



2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“

Projekto sutarties numeris: ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261

Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalaurų rengimui**

## FIZ 221. OPTIKA

### Laboratorinis darbas

#### MONOCHROMATINĖS ŠVIESOS DIFRAKCIJOS TYRIMAS

##### DARBO TIKSLAS:

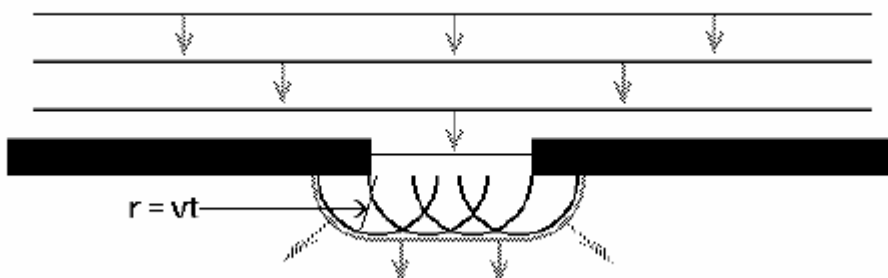
Ištirti lazerio šviesos difrakciją už paprastų tiesinių struktūrų.

##### DARBO UŽDUOTYS:

1. Išmatuoti plyšio plotį keletui skirtingo pločio plyšių pagal difrakcijos minimumų padėtis ekrane.
2. Išmatuoti atstumą tarp dviejų plyšių pagal interferencijos maksimumų padėtis ekrane.

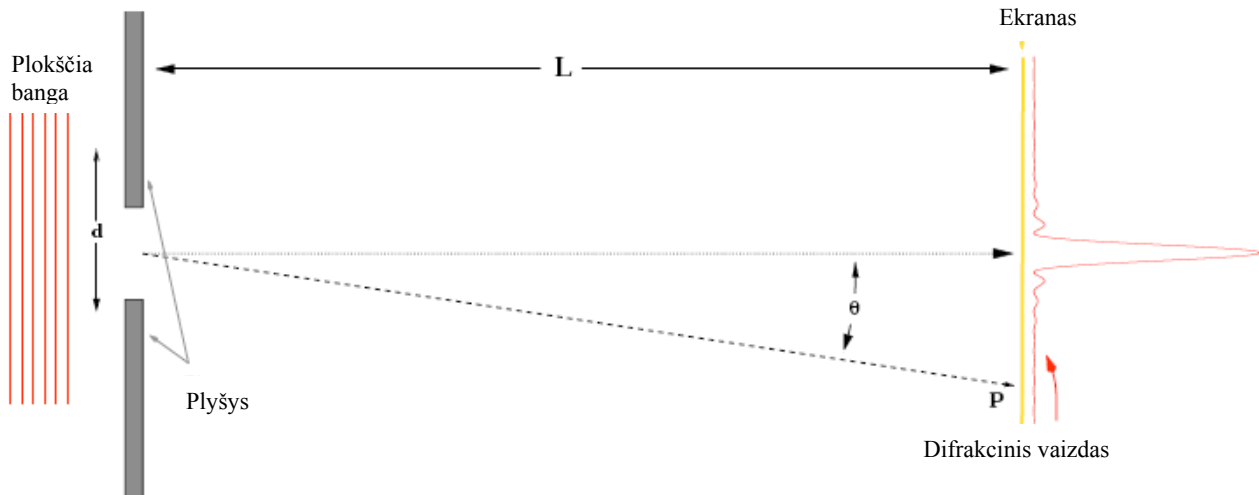
##### TEORIJA:

Šviesos bangos difrakciją galima aiškinti kaip interferenciją bangos su pačia savimi. Pagal Hiuigenso principą, banga sklinda taip, kad jos bangos fronto kiekvienas taškas yra antrinių sferinių bangų šaltinis. Antrinėms bangoms interferuojant, gauname bangos frontą ir intensyvumą vėlesniu laiko momentu. Dėl skirtingų bangos fronto dalių sklaidžiamų antrinių bangų interferencijos, stebime bangų užlinkimą už kliūčių (pav.1) ir intensyvumo fliktuacijas arti šešėlių kraštų.



