

# LJUSETS DIFFRAKTION

## 1 Inledning

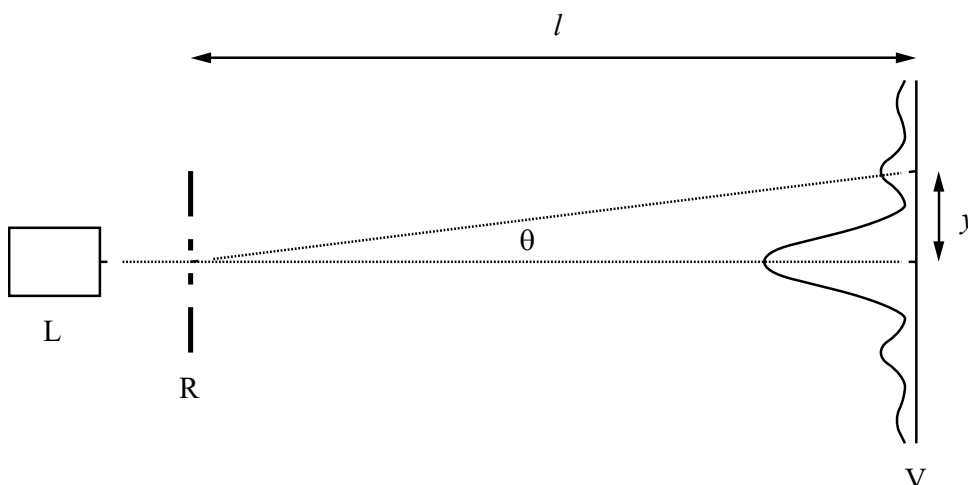
I detta arbete åskådliggörs ljusets diffraktion och interferens genom att belysa smala spalter med en laser och granska det mönster som bildas på en skärm bakom spalterna (se figur 1). Då monokromatiskt och koherent ljus färdas genom en smal spalt uppfattas mörkare områden, diffraktions*minimum*, i diffraktionsmönstret då

$$D \sin \theta = m\lambda, m = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

I ekvation (1) är  $D$  spaltens bredd,  $\lambda$  ljusets våglängd och  $\theta$  vinkeldeviationen från ljusstrålens ankomstriktning. Då det finns två spalter interfererar ljusstrålarna som passerat genom olika spalter med varandra. Interferens*maxima* kan uppfattas för vinklar då

$$d \sin \theta = n\lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (2)$$

där  $d$  är spalternas avstånd från varandra.



**Figur 1.** Schematisk bild av mätuppställningen. Ljusstrålen från lasern  $L$  färdas genom spaltssystemet  $R$  och bildar ett diffraktionsmönster på skärmen  $V$ .

I mätuppsättningen är såväl  $D$  som  $d$  stora i förhållande till våglängden,  $\lambda$ , varvid för små ordningstal  $|m|$ ,  $|n|$  vinkeln  $\theta$  är liten och approximationen  $\sin \theta \approx y/l$  kan användas. I sådana fall kan diffraktionsminimens och -maximens avstånd  $y_m$  och  $y_n$  från mönstrets mittpunkt skrivas som

$$y_m = \frac{l\lambda}{D} m, \quad (3)$$

$$y_n = \frac{l\lambda}{d} n. \quad (4)$$

## 2 Målsättningar

Efter utfört laboratoriearbete har studeranden:

- experimentellt iakttagit ljusets vågnatur och undersökt ljusets böjning samt interferens
- förstått de mönster som vågorna ger upphov till då de passerar olika diffraktionsgitter/spalter och kan urskilja de särdrag i mönstren som uppstår till följd av diffraktion genom en eller flera spalter.
- kunskap att förklara de iakttagna mönstren genom att undersöka vågornas våglängds- och fasskillnad.

## 3 Apparatur

Mätapparaturen (figur 2) består av optisk skena i vars ena ända det finns en röd laser (våglängd  $\lambda=635$  nm, maxeffekt under 1 mW) och framför den en spalthållare. I skenans andra ända finns det en rörlig skärmskiva vinkelrätt mot ljusets propageringsriktning tillsammans med en ljus- och avståndsdetektor. Spaltställningen kan konfigureras i olika spaltsystem genom vilka laserljuset kan färdas. Diffraktionsmönstret kan observeras rakt från skärmen, men för att noggrant kunna definiera mönstret används detektorer vilka är kopplade till en dator.



**Figur 2.** Mätapparaturen. Till vänster ses lasern och spaltsystemet och till höger skärmen samt detektorerna.

För att förbättra urskilningsförmågan för positionen används en smal öppning, en apertur, framför ljusdetektorn. Aperturens storlek kan justeras genom att vrida på hjulet framför detektorn. Ju smalare apertur som används, desto bättre urskilningsförmåga för positionen uppnås, men desto mindre ljus når detektorn. Av denna orsak har ljusdetektorns tre olika känsligheter (1, 10 och 100  $\mu\text{W}$ ).

