

Ljusets diffraktion

Axel Andréasson och Malte Berg

Handledare: Erik Löfquist

FAFA01 - Fysik - Mekanik och Vågor

2023-05-02

Abstract

Interference, diffraction, superposition and Huygens principle are some key concepts discussed in this report of light diffractions. Interference and diffraction are both from the superpositions principle and Huygens principle. Diffraction occurs when a wave front is partially blocked by an obstacle, when this happens the waves get distributed and patterns can be recognized. When observing light through a variety of apertures you can observe these patterns and make calculations and assumptions about the apertures and light. The report will show how these calculations are made and what can be observed.

When observing a single slit, a circular hole and a rectangular hole, the patterns became very interesting. The single slit made a horizontal line with dots with varying intensity, the circle made a center dot with circles going outwards with decreasing intensity and the rectangular aperture made two lines, one vertical and one horizontal, with dots with decreasing intensity. Why this happened will be discussed in this report.

Introduktion

Laborationen gick ut på att studera ljusets diffraktion genom olika objekt samt göra beräkningar om diffraktionen som skapas. Laborationen var indelad i tre delar. Den första delen, Fraunhofer diffraktion, studerades ljusets diffraktion när olika öppningar sattes framför, en slit, en cirkel, en rektangel och ett gitter. Mönstret på öppningen förändrade hur diffraktionen visade sig. Den andra delen, diffraktion med N spalter, handlade om hur diffraktion ändrade sig beroende på om en öppning med 2-5 spalter var framför. Det togs flera bilder som kommer att utvärderas i rapporten senare. Den tredje delen av laborationen var ett experiment med ett gitterspektrometer där ett okänt grundämne skulle bestämmas. Laborationen utfördes för att vi som studenter ska få en djupare förståelse för området genom kvalitativ och kvantitativ se diffraktion och hur våra beräkningar faktiskt beskriver det.

Det är tre väsentliga begrepp och principer som behöver utvärderas: diffraktion, superposition, interferens och Huygens princip. Superposition innebär att man kan när två eller flera vågor möts i ett visst område, adderas deras amplituder i varje punkt och bildar en ny våg eller ingen alls. Det innebär intressanta resultat, interferens. Det finns destruktiv och konstruktiv interferens. Destruktiv interferens är när vågornas amplituder som adderas blir lika med noll, alltså tar vågorna ut varandra destruktivt. Konstruktiv interferens är alltså då vågornas amplituder adderas och skapar en ny våg med högre eller lägre amplitud.

Huygens princip handlar om en förenkling av vågfronter. En vågfront är i sig själv en förenkling där man representerar en del av vågen med ett rakt sträck och ritar ut denna med en våglängds mellanrum till varandra. Varje punkt på denna vågfront kan betraktas som en källa till nya ljusvågor, dessa kallas för Huygensvågor. När vi senare i rapporten kommer diskutera hur diffraktionen av ljus genom olika öppningar kommer Huygensvågor underlätta beräkningar samt hur man geometriskt tolkar ljusvågor.

Det finns flera olika formler som man använder sig av när man studerar diffraktion. Enkelspalt har en formel som beskriver var minima hamnar;

$$\sin\phi_m = m\frac{\lambda}{a},$$

(1)

där m är vilken ordnings maxima man vill räkna med, λ är våglängden på ljuset, ϕ är vinkeln från primärmaxima och a är bredden på enkelspalten.

Det finns två formler för dubbelspalt, en för att beräkna maxima och en för minima:

$$\text{max: } d \sin \phi_m = m\lambda, \quad (2)$$

$$\text{min: } d \sin \phi_m = (m - \frac{1}{2})\lambda, \quad (3)$$

I formlerna så representerar d avståndet mellan spalterna. Det som skiljer dem åt är vad våglängden blir multiplicerad med. I max-fallet beräknar vi var våglängderna interfererar konstruktivt och i min-fallet destruktiv interferens. Som förklarat innan så sker konstruktiv interferens när våglängderna från de två ljuskällorna är i fas och destruktiv när våglängderna är ur fas med en halv våglängd.

Formeln för diffraktion med en cirkulär öppning skiljer sig lite från de andra, eftersom det rör sig om en öppning som är rund. Det kommer en konstant till ekvationen när man ska beräkna olika maxima. För det första maxima blir $n = 1,22$, för andra blir det $n = 2,3$ och för det tredje blir $n = 3,25$. Formeln ser ut som så här:

$$\sin \phi = n \frac{\lambda}{D}, \quad (4)$$

där D är diametern av öppningen och λ är våglängden sedan innan.

