

# **Banginė optika**

**Šviesos interferencija ir difrakcija**

# Šviesos interferencija

Šviesa yra elektromagnetinės bangos, todėl ji pasižymi bangoms būdingais reiškiniais – **interferencija ir difrakcija**.

**Interferencija** – koherentinių bangų superpozicija arba vektorinė sudėtis.

Interferencijos rezultatas yra šviesos sustiprėjimas vienuose erdvės taškuose ir susilpnėjimas – kituose.

Interferuoti gali tik **koherentinės bangos**.

**Koherentinėmis bangomis** vadiname vienodo bangos ilgio (monochromatinės) ir dažnio bei pastovaus fazių skirtumo bangas.

Koherentiškumo sąlyga gali būti laikina arba ribota erdvėje.

Bangos gali būti koherentinės tik tam tikrą laiką, vadinamą koherentiškumo intervalu  $\tau$  ir tik tam tikrame erdvės ilgyje, vadinamame koherentiškumo ilgiu  $\ell$ :

$\ell = c \cdot \tau$  ( $c$  – bangų sklidimo greitis)

# Banginė optika – šviesos interferencija

Svarbiausia šviesos banginė savybė – jos interferencija. Nagrinėkime dvi koherentines elektromagnetines bangas, kurios sklinda beveik lygiagrečiai ir taške P susitinka.

Šių bangų  $E$  vektorių išraiškos :

$$E_1 = E_{m1} \cos(\omega t - k_1 d_1) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \omega = 2\pi f$$

$$E_2 = E_{m2} \cos(\omega t - k_2 d_2)$$

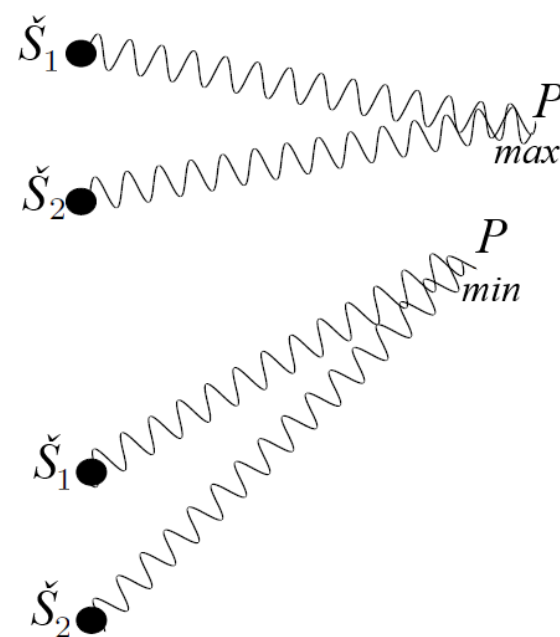
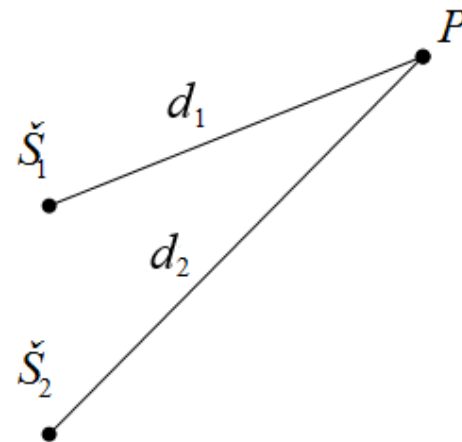
Susitikimo taške P jų svyravimų atstojamoji amplitudė lygi:

$$E_m^2 = E_{m1}^2 + E_{m2}^2 + 2E_{m1}E_{m2} \cos \delta$$

Taške P fazių skirtumas lygus:

$$\delta = k_1 d_1 - k_2 d_2$$

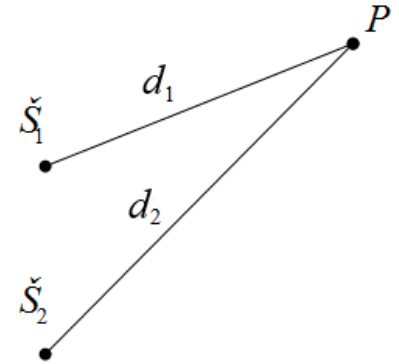
Kaip matome, atstojamosios amplitudės dydis taške P priklauso nuo fazių skirtumo.



# Banginė optika – šviesos interferencija

Kadangi  $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1}$ ,  $\lambda = \frac{v}{f}$  ir  $n = \frac{c}{v} = \frac{f\lambda_0}{f\lambda} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$ ,

tai  $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$  ir  $k_1 d_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} d_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_1 d_1$



Bangos nueito geometrinio kelio  $d$  ir aplinkos absoliučiojo lūžio rodiklio  $n$  sandauga  **$nd$**  vadinama **bangos optiniu keliu**.

Fazių skirtumą galima perrašyti taip:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_1 d_1 - n_2 d_2) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

Dydis  $\Delta = n_1 d_1 - n_2 d_2$  vadinamas šviesos bangų optinių kelių skirtumu.

# Banginė optika – šviesos interferencija

Atstojamasis dviejų koherentinių vienodų amplitudžių

$E_{m1} = E_{m2} = E_m$  šviesos bangų amplitudės dydis  $E_M$

taške P priklauso nuo fazių skirtumo  $\delta$ :

$$E_M = \sqrt{2E_m^2(1 + \cos \delta)}$$

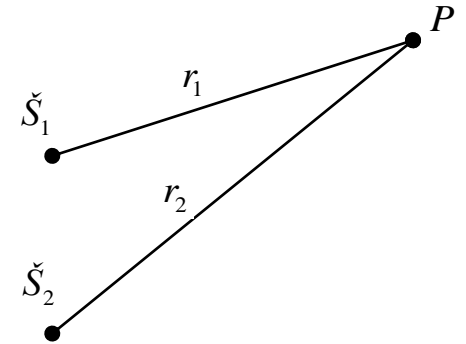
Fazių skirtumas taške P

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_1 d_1 - n_2 d_2) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

priklauso nuo nueitų šviesos bangų optinių kelių skirtumo

$$\Delta = n_1 d_1 - n_2 d_2$$

Todėl, priklausomai nuo nueitų kelių skirtumo mes gausime interferencinį maksimumą arba minimumą.



# Šviesos interferencija

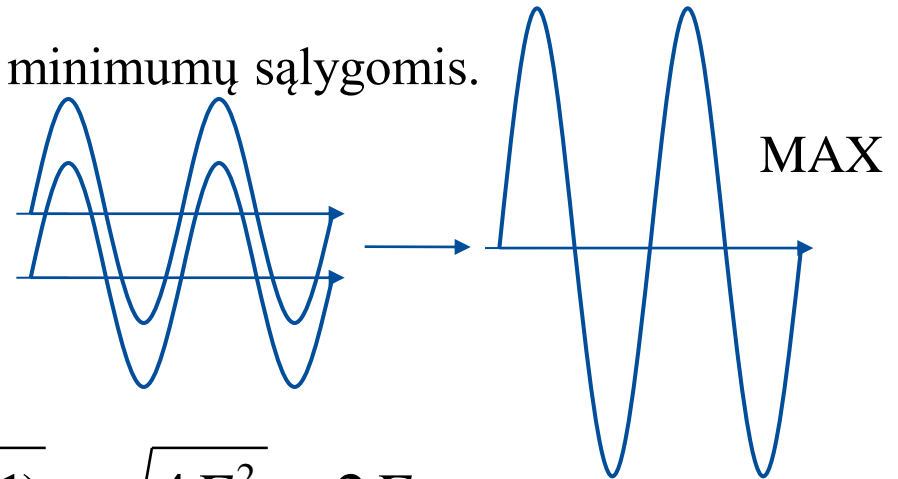
Panagrinėkime kraštutinius variantus, vadinamus interferencinių maksimumų ir minimumų sąlygomis.