Ljus- och platsdetektorerna är kopplade till en datainsamlare vilken i sin tur är kopplad till en dator. Ljusdetektor-skärmkombinationen flyttas för hand, och datormjukvaran sparar och skriver ut ljusets intensitet som träffar ljusdetektorn som en funktion av positionen  $y$ .

## 4 Förhandsuppgifter

Bekanta er med den teori som arbetet behandlar från valfri lärobok, t.ex. [1–3], läs genom arbetets instruktioner och skriv ner svaren på följande frågor på svarsblanketten.

1. Vad är monokromatiskt ljus? Vad är koherent ljus?
2. Förklara i korthet följande begrepp:
  - a) Konstruktiv och destruktiv interferens
  - b) Huygens princip
  - c) Diffraktion
3. Vilka praktiska applikationer har diffraktion och interferens?

- I detta arbete mäts och grafisk illustreras diffraktionsminimens avstånd  $y_m$  som funktion av ordningstalet  $m$ . Till denna graf anpassas sedan en rak linje ( $y = kx + b$ ). Vad är denna linjes riktningskoefficient enligt ekvation (3)? Bestäm utgående från ekvationen för  $k$  spaltens bredd  $D$ .
- Bestäm utgående från ekvationen bestämd i den föregående punkten felet för spaltens bredd  $D$  med hjälp av totaldifferentialen. Av variablerna bör du beakta vinkelkoefficienten  $k$  samt avståndet till skärmen  $l$ . (Tips: I det här fallet är det lättare att beräkna det relativa felet).

## 5 Mätningar

### 5.1 Kalibrering av apparaturen

**Varning: se inte rakt på laserstrålar som kommer från lasern eller reflektioner av dessa strålar.**

- Ställ lasern ca 5 cm från ändan på den optiska skenan, spaltställningen 20 cm och skärmen 110 cm från ändan och skjut skärmen till den kortare skenans mitt. Anteckna spaltställningens och skärmens positioner med felmarginaler samt laserns våglängd  $\lambda$  på svarsblanketten.
- Välj spaltsystemet "Single Slits 0.16" (en 0,16 mm bred spalt) genom att flytta spaltfilmernas ram i ställningen. Rör inte i filmerna. Filmernas silverfärgade sida och markeringar bör vara riktade mot lasern. Ställ ljusdetektorns aperturs bredd till 0,5 mm och detektorns känslighet 10  $\mu$ W. Anslut laserns strömkälla till eluttaget och slå på lasern.
- Skjut ljusdetektorn till den kortare skenans mitt. Ställ laserns position med hjälp av de två justeringsskruvarna som finns på laserns bakdel, tills laserstrålen träffar spaltens och ljusdetektorns aperturs mitt.
- Anslut ljusdetektorns sladd till LabQuest Mini -datainsamlarens "CH 1"-port och platsdetektorns sladd till "DIG 1"-porten. Starta datorn och anslut datainsamlaren till datorns USB-port. Starta därefter mätbotten "valon\_diffraktio.cmb1" som finns i mappen Mittauspohjat på Windows-skrivbordet. På skärmen skall synas värden för intensitet och position samt en graf på vars vågräta axel det finns positioner och på den lodräta intensiteten.

### 5.2 Diffraktion i en spalt

- Gör en hypotes och skriv ner den på svarsblanketten:** Hur ser diffraktionsmönstret efter en spalt ut? Rita en skiss och märk diffraktionsminimumen från ekvation (1) på skissen. Hur påverkar en ändring i spaltens bredd mönstret? Motivera ditt svar fysikaliskt.
- Ni kan utföra mätningen i normal rumsbelysning. Flytta skärmen så långt till höger, sett från lasern, som det går. Nollställ detektorn genom att trycka på "0"-knappen i Logger Pro -programmets övre verktygsfält, eller genom knappkombinationen CTRL + 0.
- Starta mätningen och skjut långsamt skärmen över den kortare skenan. Ett diffraktionsmönster borde ritas på skärmen. I mitten av mönstret vid huvudtoppen kan det förekomma en skarp pik eller skåra som en följd av reflektioner, vilket är helt normalt.

Tips: Ifall toppen är avklippt, med andra ord överskrider intensitetsskalan, kan du försöka upprepa mätningen med en smalare inställning för ljusdetektorns apertur och/eller lägre känslighet. Vanligtvis rekommenderas det att ställa aperturen och känsligheten så att huvudtoppen är så nära övre kanten som möjligt, dock utan att gå över den. Nollställ alltid ljusdetektorn med skärmen så långt till höger som det går, varje gång som du förändrat aperturen eller känsligheten.

