

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje

Razlikovni studiji (910/920/930/940/950)

Fizika 2

Predavanje 8

Fizikalna optika

Dr. sc. Damir Lelas

(Damir.Lelas@fesb.hr,

damir.lelas@cern.ch)

Danas ćemo raditi:

(V. Henč-Bartolić i P. Kulišić: "Valovi i optika", poglavlje 6)

❑ Interferencija valova svjetlosti

- Uvjeti za nastanak konstruktivne i destruktivne interferencije
- Youngov pokus

❑ Ogib ili difrakcija svjetlosti

- Ogib na jednoj pukotini
- Optička rešetka

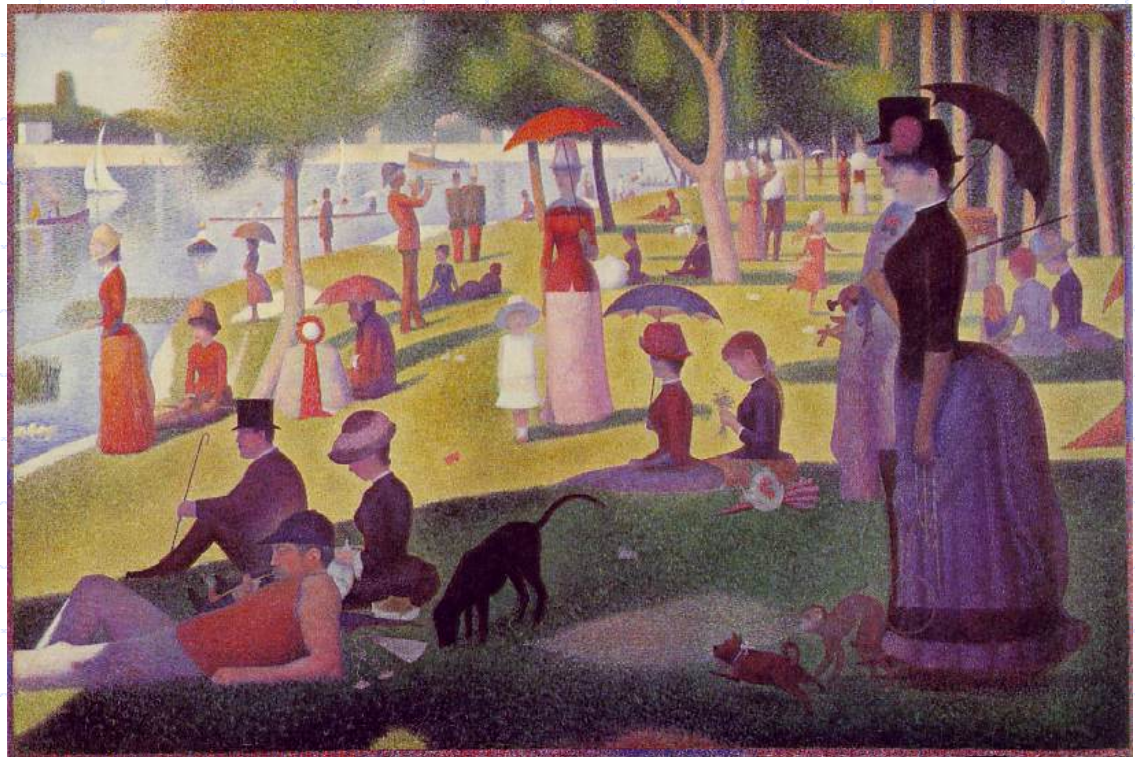
❑ Holografija

Priča

Georges Seurat nije naslikao sliku "*Nedjeljno poslijepodne na otoku La Grande Jatte*" uobičajenim potezima kista, već nanoseći ogroman broj malih obojenih točkica, stil koji je poznat kao *pointilizam*. Točkice su vidljive ako se stoji dovoljno blizu slike, ali kako se odmičemo od nje stapaju se i postaju nerazlučive. Štoviše, boja koju vidimo mijenja se kako se pomičemo od slike -
- to je pravi razlog zašto je Seurat slikao koristeći točkice.

Što uzrokuje ovakvu promjenu boje?

Odgovor ćemo saznati na današnjem predavanju.



Interferencija, konstruktivna i destruktivna (1)

- Dio optike koji uzima u obzir valnu prirodu svjetlosti naziva se **fizikalna optika**.
- **Interferencija svjetlosti** je pojava preklapanja dvaju ili više valova svjetlosti.
- Primjer: interferencija dvaju izvora (s jakostima električnog polja elektromagnetskog vala E_1 i E_2 , a valovi se šire u smjeru osi z , u sredstvu indeksa loma n):

$$E = E_1 + E_2 = E_{10} \sin(\omega t - nkr_1) + E_{20} \sin(\omega t - nkr_2)$$

uz $E_{10} = E_{20} = E_0$; $nk(r_2 - r_1) = \varphi$; $nk(r_1 + r_2) = \alpha$

$$\Rightarrow E = 2E_0 \cos \frac{\varphi}{2} \sin(\omega t - \alpha) = E_{012} \sin(\omega t - \alpha)$$

- Uvjet za **svjetlo** (konstruktivna interferencija) ima oblik:

$$\cos \frac{\varphi}{2} = \pm 1 \Rightarrow \frac{\varphi}{2} = 0, \pi, 2\pi, \dots$$

$$1/2 \cdot nk(r_2 - r_1) = m\pi, \text{ uz } k = 2\pi / \lambda, \text{ slijedi :}$$

Optička razlika putova

$$n(r_2 - r_1) = m\lambda$$

- Uvjet za **tamu** (destruktivna interferencija) je:

$$m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

$$\cos \frac{\varphi}{2} = 0 \Rightarrow \frac{\varphi}{2} = \pi/2, 3/2\pi, \dots$$

$$1/2 \cdot nk(r_2 - r_1) = \pi(2m+1)/2, \text{ uz } k = 2\pi / \lambda, \text{ slijedi :}$$

$$n(r_2 - r_1) = (2m+1) \frac{\lambda}{2}$$

Interferencija, konstruktivna i destruktivna (2)

- ❑ Dva koherentna linearno polarizirana vala s okomitim ravninama polarizacije ne mogu interferirati.
- ❑ **Intenzitet** (srednja vrijednost Poyntingova vektora) u danoj točki prostora gdje se sastaju dva koherentna vala je dan izrazom:

$$I = P = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_{012}^2, \text{ pa za promatrani slučaj,}$$

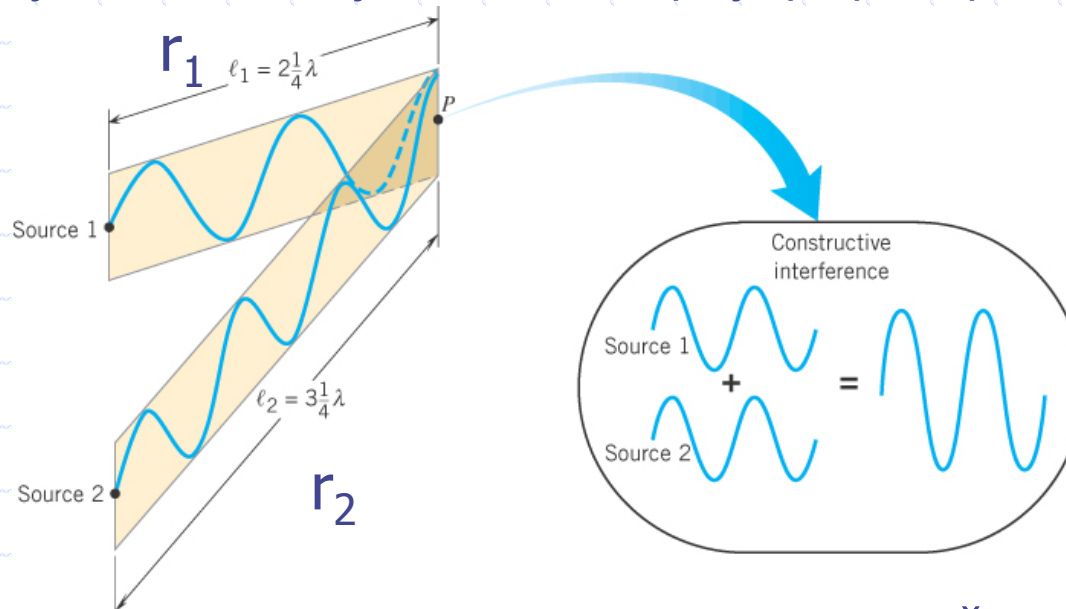
$$E_{012} = 2E_0 \cos \frac{\varphi}{2}, \text{ uz } E_{10} = E_{20} = E_0, \text{ slijedi :}$$

$$P = 2 \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_0^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

- ❑ Interferencija je moguća samo onda kad smjerovi polarizacije električnih polja nisu međusobno okomiti.

Interferencija elektromagnetskih valova (1)

Kad se dva ili više valova svjetlosti nađu u istoj točki prostora, njihova električna polja se kombiniraju u rezultatno polje po principu superpozicije.

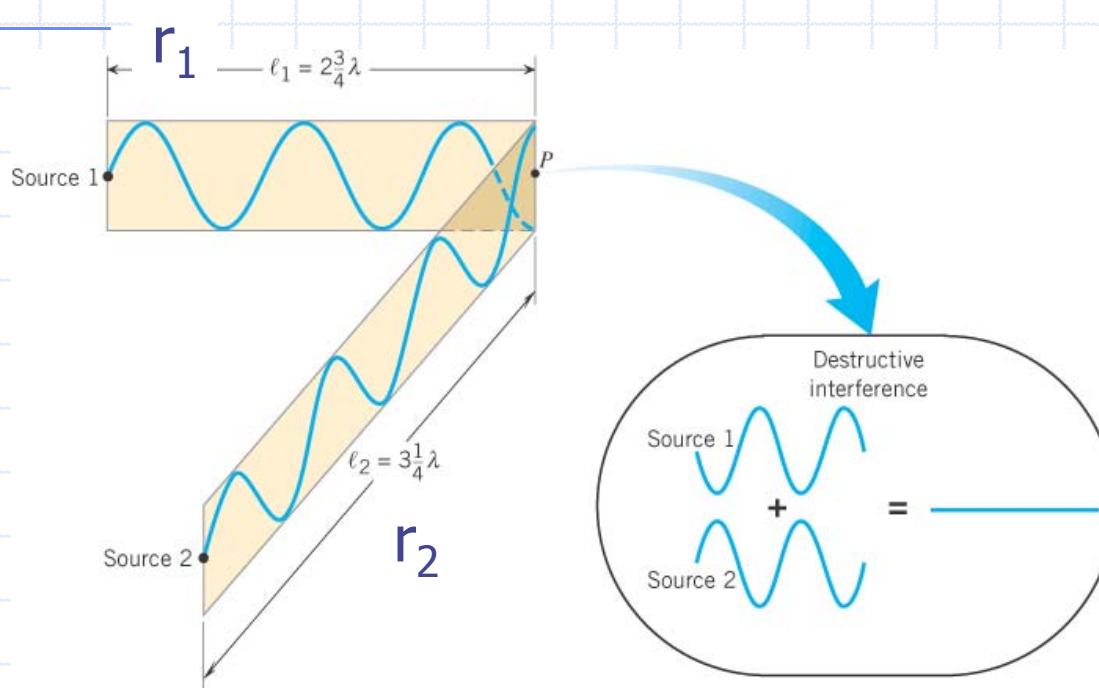


Valovi emitirani iz izvora 1 i 2 su u fazi, sastaju se u točki P i interferiraju, ovisno o razlici nastaje konstruktivna/destruktivna interferencija.

