

2007/08/2.

3. MÉRÉS

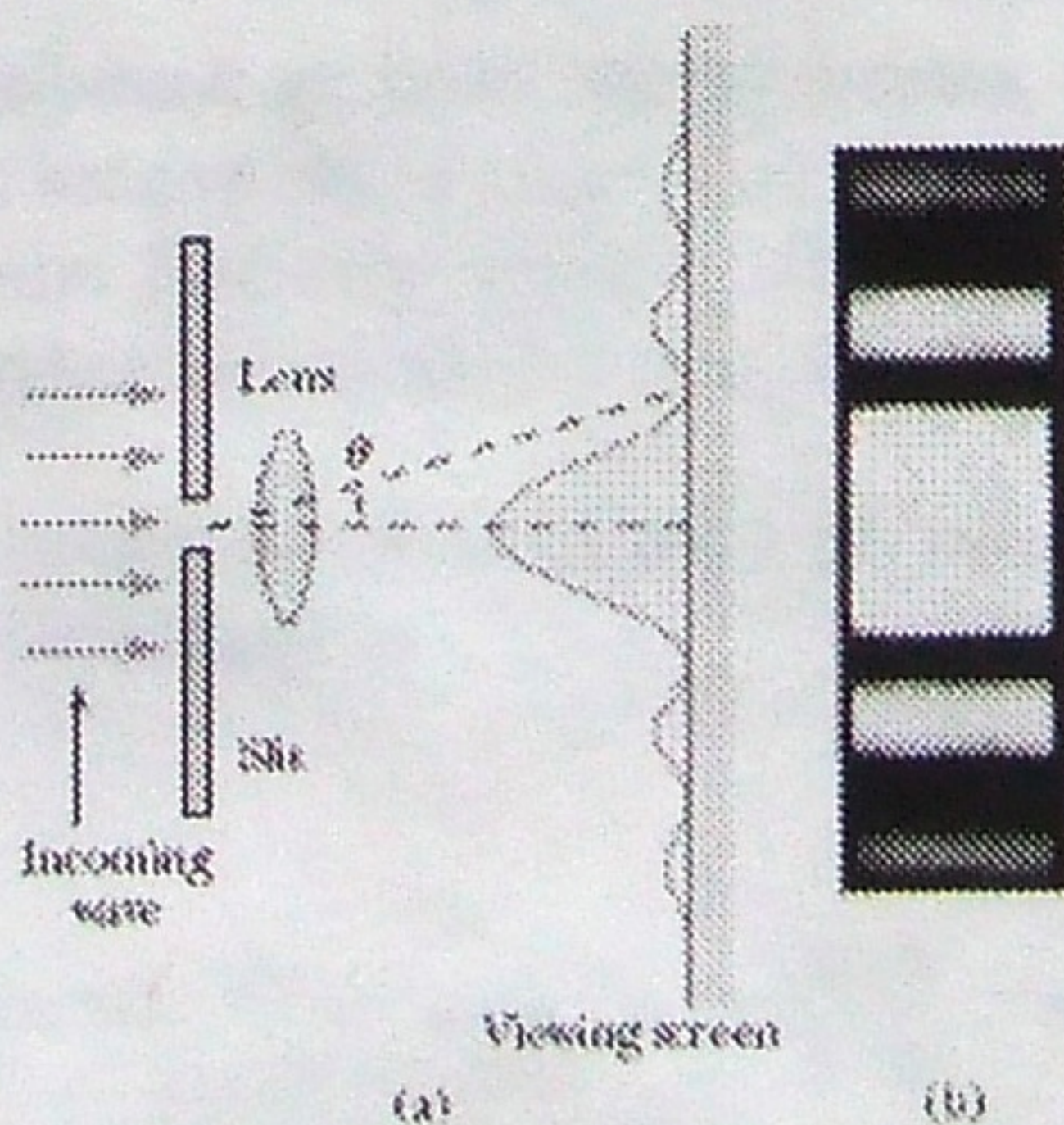
Hullámoptikai alpmérések

A fény egyenes vonalú terjedésétől bizonyos esetekben eltéréseket tapasztalunk. Amikor például egy fénynyaláb áthalad egy keskeny résen, a fény a geometriailag leárnyékolt területre is behatol. Ez a jelenség a fényelhajlás legegyszerűbb esete. A fényelhajlás jelenségek az interferencia jelenségek mellett a fény hullámtermészetének egyértelmű bizonyítékai.

