

# Spiller Gud terninger med universet?

– Hvad er kvantemekanik egentlig for noget, og hvordan kan man tæmme det utæmmelige univers?

Amin S. Dehkharghani, ph.d. i teoretisk fysik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics and Astronomy,  
Aarhus University, DK-8000 Aarhus C, Denmark,  
(Dato: 26. januar 2018)*

Kvantemekanik, kort sagt, går ud på, at alt i universet både kan opføre sig som en partikel og en bølge på samme tid. Denne anerkendelse i moderne fysik gælder for subatomare partikler, hvor deres bølgeopførsel kommer til udtryk i form af information om partiklen. Med andre ord, alt det, man kan vide om partiklen: Dens bane, position og hastighed er beskrevet af en slags sandsynlighedsbølge, der gør det utrolig svært at arbejde med partikler både i teori og eksperimenter.

Som teoretisk fysiker har jeg forsket i en metode til at fastholde partikler, så jeg med større sandsynlighed kan sige noget om deres position og dermed tæmme dem. Og alt det sker i én dimension.

## Partikel-bølge egenskab

En af de mest utrolige kendsgerninger i fysik er, at alt i universet, fra lys til atomer og elektroner opfører sig som både en partikel og en bølge på samme tid!

Det kan lyde meget skørt, for kigger vi rundt omkring er disse to egenskaber vidt forskellige; en bold er en rund og fast ting, hvor derimod bølger kan gå igennem hinanden og sprede sig gennem små huller. Så hvorfor overhovedet blande disse to egenskaber med hinanden i en teori?

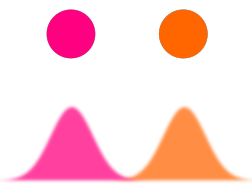
Historisk set så startede det hele med Albert Einstein, hvor han foreslog at lys består af en strøm af partikler, kaldet fotoner. Hver foton består af en vis mængde af energi, som er afhængig af lysets frekvens. Med den hypotese var han i stand til at forklare nogle af de mest mystiske fænomener i fysik dengang og dermed blev tildelt Nobel prisen for hans nytænkning. Men senere var der en franskmand ved navn Louis de Broglie, der kom med et helt kontroversiel postulat. Han sagde; hvis lys, som man kender det som bølger, kan have partikel egenskaber, så hvorfor skulle partikler ikke have bølge egenskaber? Og dét er nemlig hele kernen i kvantemekanik.

## Så hvad er kvantemekanik?

Kvantemekanik går ud på, at alt i universet både kan opføre sig som en partikel og en bølge på samme tid. I kvantemekanik kommer partiklers bølgeopførsel til udtryk i form af information om partiklen, med andre ord; alt det man kan vide om partiklen, dens position og hastighed, er beskrevet af en slags *sandsynlighedsbølge*. Ud fra sandsynlighedsbølgen kan man finde sandsynligheden for at finde partiklen i et bestemt område. Sandsynlighedsbølgen indeholder altså al den information man kan have om partiklen.

På Figur 1 kan man se en illustration af to partikler og deres tilhørende sandsynlighedsbølger. Men sandsynlighedsbølger kan også illustreres med et glas vand. Fore-

stiller vi os, at vi har et glas vand, hvor vandet repræsenterer sandsynlighedsbølgen for én partikel, så kan vi med 100% sikkerhed finde partiklen i glasset. Hælder vi derimod noget af vandet i et andet glas, så er partiklen sådan set to steder på én gang, men der er jo som sagt kun én partikel, og den kan vi finde ved at måle eller bare stikke hånden ned i begge glas og mærke efter. Ligesom en terning, hvor vi ikke kan være sikker på at kaste en 6'er hver gang, kan vi heller ikke være sikker på at finde partiklen i det ene glas hver gang. Vi vil heller aldrig finde partiklen i begge glas efter én enkel måling, da der som sagt kun er én partiklen, men sandsynligheden for at finde partiklen er størst, der hvor der mest vand. Vi vil altså ved at udføre målingen flere gange se denne sandsynlighedsfordeling der svarer til nøjagtig mængden af det vand der er i hvert glas.



Figur 1: To partikler med deres tilhørende sandsynlighedsbølge.

