

Optika

Sadržaj

Optika	338	Fotometrija	
Elektromagnetno polje i elektromagneti talasi	340	Izvori svetlosti	368
Elektromagneti talasi i elektromagneti spektar	344	Fotometrijske veličine i jedinice	369
Geometrijska optika		Talasna optika	
Zakoni odbijanja i prelamanja svetlosti	346	Talasna svojstva svetlosti. Interferencija svetlosti.	372
Ogledala	347	Difrakcija svetlosti	378
Sferna ogledala	349	Difrakcija svetlosti na jednoj pukotini	381
Zakoni prelamanja svetlosti	352	Difrakcija svetlosti na optičkoj rešetki	382
Totalna refleksija	356	Difrakcija X-zraka	384
Primena zakona prelamanja	357	Bragov zakon	385
Sočiva	359	Polarizacija svetlosti	387
Nedostaci sočiva	365		
Optički instrumenti	366		

337

OPTIKA

- **Korpuskularna** (Njutnova – XVII vek) teorija svetlosti - uspela da objasni pravolinjsko prostiranje svetlosti, refleksiju i prelamanje.
- **Talasna** (Hajgensova – XVII vek) teorija svetlosti - longitudinalni talas koji se prostire kroz *etar* (hipotetička supstanca koja prožima ceo prazan prostor).
- **Hajgensov princip** – svaka tačka prostora pogodena talasom postaje i sama izvor sekundarnih talasa koji se prostiru u svim pravcima – pogodan način da se objasne neka talasna svojstva svetlosti.
- Jang i Frenel (XIX vek) – dokaz talasne prirode svetlosti i razrada principa interferencije i difrakcije svetlosti na bazi teorije o **talasnoj prirodi** svetlosti.
- Pojava polarizacije potvrđuje talasnu prirodu.
- **Elektromagnetni karakter svetlosti** – Maksvel i Herc (druga polovina XIX veka).

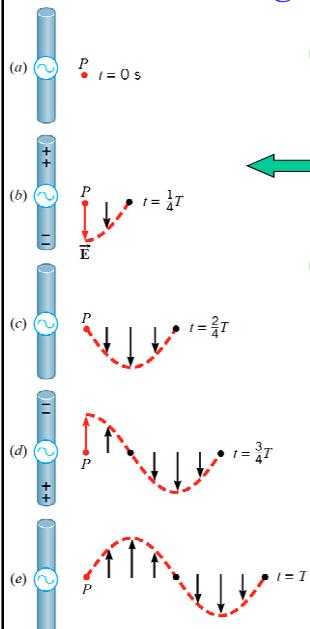
338

OPTIKA

- Problem fotoelektričnog efekta i raspodele energije zračenja crnog tela rešen uvođenjem hipoteze o **kvantnoj prirodi** energije svetlosnog zračenja (Plank - 1900.).
- Svaki izvor svetlosti emituje energiju u određenim energetskim iznosima - **kvantima (fotonima)**.
- Otkriće **Komptonovog rasejanja fotona** na elektronima (pri kome fotoni menjaju talasnu dužinu), kao i **fotoefekat** potvrđuju **čestičnu prirodu** svetlosti.
- De Broj (1924.) - **dualističko** shvatanje prirode svetlosti **proširuje na elementarne čestice** (protone i elektrone) - kako talasi imaju i čestična svojstva, tako i čestice imaju i talasna svojstva (difrakcija elektrona).

339

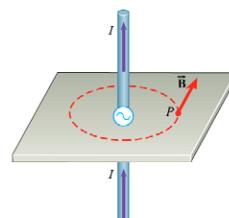
Elektromagnetno polje i elektromagneti talasi



- Jedan od mogućih načina stvaranja elektromagnetskih talasa: dva pravolinijska provodnika spojena na izvor naizmeničnog napona.
- ← Vremenska promena **električnog** polja u tački P u okolini električnih provodnika u kojima se periodično menja smer struje.
- **Električno** polje se u okolini provodnika **ne uspostavlja** u svim tačkama **trenutno, niti istovremeno**, već se sa izvesnom brzinom udaljava od njega.

Vremenska promena **magnetnog** polja u tački P u okolini električnog provodnika se poklapa sa periodičnim promenama struje. →

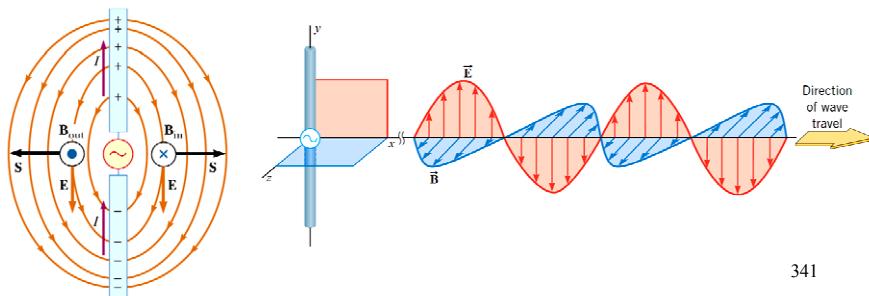
I magnetno polje se prostire u okolini prostora slično električnom.



340

Elektromagnetno polje i elektromagneti talasi

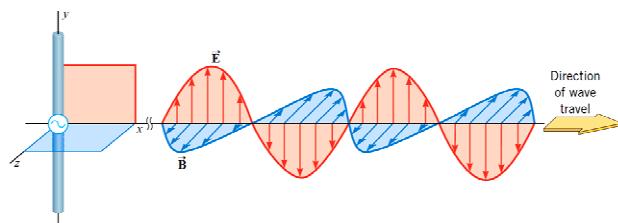
- Vektori jačine električnog i magnetnog polja osciluju u međusobno normalnim ravnima i normalno na pravac njihovog širenja (prostiranja).
- I **električno** i **magnetno** polje koje stvara električni provodnik (tzv. *električni dipol*) veoma brzo **slabi** (opada intenzitet) sa udaljavanjem od njega i zato postoji samo u njegovoj blizini. To je tzv. **blisko polje**.
- Međutim, drugi efekat je odgovoran za formiranje talasa električnog i magnetnog polja na velikim rastojanjima od provodnika i u dielektričnoj (neprovodnoj) sredini, pa čak i u vakuumu - **radijaciono polje**.



341

Elektromagnetno polje i elektromagneti talasi

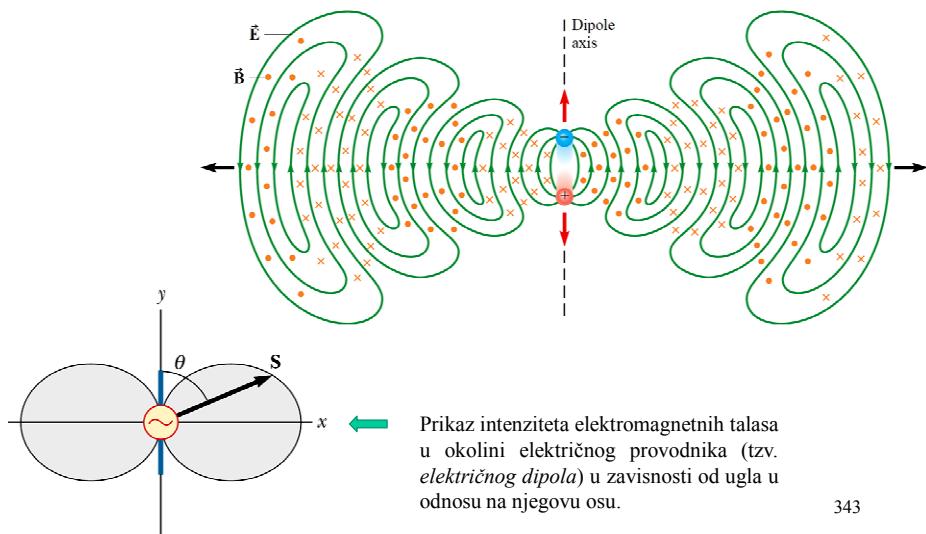
- Promena **magnetnog polja** u okolini provodnika sa promenljivom strujom proizvodi (indukuje) **promenljivo električno polje** (Majkl Faradej – zakon indukcije). **Promenljivo električno polje** proizvodi **promenljivo magnetno polje** (Džejms Maksvel).
- **Radijaciono polje** nastaje usled toga što **promene magnetnog polja** u okolini provodnika stvaraju **električno polje** koje se periodično menja, a ove promene stvaraju **magnetno polje**.
- Uzajamne oscilacije električnog i magnetnog polja se prostiru na velika rastojanja u obliku **transverzalnog talasa**.



342

Elektromagnetno polje i elektromagnetni talasi

- Linije sila **električnog** polja u okolini antene. **Radijaciono polje** se prostire brzinom c u svim pravcima od antene.



