OSOBINE SVETLOSTI

Interakcija svetlosti sa materijom

- Vidljiva svetlost predstavlja uski deo spektra elektromagnetnog zračenja u intervalu talasnih dužina između 380nm i 770nm koje mogu biti registrovane ljudskim okom.
- Boja tela je određena onom talasnom dužinom koja sa najvećim intenzitetom pada na površinu zenice iz pravca posmatranog predmeta.
- Ako se neko transparentno (providno) telo posmatra u Sunčevoj svetlosti i vidi na primer u plavoj boji, znači da je svetlost talasne dužine koja odgovara plavoj boji u najvećem intenzitetu dospela do oka.
- Prema tome, prolazeći kroz posmatrano telo, ostale komponente bele (Sunčeve) svetlosti bivaju u većoj meri apsorbovane u odnosu na plavu boju.
- Ako se pak neprovidna tela opažaju u određenoj boji, znači da se svetlost talasne dužine koja odgovara toj boji u najvećoj meri (intenzitetu) reflektovala sa površine tela, dok su ostale komponente svetlosti više apsorbovane.
- Treba napomenuti da nisu sve pojave koje su povezane sa doživljajem boje posledica apsorpcije i refleksije svetlosti.
- Boja plavog neba i večernji crveni tonovi posledice su rasejanja svetlosti na sitnim kapima vode ili prašine u atmosferi.

Apsorpcija svetlosti

- Pri prolasku svetlosti kroz neku optičku sredinu jedan njen deo biće apsorbovan od strane molekula i atoma date sredine, drugi deo će proći kroz posmatranu sredinu, dok će preostali deo biti reflektovan sa graničnih površi date optičke sredine.
- Ukoliko se sa I_0 označi intenzitet upadnog snopasvetlosti, sa I_r reflektovani deo, sa I_a apsorbovani i sa I_t propušteni deo svetlosnog snopa, mogu se uvesti :refleksiona moć R, apsorpciona moć A i transparencija (transmitanca) T koje su definisane

$$R = \frac{I_r}{I_0}\,, \qquad A = \frac{I_a}{I_0}\,, \qquad T = \frac{I_t}{I_0}\,.$$

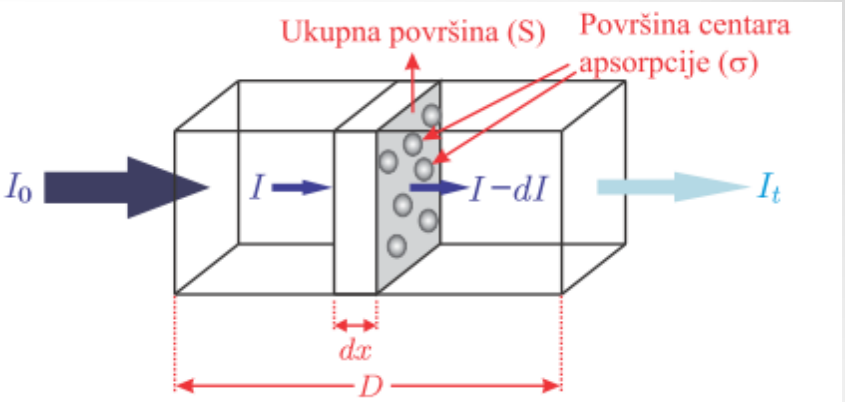
Pošto je $I_0 = I_r + I_a + I_t$ važi relacija:

$$R + A + T = 1\,.$$

- Apsorpcija svetlosti može biti neutralna (siva) kada se svetlost svih talasnih dužina podjednako apsorbuje i selektivna, kada se svetlost različitih talasnih dužna apsorbuje različito.
- Materijale koji apsorbuju neutralno vidimo u propuštenoj svetlosti kao sive, dok materijale sa selektivnom apsorpcijom vidimo obojene.
- Boju određuje talasna dužina svetlosti koja se (po intenzitetu) najmanje apsorbuje u datom transparentnom materijalu.
- Prema tome, obojena tela najviše apsorbuju svetlost talasne dužine koja odgovara komplementarnoj boji u odnosu na boju tela.

Apsorpcija svetlosti

Neka je dat snop paralelnih monohromatskih zraka intenziteta I_0 koji pada normalno na površinu posmatranog materijala. Pri prolasku svetlosti kroz tanak sloj materijala debljine dx doći će do promene intenziteta svetlosti za iznos:



$$dI = -kIdx$$

gde je k koeficijent apsorpcije koji zavisi od svojstava sredine i talasne dužine upotrebljene svetlosti, a I intenzitet svetlosti koji pada na dati apsorpcioni sloj.

Integraljenjem prethodnog izraza u granicama od x = 0 do x = D, odnosno od $I = I_0$ do $I = I_t$, dobija se izraz:

$$I_t = I_0\, e^{-kD}$$

poznat kao Lamberov zakon. Može se zaključiti da intenzitet svetlosti propuštene kroz sloj nekog materijala eksponencijalno opada sa porastom debljine sloja.

Proučavanjem apsorpcije u rastvorima nekih supstanci nemački fizičar August Ber je ustanovio da je koeficijent apsorpcije direktno proporcionalan koncentraciji rastvora,

$$k = \varepsilon\, c$$

gde je c koncentracija rastvora, a ε ekstinkcioni koeficijent. On predstavlja karakteristiku datog materijala i zavisi od talasne dužine upotrebljene svetlosti.

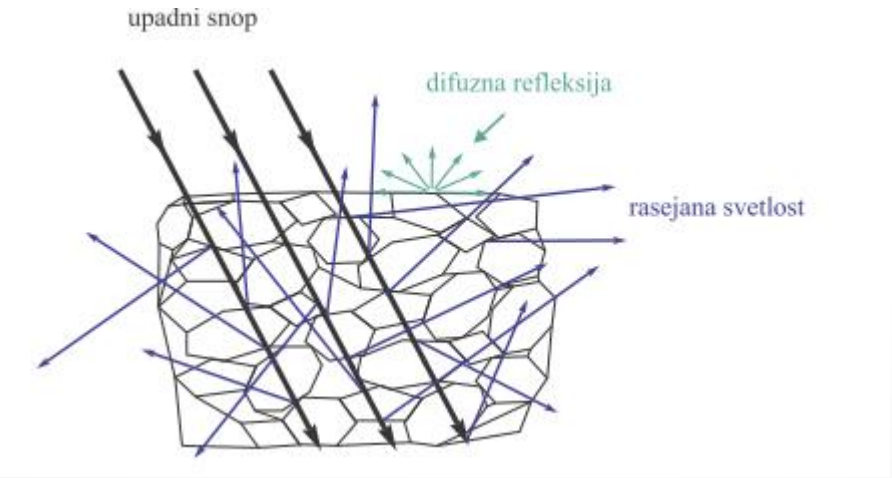
Lamber-Berov zakon

$$E = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_0} = D\,k\,\log e = \varepsilon\, c\, D\,\log e$$

Lamber-Berov zakon važi u slučaju prolaska monohromatske svetlosti kroz razblažene rastvore u kojima je rastojanje između molekula rastvorene supstance veliko, tako da nema interakcije među njima.

Rasejanje svetlosti

- Pri prolasku svetlosti kroz optički nehomogene sredine, odnosno sredine čiji se indeks prelamanja menja od tačke do tačke, delovi talasnog fronta kreću se različitim brzinama usled čega se njegova površina neprestano deformiše.
- Ova pojava se naziva rasejanje svetlosti i zahvaljujući njoj snop svetlosti postaje vidljiv i kada se posmatra sa strane.
- Rasejanje svetlosti se može razmatrati kao difrakcija na neuređenim nehomogenostima čiji se raspored neprestano menja usled haotičnog termičkog kretanja, ili na graničnim površinama između različitih sredina.
- Odstupanja od zakona refleksije svetlosti usled hrapavosti površine takođe se smatra oblikom rasejanja, koje se naziva difuzna refleksija.



