



*Se det usynlige*  
- øvelsesvejledninger





---

## INDHOLDSFORTEGNELSE OG KOLOFON

"Se det usynlige" øvelsesvejledninger

### Indholdsfortegnelse

Undersøg laserlysets interferensmønster .....	3
Bestem tykkelsen af et hår .....	7
Undersøg princippet i en lysleder - totalrefleksion .....	8
Fremstilling af lim og illustrer småvinkelspredning .....	9
Teori til demonstrationsforsøg - En regnbue i nanoskoven .....	10

### Kolofon

Undervisningsmaterialet er udgivet af Nano-Science Center, Københavns Universitet i 2014, med støtte fra Vækstmotorprojektet.

Redaktør: Rikke Bøyesen.

Tekster og øvelser er udviklet og skrevet af: Rikke Bøyesen, Aske Gejl og Freja Eilsø Storm i samarbejde med skolelærer Ingelise Dige Semark og forsker ved DFM A/S Morten Hannibal Madsen. Billeder og Illustrationer: Freja Eilsø Storm og Aske Gejl, medmindre andet er nævnt. Undervisningsmaterialet er blevet til med støtte fra: Vækstforum Hovedstaden og EU.



Vækstforum  
Hovedstaden

DEN EUROPÆISKE UNION

Den Europæiske Fond  
for Regionaludvikling



---

Vi investerer i din fremtid

## ØVELSESVEJLEDNING

### Undersøg laserlysets interferensmønster

I denne øvelse skal I arbejde med laserpointere og undersøge interferensmønstre.  
HUSK: Laserlys kan være farligt for øjnene. Undlad at lyse på andre.

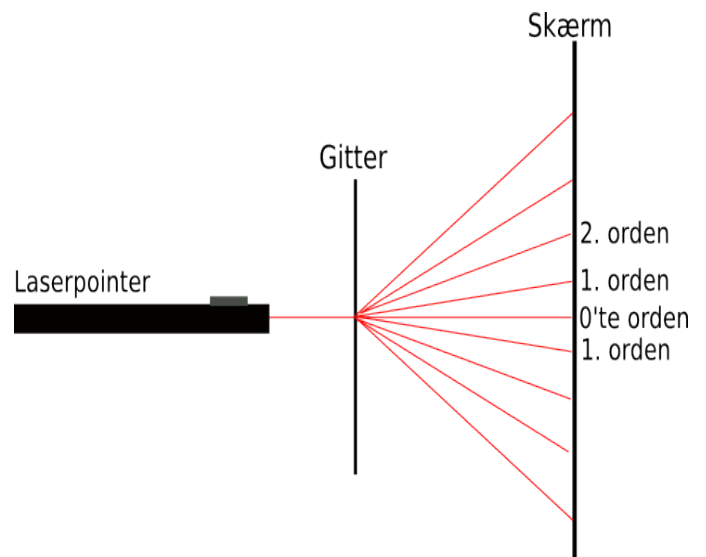
#### Apperatur

- Rød laserpointer  $\lambda=650$  nm
- Grøn laserpointer  $\lambda=532$  nm
- Optisk gitter
- Evt. niveaubord/underlag
- Klo til at fastholde laserpointeren (tændt)
- Lineal/målestok
- Skærm (enhver reflekterende overflade)
- Evt. gitterbænk (til at spænde gitteret fast)

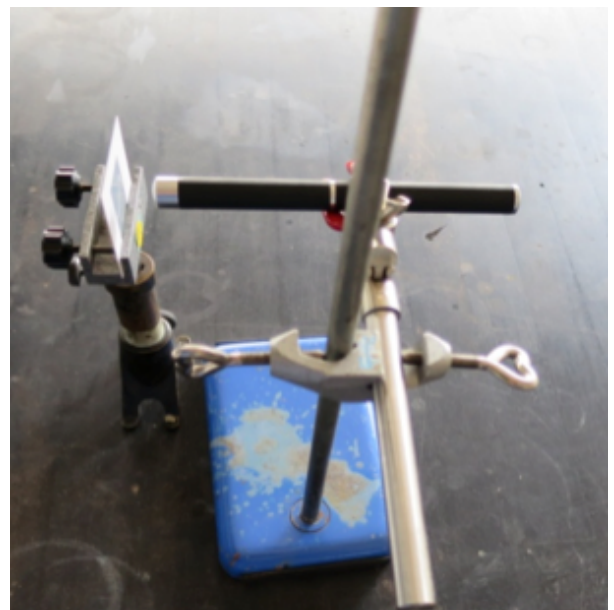
Gitteret opstilles præcis een meter fra væggen, og laseren fastgøres i kloen, så den kan "skyde" vinkelret ind på gitteret og væggen.

