

# FYSIK 2 - ØVELSER

## DIFFRAKTION MED LASER OG VERIFIKATION MED

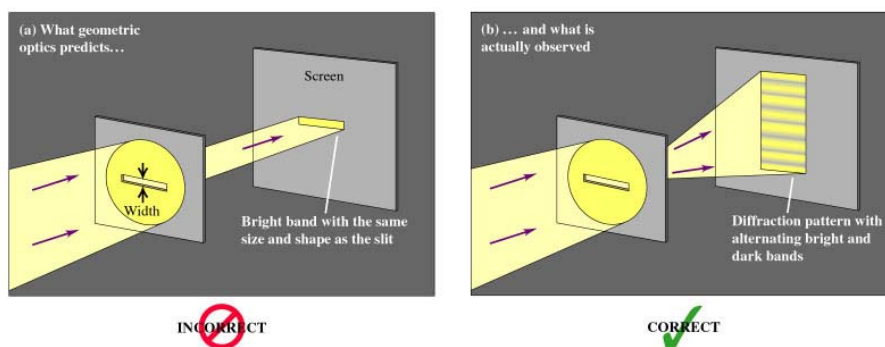
### AFM

Placering:

Bygning 307, Rum 009, 022 og 028

Supplerende læsning:

University Physics, 12<sup>th</sup> (11<sup>th</sup>) ed.,  
afsnit 33.7, 35.1-2 & 36.2-5



## Baggrund

I skal bestemme sporafstanden på en CD ved hjælp af diffraction af laserlys og ved hjælp af direkte måling med atomar kraft mikroskop (AFM). Samtidig bestemmes lagerkapaciteten på CD'en.

**Diffraction** er den grundlæggende egenskab som bevirker at bølger afbøjes og spredes når de møder en forhindring. Diffraction sker for alle typer af bølger, eksempelvis lydbølger og bølger i vand. Også elektromagnetiske bølger såsom radiobølger og lys diffrakteres. Denne øvelse omhandler diffraction af lys.

Alle ved at lydbølger kan bevæge sig om hjørner; man kan høre en bil som kommer kørende rundt om et sving eller over en bakketop før man kan se den, man kan høre en person selv om vedkommende står med ryggen til. Men det er ikke kun lydbølger som kan bevæge sig rundt om hjørner og langs overflader. Lys bliver også afbøjet når det passerer et hjørne. Hvis man betragter skyggen af et objekt i detaljer, er overgangen mellem lys og mørke ikke uendeligt veldefineret, men der er en 'blød' (oscillerende) overgang mellem lys og mørke.

Diffraction (latin: diffractere, at brække i stykker) er det fænomen i naturen som tydeligst viser lysets bølgenatur. Men diffraction er ikke let at observere med normalt hvidt lys. Hvis man derimod benytter laserlys er det ikke svært at demonstrere diffraction. Faktisk kan diffraction være en meget generende effekt i mange opstillinger, hvor der benyttes laserlys til at udføre målinger.

Diffractionsteori kan benyttes til at forklare den endelige opløsningsevne af billeddannende systemer (eksempelvis diffractionsbegrænsede linser). Derudover benyttes diffractionsteori til at forklare virkemåden af diffractionsgritter og lignende.

Som nævnt er det lysets bølgenatur, som er grunden til at skyggen bag en skærm aldrig er helt skarp. Sendes lyset fra en laser gennem et hul i en skærm, vil lyset efter skærmen danne et kompliceret mønster af interferenslinier, hvis detaljer afhænger af formen af det hul i skærmen (objektet eller aperturen), som danner skyggen. Disse mønstre kaldet 'diffractionsmønstre' blev først forklaret i begyndelsen af det 18. århundrede. Beskrivelsen er baseret på Huygens' princip [Lærebogen afsnit 33.7] kombineret med interferensprincippet af Young [Lærebogen afsnit 35.2].

**AFM-mikroskopet** måler struktur ved at en nål skanner hen over et udsnit af en overflade. Nålen presses mod overfladen med en kraft, der holdes konstant ved hjælp af meget fintfølede motorer. Motorerne styrer nålen op og ned hen over buer og huller i overfladen. Styresignalet til højdemotoren omsættes direkte til information om højdevariationer på overfladen, hvorved man får opbygget et billede af overfladens struktur. Mikroskopets funktion er nærmere beskrevet i en særskilt vejledning på Nanotekets hjemmeside,

[http://www.fys.dtu.dk/upload/institutter/fys/nanoteket/gymnasieoeverelser/afm\\_gym.pdf](http://www.fys.dtu.dk/upload/institutter/fys/nanoteket/gymnasieoeverelser/afm_gym.pdf)