Ett gitter är en mängd spalter som är jämnt utplacerade. Den m:te interferens maximat beräknas fram med:

$$\sin \phi_{max} = \frac{m\lambda}{d}, \quad (5)$$

där d är avståndet mellan spalterna och m är ordningen av maximat som beräknas.

Fraunhoferdiffraktion:

Metod

Laborationen började med att undersöka diffraktionen för enkelspalt: en justerbar och en okänd. En justerbar enkelspalt användes för att observera hur diffraktionen påverkades av att öka och

minska spaltbredden och den okända för att använda formel (1) och se hur man med hjälp av den kan beräkna spaltbredden. En laser riktades mot spalterna och skapade diffraktion på ett papper på ett avstånd ifrån enkelspalten där effekten tydligt kunde observeras.

Efter enkelspalterna undersöktes hur diffraktionen såg ut om ljuset riktas mot ett cirkulärt och ett rektangulärt hål. Formlerna för diffraktionen skrevs ner och varför de betedde sig om de gjorde diskuterades.

Till sist undersöktes gitter och hur ljuset beter sig om man placerar två gitter efter varandra. En enklare förklaring till resultatet formulerades och en beräkning av spalterna i ett gitter gjordes.

Resultat & diskussion

När en enkel spalt ändrar sin bredd så kommer avstånden mellan maxima att förändras. Detta var uppenbart men att avstånden mellan maxima skulle minska när spaltbredden ökade och tvärtom var inte helt uppenbart.

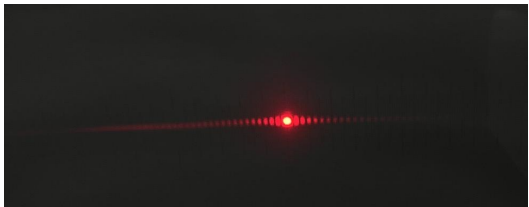


Fig 1: Enkel spalt med en stor spaltbredd.

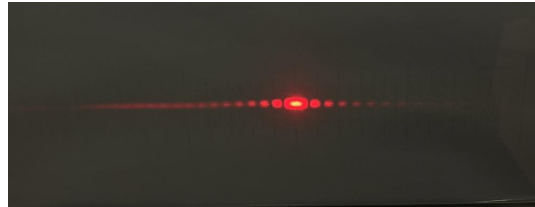


Fig 2: Enkel spalt med en liten spaltbredd.

Som det går att se i figur 1 och 2 så är avståndet mellan maxima mindre när spaltbredden är stor och större när spaltbredden är liten. Varför det är på detta sättet går att förklara med formel (1). När a i formel (1) är större, alltså bredden på spalten, kommer vinkeln bli mindre mellan de olika maxima och tvärtom.

Vid beräkning av en okänd spalt använder man sig av formel (1). För att komma fram till ϕ_3 ställer man enkelt upp en rätvinklig triangel, där en av kateterna är avståndet mellan spalten och pappret, 1,14 m, samt en är avståndet mellan primär maxima och tredje maxima,

$\arctan(\frac{0,015}{1,14}) = 0,754 \text{ grader}$. Sist ställer vi upp en omskrivning av formel (1) med avseende på a ; $a = \frac{m\lambda}{\sin\phi_3}$ och får fram spaltbredden till $a = 0,00014 \text{ m}$. Detta resultat skilde sig lite från den faktiska bredden. Felet kan bero på osäkra mätningar av maxima som beror på profilden av ljuskälla som var väldigt ojämn.

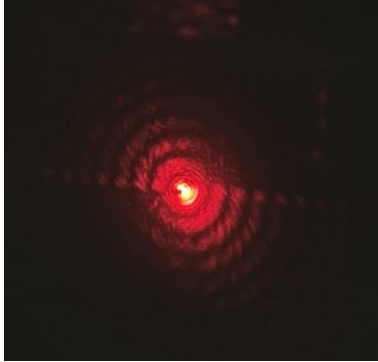


Fig 3: Diffraktion med en cirkel.



Fig 4: Diffraktion med en rektangel.