- Hvordan kan man tjekke, at laseren er vinkelret på gitteret?

Figur 1: Illustration af diffraktionsmønsteret af laserlys gennem et gitter.

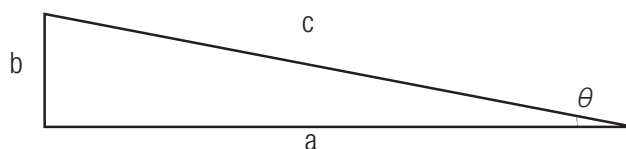


Figur 2: Opsætning af forsøg.



Ud fra de relevante længder og vinkler i opstillingen, skal I beregne sinus til  $\theta$ .

$$\sin(\theta) = \frac{b}{c}$$



Figur 3:  $a$  er afstanden fra gitter til væggen,  $b$  er afstanden imellem prikkerne på væggen.  $\theta$  er vinklen, der kan beregnes mellem 0'te ordens prik og  $n$ 'te orden.

### Databehandling

Nedenstående er skemaer hvor I kan skrive jeres data ind. De første to skemaer er til data ved brug af rød laserpointer (husk at bruge SI enheder)

$d$  beregnes ud fra gitterligningen  $\lambda = \frac{d \cdot \sin(\theta)}{n}$

Gitter med 500 linier pr. mm							
Målte data	$n$ (orden)	$a$ (afstand fra gitter til væg) m	$b$ (afstand fra 0'te orden til $n$ 'te prik på væg) m	Beregnete data	$c$ (afstand fra gitter til $n$ 'te ordens prik) m	$\sin(\theta)$ (bøjningsvinkel)	$d$ gitterkonstanten nm
	1						
	2						

Gitter med ukendt antal linier pr. mm							
Målte data	$n$ (orden)	$a$ (afstand fra gitter til væg) m	$b$ (afstand fra 0'te orden til $n$ 'te prik på væg) m	Beregnete data	$c$ (afstand fra gitter til $n$ 'te ordens prik) m	$\sin(\theta)$ (bøjningsvinkel)	$d$ gitterkonstanten nm
	1						
	2						

Data ved brug af grøn laserpointer

Gitter med 500 linier pr. mm							
Målte data	n (orden)	a (afstand fra gitter til væg) m	b (afstand fra 0'te orden til n'te prik på væg) m	Beregnete data	c (afstand fra gitter til n'te ordens prik) m	$\text{Sin}(\theta)$ (bøjnings- vinkel)	d gitter- konstanten nm
	1						
	2						

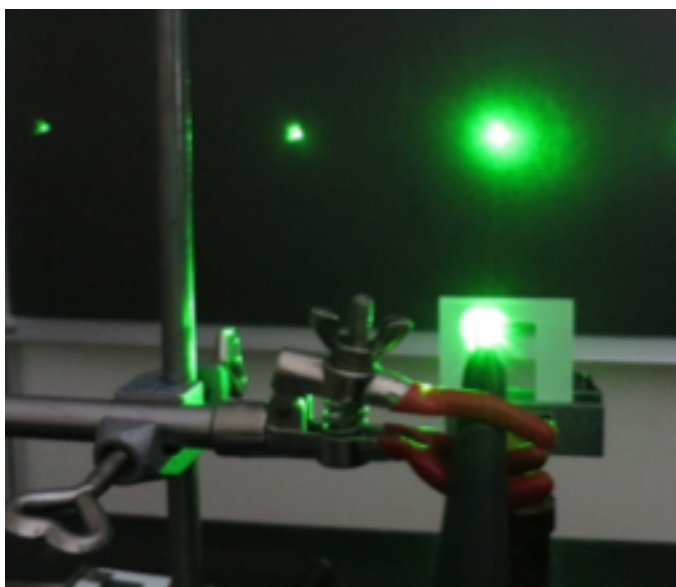
Gitter med ukendt antal linier pr. mm							
Målte data	n (orden)	a (afstand fra gitter til væg) m	b (afstand fra 0'te orden til n'te prik på væg) m	Beregnete data	c (afstand fra gitter til n'te ordens prik) m	$\text{Sin}(\theta)$ (bøjnings- vinkel)	d gitter- konstanten nm
	1						
	2						