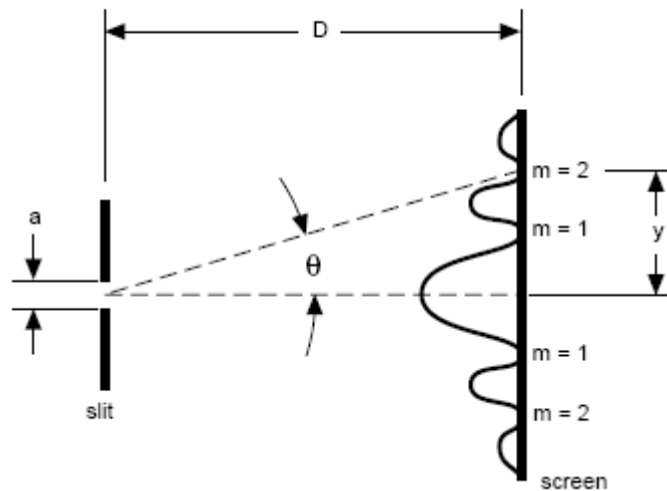
AFM-vejledningen kan med fordel læses på forhånd, før øvelsens start.

### 3-delning af øvelsen

- A. Teori. Diffraction fra spalte og hår. Babinets princip. Reflektionsgitter. (side 3)
- B. Eksperiment 1. Laserdiffraction. Hår, CD, dobbeltspalte. (side 6)
- C. Eksperiment 2. Måling på CD med AFM. Bestemmelse af lagerkapacitet. (side 6)

## A. Teori

### Enkeltspalten



Figur 1. Diffraktionsmønster fra en enkelt spalte.

**Spørgsmål 1.** Opdel strålegangen parvis for diffraction i en enkeltspalte (se på figur 1) og vis derved, at destruktiv interferens opstår netop ved mørkevinklerne  $\theta$ , givet ved:

$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{a} \quad (\text{minima, enkeltspalte, formel 36.2}) \quad (1)$$

**Spørgsmål 2.** Beregn  $\lambda$  for  $a = 0,050$  mm,  $m = 5$ ,  $D = 1,00$  m og  $y = 17$  mm.

I eksperiment 1 bruges et hår til at bestemme laserens bølgelængde ud fra (1). Vi har nemlig:

#### Babinets princip

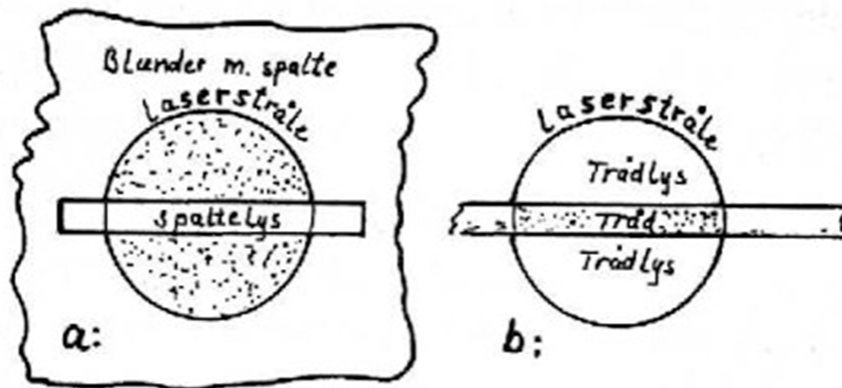
Babinets princip siger, at komplementære blænder giver samme interferensmønster. To blænder siges, at være komplementære, hvis den ene slipper lys igennem netop der, hvor den anden stopper det (nøjagtigt som en spalte og et hår med samme tykkelse som spaltebredden).

Argument:

På figur 2a og 2b ses to komplementære blænder foran en lysstråle. Er ingen af blænderne tilstede vil vi kun få centralpletten på skærmen. Sætter vi blænderne foran (hver for sig) vil der opstå et interferensmønster.

Da blænde A netop lader det lys passere, som blænde B stopper, må disse interferensmønstre lagt oven i hinanden give nul, således at forstå at bølgerne hørende til de lysende pletter fra hvert af mønstrene interfererer destruktivt med hinanden (bortset fra centralpletten).

Heraf følger at begge mønstre må have hhv. mørke og lyse pletter samme steder dvs. at mønstrene er ens.



Figur 2. Komplementære spalter (Henrik Schnack-Petersen, Næstved Gymnasium).

Når laserens bølgelængde er kendt, kan den benyttes til at bestemme gitterkonstanten i et optisk gitter. I vores tilfælde er det CD'en vi måler på. Den opfører sig som et optisk gitter. Der er tale om et reflektionsgitter i stedet for et transmissionsgitter.