Figur 3 visar diffractionen med en öppning som en cirkel. Som man ser på bilden blir diffractionen flera cirklar runt ett maxima med minskande intensitet. Diffractionen för en rektangel är väldigt intressant. Som det går att se i figur 4 så är det en horisontell och en vertikal linje med punkter samt mycket "brus" runt om. Bruset kan vi bortse från då ljuskällan som användes hade en väldigt dålig profil. Linjerna kan förklaras med hjälp av en enkel spalt. Som vi såg i första delen blev en vertikal spalt en horisontell linje. Om då en rektangel används känns det intuitivt att två linjer bildas, en horisontell och en vertikal.

Sist undersöktes hur två gitter placerade efter varandra påverkade diffractionen av ljuset. Om gitterna placerades nära varandra fick ljuspunkterna mindre punkter till sidorna av varandra och om de placerades längre från varandra fick de punkter som gick in i det andra gittert ljuspunkter runt sig. Slutsatsen som drogs var att det andra gittert gjorde diffraction på de ljus som diffrakterade ut ur det första gittert.

N-spalter

Laborationen fortsatte med att rikta ljus mot en glasskiva med 4 olika diffraktionsobjekt, där alla var olika N-spalter. De spalter som fanns var 2, 3, 4 och 5 spalter. Varje N-spalt belystes och skulle visuellt med en kamera analyseras med ett datorprogram för att få fram värden för att jämföra den faktiska diffraktionen jämfört med den teoretiska diffraktionen. Med hjälp av datorprogrammet kunde vi jämföra den teoretiska formen av diffraktionen med den faktiska.

