

# Ljusets Diffraction 2020

---

**Laborationsinstruktioner**  
**Våglära och optik FAFF30+40**

**Samuel Bengtsson**  
**Robin Weissenbilder**  
**Eric Nilsson**

## Lärandemål

I den här laborationen får du använda utrustningen som du egentligen också skulle ha använt i Optik laborationen till att studera olika former av diffraktion och interferens.

Laborationen kopplar framförallt till följande lärandemål i kursplanen:

### Syfte

Syftet med kursen är att utveckla studentens problemlösningsförmåga och modelltänkande samt introducera studenten till experimentellt arbete inklusive användning av datorstöd för att grafiskt representera och analysera data. Kursen behandlar vågor och vågors rörelse i tid och rum med tonvikt på elektromagnetisk strålning i det optiska området. Elektromagnetiska vågor och deras utbredning är ett centralt begrepp inom dagens teknologi, men också för den kvantmekaniska beskrivningen av mikrokosmos. Kursen ger en grund för att förstå och utveckla både tekniken omkring oss och den moderna fysiken.

### Mål

#### *Kunskap och förståelse*

För godkänd kurs skall studenten

- kunna de grundläggande fysikaliska principerna för vågutbredning,
- förstå hur ett abstrakt modelltänkande i form av matematiska modeller, analogier och bilder relaterar till experiment och den fysikaliska verkligheten,
- kunna analysera problemställningar samt utföra och tolka beräkningar inom ämnesområdet.

#### *Färdighet och förmåga*

För godkänd kurs skall studenten

- ha tillägnat sig förmåga att genomföra laborationer och använda datorer som hjälpmedel, särskilt för beräkningar, analys och simulering,
- ha tillägnat sig grundläggande färdighet i skriftlig framställning av observationer och beräkningar samt ha ökad förmåga att diskutera fysikaliska problem med kollegor,
- kunna angripa problemställningar på ett strukturerat sätt.

#### *Värderingsförmåga och förhållningssätt*

För godkänd kurs skall studenten

- visa insikt i den naturvetenskapliga metoden och fysikens möjligheter och begränsningar,
- kunna värdera utfall av olika experimentella metoder,
- visa förmåga att identifiera sitt behov av ytterligare kunskaper även inom andra områden.

# 1 Introduktion

## 1.1 Att läsa

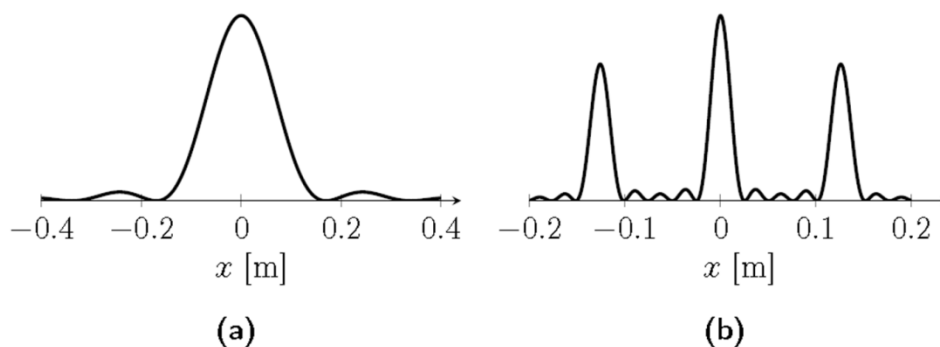
- Riskbedömning och lasersäkerhetsfilmen på Canvas
- Hela handledningen (försök fundera ut hur du skall utföra alla moment)
- Filmerna på Canvas om diffraktion
- Boken – Fraunhoferdiffraktion: kap. 16-17 (sid 315-322 och sid 344-352)
- Feynman lectures (30.6 och 30.7) – [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I\\_30.html](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_30.html)

## 1.2 Riskanalys

I denna laboration kommer du att använda en laser av klass 3B som är inställd på en effekt som är mindre än 5 mW. Effekten är begränsad för att undvika permanent skada på ögonen om du tittar direkt in i laserstrålen eller får en reflex i ögat. Även om effekten är begränsad kan det vara mycket obehagligt att få en stråle i ögat och det är därför viktigt att du alltid har ditt huvud ovanför strålhöjden, använder skärmarna till att blockera eventuella reflexer och att du tar av dig din klocka.

