

Diffraction och interferens

Syfte och mål

När ljus avviker från en rätlinjig rörelse kallas det för diffraction och sker då en våg passerar en öppning eller en kant. Det är just detta fenomen som gör att vi kan höra ljud bakom ett hörn.

Interferensfenomenet uppkommer då två eller fler vågor överlappar varandra, baserat på superpositionsprincipen.

Diffraction är något man stöter på vid mikroskopi. Detta fenomen avgör vad man kan upplösa, alltså den minsta struktur man kan urskilja. Upplösningen (diffraktionsgränsen) hos ett mikroskop ligger på ungefär halva våglängden ($\sim 300\text{nm}$). Inom biologin används röntgenkristallografi för att studera makrostrukturer hos t.ex. proteiner. Röntgenkristallografi är baserat på diffraction av kortvågig strålning (röntgenstrålning) i proteinets struktur. Väteatomernas läge i kristalliserade proteiner kan bestämmas genom diffraction av neutroner.

Laborationens syfte är att du ska lära dig att:

- Förstå begreppen interferens och diffraction
- Teoretisk beräkna intensitetsfördelningen för enkel-, och dubbelspalt
- Experimentellt verifiera de teoretiskt framtagna värden för intensitetsminima
- Bestämma brytningsindex för vatten genom en interferensmetod
- Bestämma tjockleken på ett hårstrå

Utrustning

- En rörlig fotodiod för mätning av intensitetsfördelning
- Skrivare med förförstärkare
- He-Ne laser
- Enkelspalt, dubbelspalt, gitter samt cirkulärt hål, fastsatt i diabildshållare
- Vit skärm
- Plexiglas vanna
- Optisk räls för fastsättning av rymtare
- Linjal

Moment 1.

- 1) Ta fram intensitetsspektra för en enkelspalt (0.08 mm) och verifiera dess spaltbredd genom experimentella beräkningar.

För genomförande se **Bilaga 1 – Laborationsguide**

Fyll i dina resultat i **Bilaga 2 - Beräkningstabeller**

- 2) Jämför det teoretiska förhållandet mellan topparnas intensitet vid enkel respektive dubbelspalt. Skriv in detta i en tabell och jämför de experimentellt uppmätta värdena mot de teoretiskt framtagna värdena.¹ Bestäm sedan intensitetsfördelningen som funktion av dels böjningsvinkeln θ för enkel respektive dubbelspalt, samt genom att jämföra genom att mäta topparnas höjd. Jämföra kvoten mellan centralmaxima, I_0 , mot sidomaxima I_1, I_2, I_3 i båda fallen.
- 3) Beräkna experimentellt gitterkonstanten för gittret ($a=10/\text{mm}$) genom att använda den uppmätta intensitetsfördelningen.
- 4) För ett cirkulärt hål med diametern d , samt ljusets våglängd λ , gäller att första intensitetsminimum uppfyller ekvation (8), verifiera detta uttryck genom att använda den uppmätta intensitetsfördelningen. Välj hålet med diametern (0.3 mm).
- 5) Gör en felberäkning för spaltbredden ur uppgift (1) samt uppgift (3).
- 6) **EXTRAUPPGIFT 1.** Vid mån om tid, mät upp tjockleken på ett av dina hårstrån.
- 7) **EXTRAUPPGIFT 2.** Vid mån om tid, mät upp avstånden mellan spåren på en CD-skiva.

Moment 2.

- 1) Bestäm brytningsindex för vatten genom att använda en vanna med vatten mellan lasern och fotodioden. Innan laborationen genomförs skall du beskriva hur du tänker genomföra experimentet.

¹ Den experimentella mätningen av intensitetsfördelningen skall göras dels genom att mäta höjden på topparna samt genom att mäta vinkeln till de olika maxima.

Teori

En utförlig del av teorin finns i kapitel 8 & 9 i boken *Optics* av Hecht eller kapitel 16 i boken *Introduction to optics* av Pedrotti.

Enkelspalt

Intensitetsuttrycket för Fraunhoferdiffraction² i en enkelspalt ges av

$$I = I_0 \left(\frac{\sin(\beta)}{\beta} \right)^2, \quad \text{där } \beta = \frac{b \cdot \pi \cdot \sin \theta}{\lambda} \quad (1)$$

I_0 är intensiteten vid centralmaximat, b , enkelspaltensbredd, θ , diffraktionsvinkeln och λ är ljusets våglängd.