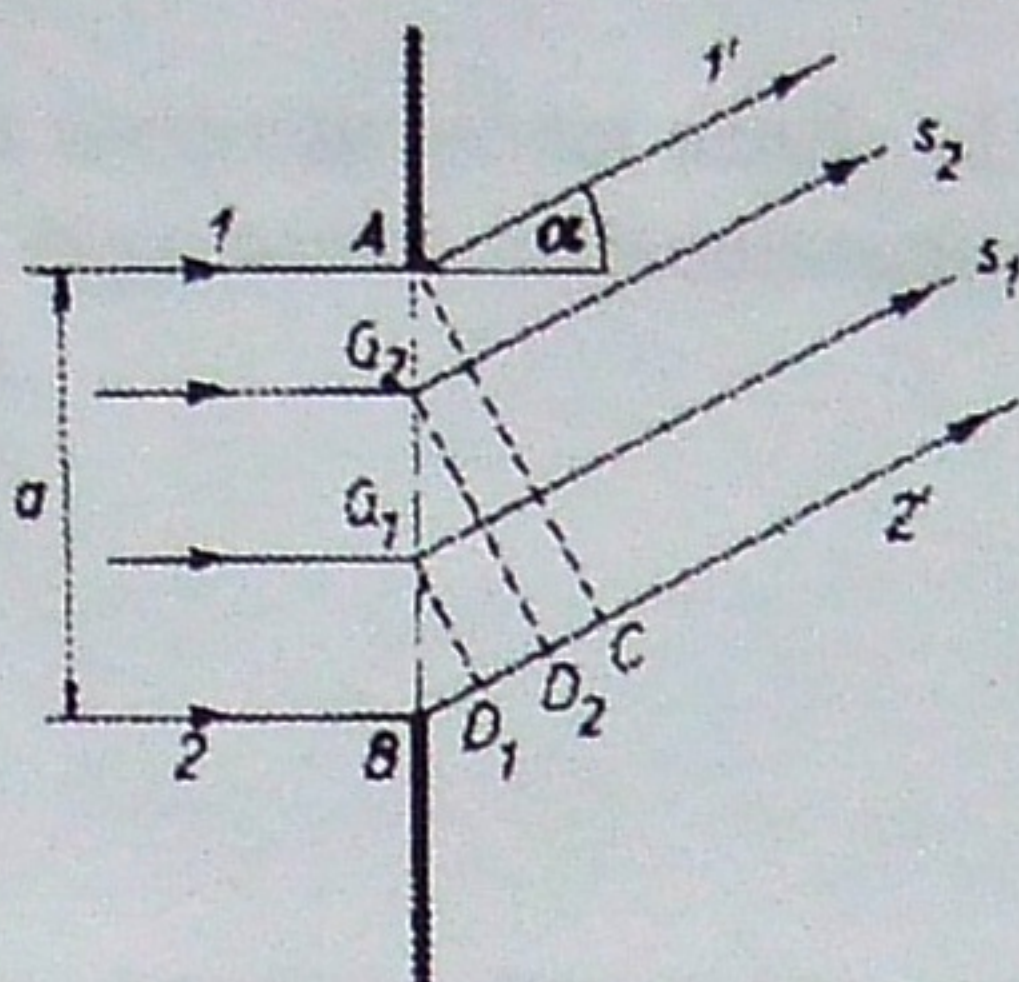
A fényelhajlási jelenségek magyarázatánál is kiemelkedő jelentősége van a Huygens-Fresnel-féle elvnek. A Huygens-Fresnel elv szerint egy hullámfelület minden pontja elemi vagy másodlagos gömbhullámok kiindulópontjának tekinthető, és ezeknek az egymással koherens elemi hullámoknak az interferenciája eredményezi a tér valamely pontjában észlelhető fényhatást.