Resultat & diskussion

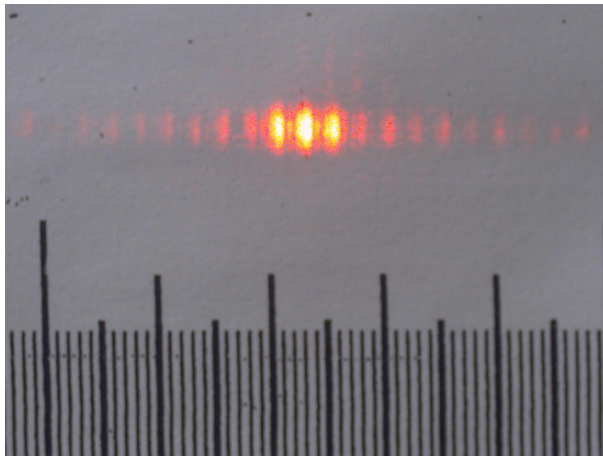


Fig 5: Det observerade ljuset för 2 spalter

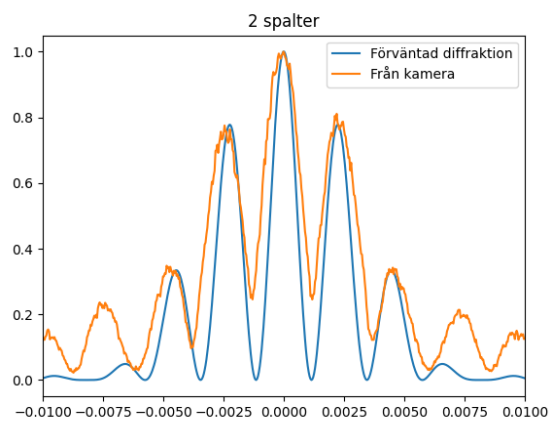


Fig 6: Graf för 2 spalter

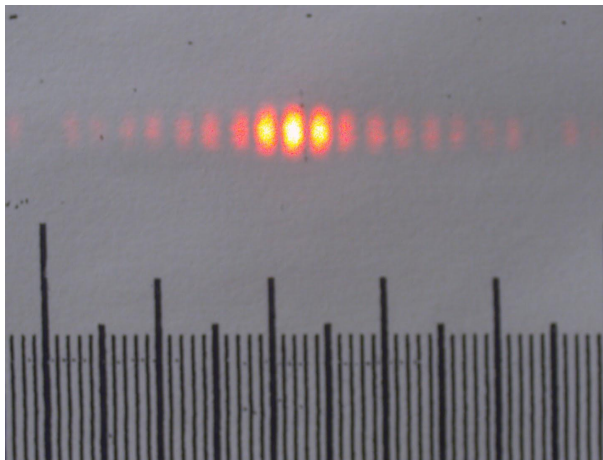


Fig 7: Det observerade ljuset för 3 spalter

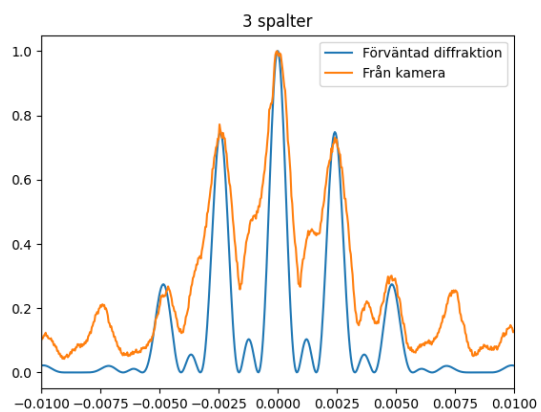


Fig 8: Graf för 3 spalter

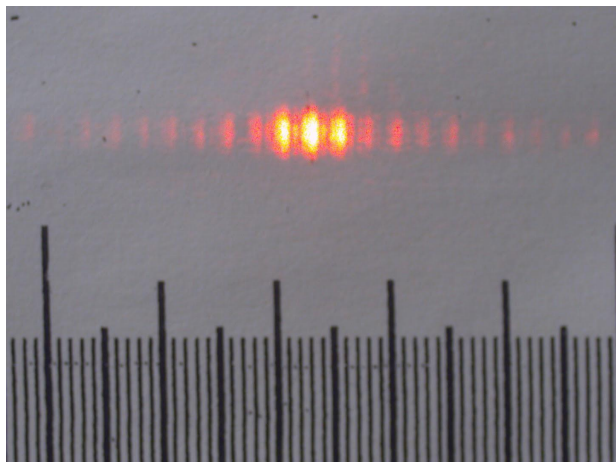


Fig 9: Det observerade ljuset för 4 spalter

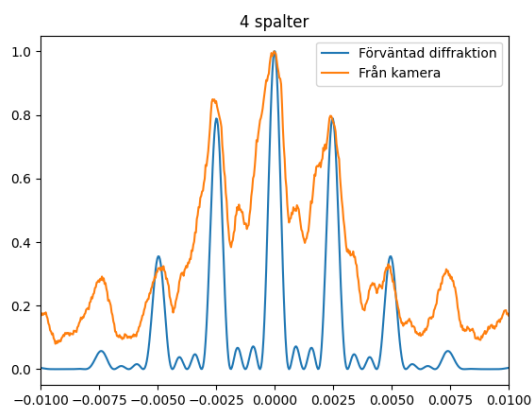


Fig 10: Graf för 4 spalter

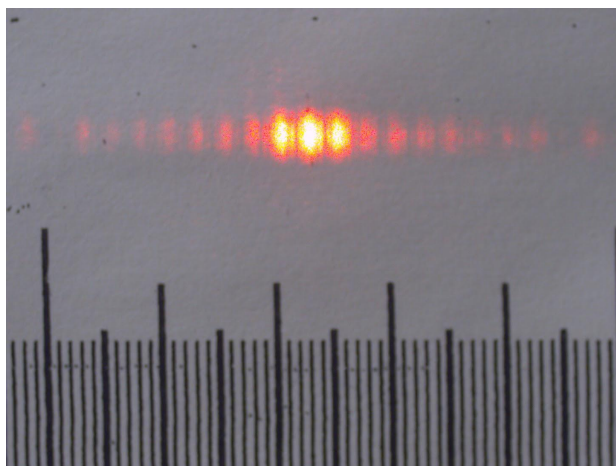


Fig 11: Det observerade ljuset för 5 spalter

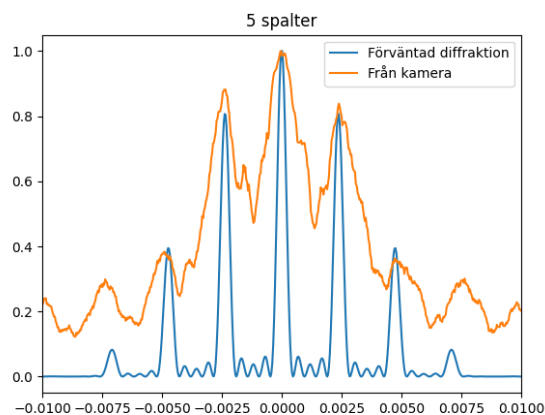


Fig 12: Graf för 5 spalter

På graferna går det att tydligt se hur den faktiska diffractionens primärmaxima, samt första och andra ordningens maxima stämmer väl överens med den teoretiska diffractionen. Vid diffractionens minima, samt tredje ordningen och uppåt, går det dock att se hur de faktiska värdena inte stämmer så väl överens med teorin.