Pav.1

Difrakcinis monochromatinės šviesos intensyvumo pasiskirstymas už kliūčių apskaičiuojamas, naudojantis šviesos bangų superpozicijos ir Hiuigenso principais. Skaičiuoti intensyvumo pasiskirstymą daug paprasčiau, jei atstumas  $L$  nuo kliūtis iki ekrano (pav.2), kuriame matomas difrakcinis vaizdas, yra daug didesnis už kliūtis matmenis (pvz. plyšio plotį). Tokiu atveju stebime, taip vadinamą, Fraunhoferio difrakciją. Fraunhoferio difrakcijos nagrinėjimas yra daug paprastesnis už Frenelio difrakcijos, kai atstumas iki kliūtis nebūtinai mažas. Todėl šiame laboratoriniame darbe bus tiriamas paprastesnis, Fraunhoferio difrakcijos atvejis.



Pav.2

### Difrakcija už vieno plyšio.

Nagrinėdami difrakciją už plyšio, šviesą laikysime tiesiai poliarizuota monochromatine elektromagnetine banga, kurios elektrinio lauko stipris

$$E = A \sin(\omega t + \phi), \quad (1)$$

čia  $A$  bangos elektrinio lauko amplitudė,  $\omega$  – jos ciklinis dažnis,  $\phi$  – bangos fazė. Jei ekrano taške  $P$  persikloja dvi bangos,  $E_1$  ir  $E_2$ , tai, pagal superpozicijos principą, elektrinio lauko stipris taške  $P$  bus lygus laukų stiprių sumai

$$E_{\Sigma} = E_1 + E_2. \quad (2)$$

Šviesos intensyvumas taške  $P$  proporcingas elektrinio lauko stiprio kvadratui

$$I = (E_1 + E_2)^2. \quad (3)$$

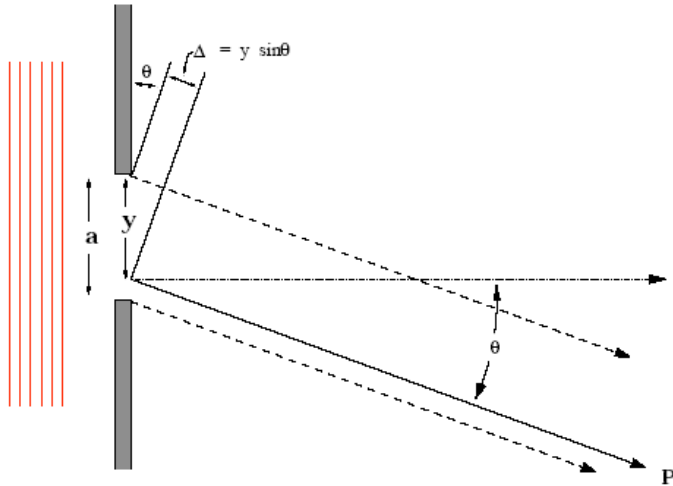
Intensyvumas priklausys nuo abiejų bangų fazių skirtumo. Jei fazių skirtumas toks, kad persikloja maksimumai su maksimumais ir minimumai su minimumais, tai intensyvumas bus maksimalus. Jei persikloja maksimumai su minimumais, tai intensyvumas bus minimalus.

Kai turim difrakciją už plyšio, kiekviename ekrano taške  $P$  interferuoja ne dvi, o daug bangų, kadangi pagal Hiuigenso principą, kiekvienas bangos fronto taškas išilgai koordinatės  $y$  plyšyje spinduliuoja antrines bangas (Pav.3), tokio paties bangos ilgio  $\lambda$ , kaip krentančios į plyšį bangos. Interferencijos rezultatas kiekviename ekrano taške  $P$  priklausys nuo fazių skirtumo tarp antrinių bangų

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} y \sin \theta, \quad (4)$$

kuris susijęs su eigos skirtumu (pav.3)

$$\Delta = y \sin \theta \quad (5)$$



Pav.3

Tada iš plyšio taško  $y$  į ekrano tašką  $P$ , kampu  $\theta$  atėjusios bangos

$$E(y) = A \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} y \sin \theta\right), \quad (6)$$

o visų į  $P$  atėjusių bangų suminis elektrinio lauko stipris

$$E_{\Sigma} = \int_0^a E(y) dy \quad (7)$$

Suintegravę turime

$$E_{\Sigma} \propto \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta}. \quad (8)$$

Išraiškoje (8) praleistos konstantos, svarbios tik jei mus domina tiksli elektrinio lauko stiprio vertė. Pakėlę (8) kvadratu, gauname formulę šviesos intensyvumo pasiskirstymui ekrane už plyšio.

$$I(\theta) = I(0) \frac{\sin^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)^2} \quad (9)$$