Egyetlen rés diffrakciója

A rés egy olyan téglalap alakú nyílás, amelynek hosszúsága jóval nagyobb a szélességénél. Világítsuk meg a rést egyenletesen, a rés síkjára merőleges sugarakkal. Egyszínű fény használata esetén a felfogó ernyő közepén egy világos csík, ennek két oldalán szimmetrikusan, több sötét és világos, a szélek felé gyorsan csökkenő intenzitású csík látható. A rés szűkítésével vagy a hullámhossz növelésével a csíkok távolsága nő.



Az egyetlen rés keltette diffrakciós kép magyarázatához tekintsük az alábbi ábrát. A Huygens-Fresnel elv értelmében a rés síkjába érkező hullám minden pontjából egy másodlagos hullám indul ki. A rés által elhajlított fényből tekintsünk egy, a résre eső fénynyaláb irányával α szöget bezáró párhuzamos nyalábot.



E nyaláb két szélső sugara között $BC = a \cdot \sin \alpha$ az útkülönbség. Mérjünk fel a BC-re $\lambda/2$ hosszúságú szakaszokat (ábránkon CD_2 , D_1D_2 , BD_1). D_1 és D_2 pontokból húzzunk párhuzamosokat AC-vel. Ezzel a módszerrel az AB rést három zónára osztottuk. Könnyen belátható, hogy két szomszédos zóna hatása megsemmisíti egymást, hiszen az egyik zóna egy tetszőlegesen kiválasztott sugarához mindig található a másik zónában egy fénysugár, amelyek között $\lambda/2$ az útkülönbség, pl. a B és a G_1 pontból kiinduló fénysugarak. Az ábra esetében csak a G_2A zóna hatása marad meg.

Az $\alpha=0$ irányban, tehát a beeső fény irányában haladó sugarak között nincs útkülönbség, tehát ebben az irányban fénymaximumnak kell lennie.

Az α szöget folytonosan növelve találunk egy olyan α_1 szöget, amelynél AB éppen két zónát tartalmaz, vagyis $BC = a \cdot \sin \alpha_1 = 2 \cdot \lambda/2$. Az előbbi gondolatmenet alapján könnyen megérthető, hogy a két zónából induló fénysugarak kioltják egymást. A felfogó ernyőn ennél az α_1 szögnél lesz az első minimum.

Az α szöget tovább növelve eljutunk az ábrán látható esethez, amikor is az AB rés három zónát foglal magában. Ennél a szögnél $BC = a \cdot \sin \alpha = 3 \cdot \lambda/2$, és itt várható az első oldalsó maximum. Az első oldalsó maximum fényereje sokkal kisebb lesz, mint a főmaximumé, mert most a fényhatást csak a rés egyharmad részéből induló elemi hullámok létesítik.

E megfontolások alapján az intenzitás minimumokhoz ill. maximumokhoz tartozó elhajlási szögekre fennállnak az alábbi összefüggések:

Intenzitás minimum: $\sin \alpha_m = 2m \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{a}$ ahol $m=1, 2, \dots$

Intenzitás maximum: $\sin \alpha_m = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{a}$ ahol $m=1, 2, \dots$

A fenti elemi módszerekkel nyert összefüggéseken túlmenően a pontosabb elmélet megadja az 1. ábrán látható intenzitás eloszlás görbét is.

Az intenzitás minimumokra kapott formulák módosítást adnak, pl. két sötét csík közötti távolság lemérésével hullámhossz mérésre vagy ismert hullámhosszúságú fény alkalmazása esetén a rés szélességének meghatározására.

Fényelhajlás kör alakú nyíláson

A kör alakú nyílás diffrakciós képe középen világos kör, néhány sötét és világos gyűrűvel körülvéve.