- Najčešći oblik rasejanja svetlosti je tzv. Rejlijevo rasejanje, takođe poznato i kao preferencijalno (dominantno) rasejanje.
- Radi se o elastičnom rasejanju svetlosti na česticama čije su dimenzije manje od jedne desetine talasne dužine svetlosti, tj. na pojedinačnim atomima ili manjim molekulima. Ovaj vid rasejanja je u najvećoj meri karakterističan za gasove.
- Ova pojava je objašnjenje za plavu boju neba, s obzirom da se kratkotalasne (plave) komponente Sunčeve svetlosti rasejavaju intenzivnije od svih drugih boja.
- Sunčevi zraci koji prolaze kroz atmosferu rasejavaju se na molekulima vazduha i drugim prisutnim česticama, dajući nebu njegovu osvetljenost i boju.
- Ova pojava je najintenzivnija nakon zalaska, kada je Sunce ispod linije horizonta, jer zraci u tom slučaju prolaze kroz daleko veću zapreminu vazduha nego kada je visoko na nebu.
- Odgovor na pitanje zbog čega nebo nije ljubičasto kada ta boja ima još manju talasnu dužinu leži u činjenici da molekuli kiseonika intenzivno apsorbuju zračenje iz ultraljubičastog i ljubičastog dela spektra.

Plava boja neba kao posledica Rejlijevog rasejanja

- Za rasejanje na česticama čije su dimenzije reda veličine talasne dužine svetlosti ili veće, odgovorno je tzv. ,,Mie rasejanje".
- Ono ne zavisi jako od talasne dužine i izaziva skoro beli odsjaj oko Sunca kada je mnogo čestica prisutno u vazduhu. Ova vrsta rasejanja je takođe odgovorna za belu boju oblaka, izmaglice i magle

Bela boja oblaka usled ,,Mie" rasejanja

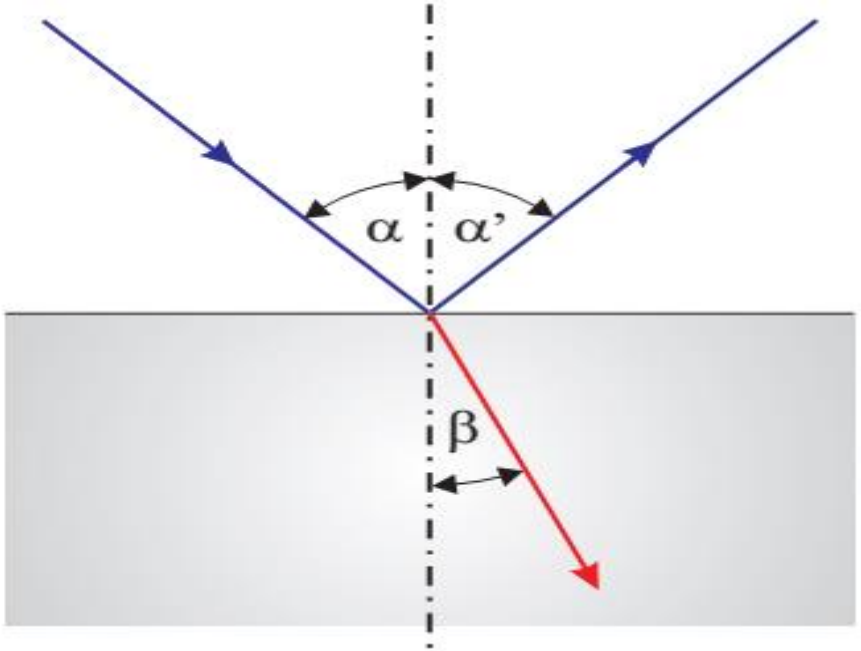
Ukoliko su nehomogenosti sredine male u odnosu na talasnu dužinu svetlosti i ako je njihov indeks prelamanja različit od indeksa prelamanja sredine, rasejanje svetlosti se naziva Tindalov efekat (ili Tindalovo rasejanje).

Tindalov efekat je rasejanje svetlosti od strane čestica u mutnim sredinama (magla, dim, koloidni rastvor, čestice u finoj suspenziji itd).

Tindalov efekat:
a) plavičasta boja rasejane svetlosti
b) crvenkasta boja propuštene svetlosti

Odbijanje i prelamanje svetlosti

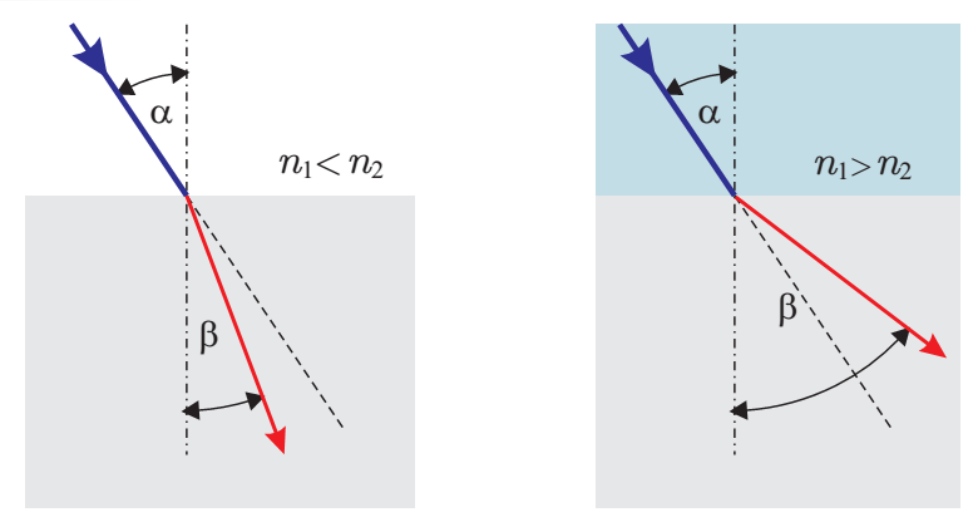
- Ako se na put svetlosnog zraka postavi neka providna prepreka, na njenoj površini će se svetlosni zrak podeliti na dva dela.
- Jedan deo će se vratiti u sredinu iz koje je došao, što nazivamo odbijanjem ili refleksijom svetlosti.
- Drugi deo svetlosnog zraka preći će u drugu sredinu, odnosno doći će do prelamanja ili refrakcije svetlosti.
- Koji deo svetlosti će biti odbijen, a koji će preći u drugu sredinu zavisi od prirode sredine, upadnog ugla i talasne dužine svetlosti.
- Na primer, za staklo pri upadnom uglu 85◦ procenat odbijene svetlosti je 62%, dok pri upadnom uglu 0◦ iznosi jedva 4%



Odbijanje i prelamanje svetlosti

Zakon odbijanja (refleksije) svetlosnih talasa, može da se izrazi na sledeći način: svetlosni zraci se na graničnoj površini između dve optički različite sredine reflektuju pod istim uglom pod kojim na nju i padaju.
Pri tome upadni zrak, odbojni zrak i normala na površinu leže u istoj ravni.

