

## Forståelse af dobbeltspalteforsøget

### Det originale dobbeltspalteforsøg, Thomas Young (1773-1829).

Tilbage i 1803 konstruerede den engelske fysiker Thomas Young for første gang dobbeltspalteforsøget, for at bevise at lys er bølger. Han beskrev forsøget i artiklen *Experiments and Calculations Relative to Physical Optics*. Hans artikel var desværre forud for sin tid, samt modstridende med Isaac Newtons ide om at lys var partikler. Derfor blev artiklen ikke anerkendt som den banebrydende og sensationelle artikel den i virkeligheden var. Først senere, da forskellige fysikere genopdagede artiklen, blev hans fascinerende opdagelse undersøgt og anerkendt. Forsøget er gennem tiden blevet genovervejet mange gange og udført af forskellige fysikere. Her iblandt Louis de Broglie, som kom frem med en teori om en pilotbølge foran fotonen. Niels Bohr har også diskuteret forsøget med Albert Einstein. Herigennem er han kommet med sin fortolkning af forsøget, kendt som Københavnerfortolkningen.

### Dobbeltspalteforsøgets udførelse.

Forsøget udføres ved at man sender en partikel gennem et vakuumkammer. Et vakuumkammer er et nærmest partikeltomt rum. Det centrale der sker i vakuumkammeret er, at partiklen passerer gennem en dobbeltspalte, hvorefter den rammer ind på en fotografisk plade, hvor den bliver til en plet.

Hvis man sender tilstrækkelig mange partikler gennem dobbeltspalten, kan man observere, at pletterne på den fotografiske plade til sammen danner et interferensmønster, hvilket kan ses på nedenstående figur 1.

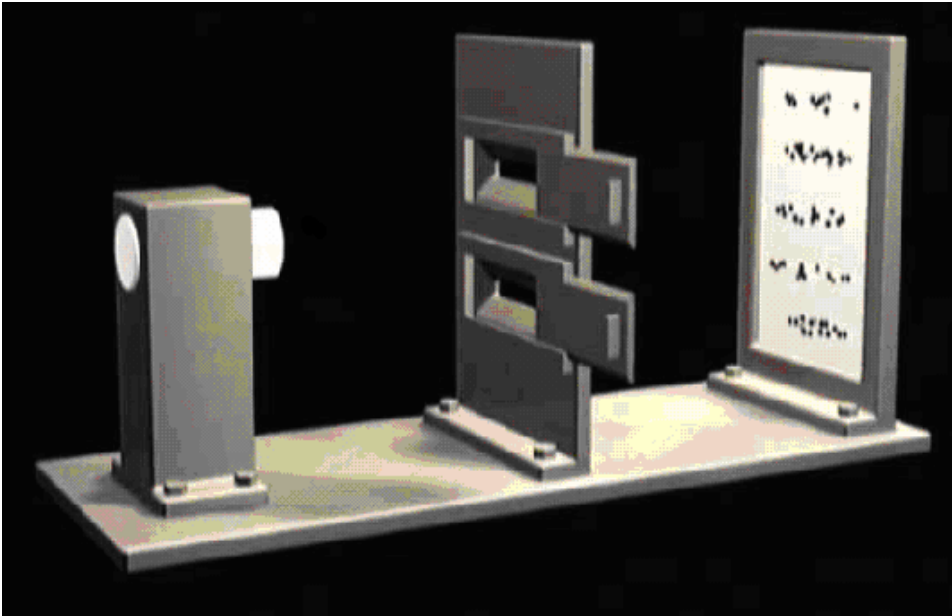
Dette interferensmønster kan tolkes på to måder.

Den ene måde er, at partikel forbliver en partikel, fordi den på den fotografiske plade danner en afgrænset plet, hvilket partikler gør.

Den anden måde er, at en partikel er en bølge, derved går den gennem begge dobbeltspalter og interfererer med sig selv. Denne tolkning fremkommer, fordi alle partikelpletterne til sammen danner et interferensmønsteret, hvilket kun ses for bølger.

Forsøget blev, som nævnt, udført første gang af Thomas Young med fotoner. Fotoner er en betegnelse for lyspartikler. Han udførte forsøget med fotoner, uden et vakuumkammer, fordi lys ikke bliver påvirket af de partikler som er i luften. Da han havde vist at lys kunne betragtes som bølger og ikke kun som partikler, begyndte man at undersøge andre partikler for bølgeegenskaber. De første partikler man undersøgt var elektroner. Elektroner er de mindste og indtil nu udelelige partikel, vi kender. Det viste sig at elektroner, lige som fotoner, danner et interferensmønster af deres pletter. Hvordan det er muligt er svært at forstå. For når forskere ikke kan dele en elektron, hvordan kan dobbeltspalten så? Og hvis den ikke kan, hvordan kan elektronerne så danne et interferensmønster?