Konstruktivna interferencija se javlja ako je razlika u hodu:

$$n(r_2 - r_1) = m\lambda \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Interferencija elektromagnetskih valova (2)



Valovi emitirani iz izvora 1 i 2 su u fazi, sastaju se u točki P i interferiraju, ovisno o razlici nastaje konstruktivna/destruktivna interferencija.

Destruktivna interferencija se javlja ako je razlika u hodu:

$$n(r_2 - r_1) = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Uvjet da efekti interferencije svjetlosti budu uočljivi

- ❑ Efekte interferencije valova svjetlosti moguće je uočiti ako su ispunjena dva uvjeta:

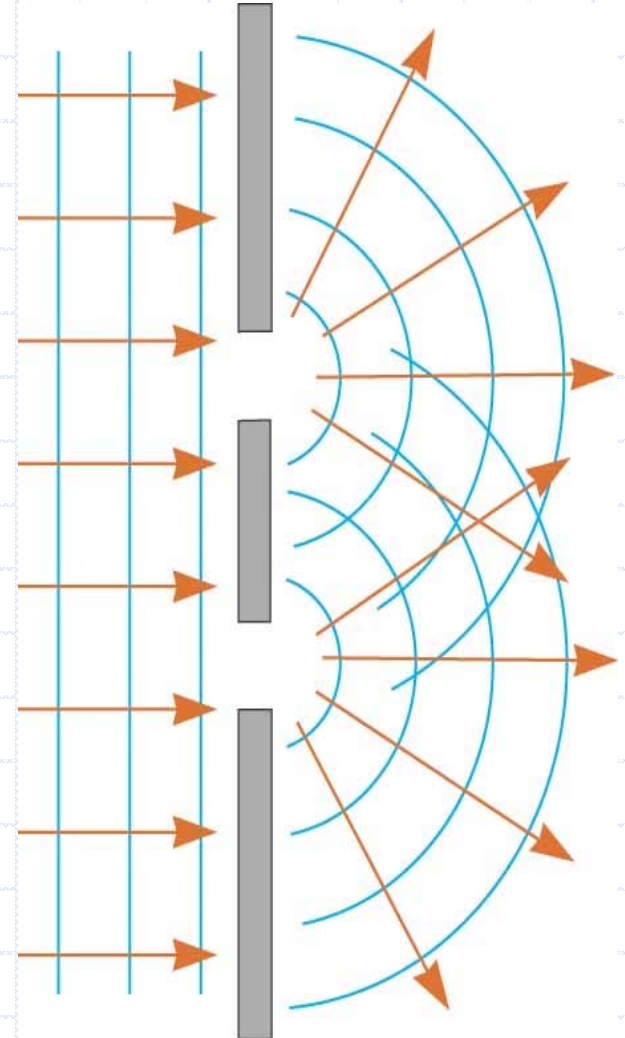
1) Izvori moraju biti **koherentni**:

- ♦ Razlika u fazi između valova iz dva izvora svjetla je konstantna u vremenu (stalna razlika u fazi)

2) Izvori moraju biti **monokromatski**

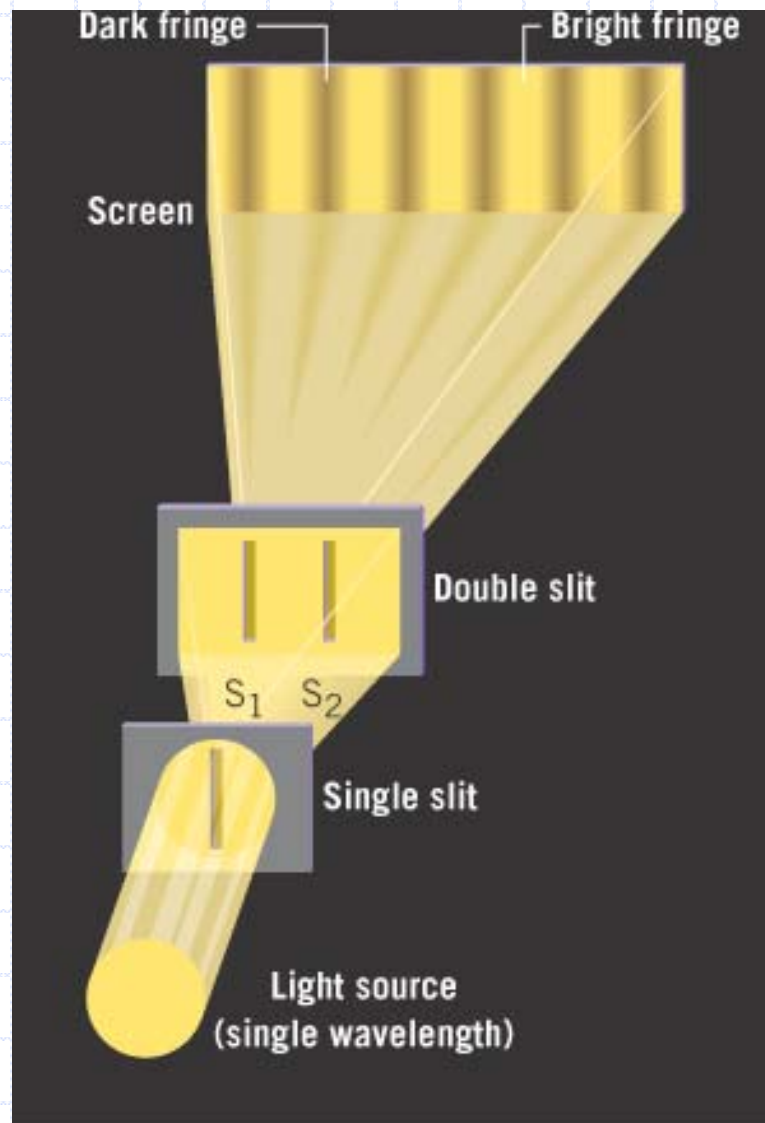
- ♦ monokromatski – izvori emitiraju svjetlost iste frekvencije

- ❑ Svjetlost iz monokromatskog izvora osvjetli zazor s dvije pukotine
- ❑ Svjetlost koja se širi iz ove dvije pukotine je koherentna jer pukotine u biti služe da se jedan snop svjetlosti rascijepi u dva.
- ❑ Ovo je uobičajena metoda dobivanja dva monokromatska izvora.



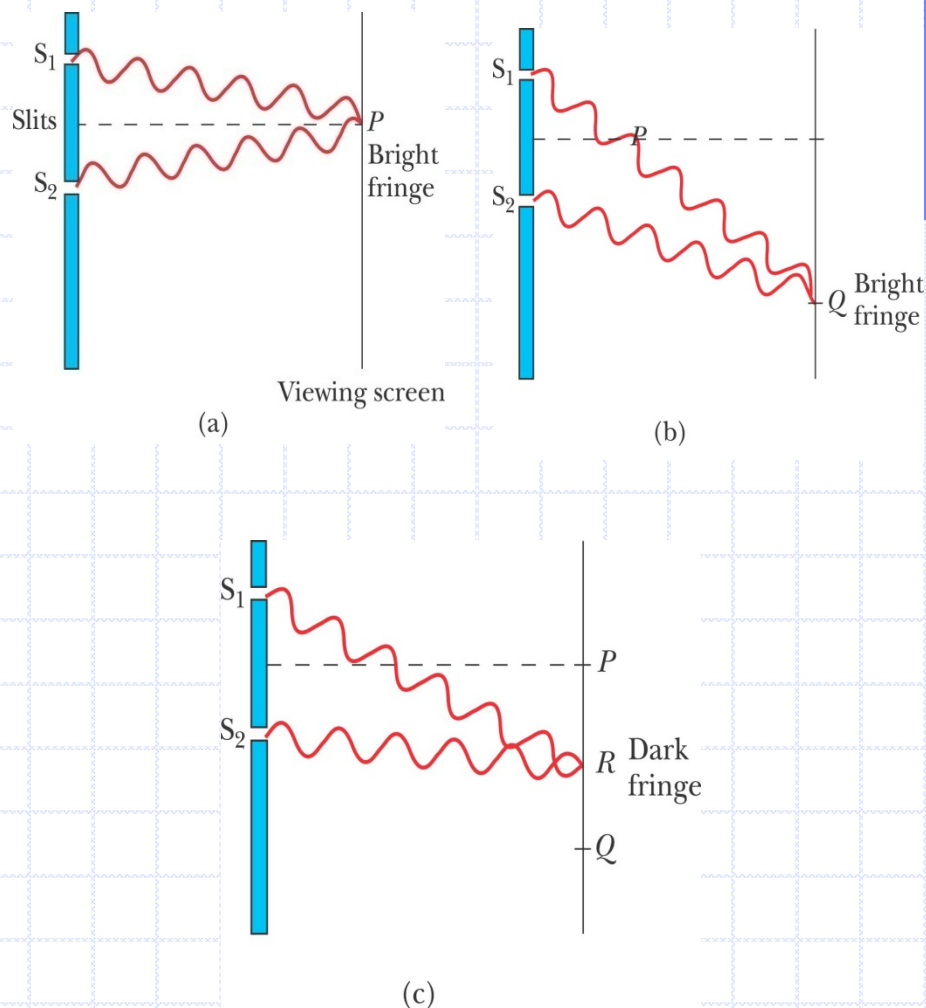
Youngov eksperiment s dvije pukotine

- ❑ Godine 1801., Thomas Young je prvi demonstrirao interferenciju valova svjetlosti.
- ❑ Dvije uske pukotine S_1 i S_2 djeluju kao dva koherentna izvora svjetlosti.
- ❑ Interferencijski uzorak čine jasno vidljivi niz svijetlih i tamnih pruga.
- ❑ Svijetle pruge ukazuju na pojavu konstruktivne interferencije.
- ❑ Tamne pruge rezultat su destruktivne interferencije.