Prelamanje

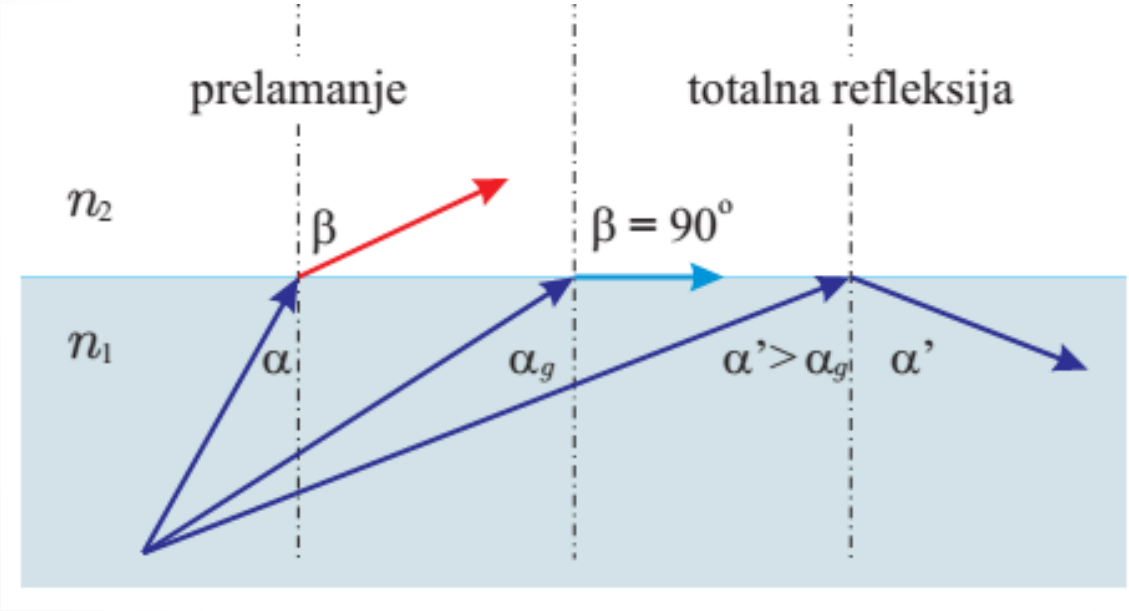


Prelamanje: a) ka normali , b) od normale

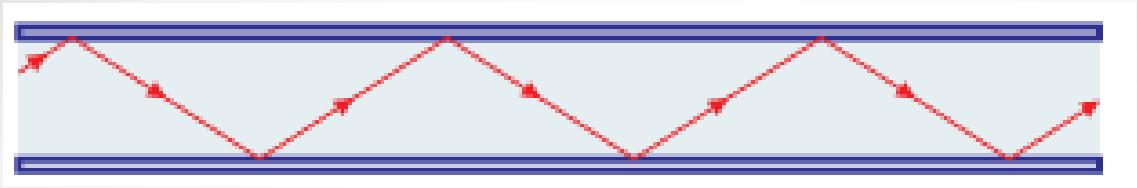
• svetlosni zrak koji iz optički ređe prelazi u optički gušću sredinu, tj. sredinu sa većim indeksom prelamanja, prelama se ka normali, odnosno prelomni ugao je manji od upadnog ($\beta < \alpha$),
• ukoliko se svetlosni zrak prostire kroz optički gušću i prelazi u optički ređu sredinu, prelamanje se vrši od normale, odnosno prelomni ugao je u ovom slučaju veći od upadnog ($\beta > \alpha$).

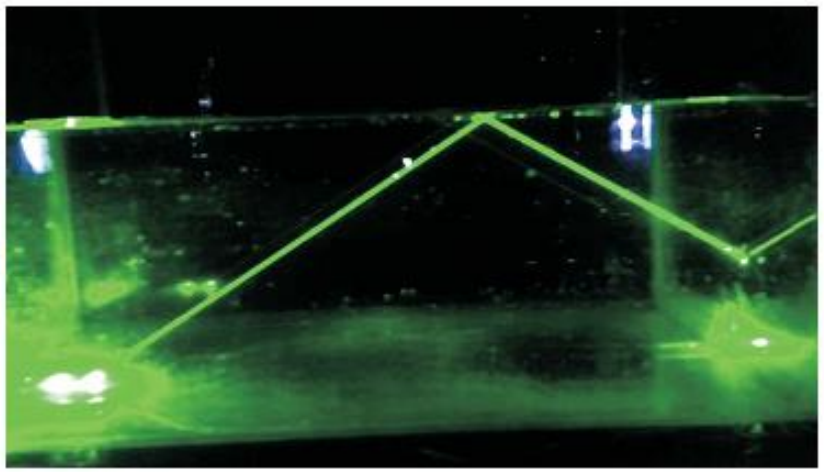
Totalna refleksija

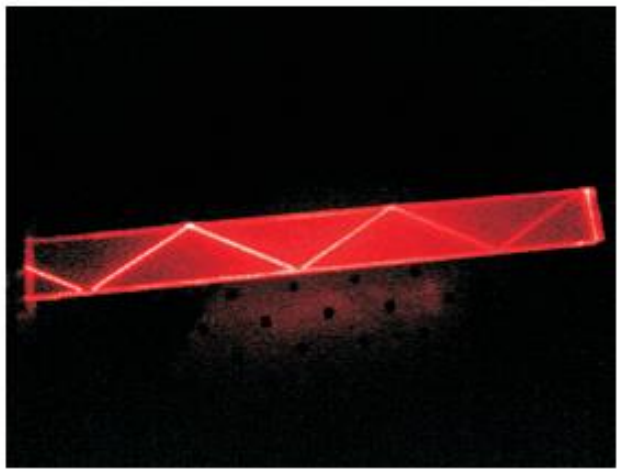
- Kada svetlost iz optički gušće prelazi u optički ređu sredinu prelomni ugao je veći od upadnog.
- Povećavanjem upadnog ugla povečava se i prelomni.
- Pri nekoj, tačno određenoj vrednosti ugla α_g prelomni ugao postaje jednak 90◦ i prelomljeni zrak **„klizi"** po graničnoj površini

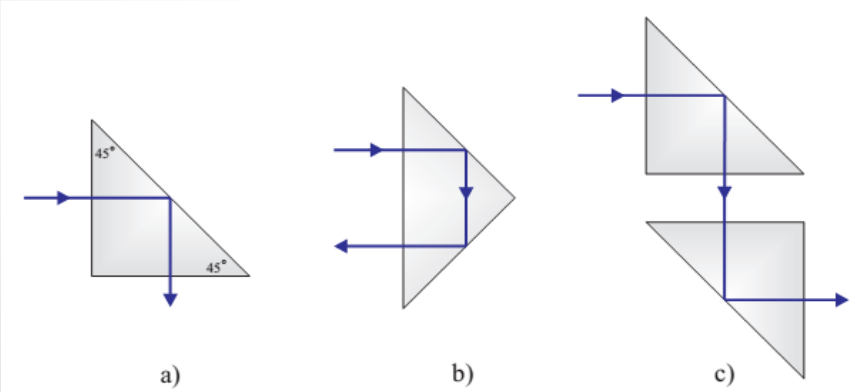


Ako zrak padne na graničnu površinu pod uglom **α' koji je veći od α_g** biće u **potpunosti reflektovan**. Zbog toga se ova pojava naziva totalna refleksija, a ugao α_g granični ugao totalne refleksije.









Totalna refleksija svetlosti se koristi kod prizmi koje ulaze u sastav optičkih instrumenata. Radi se o pravouglim prizmama čija su preostala dva ugla od po 45◦, dok je granični ugao totalne refleksije za staklo od kojeg su napravljeni 42◦.

Kada svetlosni zrak pada normalno na neku od strana prizme prolazi kroz nju bez promene pravca, a potom pada na neku drugu stranu od koje se totalno reflektuje i pri tome promeni pravac (a),smer (b), ili biva pomeren (c).

Polarizacija svetlosti

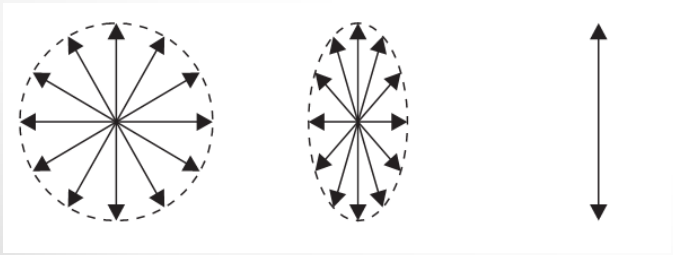
Nepolarizovana svetlost

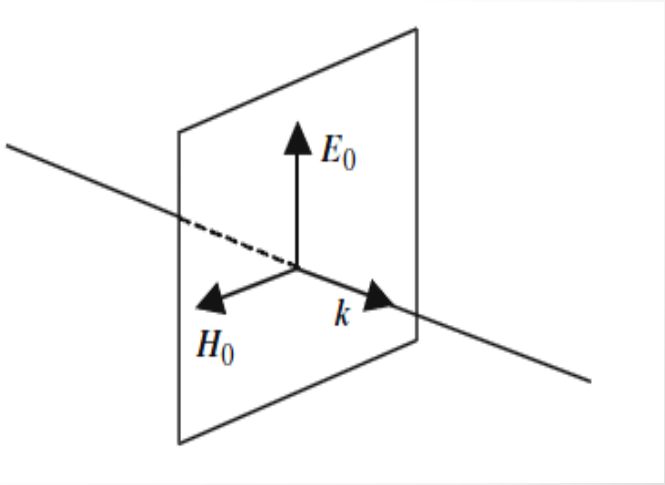
•Prema elektromagnetnoj teoriji, svetlost je elektromagnetni talas sastavljen od dva spregnuta talasa: električnog i magnetnog, koji su međusobno normalni, a takođe su normalni i na pravac prostiranja talasa.

