4	
		odličan	2	
P2	Polarizirana svjetlost titra u jednom smjeru	5/27		8
		dobar	1	
		vrlo dobar	2	
		odličan	2	
P3	U polariziranoj svjetlosti električno polje titra u samo jednom smjeru	1/27		2
		dobar	0	
		vrlo dobar	0	
		odličan	1	
P4	Polarizacija je slabljenje svjetlosti	7/27		8
		dobar	2	
		vrlo dobar	3	
		odličan	2	
P5	Upotreba geometrijske optike	10/27		18
		dobar	4	
		vrlo dobar	3	

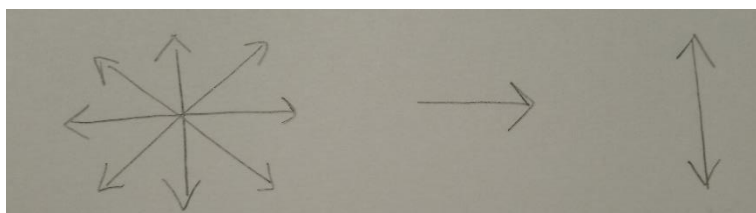


	u kontekstu polarizacije	odličan	3	
P6	Polarizator kao pukotina ili rešetka	4/27		6
		dobar	1	
		vrlo dobar	2	
		odličan	1	
P7	Različiti opisi polarizacije i funkcioniranja polarizatora	8/27		11
		dobar	4	
		vrlo dobar	1	
		odličan	3	

Frekvencija kategorije jest broj učeničkih objašnjenja koja pripadaju pojedinoj kategoriji. Poneki odgovor može spadati u više kategorija, također neki su učenici koristili istu kategoriju više puta tijekom ispitivanja.

### **P1: Miješanje smjera titranja električnog polja i smjera širenja svjetlosti.**

Kategoriji  $P_1$  pripada osmero učenika koji su polarizaciju svjetlosti povezali sa smjerom širenja svjetlosti. Objasnili su kako se nepolarizirana svjetlost širi u svim smjerovima, a polarizirana se svjetlost širi samo u jednom smjeru. Titranje električnog i magnetskog polja elektromagnetskog vala nisu spominjali. Uz odgovor jedan je učenik nacrtao crtež (Slika 4.4) na kojem lijevi crtež predstavlja nepolariziranu svjetlost, a desni polariziranu, uz objašnjenje kako strelice predstavljaju smjer širenja svjetlosti, pa tako, prema njemu, prolaskom svjetlosti kroz polarizator preostaje samo jedan smjer širenja svjetlosti, a ako se potom doda još jedan polarizator, ne preostaje nijedna zraka. Još je jedna učenica nacrtala vrlo slični prikaz, ali je nepolarizirana svjetlost bila predstavljena zrakama koje u svim smjerovima izlaze iz točkastog izvora svjetlosti, a prolaskom kroz polarizator ostaje samo jedna zraka.



Slika 4.4: Shematska reprezentacija nepolarizirane i polarizirane svjetlosti nacrtana prema crtežu učenika.

### **P2: Polarizirana svjetlost titra u jednom smjeru.**

Petero učenika svrstano je u kategoriju P2; njihovo objašnjenje polarizacije svjetlosti obuhvatilo je poimanje svjetlosti kao vala, no, pritom nisu spominjali porijeklo tog vala, odnosno da se radi o elektromagnetskom valu. Objasnili su kako nepolarizirana svjetlost titra u svim smjerovima, a polarizirana u samo jednom smjeru. Prema jednom studentu „valovi svjetlosti titraju u svim smjerovima, polarizacijom smanjujemo titranje na jedan, dva ili koliko već želimo smjerova.“ Još jedna učenica nacrtala je crtež vrlo sličan Slika 4.4 no njoj su strelice predstavljale smjer titranja svjetlosti, a prijašnjoj smjer širenja svjetlosti.

### **P3: U polariziranoj svjetlosti električno polje titra u samo jednom smjeru.**

Jedinoj kategoriji (P3) koja predstavlja točno poimanje polarizacije svjetlosti pripada objašnjenje samo jednog učenika, koji je točno diskutirao o titranju električnog polja, no magnetsko polje pritom nije spominjao. Točno je zaključio kako je razlika između polarizirajućih i običnih sunčanih naočala ta što polarizacijske blokiraju djelomično polariziranu svjetlost. Objasnio je kako polarizacija svjetlosti znači da „električno polje u elektromagnetskom valu titra u jednom smjeru.“ Isto je potkrijepio i crtežom sličnim Slika 4.4 gdje su za njega strelice predstavljale smjer titranja električnog polja“.

### **P4: Polarizacija je slabljenje svjetlosti.**

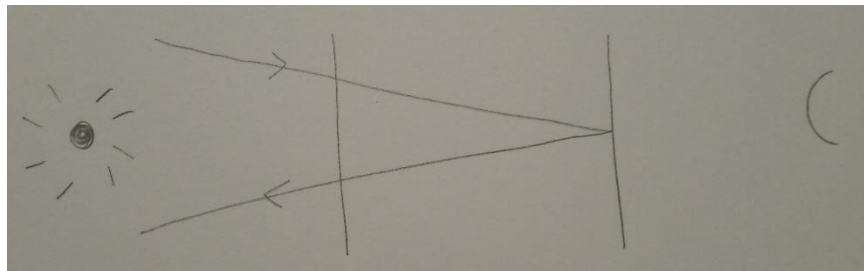
Učenici čiji su odgovori svrstani u ovu kategoriju, slabljenje intenziteta svjetlosti uočili su kao glavnu karakteristiku polarizacije svjetlosti. No, problem je što sedmero njih polarizaciju opisuje samo kao proces slabljenja intenziteta svjetlosti, bez da za to znaju dati objašnjenje. Ta su mišljenja iskazali i prilikom rješavanja eksperimentalnog zadatka gdje su se fokusirali na promatranje intenziteta propuštene svjetlosti, jer je npr., prema jednoj učenici, polarizacija svjetlosti fenomen u kojem se intenzitet svjetlosti smanjuje pomoću polarizatora. Izjava zapravo i nije netočna, no ne sadrži bit polarizacije. Jedan je pak učenik

polarizator shvatio kao leću koja oslabljuje intenzitet svjetlosti prilikom prolaska kroz nju, a jedan je proces slabljenja intenziteta pripisao tome da polarizator upija na neki način svjetlost koja prolazi kroz nju, no ne razumije zašto se to događa samo pri određenoj rotaciji.

#### **P5: Upotreba geometrijske optike u kontekstu polarizacije.**

Desetero učenika pokušalo je polarizaciju svjetlosti objasniti koristeći se pojavama geometrijske optike, poput refleksije i loma svjetlosti. Najčešće su zaključili kako se je svjetlost reflektirala ili lomila na polarizatoru budući da nije prošla kroz njega.