1) Maksimumo sąlyga

$$\delta = 2m\pi, \text{ čia } m = 0, 1, 2, \dots$$

tada:

$$E_M = \sqrt{2E_m^2(1 + \cos \delta)} = \sqrt{2E_m^2(1 + 1)} = \sqrt{4E_m^2} = 2E_m$$

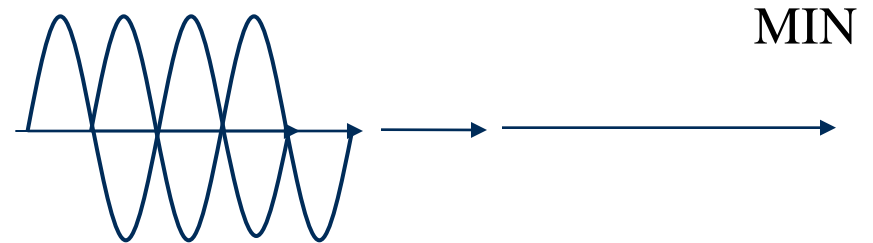


2) Minimumo sąlyga

$$\delta = (2m + 1)\pi, \text{ čia } m = 0, 1, 2, \dots$$

tada:

$$E_M = \sqrt{2E_m^2(1 + \cos \delta)} = \sqrt{2E_m^2(1 - 1)} = 0$$



# Šviesos interferencija

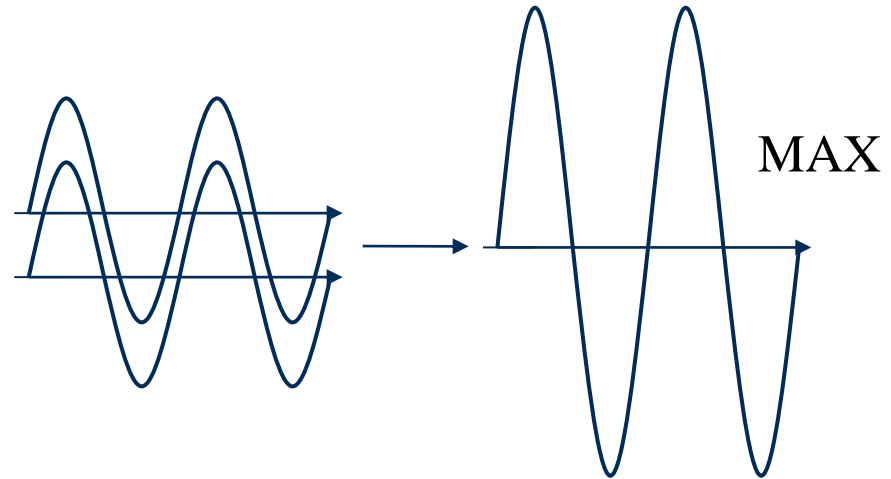
Kas lemia fazių skirtumo skaitinę vertę?

Fazių skirtumą  $\delta$  lemia bangų nueitų optinių kelių skirtumas  $\Delta$ :

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

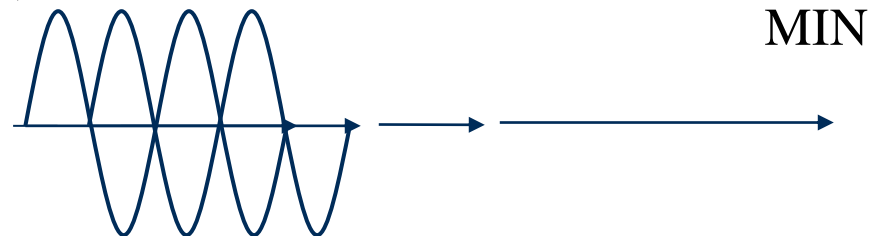
1) Jeigu  $\Delta = \pm 2m \frac{\lambda}{2}$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$

tai  $\delta = 2m\pi$ , o  $E_M = 2E_m$



2) Jeigu  $\Delta = \pm(2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$

tai  $\delta = (2m + 1)\pi$ , ir  $E_M = 0$



# Šviesos interferencija

Koherentinių bangų interferencijos **maksimumų ir minimumų sąlygos**:

**MAX** → susitikusių bangų **fazių skirtumas** turi būti lygus nuliui.

**MIN** → susitikusių bangų **fazių skirtumas** turi būti lygus  $180^\circ$  arba  $\pi$  rad

Iš skirtingų šaltinių atėjusių į konkretų tašką koherentinių bangų interferencijos maksimumų ir minimumų sąlygos:

**MAX** → susitikusių bangų **nueitų kelių skirtumas** turi būti lygus **lyginiam** pusbangių skaičiui:

$$\Delta = 2m \frac{\lambda_0}{2}$$

**MIN** → susitikusių bangų **nueitų kelių skirtumas** turi būti lygus **nelyginiam** pusbangių skaičiui:

$$\Delta = \frac{\lambda_0}{2} (2m + 1)$$

# Koherentinių šaltinių gavimo būdai

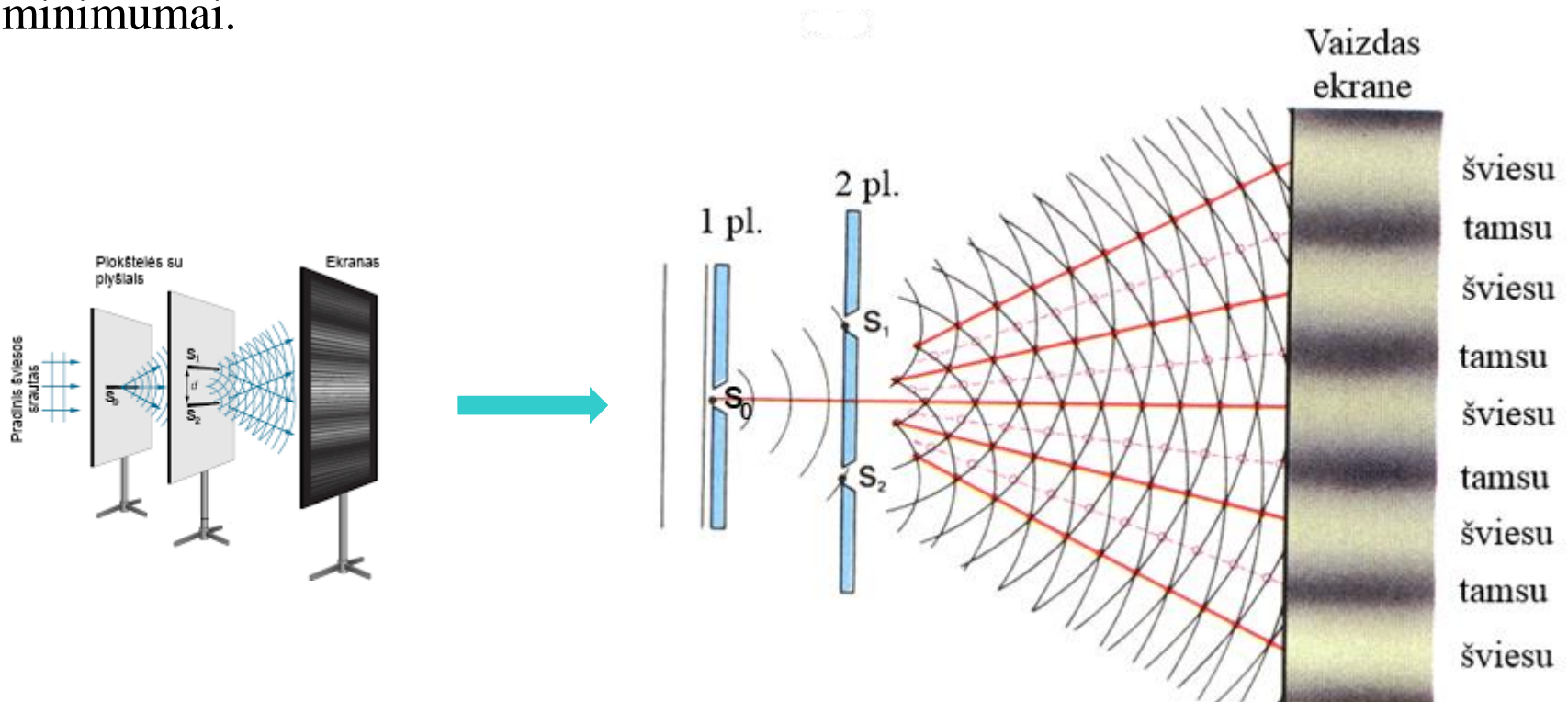
Pagrindinė interferencijos sąlyga – šviesos bangų koherentiškumas. Kadangi naturalūs šviesos šaltiniai tarpusavyje nekoherentiniai, tai koherentes šviesos bangas galima gauti dirbtinai suskaidžius vieno šaltinio šviesos srautą į du.

Tai galima realizuoti keliais būdais:

- 1) Jungo plyšių metodu,
- 2) Frenelio veidrodžių ar biprizmės metodu,
- 3) Niutono žiedų metodu,
- 4) plonų plėvelių pagalba.