Az itt nem részletezendő elméleti számítások szerint egy d átmérőjű kör alakú nyílás esetén az első minimumhoz tartozó α_1 elhajlási szög az alábbi összefüggés áll fenn:

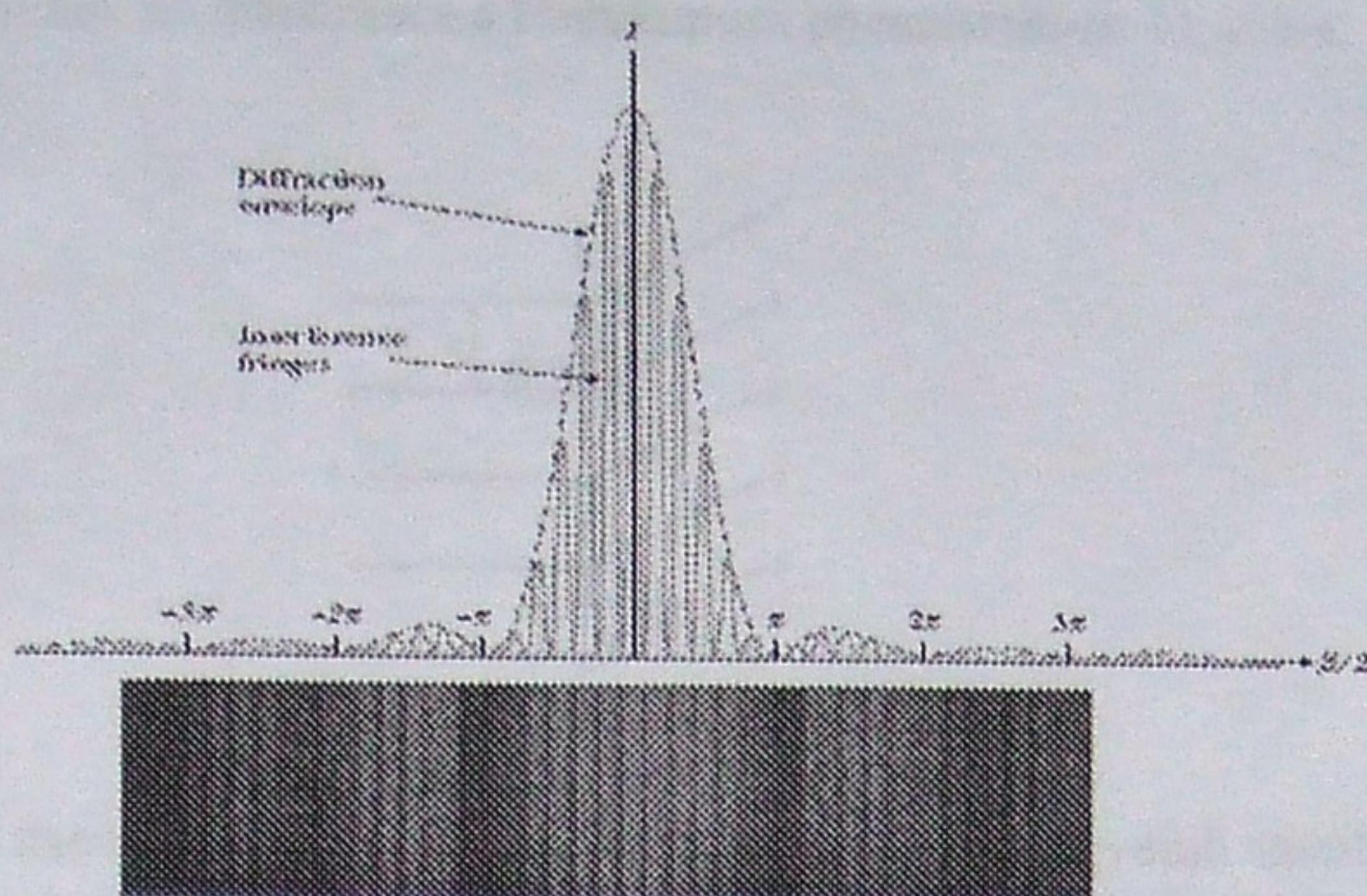
$$\sin \alpha_1 = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$$

A fenti formula szintén módosítást ad hullámhossz mérésre vagy ismert hullámhosszúságú fény alkalmazása esetén a kör alakú nyílás átmérőjének meghatározására.