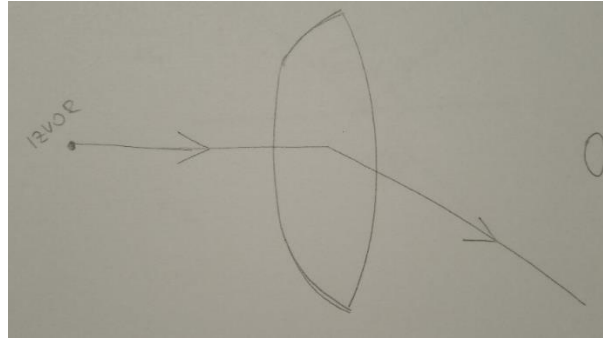
Jedna je učenica, na pitanje zašto ne vidimo kroz dva polarizatora kada su u određenom međusobnom položaju, odgovorila kako „svjetlost putuje do zadnjeg polarizatora i tada se od njega reflektira.“ Uz to je nacrtala i sljedeću sliku, Slika 4.5.



Slika 4.5: Vizualna reprezentacija polarizacije svjetlosti kao odbijanja svjetlosti od drugog polarizatora, nacrtana prema crtežu učenice.

Prema njoj, vertikalne linije na slici predstavljaju dva polarizatora, na lijevoj strani nalazi se izvor svjetlosti iz kojeg izlazi zraka svjetlosti, predstavljena ravnom linijom i sa strelicom u smjeru širenja, zakrivljena linija na desnoj strani predstavlja oko. Dakle, zraka svjetlosti prolazi kroz prvi polarizator, odbija se od drugog i tako ništa ne dolazi do opažačevog oka.

Jedan je učenik crtežom pokušao objasniti na kojem principu rade polarizirajuće sunčane naočale, Slika 4.6.



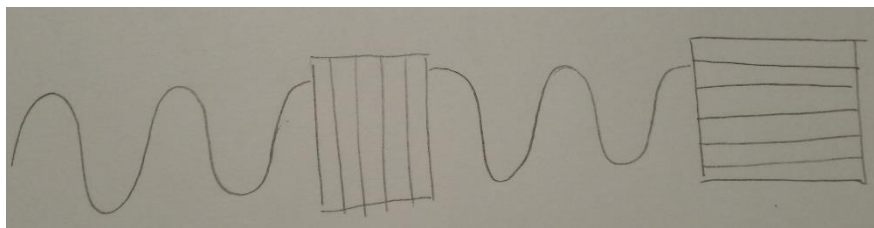
Slika 4.6: Polarizacija svjetlosti kao lom svjetlosti na polarizirajućim sunčanim naočalama, nacrtano prema crtežu učenika.

Svjetlost predstavljena zrakom dolazi iz točkastog izvora svjetlosti s lijeve strane, dolazi do naočala u sredini na kojima se lomi i tada ta zraka ne dolazi do ljudskog oka nacrtanog kao krug na desnoj strani crteža. Zbog toga su, prema učeniku, polarizirajuće sunčane naočale bolje od običnih.

Još jedna učenica zaključila je kako takve naočale na neki način zakreću zrake svjetlosti što sprječava da one dolaze direktno u oko.

#### **P6: Polarizator kao prorez (pukotina) ili rešetka.**

Desetero učenika smatra da polarizatori imaju proreze i da međusobna orijentacija proreza na polarizatorima i upadnih svjetlosnih valova određuje koji će valovi proći kroz polarizator. U ovom slučaju, kako bi objasnio razliku između običnih i polarizirajućih sunčanih naočala, jedan je učenik nacrtao sljedeću sliku, Slika 4.7.



Slika 4.7: Polarizacija svjetlosti kao prolazak ili nemogućnost prolaska transverznog vala kroz rešetku, nacrtano prema crtežu učenika.

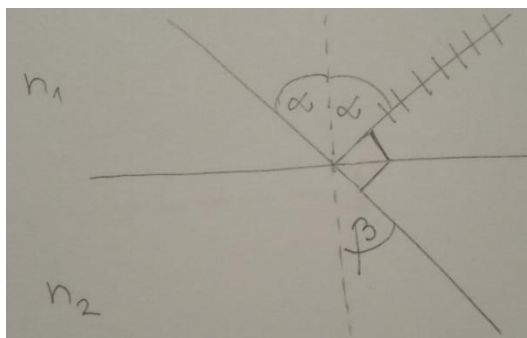
Prema njemu, polarizirajuće sunčane naočale sadrže rešetku kroz koju val može proći ako je rešetka postavljena kao na prvom dijelu slike (pukotine su paralelne sa smjerom titranja vala), ili pod nekim kutom, a ne može ako je rešetka postavljena kao na drugom dijelu slike (okomito u odnosu na prvu rešetku). Još je jedan učenik vrlo slično nacrtao polarizator i smatrao paralelne linije rešetkom.

## P7: Različiti opisi polarizacije i funkcioniranja polarizatora

U ovoj su kategoriji iznesena još 4 uočena shvaćanja polarizacije i funkcioniranja polarizatora te polarizirajućih sunčanih naočala.

### P7.1 Djelomično točno razumijevanje polarizacije refleksijom.

Kako je već rečeno, uz pitanje o razlici u polarizirajućim i običnim sunčanim naočalima, učenicima su pokazane dvije fotografije i svi su točno odredili na kojoj je fotografiji korišten polarizator, no samo je dvoje učenika ponudilo točno ili djelomično točno objašnjenje za to, a jedan od njih prepoznao je vezu s Brewsterovim zakonom. Rekao je kako je svjetlost reflektirana od ceste polarizirana i to pod određenim kutom u smjeru u kojem se je reflektirala od horizontalne ceste. Još se jedna učenica prilikom diskusije o fotografijama pozvala na Brewsterov zakon te ga shematski prikazala što je prikazano na sljedećoj slici (Slika 4.8).



Slika 4.8: Shematski prikaz Brewsterovog zakona, nacrtano prema crtežu učenice.

Pomoću ovog crteža pokušala je objasniti zašto na odabranoj fotografiji nema odsjaja, pa je došla do zaključka kako je svjetlost reflektirana od ceste potpuno polarizirana, što nije sasvim točno jer je ona djelomično polarizirana, no učenica je bila na dobrom tragu.

### P7.2 Polarizirajuće naočale blokiraju i/ili filtriraju svjetlost.

Četvero učenika iznijelo je ideje o tome da polarizirajuće naočale i polarizatori blokiraju ili filtriraju svjetlost. Pa tako, prema jednome od njih, takve naočale ne propuštaju

neke dijelove svjetlosti, poput UV svjetlosti, a prema drugome, obične sunčane naočale nisu dovoljno dobre, jer ne filtriraju sunčeve zrake. Također, na pitanje o tome što je polarizacija, drugi je odgovorio kako je polarizacija razdvajanje svjetlosti na različite valove.

