



Se det usynlige
- Teori, perspektivering og ordliste





INDHOLDSFORTEGNELSE OG KOLOFON

Indholdsfortegnelse

INTRODUKTION til "Se det usynlige"	3
TEORI - visualisering af neutron - og røntgenstråler	5
Ekstra information og øvelser	9
PERSPEKTIVERING	10
ORDLISTE	12

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, Aske Gejl, medmindre andet er nævnt. Undervisningsmaterialet er blevet til med støtte fra Vækstforum Hovedstaden og EU.



DEN EUROPÆISKE UNION

Den Europæiske Fond
for Regionaludvikling



Vi investerer i din fremtid



INTRODUKTION TIL "SE DET USYNLIGE"

Udvikling af materialer der aldrig bliver beskidte, nye mikrochips til computeren og medicin uden bivirkninger er alt sammen resultatet af, at vi som mennesker bliver bedre til at forstå den verden, vi er en del af. Vi forstår, fordi vi nu kan se ting, som for få år siden var usynlige!



Har du nogensinde hørt: Man skal se det for at forstå det

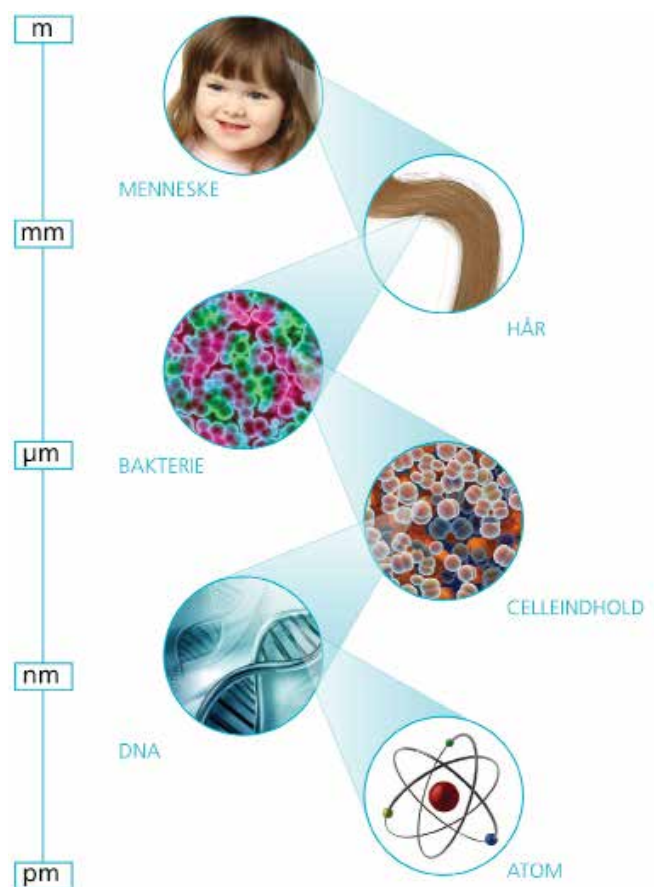
Det er lige præcis, hvad dette materiale handler om – at kunne skabe billeder af verden omkring os og forstå hvad vi ser. For at kunne forstå og afkode de signaler, der er omkring os, gør vi brug af detektorer. En detektor er en enhed, der kan opdage, opfange eller ensrette. Vores øjne, mobiltelefoner, mikroskoper og en radio og dens antenne er detektorer. De bliver også kaldt strålingsdetektorer, fordi de detekterer elektronisk stråling. I den vi skal arbejde med elektronisk stråling i undervisningsmaterialet, kigger vi lidt mere på udviklingen af detektorer, og hvad de kan bruges til.

Detektorer hjælper os til at se

Øjet er kroppens lyssensor, en detektor der gør det muligt for os at se ting inden for bølgelængden 380-700 nm. Med øjet kan vi se alt, der er stort nok, og som ikke er skjult. En anden kendt detektor er røntgenapparatet, som blev opfundet for ca. 100 år siden. Med teknologien blev det muligt for os at skabe billeder af noget – en knogle i et væv – som lå gemt. Andre ting er så små, at vi ikke kan se dem med det blotte øje, og derfor må vi gøre brug af mikroskoper, der kan forstørre eller detektorer, der kan afkode diverse signaler fra fx radiobølger eller mikrobølger.

Vi kan se atomer med nanoteknologi

I gennem de seneste 30 år er der sket en utrolig udvikling af mikroskoper og instrumenter – vor tids detektorer – som kan hjælpe os til at skabe billeder af, hvordan de mindste bestanddele i verden er sat sammen.



m = meter, 1 m

mm = milimeter = 10^{-3} m

μm = mikrometer = 10^{-6} m

En nanometer er 0,000000001 meter = 10^{-9} m

pm = pikometer = 10^{-12} m.

