

Inför Laborationen

Laborationen sker i två lokaler: K204 (datorsal Curie) och H425. I början av laborationen samlas ni utanför datorsalen K204.

Laborationen börjar 15 minuter efter heltimmen som är utsatt på schemat.

Ta med denna handledning, miniräknare, penna, och papper/anteckningsblock till laborationstillfället.

För att minimera risken för ögonskador:

Titta INTE rakt in i laserstrålen när ni linjerar spalterna/gittret!

Undvik också att få reflektioner av laserstrålen i ögonen.

Allmän information om Laboration 1

Experiment som påvisar vågegenskaper hos partiklar som elektroner och protoner är en av grundpelarna i kvantmekaniken. Denna laboration skapar en grund för förståelsen av denna typ av fundamentala experiment genom att studera interferensfenomen hos ljus. Ett av målen med laborationen är att få insikt i hur interferensfenomen kan förklaras med hjälp av vågkonceptet. Efter laborationen ska ni också kunna analysera enkla interferensexperiment.

Laborationen är uppdelad i två delar. Del A är en experimentell undersökning av ljusinterferens medan Del B är en datorbaserad undersökning av samma fenomen. Ni kommer att få information från er handledare innan det schemalagda laborationstillfället vilken del ni börjar passet med. Efter halva schemalagda tiden kommer ni att byta till den andra delen av laborationen. Till laborationen hör obligatoriska förberedelseuppgifter enligt nedan. Er handledare kommer att kontrollera era lösningar till dessa uppgifter under laborationens gång.

För godkänd laboration skall ni dels inför laborationstillfället ha löst Uppgift R1-R4, och under laborationstillfället får ni möjlighet att arbeta med Uppgift R5, A1-A3, och B1-B3, som ska redovisas muntligt.

Inledning och förberedelseuppgifter

Ljus kan beskrivas som en vågrörelse med tillhörande våglängd λ och frekvens f . Dessa är sammankopplade genom $\lambda f = c$ där $c \approx 2.998 \cdot 10^8$ m/s är ljusets utbredningsfart/hastighet i vakuum.

Men vi vet också att ljus kan beskrivas i en partikelmodell. Ljuset består här av en ström av fotoner, var och en med energien $E_{\text{ph}} = hf$ där $h \approx 6.626068 \cdot 10^{-34}$ m²kg/s är Plancks konstant. När vi anger fotonenergi uttrycker vi dem gärna i enheten av elektronvolt eV. En elektronvolt motsvarar den energi en elektron får då den accelereras över spänningen 1 V, dvs $1 \text{ eV} \approx 1.60217646 \cdot 10^{-19}$ J.

Uppgift R1. Synligt ljus har typiskt en frekvens $f \approx 5 \cdot 10^{14}$ Hz. Ljusfältet oscillerar alltså mer än hundratusen miljarder gånger per sekund.

- Vilken våglängd motsvarar denna frekvens?
- Ungefär hur många sådana våglängder får plats på en sträcka som är en centimeter lång?
- Vilken energi (uttryckt i Joule) motsvarar denna frekvens?
- Vilken energi (uttryckt i elektronvolt) motsvarar denna frekvens?
- Vilken färg har ljus av den här frekvensen?

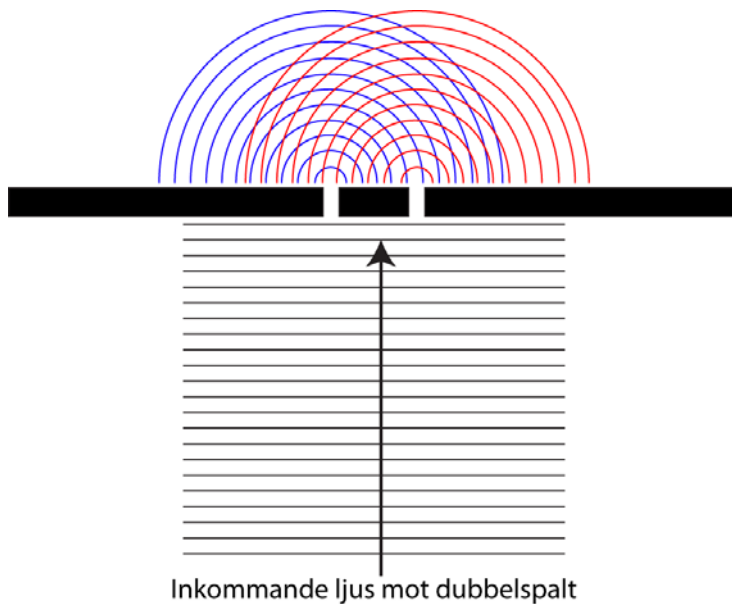
Uppgift R2. Inom nanoteknik används ofta en bekväm formel för att räkna om ljusets våglängd till fotonenergi. Denna formel kan uttryckas som

$$E_{ph} [\text{i elektronvolt}] = \frac{\alpha}{\lambda [\text{i nanometer}]}$$

Bestäm storlek och enhet på konstanten α så att en insatt våglängd uttryckt i nanometer resulterar i en energi uttryckt i elektronvolt.

