

Ljusets interferens

Sammanfattning

I försöket undersöks ljusets vågegenskaper med hjälp av gitterekvationen. Två olika laserljus används för att skapa olika interferensmönster genom en dubbelspalt och ett gitter. Spaltavståndet i dubbelspalten samt våglängden för det ena ljuset beräknas.

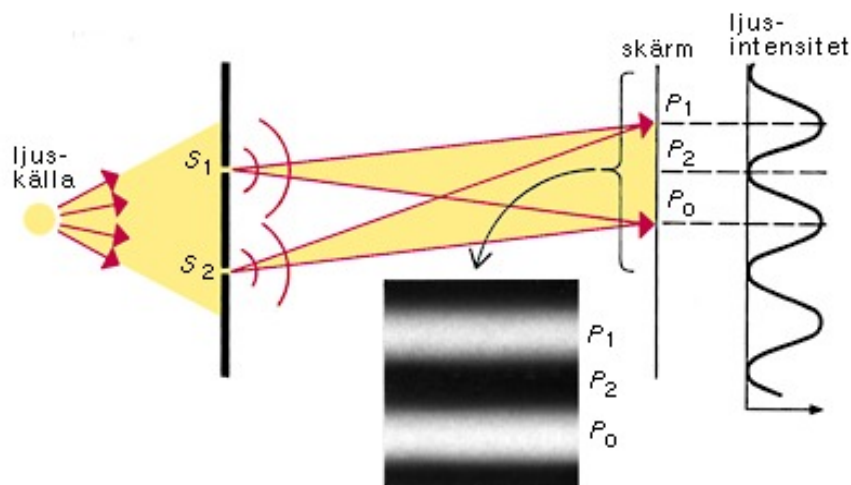
Introduktion

Mysteriet om ljusets natur har länge förundrat människor. Vi omges ständigt av det i olika former, ljus används i allt från datorskärmar till avancerad forskning. På 1700-talet började Isaac Newton ifrågasätta den då gällande teorin om att ljuset var en vågrörelse. Han menade istället att ljus bestod av partiklar. Genom försök med speglar drog han slutsatsen att ljuset studsade tillbaka liksom om det bestod av små bollar. Under 1800-talet började dock andra vetenskapsmän ifrågasätta Newtons teori¹. År 1801 visade Thomas Young genom ett försök med en dubbelspalt att ljuset böjdes av vid de två koherenta ljuskällorna på samma sätt som andra vågor. Interferensmönstret som uppstod förnekade således Newtons idé. Även forskaren A.J. Fresnel kunde bevisa att ljuset betedde sig som en våg. Under 1800-talets slut fortsatte mer forskning att bevisa vågteorin².

Först på 1900-talet, inom kvantmekaniken, återuppstod Newtons s.k. korpuskelteori. På senare tid har det gått att bevisa att ljus besitter *både* partikel- och vågegenskaper. Det har dock ännu inte genomförts ett försök där de båda egenskaperna bevitnats samtidigt³.

Det finns således olika sätt att betrakta ljus på. Ljus är i själva verket benämningen på den del av det elektromagnetiska spektrat som är synlig för oss människor, det vill säga mellan 400 nm och 700 nm. De olika färgerna i det synliga spektrat bildar tillsammans vitt ljus. Färger uppkommer till följd av att olika ämnen absorberar ljus av olika våglängd. Vitt ljus träffar ett föremål och exempelvis absorberas då rött och blått ljus. Ljus med andra våglängder reflekteras då och ger upphov till den färg vi ser. Således är färg egentligen någonting relativt som endast beror på de nervsignaler som skickas från synsinnesscellerna i våra ögon till hjärnan då det reflekterade ljuset når ögat⁴.

Ljuset uppvisar som sagt vågegenskaper. Förutom reflektion kan ljusvågorna även böjas av och interferera liksom vågor i vatten. Det var detta som Young visade i sitt försök. Genom att sätta upp två smala dubbelspalter och låta ljuset flöda genom dessa skapades två koherenta vågkällor, d.v.s. två vågkällor ur vilka ljuset svängde i takt och med samma frekvens. På en skärm projicerades då en bild av ett referensmönster. På vissa punkter lös det, och på andra fanns det inget ljus alls. Detta motsvarade ljusvågornas maximum och deras minimum. Där det råkade konstruktiv interferens uppstod ett maxima, och där det råkade destruktiv interferens uppstod minima.