•Najveći broj eksperimenata dokazuje da je svetlost takav transverzalni talas kod koga se ravni oscilovanja neprestano menjaju, pri čemu su amplitude vektora električnog i magnetnog polja iste u svim pravcima. Ovakvi talasi se nazivaju nepolarizovani ili prirodni talas.

•Položaj vektora električnog i magnetnog polja u ravni normalnoj na pravac prostiranja nije jednoznačo određen.

•Što znači da mogu slobodno da rotiraju,
pri čemu moraju biti uzajamno normalni

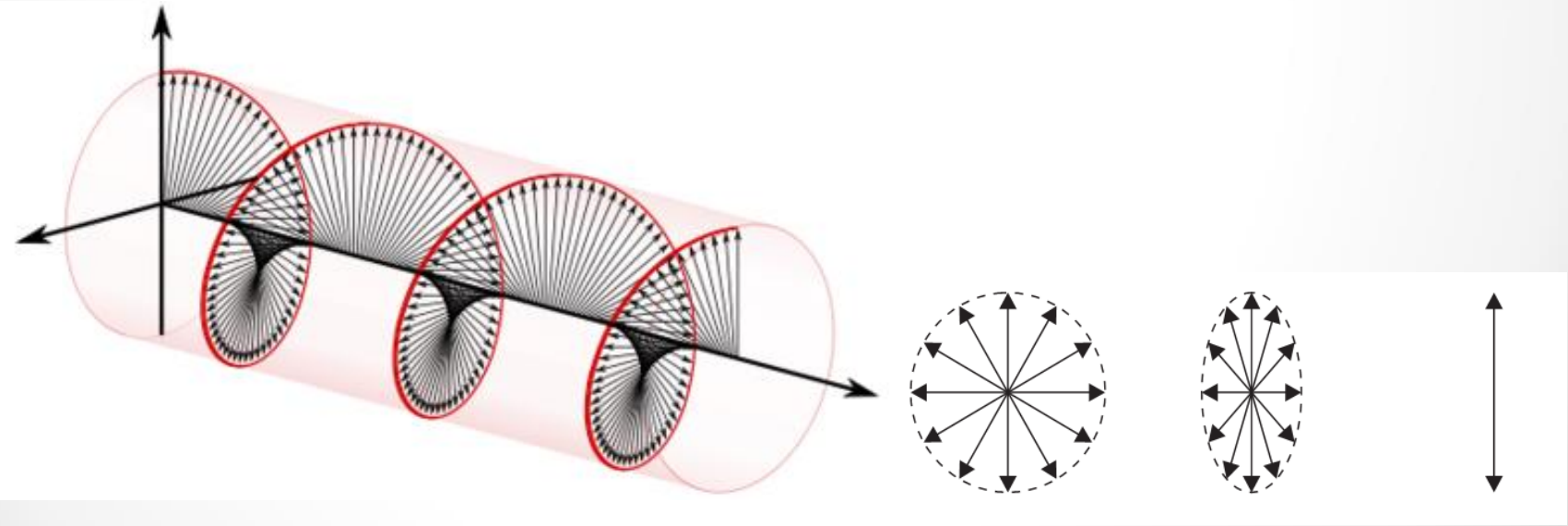




Nepolarizovana svetlosti

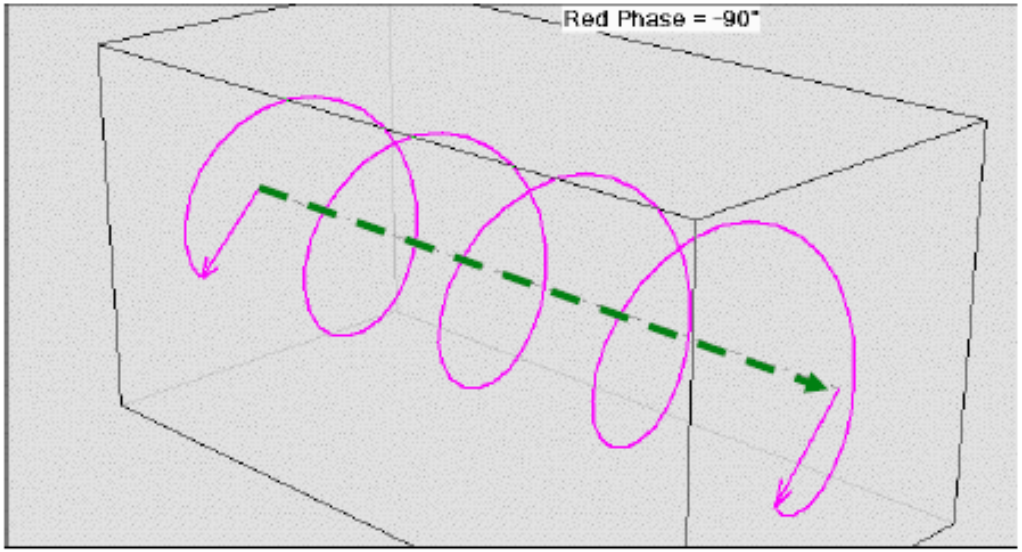
- Prirodna svetlost nastaje slaganjem oscilacija velikog broja čestica koje zrače i zbog toga vektor električnog polja rotira u ravni prostiranja

- Kod nepolarizovane svetlosti vrh vektora električnog polja opisuje kružnicu



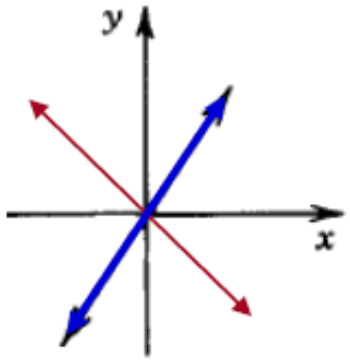
Nepolarizovana svetlosti

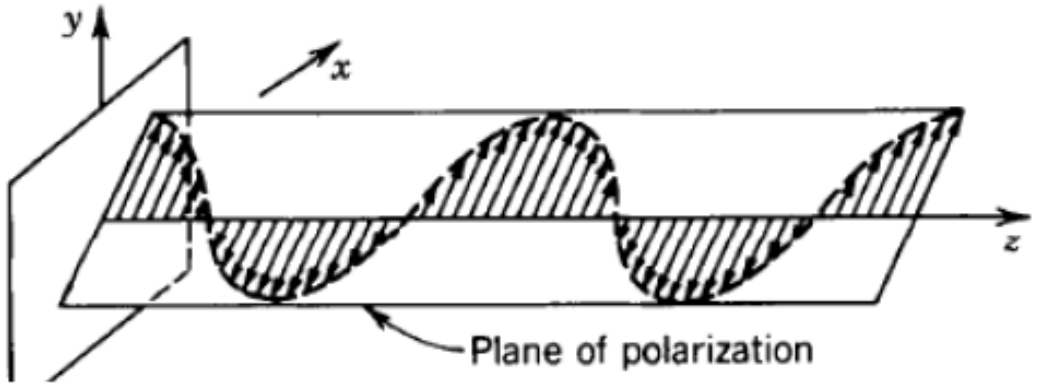
- Kružnu putanju vrha vektora električnog polja predviđa i korpuskularna teorija svetlosti
- U toj interpretacije kružna polarizovanost je posledica spina fotona



Linearno polarizovana svetlost

- Kod linearno polarizovane svetlosti vektor električnog polja osciluje samo u jednoj ravni.
- Vektor magnetnog polja u osciluje u njoj normalnoj ravni.
- Ravan oscilovanja električnog polja, ravan polarizacije.