Kako nastaju tamne i svijetle pruge interferencijskog uzorka

- ❑ Konstruktivna interferencija se javlja u točki P.
- ❑ Valovi iz izvora S_1 i S_2 prevaljuju jednake udaljenosti do točke P
 - u točki P valovi se preklapaju i u fazi su
- ❑ Kao rezultat, nastaje konstruktivna interferencija, te se uočava svijetla pruga na zastoru.
- ❑ Uvjeti konstruktivne interferencije ispunjeni su i u točki Q, val iz izvora S_1 ima duži put za jednu valnu duljinu u odnosu na val iz izvora S_2 , do iste točke Q. **Svijetla pruga se javlja na zastoru.**
- ❑ U točki R ispunjeni su uvjeti destruktivne interferencije.
- ❑ U točki R valovi su pomaknuti u fazi za π , odnosno val iz izvora S_1 do točke R ima duži put za pola valne duljine u odnosu na val iz izvora S_2 do iste točke R. **Nastaje tamna pruga na zastoru.**

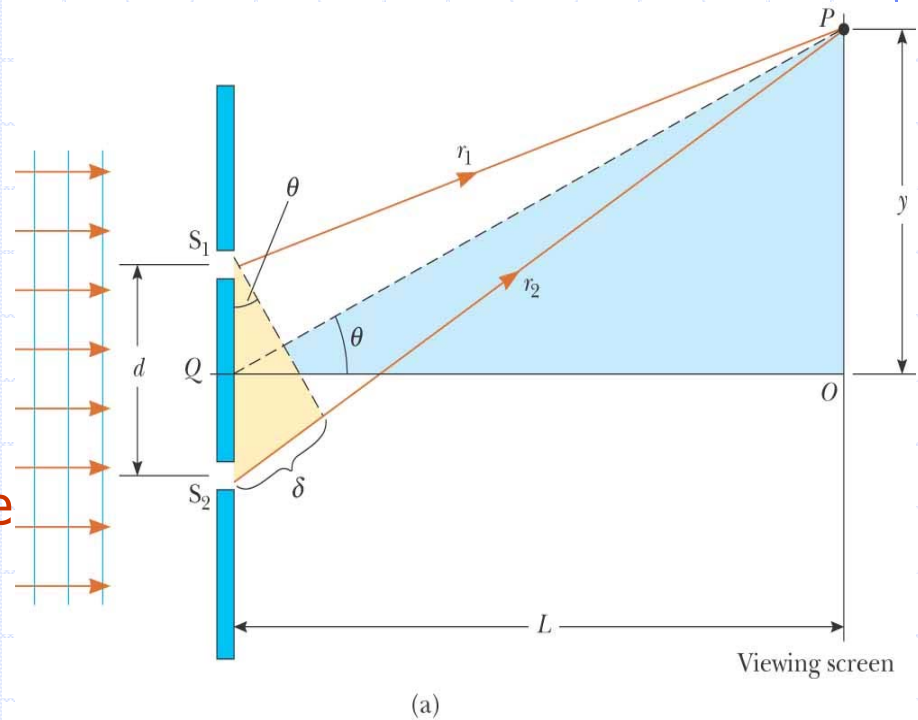


Youngov eksperiment s dvije pukotine (2)

- Optička razlika u hodu δ , valova koji se širi iz jedne i druge pukotine je:

- $$\delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta$$

- Ovo vrijedi uz pretpostavku da su putovi paralelni.
- Ovo nije egzaktno točno, ali je dobra aproksimacija kad je $L \gg d$ (udaljenost od pukotine do zastora znatno veća od razmaka između pukotina).

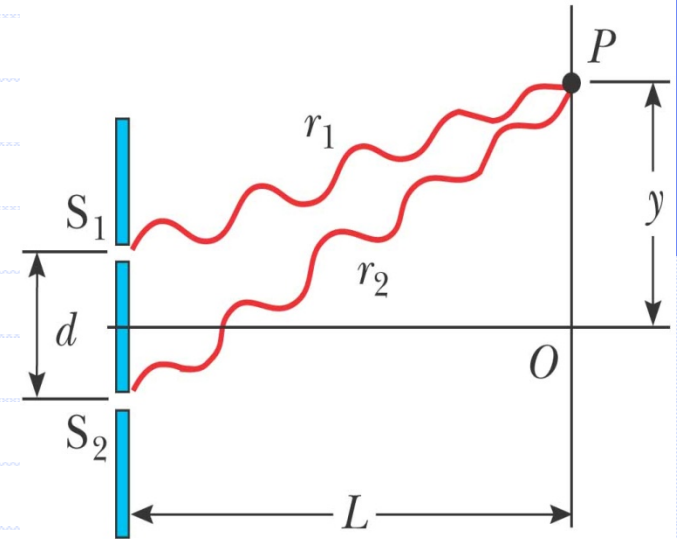


Uvjeti konstruktivne i destruktivne interferencije

- ❑ **Konstruktivna interferencija: razlika u hodu mora biti ili jednaka nuli ili cijelom broju valnih duljina:**
- ❑ **$d \sin \theta_{\text{svjetlo}} = m\lambda$**
 - $m = 0, 1, 2, \dots$
 - m je **redni broj interferencijske pruge**
 - $m = 0$, *nulti maksimum*
 - ◆ kad je $m = 1$, onda govorimo o interferencijskoj pruzi prvog reda.
- ❑ **Destruktivna interferencija se javlja kad je razliku u hodu jednak neparnom broju valnih poluduljina:**
- ❑ **$d \sin \theta_{\text{tama}} = \lambda (2m + 1)/2$**
 - $m = 0, 1, 2, \dots$

Položaj interferencijskih maksimuma i minimuma

- ❑ Položaj interferencijskih pruga najzgodnije je mjeriti udaljenošću od interferencijskog maksimuma nultog reda
- ❑ Pretpostavljamo:
 - $L \gg d$
 - $d \gg \lambda$
- ❑ Temeljem gornje pretpostavke prihvatljiva je aproksimacija:
 - θ je dovoljno mali kut, da vrijedi $\tan \theta \sim \sin \theta$
- ❑ $y = L \tan \theta \approx L \sin \theta$



Položaj interferencijskih maksimuma:

$$y_{\text{svjetlo}} = \frac{m\lambda}{d} L \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Položaj interferencijskih minimuma:

$$y_{\text{tama}} = \frac{\lambda L}{d} \left(m + \frac{1}{2}\right) \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Youngov pokus: Razdioba intenziteta

- ❑ Svijetle interferencijske pruge nemaju jasno izražene rubove
 - Jednadžbe koje smo izveli daju samo položaj centara svijetlih i tamnih interferencijskih pruga.
- ❑ Razdioba svjetlosnog intenziteta u interferencijskom uzorku s dvije pukotine može se izračunati.
- ❑ Pretpostavimo:
 - dvije pukotine predstavljaju dva koherentna harmonijska izvora elektromagnetskog vala
 - Valovi imaju istu frekvenciju, ω
 - Valovi imaju konstantnu razliku u fazi, φ
- ❑ Ukupna amplituda električnog polja u bilo kojoj točki na zastoru je dana superpozicijom električnih polja dvaju valova koji se šire iz dva izvora (pukotina).

Fazna razlika i razlika u hodu

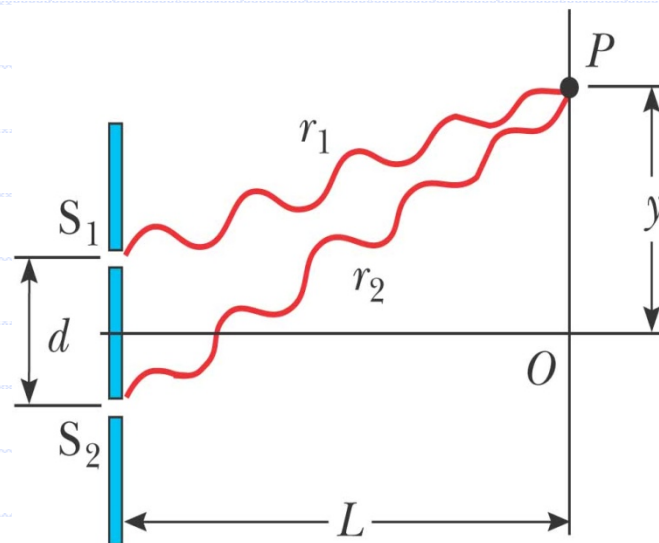
- Amplituda pojedinog vala u točki P je:

- $E_1 = E_0 \sin \omega t$
- $E_2 = E_0 \sin(\omega t + \varphi)$
- Oba vala imaju istu maksimalnu amplitudu E_0

- Fazna razlika između dvaju valova u točki P ovisi o njihovoj razlici u hodu:

- $\delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta$

- Razlika u hodu iznosa λ odgovara faznoj razlici iznosa 2π .
- Razlika u hodu iznosa δ je dio od λ kao što je fazna razlika φ dio od 2π .



©2004 Thomson - Brooks/Cole

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\varphi}{2\pi} \rightarrow \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

Youngov pokus – intenzitet svjetla

- Iznos resultantnog električnog polja u točki P dobije se primjenom principa superpozicije:

- $E_P = E_1 + E_2 = E_0 [\sin \omega t + \sin(\omega t + \varphi)] \quad \varphi = (2\pi/\lambda)d \sin \theta$

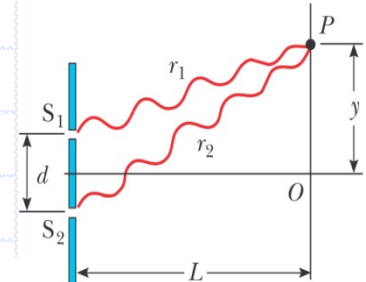
- To se može zapisati u obliku:

$$E_P = 2E_0 \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right)$$

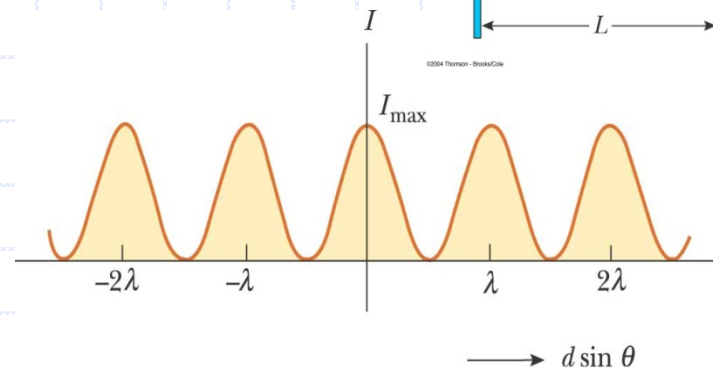
- Intenzitet svjetla je proporcionalan kvadratu resultantne amplitude električnog polja u toj točki P.

$$I = I_{\max} \cos^2\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right) \approx I_{\max} \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} y\right)$$

$$y = L \tan \theta \approx L \sin \theta$$



- $I_{\max} = 4E_0^2$
- Interferencijski uzorak čine jednako razmaknute pruge jednakih intenziteta
- Ovo vrijedi samo ako je $L \gg d$ i za male kutove θ



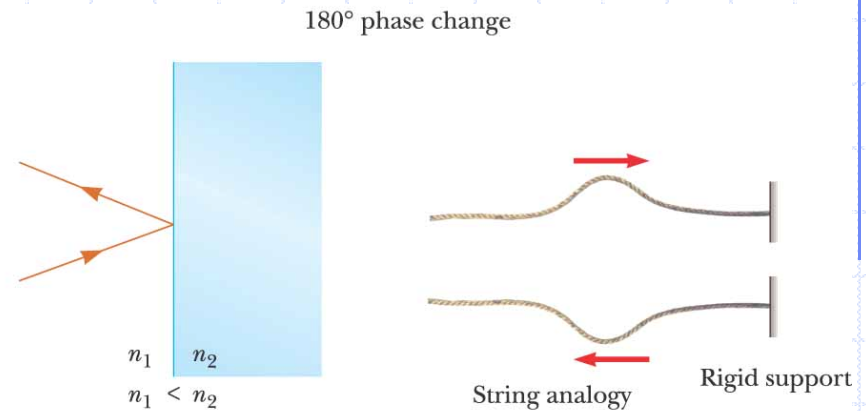
Skok u fazi pri refleksiji

- ❑ Elektromagnetski val doživljava skok u fazi za π (180°) pri refleksiji na optički gušćem sredstvu

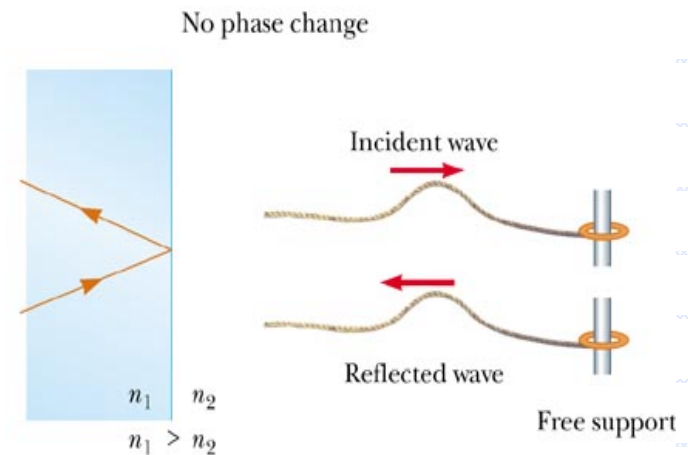
- slično kao kod vala na žici koji se reflektira na čvrstom kraju.