Senere har forskere sendt andre partikler og små molekyler gennem dobbeltspalteforsøget.



Figur 1

### **Mine mål med projekt forskerspirer.**

Jeg vil gerne opnå større forståelse af dobbeltspalteforsøget både historisk set og eksperimentalt set. Det vil jeg gerne, fordi jeg synes det er et spændende forsøg med mange fortolkninger og paradokser. Gennem tiden har forsøget konstant udviklet sig og der er stadig mange nye muligheder, ukendte problemer og ufuldstændige løsninger på forsøget.

Historisk har jeg set på oprindelsen af dobbeltspalteforsøget, samt to af de mest kendte fortolkninger. »De Broglie's 'pilot wave' theory of quantum mechanics« og »Københavnfortolkningen«.

Forsøgets historie er lang, og jeg har derfor valgt kun kort at komme ind på de to ovennævnte teorier. Jeg mener, at de to fortolkninger er vigtige for mit projekt, fordi de danner grundlaget og skabte ideen.

For mig er det centrale blevet det eksperimentelle. Jeg vil meget gerne være med til at udføre dobbeltspalteeksperimentet med DNA molekyler, i stedet for små partikler og molekyler. Det vil jeg have mulighed for på Institut für Experimentalphysik, Universität Wien, hvor forskergruppen inden for det næste år vil få en forsøgsopstilling, der kan passe til formålet. Min begrundelse for at have valgt DNA er, at vi mennesker blandt andet er opbygget af DNA. I vores helhed som mennesker er vi underlagt de almene fysiske love som Isaac Newton har fremsagt, men måske gælder de kvantemekaniske love for de meget små dele af os? Vi ved jo at kvantemekanikken gælder for elementarpartiklerne, men hvor langt op i molekylerækkerne gælder kvantemekanikken?

### **'Pilot wave' theory of quantum mechanics. Louis de Broglie (1892-1987).**

Kort fortalt forestiller Louis de Broglie sig, at idet partiklen, bliver sendt ud i vakuumkammeret, bliver der dannet en bølge foran partiklen ved hjælp af et kraftfelt. Det gør, at partiklens

sandsynlighed for at ramme den fotografiske plade der hvor interferensmønstret vil fremkomme, bliver større.

Dette er blevet regnet ud og passer fantastisk godt lige til forsøget hvor man udsender en enkelt partikel ad gangen. Hvis man begynder at regne på andre forsøg hvor teorien og udregningerne også skulle passe, bliver ligningen desværre nærmest uoverskuelig, og man er derfor til dels gået væk fra teorien.

## **Københavnertolkningen (Niels Bohr (1885-1962) og Albert Einstein (1879-1955)).**

Københavnertolkningen er en kendt og anerkendt fortolkning af dobbeltspalteforsøget, samt den mest foretrukne teori blandt forskere. Fortolkningen er udtænkt af Niels Bohr og stærkt kritiseret af Albert Einstein. Niels Bohr tog udgangspunkt i dobbeltspalteforsøget udført med elektroner. Niels Bohrs fortolkning forklarer filosofisk hvordan en elektron både er en bølge og en partikel. Det kalder Niels Bohr komplementaritet. Han mener, at det vi ser, er naturen udsat for forskellige måleapparater, ikke naturen som den er i sig selv.

Konklusionen bliver, at vi ikke ved hvad der sker med elektronen fra den bliver udsendt, til den rammer den fotografiske plade. Vi kan enten vælge at måle elektronen som en partikel, eller som en bølge. Begge muligheder er lige gode. Men de afhænger dog af måleapparatet, som afhængig af kvalitet kan give usikkerheder.

Det er det samme som hvis vi tæller skridt fra et sted til et andet. Her kan vi vælge at variere skridtene, så de passer med det antal vi ønsker at tælle.

Albert Einsteins kritik til denne teori var, at månen kun vil eksistere, når vi kigger på den, eller et måske mere kendt citat "Gud spiller ikke med terninger".

## **Min udvikling gennem projekt forskerspirer.**

Hele projektet begyndte i en normal fysiktime, hvor min klasse og jeg skulle se filmen "Københavnertolkningen" [1]. Filmen omhandler Niels Bohrs filosofiske lære om kvantefysik, samt hvordan forskere bruger og undersøger hans teori. Efter filmen blev flere spørgsmål ved med at kredse rundt i mine tanker: Interfererer elektronen med sig selv? Hvad er det vi ikke kan se? Hvorfor er der endnu ikke en fuldstændig løsning?