Med nanoteknologien kan vi for eksempel se og forstå, hvorfor og hvordan forskellige materialer og celler i kroppen er bygget op på nanometer-størrelse. En nanometer er 0,000000001 meter dvs. en milliarddel af en meter. Vores viden om verdenen på nanoskala giver os også mulighed for at ændre på materialernes opbygning og designe helt nye materialer og medicin mm.



Nye superdetektorer på vej

Men udviklingen stopper ikke her, for løbet af de næste 10 år vil to meget avancerede detektorer blive bygget på den anden side af Øresund i Lund. Det er røntgenkilden MAX IV og neutronkilden European Spallation Source (ESS).

Verdens mest avancerede detektorer bliver bygget nu

Tilsammen vil MAX IV og ESS gøre det muligt for forskere at undersøge alle typer af materialer på det atomare niveau – fra de hårdeste materialer til de blødeste biologiske – og dermed give os indsigt i materialernes struktur. Både neutron- og røntgenstråler har den egenskab, at de kan trænge ind i et materiale. Her rammer strålerne de atomer som udgør materialet, og strålerne vil så bøje af eller spredes i forskellige retninger og med forskellig intensitet. Ved at måle vinkler og intensitet kan forskerne ved hjælp af computere få et billede af materialets struktur. Det er grundlaget for at udvikle nye materialer – både hårde og bløde – det er for eksempel ny medicin og særlig holdbare byggematerialer og hurtigere computere. MAX IV og ESS bliver verdens mest avancerede detektorer, som giver os mulighed for at se ting, som vores øjne alene ikke giver os mulighed for.





TEORI - visualisering af neutron- og røntgenspredning

I European Spallation Source (ESS) bruger forskerne neutroner til at undersøge forskellige materialer på nanometerskalaen. Bølgelængden på neutronstrålerne er ned til 0.001 nm, 10^{-12} m). Dette betyder, at forskerne kan undersøge strukturer, der er ca. 500.000 gange mindre end hvad, vi kan se med det blotte øje eller optiske mikroskoper. Synligt lys har en bølgelængde på 380-740 nm. Vi vil i dette teori afsnit beskrive forskellige øvelser med synligt lys, for at illustrere forskellige egenskaber som forskerne udnytter i ESS.

Bølger

Neutroner og lys er både partikler og bølger og er kendt som partikel-bølge-dualiteten. Ideen om at partikler kan opfattes som bølger blev fremført af fysikeren Louise de Broglie i 1924. Det er en vigtig pointe inden for atomernes verden.

For at detektere strukturer skal man anvende stråling med en bølgelængde i samme størrelsesorden som det, man ønsker at undersøge. Det vil sige, at hvis man vil undersøge kemiske og fysiske strukturer i nanometer størrelsesorden, skal man anvende stråling med en bølgelængde af lignende størrelse, for eksempel neutroner, elektroner eller røntgenstråling.

Modsat elektron- og røntgenstråling er neutronstråling en unik metode til at undersøge biologiske prøver, da strålingen ikke påvirker og nedbryder prøverne i stor grad. Desuden kan man se dybere ind i prøven, da neutroner er elektrisk neutrale, og derfor ikke afbøjes af elektriske felter fra elektroner/protoner i prøven. Neutroner er altså smarte til at observere strukturer

på nano-skala, med en meget kort bølgelængde. Det kræver avancerede detektorer at måle neutronstråling, som kun findes på moderne forskningsinstitutioner, for eksempel ESS. Derfor har vi valgt at illustrere bølgeegenskaber med synligt lys, da disse bølgeegenskaber gælder for både neutronstråling og elektromagnetisk stråling.