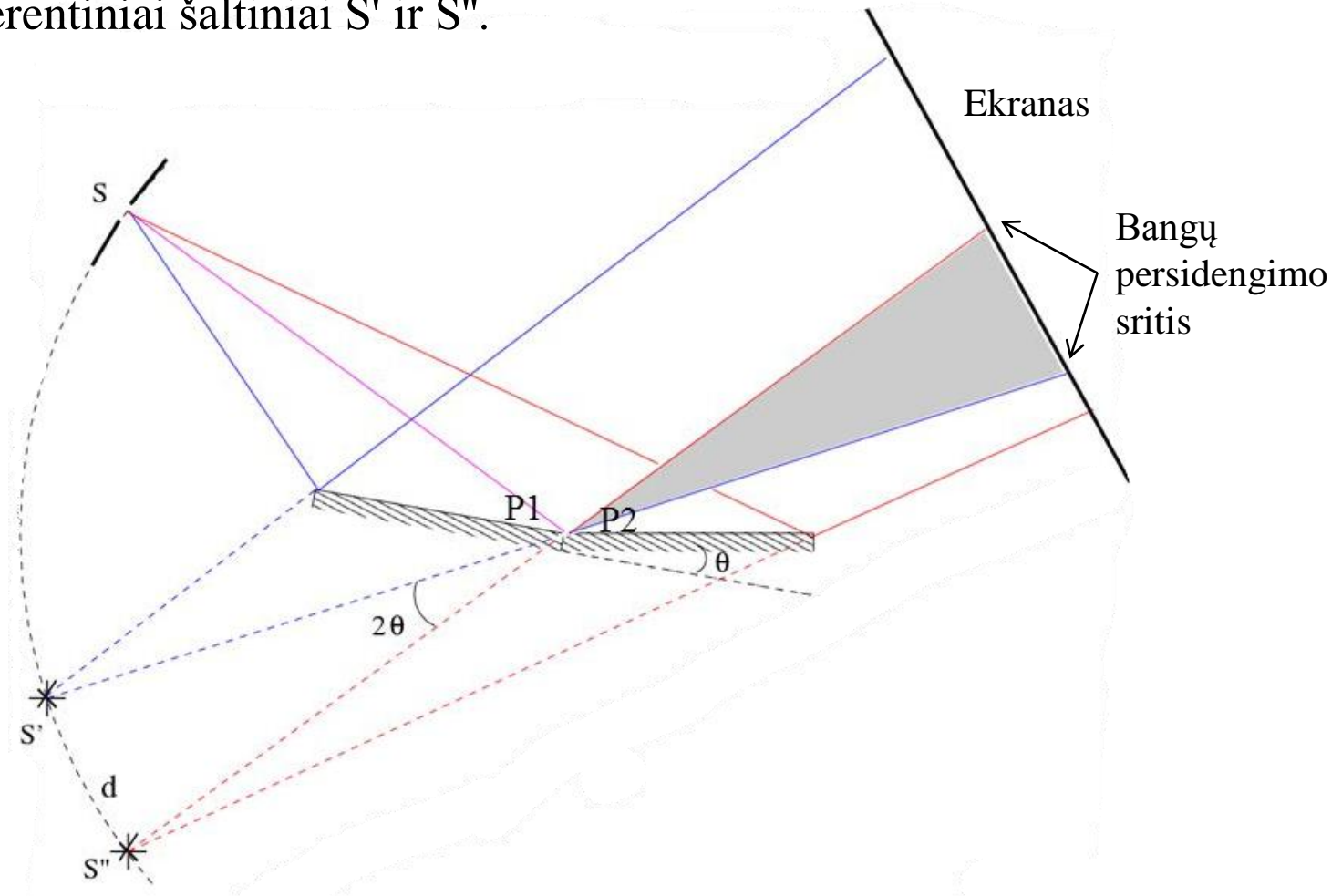
# Jungo plyšių metodas

Šiuo metodu šviesa, praėjusi pro plyšį  $S_0$  pirmojoje plokštelėje patenka į du plyšius ( $S_1$  ir  $S_2$ ) antrojoje plokštelėje. Dėl difrakcijos reiškinių šviesa, praėjusi pro plyšius, nukrypsta nuo tiesiaeilės trajektorijos. Plyšiai  $S_1$  ir  $S_2$  tampa antriniais koherentinių persidengiančių bangų šaltiniais. Šioms bangoms interferuojant ekrane stebimi pakaitomis einantys interferenciniai maksimumai ir minimumai.



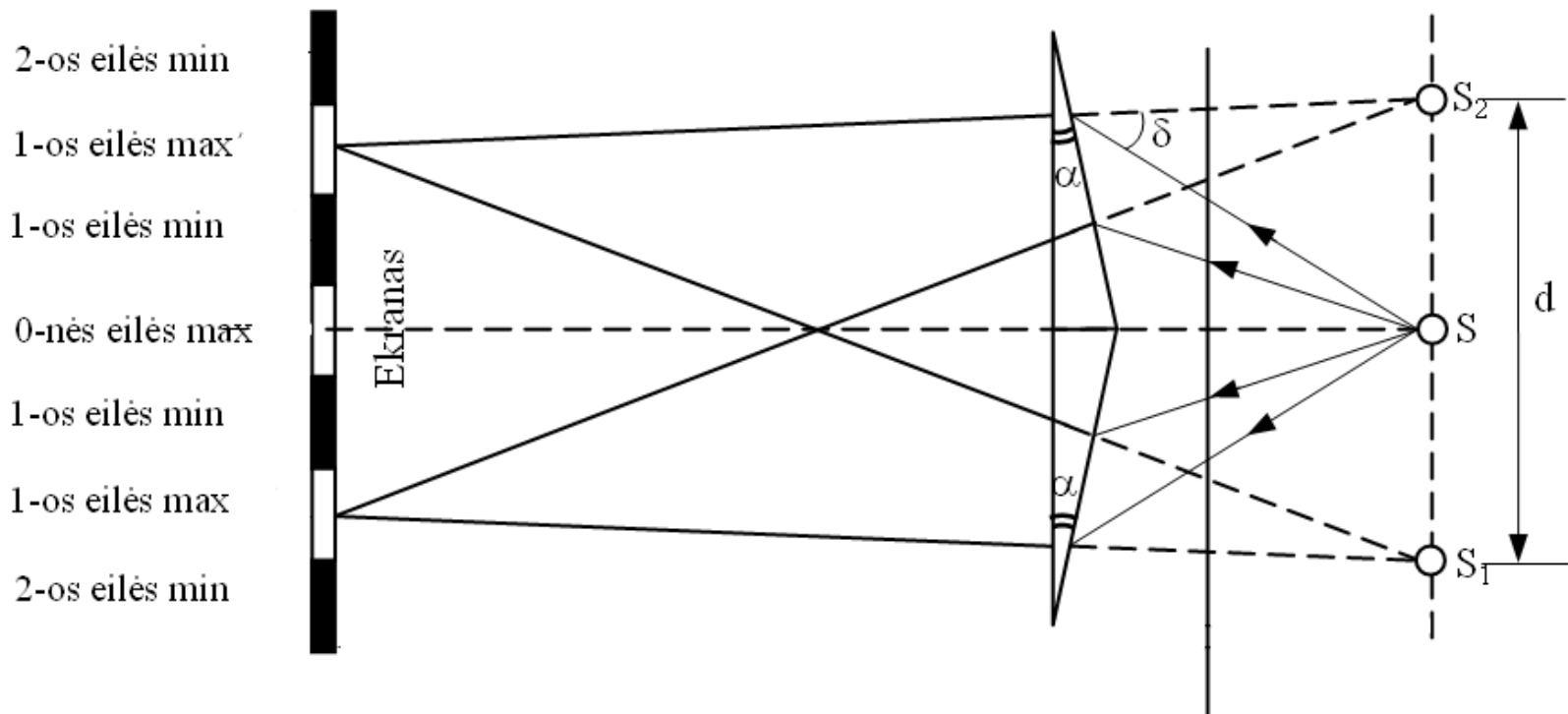
# Frenelio veidrodžių metodas

Realizuojamas dviejų sujungtų veidrodžių P1 ir P2, tarp kurių normalių yra nedidelis kampas, pagalba. Taip susidaro du pirminio šaltinio S atvaizdai, kurie yra menami koherentiniai šaltiniai S' ir S".



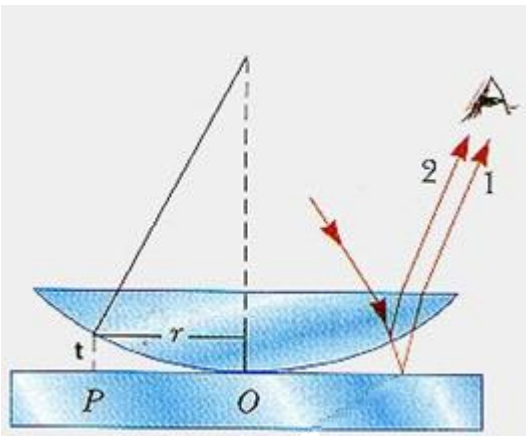
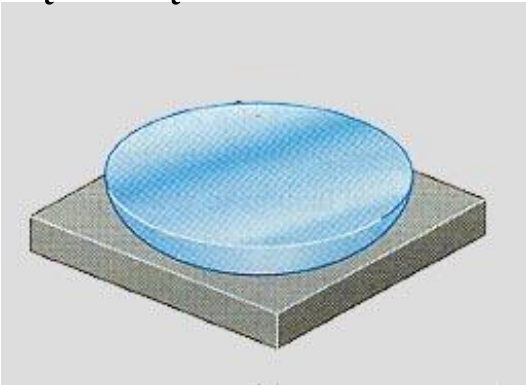
# Frenelio biprizmės metodas

Pirminio šviesos šaltinio  $S$  šviesai krentant į biprizmę, bangos lūžta, sudarydamos du menamus koherentinių bangų šaltinius  $S_1$  ir  $S_2$ . Šios bangos interferuodamos ekrane sudaro šviesių ir tamsių ruoželių – interferencinių maksimumų ir minimumų – vaizdą.