Fényelhajlás kettős résen

Átlátszatlan ernyőn legyen több, szabályosan egymásra következő rés, mindegyiknek a szélessége a , egy rés és egy átlátszatlan rész együttes szélessége pedig d . A több résből álló rendszer elhajlási képe lényegesen eltér az egyszerű résétől, mert a különböző réseken elhajló sugarak interferálnak egymással.

Az interferenciakép középső részén néhány egységes intenzitású tűnő interferenciamaximum látható. Ezeknek a maximumoknak az intenzitásai azonban nem állandók, hanem mindkét oldalon lassan nullára csökkennek, majd alacsony intenzitással kétszer-háromszor újra megjelennek, mígnem annyira elhalványulnak, hogy csak nehezen lesznek láthatók.



Hasonlítsuk össze a kétréses képet egy olyan egyrészes képpel, ahol a rés szélességek egyenlők. A kétréses kép alakját (burkológörbét) tekintve megfelel az egyrészes diffrakciós képnek. A kétréses kép azonban vékony maximumokra ill. minimumokra, un. interferenciacsíkokra esik szét.

A bonyolult matematikai számolásokat mellőzve a kétréses kép szerkezete úgy magyarázható, hogy a két résből érkező fény interferencián megy keresztül. Így olyan csíkok keletkeznek, amelyeket ugyan két nyalábbal kaptunk, de a csíkok intenzitását az ernyő adott pontjába érkező fény mennyisége korlátozza. Ez utóbbit viszont a réseken bekövetkező diffrakció határozza meg.

Ennek megfelelően erősítést azokban az irányokban tapasztalunk, ahol a két résből származó fényhullám által megtett út különbsége megegyezik a hullámhossz egészszámú többszörösével.

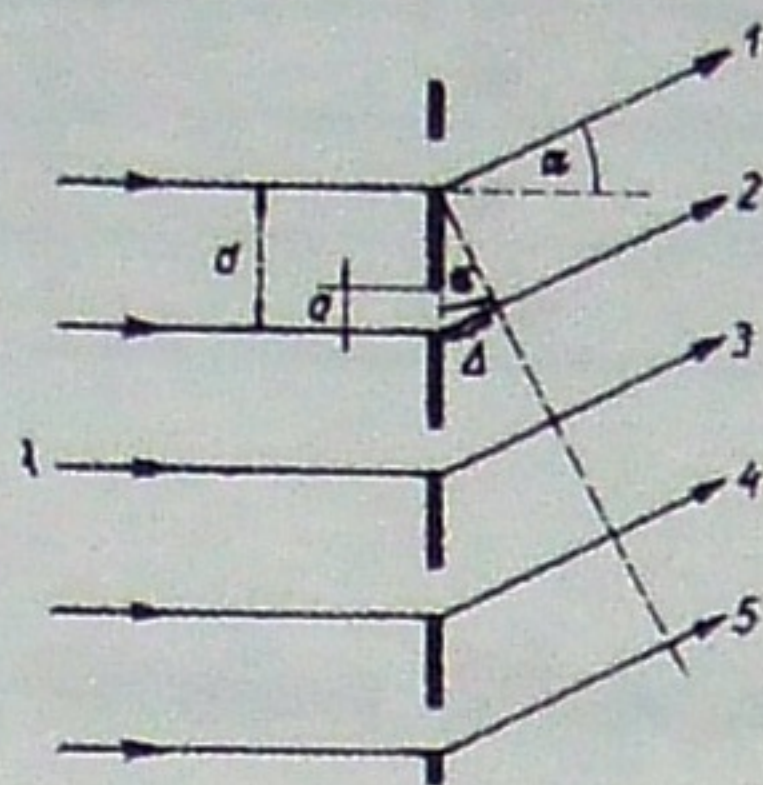
Intenzitás maximum: $\sin \alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{d}$ ahol $m=1, 2, \dots$

Alaposabban szemügyre véve az interferenciaképet azt tapasztaljuk, hogy bizonyos m értékhez tartozó erősítési helyek hiányoznak, ugyanis a réseken bekövetkező diffrakció következtében az adott helyre nem jut fény.