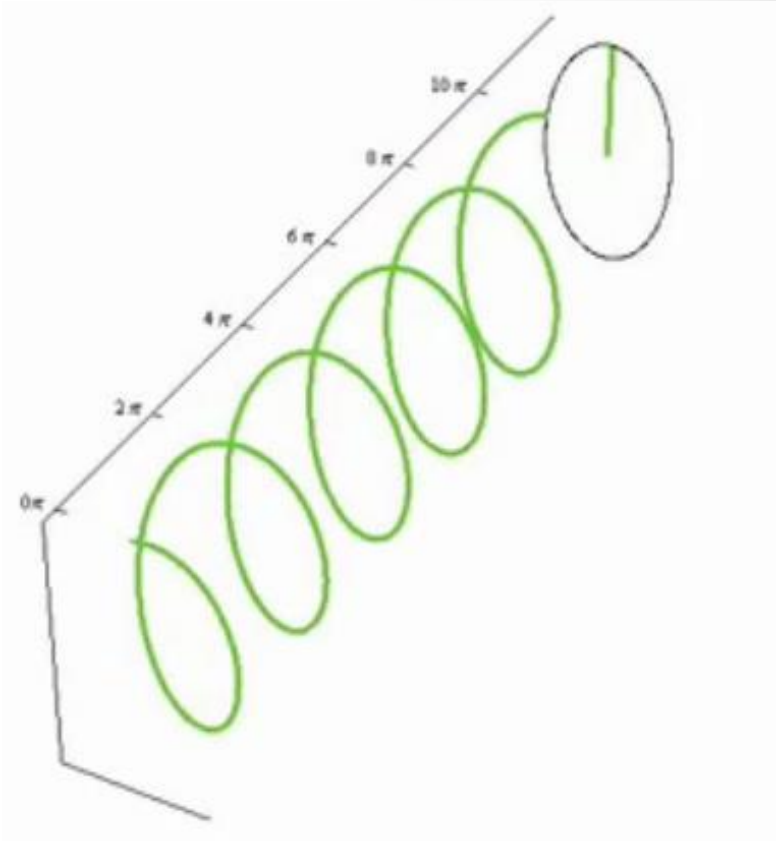
Eliptično ili delimično polarizovana svetlost

- Vektor električnog polja rotira, ali tako da mu intenzitet nije isti u svim pravcima

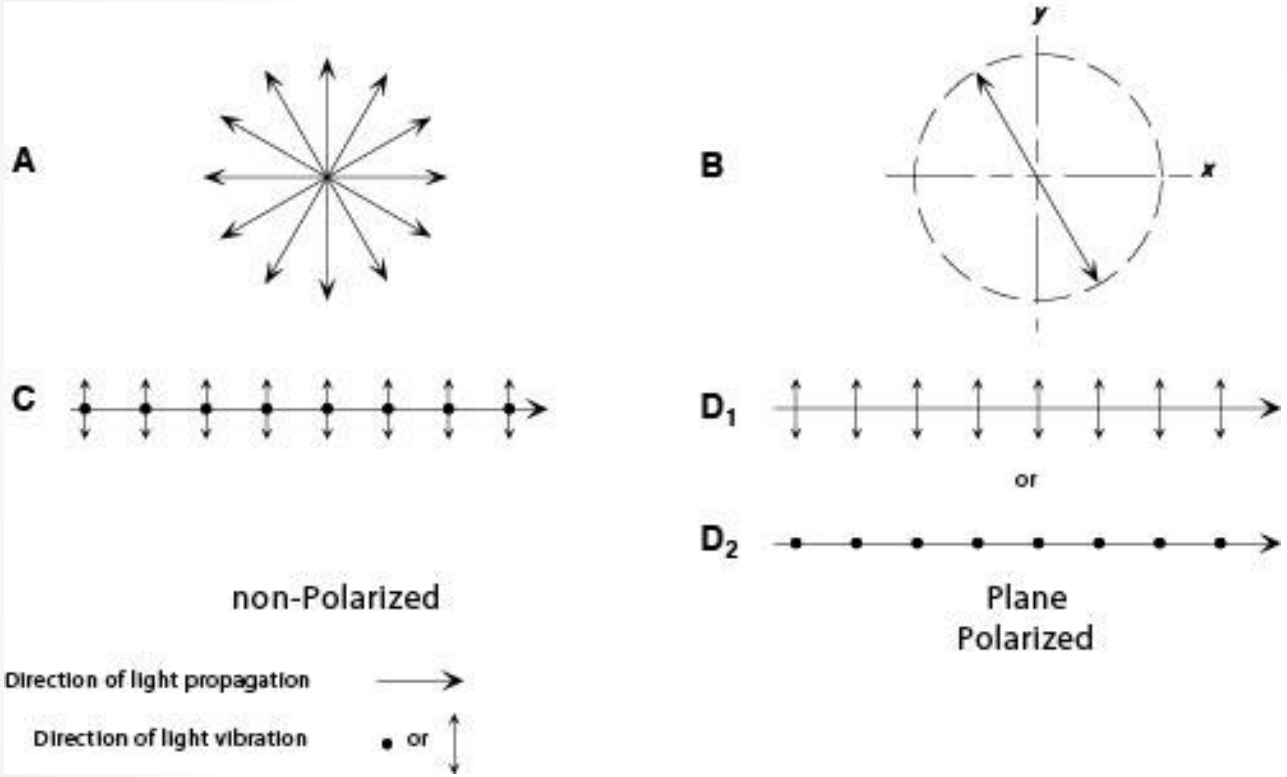
- Stepen polarizacije svetlosti se definiše kao

