

ДИСПЕРЗИЈА СВЕТЛОСТИ

DISPERSION OF LIGHT

Аутори:

МИХАЈЛО ПЕШИЋ

*ученик I разреда гимназије „Урош Предић“, Панчево, Регионални центар за таленте
„Михајло Пупин“, Панчево*

и

МАША БОКАНИЋ

*ученица I разреда гимназије „Урош Предић“ из Панчева, Регионални центар за таленте
„Михајло Пупин“, Панчево*

Ментор:

ЈЕЛЕНА МАРКОВИЋ

професор физике у гимназији „Урош Предић“, Панчево

РЕЗИМЕ

Дисперзија светлости је разлагање сложене беле светлости по таласним дужинама, настаје услед зависности индекса преламања од таласне дужине (фреквенције) светлости која се простира кроз дату средину. Овај појава не само што је кључна за основно разумевање светлости и њених карактеристика, већ има и бројне практичне примене у многим подручјима, укључујући оптику, астрономију, метеорологију и уметност. Познавање овог феномена кључно је за развој технологије, уметности и науке. Проучавањем светлости, научници су направили значајне кораке у развоју технологије као што су ласери, оптичка влакна, медицински уређаји и многе друге иновације које су трансформисале наш свакодневни живот.

Кључне речи: светлост, дисперзија светлости, индекс преламања, оптика, технологија

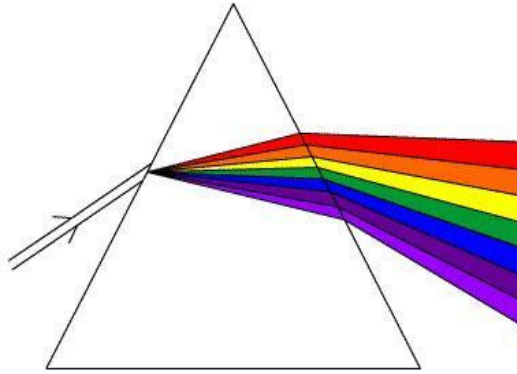
ABSTRACT

Dispersion of light is the decomposition of complex white light by wavelengths, it occurs due to the dependence of the refractive index on the wavelength (frequency) of light that spreads through a given area. This phenomenon is not only crucial to the basic understanding of light and its characteristics, but also has numerous practical applications in many fields, including optics, astronomy, meteorology, and art. Understanding this phenomenon is crucial to the development of technology, art and science. Through the study of light, scientists have made significant strides in the development of technologies such as lasers, optical fibers, medical devices, and many other innovations that have transformed our daily lives.

Keywords: light, dispersion of light, refractive index, optics, technology

УВОД

Мали број људи даје на значају овој теми која је веома важна и интересантна, због тога смо одлучили да пишемо управо о њој. Ако сте се икада запитали како настаје дуга, управо је реч о овом феномену. Ову појаву је први запазио Исаак Њутн 1672. године. Показао је да Сунчева светлост може да се разложи на боје, а те боје су повезане различитим таласним дужинама.



слика 1.(Дисперзија светлости кроз призму, Dispersion of light through a prism)

Схватања о природи светлости мењала су се са развојем науке. Скоро од првих научно заснованих учења о природи светлости постојала су два независна тумачења: корпускуларна (честична) теорија и таласна теорија светлости.

Њутн је крајем XVII века поставио корпускуларну теорију светлости, по којој светлост представља проток врло малих и врло брзих честица чије кретање подлеже законима класичне физике. Скоро у исто време холандски научник Кристијан Хагенс је поставио своју таласну теорију светлости по којој светлост представља таласни процес.

СВЕТЛОСТ

Шта је светлост? Одговор на то питање тражили су људи од давнина. Реч „светлост“ почели су да употребљавају још стари Грци за означавање појава које делујући на наше око изазивају субјективни осећај виђења. Касније су физичари овај појам уопштили и проширили на низ објективних појава које се односе на простирање кратких електромагнетних таласа. Својства светлости одређују особине њеног простирања и начин на који се њена енергија сакупља у оптичкој слици. Такође, познавање својстава светлости неопходно је за смишљање и израду оптичких склопова за посебне сврхе, као што су они за проучавање узорака светлости, тестирање... Особине светлости: одбијање(рефлексија), преламање (рефракција), разлагање (дисперзија), пренос (трансмисија), таласни састав, фазна уједначеност (кохерентност), поларизација, укрштање (интерференција), одвајање (дифракција). Таласна дужина видљиве светлости у ваздуху (вакууму) је од 380 до 760nm. Таласни опсег видљиве светлости подељен је на седам области. Свакој области одговара по једна основна боја светлости.