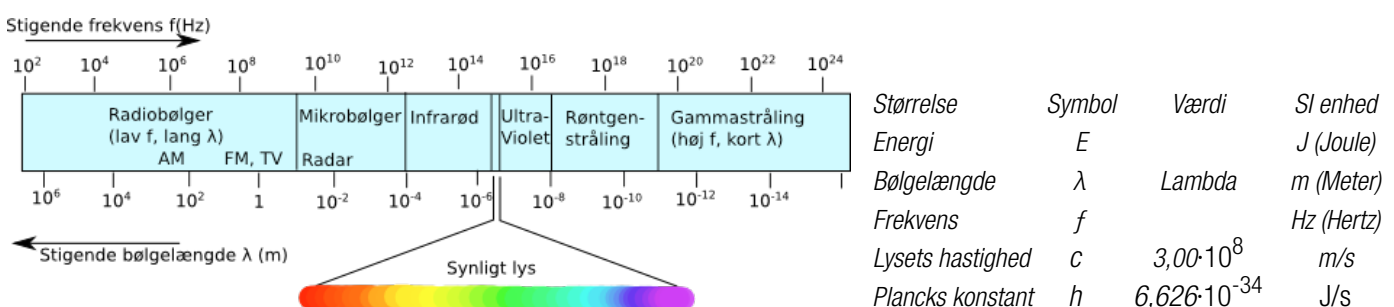
Lysdiffraktion

Synligt lys består af fotoner og er en lille del af det elektromagnetiske spektrum (se figur 1). Alt lys - både synligt og usynligt - kan beskrives via en bølgelængde, en frekvens og en energi, som hænger sammen på følgende måde: $E = h \cdot f$, $c = \lambda \cdot f$. Hvor E er energi, h er Plancks konstant, c er lysets hastighed, λ er bølgelængden og f er frekvensen. Det er disse egenskaber, som afgør, hvordan vi opfatter lyset, og det er også de egenskaber, forskerne udnytter i neutronspreddning.

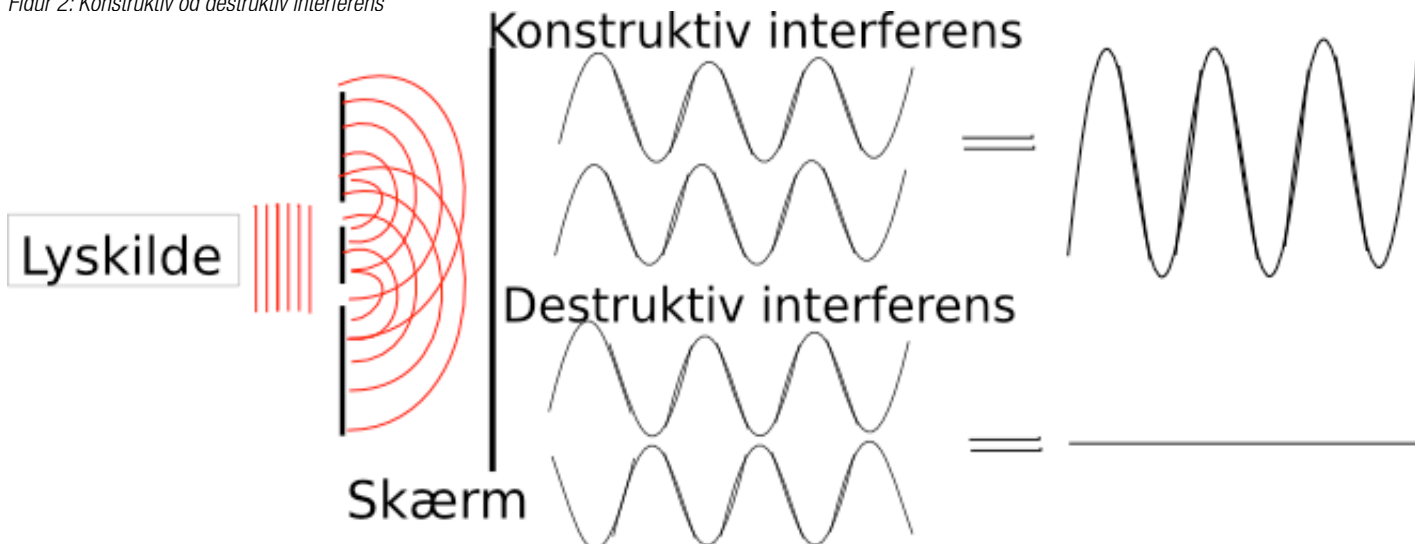
I naturvidenskaben bruger man forskellige symboler (ofte græske bogstaver) til at symbolisere forskellige egenskaber, for eksempel skal man ikke skal skrive 'bølgelængden' igen og igen, men kan nøjes med at bruge det græske bogstav λ (lambda).

Bølger med større bølgelængde end synligt lys - mikrobølger og radiobølger, er det vi kalder infrarød stråling, kortere bølgelængder kaldes ultraviolet-, røntgen- eller gammastråling (se figur 1). Disse bølgelængder i det elektromagnetiske spektrum er dog ikke så nemme at håndtere i et klasselokale, netop fordi de ikke er synlige og også kræver avancerede detektorer for at blive registreret.

Figur 1: Det elektromagnetiske spektrum

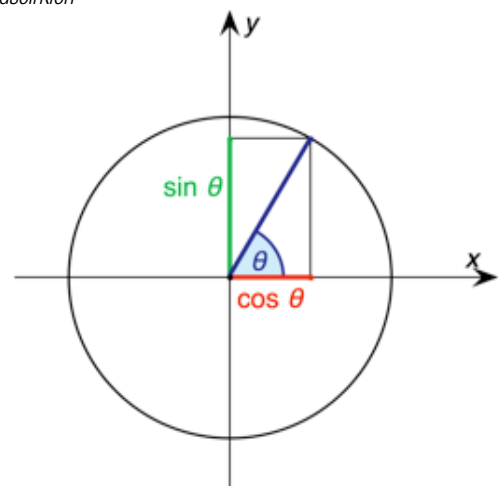


Figur 2: Konstruktiv og destruktiv interferens



Lys interfererer med lys, det vil sige, at bølgerne i lyset nogle steder "går i takt" og forstærker hinanden, mens bølgerne andre steder er ude af takt og udligner hinanden. Det gør, at vi ser lysprikker, når der opstår konstruktiv interferens ('går i takt'), derimod ser vi ingenting, når der er destruktiv interferens (udligner hinanden) (se figur 2).