Den løsning på problemet jeg umiddelbart fandt frem til var, at der måtte være en bølge foran elektronen, som banede vejen for den og dermed gik gennem begge dobbeltspalter. På denne måde kunne interferensmønstret fremkomme. Jeg spurgte min fysiklærer om det var muligt, men i stedet for et svar, begyndte mit forskerspireprojekt.

Jeg skrev mit portræt[2] og kom derefter i kontakt med lektor Ling Miao(1). Hun fandt nogle spændende artikler om dobbeltspalteforsøget til mig, men fik desværre kort efter job i USA og flyttede hurtigt herefter.

I sommerferien var jeg på Kopernikursus og herigennem fik jeg en ny vejleder; professor Klaus Mølmer (2). Ud fra mit portræt så han sammenhæng mellem »de Broglie's "pilot wave" theory of quantum mechanics« og min tanke. Jeg var glad for, til dels, at have samme ide som Louis de Broglie, men samtidig havde jeg ikke noget at gå videre med fra min første ide. Klaus Mølmer foreslog at jeg kunne fortsætte med kvantefysikken ved alignment, som er en videreforskning af Bose-Einstein Kondensation. Men efter flere overvejelser fandt jeg frem til, at det der virkelig

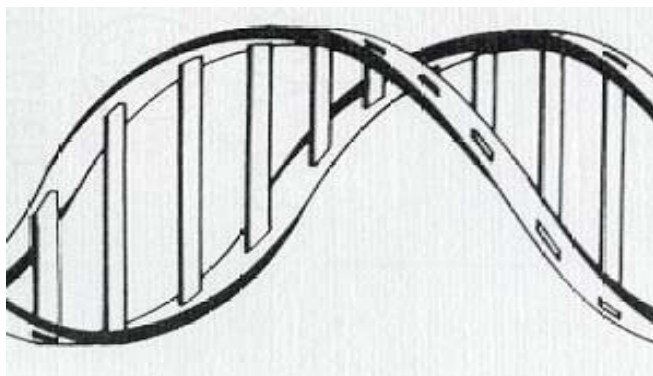
fængede min interesse var dobbeltspalteforsøget. Det var det jeg ville arbejde videre med. Derfor gik jeg tilbage til min start og så videoen "Københavnertolkningen" igennem igen.

I videoen fortæller professor Anton Zeilinger (3) om, hvad hans forskergruppe laver i deres laboratorium i Wien. Her har de et vakuumkammer med et gitter, der virker som en dobbeltspalte. Forskellen på et gitter og en dobbeltspalte er, at der ved et gitter er et større antal af partiklerne der kommer gennem gitteret, end ved en dobbeltspalte. Wien-gruppens seneste opdagelser er, at det er muligt at sende  $C_{70}$  molekyler gennem gitteret og få dannet et interferensmønster [3]. Herefter er det gået videre og har sendt molekylet  $C_{60}F_{48}$  og biomolekylet  $C_{44}H_{30}N_4$  gennem forsøget, også med succes [4].

Det jeg gerne vil nu er at sende et stykke DNA gennem forsøgsopstillingen i Wien. DNA er, som nævnt tidligere, det vi mennesker til dels er opbygget af. Vi lever og ånder i en fysisk verden, med fysiske love som er gældende for os og hvad der ellers er på vores størrelse eller større, så som himmellegemerne. Men når vi bevæger os ned på et meget lille plan, der ned hvor byggestenen til vores verden findes er der helt andre fysiske love. Her nede hersker kvantemekanikken. Vi kan observere denne verden, som skibe i tåge, hvis bølger slår ind over stranden. Vi kan observere bølgerne og derved gætte hvilket skib de kommer fra, men se skibet kan vi endnu ikke. En dag bryder vi nok gennem tågen og ser skibene men indtil da må vi bare forsøge at få flest mulige oplysninger om skibene.

At sende et stykke DNA gennem dobbeltspalten vil umiddelbart ikke give nogen løsning på kvantemekanikkens spørgsmål, men snarer give stof til flere. Det der for mig er spændende er om DNA vil interferere eller ikke?

For at finde et passende DNA til forsøget har jeg talt med adjunkt Per Lyngs Hansen (4) og lektor Michael Petersen (5). Begge mener at et stykke DNA med 10 basepar vil være den mindste enhed af DNA der stadig har den karakteristiske DNA dobbelt-helix struktur bevaret. 10 basepar er ca. 10 gange større end  $C_{70}$  molekylet, og kan ses på nedenstående figur 2. Størrelsesforskellen lyder måske af lidt men i denne sammenhæng er det meget. Størrelsesforskellen kan betyde at det ikke vil lykkes at få DNA til at interferere, men så har man på den måde fundet den øvre grænse for kvantefysikken, hvilket også vil være en sensation.