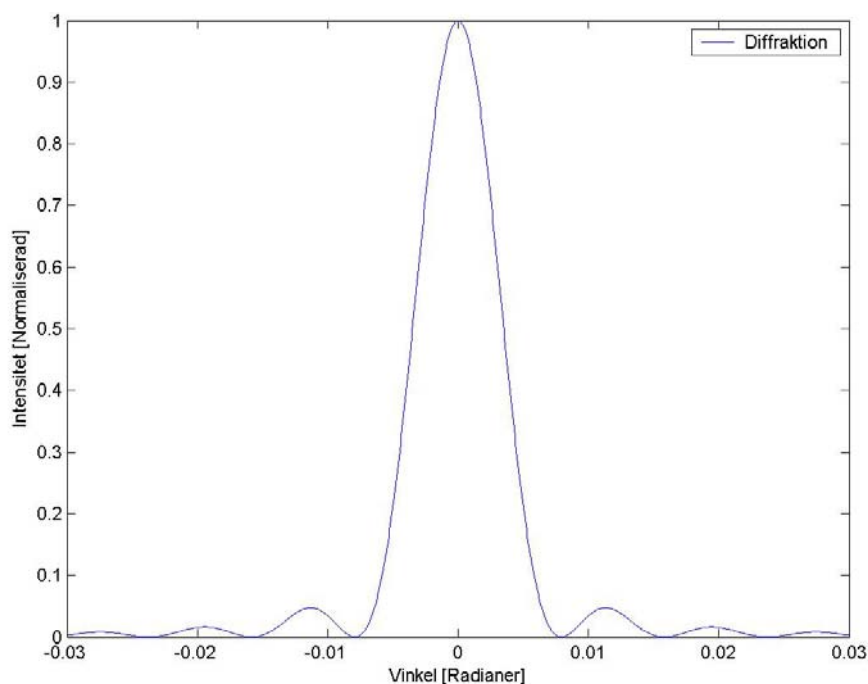
Intensiteten har minimum då

$$\beta = \pm\pi, \pm2\pi, \dots$$

och maximum då

$$\tan \beta = \beta$$

För maximum gäller då β antar värdena $1.43\pi, 2.46\pi, 3.47\pi, \dots$



Figur 1. Diffraktionsmönster från en enkelspalt.

För enkelspalt ges intensitetsminimum av

$$b \sin \theta = m\lambda \quad (2)$$

² Fraunhoferdiffraction innebär att ljuskällan är placerad oändligt långt borta från diffraktionsobjektet. Detta medför att vågorna kan ses som plana, vilket även är fallet med en HeNe-laser.

Dubbelspalt

Intensitetsuttrycket för en dubbelspalt är

$$I = 4I_0 \left(\frac{\sin(\beta)}{\beta} \right)^2 \cdot \cos^2(f\beta), \quad \text{där } \beta, \text{ ekv (1) är lika som för enkelspalten} \quad (3)$$

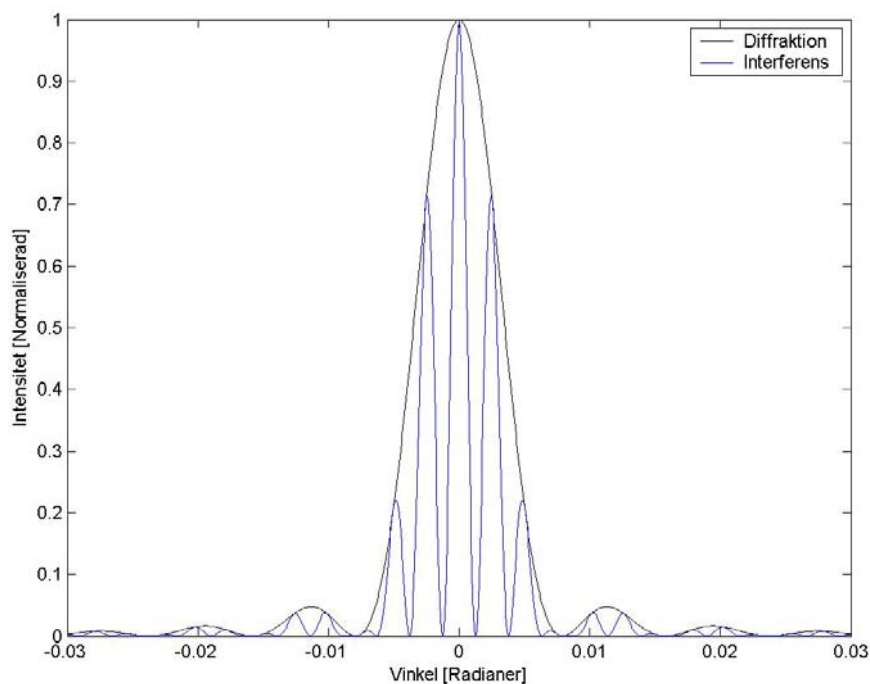
och $f = \frac{a}{b}$

där a = spaltavståndet för dubbelspalten.³

Jämför man uttrycken för intensitetsfördelningen i en enkelspalt och för dubbelspalten så ser vi att intensitetsfördelningen för dubbelspalten är uppbyggd av diffraktionsdelen från enkelspalten och en interferensdel från två koherenta källor (de båda spalterna).