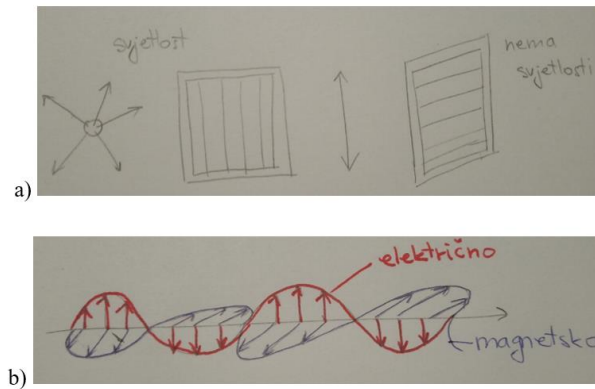
### **P7.3 Polarizacija omogućuje različitu distribuciju svjetlosti na različitim materijalima.**

Izdvojeno je jedno zanimljivo objašnjenje polarizacije svjetlosti kao procesa jednoličnije raspodjele svjetla na polarizatoru. Prilikom gledanja kroz polarizator i nepolarizator zaključio je kako je promatrana slika jasnija kad se gleda kroz polarizator pa bi razlog tome mogao biti taj da polarizator na neki način dopušta svjetlosti da se jednoličnije raspodjeli po njemu. Na posljetku je zaključio kako je polarizacija svjetlosti pojava koja omogućuje upadnoj svjetlosti različitu raspodjelu na različitim materijalima kako bi slika bila jasnija; na prozirnim polarizirajućim materijalima ravnomjernu raspodjelu po materijalu što smanjuje promatrani intenzitet, a na nepolarizirajućim materijalima upadna svjetlost bit će koncentrirana u jednoj točki što daje veliki intenzitet.

### **P7.4. Ostalo.**

Ovdje su izdvojena razmišljanja još dvoje učenika. Za jednog učenika, polarizacija svjetlosti svojstvo je nekih materijala, poput stakla i kristala, na kojima „...jedna svjetlost se reflektira, a druga tone...zajedno zatvaraju kut od  $90^\circ$ .“ Pritom je učenik očito nekako povezo polarizaciju s izvodom Brewsterovog zakona i pokušao opisati sliku kojom se često u udžbenicima uvodi Brewsterov zakon, slična Slika 4.8.

Druga je učenica, koja je pomiješala više različitih koncepata i dijelova znanja tijekom intervjua, kako bi objasnila polarizaciju svjetlosti, svoje rješenje eksperimentalnog zadatka koji joj je bio postavljen prikazala je crtežom, Slika 4.9.a).



Slika 4.9: a) Crtež eksperimenta s dva polarizatora, nacrtano prema crtežu učenice. b) Crtež svjetlosti kao EM val, nacrtano prema crtežu učenice.

Drugi je slajd predstavljao za nju prepreku na koju je svjetlost nailazila i nije prošla, a polarizator se sastojao od pukotina. Svjetlost je predstavila zrakama koje izlaze iz izvora svjetlosti (lijevo na crtežu), prolaze kroz polarizator, nakon čega je polariziranu svjetlost predstavila dvostrukom uspravnom strelicom, paralelnom s pukotinama na polarizatoru.

Kasnije je, prilikom rasprave o modelu svjetlosti, odgovorila kako je svjetlost transverzalni elektromagnetski val, gdje transverzalni znači „da se širi kao sinusoida, a elektromagnetski znači da se sastoji od električnog i magnetskog polja, koji su okomiti.“ To je predstavila drugim crtežom, Slika 4.9.b). Na pitanje kako su elektromagnetski valovi povezani s polarizacijom, odgovorila je da kad oba polja dođu do polarizatora električno polje prolazi kroz njega, a magnetsko ne prolazi.

#### 4.2.3.3 Učeničke poteškoće u vezi s modelom svjetlosti

Tijekom ispitivanja kod učenika su prepoznati različiti modeli svjetlosti, što je zatim svrstano u 3 kategorije (L1, L2 i L3) predstavljene u sljedećoj tablici, Tablica 4.3. Neki su studenti istu kategoriju koristili više puta tijekom davanja svojih odgovora, a neki se pak odgovori mogu svrstati u više kategorija.

Tablica 4.3: Kategorije poteškoća u vezi s modelom svjetlosti prema [3].

OZNAKA	Naziv kategorije	Broj studenata i distribucija ocjena		Frekvencija kategorija
L1	Hibridni model svjetlosti	6/27		13
		dobar	1	
		vrlo dobar	2	
		odličan	3	
L2	Svjetlost kao val	3/27		4
		dobar	1	
		vrlo dobar	1	
		odličan	1	
L3	Fragmenti činjeničnog znanja o svjetlosti, bez modela	9/27		13
		dobar	4	
		vrlo dobar	5	
		odličan	0	

### L1: Hibridni model svjetlosti

Ova kategorija podijeljena je na dvije potkategorije: Miješanje valnog i čestičnog modela svjetlosti te nerazumijevanje modela svjetlosti kao vala i modela svjetlosnih zraka iz geometrijske optike.

#### Miješanje valnog i čestičnog modela svjetlosti

Učenici svrstani u ovu kategoriju imali su problema s time koji model svjetlosti primijeniti kako bi objasnili što je to svjetlost, odnosno nisu pokazali razumijevanje granica jednog i drugog modela, već su oba modela istovremeno kombinirali u svojim objašnjenjima. Jedan je učenik pobrkao intenzitet i valnu duljinu, odnosno frekvenciju, zračenja pa je tako njegovo objašnjenje svjetlosti da je to „elektromagnetsko zračenje koje nema visok intenzitet da bi prouzročilo neku štetu.“ Također, prema njemu, svjetlost se sastoji od ogromnog broja malih čestica koje se kreću brzinom svjetlosti.“



Drugi učenik izjavio je kako je svjetlost „ elektromagnetski val u kojem osciliraju fotoni; taj se val može širiti i u vakuumu, a fotoni dolaze s površine Sunca.“

Svoju poteškoću da modelira svjetlost izrazila je i jedna učenica, rekavši da „svjetlost može biti kao val, a može biti i kao nešto drugo, prilikom čega si zamišlja male kružice koji se kreću gore-dolje iako misli da se to u stvarnosti ne događa baš tako.“ Prilikom objašnjavanja polarizacije, rekla je da čestice svjetlosti titraju u svim smjerovima, a kad se polariziraju onda idu samo u jednom smjeru.

### **Miješanje modela svjetlosti kao vala i modela zraka svjetlosti**

Učenica koja je svrstana u ovu kategoriju, rekla je kako je naučila da je svjetlost val, jer se ponaša kao i ostali valovi, i to transverzalni val, no kad je pokušala povezati sve što zna o svjetlosti, rekla je da su na neki način zrake svjetlosti valovi. Prisjetila se kako su tijekom učenja o interferenciji na svjetlost gledali kao na valove, a na kraju su ipak radili s paralelnim zrakama svjetlosti.

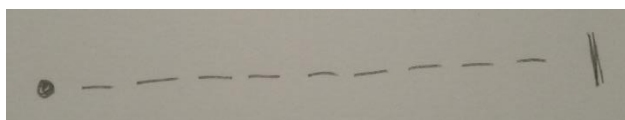
### **L2: Svjetlost kao val**

Troje učenika na svjetlost je gledalo samo kao na val. Jedna je učenica svjetlost zamislila kao val, sličan zvučnom valu, čiju valnu duljinu možemo mijenjati pa tako dobiti jače i slabije valove. Zaključujemo da je učenica možda pomiješala fizičke veličine poput valne duljine i intenziteta. Druga je učenica svjetlost nacrtala kao valovitu liniju te spomenula da se radi o transverzalnemu valu i da razlikujemo monokromatsku i polikromatsku svjetlost.