Bilden visar Youngs försök med dubbelspalter. S^1 och S^2 är koherenta vågkällor, det bildas ett interferensmönster på skärmen mitt emot.⁵

Utifrån detta försök kan samma slutsatser som vid mekaniska vågrörelser dras, nämligen att det uppstår ett maxima då de båda vågorna är i fas och ett minima då de möts i motfas. Detta motsvarar alltså ett maxima då:

$$\Delta s = n\lambda \quad n \geq 0$$

och minima då:

$$\Delta s = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad n \geq 1$$

Med hjälp av trigonometri kan följande formel härledas:

$$d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda$$

θ motsvarar här riktningsvinkeln till ljusmaximum med ordningen n , d motsvarar spaltavståndet. Formeln kallas för gitterekvationen och gäller inte bara för ett försök med dubbelspalt, utan även för ett liknande försök med ett gitter. Ett gitter är ett material med många, mycket små spalter som sitter på samma avstånd. Avståndet kallas för gitterkonstanten. Ljus med olika färger reagerar annorlunda när det skickas mot ett gitter. De olika färgerna har olika våglängder vilket resulterar i att de uppnår maxima på olika ställen⁶.

Med hjälp av sambandet kan olika typer av beräkningar för ljus utföras. I följande försök undersöks ljusets vågegenskaper med hjälp av laserljus med olika våglängder samt en dubbelspalt och ett gitter. I försök I används en dubbelspalt och en helium-neon-laser med våglängden 633 nm⁷. Spaltavståndet är okänt men kan beräknas med gitterekvationen. I försök II används ljus av obekant våglängd och ett gitter för att bestämma ljusets våglängd.

Avgränsningar

Rapporten avser inte besvara på vilka avstånd ljusmaxima och minima uppstår. I försök I beräknas enbart spaltavståndet. I försök II beräknas enbart laserljusets våglängd.

Materiel och metod

Materiel

- Helium-neon-laser
- Dubbelspalt
- Gitter, 605 spalter/mm
- Laserljus med annan våglängd
- Måttband

Metod

Försök I: Ljusets interferens i en dubbelspalt

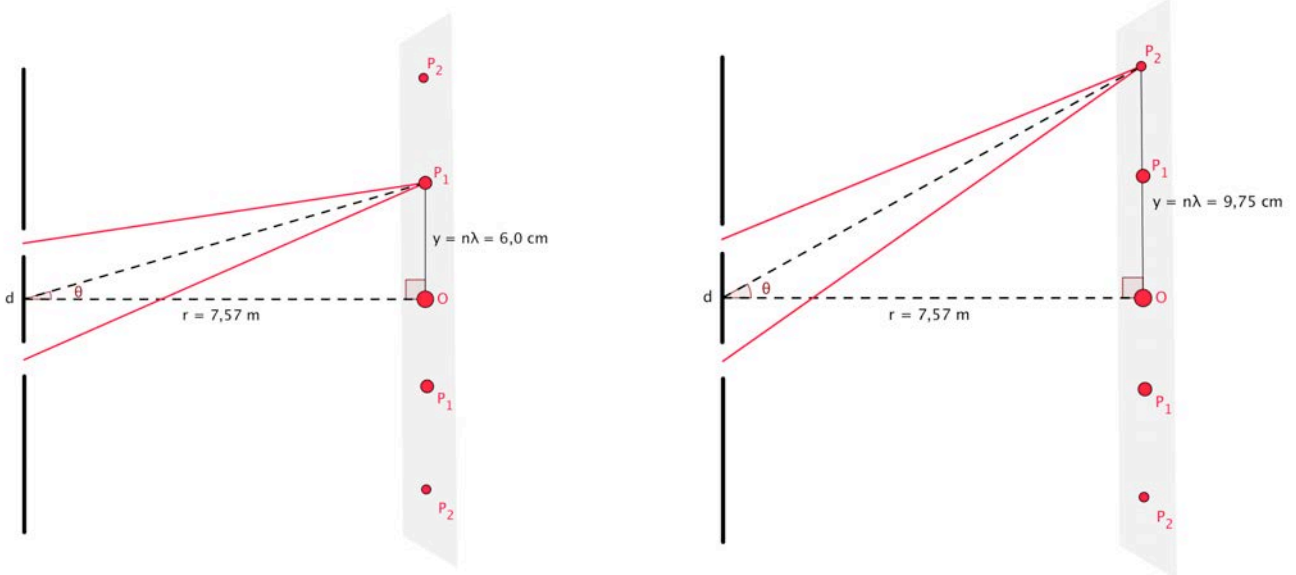
Helium-neon-lasern ställs in vinkelrätt mot dubbelspalten och riktas mot en tavla som befinner sig en bit bort. Avståndet mellan spalterna och tavlan mäts med måttbandet och skrivs ned. Avstånden mellan de båda första ljusmaxima mäts upp och skrivs ned. Samma sak görs för de andra ljusmaxima.