- ❑ Pri refleksiji na sredstvu manjeg indeksa loma (optički rjeđem sredstvu) nema skoka u fazi kod elektromagnetskog vala

- slično kao kad se val na žici reflektira na slobodnom kraju.

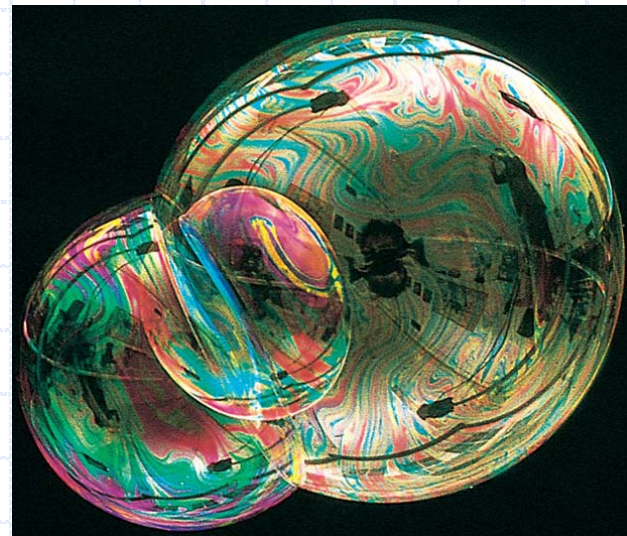


(a)



Interferencija na tankim listićima (1)

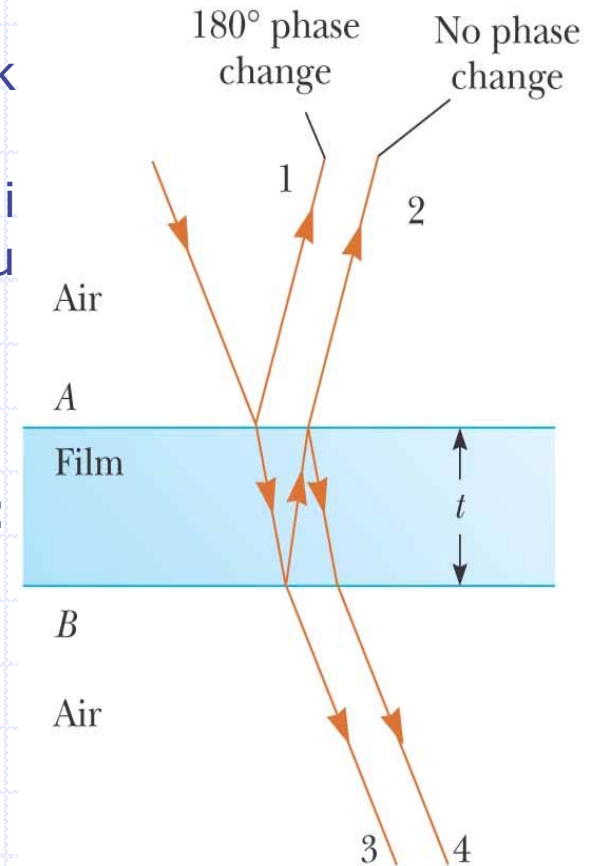
- ❑ Interferencijski efekti se često uočavaju na tankim filmovima tekućina:
 - Primjer takve interferencije su: mjehurići sapunice i film ulja na vodi
- ❑ Različite boje koje se uočavaju kad svjetlost pada na sapunicu ili tanki film ulja na vodi, nastaju interferencijom valova koji se reflektiraju na dvije površine tankog filma (sloja)
- ❑ O čemu treba voditi računa:
 - Elektromagnetski val koji se širi iz sredstva indeksa loma n_1 u sredstvo indeksa loma n_2 doživljava skok u fazi pri refleksiji za 180° kad je $n_2 > n_1$
 - ◆ Nema skoka u fazi kad je $n_2 < n_1$
 - Valna duljina λ_n u sredstvu indeksa loma n iznosi $\lambda_n = \lambda / n$, gdje je λ valna duljina u vakuumu



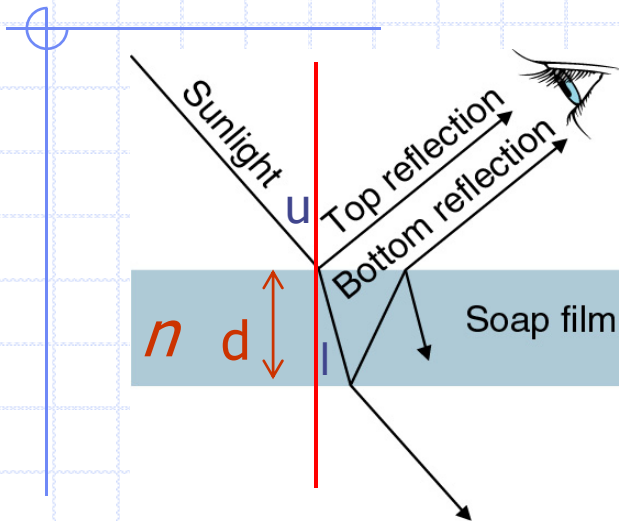
© 2004 Thomson - Brooks/Cole

Interferencija na tankim listićima (2)

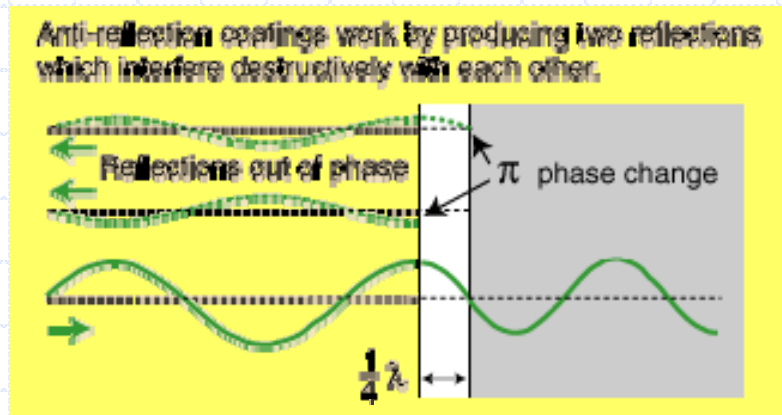
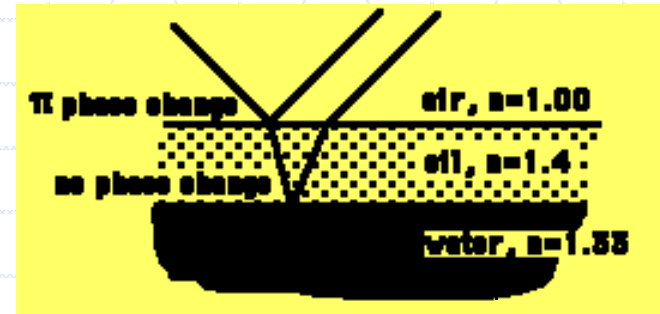
- ❑ Pretpostavimo da su zrake svjetlosti gotovo okomite na dvije površine tankog filma (sloja)
- ❑ Zraka 1 se reflektira na površini A i doživljava skok u fazi za 180° u odnosu na upadnu zraku.
- ❑ Zraka 2 se reflektira na donjoj površini filma (B) i ne doživljava skok u fazi u odnosu na upadnu zraku.
- ❑ Zraka 2 ima duži put za $2t$ prije nego se dvije zrake ponovo preklope.
- ❑ Uvjet za konstruktivnu interferenciju zraka 1 i 2 je:
 - $(2t)n = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (m = 0, 1, 2 \dots)$
 - ◆ U račun je uzeta razlika optičkih putova i skok u fazi 180° , n je indeks loma tankog filma.
- ❑ Uvjet za destruktivnu interferenciju
 - $(2t)n = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2 \dots)$



Interferencija na tankim listićima (3)



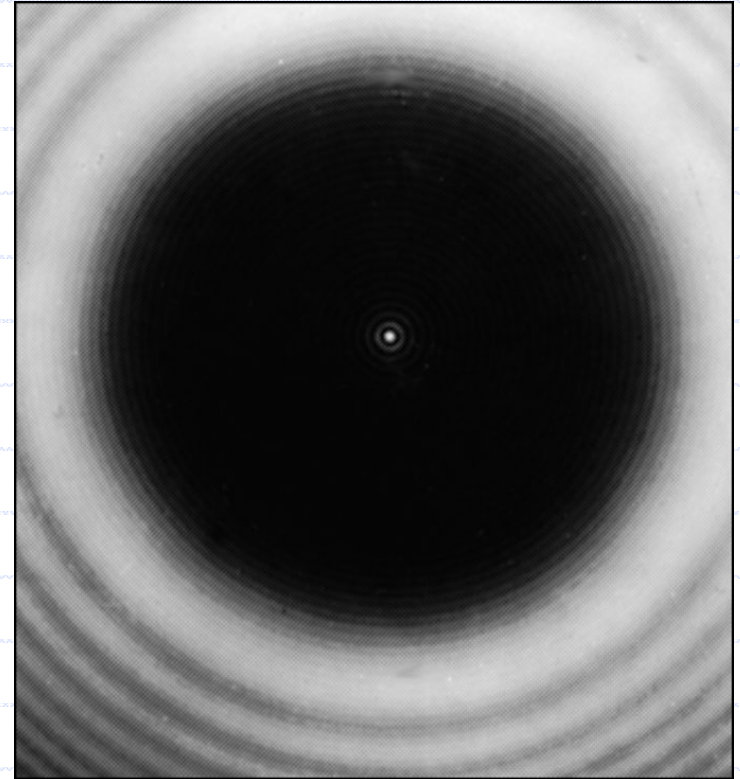
$$\delta = 2nd \cos l - \frac{\lambda}{2}$$



- ❑ Kad se tanki listić (npr. mjehurić sapunice) obasja bijelom svjetlošću nastaju interferentne pruge različitih boja koje sačinjavaju bijelu svjetlost.
- ❑ Za neke valne duljine (boje) interferencija reflektiranih zraka na gornjoj i donjoj površini će biti konstruktivna, a za neke destruktivna.
- ❑ Pogodnim odabirom indeksa loma (n) i debljine d tankog sloja mogu se napraviti antirefleksni, odnosno refleksni premazi.

Ogib, ogibna slika – na kružnoj prepreci

- ❑ Pri nailasku na pukotine ili prepreke malih dimenzija, može se uočiti odstupanje od pravocrtnog širenja svjetlosti, tu pojavu nazivamo ogib.
- ❑ Zagovarač geometrijske optike, Simeon Poisson, tvrdio je da ako je Augustin Fresnelova valna teorija ispravna da onda u sredini sjene koju stvara objekt kružnog oblika mora biti svijetla točka.
- ❑ Na Poissonovo zaprepaštenje, Dominique Arago je vrlo kratko nakon te njegove tvrdnje uočio svijetlu točku u sredini sjene.