- 1) Angiv herunder ét eksempel på beregningerne til skemaet.
- 2) Passer den beregnede gitterkonstant  $d$  med det tal, der er opgivet på gitteret, som er  $\frac{1}{d}$ ?
- 3) Er der fejlkilder ved forsøget?
- 4) Kan I, ved at bruge den gitterkonstant der er angivet på gitteret efterwise, at den røde laser har en bølgelængde på 650 nm?
- 5) Hvad vil der ske, hvis man placerer to gitre umiddelbart efter hinanden, og sender laserstrålen i gennem?
- 6) Hvilken forskel vil der være i diffraktionsmønsteret hvis gitrene er drejet 90 grader i forhold til hinanden?

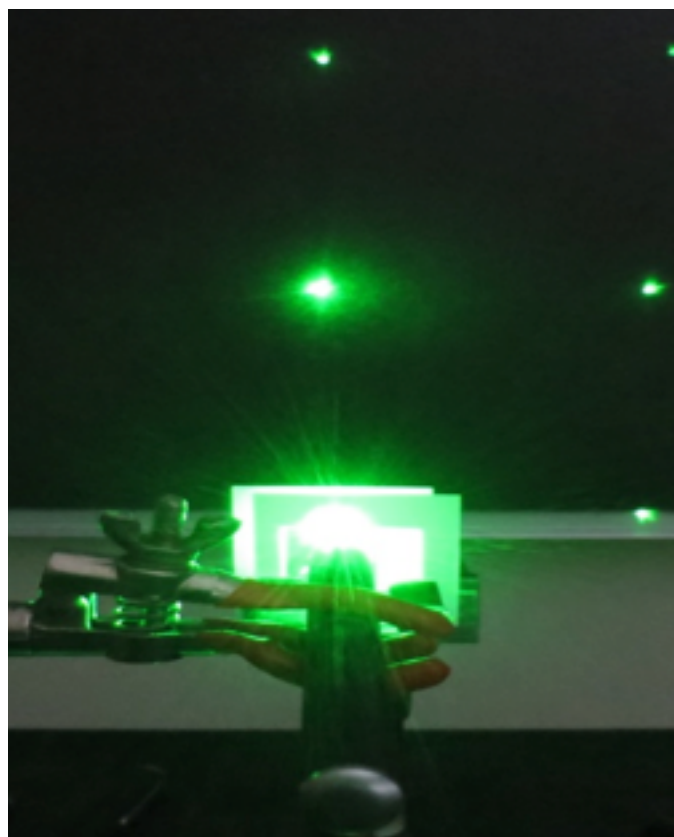
### Fourier transformering

Når to gitre bliver sat op efter hinanden, opstår der et mere komplekst mønster. Mønsteret i et rigtigt forsøg vil svare til flere tusind gitre sat op efter hinanden, og mønsteret bliver meget komplekst. Derfor skal der bruges avanceret matematik til at udlede strukturen af prøven ud fra diffraktionsmønsteret. Det matematik der bruges kaldes Fourier transformering, og formlen ser sådan her ud:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt$$