Försök II: Ljusets interferens i ett gitter

Den andra lasern ställs upp och gittret placeras vinkelrätt mot laserstrålen. Avståndet mellan gittret och tavlan mäts upp och antecknas. Interferensmönstret på tavlan undersöks och avstånden mellan de första ljusmaxima mäts och tecknas ned.

Resultat

Försök I



Ekvationen för beräkningar vid ljusmaximum är:

$$d * \sin \theta = n * \lambda$$

$$d = \frac{n * \lambda}{\sin \theta}$$

Avstånden från det nollte ljusmaximum kan beräknas utifrån de uppmätta avstånden, båda mätvärdena kan användas för att beräkna avståndet för $n = 1$:

$$y_{max} = \frac{12,0}{2} = 6,0 \text{ cm} = 0,060 \text{ m}$$

$$y_{min} = \frac{19,5}{4} = 4,875 \text{ cm} = 0,04875 \text{ m}$$

Utifrån de båda värdena på y , kan vinkeln θ beräknas:

$$\theta_{max} = \tan^{-1} \frac{0,06}{7,57} \approx 0,454^\circ$$

$$\theta_{min} = \tan^{-1} \frac{0,04875}{7,57} \approx 0,369^\circ$$

Med hjälp av de två värdena på θ kan ett maximalt och ett minimalt värde på spaltavståndet beräknas och därefter kan spaltavståndet med felmarginall beräknas:

$$d_{max} = \frac{1 * 633 * 10^{-7}}{\sin \theta_{min}} \approx 9,83 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_{min} = \frac{1 * 633 * 10^{-7}}{\sin \theta_{max}} \approx 7,99 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_{medel} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2} \approx 8,91 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta d = d_{max} - d_{medel} \approx 9,21 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$d = 8,91 \pm 0,921 * 10^{-3} \text{ m}$$

Försök II

Gitterekvationen används även här:

$$d * \sin \theta = n * \lambda$$

$$\lambda = \frac{d * \sin \theta}{n}$$

Spaltavståndet beräknas:

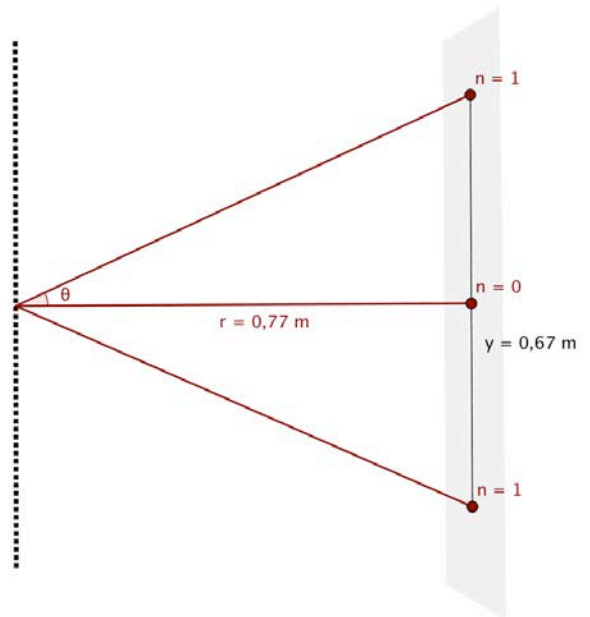
$$d = \frac{1}{605} = 1,65 * 10^{-3} \text{ mm} = 1,65 * 10^{-6} \text{ m}$$