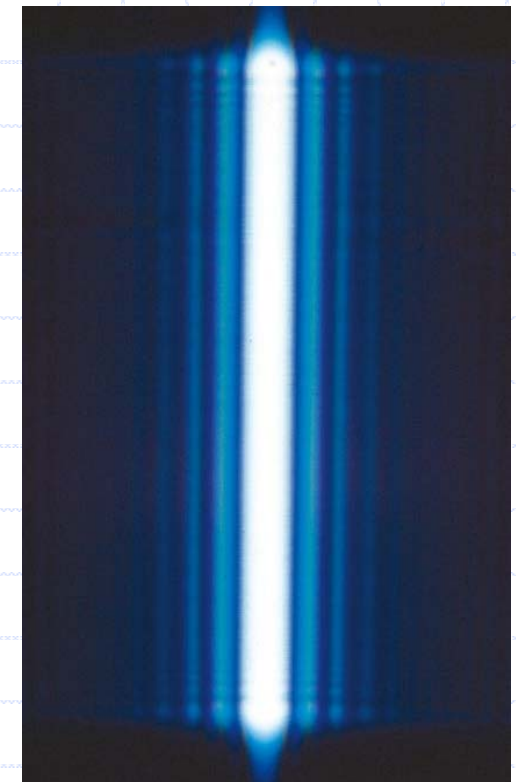
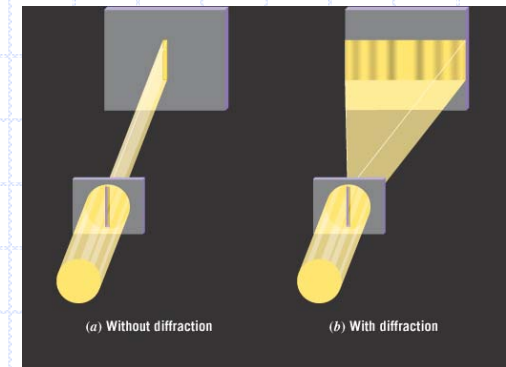
© 2004 Thomson - Brooks/Cole

Ogib

- ❑ Ogib je opća karakteristika svih valova.
- ❑ Ogib ili difrakcija se javlja kadgod se valna fronta deformira.
- ❑ Kad valna fronta svjetlosnog vala naiđe na prepreku deformira se i javlja se svjetlo i u području geometrijske sjene.
- ❑ Ogib se opaža kad su dimenzije prepreke ili pukotine usporedive s valnom duljinom.
- ❑ A. Fresnel prvi je objasnio pojavu ogiba dopunjujući Huygensov princip interferencijom elementarnih sekundarnih valova.
- ❑ Razlikujemo dvije vrste ogiba s obzirom na udaljenost izvora svjetlosti i zastora od pukotine na kojoj se događa ogib:
 - Fresnelov ogib: izvor svjetlosti i zastor na kojem se promatra ogib nalaze se na konačnoj udaljenosti od pukotine.
 - Fraunhoferov ogib: Izvor svjetlosti i zastor su jako daleko od pukotine, valne plohe su ravnine, a zrake svjetlosti su međusobno paralelne, granični slučaj Fresnelovog ogiba.
 - Nema nikakve fundamentalne fizikalne razlike između Fresnelovog i Fraunhoferovog ogiba, samo je matematički opis Fresnelovog ogiba složeniji.

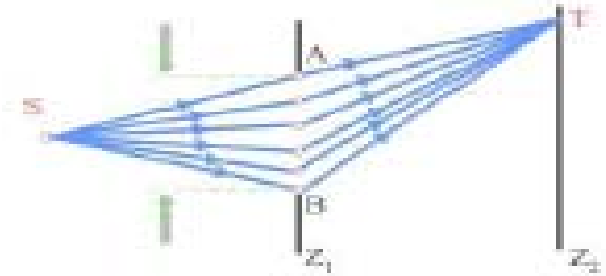
Difrakcija, ogibni uzorak

- ❑ Svjetlost čija je valna duljina usporediva sa širinom pukotine se ogiba, tj. širi se i u područje geometrijske sjene.
- ❑ Pukotina smještena između dalekog izvora svjetla i zastora, proizvodi na dalekom zastoru ogibni uzorak.
 - Ogibni uzorak ima širok i intenzivan središnji maksimum:
 - ◆ Naziva se **centralni maksimum**
 - Oko centralnog maksimuma se nalazi niz užih pruga manjeg intenziteta:
 - ◆ Zovemo ih **sekundarni maksimumi**
 - Oko centralnog maksimuma se također nalazi niz tamnih pruga:
 - ◆ **Ogibni minimumi**



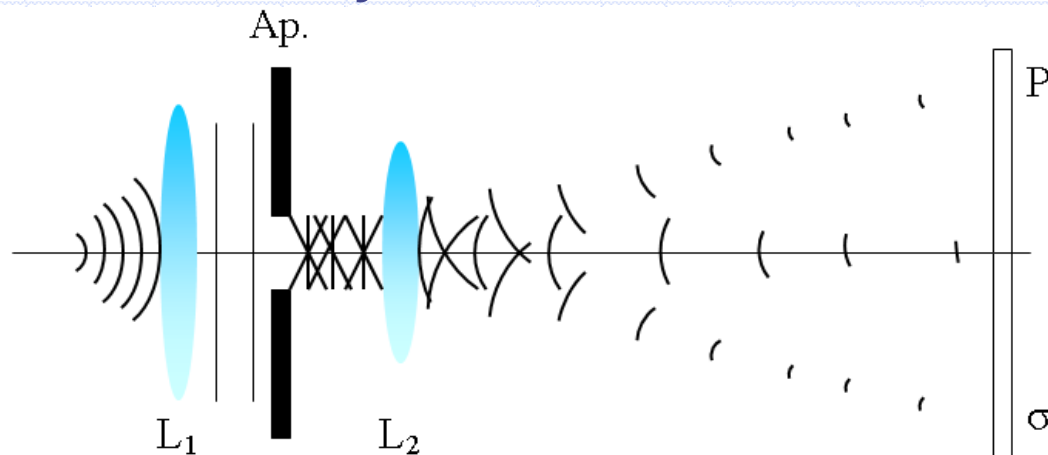
Fraunhoferov & Fresnelov ogib

□ Fresnelov ogib: Kad su izvor i/ili mjesto promatranja ogiba na konačnoj udaljenosti od zapreke/pukotine zrake svjetlosti nisu paralelne, te se ogibni uzorka ovisi od udaljenosti.



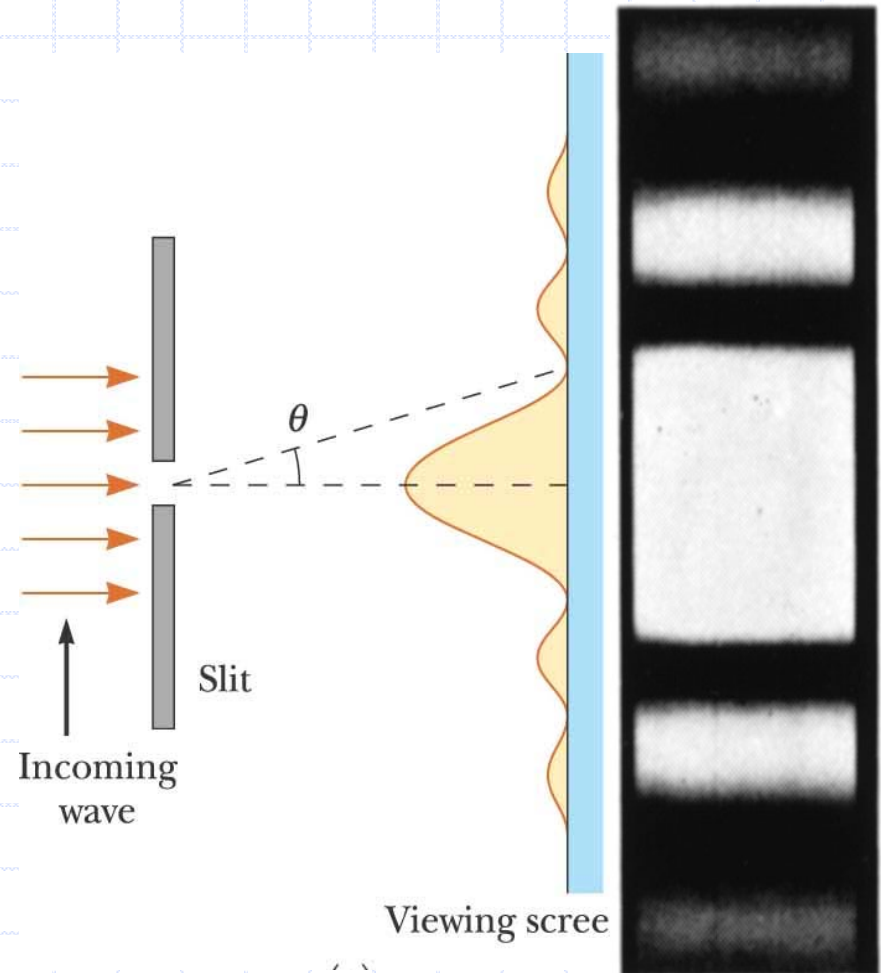
□ Fraunhoferov ogib je posebna vrsta Fresnelova ogiba, kad su i izvor svjetla i mjesto promatranja ogibne pojave beskonačne udaljeni – matematički opis je znatno jednostavniji.

Fraunhoferov ogib se realizira upotrebom dvije konvergentne leće kako bi se dobile paralelne zrake svjetlosti.



Fraunhoferova difrakcija

- Fraunhoferov ogibni uzorak se javlja kad su zrake paralelne
 - Zastor daleko od pukotine
 - Pomoću leća moguće je ostvariti uvjete pri kojima vrijedi Fraunhoferova difrakcija da su valne plohe elektromagnetskog ogibnog vala ravnine.
- Difrakcija nastaje u biti interferencijom valova koji se širi iz različitih djelića osvijetljene pukotine.