БРЗИНА СВЕТЛОСТИ

Први покушај мерења брзине светлости предузео је Галилео Галилеј 1607. године. Галилеј је на два брда поставно посматраче са фењерима један посматрач је отворивши вратанца фењера послао сигнал другом посматрачу. Опазивши сигнал, други посматрач је отварао вратанца свог фењера и слао сигнал назад. Сигнал је требало да стигне до првог посматрача са извесним закашњењем због коначне брзине простирања светлости. Мерећи то време и знајући растојање између брда могла би да се одреди брзина светлости. Неуспех Галилејевог покушаја је показао да ако је брзина светлости коначна, она је тада врло велике вредности.

Дански астроном, Олаф Ремер, 1676. године је одредио брину простирања светлости посматрајући кретање Јупитеровог сателита. По његовом мерењу, брзина светлости је износила 215 000 km/s. Ремеров експеримент има историјски значај јер је показао да је брзина светлости коначна и тиме потисну схватање о неограниченој брзини простирања светлости. Но, данас знамо да та вредност није тачна, напредком науке и технологије смо утврдили да је брзина простирања светлости мало већа и она приближно износи 300 000 km/s.

Индекс преламања неке средине одређује се односом брзине светлости у вакууму и брзине светлости у тој средини.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.)$$

У вакууму брзина светлости има константну вредност и она не зависи од њене таласне дужине. У другим оптичким срединама брзина светлости је мања и зависи од њене таласне дужине. Да бисмо објаснили ову појаву, размотрићемо како се, при преласку из једне средине у другу, мењају величине којима је описана светлост. Брзина светлости у вакууму је највећа позната брзина у природи.

Брзина светлости у ваздуху је приближна брзини светлости у вакууму, док је у другим срединама знатно мања, на пример у води износи $225\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ а у стаклу $200\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Што је у некој средини брзина светлости мања, та средина је оптички гушћа. Оптичку густину средине одређује апсолутни индекс преламања. Апсолутни индекс преламања неке средине представља однос брзине светлости у вакууму и у тој средини.

средина	вода	лед	алкохол	стакло	кварц	дијамант
n	1,33	1,31	1,36	1,50	1,54	2,42

(Табела 1. вредности индекса преламања у различитим срединама, Table 1. values of refractive index in different environments)

Релативни индекс преламања друге средине у односу на прву једнак је односу брзина светлости у првој и другој средини, или односу апсолутних индекса друге и прве средине.

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.)$$

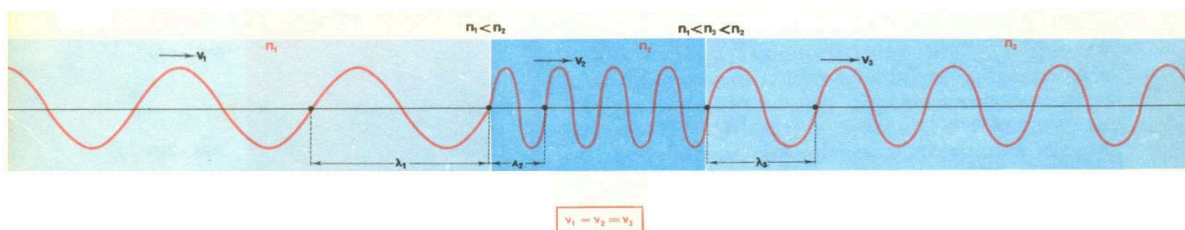
ТАЛАСНА ДУЖИНА

Таласна дужина светлости је пут који прође светлосни талас за време од једног периода:

$$\lambda = cT \quad (3.)$$

Талас на свом путу може да мења брзину простирања, па тиме и таласну дужину, док фреквенција не зависи од природе средине кроз коју се талас простира. Пошто се приликом преласка из једне у другу средину таласна дужина мења, могло би се рећи да светлост мења боју када прелази из једне средине у другу, али то се не дешава, стога треба напоменути да се подела видљиве светлости на боје према таласној дужини односи само на вакуум (ваздух).