Elektromagnetni talasi i elektromagnetni spektar

- Poznato je da **statičko nanelektrisanje** stvara **električno polje** u svojoj okolini.
- Nanelektrisanje koje se **kreće konstantnom brzinom** stvara i **električno i magnetno polje**, ali ne i elektromagnetne talase.
- Nanelektrisanje koje **ubrzava** (usporava) stvara **elektromagnetne talase**, kao i **električno i magnetno polje**. Ubrzavajuće nanelektrisanje takođe i emituje energiju.
- Dakle, osim u okolini provodnika kroz koji protiče promenljiva struja, **elektromagnetni talasi se formiraju u svim slučajevima kada postoji ubrzano** (ili usporeno) **kretanje nosilaca nanelektrisanja**.
- Osnovne fizičke veličine koje opisuju elektromagnetne talase su brzina prostiranja c (ili v), frekvencija ν i talasna dužina λ :

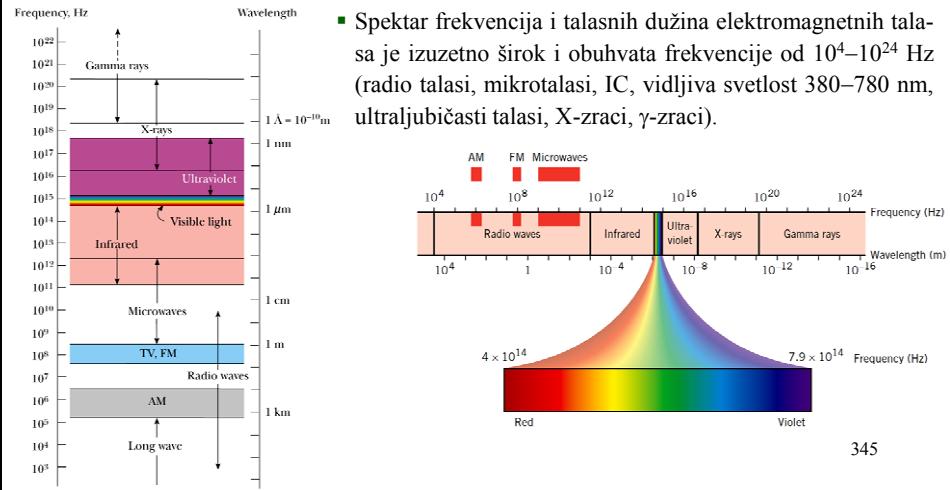
$$c = \nu \lambda$$

- Elektromagnetni talasi se mogu prostirati i kroz vakuum i kroz materijalne sredine. Brzina prostiranja elektromagnetnih talasa u vakuumu iznosi:

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

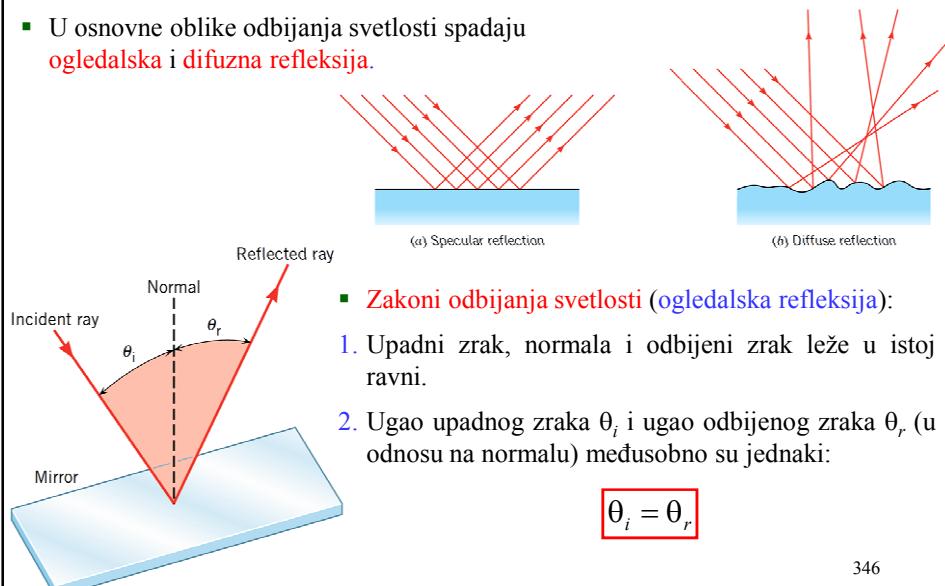
Elektromagnetni talasi i elektromagnetni spektar

- Ovom brzinom se prostiru, osim talasa, i sva ostala električna i magnetna dejstva u prostoru.
 - Brzina prostiranja elektromagnetičnih talasa u materijalnim sredinama se smanjuje u odnosu na brzinu u vakuumu, a istovremeno se smanjuje i talasna dužina.



Geometrijska optika. Zakoni odbijanja i prelamanja svetlosti

- U osnovne oblike odbijanja svetlosti spadaju ogledalska i difuzna refleksija.



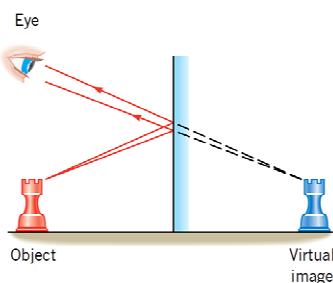
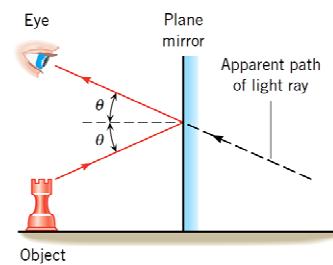
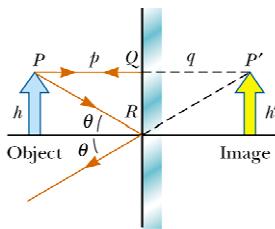
$$\theta_i = \theta_r$$

Ogledala

- Ogledala su optička tela uglačanih površina sa ciljem da se na njima vrši refleksija svetlosti.

Ravna ogledala

- Likovi koji nastaju u preseku imaginarnih zraka (tj. produžetaka reflektovanih) su **imaginarni**.
- Predmet i njegov lik stoje simetrično u odnosu na ravan ogledala (**na istom su rastojanju** od ogledala) i **iste su visine**.

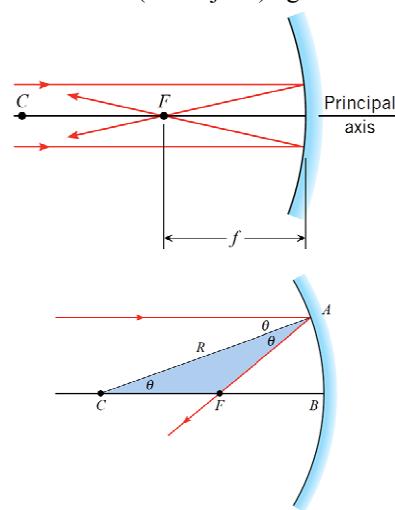


347

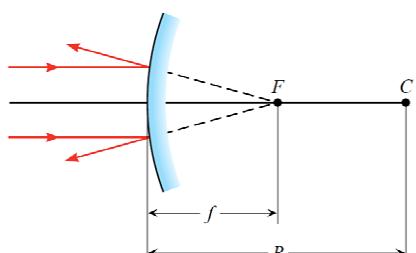
Ogledala

Sferna ogledala

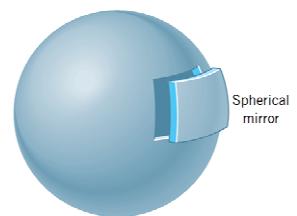
- Sferna ogledala su uglačani delovi sfernih površina.
- **Konkavno** (izdubljeno) ogledalo ↓



- **Konveksno** (ispupčeno) ogledalo ↓



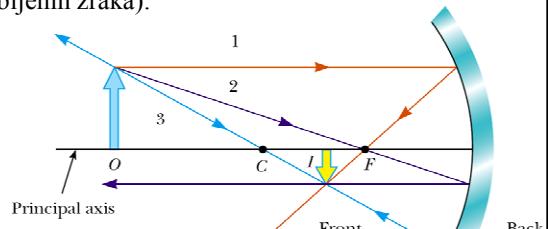
$$f = \frac{R}{2}$$



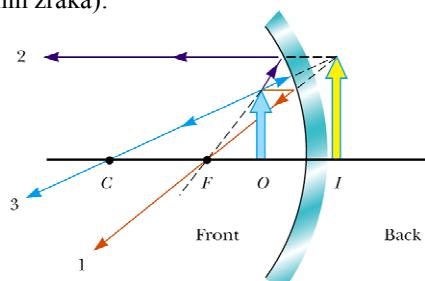
348

Sferna ogledala

- Konstrukcija likova kod **izdubljenih** sfernih ogledala (žiža je realna) – likovi su **realni** (formiraju se u preseku odbijenih zraka):



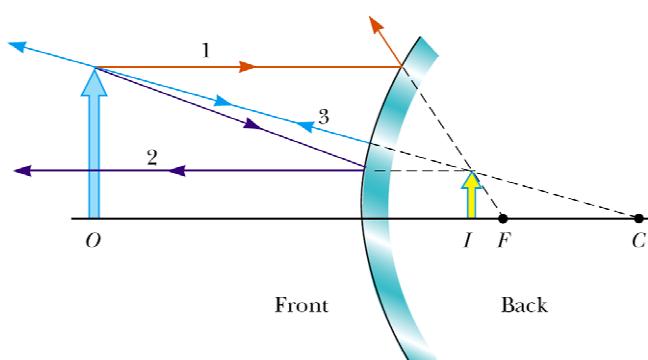
ili **imaginarni** (formiraju se u preseku produžetaka odbijenih zraka):



349

Sferna ogledala

- Konstrukcija likova kod **ispupčenih** sfernih ogledala - likovi su **imaginarni**:



350

Sferna ogledala

- **Jednačina ogledala** - povezuje žižnu daljinu f i rastojanja predmeta p i lika ℓ od temena ogledala.