Uppgift R3. Vilket våglängdsområde spänner synligt ljus? Vilka energier (uttryckt i elektronvolt) motsvarar dessa våglängder?

Interferens från en dubbelspalt



Figur 1. Skiss av ljus som infaller mot en dubbelspalt. Ljuset skapar vid varje spalt en punktkälla av ljus.

Figur 1 visar en plan ljusvåg som infaller mot en dubbelspalt. Enligt Huygensprincip fungera spaltöppningen som en källa för en sfärisk våg. Vi har alltså i varje punkt på andra sidan spalten ljusbidrag från var och en av de två spalterna - de två ljusvågorna *interfererar*.

Om en whiteboard ställs framför dubbelspalten enligt Figur 2, kommer ett interferensmönster att uppstå. Beroende på vägskillnaden $r_1 - r_2$, kan ljusvågorna från de två spalterna komma till punkten p så att de i olika hör grad förstärker eller släcker ut varandra till. För maximal förstärkning gäller $(r_2 - r_1) = m\lambda$.

Uppgift R4. Vilket förhållande ska gälla för $(r_1 - r_2)$ för att man istället ska se maximal utsläckning av ljusintensiteten i punkten p i Figur 2?

Om avståndet till Whiteboarden L är mycket större än spaltavståndet d , kan vägskillnaden $r_2 - r_1$ uttryckas som

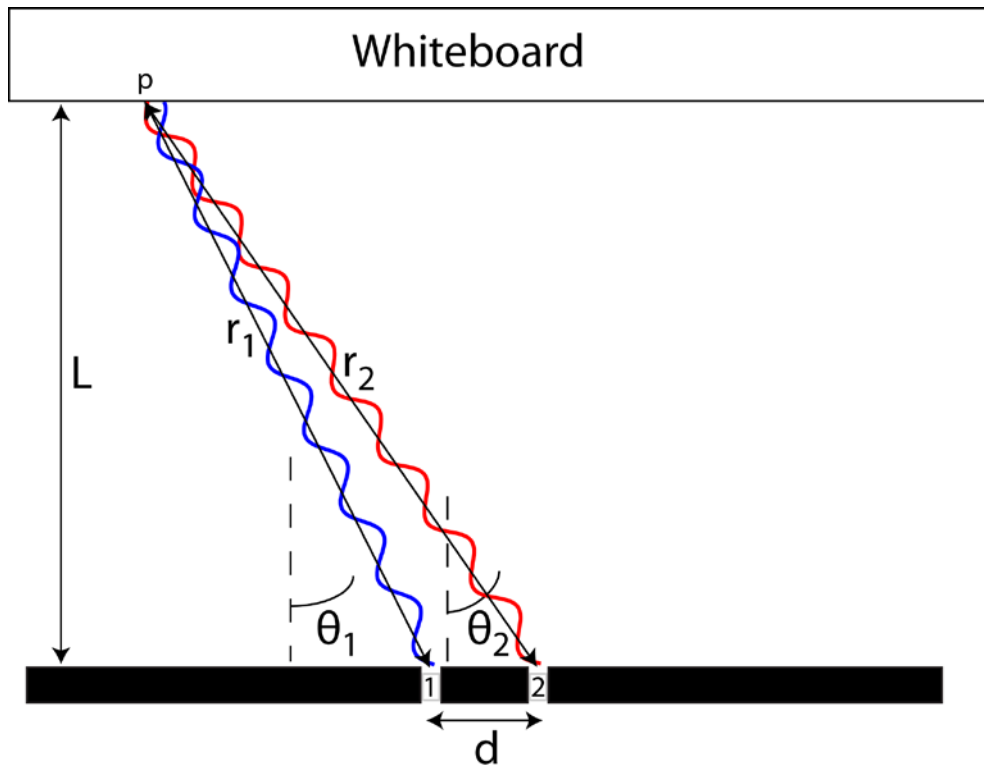
$$r_2 - r_1 = d \cdot \sin \theta$$

Där $\theta \cong \theta_1 \cong \theta_2$. För maximal ljusintensitet gäller då att

$$d \cdot \sin(\theta) = m \cdot \lambda,$$

Där $m = 0, \pm 1, \pm 2, ..$

som gäller för $L \gg d, \lambda$.



Figur 2. Ljus från de två spalterna (1 och 2) sammanfaller i en punkt p på en whiteboard. Avståndet från spalt 1 till whiteboarden är r_1 , och r_2 anger avståndet från spalt 2 till whiteboarden. Vinklarna θ_1 och θ_2 anger riktningen på ljuset från spalt 1 och spalt 2, respektive. Här anger d avståndet mellan spalterna och L är avståndet mellan dubbelspalten och whiteboarden.