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \quad (4.)$$



слика 2. (Талас који сукцесивно прелази кроз различите оптичке средине, A wave that passes successively through different optical area)

ИЗВОЂЕЊЕ ФОРМУЛЕ ЗА ТАЛАСНУ ДУЖИНУ

$$f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} = \frac{v_3}{\lambda_3} \quad (5.)$$

Формулу 5. поделимо са брзином светлости у вакууму и додијамо:

$$f = \frac{v_1}{c \lambda_1} = \frac{v_2}{c \lambda_2} = \frac{v_3}{c \lambda_3} \quad , \text{ пошто је } n = \frac{c}{v} :$$

$$\frac{1}{n_1 \lambda_1} = \frac{1}{n_2 \lambda_2} = \frac{1}{n_3 \lambda_3} \Rightarrow n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 = n_3 \lambda_3$$

$$\Rightarrow n\lambda = \text{const.} \quad (6.)$$

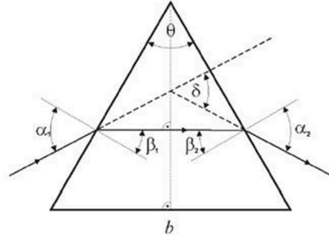
При преласку светлости из једне средине у другу, таласна дужина се мења, док фреквенција и боја остају исте. Боја светлости је одређена фреквенцијом светлосног таласа.

Ако је прва средина вакуум или ваздух, тада се таласна дужина светлости у другој средини. чији је индекс преламања n може израчунати као:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (7.)$$

ОПТИЧКА ПРИЗМА

Оптичка призма је провидно чврсто тело, најчешће од стакла, са две равне преламајуће површине које заклапају угао θ (угао призме) што је приказано на слици 2.



слика 3.(Оптичка призма, Optical prism)

Приликом проласка кроз призму, светлосни зрак који укосно пада на њену бочну страну, прелама се два пута: када уђе у призму и када изађе из ње. Светлосни зрак се при уласку у призму прелама ка нормали, док се при изласку прелама од нормале. Светлосни зрак увек скреће ка дебљем крају призме.

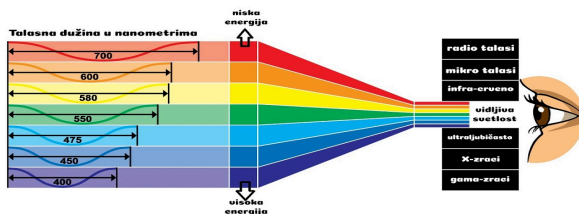
Угао скретања(девијације) је угао између правца упадног зрака и правца зрака који напушта призму. Угао девијације се може израчунати, применом правила за односе спољашњих и унутрашњих углова одговарајућих троуглова, на следећи начин:

$$\delta = (\alpha_1 + \alpha_2) - \theta \quad (8.)$$

СПЕКТРИ

ДИСПЕРЗИОНИ СПЕКТАР

Спектар, узрокован дисперзијом беле светлости, при преламању кроз прозрачну средину назива се дисперзиони спектар. Област где индекс преламања расте са повећањем фреквенције назива се област нормалне дисперзије, а област где са повећањем фреквенције индекс фреквенције опада назива се област аномалне дисперзије. Ако сложена светлост, на пример, бела пада на граничну површину две средине, због зависности индекса преламања средине од фреквенције, различите боје ће се преломити под различитим углом.



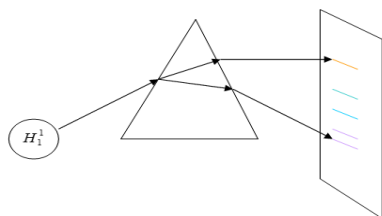
слика 4.(Дисперзиони спектар, Dispersion spectrum)

Црвена светлост која има мању фреквенцију има и мањи скретни угао од љубичасте светлости веће фреквенције, ове две боје су граничне боје дисперзионог спектра, угао између њиховог правца назива се дисперзиони угао и он је једнак разлици скретних углова љубичасте и црвене светлости.

$$D = \delta_{\text{љ}} - \delta_{\text{цр}} \rightarrow D = (n_{\text{љ}} - n_{\text{цр}}) \theta \quad (9.)$$

ЕМИСИОНИ СПЕКТАР

Ако дати елеменат, на пример, водоник загрејемо до температуре белог усијања (већа од $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$), тада ће он емитовати светлост.