- Jednačina **konkavnog** (izdubljenog) ogledala:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$$

- Jednačina **konveksnog** (ispupčenog) ogledala:
(znaci “-” ukazuju na imaginarnost žiže i lika). *

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\ell}$$

- **Uvećanje** je odnos veličina lika i predmeta:

$$u = \frac{L}{P} = \frac{\ell}{p}$$

* Može se uzeti za jednačinu konveksnog ogledala izraz identičan jednačini konkavnog ogledala (svi predznaci pozitivni), ali su onda brojne vrednosti za f i ℓ negativni broevi.

351

Zakoni prelamanja svetlosti

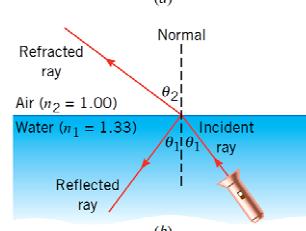
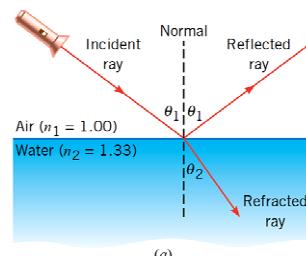
- Pri prelasku svetlosti iz jedne u drugu materijalnu sredinu dolazi do promene pravca prostiranja, tj. do **prelamanja** (refrakcije).

Zakoni prelamanja (refrakcije) svetlosti:

1. Upadni zrak, normala i prelomljeni zrak leže u istoj ravni.
2. Odnos sinusa ugla upadnog zraka θ_1 i sinusa ugla prelomljenog θ_2 zraka je konstantna veličina – **relativni indeks prelamanja** druge sredine u odnosu na prvu (karakteriše sredine na čijoj granici se svetlost prelama).

$$n_{2,1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

θ_1, θ_2 su upadni i prelomni ugao u odnosu na **normalu** na graničnu površinu.

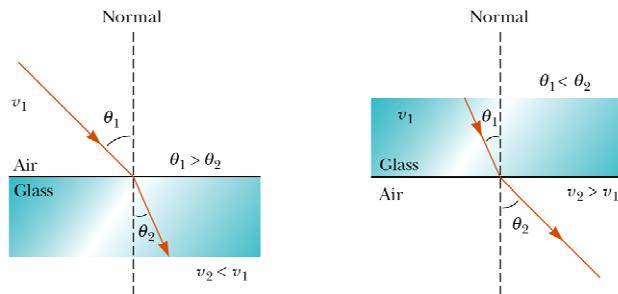


352

Zakoni prelamanja svetlosti

- Relativni indeks prelamanja je odnos brzina svetlosti u I u odnosu na II sredinu:

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$



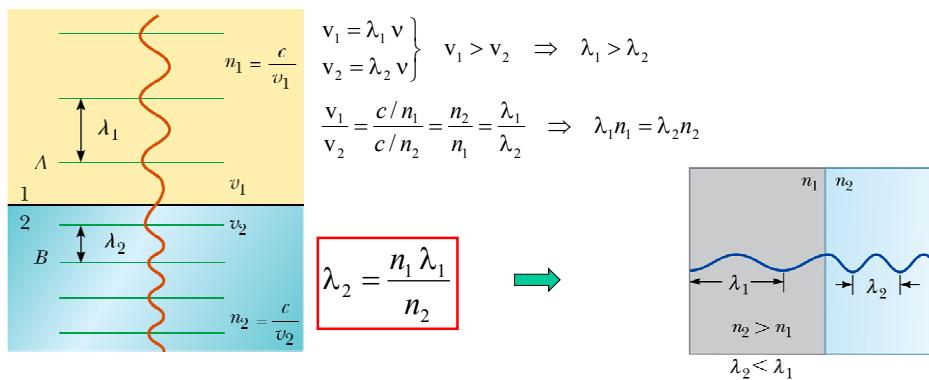
- Apsolutni indeks prelamanja je odnos brzina svetlosti u vakuumu c i u datoj sredini v :

$$n = \frac{c}{v}$$

353

Zakoni prelamanja svetlosti

- Talasna dužina svetlosti pri prostiranju kroz providnu sredinu indeksa prelamanja n se **smanjuje** u poređenju sa λ u vakuumu, a frekvencija talasa (broj oscilacija električnog i magnetnog polja u sekundi) ostaje ista.



- Primer: Ako je prva sredina **vakuum** (vazduh) sa $n_1=1$ (i $v_1=c$) i u kojoj je talasna dužina svetlosti λ_1 , a druga sredina ima absolutni indeks $n_2=n$, tada je talasna dužina svetlosti λ_2 u drugoj sredini n -puta manja:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{n}$$

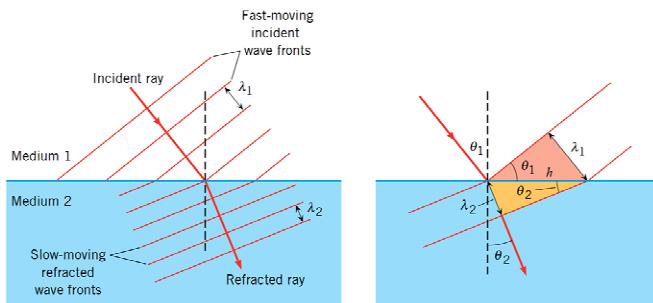
354

Zakoni prelamanja svetlosti

- Snelov zakon prelamanja:

$$\left. \begin{aligned} \sin \theta_1 &= \frac{\lambda_1}{h} = \frac{v_1 \Delta t}{h} = \frac{c \Delta t}{h n_1} \\ \sin \theta_2 &= \frac{\lambda_2}{h} = \frac{v_2 \Delta t}{h} = \frac{c \Delta t}{h n_2} \end{aligned} \right\} \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \equiv n_{2,1}$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

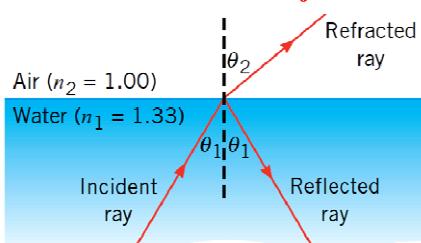


- Optički gušća sredina ima veći indeks prelamanja (svetlost se sporije prostire kroz nju).

355

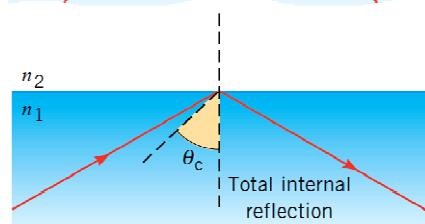
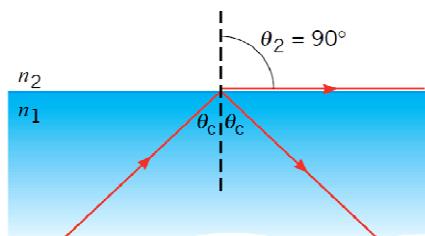
Totalna refleksija

- Pri prelasku iz optički gušće u optički ređu sredinu, za upadne uglove svetlosti veće od nekog graničnog θ_c , dolazi do potpunog odbijanja svetlosti na granici dve sredine – totalna refleksija.



$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \quad (n_1 > n_2)$$

$$\boxed{\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2)}$$

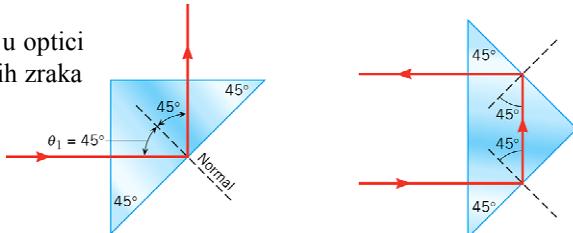


Granični ugao totalne refleksije θ_c zavisi od prirode dve sredine na čijoj granici se ona dešava.