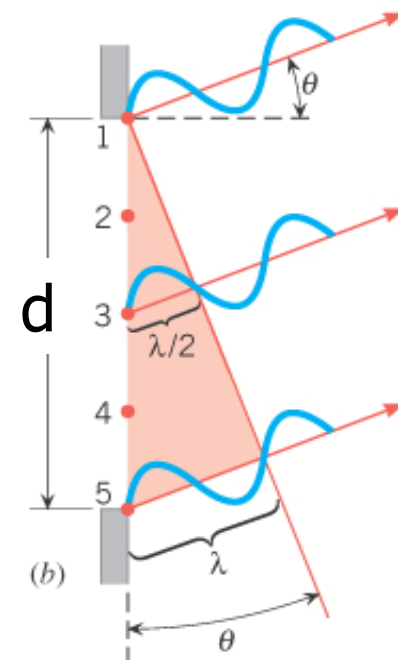
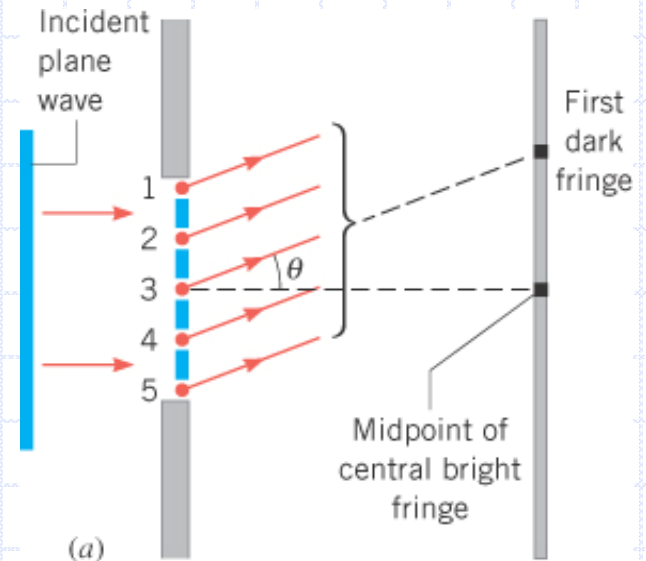


Ogib na jednoj pukotini (1)

- ❑ Prema Huygensovom principu svaka točka valne fronte je novi izvor elementarnog kuglastog vala.
- ❑ Svjetlo iz jednog dijela ogibne pukotine može interferirati sa svjetlošću iz drugog dijela pukotine.
- ❑ Rezultantni intenzitet svjetla na zastoru ovisi o kutu θ .
- ❑ Svi valovi koji se šire iz pukotine su u fazi.
- ❑ Za dani kut ogiba θ , val iz točke pukotine označene brojem 5 ima duži put od vala iz točke 1 za iznos:
 - $d \sin \theta$
- ❑ Ako je ova razlika puta upravo jednaka λ , tada se valovi iz 1 i 3 destruktivno interferiraju, odnosno svaki val iz donje polovice se poništi s valom iz gornje polovice pukotine.
- ❑ U općem slučaju, **destruktivna interferencija se javlja kad je ispunjen uvjet:**

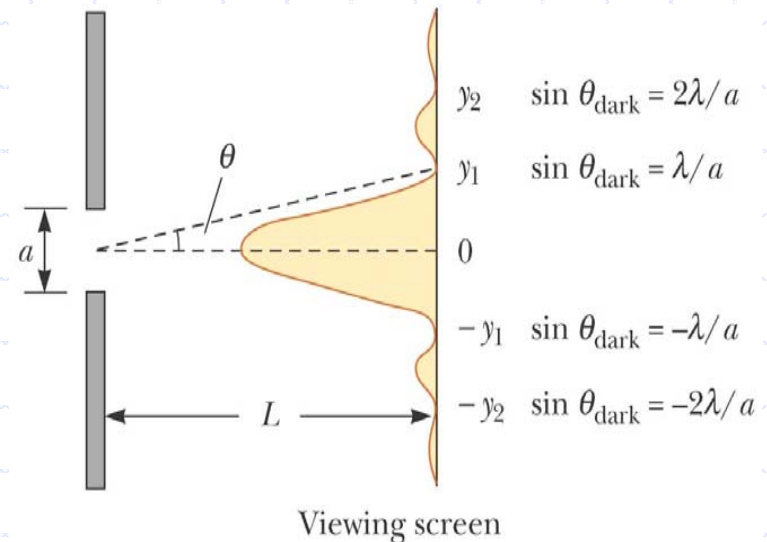
$$d \sin \theta_{tama} = m\lambda, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

d – širina pukotina, θ – kut ogiba



Ogib na jednoj pukotini - analiza

- ❑ Svaka svijetla pruga nalazi se otprilike na polovici udaljenosti između dvije tamne pruge
- ❑ Centralna svijetla pruga je dva puta šira od širine sekundarnog maksimuma

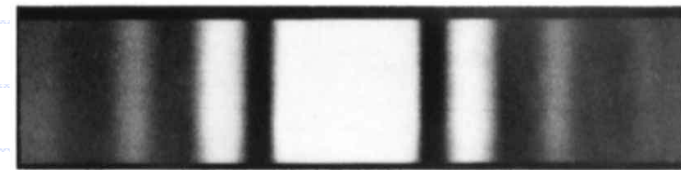
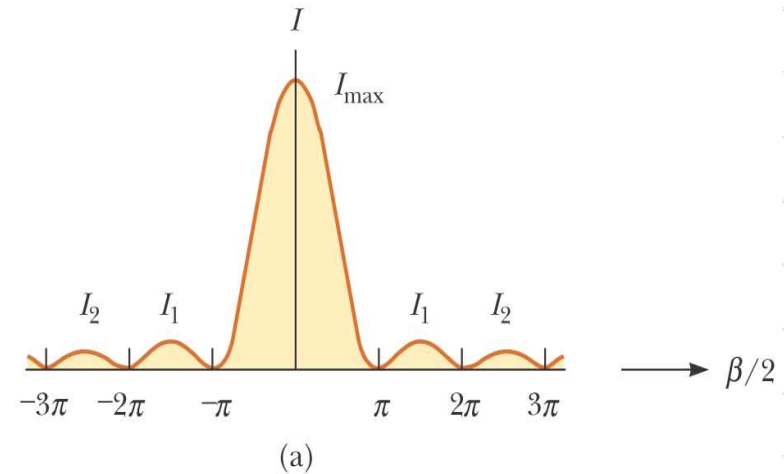


©2004 Thomson - Brooks/Cole

Intenzitet ogibnog uzorka na jednoj pukotini (3)

- Intenzitet svjetla na zastoru proporcionalan je kvadratu rezultatnog električnog polja E .
- $I_{\max}$ -intenzitet za kut ogiba $\theta = 0$
 - Intenzitet centralnog maksimuma.
 - a – širina pukotine

$$I(\vartheta) = I_{\max} \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \vartheta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \vartheta} \right]^2$$



(b)

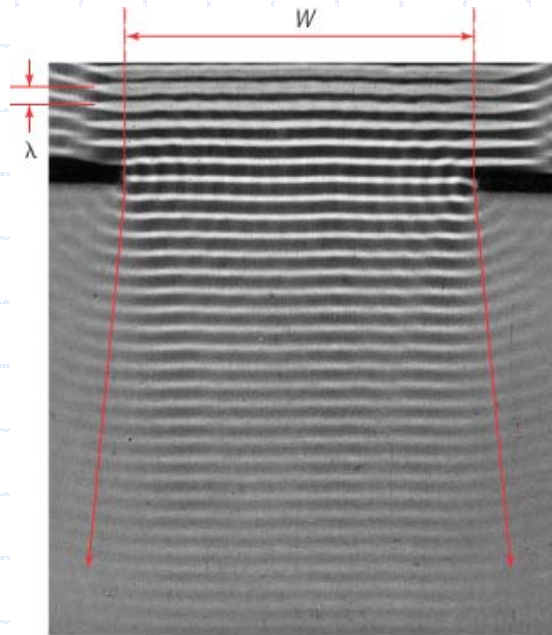
- Minimumi se javljaju za:

$$\frac{\pi a \sin \theta_{\text{dark}}}{\lambda} = m\pi \quad \text{or} \quad \sin \theta_{\text{dark}} = m \frac{\lambda}{a}$$

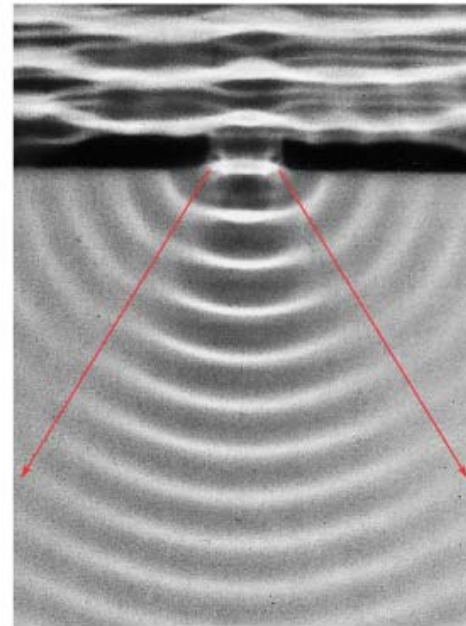
- Maksimumi:

$$\frac{\pi a \sin \vartheta_{\text{light}}}{\lambda} = \frac{2m+1}{2} \pi \quad \text{or} \quad \sin \vartheta_{\text{light}} = \frac{2m+1}{2} \frac{\lambda}{a}$$

Kad je ogib izraženiji ?



Što je valna duljina manja,
a pukotina veća ogib je manji.
(λ/d) manji, ogib manji.



Što je valna duljina približno istog reda
veličine kao pukotina veća ogib je veći.
(λ/d) veći, ogib veći.

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}, m = 1, 2, 3, \dots$$

d – sirina pukotina

$m = 1$ - prvi ogbini maksimum

Moć razlučivanja



(a)



(b)



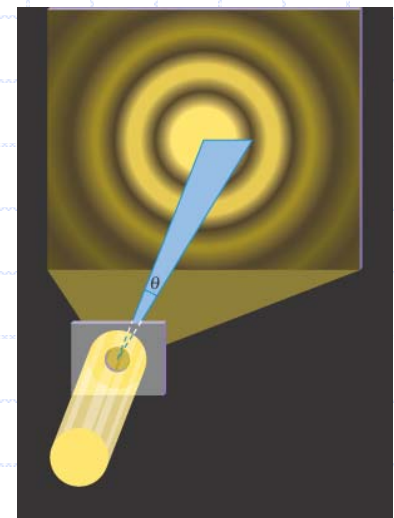
(c)

Razlučivanje farova automobila se smanjuje kako se povećava udaljenost

Kut prvog ogibnog minimuma na kružnom otvoru promjera D :

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

Faktor 1.22 se dobije složenim izračunom položaja prvog tamnog prstena.



Rayleigh-ev kriterij za razlučivanje

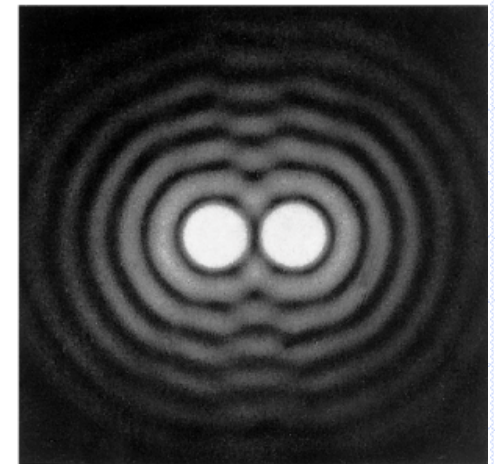
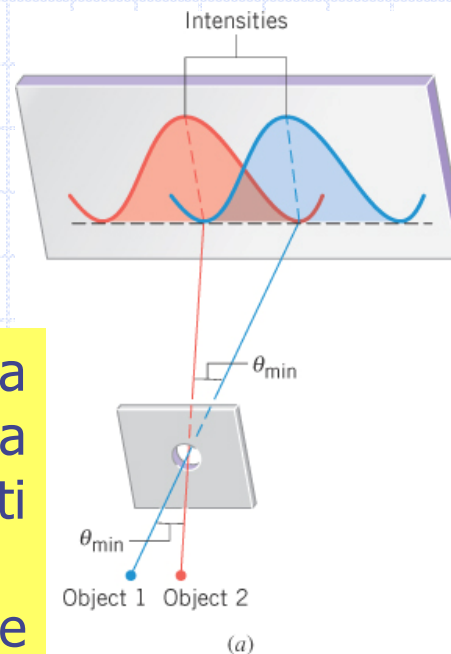
- Dva izvora će se moći razlučiti ako prvi ogibni minimum (tama) jednog izvora pada u centralni maksimum (svjetlo) drugog izvora.