### **L3: Fragmenti činjeničnog znanja o svjetlosti, bez modela**

Devetero učenika iznijelo je samo neke činjenice koje su zapamtili na satu, neke točne, neke netočne, i nisu koristili nikakve modele kako bi opisali svjetlost. Neki od odgovora objašnjenja svjetlosti bili su:

- „Sunce nam daje svjetlost i zato možemo vidjeti,...,reflektira se od drugih stvari i zato vidimo stvari.“
- „Nešto s čim vidimo sve i ne znam kako to drugačije opisati.“
- „...više boja povezanih u jednu.“
- „...hrpa linearno poslaganih čestica koje emitiraju neku energiju.“ (Slika 4.10)



Slika 4.10: Prikaz svjetlosti prema crtežu jedne učenice, isprekidana linija predstavlja čestice svjetlosti, a crna točka je izvor svjetlosti.

#### 4.2.4 Analiza rezultata (zaključak istraživanja)

Kroz istraživanje primijećeno je kako učenici često nemaju izgrađen čvrsti mentalni model o polarizaciji pa su tako tijekom ispitivanja često pribjegavali aktivaciji svojih dostupnih kognitivnih resursa (fragmenata prethodnih znanja i osnovnih elemenata zaključivanja) kako bi složili objašnjenje u danom trenutku, ali najčešće ti aktivirani resursi nisu bili adekvatni. Čini se da su se najprije sjetili shematskih reprezentacija viđenih u udžbenicima i na nastavi, a zatim su pokušali izgraditi objašnjenje na temelju njih, uz još neke fragmente činjeničnog znanje i često u vrlo pojednostavljenom obliku.

Uočeno je kako nemogućnost objašnjenja polarizacije svjetlosti često bude uzrokovana time što učenici ne posjeduju ni razumijevanje modela svjetlosti. Općenito, ne razumiju ulogu modela i analogija te njihova ograničenja primjene u fizici. Također, uočeno je kako shematske reprezentacije imaju veliki utjecaj na učenike, no često se te reprezentacije pogrešno tumače, jer predstavljaju neke koncepte, poput nepolarizirane svjetlosti, koje je teško adekvatno prikazati crtežom. Iz tog se razloga preporuča korištenje dinamičnijih alata i simulacija u takvim situacijama, koji bi uz današnju tehnologiju trebali biti lako dostupni. Svakako, najbitnije je prilikom uvođenja novih reprezentacija i modela biti vrlo oprezan te osigurati da ih učenici pravilno tumače, jer kao što smo mogli vidjeti, učenici su koristili tipične shematske prikaze iz udžbenika te neke modele, poput reprezentacije polarizirane i nepolarizirane svjetlosti s dvostrukim strelicama i model ograde, no, u velikoj većini slučajeva, sasvim su ih pogrešno tumačili.

Preporuka za uspješnije savladavanje poteškoća otkrivenih u ovoj studiji jest da učenici budu više uključeni u eksperimente, kako bi se bolje upoznali s pojavom polarizacije; da sami osmišljaju i ispituju hipoteze, da su ispitani mnogim konceptualnim pitanjima i da interpretiraju eksperimente. Poticanje na čim više učeničke diskusije o novim konceptima omogućit će nastavnicima bolji uvid u njihovo razumijevanje i pravovremenu intervenciju pri kreiranju mentalnih modela.

## 5 Nastavna sekvenca: Polarizacija svjetlosti

Nastavnoj jedinici Polarizacija svjetlosti posvetila bih dva nastavna sata. Na prvom satu zamišljeno je uvesti pojam polarizacije svjetlosti i demonstrirati tu pojavu koristeći se najprije jednim, a zatim i dvama polarizatorima. Također je cilj objasniti princip rada polarizatora i prepoznati njihovu primjenu u svakodnevnom životu. Tijekom drugog sata učenici bi se upoznali s još jednim načinom polariziranja svjetlosti, pomoću refleksije, te proširili primjenu polarizacije svjetlosti. Učenici će nakon svega riješiti niz konceptualnih zadataka i provjeriti te primijeniti naučeno.

### 5.1 Prvi sat: Polarizacija svjetlosti pomoću polarizacijskih filtara

U uvodnom dijelu prvog sata možemo spomenuti polarizirajuće naočale; upitati učenike jesu li kad čuli za takve naočale, koristili ih možda ili znaju zašto su popularne kod vozača i kod ljubitelja aktivnosti u prirodi. Nakon što učenici ponude svoje odgovore i pokrenu diskusiju, možemo im pokazati jedne takve naočale. Rotiramo ih ispred ekrana računala i promatramo što vidimo kroz njih. Učenici će opaziti da za jedan položaj naočala sliku u ekranu vide puno bolje nego u drugom položaju, gdje je zapravo slika potpuno tamna i ne vide što je na ekranu, odnosno naočale nekad propuste, a nekad blokiraju svjetlost (Slika 5.1).



Slika 5.1: Pogled u ekran računala kroz polarizirajuće naočale za dva različita položaja naočala.

Prikupljamo njihove ideje u vezi ovih dviju fotografija; zašto ne vidimo cijelo vrijeme istu sliku dok gledamo kroz naočale? U ovom trenutku možemo uvesti novi pojam, polarizaciju svjetlosti, i objasniti učenicima kako moramo istražiti ovu pojavu da bismo mogli opisati način na koji funkcioniraju polarizirajuće naočale.

## Opservacijski pokus

Potreban pribor: grafoskop, karton s kružnim otvorom, dva polarizatora

Tijek pokusa: Na radnu površinu grafoskopa stavimo kartonski zaslon s kružnim otvorom u sredini. Pomoću objektiva grafoskopa nađemo na zastoru oštru sliku otvora. Promatramo intenzitet svjetlosti kod slike na zastoru prije stavljanja polarizatora. (Slika 5.2)



Slika 5.2: Početni postav pokusa, bez polarizatora.

Na otvor zaslona položimo jedan od polarizatora.

- Promotrite pažljivo što se događa s intenzitetom svjetlosti slike na zastoru ako stavimo polarizator. Mijenja li se, i ako da, kako? Prolazi li sva svjetlost kroz polarizator?
  - Intenzitet svjetlosti smanjio se u odnosu na prije. Polarizator blokira prolaz jednom dijelu svjetlosti. (Slika 5.3)

Rotirajmo polarizator kao što smo na početku sata rotirali polarizirajuće naočale. Promatrajmo što se pritom događa.

- Mijenja li se intenzitet svjetlosti prilikom zakretanja polarizatora oko optičke osi grafoskopa?
  - Ne, intenzitet ostaje nepromijenjen kako god zakretali polarizator. (Slika 5.3)



Slika 5.3: Polarizator postavljen na kružni otvor (lijevo) i zarotiran (desno).

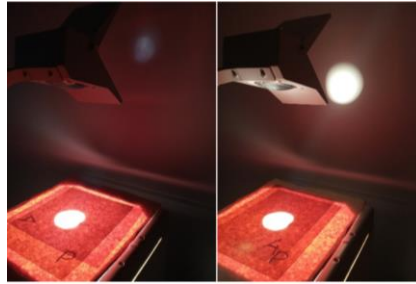
- Što to znači za količinu propuštene svjetlosti?
  - Količina svjetlosti koja je propuštena prilikom zakretanja polarizatora jednaka je kao i u slučaju kad polarizator ne zakrećemo.