356

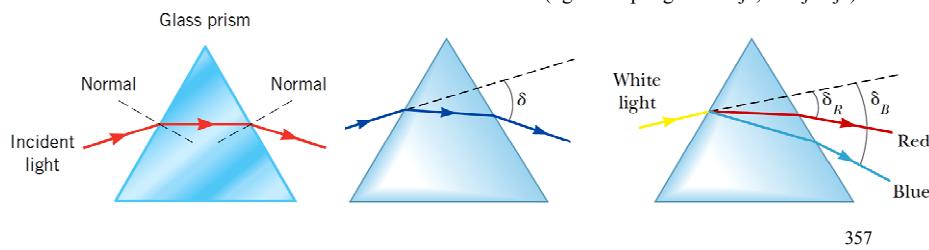
Primena zakona prelamanja

- Totalna refleksija se koristi u optici za promenu pravca svetlosnih zraka



Prelamanje na prizmi – providno optičko telo ograničeno sa dve ravne nagnute površine ↓

Karakteristike:
 n (indeks prelamanja materijala prizme),
 γ (ugao prizme) i
 δ (ugao ukupnog skretanja, devijacije)

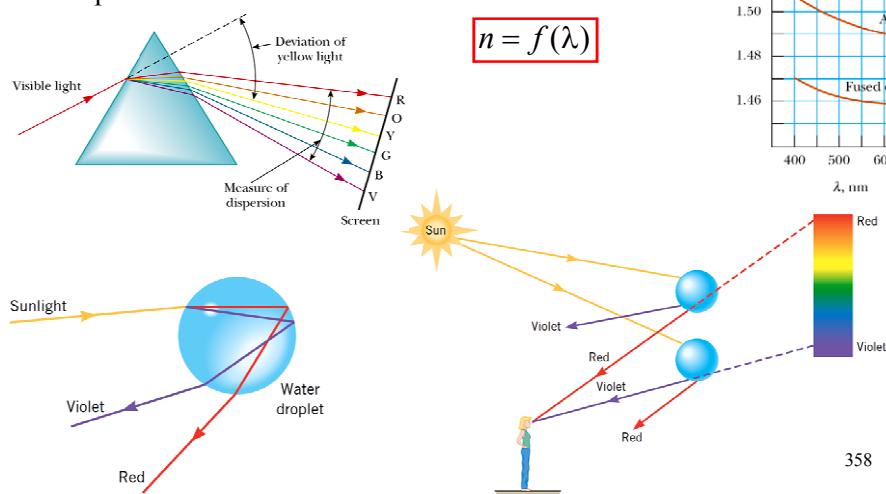
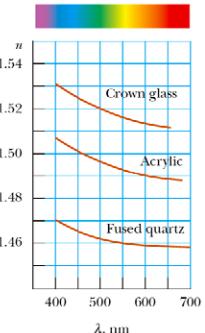


357

Primena zakona prelamanja - disperzija svetlosti

- **Disperzija** - pojava zavisnosti optičkih karakteristika (indeksa prelamanja, skretanja zraka, ...) od talasne dužine svetlosti. Posledica je razlaganje svetlosti na komponente.

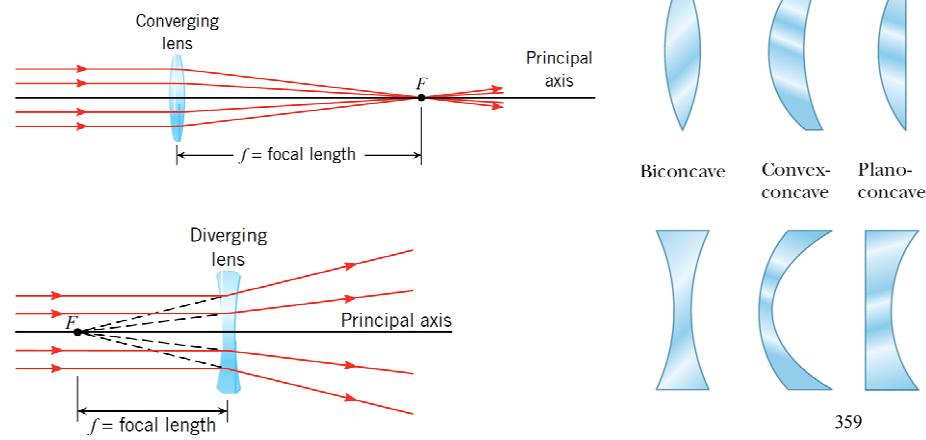
$$n = f(\lambda)$$



358

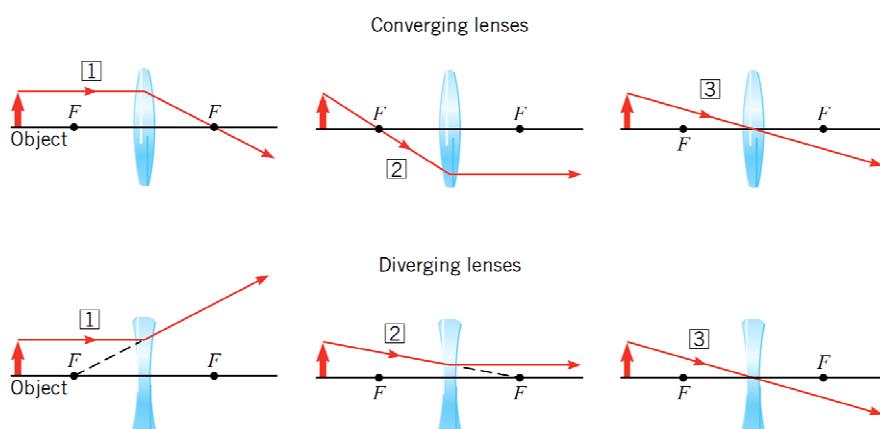
Sočiva

- **Sočiva** su providna optička tela ograničena dvema sfernim površinama ili jednom sfernom i jednom ravnom površinom.
- Prema **načinu prelamanja** podeljena su na **sabirna** (konvergentna) i **rasipna** (divergentna) sočiva.



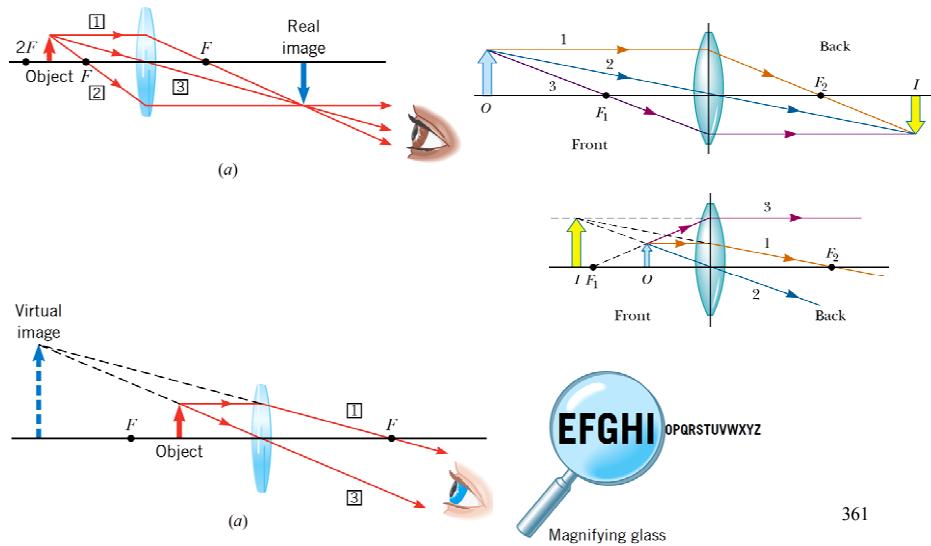
Sočiva

- Konstrukcija likova kod sočiva – **karakteristični zraci** (3)



Sočiva

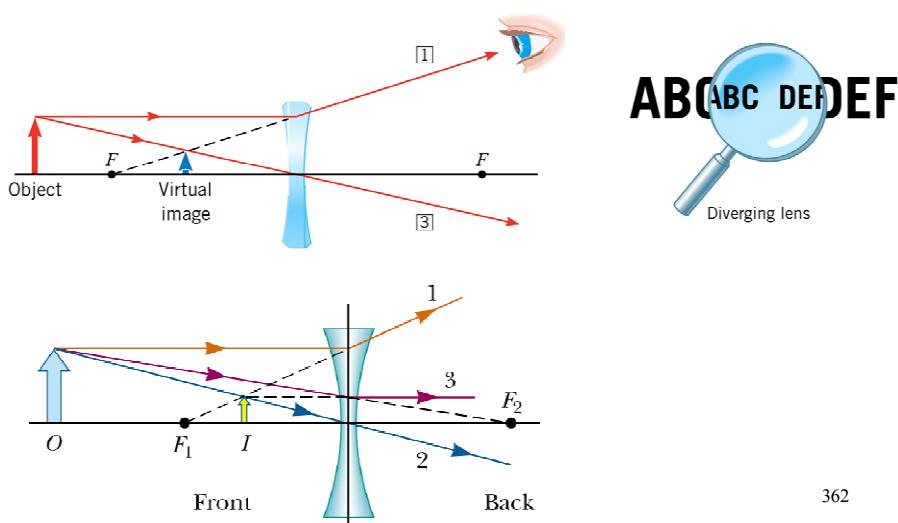
- Konstrukcija likova kod **sabirnih** sočiva – likovi su **realni** ili **imaginarni**



361

Sočiva

- Konstrukcija likova kod **rasipnih** sočiva – likovi su **imaginarni** (dobijaju se u preseku produžetaka prelomljenih zraka).