Figur 3: Enhedscirklen



Et diffraktionsgitter er en stort set gennemsigtigt plade, hvor der er lavet små spalter- også kaldet et gitter, som lyset kan bevæge sig igennem. Typisk er der på gitteret angivet antallet af linjer pr. mm, for eksempel 300. Det betyder, at afstanden fra en spalte til den næste er 0,0033 mm eller 3,3 μm . Denne afstand kaldes for *gitterkonstanten* og angives med bogstavet d . For at lys kan spredes i et gitter, skal afstanden størrelsen af d være større end λ . Derimod skal spaltens størrelse være sammenlignlig med λ , det gælder også andre objekter, der spreder lys fx et hår. Hvis spalten er for stor opstår der ikke interferens, og er spalten for lille, kan lyset ikke slippe igennem.

Når lyset bevæger sig gennem diffraktionsgitteret, ser vi bagved en afbøjning i flere forskellige vinkler - helt konkret som flere lysprikker. Vi kan beskrive vinklerne ved hjælp af afbøjningsordenen n , som antager værdier: 1, 2, 3 ... Hvis $n = 0$ er der tale om lys, som går lige gennem gitteret. Jo højere n bliver, des mere er lyset afbøjet og dermed får vi en større vinkel. Monokromatisk (ensfarvet) lys, som fra en laser har en bestemt bølgelængde. Den maksimale orden bestemmes via gitterligningen, da sinus højest kan blive 1.

Cosinus og sinus er defineret ud fra enhedscirklen. Enheds-cirklen er en cirkel med radius 1. Cosinus og sinus er de tal,

som beskriver henholdsvis x - og y -koordinaten, for ethvert punkt på enhedscirklen.

For bøjning af lys med bølgelængden λ i et optisk gitter med gitterkonstanten d gælder, at bøjningsvinklen θ (theta) er givet ved **gitterligningen**:

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin(\theta)}{n}$$

θ er endnu et græsk bogstav og beskriver vinklen mellem strålen, der hører til 0 'te ordens prikken, og n 'te ordensprikken. Disse egenskaber vil vi illustrere i forsøgene "Undersøg laserlysets interferensmønster" og "Find tykkelsen af et hår", hvor henholdsvis et diffraktionsgitter og et hårstrå bruges til at sprede lyset.

Se øvelsesvejledningerne: "Undersøg laserlysets interferensmønster" og "Bestem tykkelsen af et hår".

Totalrefleksion

I denne øvelse skal I undersøge et fænomen, der hedder totalrefleksion. Når neutroner skabes i ESS, skal de guides fra kilden hen til prøven, som forskeren vil undersøge. Dette foregår via neutronspejle, hvor neutronerne via totalrefleksion kan styres gennem udstyret. Det er ikke muligt at vise princippet med egentlige neutroner, da de er alt for små til, at vi kan se dem, og derfor illustrerer vi i stedet princippet via en laserpointer og plexiglasrør.

Totalrefleksion opstår, når lys skal bevæge sig fra et område til et andet, hvor hastigheden af lyset er forskellig. Normalt beskriver vi lysets hastighed med bogstavet c , og det har værdien $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, men denne værdi er kun gyldig, når lyset bevæger sig i vakuum. Bevæger lyset sig derimod igennem luft eller vand vil hastigheden sænkes, og det er denne egenskab, som ligger til grund for totalrefleksion. I dette forsøg vil lyset bevæge sig mellem plexiglas og luften. Når lyset bevæger sig inde i plexiglas, vil det have en hastighed, der er mindre end hastigheden i luften. Dette beskrives ved en egenskab, som kaldes brydningsindekset, der er defineret som forholdet mellem lysets hastighed i vakuum og lysets hastighed i det pågældende medium (luft/vand/plexiglas):

$$n = \frac{c}{v}$$

hvor n er brydningsindekset og v er hastigheden i det pågældende medium.

For eksempel er brydningsindekset for plexiglas 1,49, og angiver vi lysets hastighed i vakuum som $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, kan vi nemt udregne lysets hastighed i plexiglas til ca. $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Nogle gange vil forholdet mellem brydningsindekserne for de to medier tillade, at lyset reflekteres i stedet for at overgå bevæge sig ind i nr. to medie, og det er dette fænomen, som kaldes totalrefleksion. For at finde den vinkel over hvilken totalrefleksion forekommer skal vi først udregne grænsevinklen l_g .