- Spara mätningarna i bakgrunden (Ctrl+L) då du fått samlat ett användbart diffraktionsmönster.

5. Ändra spaltens storlek till 0,08 mm, mät och spara det nya diffraktionsmönstret enligt samma princip som tidigare. Om du vill kan du gömma det tidigare uppmätta diffraktionsmönstret.
6. **Testa hypotesen:** Jämför diffraktionsmönstren då aperturans storlek är 0,16 och 0,08 mm med varandra. (Logger Pro -programmet har bra verktyg för detta). Motsvarar resultaten hypotesen? Om inte, fundera på varför.

### 5.3 Diffraktion i en dubbelspalt

1. **Gör en hypotes och anteckna den på svarsblanketten:** Hur ser diffraktionsmönstret ut? Rita en skiss av mönstret och märk diffraktionsminimumens och interferensmaximumens positioner i enighet med ekvation (1) och (2) på skissen. Hur påverkas mönstret då spalternas avstånd från varandra ändras? Hur påverkas mönstret då spalternas tjocklek ändras? Motivera ditt svar fysikaliskt.
2. Byt spaltsystemet till något av dubbelspaltsystemen ("Double Slits", det övre talet anger spalternas bredd  $D$  och det undre spalternas avstånd från varandra,  $d$ , i millimeter) och undersök diffraktionsmönstret på skärmen (i dunkel belysning). Samla och spara diffraktionsmönstren enligt samma princip som i stycke 5.2 för dubbelspalterna  $D = 0,08$  mm,  $d = 0,25$  mm;  $D = 0,08$  mm,  $d = 0,50$  mm och  $D = 0,04$  mm,  $d = 0,25$  mm. (Det lönar sig att gömma diffraktionsmönstren från enspaltsexperimentet.)
3. **Testa hypotesen:** Jämför dubbelspaltexperimentets diffraktionsmönster med varandra. Motsvarar resultaten hypotesen? Om inte, fundera på varför.
4. Spara till sist Logger Pro -filen, stäng lasern och koppla ur strömkällan från elkontakten, Spara filerna i antingen i den lokala mappen Mittausdata eller på nätskivan Opiskelijat.

## 6 Behandling av resultaten

1. Bestäm huvudtoppens position samt diffraktionsminimumen och interferensmaximumens positioner,  $y$ , för dubbelspalten  $D = 0,08$  mm,  $d = 0,50$  mm till åtminstone tredje ordningstalet, med andra ord de tre första diffraktionsminimumen och interferensmaximumen på båda sidor om huvudtoppen. Anteckna resultaten på svarsblanketten.
2. Rita två grafer på vars ena horisontella axel finns diffraktionsminimumens ordningstal  $m$  med minimumens positioner på den lodräta axeln och på den andra grafens horisontella axel interferensmaximumens ordningstal,  $n$ , med maximumens positioner på den lodräta axeln. Enligt ekvation (3) och (4) skall grafernas punkter ligga på en rät linje. Lägg märke till, att fastän ekvationerna (3) och (4) är giltiga för avståndet från mönstrets mitt, alltså huvudtoppen, till vilken ljusdetektorns nollpunkt inte är kalibrerad orsakar detta endast en konstant förskjutning och påverkar därför inte linjens riktningskoefficient.
3. Bestäm linjernas riktningskoefficienter samt fel och anteckna resultaten.
4. Beräkna spalternas bredd och avstånd från varandra med fel och motivera felbedömningarna.
5. Skriv ut graferna och bifoga dem till svarsblanketten.

## 7 Tankeställare

1. Jämför ditt resultat för  $D$  och  $d$  med de givna värdena, då vi vet att de verkliga värdena kan avvika från de angivna värdena med  $\pm 2\%$ .
2. Hur skiljer sig diffraktionsmönstren för enspaltsexperimenten från flerspaltsexperimenten?

3. Hur skulle diffraktionsmönstren förändras om ljuskällan som används var en grön laser ( $\lambda = 532 \text{ nm}$ ) istället för en röd? Motivera ditt svar kort genom att geometriskt undersöka ljusvågornas våglängds- och fasskillnader utan att referera till ekvationerna (1)–(4).
4. Hur skulle diffraktionsmönstret för en spalt se ut om spaltens bredd skulle vara mindre än ljusets våglängd? Motivera kort ditt svar.

## Källor

- [1] D.C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4<sup>th</sup> edition, International edition, Pearson Education, Inc, 2009.
- [2] Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford: University Physics with Modern Physics. International Edition. 13. painos. Pearson Education, 2011.
- [3] Halliday, Resnick, Walker, Fundamentals of Physics Extended, Extended 9<sup>th</sup> edition, International Student Version, Wiley & Sons, Inc., 2011.