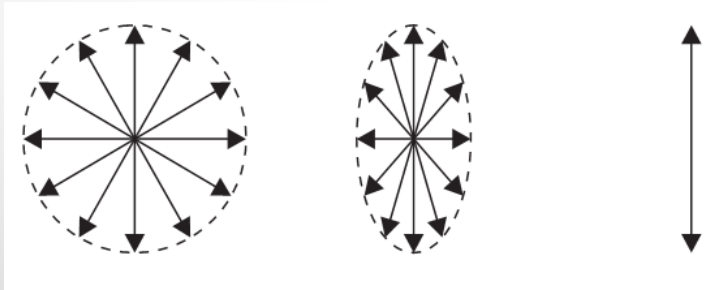
$$P = \frac{I_n - I_p}{I_n + I_p}$$

- Gde su Ip i In međusobno normalni pravci



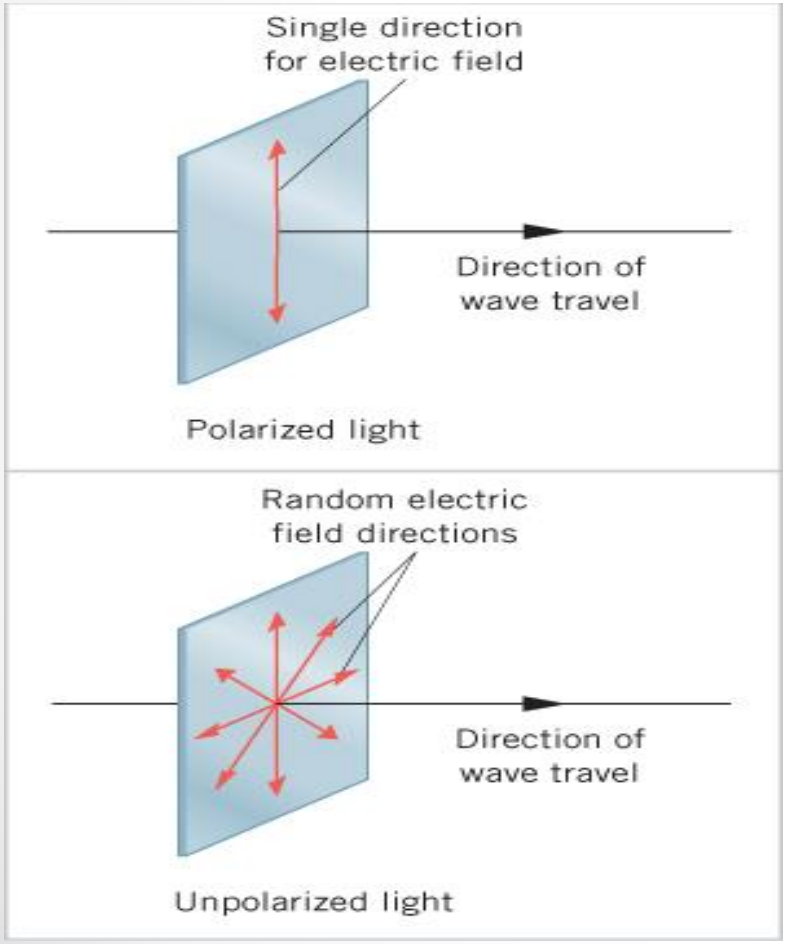
Predstavljanje polarizovane svetlosti

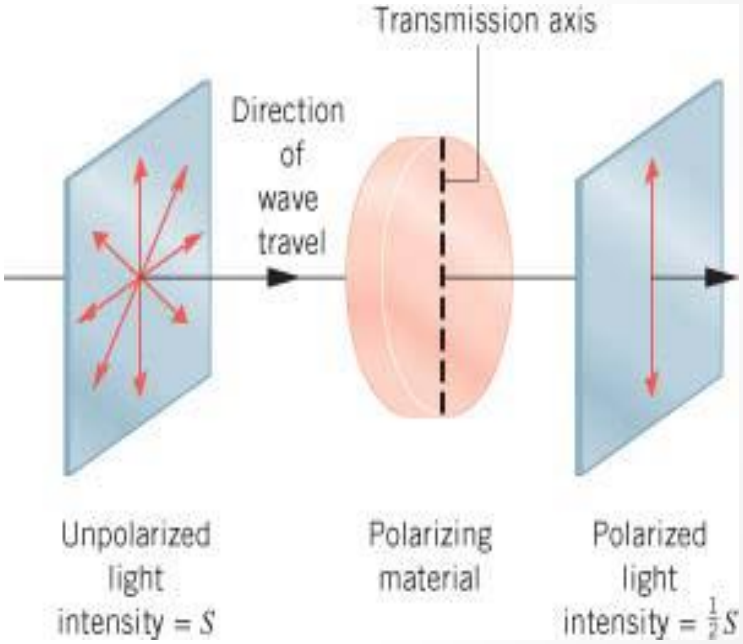




nepolarizovan ,
eliptično polarizovan
linearno polarizovan talas.

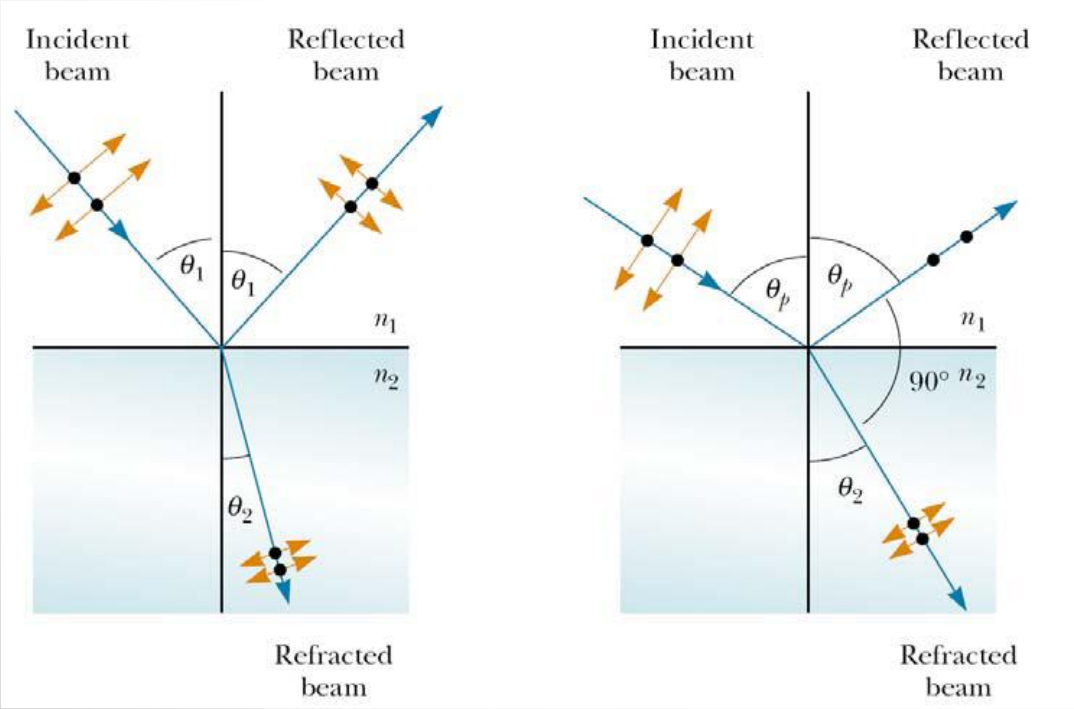
Polarizacija svetlosti pomoću materijala za polarizaciju





Polarizacija odbijanjem i prelamanjem

- Kada svetlosni zrak padne na graničnu površinu koja razdvaja dve prozračne sredine jednim delom će se reflektovati, a drugim prelomiti.
- Odbijeni i prelomljeni zraci su delimično polarizovani, a njihove ravni polarizacije su međsobno normalne.
- U reflektovanoj svetlosti će dominirati oscilacije normalne na upadnu ravan (označene tačkama), a u prelomljenoj oscilacije paralelne ovoj ravni (označene strelicama).
- Stepen polarizacije zavisi od ugla pod kojim svetlosni zrak pada na graničnu površinu.



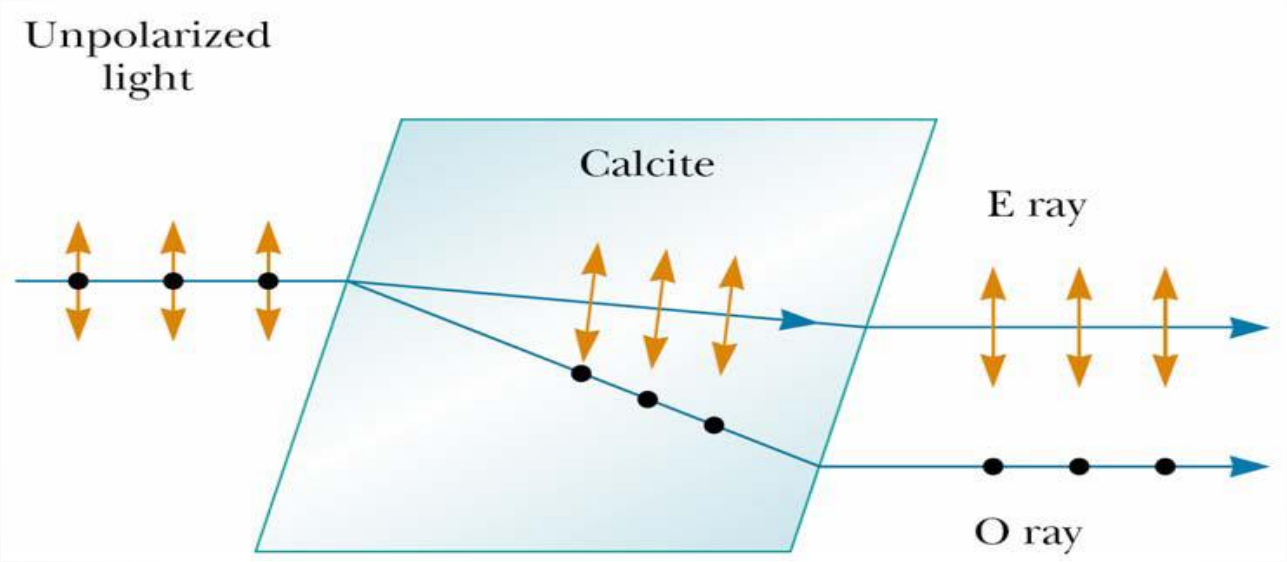
Najbolja polarizacija se dobija pri takvom upadnom uglu za koji odbijeni i prelomljeni zraci zaklapaju ugao od 90°

Tada je odbijena svetlost potpuno (linearno) polarizovana, a ova zavisnost se naziva Brusterov zakon.