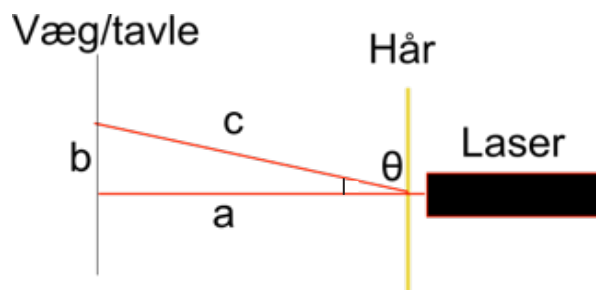
*Billederne viser opstilling og et lille udsnit af det mønster, som fremkommer, når to gitre er sat op efter hinanden.*



## ØVELSESVJLEDNING

### Bestem tykkelsen af et hår

I denne øvelse skal I bruge teorien fra forsøget med gitterene, til at bestemme tykkelsen af ét enkelt hår.  
Det kan lade sig gøre fordi, at brydningen af lys på en smal barriere er den samme, som brydningen gennem en smal spalte.  
Tykkelsen af et hår kan bestemmes ved at sende laserlys ind på håret. Derved skabes et diffraktionsmønster bestående af en lysende streg med mørke og lyse striber.



Figur 1: Illustration af opsætning af diffraktion gennem hår.

Afstanden  $b$  på figur 2 svarer til afstanden fra den centrale prik til *centrum* af den  $n$ 'te prik i diffraktionsmønsteret:



Figur 2: Et hår er sat fast med tape henover åbningen på en laserpointer.

Tykkelsen af håret bestemmes på samme måde som gitterkonstanten i det første forsøg. Her er  $d$  det samme som tykkelsen af håret.

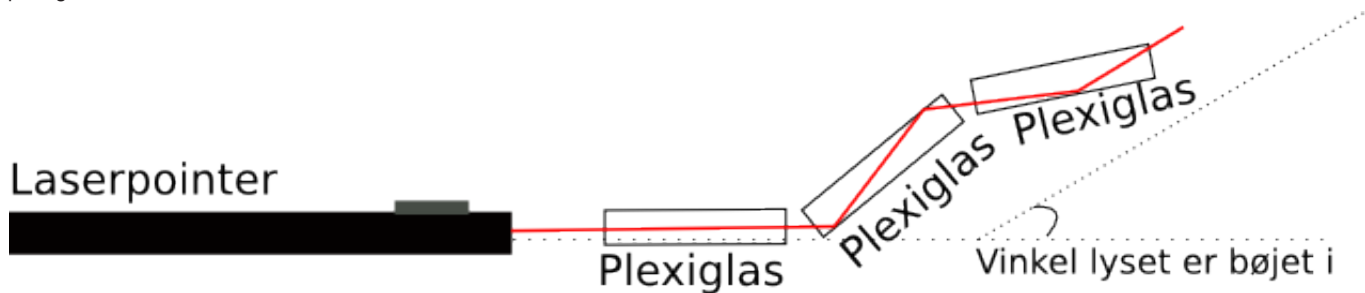
Gitterligningen  $\lambda = \frac{d \cdot \sin(\theta)}{n}$ , hvor  $\sin(\theta) = \frac{b}{c}$  (Så  $\lambda = \frac{d}{n} \cdot \frac{b}{c}$  eller  $d = \frac{\lambda \cdot n \cdot c}{b}$  )

- Er der forskel i tykkelsen af håret fra en lyshåret i forhold til en mørkhåret?
- Hvad med krøller og glat hår?
- Hår med og uden hårprodukter?

## ØVELSESVJLEDNING

### Undersøg princippet i en lysleder - totalrefleksion

I dette afsnit skal vi illustrere princippet i en lysleder, dvs. at lys kan bevæge sig igennem et stykke plexiglas uden at slippe ud på grund af totalrefleksionen. Derved kan man transmittre "lys-partikler"/fotoner igennem plexiglasset. For at signalet når frem i den anden ende af glasset, er det vigtigt, at lyset ikke mister intensitet i væsentlig grad. Det betyder, at vi skal forsøge at undgå, at lyset bryder ud gennem plexiglasset. Hvis der kun er plexiglasset og luften uden om glasset, og hvis strålens indfaldsvinkel er større end en vis grænsevinkel, vil der forekomme totalrefleksion (se afsnit om totalrefleksion). Det betyder, at størstedelen af lyset forbliver inden for plexiglasset.