**Spørgsmål 3.** Brug Huygens princip til at forklare Babinet's princip.

**Spørgsmål 4.** Vis først for en dobbeltspalte, og derefter for en række af  $N$  spalter med spalteaafstand  $d$ , at maximum optræder ved vinklerværdier givet ved

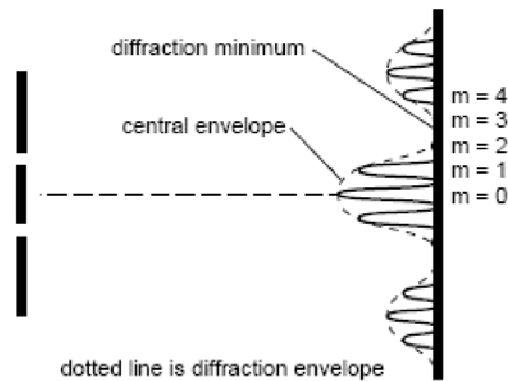
$$d \sin \theta_m = m\lambda. \quad (\text{maxima, optisk gitter}) \quad (2)$$

Spalteaafstanden  $d$  kaldes også gitterkonstanten.

**Spørgsmål 5.** Brug Huygens princip til at gøre rede for at ligning (2) også må gælde for et reflektionsgitter.

**Spørgsmål 6.** Beregn sporafstanden på en CD, for  $\lambda = 633 \text{ nm}$ ,  $m = 1$ ,  $D = 1,45 \text{ m}$  og  $y = 35,6 \text{ cm}$ .

## Dobbeltspalten



Figur 3. Diffraktionsmønstreret fra to parallelle spalter inklusive interferensen mellem de to spalter.

Lærebogen udleder i afsnit 35.2 at diffraktionsmønstreret fra en dobbeltspalte har intensitetsminima for vinkler, der opfylder

$$d \sin \theta_m = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (\text{minima, dobbeltspalte}) \quad (3)$$

**Opgave 4.** Figur 3 viser intensitetsfordelingen, som man ser den i eksperiment 1, når spalteafstanden er noget større end spaltebredden.

- Gør rede for, hvorfor der både er en "hurtigt" varierende intensitetsfordeling og en overlejret "langsom" variation.
- Find ud af, om konstanten  $d$  i formel (3) refererer til spalteafstanden eller til spaltebredden, og om  $m$  i figur 3 svarer til  $m$  i formel (3).

## **B. Eksperiment 1. Laserdiffraktion**

*Udstyr:* Laser, hår, CD, mikrometerskrue, optisk bæk med diverse holdere, skærm, meterstok.

### **Øvelse 1**

Monter håret lodret fastholdt f.eks. af en lille LEGO-konstruktion. Monter laseren i stativ og belys håret, således at et diffraktionsmønster fremkommer på skærmen. Skitser opstillingen. Tæl frem til en passende høj orden, jvf. figur 1 og opgave 1. Mål  $a$ ,  $D$  og  $y$ . Bestem laserens bølgelængde  $\lambda$ . Giv et skøn over den relative usikkerhed på de målte størrelser og sammenlign resultatet med bølgelængdeintervallet, som står trykt på laseren.

### **Øvelse 2**

Monter en CD og/eller DVD, så den kan belyses med laseren og så refleksionsmønstret kan betragtes på væggen eller på en passende anbragt skærm. Bestem sporafstanden  $a$  og giv et skøn over usikkerheden.

### **Øvelse 3**

Her skal I undersøge diffraktion fra en dobbeltspalte, jævnfør figur 3. Dobbeltspalter findes i udvalg på en roterbar skive. Kontroller både spalteafstand og spaltebredde ved at måle på diffraktionsmønstret.

## **C. Eksperiment 2. AFM og lagerkapacitet på CD**

*Udstyr:* AFM, kalibreringsstruktur, CD-stump, skydelære.

### **Øvelse 4**

Monter kalibreringsstrukturen under mikroskopets bladfjeder (cantilever). FORSIGTIG. Kig ind fra siden, så I sikrer jer ikke at brække bladfjederen.

1. Sænk mikroskopet ved at benytte alle tre skruer, så mikroskopet holdes nogenlunde vandret.
2. Mens I hele tiden holder øje i luppen (højre lup er bedst til afstandsvurdering) benyttes computerens software (pil ned i "Approach Panel") til at nærme nålen yderligere til den struktur, I ønsker at måle på. Udnyt fjederens spejlbillede i den blanke overflade på kalibreringsstrukturen til at holde øje med at nålen IKKE rører overfladen men kommer tæt på.
3. Sæt skanneområdet "scan-range" i "Scan Panel" på en passende værdi, så I har mulighed for at se 3-5 perioder i kalibreringsstrukturen. Start softwarens automatiske tilnærmelsesprocedure (approach).
4. Juster på højdefølsomheden, "z-range", så I får en passende kontrast i billedet. Tryk "photo", når et godt skan er i gang. Billedet vil så blive gemt, når skannet er færdigt. Tjek kalibreringen.

### **Øvelse 5**

Lav et AFM-billede af en CD-stump. Mål sporafstand. Bestem arealforbruget for en bit. Bestem lagerkapaciteten af en CD. Sammenlign med forventet kapacitet (1 byte = 8 bit). Bemærk, at ¼ af pladsen går til fejlkorrigerende.