Drugi polarizator-analizator stavimo iznad prvog polarizatora. Zakrećimo analizator oko optičke osi grafoskopa, pritom prvi polarizator ne diramo (Slika 5.4)



Slika 5.4: Zakretanje drugog polarizatora.

- Što se događa s intenzitetom slike na zastoru? Kako se intenzitet mijenja?
  - Intenzitet svjetlosti mijenja se ovisno o međusobnom položaju polarizatora. Mijenja se od toga da svjetlost uopće ne prolazi kroz njega (Slika 5.5) do toga da je intenzitet svjetlosti koja prolazi jednak kao i prije stavljanja drugog polarizatora (Slika 5.5).



Slika 5.5: Minimum i maksimum intenziteta svjetlosti.

- U kojem međusobnom položaju dvaju polarizatora primjećujemo minimum intenziteta, a u kojem maksimum?
  - Minimum intenziteta dobivamo kada polarizatore postavimo okomito jedan na drugi, a maksimum intenziteta kada ih postavimo međusobno paralelno.

Pokušajmo zakretati polarizator, a analizator ostavimo u prvobitnom položaju.

- Ima li kakve razlike?
  - Nema, svejedno je koji polarizator zakrećemo, na promjenu intenziteta utječe samo promjena njihovog međusobnog položaja.

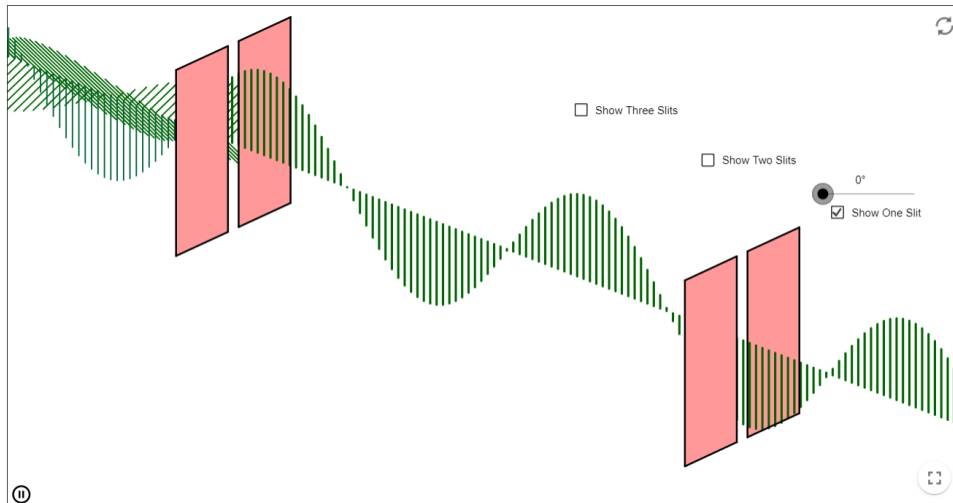
Zaključak uvodnog dijela: Svjetlost koja prođe kroz polarizator ima drugačija svojstva od svjetlosti iz samog grafoskopa. Svjetlost koja prođe kroz polarizator naziva se polariziranom svjetlošću, dok je svjetlost iz grafoskopa nepolarizirana.

**Istraživačko pitanje:** Što se događa s nepolariziranom svjetlošću kada prođe kroz polarizator? Zašto se intenzitet svjetlosti mijenja pri različitim orijentacijama dvaju polarizatora? (prikupljanje učeničkih ideja)

### Istraživački pokus

Potreban pribor: računala ili pametni telefoni

Tijek istraživanja: Učenici svatko za sebe ili u parovima otvaraju GeoGebrin predložak. (Slika 5.6). Predložak prikazuje dva polarizatora kojima je moguće mijenjati međusobni položaj rotiranjem jednog od njih. Nepolarizirana svjetlost predstavljena je titranjem više električnih polja u različitim ravninama, a polarizirana sadrži samo jedan smjer titranja električnog polja.



Slika 5.6: Snimka zaslona GeoGebrinog uratka s dva polarizatora i s mogućnošću rotiranja jednog od njih.

(<https://www.geogebra.org/m/frpw6zpa>)

Učenici se najprije prisjećaju onoga što bi već trebali znati: Što je elektromagnetski val? Od čega se sastoji? Kako titraju električna i magnetska polja, u kojim smjerovima? I jesu li ona međusobno povezana?

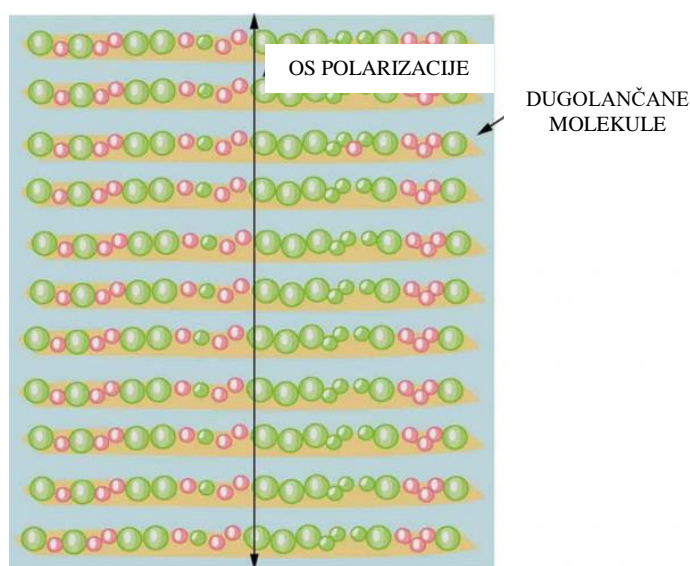
Prisjetit će se kako se takvi valovi sastoje od električnog i magnetskog polja koja titraju u međusobno okomitim ravninama i okomito na smjer širenja vala. Ona su međusobno povezana, bez postojanja jednog ne postoji ni drugo u takvom valu, što oni često nemaju na umu i ne razumiju pa im je na to potrebno skrenuti pozornost.

- Istražite pomoću simulacije, koja prikazuje samo električno polje elektromagnetskog vala, što se događa s valovima pri različitoj orijentaciji dvaju polarizatora.
- Kakvi valovi prolaze kroz prvi polarizator, a kakvi kroz drugi? Prolaze li valovi u potpunosti ili prolaze samo neke njihove komponente? Obratite pozornost na amplitude valova.

Učenici će zakretanjem drugog polarizatora uočiti da za međusobno okomit položaj osi polarizatora polarizirana svjetlost ne prolazi uopće kroz drugi polarizator, za paralelan položaj prolazi, a za sve druge kutove prolaze samo komponente svjetlosti čije električno polje titra duž osi polarizatora. Isto tako kroz prvi polarizator prolaze sve komponente valova nepolarizirane svjetlosti čije je električno polje usmjereno duž osi polarizatora.

Zaključak: Polarizator eliminira dio svjetlosti čije električno polje ne titra duž polarizacijske osi.