När spaltantalet ökar går det att se hur de teoretiska bimax som bör uppstå inte går att urskilja i de uppmätta värdena, vilket går att se i figur 12 där det förväntas visa 3 bimax, något som saknas i de faktiska värdena.

I alla grafer går det även att se hur de högre ordningens maxima avtar snabbt i intensitet, medan de uppmätta värdena istället visar mycket högre intensitet än förväntat. Detta går även att se med ögat på exempelvis figur 11, där man tydligt kan se upp mot åttonde ordningens maxima, något som inte stämmer överens med teorin.

Anledningarna till att de uppmätta värdena inte blev som de egentligen borde vara i teorin, kan vara flera. En trolig anledning är att ljusets profil inte är så precis som den är i teorin. Detta kan leda till att ljuset läcker över, och att exempelvis intensiteten aldrig når 0 då ljuset inte fokuseras korrekt, eller att de allt fler och smalare bimax vid ökat antal spalter inte tydligt kan urskiljas då ljuset från andra maxima också påverkar. Andra anledningar till felen kan vara sådant som kamerans känslighet eller ändrat ljus i rummet, där båda kan leda till felaktiga mätvärden och kan misstolkas som ökad eller minskad intensitet.

Spektroskopi:

Metod

Den sista delen av laborationen var en spektroskopi. En spektroskopi är en vetenskaplig teknik där man studerar olika ämnens reflektion av elektromagnetiska vågor. Genom att göra det kan man studera deras sammansättning, molekylära struktur, temperatur och koncentration i andra ämnen.

Ett okänt ämne var ställt mellan en ljuskälla och ett gitter. Genom ett teleskop kunde man se emissionslinjerna av det okända ämnet och avläsa vinkeln som dessa linjer var på i förhållande till en referenspunkt. Vinkeln kunde avläsas på en vinkelskiva med arkminuter så en mycket exakt vinkel kunde bestämmas. Med hjälp av vinkeln och gittret som används kunde man beräkna våglängden av emissionslinjerna och sen avläsa från en tabell vilket ämne som det okända ämnet kan vara. Beräkning gjordes på både första och fjärde maxima för att få en så exakt våglängd som möjligt.

Resultat & diskussion

Färg	Våglängd(nm) vid m=1	Våglängd (nm) vid m=4	Medelvärde för våglängd (nm)	Teoretiska våglängder (nm)
Blå	463,9	457,0	460,5	467,8
Turkos	478,3	468,4	473,4	480,0
Grön	498,5	549,0	523,8	508,6
Röd	636,4	619,1	627,8	643,8

Tabell 1: Tabellen visar de beräknade våglängderna för det första och fjärde maxima samt medelvärdet mellan dess och de teoretiska värdena.

Enligt tabell 1 ser vi de olika beräkningar för färgerna. Vi använde oss av formel (5) för att beräkna våglängden av de olika färgerna, $\frac{\sin\phi_{\max}d}{m} = \lambda$. Enligt tabell som var given under laborationen kom vi fram till att det okända ämnet var kadmium, vilket stämde.

Som vi ser i tabellen skiljer sig värdet på våglängden mellan det första och fjärde med några nanometer. Det kan bero på en rad olika saker men en stor anledning till felet kan vara utrustningen som användes och fel läsning på vinkelskivan. För att göra bättre beräkning skulle avläsning av varje maxima, alltså för första, andra, tredje och fjärde, vara ett alternativ. Genom att göra det skulle felmarginalen minska drastiskt eftersom man får ett medelvärde av alla beräkningar. Från tabellen går det att avläsa en högsta felmarginal på 2,99% och en lägsta på 1,39%, vilket innebär att de uppmätta värdena ligger nära de teoretiska värdena.

Sammanfattning

I laborationens olika delar kan ett genomgående tema ses där många av mätvärdena stämmer rimligt överens med de teoretiska värdena där ljuset är som mest intensivt, exempelvis centralmax och de tidiga ordningarnas maxima. Samtidigt går det även att se att det finns lite olika fel i de lite svagare och mer precisa värdena, exempelvis bimax och minima. En slutsats som dragits är att ljuskällan hade en ej optimal profil, vilket kan ha lett till att mätvärden skilde sig från teorin.