## 2 Förberedelseuppgifter

1. Gör lasersäkerhetsquizen på Canvas
2. Beräkna bredden av den spalt som ger upphov till intensitetsfördelningen i figur 1a. Avståndet till skärmen är 7,00 m och laservåglängden 546,1 nm.
3. I figur 1b syns intensitetsfördelningen på en skärm placerad 10,0 m bort från ett flerspaltssystem. Lasern har våglängden 632,8 nm.
  - a. Hur många spalter har belysts?
  - b. Hur stort är avståndet mellan spalterna?
  - c. Vad händer med intensitetsfördelningen om en av ytterspalterna täcks över? Skissa!
  - d. Hur mycket lägre blir centraltoppen i uppgift c jämfört med om alla spalterna belyses?



**Figur 1.** Intensitetsfördelningen på skärmen för två olika spaltssystem

### 3 Kort teori om diffraktion

Diffraktion (eller böjning som det också kallas) uppkommer då ljus passerar ett hinder, t ex en spalt eller ett hål, vars storlek är jämförbar med ljusets våglängd<sup>1</sup>. För att beräkna hur diffraktionsmönstret ser ut på en skärm som är placerad efter hindret måste man för varje punkt på skärmen addera vågorna från varje punkt vid hindret där ljuset kan passera. Om det infallande ljuset är kollimerat (plana vågfronter) och skärmen är placerad långt bort kan vi göra en del approximationer som underlättar beräkningarna. Med de här förhållandena brukar vi prata om **Fraunhoferdiffraktion** (se 3.1). Om de infallande vågorna inte är kollimerade och öppningen som ljuset passerar så stor att vågfronterna inte kan approximeras som plana vågor brukar vi istället tala om **Fresnel diffraktion** och beräkningarna blir lite mer komplicerade (se 3.2). För att veta när man ska räkna med Fresnel diffraktion eller Fraunhofer diffraktion används *Fresneltalet* som definieras  $F \equiv d^2/(\lambda l)$  (där  $d^2$  är storleken på det belysta objektet,  $l$  avståndet mellan ljuskälla och hinder (eller hinder och skärm) och  $\lambda$  ljusets våglängd). Då  $F \gtrsim 1$  befinner vi oss i *Fresnelregimen* och när  $F \ll 1$  befinner vi oss i *Fraunhoferregimen*.

#### 3.1 Fraunhoferdiffraktion

När det infallande ljuset är kollimerat (eller dimensionerna i uppställningen valda så att vågorna kan approximeras som plana) ser diffraktionsmönstret på en skärm långt borta likadant ut även när skärmen flyttas. Det enda som händer när skärmen flyttas längre bort är att storleken på diffraktionsmönstret ökar. Diffraktionsmönstret från en spalt kan beskrivas som:

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

Ofta är det enklast att mäta var diffraktionsmönstrets minima uppkommer, vilket ges av:

$$b \sin \theta = m\lambda \text{ där } m = \pm 1, \pm 2 \dots$$

Om man istället studerar en cirkulär öppning kommer m inte att vara ett heltal, istället ges vinkeln till det första minimat av:

$$D \sin \theta = 1.22 \lambda$$

där  $D$  är öppningens diameter.

När vi har flera öppningar (i det här fallet kommer vi bara att titta på spalter) kommer vi att observera både diffraktion och interferens. Diffraktion är böjningen som ljuset får från varje spalt, interferens är resultatet då ljuset från flera spalter adderas, då vi har flera spalter kommer vi alltså att observera diffraktion och interferens på samma gång. Om vi har  $N$  spalter ges det totala mönstret av:

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\sin N\gamma}{\sin \gamma} \right)^2, \quad \beta = \frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta, \quad \gamma = \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

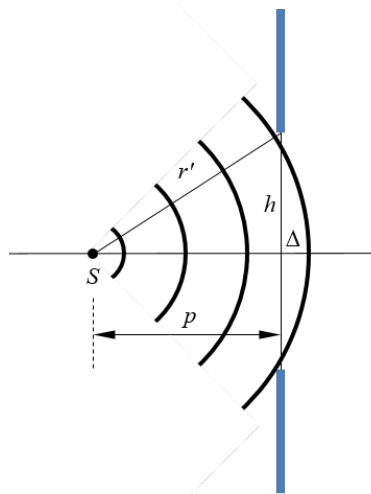
Exempel på mönster med en eller flera spalter kan ni se i figurerna 1a och 1b.