A diffrakciós vagy optikai rács

Amikor az egy, kettő, három vagy több azonos szélességű rés hatására keletkezett intenzitásképeket lefényképezzük, a legszembetűnőbb változás, ami a résszám növekedésével bekövetkezik, az interferencia maximumok elkeskenyedése. Egy másik, kisebb jelentőségű változás az, hogy a főmaximumok között gyenge, másodlagos maximumok jelennek meg, amelyek

száma a rések számával együtt növekszik. Három résnél mindössze egy másodlagos maximum jelenik meg, aminek az intenzitása a főmaximum intenzitásának 11,1%-a.



Különösen fontos a nagyszámú, egyenlő szélességű, egymástól egyenlő távolságban párhuzamosan elhelyezett rések összessége, amelyet diffrakciós vagy optikai rácsnak nevezünk. Az optikai ráccsal előállított diffrakciós képen található intenzitás maximumok helyüket tekintve megfelelnek a kettős rés maximumainak:

Intenzitás maximum: $\sin \alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{d}$ ahol $m=1, 2, \dots$

Rács esetében azonban nagyobbak az intenzitás értékek a rések számának négyzetével arányosan. A különböző m értékhez tartozó intenzitás maximumok relatív nagyságát minden esetben az egyrése diffrakciós burkológörbe határozza meg.

Feladatok

1. Állítsa elő a rendelkezésre bocsátott ismeretlen szélességű rés (*SINGLE SLIT*) diffrakciós képét és határozza meg a rés szélességét! A feladat teljesítéséhez szükség van az alkalmazott fény hullámhosszára. Használhat irodalmi adatot, de használhatja a 7. mérés eredményét is. Végezzen öt független mérést a diffrakciós képen! Végezzen hibabecslést!
2. Állítsa elő a rendelkezésre bocsátott kör alakú nyílássorozatot (*HOLES A, B, C, D*) diffrakciós képét! Fogalmazza meg mit tapasztal a nyílás átmérőjének növekedésekor!
3. Állítsa elő a rendelkezésre bocsátott kör alakú nyílás diffrakciós képét. A diffrakciós képen 60° -onként mérje le az első minimumhoz tartozó átmérőket! Határozza meg a nyílás átmérőjét! Végezzen hibabecslést!
4. Állítsa elő egy azonos résszélességű egyes rés (*SINGLE SLIT*) és kettős rés (*MULTIPLE SLIT 2*) diffrakciós képét! Mi a hasonlóság és mi az eltérés a diffrakciós képek között?

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM FIZIKA ÉS KÉMIA TANSZÉK

OPTIKAI ÉS FÉLVEZETŐFIZIKAI LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK

2007/08/2.

3. MÉRÉS

Hullámoptikai alapmérések

1. Állítsa elő a rendelkezésre bocsátott ismeretlen szélességű rés (*SINGLE SLIT*) diffrakciós képét és határozza meg a rés szélességét! A feladat teljesítéséhez szükség van az alkalmazott fény hullámhosszára. Használhat irodalmi adatot ($\lambda=6,328 \cdot 10^{-7}$ m), de használhatja a 7. mérés eredményét is. Végezzen öt független mérést a diffrakciós képen! Végezzen hibabecslést!

Az első minimumhelyek közötti távolság mérése

Mérés sorszáma	Mért érték (mm)
1. mérés	
2. mérés	
3. mérés	
4. mérés	
5. mérés	

Leolvasási hiba	$\pm$		mm
-----------------	-------	--	----

A diffrakciós rács és a kép távolsága:		mm	($\pm$		mm)
--	--	----	---------	--	-----

2. Állítsa elő a rendelkezésre bocsátott kör alakú nyílássorozat (*HOLES A, B, C, D*) diffrakciós képét! Fogalmazza meg mit tapasztal a nyílás átmérőjének növekedésekor!
3. Állítsa elő a rendelkezésre bocsátott kör alakú nyílás diffrakciós képét. A diffrakciós képen 60° -onként mérje le az első minimumhoz tartozó átmérőket! Határozza meg a nyílás átmérőjét! Végezzen hibabecslést!