Uppgift R5. Då vi lyser med två ficklampor eller med två laserpekar på samma punkt, ser vi som resultat ett dubbelt så ljust område. Det uppstår alltså inga interferenseffekter med mörka områden inom det upplysta området. Varför ser vi i det här experimentet inga interferenseffekter? [Vi kräver inte ett slutgiltigt svar till denna fråga, utan bara att ni funderar på denna frågeställning och diskuterar med er handledare.]

Del A - Experimentell undersökning av interferenseffekter

För att minimera risken för ögonskador:

Titta INTE rakt in i laserstrålen när ni linjerar spalterna/gittret!

Undvik också att få reflektioner av laserstrålen i ögonen.

Uppgift A1. Använd dubbelspalten "Zenit 47051" märkt med "Spaltavstånd 0.10 mm" för att bestämma våglängden på laserljuset. Är denna våglängd rimlig för en röd laser?

Uppgift A2. Använd valfritt gitter (märkt med antalet linjer per millimeter) för att bestämma laserns våglängd.

- Hur är antalet linjer per millimeter relaterat till spaltavståndet i en dubbelspalt?
- Diskutera varför ett gitter ger så skarpa ljuspunkter på väggen, medan en dubbelspalt ger mer breddade intensitetsmaxima.
- Är våglängden som bestäms i denna uppgift rimlig för en röd laser?

Uppgift A3. Använd våglängden från uppgift 2 (alltså den som bestämdes med hjälp av ett gitter) till att bestämma spaltavståndet i dubbelspalten "Zenit 47051" som användes i uppgift 1.

- Hur förhåller sig detta värde på spaltavståndet till specifikationen som står på "Zenit 47051"?

Del B - Datorsimulering av interferens

Uppgift B1. Använd java-appleten som finns på

http://www.walter-fendt.de/html5/phen/doubleslit_en.htm

för att studera interferens av ljus.

- Välj violett ljus. Använd till exempel färgkartan på <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/specol.html> för att korrelera våglängd till färg.
- Anta att avståndet L i skissen i Figur 2 är 10 meter. Hur långt från mitten av mönstret skulle första intensitetsmaximat till höger från mitten hamna på skärmen om spaltseparationen är minsta tillåtna i appleten? Och om spaltseparationen är maximala möjliga?
- Var hamnar detta första maximat på skärmen om spaltseparationen istället är 1 mm (*räkna för hand*)?
- Hur rör sig interferensmönstret när man ändrar våglängd? Varför?

Uppgift B2. Byt till java-appleten på:

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=129.0>

- Sätt antalet spalter till 2 och mät med linjal på skärmen för att få avståndet till det första maximat, hur långt är då avståndet L , från spalterna till skärmen?
- Ska spaltbredden vara bred eller smal för att se ett "rent" interferensmönster (*diskutera också detta med handledaren*)?

Uppgift B3.

- Börja med 2 spalter, en spaltbredd på 1 μm , och öka successivt antalet spalter. Vad händer med interferensmönstret?
- Hurdant ljusmönster förväntar ni er uppstå på whiteboarden då antalet spalter går mot oändligheten i Figur 2? Vad kallar man ett sådant optiskt element?

Uppgift B4. (I mån av tid och intresse.) Vi har hittills i denna laboration behandlat interferens av ljus. Ljus kan, som beskrivits i inledningen, ofta beskrivas som ett klassiskt elektriskt fält som oscillerar, alltså som en våg. Inga kvanmekaniska fenomen visar sig i denna beskrivning.

Men ljus kan också beskrivas som fotoner, som är ljusets minsta beståndsdelar (också kallade kvanta, därav termen kvantmekanik).

Det är möjligt att göra dubbelspalt-experimentet på så sätt en foton i taget skickas mot dubbelspalten i Figur 2.

Istället för whiteboarden i Figur 2 använder man då en väldigt känslig ljusdetektor som känner av vid vilken position fotonen ger ett utslag. Varje foton ger utslag på en specifik position på detektorn, och en foton ger aldrig utslag på två positioner på detektorn.

Något fantastiskt händer om vi låter foton efter foton gå genom dubbelspalten. Det visar sig att de var för sig detekterade fotoner tillsammans kommer att bygga upp ett interferensmönster. Se till exempel:

<https://www.youtube.com/watch?v=MbLzh1Y9POQ>

En tolkning av detta är alltså att varje enskild foton rör sig genom båda spalterna samtidigt och interfererar med sig själv! För att sådan interferens ska kunna uppstå, måste varje foton gå att beskriva som en våg - annars skulle interferens inte uppstå.

Varje enskild foton, som alltså är en partikel, kan beskrivas av en så kallad vågfunktion. Detta är ett exempel på våg-partikel-dualismen som genomsyrar kvantmekaniken.

FAPA55 – HT2019

Laboration 1:

Interferens av ljus

Nicklas Anttu och August Bjälemark, 2012, Malin Nilsson och David Göransson, 2015, 2016

Vad förväntar ni er hända om vi istället för fotoner skickar elektroner mot en dubbelspalt
(*diskutera även med handledaren*)?