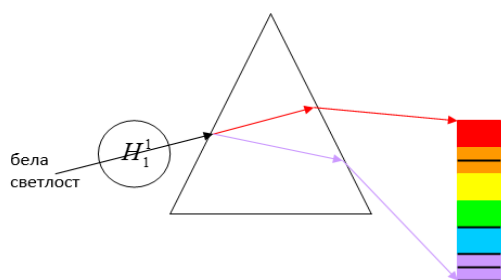


слика 5. (Емисиони спектар, Emission spectrum)

Светлост коју он емитује треба пропустити кроз стаклену призму и на заклону ће се, као последица дисперзије појавити спектар емитоване светлости. Међутим, овај спектар неће садржати све боје, већ ће се појавити неколико светлих линија карактеристичних за дати елеменат. Код водоника то ће бити 5 карактеристичних линија таласних дужина: 654.54 nm – наранџаста линија, 484.84 nm – зелено–плава линија, 432.90 nm – плаво–модра линија, 409.09 nm и 395.95 nm – љубичасте линије. Добијени спектар се назива емисиони зато што настаје емисијом светлости из усијаног елемента, линијски зато што се састоји од разнобојних светлих линија.

АПСОРПЦИОНИ СПЕКТАР

Овај спектар настаје када белу светлост, која има непрекидни спектар састављен од свих боја, пропустимо кроз дати елеменат који није усијан него се рецимо налази на собној температури. Узмимо, ради поређења, да је то опет водоник. Водоник ће из беле светлости апсорбовати баш оне боје које иначе емитује када је усијан.



слика 6. (Апсорпциони спектар, Absorption spectrum)

Због тога ће се у спектру ове светлости појавити пет тамних, тј. црних линија које се називају Фраунхоферове линије – по немачком оптичару који их је открио. Водникове Фраунхоферове линије су тачно на оним местима где се иначе налазе емисионе линије усијаног водоника. Због тога се може рећи да се емисиони и апсорпциони спектар истог елемента односе један према другом као позитив и негатив у фотографији.

Емисиони и апсорпциони спектри елемената имају значајну примену у анализи састава различитих материјала, како у научно – истраживачким лабораторијама, тако и у индустрији. Оно што је најважније помоћу ових спектра астрономи су одредили хемијски састав нашег Сунца, али и других удаљених звезда.

ДУГА

Дуга је појава која настаје због дисперзије Сунчеве светлости на капима воде (кише) у атмосфери. Светлосни зрак се прелама при уласку у капљицу а унутар капљице се због тоталне рефлексije зрака поново преломи. Постоје примарна и секундарна дуга, примарна дуга настаје услед једноструке рефлексije на унутрашњој страни капљице, а секундарна дуга је слабијег интензитета и настаје због двоструке унутрашње рефлексije у кишној капљици. Код појаве дуге, важан је угао под којим се кишне капљице посматрају у односу на правац који спаја Сунце и посматрача. Примарну дугу заправо видимо под углом од 42° , а секундарну под углом од 51° . Примарна дуга је са горње страна црвена, а са доње љубичаста, док је код секундарне дуге ситуација обрнута.



слика 7. (Дуга у природи, Rainbow in nature)

ЛИСТА СИМБОЛА

c -брзина светлости у вакууму износи приближно $300\,000\frac{km}{s}$

v -брзина светлости у некој средини

n - индекс преламања неке средине

n_{21} -релативни индекс преламања

λ -таласна дужина

T -период

f -френквенција

λ_0 -таласна дужина у вакууму

θ -угао призме

δ -угао скретања(угао девијације)

α_1 -упадни угао зрака светлости на призму

α_2 -преломни угао зрака светлости при излазу из призме

D -дисперзиони угао

$\delta_{\text{љ}}$ -угао скретања љубичасте светлости

$\delta_{\text{цр}}$ -угао скретања црвене светлости

$n_{\text{љ}}$ -индекс преламања призме за љубичасту светлост

$n_{\text{цр}}$ -индекс преламања призме за црвену светлост

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИКА РАДА

При вршењу експеримената од материјала користили смо више оптичких призми различитих димензија и Сунчеву светлост. Осим ње извор светлости нам је био и ласер који емитује зелену боју.