# Niutono žiedų metodas

Šviesa krenta iš viršaus į didelio kreivumo spindulio plokščiai iškilą lęšį, padėtą ant stiklinės plokštelės, ir atsispindi nuo lęšio apatinio paviršiaus ir stiklo plokštelės. Spinduliai 1 ir 2 yra koherentiniai, ir, priklausomai nuo jų eigos skirtumo, sudaro interferencinį maksimumą arba minimumą, t.y. šviesų arba tamsų žiedą.



# Interferencija plonose plėvelėse

Plonose plėvelėse, šviesai atsispindėjus nuo dviejų paviršių taškuose A ir D ir susitikus, vyksta interferencija. Jos rezultatas priklauso nuo optinių kelių skirtumo, kuris priklauso nuo:

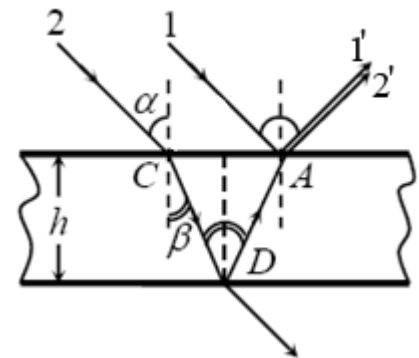
1. Plėvelės storio  $h$ ,
2. Jos lūžio rodiklio  $n$ ,
3. Kritimo kampo  $\alpha$ ,
4. Bangos ilgio  $\lambda_0$ .
5. Nuo aplinkos lūžio rodiklio.

Jeigu terpė, nuo kurios atsispindi šviesa yra optiškai tankesnė, atsispindėjusios bangos fazė apsiverčia  $180^\circ$  laipsnių. Tai įvyksta taške A, jei plėvelė yra ore. Plonoje plėvelėje, šviesai krintant kampu  $\alpha$ , nueitų optinių kelių skirtumas  $\Delta$  yra lygus:

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda_0}{2}$$

Interferencinis maksimumas susidarys, kai  $\Delta = m\lambda_0$  ( $m = 0; 1; 2\dots$ ). Tuomet

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (2m + 1)\frac{\lambda_0}{2}$$

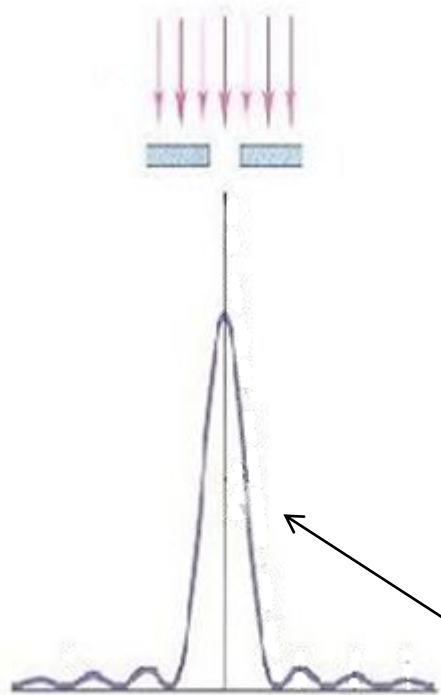


# Šviesos difrakcija

**Difrakcija yra visoms bangoms būdingas reiškinys** (bangoms vandens paviršiuje, garso bangoms, radijo bangoms, šviesos bangoms ir kt.).

**Šviesos difrakcija** vadinamas šviesos bangų, einančių pro kliūčių kraštą, užlinkimas (nukrypimas nuo tiesaus kelio).

Šviesa dėl difrakcijos patenka į geometrinio šešėlio sritį, t.y. negalioja tiesiaieigio šviesos sklaidimo dėsnis.

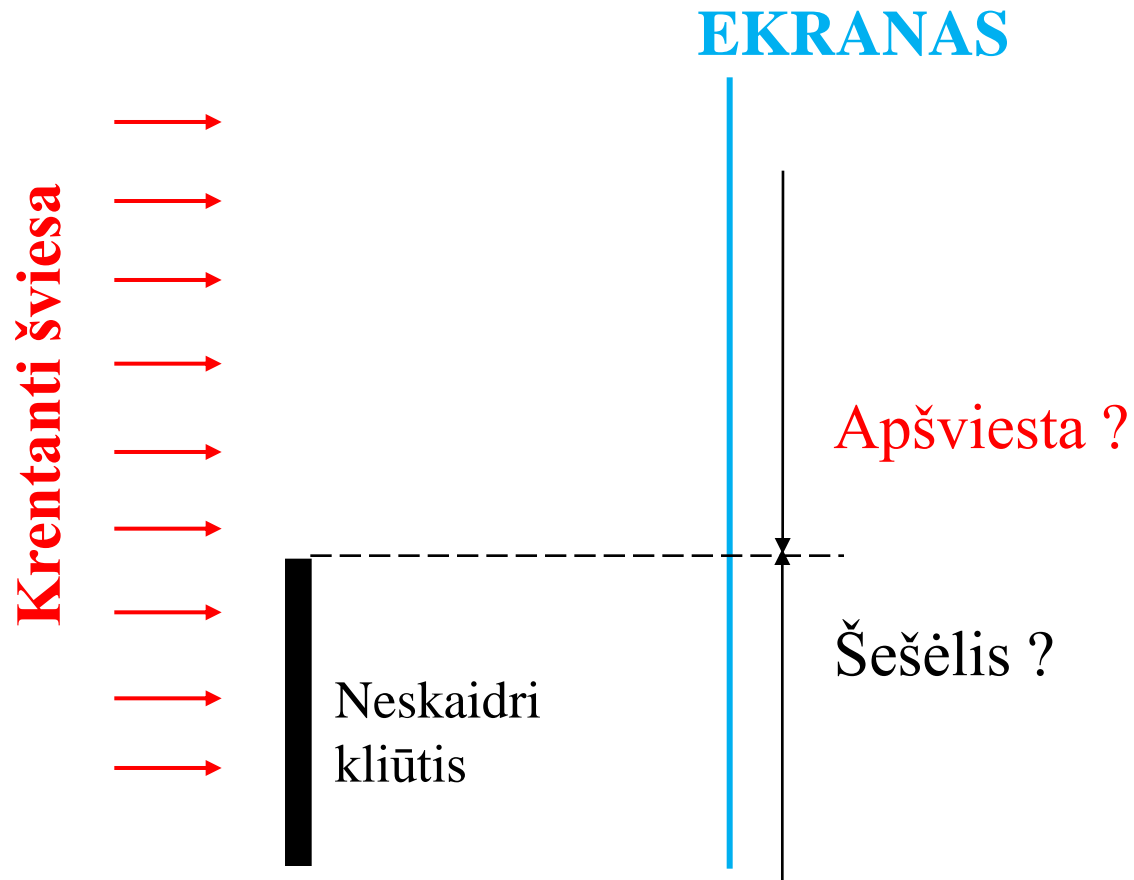


Šviesos intensyvumo pasiskirstymas ekrane



Vaizdas ekrane, į kurį krenta lygiagrečių spindulių pluoštas pro mažą sylutę

# Šviesos difrakcija



# Heigenso principas

Difrakcijos rezultata galima nusakyti taikant **Heigenso principą**.

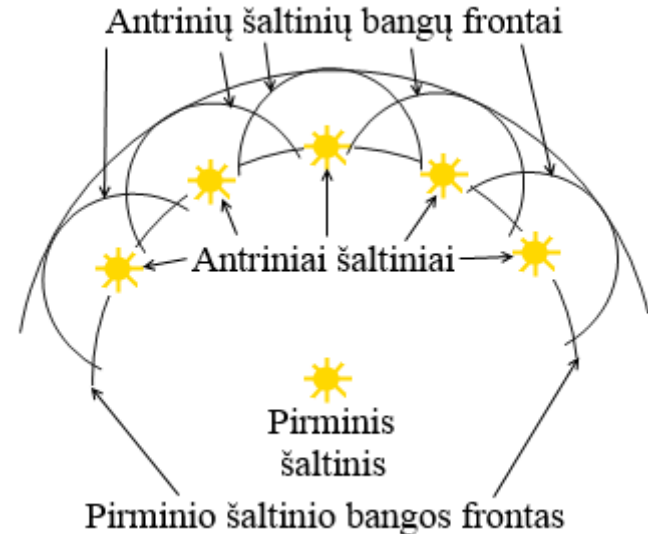
Riba, skirianti banguojančią terpę nuo dar ramios srities, vadinama **bangos frontu**.

Lygiagrečių spindulių pluoštui bangos frontas yra plokštuma, ir tokios bangos vadinamos **plokščiosiomis bangomis**.