362

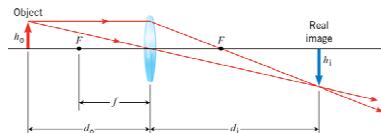
Sočiva

- Jačina sočiva:
- Za složena sočiva, jačine sočiva se sabiraju.
- **Jednačina sočiva** – povezuje žižnu daljinu f i rastojanja predmeta p i lika ℓ od centra sočiva.

$$\omega = \frac{1}{f} \quad [\text{D}]$$

- Jednačina **sabirnog** sočiva:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$$



- Jednačina **rasipnog** sočiva:

(znak “–” je oznaka za imaginarni lik i žižu) *

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\ell}$$

- **Uvećanje** je odnos veličina lika i predmeta:

$$u = \frac{L}{P} = \frac{\ell}{p}$$

* Može se uzeti za jednačinu rasipnog sočiva izraz identičan jednačini sabirnog sočiva (svi predznaci pozitivni), ali su onda brojne vrednosti za f i ℓ negativni brojevi.

363

Sočiva

- **Optička jednačina sočiva** – pokazuje od čega zavisi žižna daljina (n – indeks prelamanja materijala sočiva, r_1 i r_2 – poluprečnici krivina zakriviljenih površina sočiva).

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

- Za slučaj da je sočivo indeksa prelamanja n_2 u nekoj providnoj sredini indeksa prelamanja n_1 , optička jednačina sočiva ima oblik:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

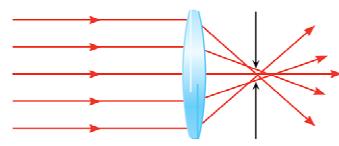
- **Složena sočiva** su kombinacije sočiva različitih oblika i indeksa prelamanja koje su namenjene **otklanjanju nedostataka sočiva**.

$$\frac{1}{f} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i}$$

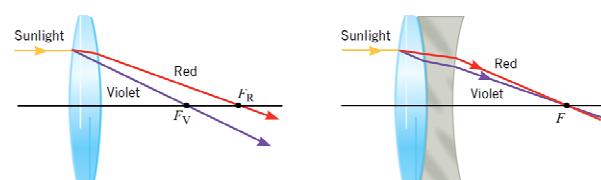
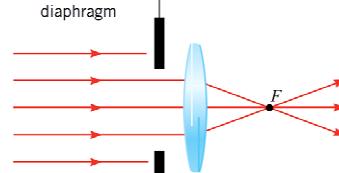
364

Nedostaci sočiva

- 1. Sferna aberacija** – svetlosni zraci se na ivicama sočiva male žižne daljine različito prelamaju (žiža nije jasno definisana) – otklanja se ili postavljanjem blende (zaklona) na put zraka ili kombinacijom sočiva.



- 2. Hromatska aberacija** – posledica disperzije – svetlosni zraci različitih talasnih dužina se različito prelamaju – otklanja se kombinacijom sočiva različitih indeksa prelamanja.



Postoje i drugi nedostaci sočiva koji se eliminisu kombinovanjem više sočiva ili njihovim oblikovanjem:

- Koma
- Astigmatizam
- Distorzija

365

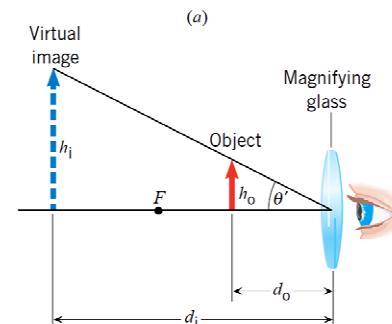
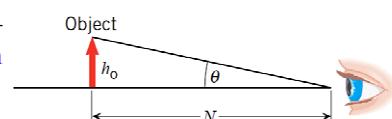
Optički instrumenti

- **Lupa** – sabirno sočivo manje žižne daljine – služi za gledanje bliskih predmeta pod većim vidnim uglom.
- Daje uspravan, imaginaran i uvećan lik – uvećanje 2-10 puta.

$$u \approx \frac{d}{f} + 1$$

d - daljina jasnog vida (25 cm)

f - žižna daljina sočiva luke



366

Optički instrumenti

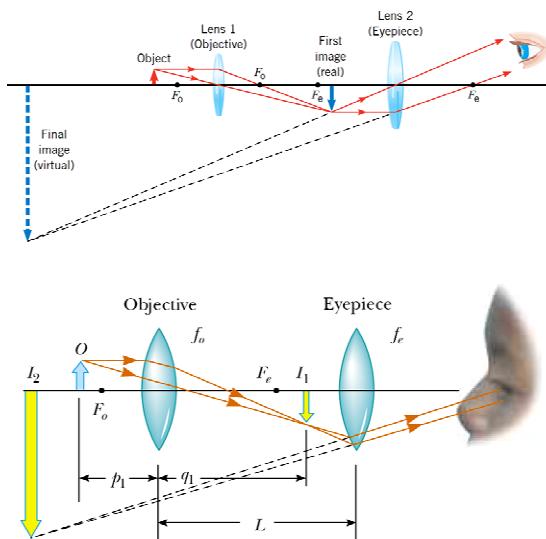
- **Mikroskop** – sačinjavaju ga dve grupe sočiva koje imaju ulogu sabirnih sočiva (**objektiv** i **okular**). Služi za posmatranje sitnih objekata, koji su nevidljivi golim okom.
- Uvećanje zavisi od žižnih daljina objektiva i okulara i dužine tubusa t . Imaginaran lik se formira na daljini jasnog vida d .

$$u = \frac{t d}{f_1 f_2}$$

d – daljina jasnog vida (≈ 25 cm)

t – dužina tubusa (na slici L) – rastojanje između objektiva i okulara

f_1 i f_2 – žižne daljine sočiva objektiva i okulara



367

Fotometrija. Izvori svetlosti.

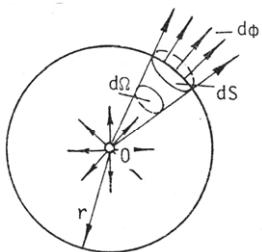
- Tela koja emituju svetlost su svetlosni izvori.
- **Primarni** svetlosni izvori emituju svetlost na račun sopstvene energije
 - **topljeni** – zagrejana tela (Sunce, sijalica sa vlaknom, plamen, ...),
 - **luminescentni** – eksitovani atomi i molekuli (ZnO, ZnS, CdS, GaP, ...),
 - **stimulisani** – spoljašnja stimulacija izvora zračenja (laser).
- **Sekundarni** izvori, u stvari, ne emituju sopstvenu već svetlost drugih izvora na račun odbijanja.
- Fotometrija je deo optike koji se odnosi na **merenje energije** elektromagnetskih talasa koju emituju svetlosni izvori.
- U zavisnosti od **detektora** svetlosti, **jedinice** fotometrijskih veličina se dele na **objektivne** (energetske) – detektori su fotoosetljivi uređaji ili supstance, i **subjektivne** (vizuelne) – detektor je ljudsko oko, različito osjetljivo prema različitim talasnim dužinama i u različitim spoljašnjim uslovima.

368

Fotometrijske veličine i jedinice.

- Izotropni tačkasti svetlosni izvori – zanemarljivih su dimenzija i ravnomerno emituju svetlosnu energiju u svim pravcima.

- Svetlosni fluks Φ je energija dW koju svetlosni izvor izrači u jedinici vremena kroz neku površinu dS ili neki prostorni ugao $d\Omega$ (snaga izračene energije):



$$\Phi = \frac{dW}{dt} \quad [\text{lm; W}]$$

1 W = 683 lm (za $\lambda = 555$ nm)

- Količina energije dW izračena u intervalu vremena dt od strane svetlosnog izvora je: $dW = \Phi dt$

369

Fotometrijske veličine i jedinice.

- Jačina svetlosti I je osobina svetlosnog izvora – izračeni svetlosni fluks $d\Phi$ po jedinici prostornog ugla $d\Omega$:

Ukupan svetlosni fluks: $\Phi_{\text{uk}} = 4\pi I$

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad \left[\text{cd} = \frac{\text{lm}}{\text{sr}}; \frac{\text{W}}{\text{sr}} \right]$$

- Osvetljenost E je veličina koja izražava stepen osvetljenosti površine dS na koju pada svetlosni fluks $d\Phi_{\text{pad}}$, odnosno to je upadni svetlosni fluks po jediničnoj površini:

$$E = \frac{d\Phi_{\text{pad}}}{dS} \quad \left[\text{lx} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}; \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

- Osvetljenost svake tačke sfere poluprečnika r u čijem centru je izotropni tačkasti svetlosni izvor:

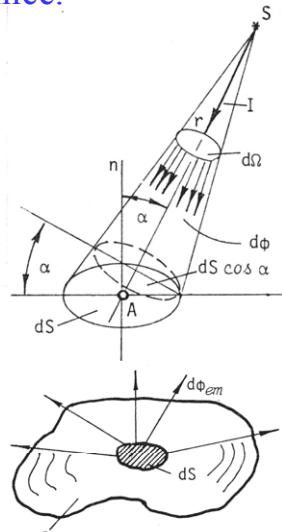
$$E = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}$$

370

Fotometrijske veličine i jedinice.