Приликом рада, грешке мерења настајале су када се мерење дешавало у светлом простору па се замрачивањем просторије добијају спектар боја боље види.

Поред оптичке призме која се најчешће користи за доказивање дисперзије светлости, постоје и друге методе којима се то може испитати као на пример:

1.Коришћење оптичке решетке-(Оптичка решетка се састоји од низа уских паралелних линија или отвора. Када бела светлост прође кроз оптичку решетку, различите боје светлости се преламају под различитим угловима због дифракције на решетки, стварајући карактеристичан спектар боја.)

2.Метода интерференције-(Ова метода укључује интерференцију светлости која пролази кроз танак слој материјала. Када светлост прође кроз такав слој, различите таласне дужине интерферирају конструктивно или деструктивно, стварајући дискретне боје.)

3.Коришћење оптичких влакана-(Оптичка влакна се користе у телекомуникацији за пренос сигнала. Могу бити дизајнирана тако да различите таласне дужине светлости путују брже или спорије, што резултира дисперзијом светлости. Ово се користи за раздвајање сигнала по таласним дужинама.)

4.Метода фотографске емулзије-(Овај метод се често користи у фотографији и астрономији. Фотографска емулзија је слој материјала на филму или стаклу који реагује на светлост. Када бела светлост прође кроз фотографску емулзију, различите таласне дужине светлости реагују са емулзијом на различите начине, стварајући варијације у интензитету снимљене светлости. Након експозиције, филм се развија, што резултира појавом спектра боја.)

5.Холографска интерферометрија-(Овај сложенији метод користи се у оптици за стварање холограма. Користи се интерференција светлости између референтног зрака и зрачења које рефлектује или пролази кроз објекат. Када ова светлост интерферира, настају варијације у интензитету светлости које зависно о таласној дужини могу резултовати спектралним информацијама. Овај метод омогућава детаљније анализе спектралних карактеристика материјала и објеката, а холографски снимци се могу користити за прецизно мапирање спектралних особина.)

6. Метода дисперзије светлости са ласером-(користи се за истраживање дисперзије светлости кроз оптичке компоненте или материјале, користећи ласерски зрак као извор светлости.)

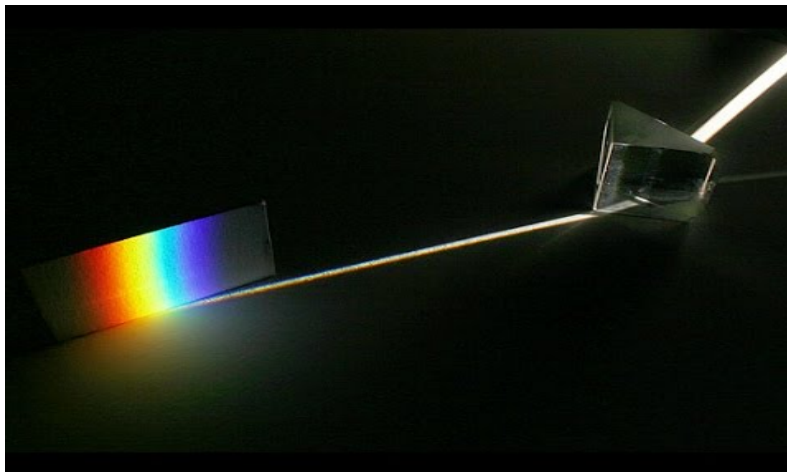
РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

Резултати експеримента дисперзије светлости кроз оптичку призму:

У овом експерименту бела светлост је усмерена кроз оптичку призму и уочена је појава разлагања светлости на спектар боја. Резултати су показали да се бела светлост, када прође кроз призму, разлаже на спектар боја од црвене, преко наранџасте, жуте, зелене, плаве до љубичасте боје. Боје на спектру су биле јасно видљиве на позадини, при чему се црвена најмање прелама, а љубичаста највише прелама.