Az első minimumhelyek közötti távolság mérése

Mérés sorszáma	1. irány Mért érték (mm)	2. irány Mért érték (mm)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		

Leolvasási hiba	$\pm$ mm
-----------------	-------------------------------

A diffrakciós rács és a kép távolsága:	mm ($\pm$ mm)
--	--

4. Állítsa elő egy azonos résszélességű egyes rés (*SINGLE SLIT*) és kettős rés (*MULTIPLE SLIT 2*) diffrakciós képét! Mi a hasonlóság és mi az eltérés a diffrakciós képek között?
5. Ehhez a méréshez használt kettős rés sorozat elemei a következők:

Jelölés	Rés szélesség (mm)
$25_u \times 25_u$	w
$25_u \times 35_u$	w
$25_u \times 50_u$	w
$50_u \times 50_u$	$2 \cdot w$

Hasonlítsa össze a sorozat elemeinek diffrakciós képét! Méréssel határozza meg a részek távolságát!

$25_u \times 25_u$ jelű kettős rés

Mérés sorszáma	m=0 és m=-1 közötti távolság (mm)	m=0 és m=1 közötti távolság (mm)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		

Leolvasási hiba	$\pm$ mm
-----------------	-------------------------------

A diffrakciós rács és a kép távolsága:	mm ($\pm$ mm)
--	--

$25_u \times 35_u$ jelű kettős rés

Mérés sorszáma	m=0 és m=-1 közötti távolság (mm)	m=0 és m=1 közötti távolság (mm)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		

Leolvasási hiba	$\pm$ mm
-----------------	-------------------------------

A diffrakciós rács és a kép távolsága: mm ($\pm$ mm)

25_u x 50_u jelű kettős rés

Mérés sorszáma	m=0 és m=-1 közötti távolság (mm)	m=0 és m=1 közötti távolság (mm)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		

Leolvasási hiba $\pm$ mm

A diffrakciós rács és a kép távolsága: mm ($\pm$ mm)

50_u x 50_u jelű kettős rés

Mérés sorszáma	m=0 és m=-1 közötti távolság (mm)	m=0 és m=1 közötti távolság (mm)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		

Leolvasási hiba $\pm$ mm

A diffrakciós rács és a kép távolsága: mm ($\pm$ mm)

- Állítsa elő egy azonos résszélességű egyes rés (*SINGLE SLIT*) és többszörös rések (*MULTIPLE SLIT 2, 3, 4, 5, 6*) diffrakciós képét! Mi a hasonlóság és mi az eltérés a diffrakciós képek között?
- Egy 300 vonal/mm vonalsűrűségű optikai rács segítségével határozza meg a mérésekhez használt fény hullámhosszát!

m	m=0 erősítési helytől mért távolság (mm)
-3	
-2	
-1	
+1	
+2	
+3	

Leolvasási hiba	$\pm$ mm
-----------------	-------------------------------

A diffrakciós rács és a kép távolsága:	mm ($\pm$ mm)
--	--

8. Határozza meg a rendelkezésére bocsátott optikai rács vonalsűrűségét!

m	1. rács m=0 erősítési hely- től mért távolság (mm)	2. rács m=0 erősítési hely- től mért távolság (mm)	3. rács m=0 erősítési hely- től mért távolság (mm)
-5			
-4			
-3			
-2			
-1			
+1			
+2			
+3			
+4			
+5			

Leolvasási hiba	$\pm$ mm
-----------------	-------------------------------

A diffrakciós rács és a kép távolsága:	mm ($\pm$ mm)
--	--

Felhasznált irodalom:

1. Optika. Szerkesztette: Dr. Ábrahám György, Panem-McGraw-Hill, 1998.
2. Erostyák János – Kürti Jenő – Raics Péter – Sükösd Csaba: Fizika III. Fénytan, Relativitáselmélet, Atomhéjfizika, Atommagfizika, Részecskefizika. Szerkesztette: Erostyák János és Litz József. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2006.
3. Berta Miklós, Farzan Ruszlán, Giczi Ferenc, Horváth András: Mérnöki Fizika, Universitas Kht., Győr.