Figur 1: Illustration af opsætning af forsøget, hvor plexiglasstykkerne tapes fast på bordpladen.

I forsøget skal I prøve at guide en laserstråle igennem flere stykker plexiglas for at afbøje strålen så meget som muligt i forhold til den oprindelige udbredelsesretning.

### Materialer:

- 7 stk. plexiglas
- 1 laserpointer
- 1 saks
- 1 rulle tape
- 1 vinkelmåler
- (evt. en tube vaseline)

Start med at finde et bord, hvor I kan tape plexiglas stykkerne fast. Tape det første stykke glas fast og lys med laseren igennem det. Hvor meget kan I dreje lyset gennem et enkelt glas? Sæt det andet glas op til enden på det første og drej det, så lyset bliver afbøjet mest muligt og tape det fast. Prøv nu at dreje de forskellige stykker plexiglas i forhold til hinanden således, at laserlyset bliver afbøjet så meget som muligt.

Hvilket hold kan afbøje lyset mest?

Når I mener, at plexiglassene er placeret så godt som muligt, måler I med vinkelmålerne, hvor meget lyset er afbøjet i alt og noterer det ned, så I kan sammenligne med resultatet fra de andre grupper.





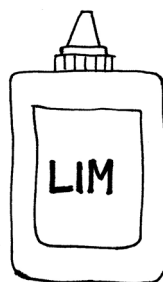
## ØVELSESVJLEDNING

### Fremstilling af lim - og illustrer småvinkelspredning

I denne øvelse skal I lave jeres egen lim. Det gør I ved at udvinde kaseinmolekyler fra skummetmælk ved hjælp af natron og eddike. Kaseinmolekyler er proteiner, som binder sig i lange kæder, og de fungerer derfor som en lim. Når kasein-limen tørrer, vil der være samlinger af flere proteiner i limen. Hver samling vil indeholde et forskelligt antal af kasein-proteiner og derfor have forskellige størrelser. Disse samlinger af proteiner fungerer som diffraktionsgitter i forskellige størrelser. Det betyder, at I får et kompliceret diffraktionsmønster, som minder om diffraktionsmønsteret i et rigtigt neutronsprengningseksperiment.

#### Materialer:

- 250 ml bægerglas
- 250 ml konisk kolbe
- 100 ml måleglas
- Et elblus eller en bunsenbrænder, trådnet og trefod
- Tragt
- Spatel
- Filterpapir
- Skummetmælk
- Eddike
- Natron (Natriumhydrogencarbonat,  $\text{NaHCO}_3$ )



#### Fremgangsmetode:

- Hæld ca. 125 ml skummetmælk op i bægerglasset.
- Afmål 25 ml eddike i et måleglas. Hæld derefter eddiken op i bægerglasset.
- Sæt bægerglasset på bunsenbrænder eller elblus. Varm langsomt op og rør rundt med spatel. Blandingen må kun blive lunken – ikke koge.
- Når væsken bliver klar, og der dannes hvidgule klumper i væsken stoppes opvarmningen. Rør rundt til der ikke længere dannes klumper.
- Lad klumperne bundfældes og hæld den klare del af væsken ud, så der kun er ca.  $\frac{1}{4}$  del tilbage i glasset. Filtrér resten af væsken gennem et filterpapir i en tragt på kolben. Det tager noget tid - ca. 15 minutter. I den tid kan man fx lave øvelsen med totalrefleksion.
- Hæld de klumper der er tilbage i filtret ned i bægerglasset og tilsæt 15 ml vand. Rør rundt og tilsæt lidt efter lidt op til en halv teskefuld natron indtil der ikke kommer flere bobler. Stoffet i bægeret er lim.

Når jeres lim er færdig, skal I lægge en lille klat på et objektglas og lade det tørre. Tag glasset med til den næste øvelse og prøv at lyse med en laser gennem limklatten.