Мерењем угла преламања за сваку боју добијени су подаци о дисперзији светлости за различите таласне дужине. На основу ових резултата израчунати су индекси преламања за сваку боју, дајући информације о оптичким карактеристикама призме за различите делове спектра.

Ови резултати потврђују да је дисперзија светлости кроз призму узрокована различитим индексима преламања за различите таласне дужине, што резултира разлагањем беле светлости у спектар боја.



слика 8.(Експеримент 1. Experiment 1.)

Резултати експеримента дисперзије светлости кроз оптичко влакно:

У нашем експерименту, бела светлост је послата кроз оптичко влакно, а ми смо приметили како се та светлост поделила у различите боје док је пролазила кроз влакно. Наши резултати су показали да је бела светлост раздвојена на спектар боја унутар влакна.

Анализирајући време доласка светлости за сваку боју, приметили смо да различите боје путују кроз влакно различитим брзинама. То је довело до тога да се спектар боја различито шири дуж влакна, стварајући ефекат дисперзије.

На основу ових резултата, закључили смо да је дисперзија светлости кроз оптичко влакно последица варијација у брзинама којима се различите боје светлости крећу кроз влакно.

Резултати експеримента дисперзије светлости кроз танак слој материјала:

Током експеримента, бела светлост усмерена је кроз танак слој материјала. Уочене су промене у спектру светлости које су настале након проласка кроз овај слој. Резултати су показали да је бела светлост раздвојена у различите боје при проласку кроз слој материјала.

Уочавају се дискретне боје, са очигледним променама у интензитету боја дуж спектра. Мерењем интензитета светлости за сваку боју добијени су подаци о расподели спектралних карактеристика светлости кроз овај слој материјала.

Анализа резултата указује да се дисперзија светлости кроз танак слој материјала одвија услед сложених интеракција светлости са структуром и својствима материјала.

Резултати експеримента дисперзије светлости кроз призму помоћу ласера

Први корак у овом експерименту је одабир одговарајућег ласера који емитује светлост одређене таласне дужине. Када смо одабрали добар ласер, призму постављамо на подлогу, просторију замрачујемо и усмеравамо ласер ка призми.

Ми очекујемо да ће се ласерски зраци преломити и настати спекар боја, али то се не дешава, светлост коју емитује ласер пролази само кроз призму и ништа се не дешава. Зашто? Зато што је светлост коју емитује ласер одређене таласне дужине (монохроматска) и она се не може разложити на спекар боја.

На основу овог испитивања доказали смо да се само бела сложена светлост може разложити на спектар боја док се светлости одређених таласних дужина као што су ласерски зраци, не могу разложити на спектар боја.



слика 9. (Експеримент 2. Experiment 2.)

ЗАКЉУЧАК

Дисперзија светлости је занимљив феномен који нас уводи у свет боја и њихових сложених интеракција. Кроз ову појаву, бела светлост се разлаже на своје саставне боје, откривајући нам широк спектар нијанси које нас окружују. Разумевање дисперзије светлости омогућава нам да проширимо наше знање о природи светлости и користимо га на различите начине у нашем свакодневном животу. Ова појава нас инспирише на истраживање, креативност и даљи напредак, пружајући нам увид у чудесни свет светлости и боја. Надамо се да смо вам барем мало помогли да схватите колико је ова тема заиста важна у данашњем животу људи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1.]<https://fizis.rs/gimnazija/iii-razred/malasna-onmuka/disperzija-svetlosti/>
- [2.]<https://optikanaocara.wordpress.com/2021/03/08/onmicka-prizma/>
- [3.]<https://optikanaocara.wordpress.com/2021/03/16/disperzija-svetlosti-2/>
- [4.]<https://fizika.wordpress.com/2013/04/09/29/>
- [5.]<https://www.slideshare.net/nasaskolatakmicenja1/fizika-disperzija-svetlostiandrija-stankovi-biljana>
- [6.]Каделбург, Н., Рапајић, В., *Физика 3, уџбеник за трећи разред математичке гимназије, Београд, Круг, 2011.*
- [7.]Каделбург Н., Панић К., *Физика 3, уџбеник за 3. разред гимназије, Београд, Круг, 2014.*
- [8.]Распоповић, М., *Физика за 3. разред гимназије општег и природно-математичког смера, Београд, Завод за уџбенике, 2011.*