- **Lambertov zakon** definiše osvetljenost površine udaljene za r od tačkastog (ili veoma udaljenog) izvora svetlosti, pri čemu normala na površinu zaklapa ugao α sa pravcem svetlosti:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$



- 5. **Emisiona sposobnost** (emitancija) R je veličina fluksa svetlosti koju emituje jedinična površina svetlosnog izvora:

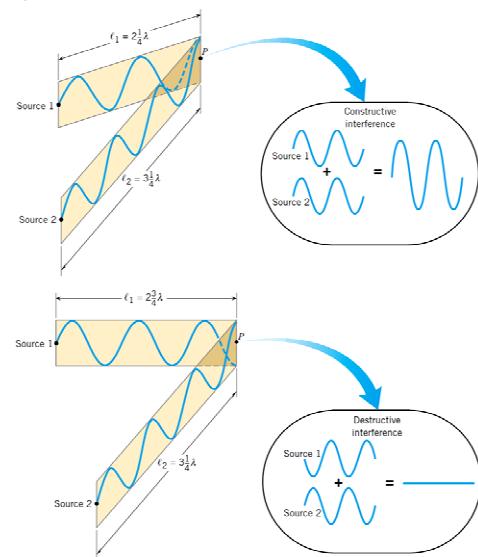
$$R = \frac{d\Phi_{em}}{dS} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

- Emitovanje vrše primarni (sopstvena energija) i sekundarni izvori (refleksija ili transparencija).

$$R = rE \quad R = \tau E \quad \begin{aligned} r = 1, \tau = 0 & - \text{idealno belo telo} \\ r = 0, \tau = 0 & - \text{idealno crno telo} \\ r = 0, \tau = 1 & - \text{idealno providno telo} \end{aligned} \quad 371$$

Talasna optika. Talasna svojstva svetlosti. Interferencija svetlosti.

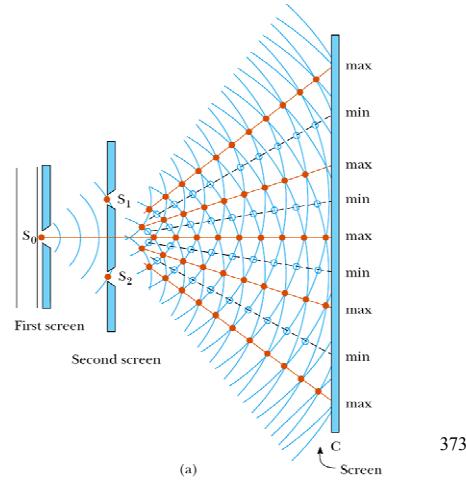
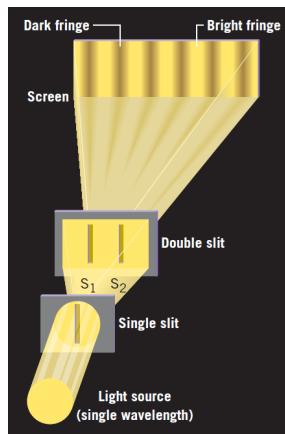
- Analogno mehaničkim talasima, i kod elektromagnetnih talasa dolazi do slaganja, **interferencije** što ima za posledicu **pojačanje** ili **slabljenje** njihovog intenziteta.
- Za ostvarivanje interferencije talasa koji dolaze iz dva izvora, neophodno je da su talasi:
 - **koherentni** – kod njih je **razlika u fazi oscilovanja konstantna**, tj. ne menja se tokom vremena;
 - monohromatski (iste talasne dužine).
- Laseri su izvori koherentne svetlosti, a fluorescentne ili sijalice sa usijanim vlaknom nekoherentne svetlosti.



372

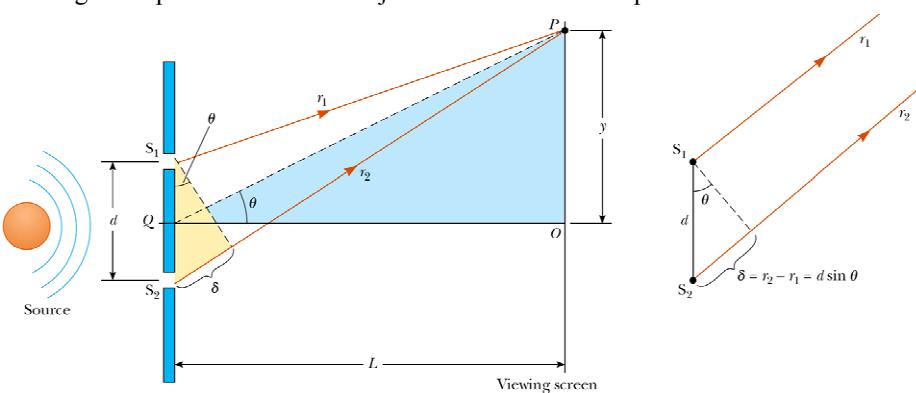
Interferencija svetlosti.

- **Tomas Jang** (1801.) je izveo eksperiment sa interferencijom monohromatske svetlosti koja prolazi kroz dva bliska proreza – dokaz talasne prirode svetlosti.
- Prorezni, sa jedne strane obasjani svetlošću iz jednog izvora, predstavljaju **dva izvora** koherentne svetlosti. Na zaklonu se formira slika od naizmeničnih svetlih i tamnih pruga.



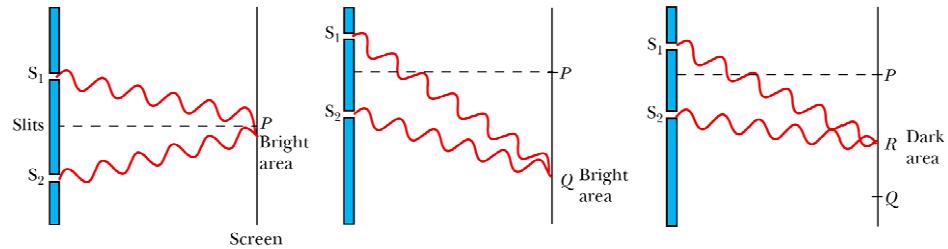
Interferencija svetlosti.

- Jangov eksperiment interferencije svetlosti na dva uska proresa.



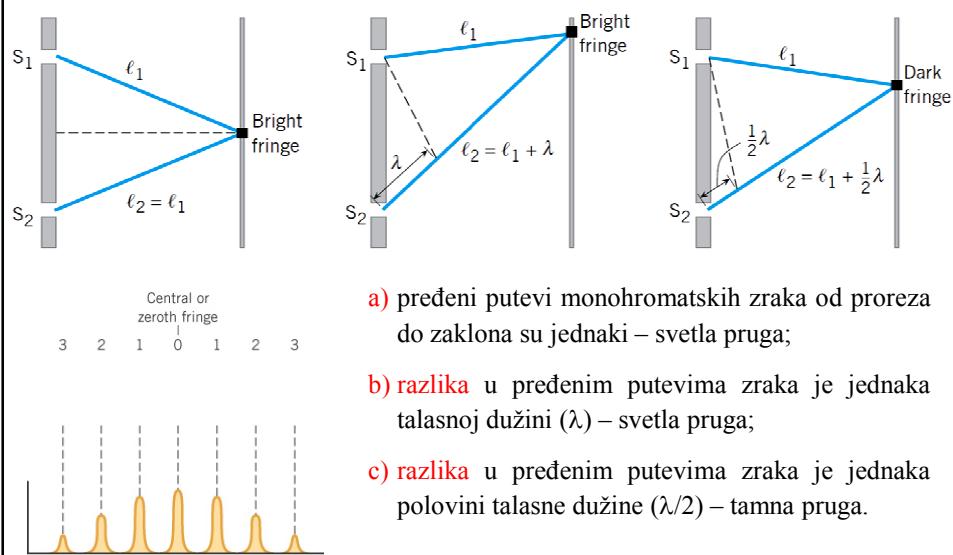
Interferencija svetlosti.

- Rezultati interferencije



375

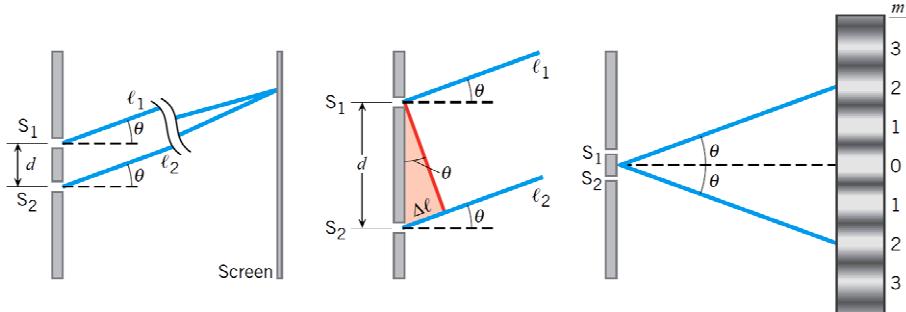
Interferencija svetlosti



376

Interferencija svetlosti

- Pod pretpostavkom da je zaklon dovoljno daleko u poređenju sa međusobnim rastojanjem proreza, mogu se definisati **uslovi** za pojavu svetlih i tamnih pruga na određenom mestu na zaklonu.



$$\delta \equiv \Delta\ell = d \sin \theta = \begin{cases} k\lambda & k = 0, 1, 2, \dots \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

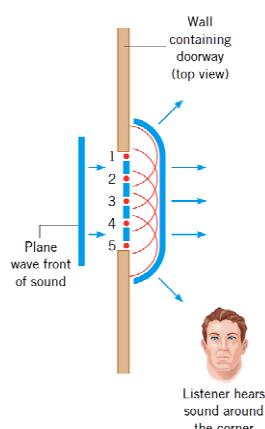
svetla pruga
(konstruktivna interferencija)

tamna pruga
(destruktivna interferencija)

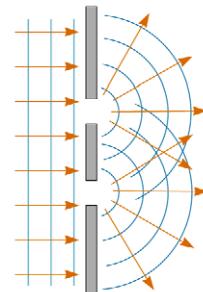
377

Difrakcija svetlosti

- Difrakcija** svetlosti je pojava "savijanja", skretanja svetlosti sa pravolinjskog puta na **malim otvorima** (pukotinama) – reda talasne dužine – ili **oštrim ivicama**, **bez promene materijalne sredine** kroz koju prolazi.