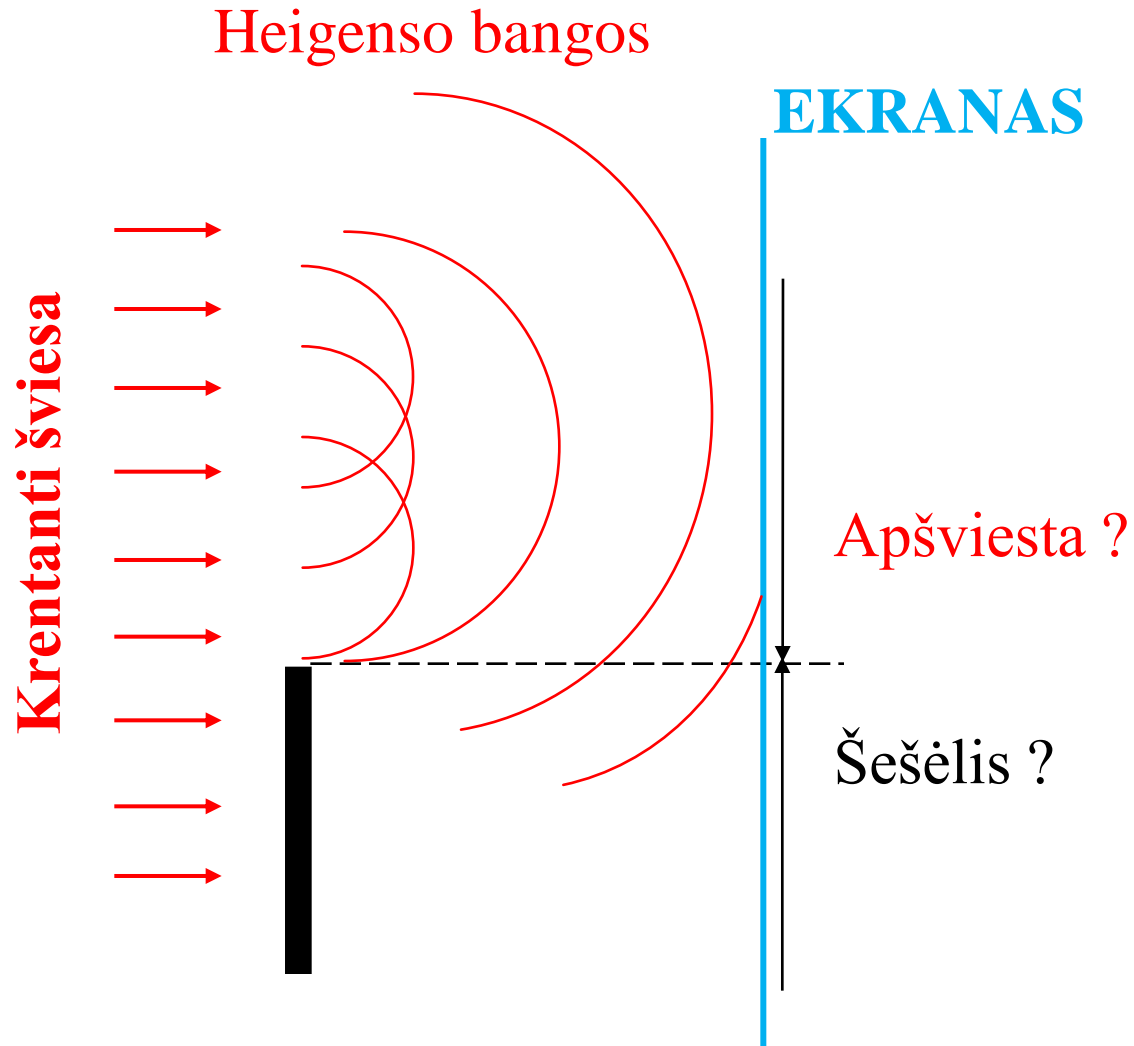
Taškinio šaltinio bangų frontas yra sfera, ir tokios bangos vadinamos **sferinėmis bangomis**.

Heigenso principas teigia, kad kiekvienas bangos fronto taškas yra antrinių sferinių bangų šaltinis, o šių bangų gaubiamoji nusako bangos fronto padėtį bet kuriuo laiko momentu.

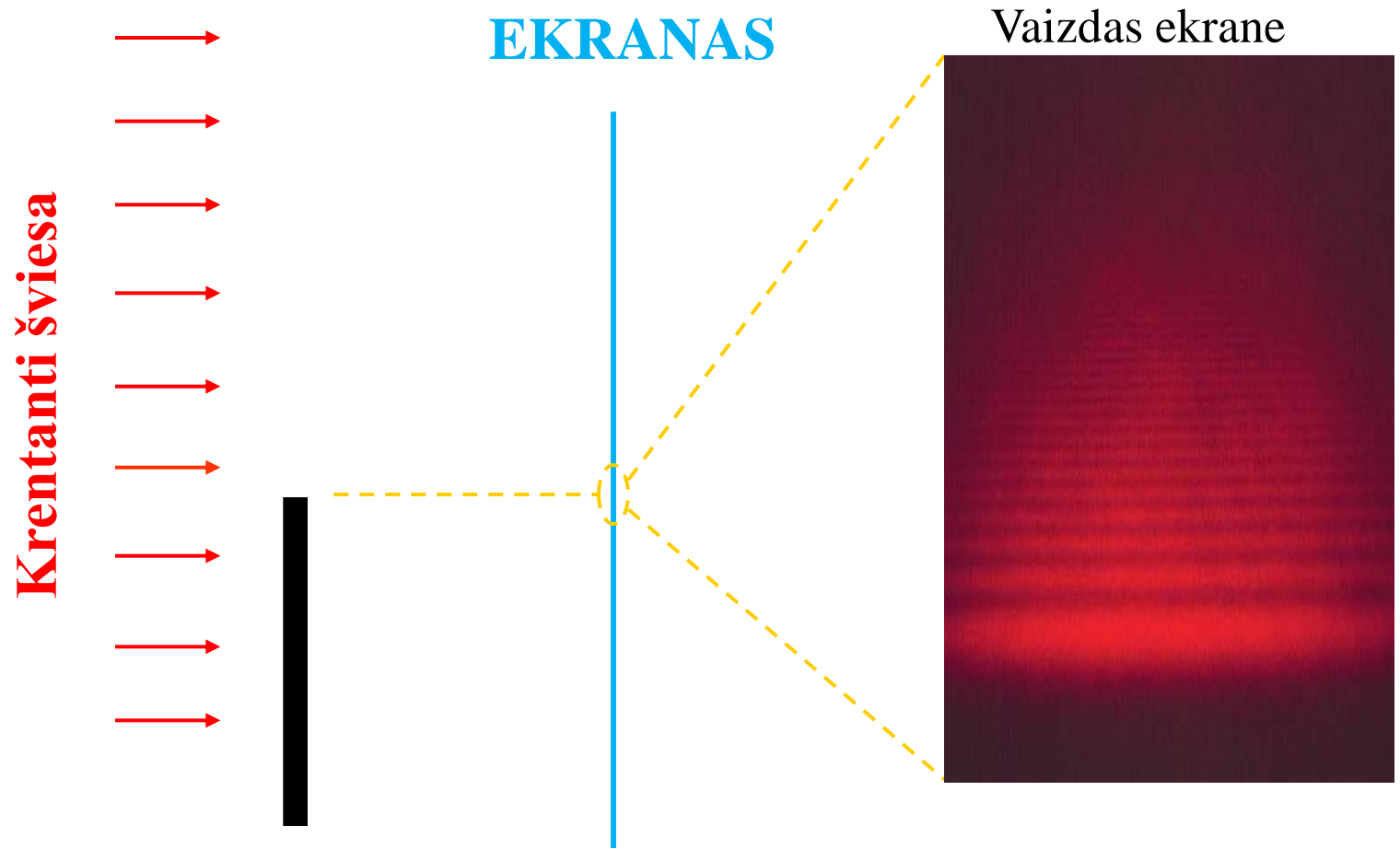
Taigi difrakcijos rezultatas bus antrinių koherentinių šaltinių interferencijos vaizdas. Vienuose ekrano taškuose stebėsime pašviesėjimus, kituose – patamsėjimus. Antrinės bangos pateks ir į šešėlio dalį.