Figur 2

Jeg har skrevet et par mails med professor Markus Arndt fra Wien-gruppen(6) hvor jeg har forklaret ham om projekt forskerspirer og om min ide med DNA. Hertil har han svaret at de på nuværende tidspunkt er i gang med at ombygge deres laboratorium, så de kan undersøge større molekyler. Desuden mener han at der på nuværende tidspunkt ikke er noget laboratorium i verden, der har

mulighed for at sende større molekyler end dem de har forsøgt med, gennem et gitter eller en dobbeltspalte.

Han regner med at gruppen vil have opstillingen klar inden for det næste år. I denne sammenhæng er DNA molekylet højt placeret på deres liste over molekyler de gerne vil sende gennem forsøget. Han mener samtidig også at DNA med 10 basepar vil være en god størrelse DNA at begynde med.

### **Mine mål med forskerspirer projektet.**

Mit første mål med forskerspireprojektet var at opnå større indsigt i dobbeltspalteforsøget. Jeg ville gerne vide mere, og det har jeg til fulde nået.

Mit andet mål med forskerspireprojektet er at få lov til at rejse til Wien. Her vil jeg gerne være med til at udføre dobbeltspalteforsøget med DNA. Jeg vil sende DNA med 10 basepar gennem forsøgsopstillingen. Det vil blive kunstigt DNA men det ligner vores menneskelige DNA til forveksling.

### **Økonomi og tidshorisont for realisering af projektet.**

Hvis jeg vinder forskerspirer konkurrencen vil jeg bruge pengene på at realisere mit andet mål, nemlig at sende DNA gennem forsøgsopstillingen i Wien. Det vil jeg opnå gennem min vejleder Klaus Mølmer og min kontakt Markus Arndt.

Jeg vil mene at en arbejdsuge i laboratoriet sammen med de forskere og studerende som normalt arbejder der vil være nok til at se hvordan opstillingen virker og udføre en serie forsøg. Jeg vil tilpasse mit mulige besøg sådan, at jeg kommer i den uge hvor de har planlagt at udføre forsøget.

Pengene vil gå til en flybillet til Wien, et værelse og mad i fem dage. Hvis forskergruppen i Wien ønsker det vil jeg selv medbringe DNA, som jeg kan købe gennem Per Lyngs Hansen og Michael Petersen. De penge der bliver til overs vil jeg bruge på en bærbar computer. Den vil jeg kunne bruge i Wien og i fremtiden, hvor jeg gerne vil studere fysik.

#### **Budget:**

Flybillet	1000kr
Ophold i Wien	4000kr
DNA	1000kr
<u>Computer</u>	<u>9000kr</u>
<u>I alt</u>	<u>15000kr</u>

Anna Drude Vedel Nielsen

#### **Kontakter.**

- (1) Ling Miao, forhenværende lektor i biofysik på Syddansk Universitet (SDU)
- (2) Klaus Mølmer, professor i teoretisk fysik på Aarhus Universitet,  
<http://www.phys.au.dk/main/person/dk/individ/moelmer.shtm>
- (3) Anton Zeilinger, leder af Institut für Experimentalphysik, Universität Wien, Austria
- (4) Per Lyngs Hansen, adjunkt i biofysik ved SDU  
<http://www.fysik.sdu.dk/medarbejdere/personale-vip/PLH/plh-personlig.html>
- (5) Michael Petersen, lektor i kemi ved SDU  
<http://www.sdu.dk/Nat/Chem/staff/sci/MPE.HTML>
- (6) Markus Arndt, Prof. Dr. i fysik ved Institut für Experimentalphysik, Universität Wien, Austria og leder af forsøgsopstillingen.

**Figurer.**

Figur 1 er billede af dobbeltspalteforsøget taget fra videoen Københavnerfortolkningen.

Figur 2 er billede af 10 basepar stykke DNA udklippet fra et billede fundet på Internettet.

**Litteraturhenvisninger.**

- [1] Københavnerfortolkningen, produceret af Det Danske Filminstitut og instrueret af Lars Becker-Larsen i 2004.
- [2] mit portræt ([http://www.forskerspirer.dk/dspirer.asp?projekt\\_id=451](http://www.forskerspirer.dk/dspirer.asp?projekt_id=451))
- [3] Physical Review Letters, Matter-Wave Interferometer for Large Molecules, Björn Brezger, Lucia Hackermüller, Stefan Uttenthaler, Julia Petschinka, Markus Arndt and Anton Zeilinger. Vol. 88, No. 10
- [4] Physical Review Letters, Wave Nature of Biomolecules and Fluorofullerenes, Lucia Hackermüller, Stefan Uttenthaler, Klaus Hornberger, Elisabeth Reiger, Björn Brezger, Anton Zeilinger and Markus Arndt. Vol. 91, No. 9