Intensiteten kommer att ha sitt maximum då

$$\sin(\theta) \approx m \frac{\lambda}{a}, \quad \text{där } m = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$



Figur 2. Intensitetsfördelning från dubbelspalt.

³ I ekvation (2) & (4) finns en 4 med som innebär att intensiteten i centralmaximat är 4 gånger starkare för en dubbelspalt/gitter gentemot en enkelspalt. Jämförelsen för dessa blir då $I_m/4I_0$.

Gitter

För ett gitter ges intensitetsfördelningen av

$$I = 4I_0 \left(\frac{\sin(\beta)}{\beta} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin(Nf\beta)}{\sin(f\beta)} \right)^2 \quad (5)$$

där N = antal spalter. f och β är samma som för dubbelspalten.

Även här så beskriver den första delen diffraktion för enkelspalten medan den andra beskriver interferensmönstret från N koherenta källor.

Vid ett stort antal spalter kommer mönstret att visa smala starka maxima (huvudmaxima) då

$$\sin(\theta) \approx m \frac{\lambda}{a}, \text{ där } m = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

och även ljussvaga sidomaxima då

$$\sin(\theta) \cdot a \approx \left(k + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{\lambda}{N}, \text{ där } k = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

a är här den så kallade gitterkonstanten, alltså avståndet mellan spalterna. Maxima kommer att undertryckas av diffraktion i enkelspalten.

Cirkulärt hål

För ett cirkulärt hål med diametern d , samt ljusets våglängd λ , gäller för första intensitetsminimum:

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{d} \quad (8)$$

BILAGA 1 – Laborationsguide (genomförande)

Inställning av fotodiod och skrivare

- 1) Kontrollera att laserstrålen är parallell med den optiska bänken genom att föra ryttare samt en spalt längs den optiska rälsen. Justera vid behov så att felet är maximalt en halv laserstrålediameter.
- 2) Placera det objekt (börja med enkelspalt) som skall användas, spalt, gitter eller hål på lämpligt avstånd från fotodioden. Interferensmönstret skall rymmas med god marginal inom längdskalan för dioden (oftast inget problem).
- 3) Justera höjden på fotodioden så att intensitetsmaximum träffar i centrum på dioden. Kör fotodioden fram och tillbaka och observera interferensmönstret. Om mönstret är snett i horisontalled innebär det att spalten är snett fast satt, justera.
- 4) Placera fotodioden i centralmaximum av interferensmönstret. Slå på strömmen till skrivaren utan att mata papperet. Justera mätområdet (V) på skrivaren så pennan når precis under maximalt utslag (80-95 %) av skalan, håll för laserljuset och nolljustera (zero ratten på skrivaren) nivån så att pennan ligger i linje med noll på papperet. Justering av skalan kan göras dels genom att ändra på mätområdet för skriven eller ändra för-förstärkaren.
- 5) För att man skall kunna översätta en viss sträcka på skrivaren till den verkliga sträcka som fotodioden har rört sig måste man ta fram en konverteringskonstant. Detta gör man enklast genom att mäta den sträcka som fotodioden har rört sig och samtidigt mäta den sträcka som skrivaren har ritat.

Skanning av interferensmönster

- 1) Skanna av interferensmönstret och notera er förstärkning, hastighet samt vilken spalt som har använts.
- 2) För att få bättre värden på sidomaxima, kan man byta mätområde på skrivaren så att **första sidomaximum** ger 50-95 % utslag på skrivaren. Centralmaximum kommer nu att bottna, ignorera detta eftersom ni vet hur stor förstärkningen är från föregående mätserie.

Övrig information

Laserns våglängd 633 nm

Små vinklar $\sin(\theta) \approx \tan \theta \approx \frac{x}{y}$

Använd radianer

BILAGA 2 - Beräkningstabeller

Tabell 1. ENKELSPALTBREDD

--

Tabell 2. INTENSITETSFÖRDELNING ENKELSPALT

Ordning m	Intensitet teoretiskt $[I_m/I_0]$	Vinkel från m = 0 till sidomaxima m $\neq 0$ [rad]	Intensitet experimentellt $[I_m/I_0]$	
0-centralmaxima			Mät VINKELN	Mät HÖJD
1-sidomaxima				
2-sidomaxima				
3-sidomaxima				

Tabell 3. INTENSITETSFÖRDELNING DUBBELSPALT

Ordning m	Intensitet teoretiskt $[I_m/(4I_0)]$	Vinkel från m = 0 till sidomaxima m $\neq 0$ [rad]	Intensitet experimentellt genom att mäta vinkeln $[I_m/(4I_0)]$
0-centralmaxima			
1-sidomaxima			
2-sidomaxima			
3-sidomaxima			

Tabell 4. BERÄKNING AV GITTERKONSTANT

--

Tabell 5. BERÄKNING CIRKULÄRT HÅL SAMT HÅRSTRÅ

--	--