Nakon ovog kratkog istraživanja potrebno je diskutirati o građi polarizatora. Važno je spomenuti kako su građeni od lanaca molekula koji su poredani okomito na polarizacijsku os polarizatora. (Slika 5.7). Komponente električnog polja elektromagnetskog vala koje su okomite na te molekule proći će kroz polarizator, a komponente paralelne molekulama bit će apsorbirane. Iako je u simulaciji polarizator prikazan s pukotinom, treba naglasiti da polarizator nema pukotine na sebi, nego ta pukotina predstavlja polarizacijsku os polarizatora.



Slika 5.7 Građa polarizatora. [12]

Zatim je potrebno pokrenuti još jednu raspravu: Zašto nam je dovoljno promatrati samo električno polje elektromagnetskog vala kod polarizacije svjetlosti? Kako ono utječe na elektrone u molekulama?

Tu će učenici uz pomoć nastavnika zaključiti kako električno polje, za razliku od magnetskog, može pokrenuti elektrone u molekulama polarizatora na titranje pri čemu oni apsorbiraju energiju iz elektromagnetskog vala. U dugim molekulama, elektroni će lakše titrati u smjeru duž molekule, nego okomito na smjer protezanja lanca, pa će zato i električno polje svjetlosti u tom smjeru biti apsorbirano. Dakle, prolazi ono električno polje koje titra okomito na smjer pružanja lanaca, a to je zapravo smjer paralelan osi polarizatora na što je bitno obratiti pažnju, jer bi moglo zbunjivati učenike.



- Može li polarizacija postojati za longitudinalne valove?  
Prikupljanje učeničkih ideja.
- Što će se dogoditi s longitudinalnim valom ako prođe kroz polarizator?
  - Neće se dogoditi ništa. Čestice vala titraju u smjeru širenja vala, nedostaje smjer titranja u smjeru protezanja lanaca molekula u polarizatoru.
- Dakle, što možete zaključiti, kakvi se valovi mogu polarizirati i što smo pokazali pokusom?
  - Polarizirati se mogu samo transverzalni valovi. Pokazali smo da je svjetlost transverzalni val.

Možete li sada obrazložiti zašto su polarizirajuće naočale postavljene ispred ekrana računala prilikom rotiranja pokazivale promjenu intenziteta svjetlosti koje dolazi od računala, od minimalne do maksimalne vrijednosti?

- Možemo zaključiti da je ekran monitora izvor polarizirane svjetlosti, a naočale su imale istu ulogu kao i analizator u pokusu s grafoskopom.

### **Konceptualna pitanja**

Učenici dobivaju kartice s oznakama A, B i C te podizanjem kartica nude svoje odgovore na pitanja, prije čega mogu u paru diskutirati o točnom rješenju. Nakon što svi ponude odgovore, slijedi rasprava, izlaganje argumenata i zaključivanje o točnom rješenju.

1. Što se događa s energijom svjetlosti pri prolasku kroz polarizator budući je intenzitet propuštene svjetlosti manji od upadnog?

- a) Dio energije nestaje.
- b) Dio energije odlazi na reflektiranu svjetlost na polarizatoru.
- c) Dio energije su apsorbirale molekule polarizatora.

Točan odgovor je c.

2. Može li se zvučni val polarizirati?

- a) Može, jer se on širi u svim smjerovima.
- b) Ne može, jer je to longitudinalni val.

c) Može, jer je to transverzalni val.

Točan odgovor je b).

3. Što se događa s magnetskim poljem elektromagnetskog vala čije električno polje titra okomito na polarizacijsku os polarizatora?

a) Magnetsko polje prolazi, jer prolazi i električno polje,

b) Magnetsko polje prolazi kroz polarizator (iako električno ne prolazi), jer je paralelno polarizacijskoj osi.

c) Magnetsko polje ne prolazi, jer ne prolazi električno polje.

Točan odgovor je c).

### **Aplikacijski pokus**

Ako ostane vremena može se napraviti sljedeći aplikacijski pokus u istom satu ili na sljedećem.

Zadatak za učenike: Osmislite eksperiment kojim biste uz pomoć jednog polarizatora, odredili koji je još od dva nepoznata slajda polarizator.

Način na koji se to radi opisan je u četvrtom poglavlju.

## **5.2 Drugi sat: Polarizacija svjetlosti refleksijom**

Nakon što su se na prvom satu upoznali s pojavom polarizacije, na drugom satu možemo istražiti još jedan način dobivanja polarizirane svjetlosti.

Sat započinjemo pitanjem: Zašto su za vožnju bolje polarizirajuće sunčane naočale od običnih?

Do sad smo vidjeli da takve naočale mogu i djelomično i u potpunosti blokirati prolaz polariziranoj svjetlosti (ispred ekrana računala), no kakve to veze ima s vožnjom ili boravkom u prirodi? Ponavlja se opservacijski pokus s polarizirajućim naočalama i LCD ekranom.

Prikupljamo učeničke ideje: oni mogu doći da zaključka da i u prirodi imamo nekakve izvore polarizirane svjetlosti. Koji bi to bili izvori? Znaju da Sunce ne emitira polariziranu svjetlost, no isto tako svjetlost koja dolazi od Sunca u prirodi se reflektira od svih predmeta.

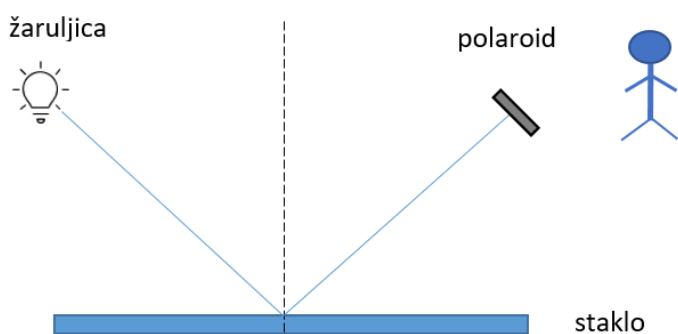
**Istraživačko pitanje:** Je li reflektirana svjetlost polarizirana?

Tražimo od učenika da osmisle pokus kojim bi istražili polariziranost reflektirane svjetlosti.

- Od kojih materijala biste promatrali refleksiju?
- Čime ćete provjeriti je li reflektirana zraka polarizirana i na koji način?

Nakon kratke rasprave, prelazimo na pokus koji osmišljaju učenici uz pomoć nastavnika, a provode ga u manjim grupama.

**Istraživački pokus**



Slika 5.8: Shematski prikaz pokusa.

Učenici osmišljaju pokus: Kako ćete promatrati sliku žaruljice nastalu refleksijom na staklenoj ploči? Što očekujete vidjeti ako je reflektirana zraka polarizirana?

Zaključuju da moraju gledati sliku žaruljice kroz polarizator i rotirati ga, a ukoliko je reflektirana svjetlost polarizirana očekuju opaziti promjenu u intenzitetu slike pri rotaciji. Navode potreban materijal i tijek pokusa.