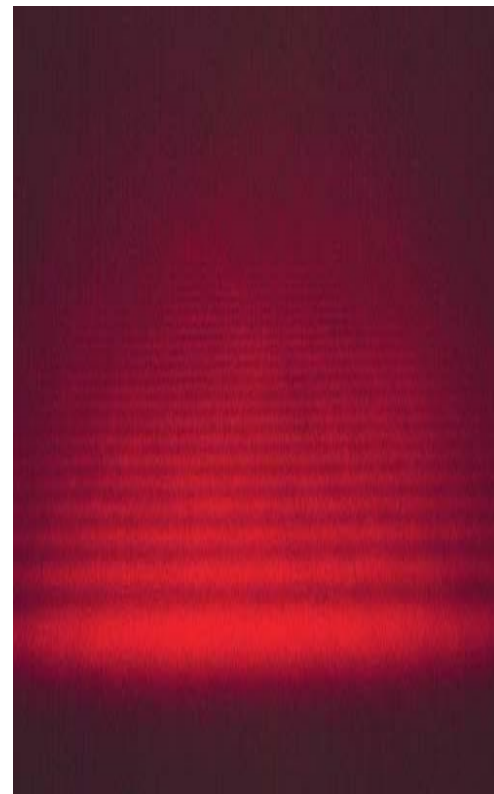
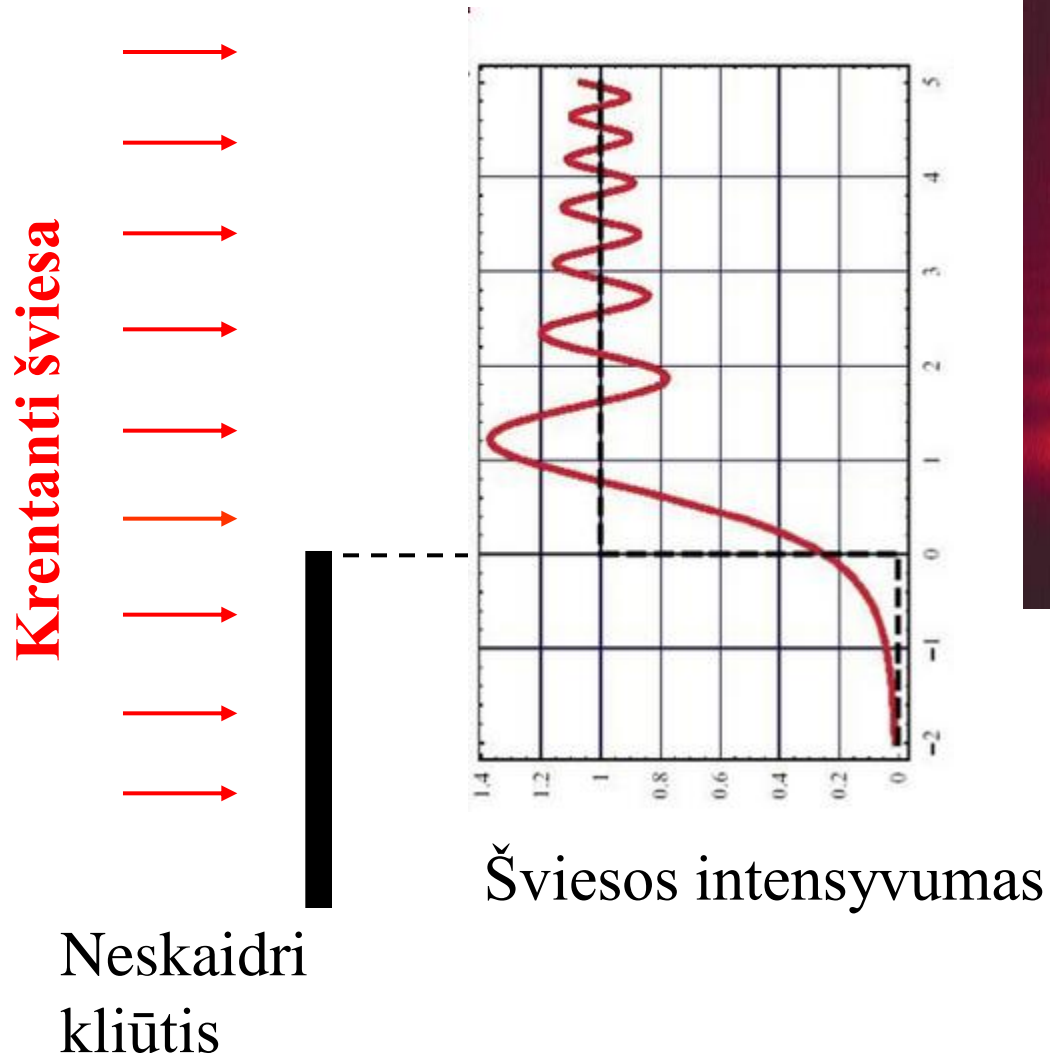
# Šviesos difrakcija