- Svetle i tamne pruge na zaklonu (mogu biti i obojene, ako je svetlost polihromatska) posledica su **interferencije** koja se dešava **nakon** prolaska svetlosti kroz pukotinu.
- Ako su na putu od izvora do zeklona svetlosni zraci **parallelni**, reč je o difrakciji **Fraunhoferovog** tipa.
- Ako su zraci konvergentni ili divergentni (dolaze pod nekim uglom), reč je o difrakciji **Frenelovog** tipa.

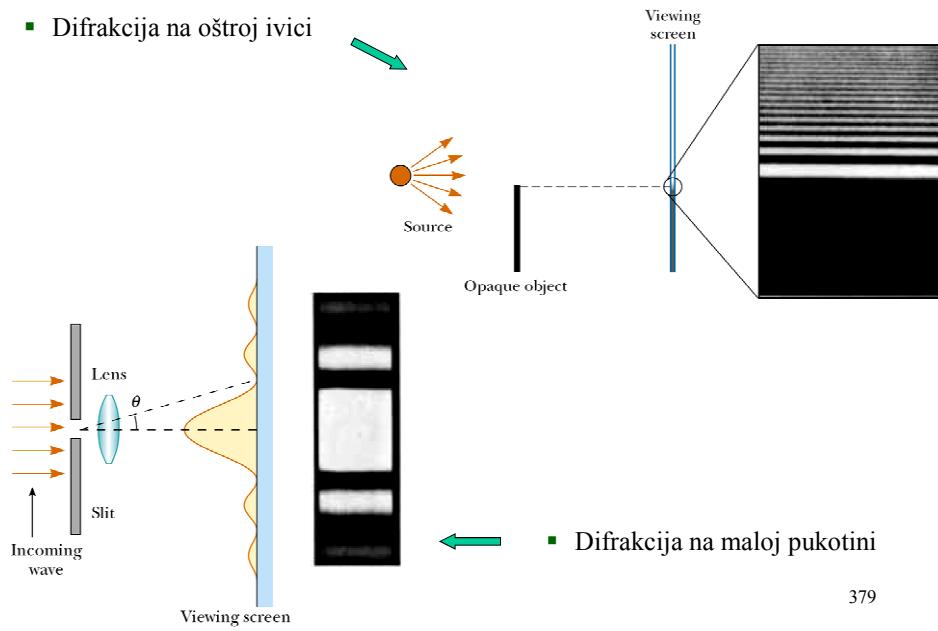


difrakcija zvučnih (mehaničkih) talasa

378

Difrakcija svetlosti

- Difrakcija na oštroj ivici

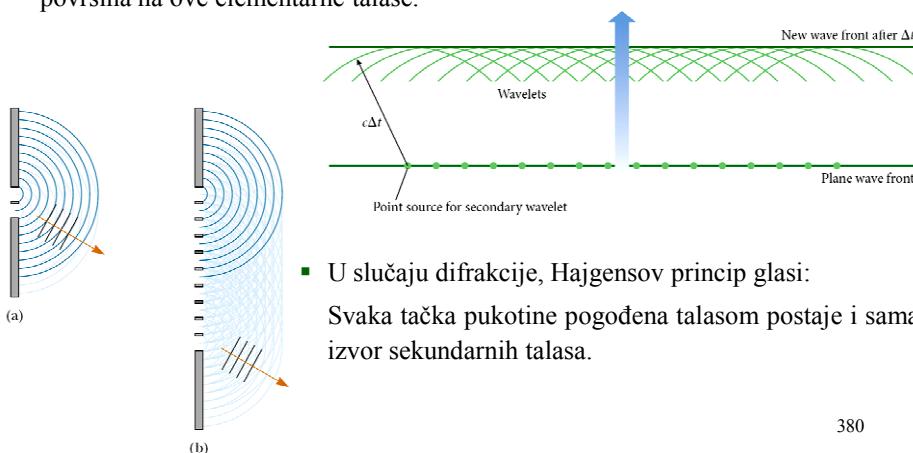


379

Difrakcija svetlosti

- Pojava difrakcije se može objasniti pomoću **Hajgensovog principa**:

Sve tačke talasnog fronta su novi (tačkasti) izvori elementarnih sekundarnih (sfenih) talasa, koji se dalje prostiru kroz materijalnu sredinu brzinom karakterističnom za nju. Posle izvesnog intervala vremena, novi talasni front je tangentna površina na ove elementarne talase.

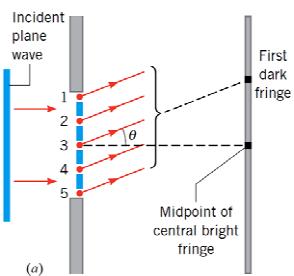


- U slučaju difrakcije, Hajgensov princip glasi:

Svaka tačka pukotine pogodjena talasom postaje i sama izvor sekundarnih talasa.

380

Difrakcija svetlosti na jednoj pukotini



- Talasi koji prolaze kroz pukotinu (šire se u svim pravcima iza pukotine) su koherentni i kao rezultat **interferencije**, na zaklonu se javlja niz svetlih i tamnih pruga.

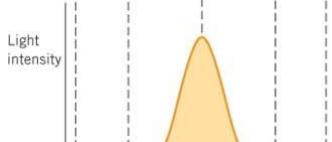
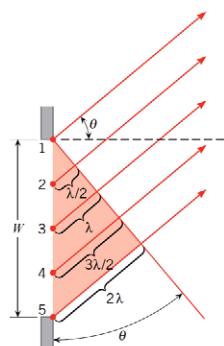
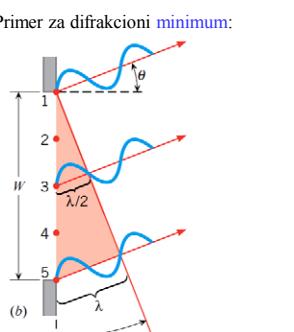
$$w \sin \theta = k\lambda \quad k = 1, 2, \dots$$

$$w \sin \theta = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, \dots$$

difrakcioni **minimum**
(tamna pruga)

difrakcioni **maksimum**
(svetla pruga)

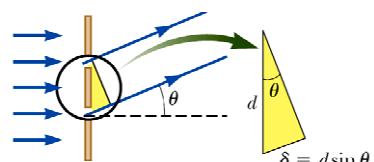
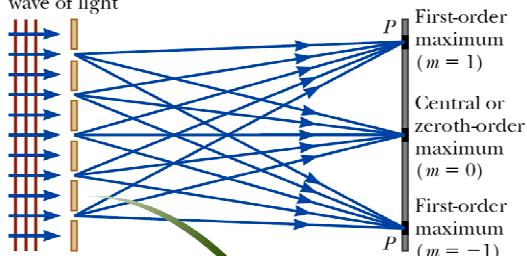
Primer za difrakcioni **minimum**:



Difrakcija svetlosti na optičkoj rešetki

- Niz paralelnih pukotina na malom i jednakom međusobnom rastojanju predstavlja **difrakcionu (optičku) rešetku**.

Incoming plane
wave of light



- Svaka pukotina (prorez, mesto propuštanja svetlosti) difrakcione rešetke ponaša se kao **novi izvor** koherentne svetlosti, koja se u prostoru iza rešetke prostire u svim pravcima i **interferira** – stvara karakterističnu sliku na zaklonu, sastavljenu od niza osvetljenih i zatamnjениh mesta (difrakcioni maksimumi i minimumi).