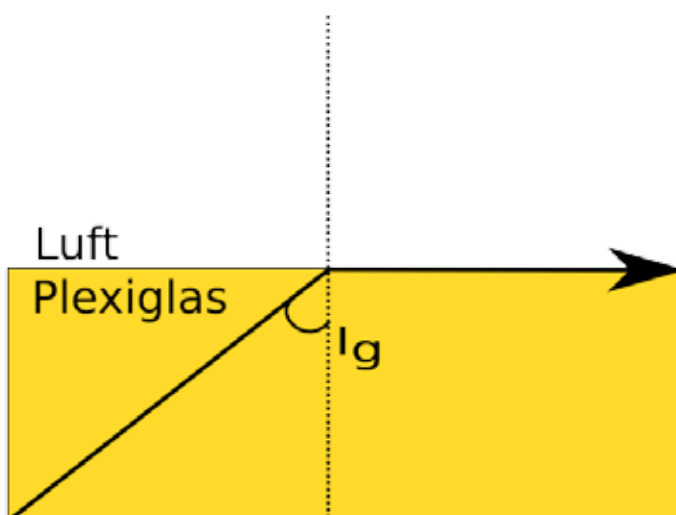
Denne vinkel svarer til, at det lys der sendes fra medie 1 til 2 afbøjes præcis 90 grader eller sagt med andre ord, at det løber langs overgangen mellem medierne, se figur 1. Vinkel kan bestemmes via formlen:

$$\sin(l_g) = \frac{n_2}{n_1}$$

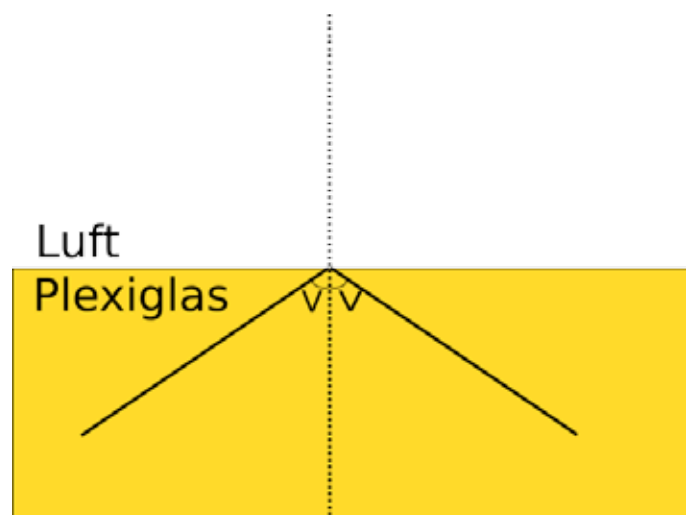
Bliver vinklen større vil lyset blive reflekteret, og forblive i mediet og dermed oplever vi fænomenet totalrefleksion, se figur 2.

Se: øvelsesvejledning: "Undersøg princippet i en lysleder - totalrefleksion".

Figur 1: Grænsevinklen



Figur 2: Totalrefleksion



Småvinkelspredning - spredning fra partikler

Ligesom spalterne i et gitter kan sprede lys, vil enkelte partikler med en passende størrelse også kunne gøre det. Et eksempel er kaseinpartiklerne i mælk.