# Šviesos difrakcija



# Šviesos difrakcija

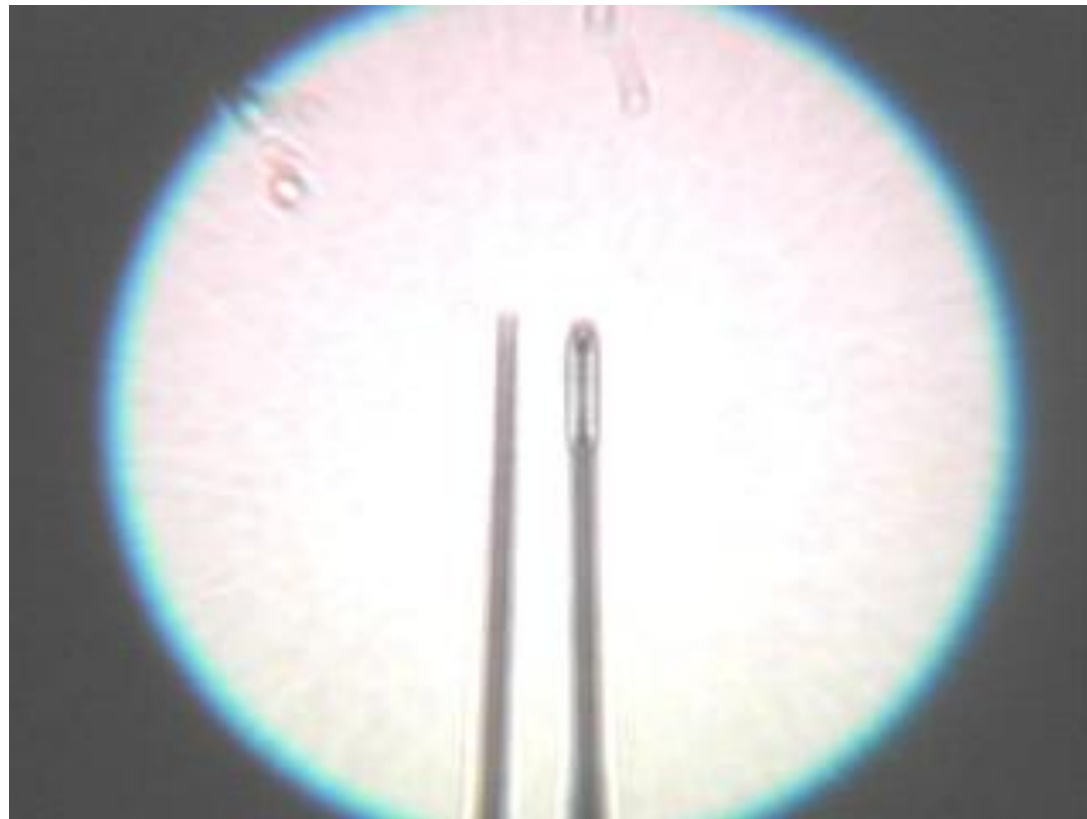


# Šviesos difrakcija. Adatos šėšėlis

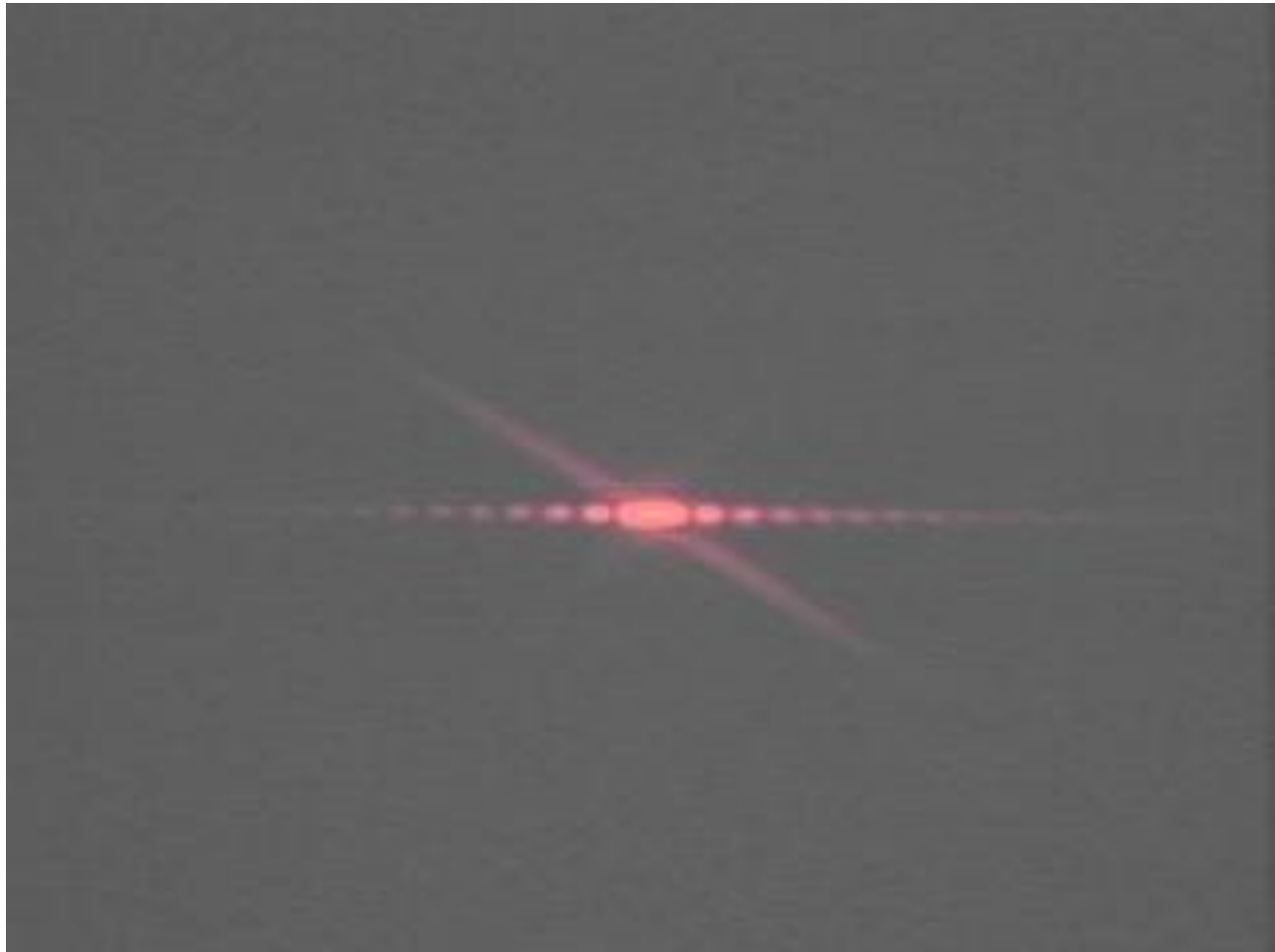


Apšvietus adatos  
smaigalį, ekrane  
matomas šėšėlis  
sukelia įspūdį, kad  
adata perskilusi, t.y.  
šviesa patenka ir į  
šėšėlio sritį. O už

adatos skylutės centre matoma neapšviesta sritis, t. y. čia susidaro  
interferencinis minimumas.



# Lazerio spindulio difrakcija

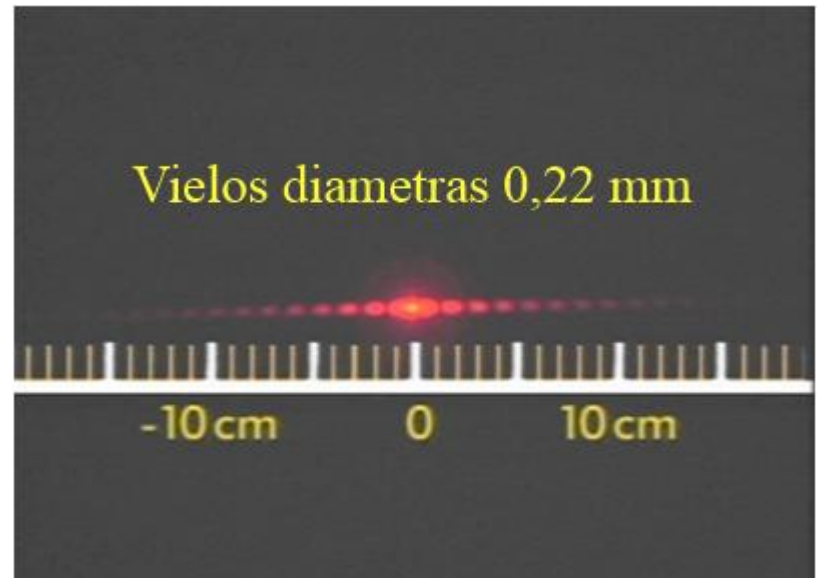


Vienas plyšys

# Lazerio spindulio difrakcija



Bandymo schema

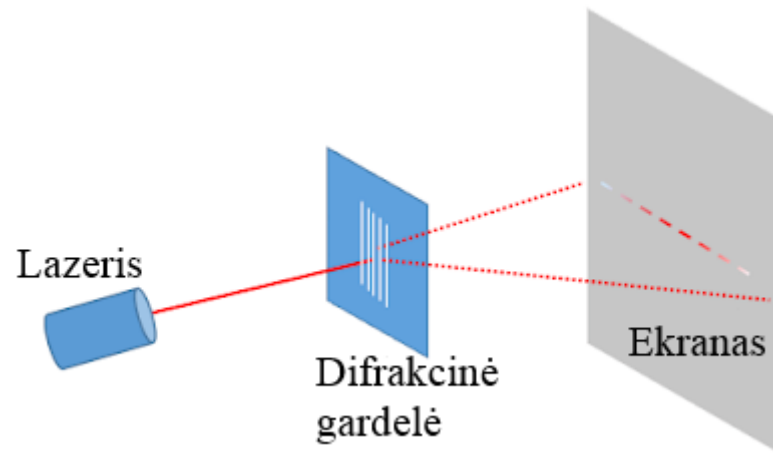
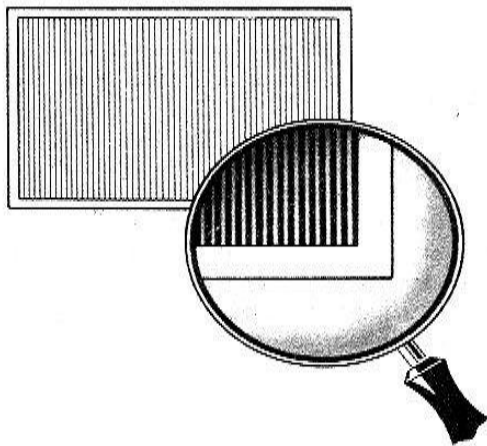


Vaizdas ekrane

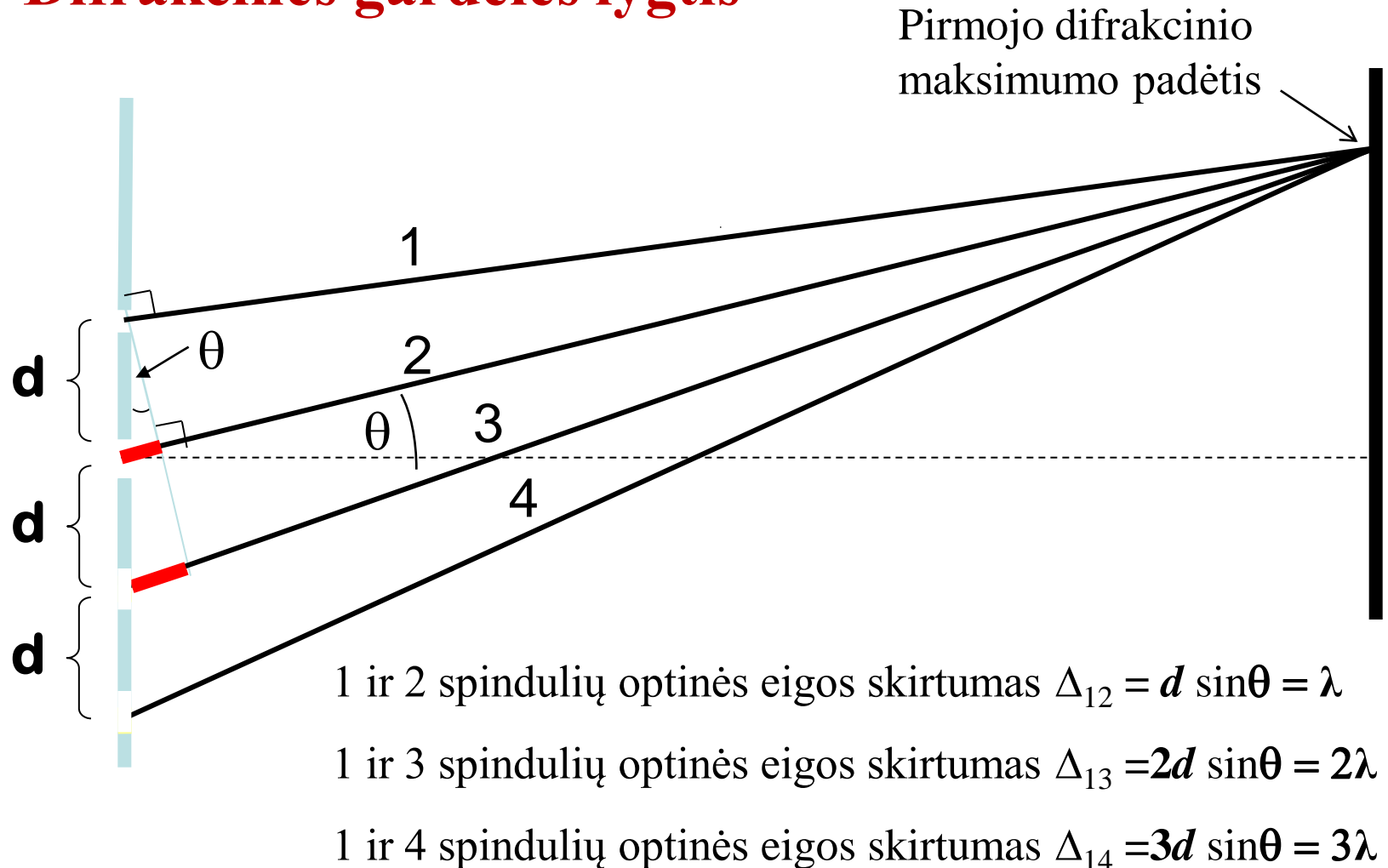
Lazerio spindulio, nukreipto į ekraną, kelyje yra plona viela. Ekranu centre matyti ryškus maksimumas, kurį supa pakaitomis einantys minimumai ir maksimumai. Taigi šešėlis už vielos dėl difrakcijos nesusidaro.