---

<sup>1</sup> Givetvis uppkommer diffraction även för större hinder, men den blir inte lika tydlig då.

### 3.2 Fresneldiffraction

När ljuskällan är nära hindret är vågfronternas krökning viktiga för att beräkna diffractionen korrekt. I figur 2 betyder detta att  $\Delta$  är större än  $\lambda$ .



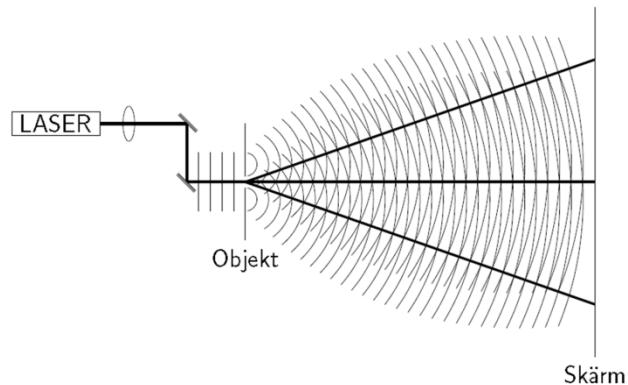
**Figur 2.** Villkor för Fresneldiffraction

Då ljuset passerar genom ett hål kan vi med hjälp av de så kallade *Fresnelzonerna* bygga upp en analytisk approximation (*Feynman lectures*). För att underlätta beräkningarna något kan vi placera detektionsskärmen långt bort och behöver då endast ta hänsyn till avstånden som är angivna i figur 2. Det är framförallt skillnaden mellan  $r'$  och  $p$  vi är intresserade av. För stora värden på  $p$  kan  $p$  och  $r'$  approximeras som lika och vi befinner oss i Fraunhoferregimen. När vi minskar  $p$  når vi efter ett tag  $r' = p + \lambda/2$ , i detta läge säger vi att en Fresnelzon passerar hålet. Minskar vi avståndet ytterligare får vi efter ett tag  $r' = p + \lambda$  och två Fresnelzoner passerar hålet. För varje  $\lambda/2$  som skiljer mellan  $r'$  och  $p$  adderas en Fresnelzon. Fördelen med att beskriva problemet på det här sättet är att på varandra följande Fresnelzoner adderas destruktivt och släcker nästan helt ut varandra. Detta betyder att om vi har ett jämt antal Fresnelzoner som passerar hålet kommer vi att få destruktiv interferens i mitten på vårt diffraktionsmönster, men genom att flytta hålet så att vi istället får ett udda antal Fresnelzoner som passerar hålet kommer vi att få ljus i mitten på vårt diffraktionsmönster (alla bidragande Fresnelzoner utom en släcker ut varandra, så vi får lika mycket ljus som om vi bara släpper igenom en Fresnelzon).

För Fresneldiffraction från en raka kant eller en spalt (två raka kanter), måste man beräkna *Fresnelintegralerna*, vilket lättast görs med en dator, men fenomenet kan enkelt observeras på den här laborationen.

## 4 Praktisk del

### 4.1 Fraunhoferdiffraction

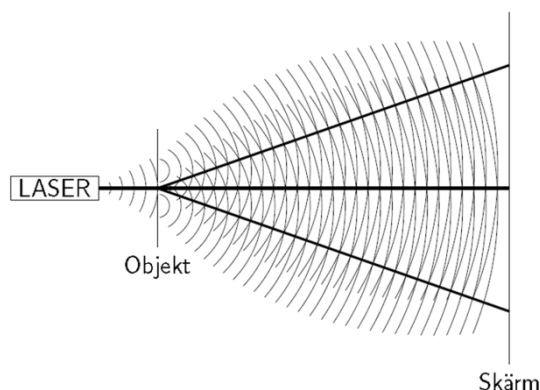


**Figur 3.** Experimentuppställningen som används under laborationen för att studera Fraunhoferdiffraction. Lasern kollimeras först och de plana vågfronterna passerar aperturen där de böjs av och propagerar till skärmen där vi detekterar dem.