Dvojno prelamanje

- Imamo i polarizaciju pri dvojnom prelamanju na nekim kristalima kao što su kalcit, kvarc itd…

- Kod ove polarizacije, svetlost se razdvaja na redovan i neredovan znak različitih brzina prostiranja (indeksa prelamanja) i oba su potpuno polarizovana.



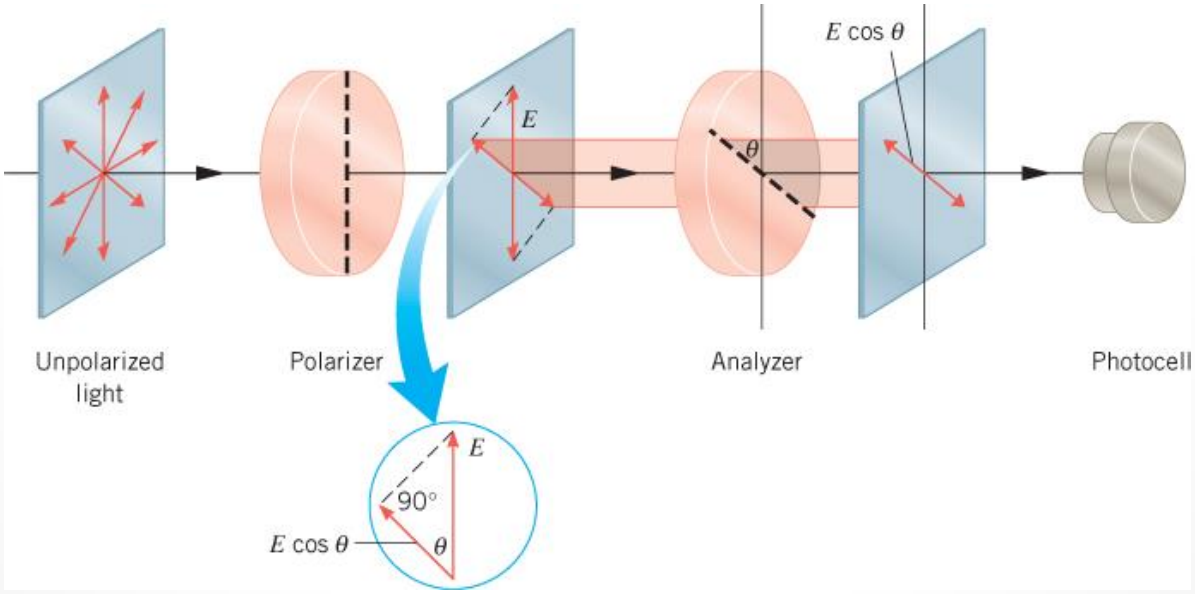
- Islandski kalcit, turmalin i korund su prirodni kristali koji razlažu svetlost na dva linearno polarizovana zraka(redovnu i neredovnu).

- Ovi zraci osciluju u dve ravni koje su medjusobno normalne i ako se pomoću zaklona ili na neki drugi način jedan zrak ukloni dobićemo samo drugi zrak.

Polarizatori i Analizatori

• Svetlosni sistem koji polarizuje svetlost naziva se polarizator, a koji analizira, analizator.

• Intenzitet propuštene polarizovane svetlosti kroz analizator zavisi od ugla izmedju osa polarizatora i analizatora.



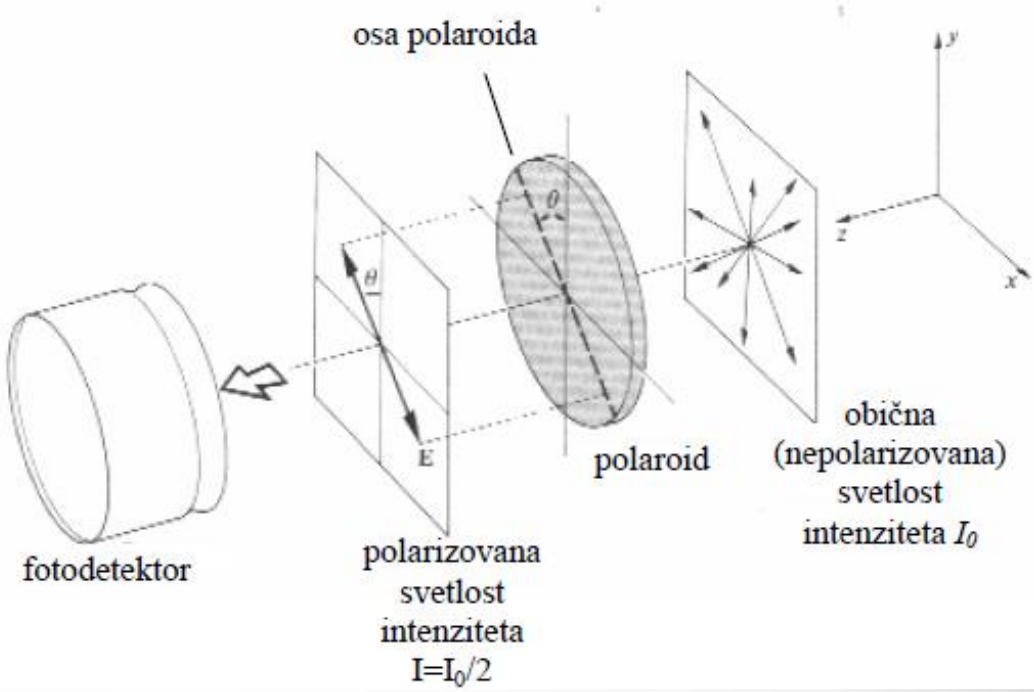
• Polarizatori (polaroidi) su optičke komponente ili optički elementi koji služe da se od nepolarizovana svetlosti pretvori u polarizovanu ili da se pretvori svetlost jednog tipa polarizacije u svetlost drugog tipa polarizacije.

• Svaki polarizator koji linearno polarizuje svetlost ima svoju optičku osu .

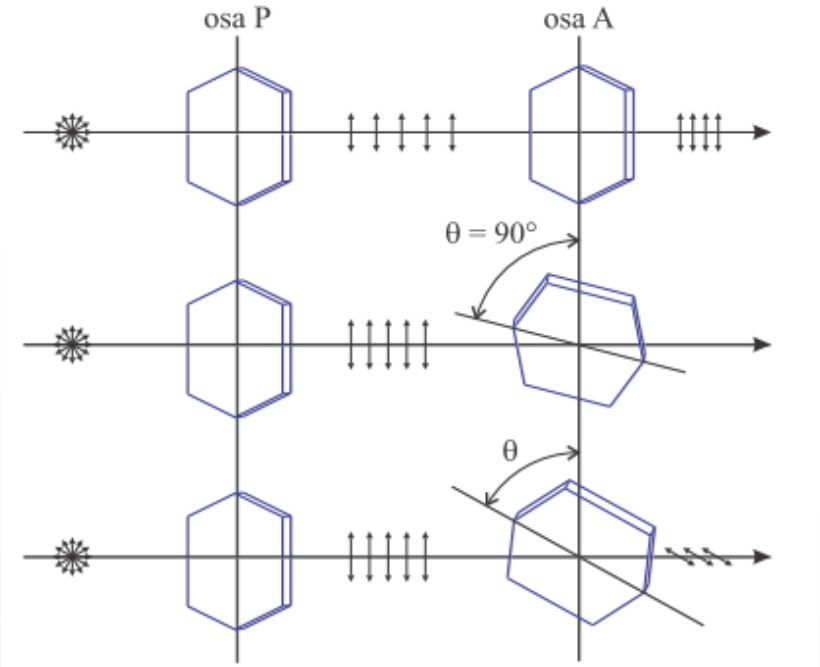
- Da bi se pomoću dvojnog prelamanja dobila potpuno polarizovana svetlost, neophodno je jedan od dva prelomljena zraka ukloniti iz kristala.
- To se može postići pomoću tzv. Nikolove prizme koja odstranjuje redovan, a ostavlja polarizovan neredovan zrak.

- Na sledećoj slici je prikazano propuštanje potpuno nepolarizovane svetlosti kroz polaroid.