Vinkeln θ beräknas:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,67 * 0,5}{0,77} \approx 23,5^\circ$$

Slutligen kan våglängden beräknas:

$$\lambda = \frac{1,65 * 10^{-6} * \sin \theta}{1} \approx 6,58 * 10^{-7} \text{ m}$$



Diskussion

I det första försöket beräknades värdet på spaltavståndet till ca 8,91 mm. De två mätningarna av avstånden mellan de båda första och andra ljusmaxima gav olika resultat för avståndet till första ordningens maxima. Det första maxima ska uppstå då differensen mellan längden på de båda ljusvågorna är en multipel av våglängden. Detta ger att den första ordningens maxima uppstår när differensen är λ samt att differensen vid den andra ordningen motsvarar 2λ . Enligt teorin borde alltså avstånden varit lika. Istället blev resultatet av mätningarna att avståndet mellan det nollte och den första ordningens maxima var 6,0 cm eller 4,875 cm, vilket är två mycket olika värden.

För att minska felet beräknades spaltavståndet med felmarginal.

Det andra försöket visade att ljuset hade våglängden 658 nm. Med hjälp av gitterekvationen beräknades först vinkeln och sedan ljusets våglängd.

I båda försöken kan det ha skett flera fel. I försök I var en eller flera av mätningarna felaktiga, eftersom de avvek så markant från teorin. Detta beror med all sannolikhet på den osäkra metod som användes för att bestämma avstånden mellan de olika maxima. Med hjälp av en tumstock mättes avstånden och ljusfläckarna ritades av på tavlan. Det mycket troligt att det har skett fel i detta steg. Ett bättre alternativ i framtida försök är att göra flera mätningar och använda något typ av instrument som ger ett mer exakt värde. Osäkerheten i värdena minskades något genom att mätningarna gjordes mellan de båda första och andra ordningens maxima. Det innebär att värdet halverades för att få fram det slutgiltiga mätvärdet. Dessutom gjordes en feluppskattning när spaltavståndet beräknades, men eftersom de båda värdena avvek så mycket krävs fler försök.

I det andra försöket har det troligtvis skett samma typ av fel. När gittermönstret ritades av hamnade den ena fläcken något fel och trots att detta rättades till är metoden mycket osäker. Även här krävs ytterligare försök samt fler mätvärden för att kunna uppskatta felet och minimera dess inverkan.

Det är också värt att betänka att gittret eller dubbelspalterna kan ha varit skadade eller smutsiga av tidigare användning. Detta kan ha lett till att ljuset inte interfererade enligt teorin, och mätvärdena blev felaktiga. För att vara säker på att denna typ av fel inte påverkar resultatet bör nyttillverkade, oanvända spalter och gitter användas vid upprepade försök.

Med hjälp av gitterekvationen och kunskaperna om ljusets vågegenskaper kan ljusets beteende beräknas och förutses på samma sätt som andra vågrörelser. Denna teknik kan användas i moderna uppfinningar som exempelvis fiberkablar eller bildskärmar.

Källförteckning

- ¹ Nordling, Carl. Ljus. *Nationalencyklopedin*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/ljus> (Hämtad 2017-05-06)
- ² Nordling, Carl. Thomas Young. *Nationalencyklopedin*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/thomas-young> (Hämtad 2017-05-06)
- ³ Nordling, Carl, Ljus, *Nationalencyklopedin*.
- ⁴ Kvist, Göran, Nilson, Klas och Pålsgård, Jan. Ljuskvågor. I *Ergo Fysik 2*. 3. uppl. Stockholm: Liber AB. 2013. 56-93.
- ⁵ Hjerpa, Bertil. Interferens. *Nationalencyklopedin*. [w.ne.se/uppslagsverk/bild/fotografi/interferens-youngs-försök](http://www.ne.se/uppslagsverk/bild/fotografi/interferens-youngs-försök) (Hämtad 2017-05-06)
- ⁶ Kvist, Göran, Nilson, Klas och Pålsgård, Jan, *Ergo Fysik 2*, 56-93.
- ⁷ Helium-neon-laser. *Nationalencyklopedin*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/helium-neon-laser> (Hämtad 2017-05-06)