# Šviesos difrakcija difrakcinėje gardelėje

Difrakcinę gardelę sudaro didelis skaičius siaurų, lygiagrečių plyšių, esančių arti vienas kito vienoje plokštumoje. Šiuos plyšius vieną nuo kito skiria neskaidrūs vienodo pločio tarpai. Apšviesti plyšeliai tampa atskirais koherentinės šviesos šaltiniais, pasikartojančiais vienodu tarpu, kuris vadinamas **difrakcinės gardelės konstanta  $d$** . Gretimų plyšelių sklaidžiamos bangos interferuoja ir ekrane matomi interferenciniai maksimumai ir minimumai. Interferencijos rezultatas priklauso nuo spindulių eigos skirtumo. Centre visada susidaro maksimumas.



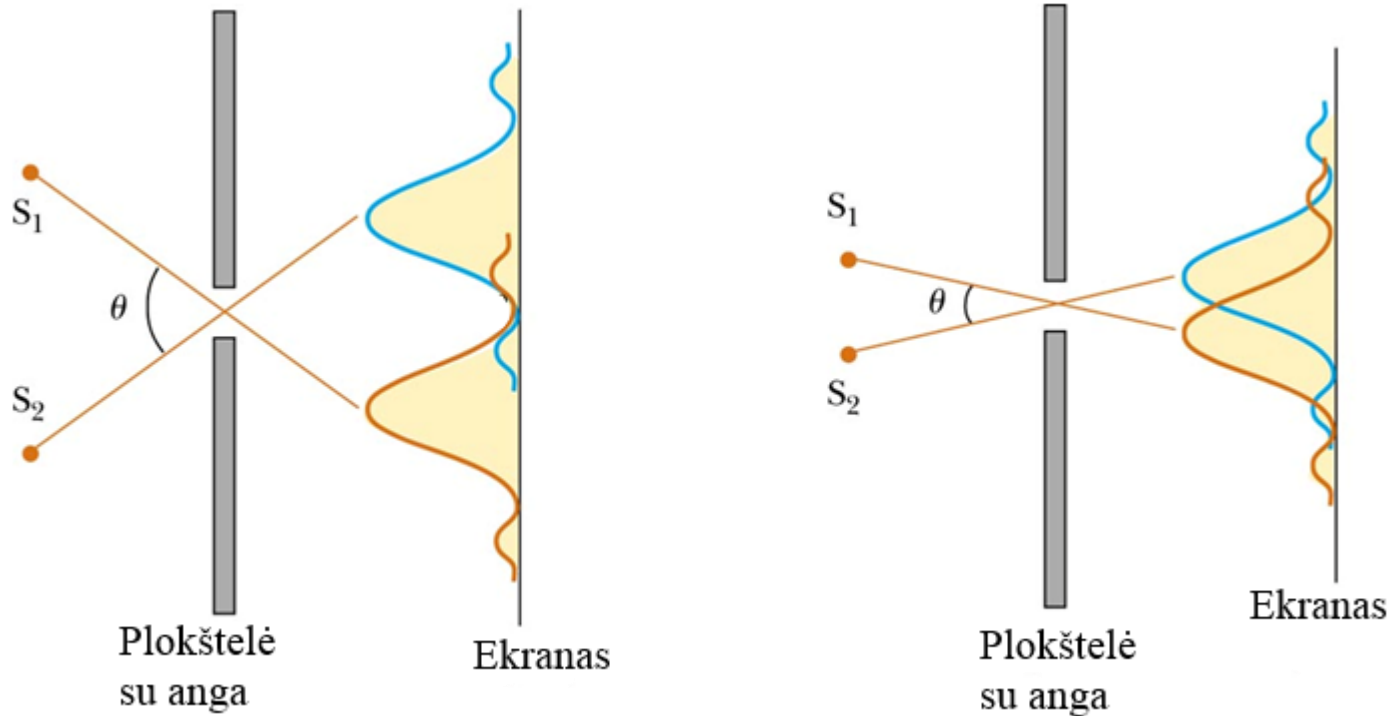
# Difrakcinės gardelės lygtis



Maksimumo sąlyga:  $d \sin \Theta = m\lambda$ ; čia  $m$  – difrakcinio maksimumo numeris ( $m = 0; 1; 2; \dots$ )



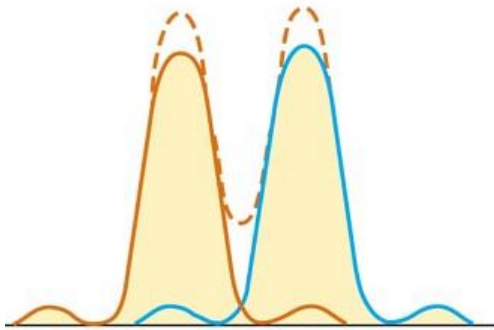
# Optinių prietaisų skiriamoji geba



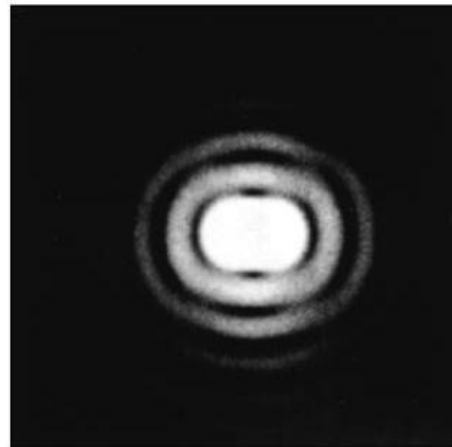
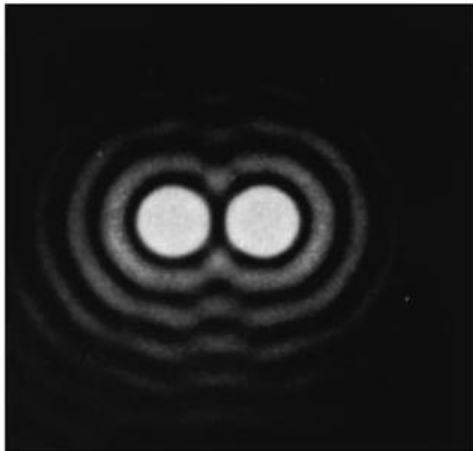
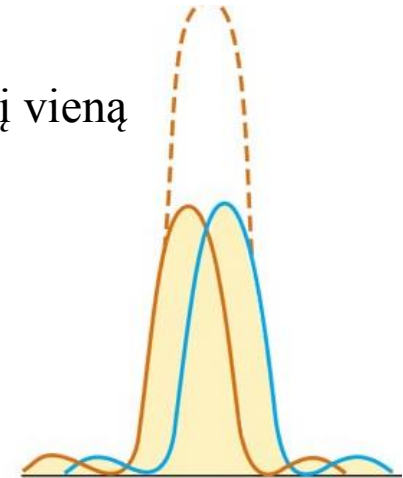
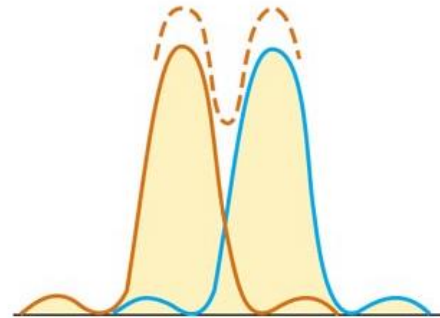
Pro optinių prietaisų objektyvus praeinančios bangos užlinksta, todėl nuo mažų kampų stebimų šviesos šaltinių susidarantys vaizdai ekrane gali persidengti. Taip prarandama galimybė išskirti arti vienas kito esančius objektus.

# Optinių prietaisų skiriamoji geba

Vaizdai išskiriami



Vaizdai susilieja į vieną



Du objektus galima išskirti, jei vieno jų difrakcinio vaizdo centrinis maksimumas yra kito objekto difrakcinio vaizdo pirmajame minimume:  $\theta = \frac{1,22\lambda}{D}$ ; čia  $D$  – angos skersmuo.