Difrakcija svetlosti na optičkoj rešetki

- Uslovi za dobijanje difrakcionih maksimuma i minimuma na zaklonu:

$$d \sin \theta = k\lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

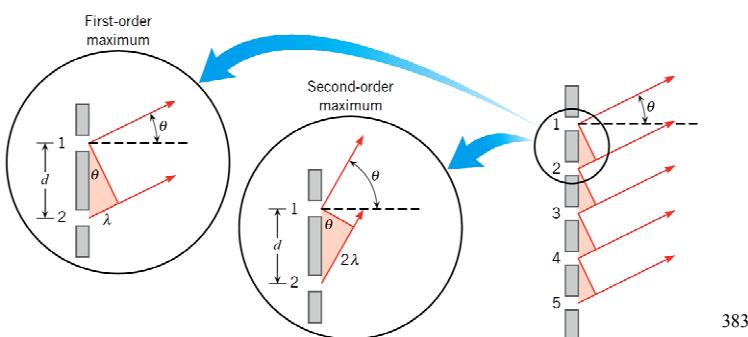
$$d \sin \theta = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

difrakcioni maksimum
(svetla pruga)

difrakcioni minimum
(tamna pruga)

d – konstanta difrakcione rešetke

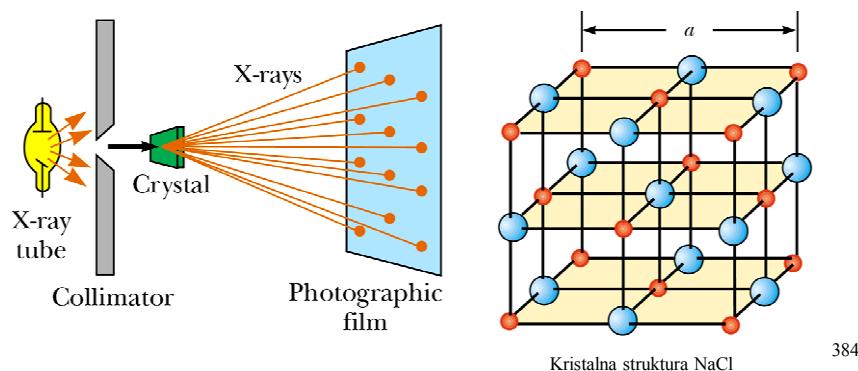
Primer za difrakcioni maksimum:



383

Difrakcija X-zraka

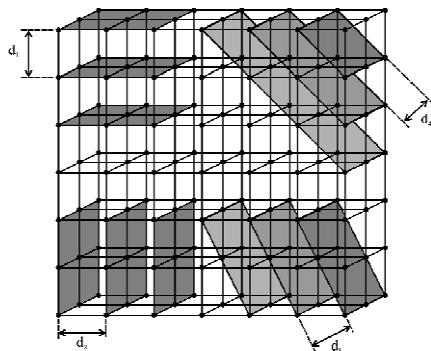
- Ako se X-zraci (elektromagnetični talasi male talasne dužine, reda 0.1 nm) propuste kroz kristalnu materiju (ima uređenu unutrašnju strukturu), dolazi do njihove **difrakcije**, odnosno **interferencije** propuštenih zraka koji padaju na zaklon.
- Pravilan raspored** difrakcionih maksimuma je posledica uređenosti strukture kristala i **karakterističan** je za svaki kristalni materijal, što omogućava njeno izučavanje i **identifikaciju** (kvalitativna analiza materijala).



384

Difrakcija X-zraka – Bragov zakon.

- **Bragov zakon** (sin i otac W.L. Bragg i W.H. Bragg *) – definiše **uslove** za nastanak **difrakcionih maksimuma** X-zraka (monohromatski, talasne dužine λ) na kristalnoj strukturi (čvrsta tela sa pravilnim unutrašnjim rasporedom atoma).
- X-zraci koji padaju na kristalnu (uređenu) strukturu reflektuju se (difraktuju) sa **različitim nizova** paralelnih **atomskih ravni**, pri čemu je rastojanje između ravnih jednog niza d_i različito od rastojanja za drugi niz ravnih d_j .



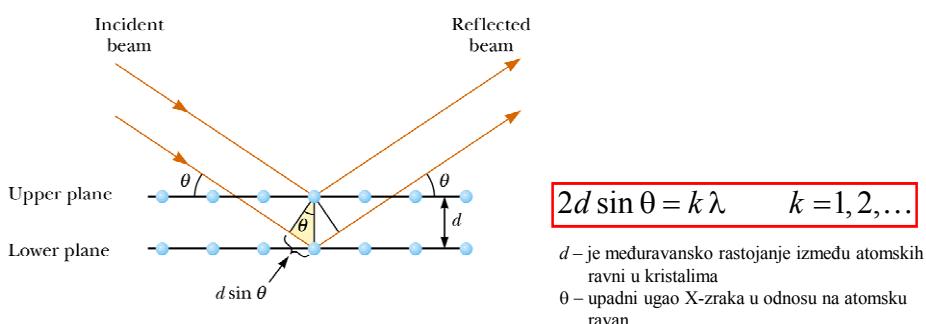
- Skup takvih rastojanja (d_1, d_2, \dots) je **karakterističan** za dati materijal na koji se X-zraci usmeravaju – može se iskoristiti za identifikaciju, tj. **kvalitativnu** analizu složenog ili smešte materijala.

* Viljem Lorens Brag i njegov otac Viljem Henri Brag su podelili Nobelovu nagradu za fiziku 1915. godine za otkriće difrakcije X-zraka na kristalima.

385

Difrakcija X-zraka – Bragov zakon

- V.L. i V.H. Brag su sveli pojavu difrakcije monohromatskih X-zraka na kristalima na refleksiju od paralelnih atomskih ravnih.

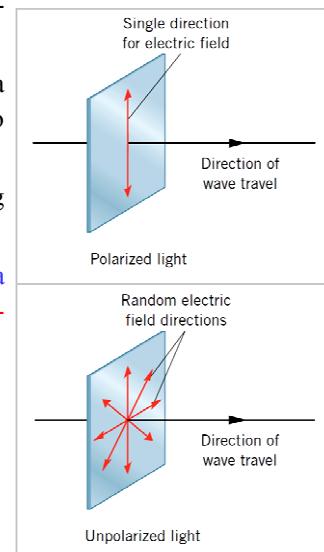
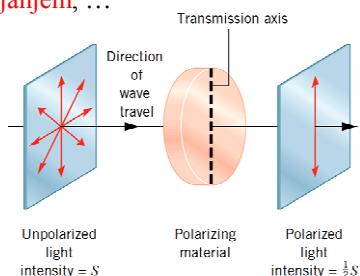


- Kada se utvrdi pod kojim upadnim uglovima ($\theta_1, \theta_2, \dots$) se dobijaju difrakcioni maksimumi **monohromatskih** X-zraka, može se odrediti skup rastojanja (d_1, d_2, \dots) između **atomskih ravnih** u kristalima, koji su specifični za svaki kristalni materijal → **kvalitativna** analiza.

386

Polarizacija svetlosti

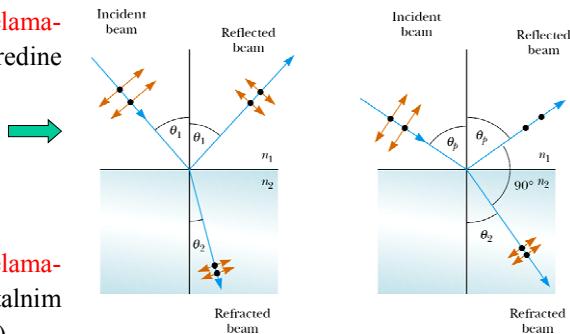
- Polarizacija je dokaz **transverzalne** prirode elektromagnetičnih talasa.
- Polarizovana svetlost** je okarakterisana oscilacijama vektora električnog polja (**svetlosni vektor**) u samo jednoj ravni.
- Ravan normalna na ravan oscilovanja svetlosnog vektora je **ravan polarizacije**.
- Polarizacija svetlosti se dobija u procesima: **odbijanja** (prelamanja), **dvojnog prelamanja**, **selektivne apsorpcije rasejanjem**, ...



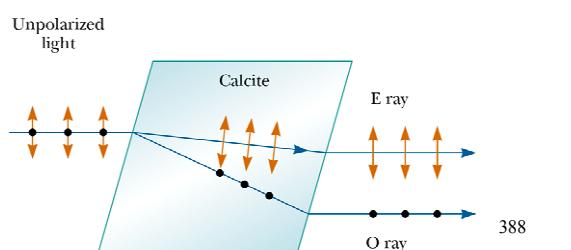
387

Polarizacija svetlosti

- Polarizacija pri **odbijanju (prelamanju)** svetlosti na granici dve sredine različitih indeksa prelamanja.



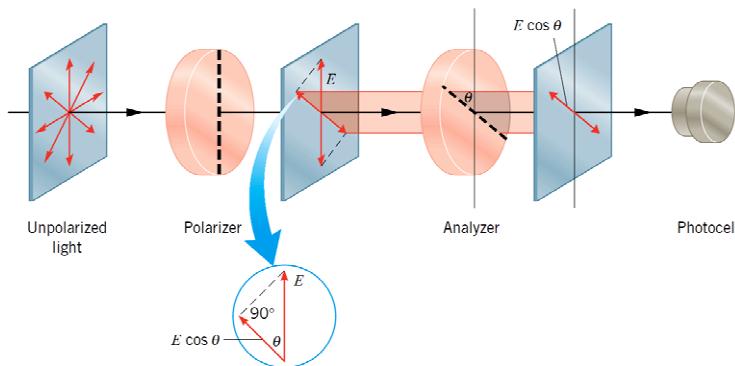
- Polarizacija pri **dvojnom prelamanju** svetlosti na nekim kristalnim supstancama (kalcit, kvarc, ...)



Polarizacija svetlosti

- Optički sistem koji polarizuje svetlost je polarizator, a koji analizira svetlost analizator.
- Malusov zakon:** Intenzitet propuštene polarizovane svetlosti kroz analizator zavisi od ugla između osa polarizatora i analizatora:

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



389