$$\sin \theta_{\min} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

$$\theta_{\min} \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

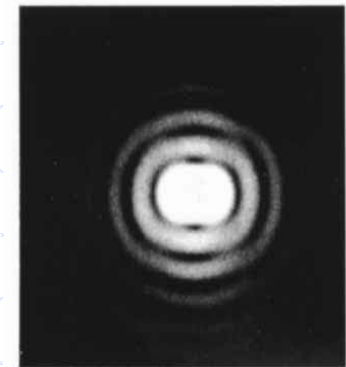
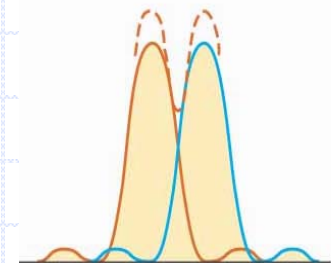
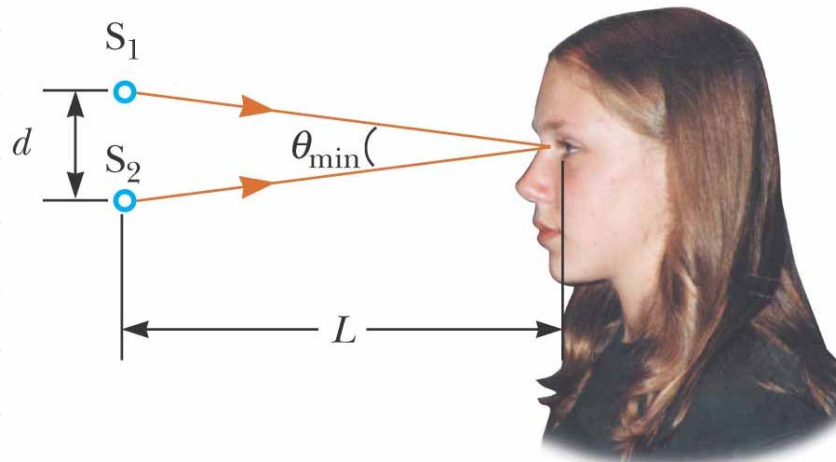
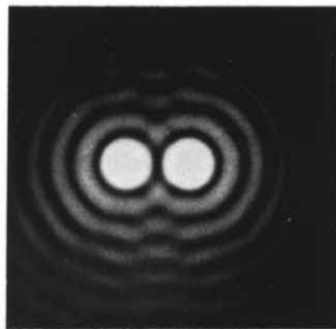
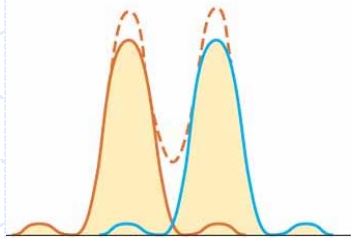
Gornja relacija definira minimalni kut između dva izvora koji se još mogu razlučiti (D – dijametar kružne leće).

Gornja relacija vrijedi za male kutove, $\theta_{\min} < 10^\circ$, izražene u radijanima.



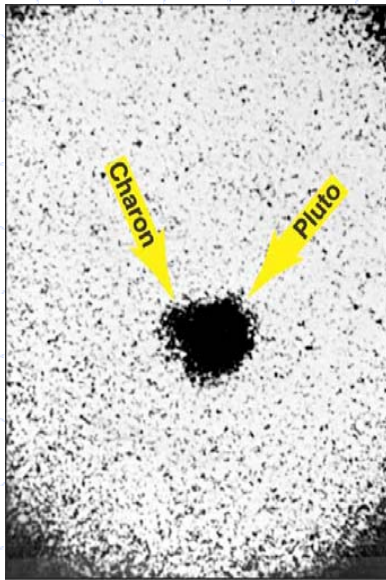
Kružni otvor – ilustracija (ne)razlučivanja

- Izvori su daleko
 - Slike se jasno razlučuju
 - Pune linije su ogibni uzorci pojedinih izvora.
 - Crtkana krivulja je rezultatni ogibni uzorak
- Izvori su udaljeni za kut koji zadovoljava Rayleigh-ev kriterij
 - Slike se taman razlučuju
 - Pune linije su ogibni uzorci pojedinih izvora.
 - Crtkana krivulja je rezultatni ogibni uzorak



$$d = L \theta_{\min} \quad \theta_{\min} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$
$$d = 25(\text{cm}) 1.22 \frac{550 \cdot 10^{-9} \text{m}}{2 \cdot 10^{-3} \text{m}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{cm}$$

Primjer rezolucije



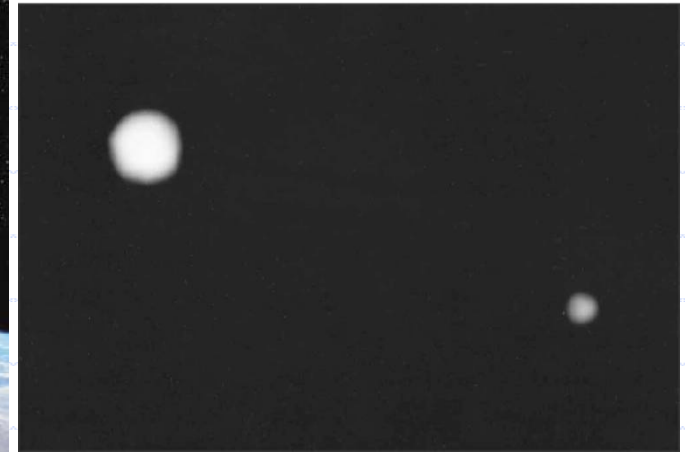
(a)

©2004 Thomson - Brooks/Cole



©2004 Thomson - Brooks/Cole

(p)

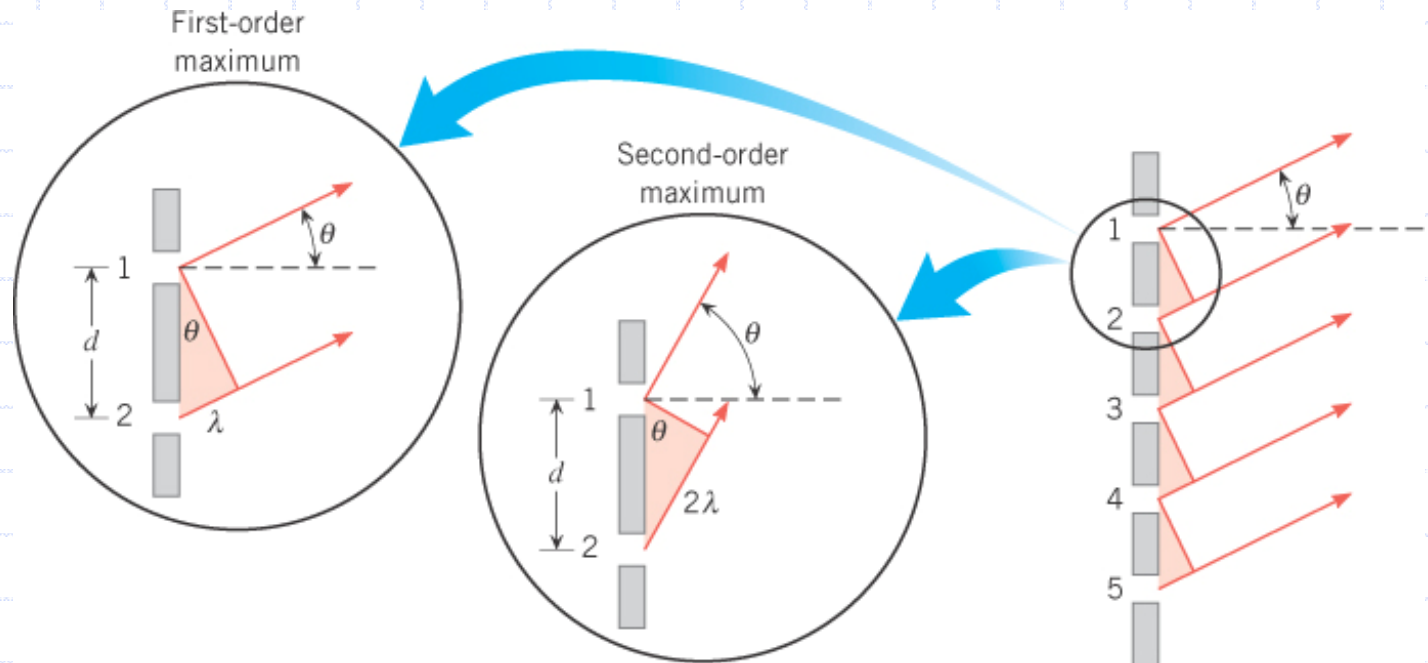


Hubble Space Telescope

- ❑ Planet Pluton i njegov mjesec Charon.
- ❑ Krajnje lijevo: Teleskop na Zemlji vidi razmazanu sliku planeta Plutona i njegovog mjeseca.
- ❑ Krajnje desno: "Hubble Space Telescope" jasno razlučuje i planet Pluton i njegov mjesec Charon.
- ❑ Hubble Space Telescope može razlučiti dvije bliske zvijezde čija je kutna udaljenost oko $\theta_{\min} = 10^{-7}$ rad, što je ekvivalentno mogućnosti razlučivanja dva objekta udaljena 1 cm na udaljenosti od 100 km.

Optička rešetka (1)

- Optička rešetka sastoji se od velikog broja ekvidistantnih pukotina
 - Tipična rešetka ima nekoliko tisuća ekvidistantnih pukotina po centimetru.
- Intenzitet uzorka na zastoru je rezultat kombinacije ogiba i interferencije
 - Svaka pukotina proizvodi ogib, ogibni snopovi interferiraju međusobno i formiraju konačni uzorak
- Uvjeti za maksimume: **$d \sin \theta_{\text{svjetlo}} = m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$**
- Cijeli broj m definira ogibni maksimum m -tog reda, d – udaljenost između pukotina
- Ako upadno svjetlo sadrži nekoliko valnih duljina, svaka valna duljina se ogiba pod različitim kutom.

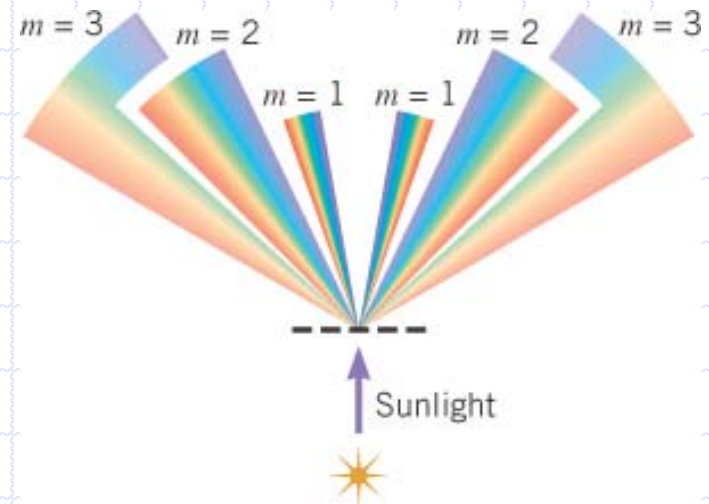
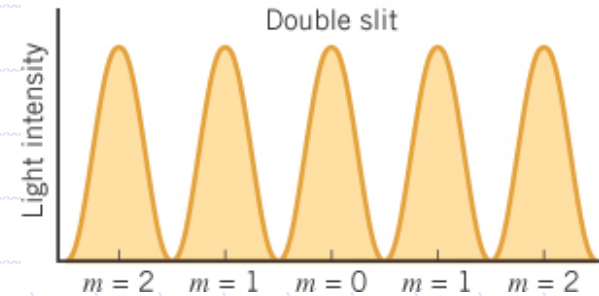


Optička rešetka (2)

- Svjetle pruge proizvedene optičkom rešetkom su znatno uže nego svjetle pruge koje se dobiju s ogibom na dvije pukotine.
- θ - kut glavnih (principalnih) maksimuma:

$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- Kad na optičku rešetku upada bijela svjetlost, svaka valna duljina (boja) se ogiba pod drugačijim kutom, što je veća valna duljina to je veći kut ogiba.