Börja med att kollimera laserstrålen. Placera sedan två speglar som i figur 3 så att du enkelt kan styra strålgången.

1. Placera en dubbelspalt i strålgången och studera mönstret på en skärm. Om du mäter avståndet mellan dubbelspalten och skärmen kan du med diffraktionsmönstrets hjälp räkna ut avståndet mellan spalterna i dubbelspalten.
2. Behåll avståndet mellan objekt och skärm, men placera nu istället en enkelspalt i strålgången. Bestäm bredden på enkelspalten.
3. Jämför nu diffraktionsmönstret från en enkelspalt med det från en lika bred tråd. Stämmer dina resultat med Babinets princip? Belys båda samtidigt och beskriv hur och varför mönstret ser ut som det gör.
4. Studera mönsterna från olika flerspaltssystem (tre och fyra spalter). Hur ändras mönstret jämfört med två spalter? Fotografera mönstret och beskriv i din sammanfattning skillnader och likheter mellan de olika diffraktionsmönstren.

### 4.2 Fresneldiffraction



**Figur 4:** Experimentuppställningen som används under laborationen för att studera Fresneldiffraction.

För att studera Fresneldiffraction börjar du med att ta bort den kollimerande linsen (och även speglarna) så att du har en divergent ljusstråle igen. Varför skall du göra det?

1. Belys en ställbar spalt — vad händer med interferensmönstret om du ändrar spaltbredden? Spara bilder som illustrerar både Fraunhofer- och Fresneldiffraktion samt övergången mellan dessa.
2. Studera Fresneldiffraktion från en rak kant. Placera din kant nära din detektionsskärm så att du i princip ser den geometriska skuggan. Öka avståndet mellan kant och skärm, genom att flytta din kant närmare din ljuskälla tills du ser ett tydligt Fresneldiffraktionsmönster. Ta ett antal bilder och beskriv intensitetsfördelningen.
3. Belys hålet med okänd diameter. Ändra avståndet mellan laser och hål och notera hur mönstret på skärmen ändras. Bestäm hålets storlek med hjälp av antalet Fresnelzoner och de uppmätta avstånden.
4. Alla grupperna tillsammans: Belys en cirkel — kan du se Aragos/Poissons fläck?

## A Rapport ersätts med en sammanfattning

Du behöver inte skriva en komplett rapport till den här laborationen utan redovisar istället dina resultat i form av bilder och figurer (med utsatta axlar) från de olika delmomenten. Du ska i sammanfattningen framförallt fokusera på att beskriva de olika fenomenen och när de uppkommer och varför (Fraunhofer vs Fresnel diffraktion).

”Sammanfattningen” ska sedan laddas upp på Canvas. Se till att det står vilken handledare du hade och skriv också detta som en kommentar till inlämningen.

## B Dioddata

S/N	Våglängd	LD	PD	Polaritet	Min	Rekommenderat	Max
120501–55	405,0 nm	CG	CG	CG	20 mA 0,5 mW	37 mA 5 mW	48,3 mA 10,5 mW
130201–56	403,9 nm	CG	CG	CG	20 mA 0,8 mW	38 mA 5 mW	60 mA 10 mW
130201–57	403,4 nm	CG	CG	CG	20 mA 0,5 mW	31 mA 5 mW	42,5 mA 10 mW
130201–67	640,5 nm	AG	CG	AG	60 mA 1,5 mW	65 mA 5 mW	100 mA 17 mW
130201–68	641,3 nm	AG	CG	AG	60 mA 1,5 mW	70 mA 5 mW	100 mA 15,5 mW
170421-82	516,4 nm	AG	CG	AG	32 mA 1,5 mW	40 mA 3 mW	93 mA 16 mW