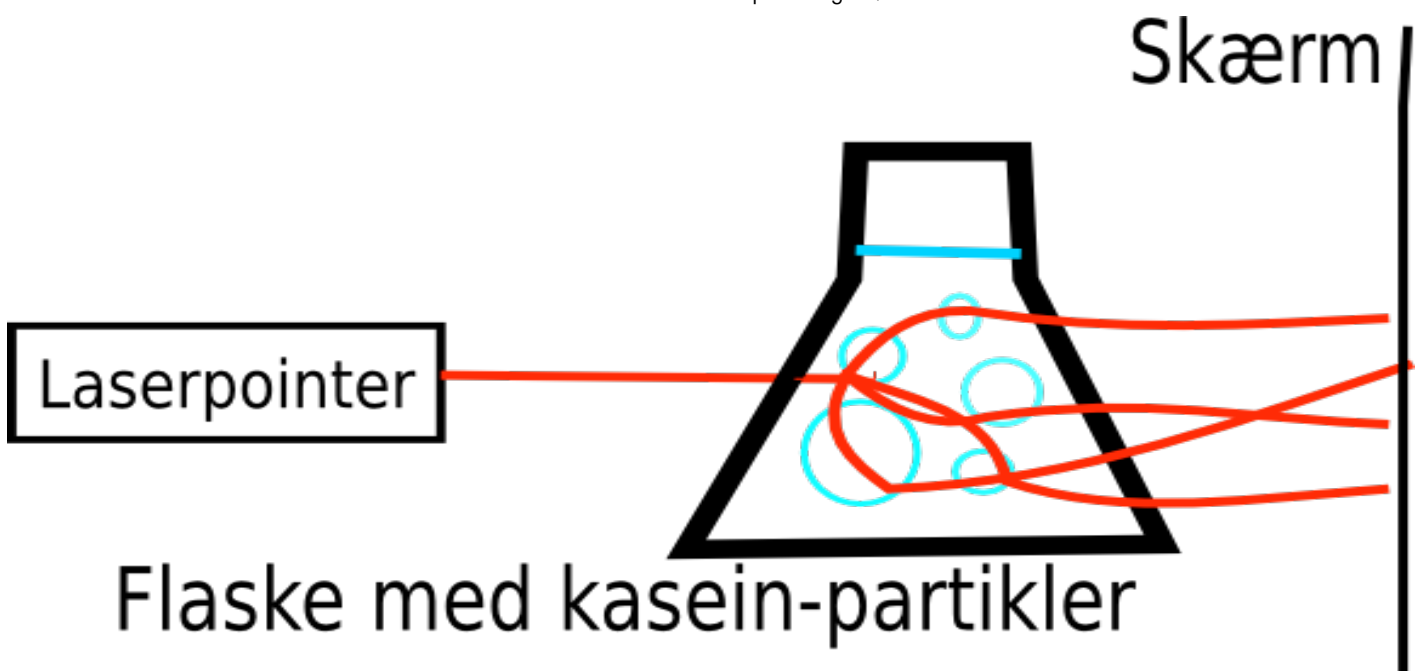


I øvelsen med fremstilling af lim, skal I udføre en simpel form for småvinkelspredning. Normalt bruges der enten røntgen (SAXS) eller neutroner (SANS) til at udføre småvinkelspredningsforsøg, men I skal bruge en laserpointer. Dette skyldes, at ligesom i

Limen indeholder mange forskellige samlinger af kaseinpartikler, og derfor spredes lyset i mange forskellige retninger.

Lige som i gitteret, hvor en lille gitter konstant resulterer i stor spredning af lyset, vil små partikler i en opløsning sprede neutronerne eller røntgenstrålen mere end store partikler. Det samme gælder for laserlyset, og store samlinger af kaseinpartikler spreder derfor ikke lyset så meget.

I øvelsen udnytter vi, at kaseinpartikler kan samle sig i lange kæder. Disse kæder kan bestå af et forskelligt antal partikler, og kæderne vil derfor have forskellige størrelser. Dette svarer til at sprede lyset i forskellige gitter, blot er der her tale om i størrelseordenen 10^{10} forskellige størrelser. Det betyder, at spredningen af lys gennem en kasein limklat vil give et diffus spredningsmønster.



forsøget med diffraktionsgitter, kan fotonerne i laserlyset bruges som analogi. Fotonerne er synlige for det blotte øje, og der skal derfor ikke bruges en speciel detektor til at registrere, hvor på skærmen fotonerne rammer.

I dette forsøg kan fotonerne bruges til at undersøge en opløsning med samlinger af proteiner fra mælk: kaseinpartikler, da disse aggregater har en størrelse, der er sammenlignelig med bølgelængden på rødt eller grønt lys.

Se: øvelsesvejledningen: "Fremstilling af lim".



Ekstra information og øvelser

Hvis I synes, det har været spændende at arbejde med elektromagnetisk stråling, er her nogle forslag til ekstra øvelser I kan lave og link til ekstra materialer og film.

Kort dansksproget film om nanoscience: https://www.youtube.com/watch?v=7sEoXITtP_g

På Youtube findes klip med, hvordan en ballon kan sprænges af en laser, alt efter farven på ballon og laser.: <https://www.youtube.com/watch?v=EzY30Ah8bKY>

I kan gå ud og indsamle forskellige naturlige materialer, for eksempel pollen, fjer og jord og se eksempel på beregning mm. her: <http://www.nbi.dk/~phansen/fys8/elektrondif.pdf>

Link til programmet LaserWidth: <http://www.fysikbasen.dk/laserWidth-download.htm>

Link til film om ESS: http://www.nbi.ku.dk/scienceexplorer/atomar_fysik/ess_region/video/

Mere om bølger: <http://maartensson.net/fysik/waves/wave01.html>

Prøv at lys på en CD vs. Blue Ray disk og beregn og sammenlign afstanden mellem linierne. (Hvorfor hedder Blue Ray egentlig sådan?).

Lysets spredning gennem fortyndet skummemælk: http://igm.fys.ku.dk/~lho/personal/lho/lys_gymnasie.pdf





PERSPEKTIVERING



I takt med vi bliver flere mennesker på jorden og folk leve længere, bliver kravene til den måde vi udnytter jordens resurser på større. Nanoteknologien har allerede hjulpet forskere på vej til at kunne se og manipulere med mindstedelene i vores krop og i en lang række materialer. Men der er stadigvæk mange ting vi ikke ved, og her kan de nye forskningsfaciliteter ESS og MAX IV være med til at gøre en forskel.