Pažymėję

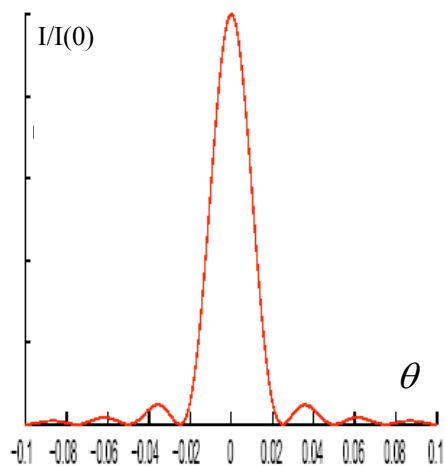
$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta, \quad (10)$$

turime

$$I(\theta) = I(0) \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (11)$$

čia  $I(0)$  centrinio ( $\theta = 0$ ) difrakcinio maksimumo intensyvumas (pav.4). Difrakcijos minimumas  $\alpha = \pm \pi m$ , arba kampams, kuriems bus stebimi difrakcijos už plyšio minimumai

$$\sin \theta_m = \frac{\lambda}{a} m, \quad m = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (12)$$

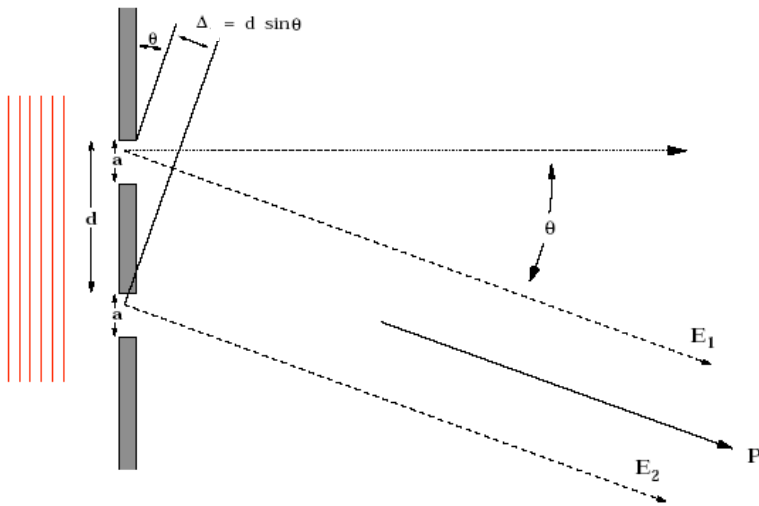


Pav.4

### Difrakcija už dviejų plyšių.

Difrakcijai už dviejų plyšių nagrinėti naudosim pav.5 parodytą schemą. Dabar į kiekvieną ekrano tašką P ateina bangos iš abiejų plyšių ir stebim šių dviejų bangų interferenciją. Iš kiekvieno plyšio ateinanti banga tokia pati, kaip esant tik vienam plyšiui. Todėl

$$E_1 = E_2 = \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)} \sin(\omega t + \varphi) \quad (13)$$



Pav.5

Iš pav.5 matyti, kad fazių skirtumas tarp abiejų bangų

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta, \quad (14)$$

čia laikome, kad pirmos bangos fazė lygi nuliui. Tada suminis abiejų bangų elektrinis laukas

$$E_{\Sigma} = E_1 + E_2 \propto \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)} (\sin(\omega t) + \sin(\omega t + \varphi)) \quad (15)$$

arba

$$E_{\Sigma} \propto 2 \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)} \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right) \sin\left(\omega t + \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right) \quad (16)$$

Gavome, kad ekrano taške P elektrinio lauko amplitudė yra lygi dviejų narių sandaugai

$$A_{\Sigma}(\theta) = A_D(\theta) A_I(\theta) \quad (17)$$

Pirmasis narys

$$A_D(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)} \quad (18)$$

aprašo bangos difrakciją už kiekvieno plyšio. Antrasis narys

$$A_I(\theta) = \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right) \quad (19)$$