Potreban pribor: baterijska svjetiljka, polaroid, crna tkanina, staklo, plitka posuda s vodom, metali (komad folije ili nekog drugog metala)

Tijek pokusa:

Pribor postavite kao što je prikazano na Slika 5.8. Izvor svjetlosti (baterijsku svjetiljku s koje je skinut optički uređaj), treba postaviti na neku visinu iznad površine stola. Analizator držite tako da sredina analizatora bude na istoj visini i u istoj ravnini s izvorom. Ispod staklene ploče možete postaviti crnu tkaninu da što bolje vidite reflektiranu svjetlost. Pokus je najbolje izvoditi u zamračenoj prostoriji, ali nije nužno.

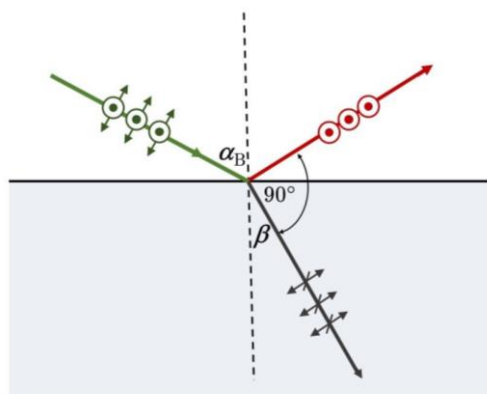
Učenici iznose svoje opažanja i donose zaključak: Nepolarizirana svjetlost se refleksijom od nekih površina (nemetalnih) polarizira.

Ako stignu, učenici mogu tražiti i položaj polarizatora za koji je slika žaruljice potpuno ugašena.

Nakon pokusa, nastavnik može uvesti Brewsterov zakon kroz interaktivni izvod.

Kada nepolarizirana svjetlost upada na ravno transparentno optičko sredstvo, reflektirana svjetlost je djelomično polarizirana. Reflektirana zraka potpuno je polarizirana ako upadni kut ima vrijednost koja se naziva Brewsterov kut,  $\alpha_B$  (Slika 5.9). Taj je kut povezan s indeksima loma dvaju sredstava s pomoću izraza (5.1.)

$$\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.1)$$



Slika 5.9: Prikaz polarizacije svjetlosti refleksijom pri čemu je upadni kut jednak Brewsterovom kutu. [11]

### Interaktivni izvod

- Koliko iznosi kut refleksije?
  - Isto koliko i upadni kut  $\alpha_B$ .

Sa slike vidimo da je zbroj upadnog kuta  $\alpha_B$  i kuta loma  $\beta$  u ovom slučaju jednak  $90^\circ$ .

- Kojim još zakonom možemo povezati upadni kut i kut loma, ako sve te zrake leže u istoj ravnini?
  - Snellovim zakonom loma (5.2.)

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.2)$$

- Izrazite kut  $\beta$  pomoću kuta  $\alpha_B$  i uvrstite u (2.2.) pa sredite izraz do kraja.

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin(90^\circ - \alpha_B)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.3)$$

- Formirajte svoj zaključak, kako bi glasio Brewsterov zakon?

Zaključak: Ako je tangens upadnog kuta nepolarizirane svjetlosti na granici dvaju optičkih sredstava različite gustoće jednak indeksu loma između tih sredstava, reflektirana zraka je potpuno polarizirana.

### Razredna rasprava

Učenici će diskutirati o sljedećim pitanjima, i uz vodstvo nastavnika doći do mogućih odgovora.

- Zašto bi se refleksijom svjetlost mogla polarizirati? U kojem smjeru titra električno polje u tako polariziranoj svjetlosti?
  - Valovi čije je električno polje paralelno s reflektirajućom površinom bit će u većoj mjeri reflektirani nego oni čije je električno polje okomito na tu površinu. Tada je reflektirana svjetlost djelomično polarizirana u smjeru paralelnom reflektirajućoj površini, odnosno, u smjeru okomitom na ravninu u kojoj leže upadna i reflektirana zraka. Ako se radi o Brewsterovom kutu onda je u istom tom smjeru reflektirana svjetlost potpuno polarizirana.
- Što je s lomljenom zrakom, je li i ona polarizirana?

- Lomljena zraka je tada djelomično polarizirana u smjeru okomitom na reflektirajuću površinu, odnosno paralelno ravnini u kojoj leže upadna, reflektirana i lomljena zraka.

Dodatno, u programima fizike koji mogu više nastavnih sati posvetiti ovoj temi, mogu se napraviti mjerenja u provedenom pokusu kojima će se odrediti Brewsterov kut za pojedine materijale, a onda i indeks loma korištenih materijala.

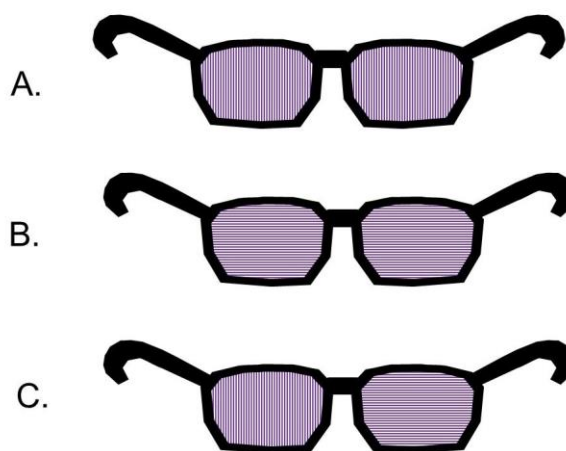
Na kraju sata učenicima možemo postaviti još neka pitanja kroz koja će se upoznati s primjenom polarizirajućih materijala u svakodnevnom životu. Učenici raspravljaju u parovima, a zatim odgovore predstavljaju razredu.

1. Pokažemo im dvije fotografije, npr. mora, jedna snimljena pomoću polarizirajućeg filtera na fotoaparatu, a druga bez.

Zadatak: Odredite koja je fotografija snimljena pomoću polarizirajućeg filtera? Po čemu to zaključujete? Kako treba biti usmjerena os polarizacije filtera?

- Fotografija s manje odbleska. Svjetlost koja se reflektirala na površini vode djelomično je polarizirana u horizontalnom smjeru, zato polarizirajući filter treba imati vertikalnu os polarizacije kako bi uklonio odblesak na fotografiji od reflektirane svjetlosti. Uklanjammo višak svjetlosti kako bi dobili jasniju sliku.