## TEORI TIL DEMONSTRATIONSFORSØG

### En regnbue i nanoskoven - plastbrikker med nanogitre

Ved hjælp af nanoteknologi kan vi bygge og designe forskellige materialer med enkelte atomer og molekyler. Den kunnen bliver benyttet inden for mange områder fx udviklingen af ny medicin og bedre elektronik. Specielt inden for udviklingen af nye materialer bruger vi nanoteknologi. De nye materialer har egenskaber som fx selvrensende overflader eller overflader, der lyser i forskellige farver.

Et eksempel på et nyt materiale er de NanoPlast-brikker, som er inkluderet i dette kit. Her er overfladen lavet uden brug af kemikalier. Det er en mere miljøvenlig måde at lave plastik på, som samtidig gør den nemmere at genbruge. I stedet for at sortere plastik efter farve før det kan genbruges, vil man, hvis farven skyldes formen af overfladen, kunne genbruge meget mere plastik.

NanoPlast-brikkerne er støbt i sort plastik. Forskellen fra almindeligt plastik er, at når denne brik belyses fra forskellige vinkler, skifter klodsens farve. Farven fremkommer, fordi der er nanostrukturer på overfladen. Dette skyldes, at brikken er sprøjtet støbt med en masse små gitre på overfladen. Gitrene består af små linjer, som står vinkelret ud fra plastbrikken. En lignende effekt kendes fra sommerfuglevinger. Når sommerfuglen bevæger sine vinger, ser vi et flot farvespil. Strukturerne er dog så små, at de ikke kan ses med det blotte øje (ca. 100 nm høje), og overfladen ser derfor helt plan ud. Kun ved lysets spredning på strukturerne, kan man se den forandrede overflade.



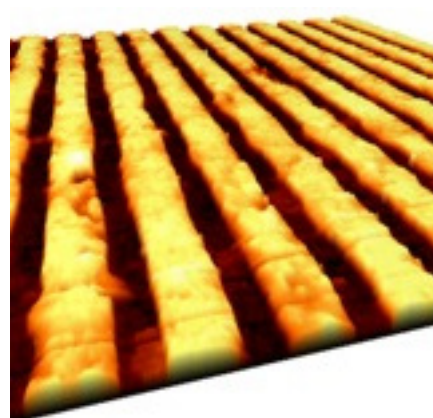
*Plastik med struktureret overflade. Billede taget med et almindeligt kamera med lys, der kommer ind fra siden. Det er den samme plastbrik, der er fotograferet på alle billederne.*

Lys med forskellig bølgelængde spredes i forskellige vinkler, når det sendes igennem et optisk gitter. Blåt lys har en bølgelængde omkring 450 nm, grønt lys omkring 550 nm og rødt lys omkring 650 nm. Det ses af gitterligningen, at lys med forskellige bølgelængder bliver spredt forskelligt, når de rammer et gitter. Lyset bliver altid sendt vinkelret ud fra strukturerne. Dvs. går linjerne op/ned, bliver lyset sendt ud højre/venstre.

Når der lyses med en laser på plastbrikken, ser vi et diffraktionsmønster, som nærmest ligner en lille sol med forskellige afstande mellem prikkerne i de forskellige mønstre. Dette er en effekt af de mange forskellige gitre, som er støbt på overfladen. Fra gitterligningen kan man se, at når afstanden mellem spalterne,  $d$ , er stor, bliver afstanden mellem prikkerne i diffraktionsmønsteret lille. Bliver  $d$  mindre, bliver afstanden mellem prikkerne i diffraktionsmønsteret lille.

Det er grundlæggende samme princip, man benytter i neutronspreddning. Ved at studere den vinkel, som neutroner bliver spredt ud i, kan man få værdifuld information om en prøve. De prøver man undersøger har ofte små variationer og uregelmæssigheder der gør, at neutron-diffraktionsmønsteret bliver mere komplekst, og derfor arbejder forskere med meget kraftige computere.

*Plastikbrikkerne er fremstillet i NanoPlast-projektet (læs mere om projektet på [www.nanoplast.dk](http://www.nanoplast.dk)). Billeder af Morten Hannibal Madsen, DFM.*



*Overfladen af plastikemnet som er forstørret 10.000 gange. Billedet er med atomar kraft mikroskopi (AFM). Det kan bruges til at se strukturer helt ned på nanometerskala.*