Moć razlučivanja optičke rešetke

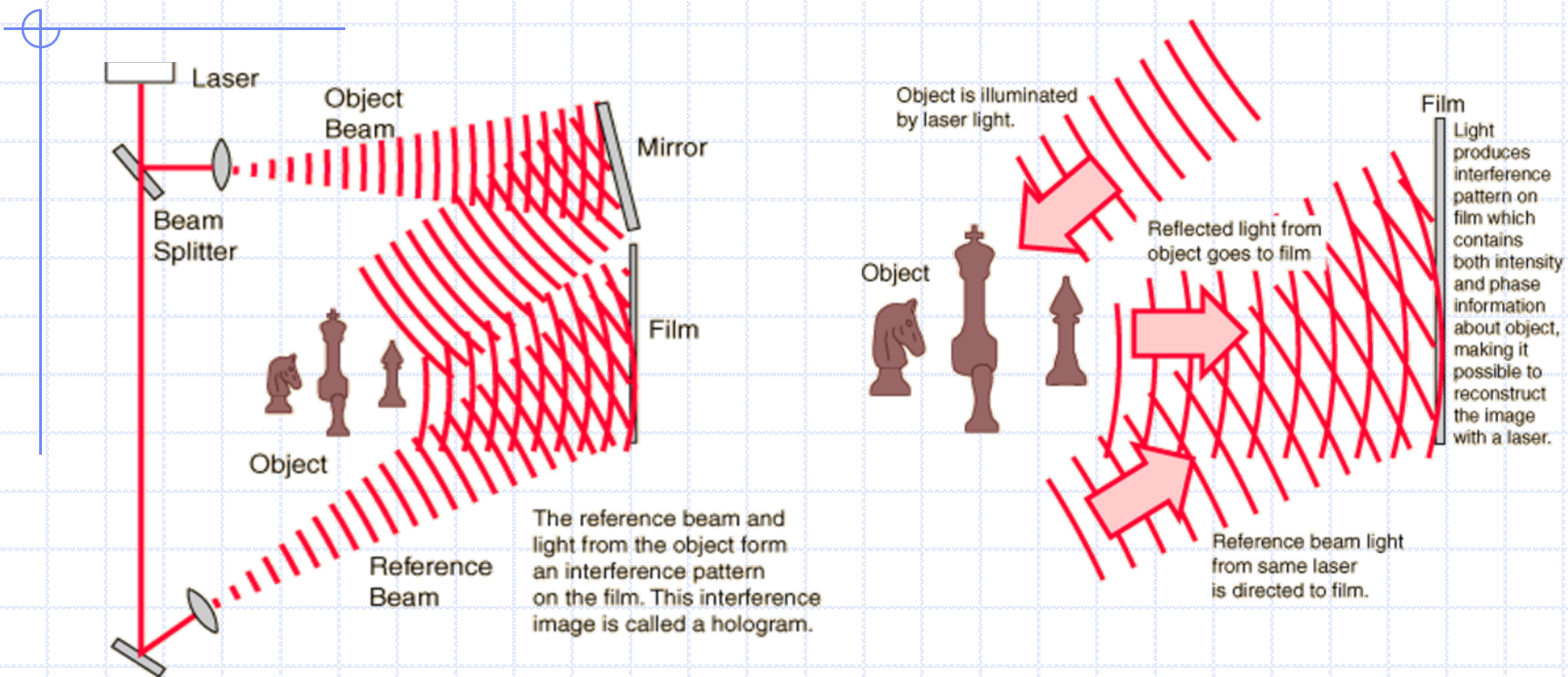
- Za dvije bliske valne duljine, λ_1 i λ_2 , koje optička rešetka jedva razlučuje, moć razlučivanja R optičke rešetke je definirana:

$$R \equiv \frac{\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

- Optička rešetka s velikom rezolucijom može razlučiti valne duljine koje se vrlo malo razlikuju.
- Može se pokazati da je moć razlučivanja m -tog ogibnog reda:
$$R = Nm$$
 - N je broj pukotina
 - m je ogibni red
- Moć razlučivanja raste s povećanjem ogibnog reda i povećanjem broja osvijetljenih pukotina.

Hologram - snimanje

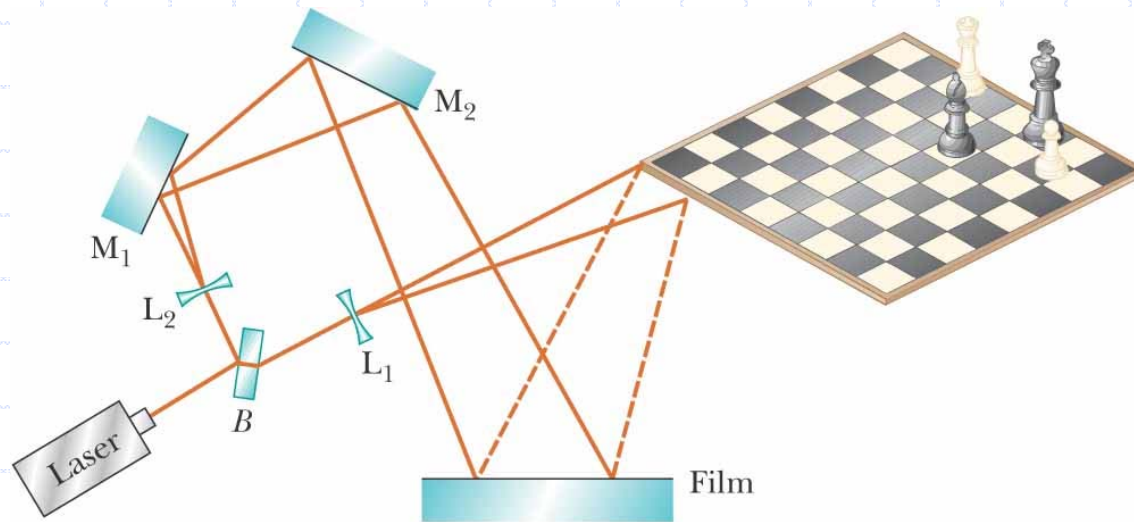


Kod holografskog snimanja zapisuje se ne samo intenzitet svjetla raspršen na objektu koji se snima (što radi obična fotografija) već i fazna razlika između snopa reflektiranog od objekta (object beam) i referentnog snopa (reference beam).

Ta dva snopa interferiraju, te je tako čitavo svjetlosno polje objekta zapisano (holos- grčki čitavo).

Metoda holografskog snimanja

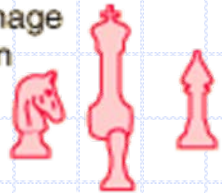
- ❑ Kod uobičajenog fotografskog snimanja, pomoću leće, snimanje se odvija tako da svakoj točki objekta odgovara jedna točka slike.
- ❑ Kod holografskog snimanja ne koriste se leće. Svjetlost iz svake točke objekta dolazi do svih točaka na filmu.
- ❑ Svaki dio holografske snimke sadrži informaciju o čitavom objektu.
- ❑ Samo dio hologramske snimke omogućuje da se reproducira čitava slika, naravno kvaliteta slike je lošija, ali ipak je čitava slika prisutna.



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Hologram - reprodukcija

Three dimensional image seen as suspended in space behind the hologram.

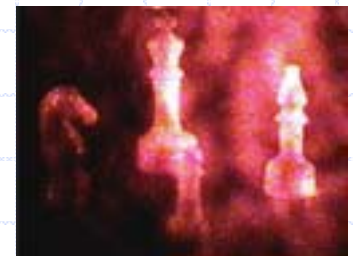


Hologram

Laser



The coherent light of a laser is required to see this kind of hologram sharply. It can be viewed with a filtered spectral source, but will not be as well resolved.



Pri reprodukciji, koherentno svjetlo pada na holografski zapis na kojem se ogiba i interferira, čime se reproducira svjetlosno polje identično svjetlosnom polju izvornog objekta.

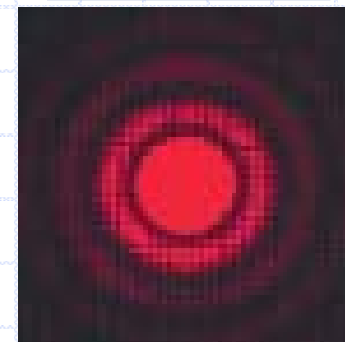
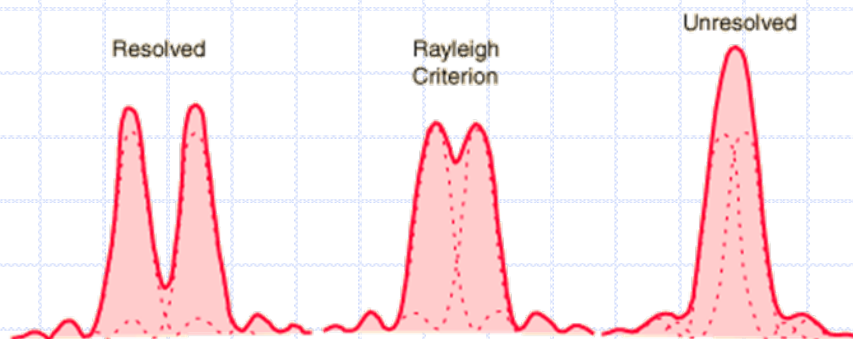
Objašnjenje naslove priče



- Ogib na kružnom otvoru
 - Može se pokazati da je kut pod kojim se vidi prvi minimum kod difrakcije na kružnom otvoru promjera d jednak:
- Razlučivost:

$$\sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{d}$$

d – promjer otvora



- **Rayleigh-ev kriterij razlučivosti:** Dva izvora se mogu razlučiti ako centralni maksimum jednog izvora pada u prvi minimum drugog izvora.

kut razlučivosti na kružnom otvoru

$$\theta_R = 1,22 \lambda / d$$

Kada stojimo blizu Seuratove slike, tada je kut pod kojim se vide točke veći od θ_R i točke se mogu vidjeti, i to točno u boji u kojoj su i naslikane.

Ako se, međutim, dovoljno udaljimo od slike da kutna udaljenost među točkama postane manja od θ_R , točke se ne mogu razlučiti.

Boja koju vidimo tada je "superpozicija" boja pojedinih točkica koje se ne mogu razlučiti.

Pitanja za provjeru znanja

1. **Ukratko objasnite slijedeće pojmove: konstruktivna i destruktivna interferencija svjetlosti, ogib, optička rešetka. (obavezno)**
2. Izvedite uvjete za konstruktivnu i destruktivnu interferenciju dvaju izvora svjetlosti u točki koja je od jednog udaljena za r_1 a od drugog izvora za r_2 .
3. Za Youngov eksperiment izvedite uvjete za pojavu destruktivne i konstruktivne interferencije, izraz za udaljenost maksimuma svjetlosti od središta zastora i izraz za intenzitet svijetlih pruga na zastoru.
4. Interferencija na tankim listićima.
5. Što je ogib svjetlosti? Objasnite ogib na jednoj pukotini. Objasnite uvjete za minimume i maksimume.
6. Objasnite Rayleigh-ev kriterij za moć razlučivanja dvaju izvora.
7. Što je optička rešetka. Objasnite uvjete za pojavu konstruktivne interferencije.