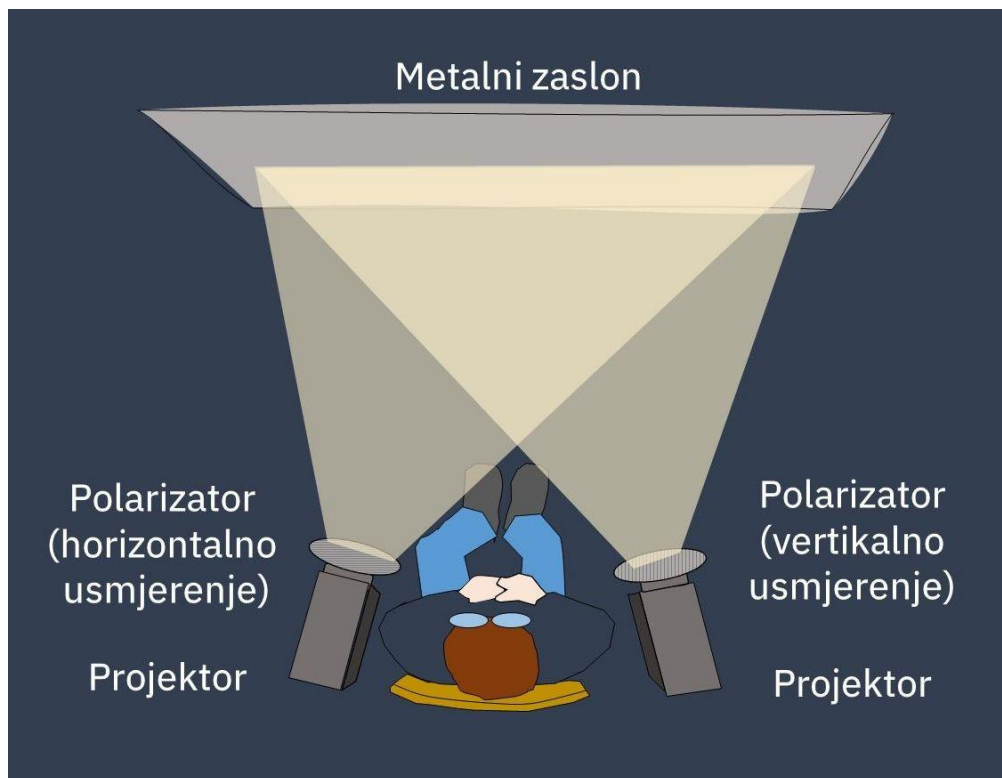
2. U kojem smjeru trebaju biti polarizirane sunčane naočale vozača i zašto?



Slika 5.10: Zadatak 2. [11]

- Naočale A, jer je svjetlost reflektirana od ceste i drugih ravnih površina horizontalno polarizirana. Naočale s vertikalnom polarizacijskom osi neće propustiti takvu svjetlost.

Možemo spomenuti i princip rada 3D projekcije u kinu. (Slika ). Diskutirati s učenicima kakve su nam naočale potrebne za gledanje 3D filma.



Slika 5.11: Princip rada 3D projekcije u kinu. [11]

U ovom su nam slučaju potrebne naočale kod kojih je za svako oko drugačija polarizacija, jedna polarizacijska os treba biti usmjerena vertikalno, a druga horizontalno. Svako će oko tako vidjeti drugačiju sliku, što će mozak spojiti u trodimenzionalni prikaz.

## 6 Bibliografija

- [1] *Predavanja iz kolegija Metodika nastave fizike 1*, doc. dr. sc. Maja Planinić, Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu,  
<http://metodika.phy.hr/claroline/claroline/course/index.php?cid=MET1N>
- [2] R. Krsnik, *Suvremene ideje u metodici nastave fizike*, Školska knjiga, Zagreb, 2008.
- [3] K. Matejak Cvenić, L. Ivanjek, K. Jeličić, M. Planinić, A. Sušac, *Analyzing high school students' reasoning about polarization of light*, *Physical review physics education research*, 17, 010136, 16 (2021.)
- [4] Ministarstvo znanosti i obrazovanja, *Kurikulum nastavnog predmeta fizika za osnovne škole i gimnazije*  
[https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_10\\_210.html](https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html), (veljača 2022.)
- [5] H. D. Young, R. A. Freedman, *Sears and Zemansky's University Physics: With Modern Physics-12th edition*, Pearson Education, San Francisco, 2008.
- [6] B.S. Ambrose, P. R. L. Heron, S. Vokos, L. C. McDermott, *Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena*, *Am. J. Phys.* 67, 891 (1999).
- [7] H. D. Park, K. Kim, M. Kwon, C. Lee, S. Kim, i J. B. Kim, *Students' conceptions about polarized electromagnetic waves, in teaching and learning of physics in cultural contexts*, in *Proceedings of the International Conference on Physics Education in Cultural Contexts*, uz Y. Park i Y. Park (Cheongwon, Južna Koreja, 2001), 190–196.
- [8] M. H. P. Kesonen, M. A. Asikainen, i P. E. Hirvonen, *University students' conceptions of the electric and magnetic fields and their interrelationships*, *Eur. J. Phys.* 32, 521 (2011).
- [9] T. Andreis, M. Plavčić, N. Simić, *Fizika 4 za 4. razred gimnazija i srodne škole četverogodišnjih programa fizike*, Profil, Zagreb, 2007. J. Labor, *Fizika 3, udžbenik za 3. razred gimnazije*, Alfa, Zagreb, 2008.
- [10] A. Hrlec, V. Paar, M. Sambolek, K. Vadlja Rešetar, *Fizika oko nas 4, udžbenik iz fizike u četvrtom razredu gimnazije*, Školska knjiga, Zagreb, 2021.
- [11] Edutorij, <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresconoauth/edutorij/api/proxy-guest/fa4cd5a4-17e1-47c2-a2db-545721e1cce5/polarizacija-svjetlosti.html> (veljača 2022.)



[12] Lumen physics, <https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/27-8-polarization/> (veljača 2022.)

## Sažetak

Valna optika je učenicima srednje škole tipično teška cjelina. Polarizacija svjetlosti, kao jedna od nastavnih jedinica ove cjeline, predstavlja velik izazov učenicima te dobi. Edukacijska istraživanja u fizici pokazala su da učenici imaju poteškoće u razumijevanju osnovnih koncepata u valnoj optici, a isto tako, mnoge su poteškoće vezane i uz samu polarizaciju svjetlosti. Istraživački usmjerena nastava puno je učinkovitija u razvijanju učeničkog konceptualnog znanja i razumijevanja od tradicionalne predavačke nastave. Cilj je ovog diplomskog rada predstaviti nastavnu sekvencu istraživački usmjerenog poučavanja polarizacije svjetlosti u srednjoškolskoj nastavi fizike. Ona uključuje pokuse, vođena istraživanja i konceptualna pitanja i pomaže učenicima razviti bolje funkcionalno razumijevanje same pojave i povezanih koncepata i zakonitosti.

## **Summary**

Wave optics is typically a very difficult topic for secondary school students. Polarization of light, as one of the lessons in this unit, is a great challenge for students of that age. Educational research in physics has shown that students have difficulty understanding the basic concepts of wave optics. Also, many challenges in wave optics are related to the polarization of light itself. Inquiry- based teaching is much more effective in developing students' conceptual knowledge and understanding than the traditional lecture-based teaching. The aim of this thesis is to present an inquiry-based teaching sequence on the polarization of light in secondary school physics teaching. It includes experiments, guided inquiry, and conceptual questions, and helps students develop better functional understanding of the phenomenon itself and the related concepts and laws.

## Životopis

Zovem se Katarina Sokolić. Rođena sam 4. rujna 1997. godine u Zagrebu. Osnovnu školu pohađala sam u Maču, a potom sam obrazovanje nastavila upisom u opću gimnaziju srednje škole u Zlataru. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja, 2016. godine upisujem integrirani preddiplomski i diplomski studij matematike i fizike, nastavnički smjer, na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Tijekom studiranja bila sam članica Udruge zagorskih studenata. U rujnu 2021. godine zaposlena sam u Srednjoj školi Zlatar gdje trenutno predajem matematiku i fiziku.