bangų iš abiejų plyšių interferenciją. Jei pažymėti

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta \quad (20)$$

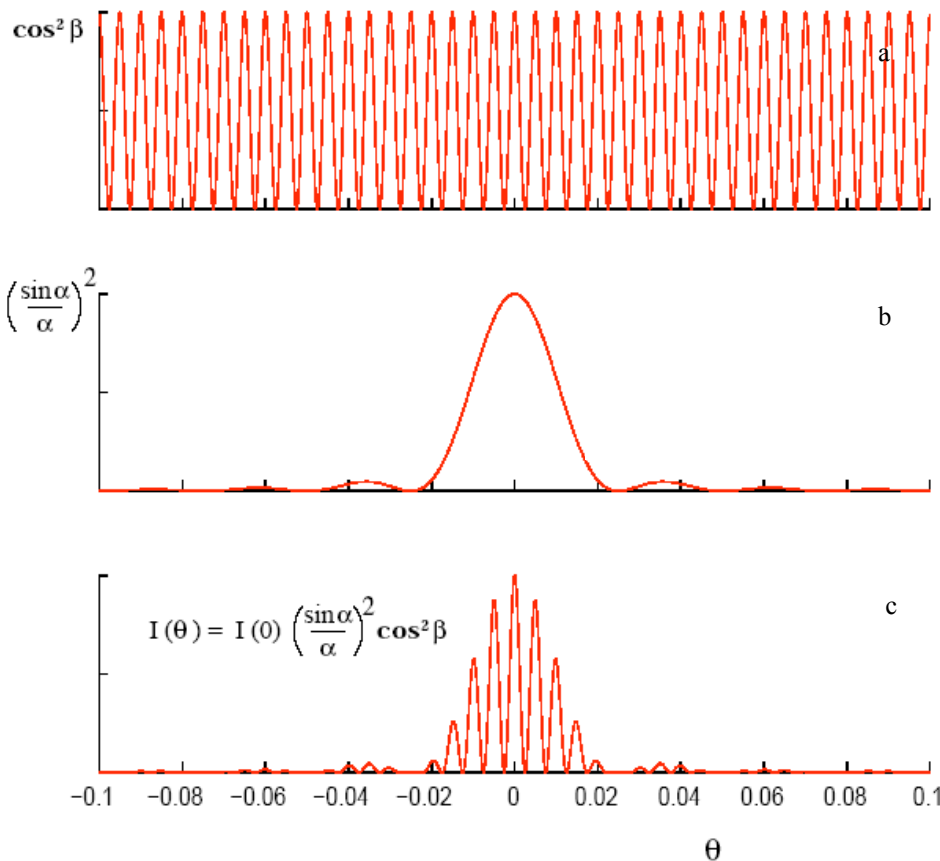
ir panaudoti ankstesnį pažymėjimą (10), tai difracciniam monochromatinės šviesos intensyvumui ekrane už dviejų plyšių turėsime

$$I(\theta) = I(0) \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cos^2 \beta \quad (21)$$

Iš šios formulės išplaukia, kad interferenciniams maksimumams (pav.6,a) tenkinama sąlyga  $\beta = \pi m$ , todėl jie bus stebimi kampams

$$\sin \theta_m = \frac{\lambda}{d} m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (22)$$

Dėl difrakcijos už kiekvieno plyšio (pav.6,b) interferencinių maksimumų intensyvumai bus nevienodi, todėl bendras interferencijos ir difrakcijos už dviejų plyšių intensyvumo pasiskirstymas atrodys taip, kaip pavaizduota pav.6,c.



Pav.6

## DARBO PRIEMONĖS:

1. Puslaidininkinis lazeris
2. Diskas su plyšiais ir laikikliu
3. Optinis suolas,
4. Ekranas su pritvirtintu popieriaus lapu.



Pav.7

## DARBO EIGA:

### *Plyšių pločio matavimas.*

1. Optinio suolo viename gale pastatykite lazerį, kitame ekraną ir maždaug 3 cm atstumu nuo lazerio pastatykite diską su plyšiais, kaip pavaizduota pav,7.
2. Prie ekrano lipnia juostele pritvirtinti balto popieriaus lapą.
3. Liniuote ant optinio suolo krašto išmatuokite atstumą tarp disko ir ekrano.
4. Įjunkite lazerį jungikliu ant galinės lazerio pusės.  
**Dėmesio: nežiūrėkite tiesiai į lazerio spindulį, stebėkite tik vaizdą ekrane !**
5. Sukdami diską nustatykite  $a = 0.02 \text{ mm}$  pločio plyšio ties lazerio spinduliu, jei reikia, sukdami varžtą lazerio galinėje pusėje, nukreipkite spindulį tiesiai į plyšio centrą.
6. Popieriaus lape ant ekrano pažymėkite pirmos eilės difrakcijos minimumų ( $m = 1$ ) ir antros eilės difrakcijos minimumų ( $m = 2$ ) padėtis.
7. Liniuote išmatuoti atstumus tarp tos pačios eilės minimumų padėčių ekrane. Padalinkite išmatuotus atstumus pusiau ir gautą atstumą nuo centrinio piko iki pirmo minimumo  $x_1$  ir iki antrojo minimumo  $x_2$  užsirašykite lentelėje.
8. Pakartokite minimumų padėčių matavimus, kai plyšio plotis 0,04 mm ir 0,08 mm.
9. Pasinaudodami formule (12) apskaičiuokite plyšių plotį,  $a_1$  kai  $m=1$  ir plotį  $a_2$ , kai