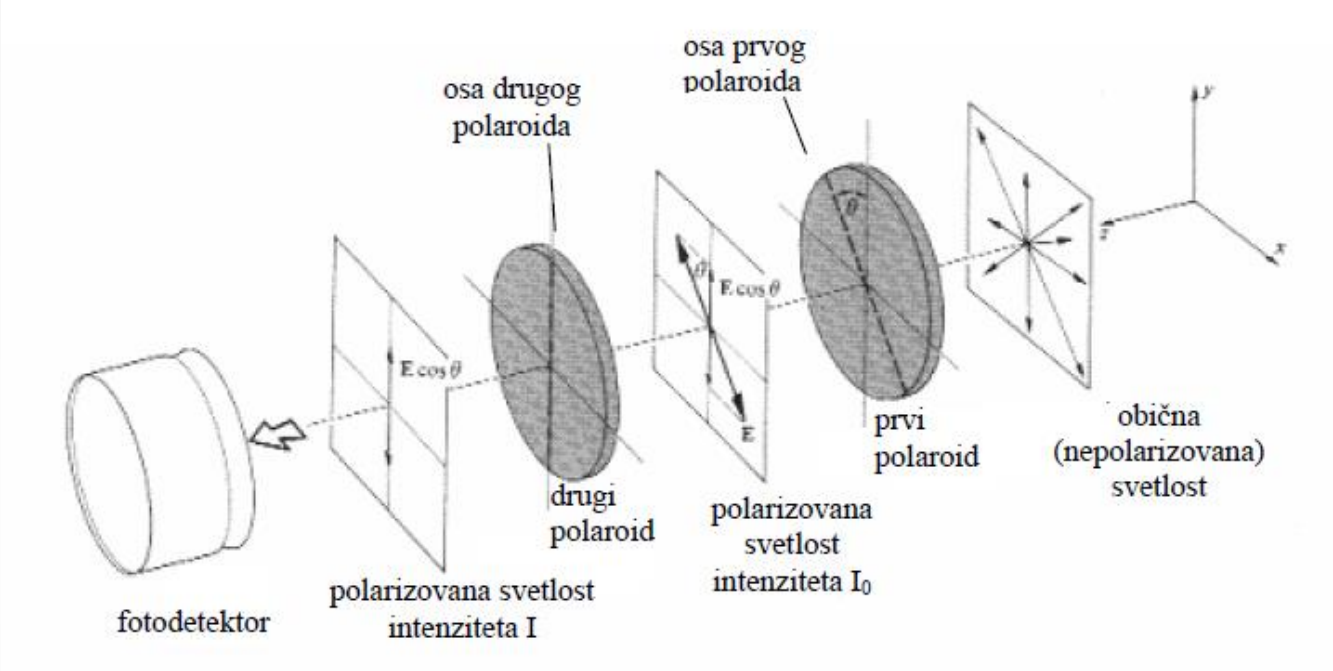
$$I = \frac{I_0}{2}$$



- Drugi način za eliminaciju jednog zraka se oslanja na pojavu dihroizma (dihromatizma) kod nekih kristala, u kojima se anizotropija manifestuje veoma jakom apsorpcijom oscilacija svetlosnog talasa u jednom pravcu, a znatno manjom u drugom, normalnom pravcu.
- Od ovakvih kristala mogu da se izrežu pločice takve debljine da prirodna svetlost na izlasku iz njih bude potpuno polarizovana.
- Opisani način za dobijanje polarizovane svetlosti naziva se selektivna apsorpcija, a sami materijali koji ovu pojavu ispoljavaju – polaroidi.
- Optički elementi koji služe za dobijanje polarizovane svetlosti nazivaju se polarizatori. S obzirom da ljudsko oko ne može da oseti razliku između polarizovane i nepolarizovane svetlosti, za posmatranje i ispitivanje polarizovane svetlosti koristi se jošjedan polaroid koji se naziva analizator.



• Na slici je prikazano kako svetlost koja je potpuno nepolarizovana prolazi kroz polaroid i postaje polarizova i osciluje u pravcu optičke ose prvog polaroida.



• Ta polarizovana svetlost po prolasku kroz prvi polaroid ima intenzitet I_0 i pravac oscilovanaj vektora *E* zaklapa ugao θ sa vertikalnom y-osom.

• Polarizovana svetlost zatim prolazi kroz drugi polaroid koji se naziva analizator i čija je optička osa u pravcu y-ose.

• Po prolasku kroz ovaj polaroid svetlost ima intenzitet I.

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Malusov zakon

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

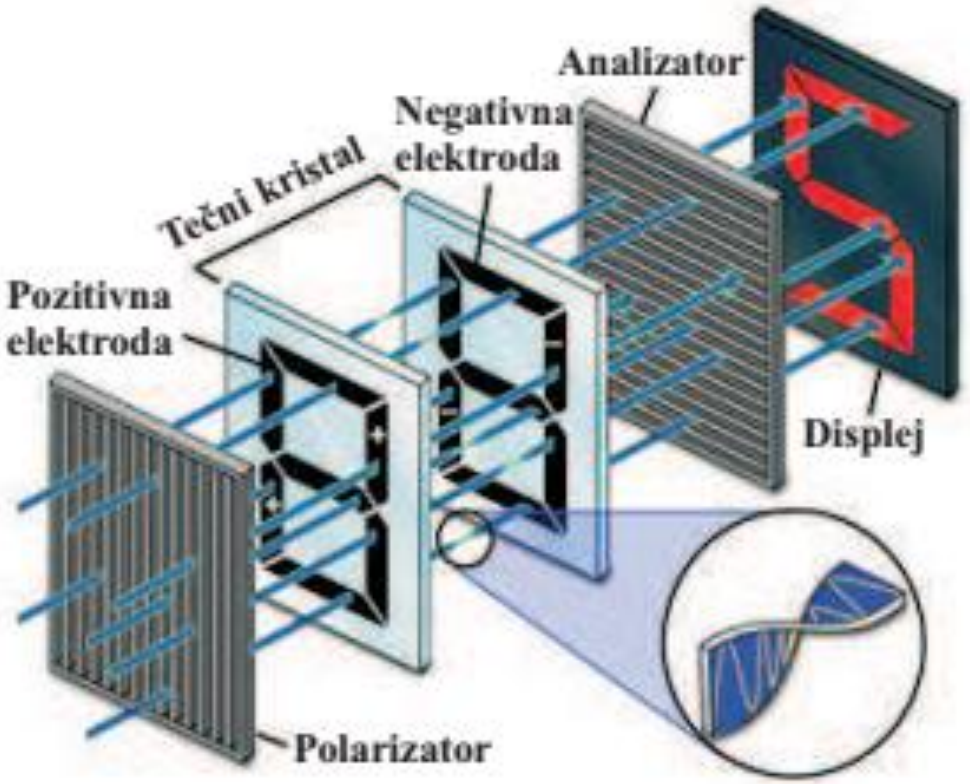
• Poslednji izraz predstavlja Malusov zakon koji kaže da je intenzitet polarizovane svetlosti i po prolasku kroz polaroid jednak proizvodu intenziteta polarizovane svetlosti I_0 pre nailaska na polaroid i kvadrata kosinusa ugla θ koji osa polaroida zaklapa sa ravni oscilovanja električnog vektora upadne polarizovane svetlosti.

• Intenzitet svetlosti I može da varira od 0 do Io u zavisnosti od ugla θ.

• Na taj način okretanjem polaroida i menjanjem ugla θ moguće je menjanje intenziteta propuštene svetlosti kroz polaroid.

Tečni kristali

- Tečni kristali su optički aktivni i zakreću ravan polarizacije polarizovane svetlosti.
- Nepolarizovana svetlost prolazi najpre kroz polarizator, a potom kroz tečni kristal i ulazi u analizator. Polarizator i analizator su međusobno ukršteni i kada ne bi bilo tečnog kristala – svetlosni zrak bi se u njemu apsorbovao.
- Međutim, tečni kristal zakreće ravan polarizacije tako da svetlost prolazi do ogledala, reflektuje se i vraća nazad.



U reflektovanoj svetlosti takav uređaj izgleda svetao.

Ukoliko se primeni spoljašnje električno polje tečni kristal gubi optičku aktivnost, zraci ne prolaze kroz polarizator i gledajući u analizator vidimo tamnu podlogu.