Livet i vores celler er meget kompliceret, og der er en masse viden omkring hvordan for eksempel proteiner kommunikerer og enzymer fungerer, som ikke er afdækket. Her kommer særligt neutronspredning til at kunne gøre en forskel, fordi vi med teknikken kan se alle de elementer, der er vigtige for livet – kvælstof, ilt og kulstof. Det betyder, at vi med neutronspredning bl.a. kan se vandmolekyler og hydrogen atomer og protein-protein interaktioner – alt dette uden at skade dem.

Lægemidler



Mennesker med sukkersyge har brug for den rette mængde insulin på det rette tidspunkt, og derfor er det vigtigt at kunne lave insulin, der kan frigi-

ves i kroppen på det tidspunkt, patienten har brug for det, men denne frigivelsesprofil er svær at lave, fordi den er tæt knyttet til de forskellige strukturer, som insulin har. For at undersøge de forskellige strukturer kan forskere eksempelvis bruge småvinkelspredning. Småvinkelspredning er en teknik, hvor man tager en prøve af for eksempel proteinopløsninger og skyder neutron- eller røntgenstråler på den. Derefter måler man intensiteten af den stråling, der spredes fra prøven. Denne indeholder information om de nanostrukturer, der udgør prøven dvs. information om størrelse og formen af de spredte partikler. Det er smart, hvis man vil vide noget om hvilken størrelse eller form dele af lægemidler skal have for at fungere bedst. Resultater fra forskningen har vist, at store aggregater er langtidsvirkende og små er hurtigtvirkende, og det er vigtig viden, når ny diabetesmedicin skal designes.

Materialer

Vi er konstant på udkig efter bedre, billigere og mere bæredygtige byggematerialer, hvor vi bruger så få ressourcer som muligt, eksempelvis når vi vil bygge et hus. Synkrotron- og neutronstråling kan anvendes inden for mange forskellige områder inden for bygge- og anlægsbranchen. Strålerne kan trænge dybt ind i forskellige materialer og måle de nanostrukturer, der udgør materialerne. Man kan for eksempel lave ikke-destruktive 3D-tests af beton, mens det tørrer, og undersøge hvor mange revner, der kommer i forskellige materialer, når de bliver belastet. Med den viden kan man udvikle byggematerialer, der holder længere og virker bedre, og derved mindske forbruget af ressourcer. Det er både godt for pengepung og miljø.





Fødevarer

Mange regeringer i verden bekymrer sig om de stigende udgifter, sundhedsvæsnets bruger til behandling af folk med livsstilssygdomme som fedme og sukkersyge. Mange borgere efterspørger nye og bedre produkter især med fokus på sundhed og ernæring. Det er for eksempel madvarer som brød, der indeholder mindre fedt og sukker. Når man ændrer på sammensætningen af et produkt, kan man også ændre de fysio-kemiske egenskaber, hvilket igen kan påvirke produktets tekstur.

To af de vigtige fødevarergrupper er proteiner og kulhydrater. Proteiner er ofte en del af maden i en tørret udgave, og det er vigtigt at forstå, hvad der sker, når de optager fugt og interagerer med vand. Ved hjælp af neutronstålningen vil forskerne kunne studere de nanostrukturere som udgør brødet. Det er afgørende for, at forskere kan udvikle mere ernæringsrigtige brød med længere holdbarhed til glæde for forbrugere.

Kilder:

http://nyheder.ku.dk/alle_nyheder/2013/2013.6/ess-og-max-iv/

<http://www.vaekstmotor.dk/Kortlaegninger>





ORDLISTE

- Afbøjningsorden:** Sendes en stråle igennem et optisk gitter, så spredes lyset i flere stråler, som kan ses som prikker på væg, tavle mm. Der vil altid være en stråle, der står bag gitteret og fortsætter ligeud. Denne stråle siges at være i 0'te orden. Det kaldes for en afbøjningsorden og betegnes som n .
- Afbøjningsvinklen:** Vinklen mellem lysets bevægelsesretningen før og efter det har passeret gitteret.
- Brydningsindekset:** Er en materialekonstant defineret som forholdet mellem lysets hastighed i vakuum og lysets hastighed i det pågældende medium (luft/vand/plexiglas mm.).
- Bølgelængden:** Afstanden mellem to på hinanden følgende bølgetoppe. Bølgelængden kan angives i meter, nanometer, eller mikrometer. Som symbol for bølgelængden bruges ofte det græske bogstav Lambda (λ).
- Celle:** Er den mindste levende enhed i alle levende organismer og er fælles for alt liv både for mikroorganismer, planter, dyr og mennesker.
- Elektromagnetismen:** En betegnelse for de fysiske egenskaber af det elektronmagnetiske felt, et felt der er til stede overalt, og påvirker elektrisk ladede partikler med en kraft, hvilket igen påvirker disse partiklers bevægelse. Samtidig påvirker partiklernes ladning og bevægelse det elektromagnetiske felt.
- Elektromagnetiske spektrum:** Beskriver de forskellige typer af elektromagnetisk stråling. Elektromagnetisk stråling kan beskrives med ord som bølgelængde, frekvens eller energi per foton. Radiobølger præsenterer bølgelængder fra nogle centimeter til flere kilometer og er i den ene ende af det elektromagnetiske spektrum. I den anden ende af spektrummet er hårde gammastråler, som har en meget kort bølgelængde.
- Elektromagnetisk stråling:** Energi og impuls der udbredes som tidsvarierende elektriske og magnetiske felter. Det elektromagnetiske spektrum indeholder mange slags stråling. Strålingen består af bølger, hvis frekvens f og bølgelængde λ er knyttet sammen med dispersionsrelationen $f \cdot \lambda$.
- Enzym:** Biologiske molekyler der katalyserer (dvs. forøger hastigheden af) af kemiske reaktioner. Næsten alle enzymer er proteiner.
- Diffraction:** Når bølger af f.eks. lyd eller lys eller af partikler med bølgeegenskaber (fx elektroner og neutroner) sendes igennem snævre åbninger godt og vel på størrelse med bølgenes længde og spredes de i bestemte mønstre.
- Diffraktionsgitter:** Se gitter.
- Diffraktionsmønster:** Det mønster der fremkommer, når man sender laserlys gennem et gitter.

Frekvens:	Angiver antal svingninger pr. sekund for et svingende system eller en bølge. Frekvens betegnes med symbolet f . SI-enheden for frekvens er hertz ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$).
Gitter:	(i optikken) Benyttes til spredning af lysstråler. Det består af en række parallelle smalle spalter (ofte flere tusinde pr. mm) med samme afstand. Hver spalte spreder lyset, og da spalterne har samme indbyrdes afstand, bliver det spredte lys pga. interferens forstærket i visse retninger, der afhænger af lysets bølgelængde.
Gitterformlen:	Bruges hvis gitterkonstanten, bølgelængden, afbøjningsordenen eller afbøjningsvinklen skal findes.
Gitterkonstant:	Afstanden mellem to spalter, riller eller andre rumligt gentagne strukturer i et gitter.
Interferens:	Når bølgerne går i takt og forstærker eller udligner sig selv.
Kulhydrater:	Er en stor gruppe af organiske stoffer populært kaldet sukker eller sukkerstoffer.
Nanoteknologi:	Betegner anvendt naturvidenskab med strukturer af størrelsesorden 0,1 – 100 nm, hvor en nanometer er en milliontedel millimeter (også skrevet som 10^{-9} m).
Neutronspredning:	Eksperimentel teknik til bestemmelse af krystalstrukturer og magnetiske strukturer af faste stoffer og til undersøgelse af kræfterne mellem atomerne i et fast stof og i magnetiske materialer.
Neutron:	Er en partikel. Neutroner udgør sammen med protoner de partikler, som atomkerner med atomvægt større end brint er sammensat af. Neutronen er elektrisk neutral.
Protein:	Er store molekyler (makromolekyler) der er essentielle komponenter af alle levende organismer. De deltager i alle cellulære processer og fungerer som biologiske byggesten og som enzymer (katalysatorer) for de kemiske reaktioner, der foregår i alle levende organismer.
Røntgenstråling:	Er en form for elektronmagnetisk stråling med en bølgelængde fra omkring $5 \cdot 10^{-12}$ m til $10 \cdot 10^{-9}$ m (svarende til frekvenser mellem 10^{15} Hz og 10^{18} Hz). Røntgenstråling er en ioniserende stråling og kan derfor være farlig.
Sinus:	Er en funktion inden for matematikken, som beskriver bestemte forhold mellem siderne i en retvinklet trekant, eller y-koordinaten til et punkt på enhedscirklen. I matematiske formler forkortes sinus til sin, og tager man sinus til en vinkel θ , skrives det matematisk som: $\sin \theta$.
Småvinkelspredning:	Giver information på nanometerskala om størrelse og form af partikler i opløsning.
Totalrefleksion:	Er et fænomen, hvor lysstråler reflekteres ved en grænseflade mellem to medier med forskellig brydningsindeks.
Vakuum:	Er betegnelsen for lufttomt rum. Det er et område hvor, i de fleste tilfælde, luft er blevet suget ud, så der opstår undertryk. Det kan dog være et hvilket som helst stof, der er blevet fjernet, for at det opstår. Vakuum betyder, at der ikke er noget indhold, at partikeltætheden er lig med 0.