$$m=2.$$

10. Apskaičiuokite plyšių pločio matavimo paklaidas.

11. Palyginkite plyšių pločio matavimo rezultatus su plyšių pločiais užrašytais ant disko su plyšiais

1 Lentelė.

Nr	Plyšio plotis $a, mm$	Atstumas $X_1, mm$	Atstumas $X_2, mm$	Plyšio plotis $a_1, mm$	$a_1$ paklaida $mm$	Plyšio plotis $a_2, mm$	$a_2$ paklaida $mm$ .
1	0.02						
2	0.04						
3	0.08						

### *Atstumo tarp dviejų plyšių matavimas*

1. 3 cm atstumu nuo lazerio pastatyti diską su dviem plyšiais.
2. Prie ekrano pritvirtinkite naują balto popieriaus lapą.
3. Išmatuoti atstumą nuo disko su plyšiais iki ekrano.
4. Pasukite diską taip, kad lazerio spindulys eitų per plyšius, kurių plotis  $a=0.02$  mm, o atstumas tarp plyšių  $b=0.25$ . Lazerio spindulys turi eiti per nustatytos plyšių sistemos centrą.
5. Ekrane pažymėkite pirmos eilės ( $m=-1,+1$ ) ir antros eilės ( $m=-2,+2$ ) interferencinių maksimumų padėtis.
5. Liniuote išmatuokite atstumą tarp tos pačios eilės interferencinių maksimumų ir išmatuotus atstumus  $y_1$  ir  $y_2$  užrašykite į lentelę 2.
6. Pakartokite interferencinių maksimumų padėčių matavimus plyšiams, kuriems: ( $a=0.04$  mm,  $b=0.25$  mm), ( $a=0.08$  mm,  $b=0.25$  mm), ( $a=0.08$  mm,  $b=0.5$  mm)
7. Apskaičiuokite atstumą tarp plyšių, pasinaudodami formule (22) ir atstumo nuo disko iki ekrano bei atstumo tarp pirmos ir antros interferencijos eilių maksimumų matavimo rezultatais. Apskaičiuotas atstumo tarp plyšių vertes pirmai interferencijos eilei  $d_1$  ir antrai  $d_2$  užrašykite į lentelę 2.
8. Apskaičiuokite  $d_1$  ir  $d_2$  matavimo paklaidas.



2 Lentelė.

Nr	Plyšių plotis $a, mm$	Atstumas tarp plyšių $b, mm$	$y_1, mm$	$y_2, mm$	$d_1, mm$	$d_2, mm$	<i>paklaida</i> $d_1, mm$	<i>paklaida</i> $d_2, mm$
1	0.04	0.25						
2		0.5						
3	0.08	0.25						
4		0.5						

### KONTROLINIAI KLAUSIMAI:

1. Kokia šviesa vadinama monochromatine?
2. Kaip paaiškinti bangų užlinkimą už kliūčių, remiantis Hiuigenso principu.
3. Kada stebima Frenelio ir kada Fraunhoferio difrakcija?
4. Kaip centrinio difrakcinio maksimumo plotis priklauso nuo plyšio pločio?
5. Suformuluokite difracinių minimumų sąlyga difrakcijai už plyšio.
6. Suformuluokite Interferencinių maksimumų sąlyga difrakcijai už dviejų plyšių.

### LITERATŪRA:

- 1) V. A. ŠALNA, „Optikos laboratoriniai darbai“, <http://www.ff.vu.lt/bfsk/optika/Laboro.html>
- 2) B. Martinėnas, J. Kaulakys, J. Jakimačius „Fizikos pagrindai“, 2000, „Technika“, Vilnius
- 3) V. A. ŠALNA, „Optika“, 2004, „Enciklopedija“, Vilnius