### Einstein tog fejl

Vores hverdag er helt deterministisk, og vi kan derfor naturligvis regne med ting og forudsige dem. Forholdet mellem årsag og virkning er rimelig klart og indlært i vores intuition helt fra fødslen. Einstein var derfor heller ikke vild med tanken om at gøre virkeligheden til tilfældigheder og sandsynligheder. Han var så utilfreds med tanken og sagde, "Gud kaster altså ikke terning og partiklen må altid have befundet sig i det glas hvor vi finder den". Men i dag har der været mange eksperimenter, der rent faktisk viser det modsatte. Utallige eksperimenter viser, at partikler rent faktisk opfører sig som bølger og dermed medført til accept af denne bølge-partikel beskrivelse af naturen. Det er blevet bevist eksperimentalt, at en partikel kan være i en superposition af to tilstande og ligesom en bølge, kan en partikel interferere med sig selv og i en forstand være "spredt" i rum end bare placeret i et punkt.

Hvad det er, der får partiklen til at vælge at være i det ene glas frem for det andet, har den moderne fysik ikke svar på, men der findes ikke desto mindre mange fortolkninger på området. Københavner-fortolkningen er blot en af de mange fortolkninger der går ud på, at spørgsmålet om hvor partiklen er, er meningsløst indtil man altså har målt på den. Som Niels Bohr sagde til Einstein: "Du skal ikke fortælle Gud hvad han skal gøre!". Fortolkningerne giver stof til eftertanke og manuskripter til Sci-Fi filmene, men kvantemekanikkens beskrivelse af atomare partikler er en af de mest succesfulde teorier i fysik, som vi bare skal vænne os til. Det skal lige understreges, at kvantemekaniske effekter bliver altså mindre betydelige når vi zoomer mere ud end nano-størrelser og partikler begynder at blive mere vel-lokaliseret. Det er også derfor vi aldrig oplever kvantemekanik i vores hverdag ved for eksempel at løbe gennem en lukket dør (Jeg har prøvet det og mislykket flere gange - desuden gør det rimelig ondt).

### At tæmme det utæmmelige

Man kan nu nemt forestille sig, at partiklernes bølgeegenskaber gør det utrolig svært at arbejde med dem, når der er en vis sandsynlighed for at finde dem over det hele på én gang. I vores forskningsgruppe på Aarhus Universitet, har jeg beskæftiget mig med lige netop dette problem og under hele min ph.d. forsøgt at udvikle nogle metoder til at fastholde på atomer, så vi bedre kan tæmme dem. Som teoretisk fysiker er der ingen begrænsninger for hvad jeg egentlig kan gøre med partiklerne for at tæmme dem, men for at have noget målbart og praktisk testbart skal man holde sig tæt op ad hvad der er muligt i de moderne eksperimenter. Det er ikke desto mindre lykkedes mig at finde en metode, hvor jeg kan manipulere med partikler og få dem til at flytte sig, som jeg giver ordre.

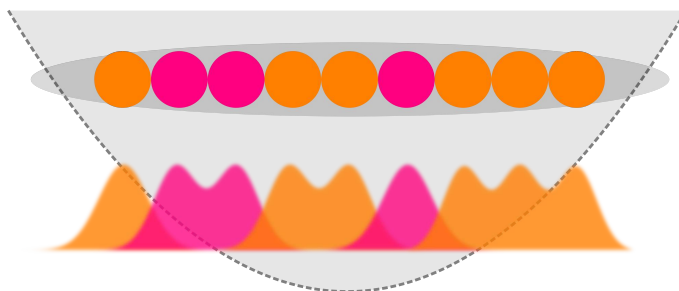
Måden at styre partiklerne på er meget enkelt; hvis vi tvinger partikler til kun at bevæge sig i én dimension, ligesom perler på en snor, så kan partiklerne kun bytte plads med hinanden ved at gå igennem hinanden, hvilket kun er specielt i én dimension, da de ellers kan undvige hinanden. Ved at så regne på hver enkelt atoms påvirkning af omgivelser og hinanden, har jeg udviklet nogle numeriske og analytiske metoder, der viser hvordan partiklerne placerer sig efter en bestemt rækkefølge. Jeg kan endda manipulere og flytte på partiklerne, som jeg har lyst til. På den måde er det lykkedes mig at beskrive og tæmme de utæmmelige partikler!

Analytiske løsninger af sådanne problemstillinger har krævet at udvikle nye matematiske metoder, som jeg har udviklet ved at transformere dem i et andet rum for at forenkle problemet. Komplekse problemer kan være nemmere at håndtere, når de bliver transformeret, men det kræver nytænkning og brug af ukonventionelle metoder, hvilket er lykkedes mig at udføre i en dimension. Fordelen ved analytiske resultater er så, at man bedre kan forstå systemet og dets dynamik. Man kan også ændre parametrene hurtigt og producere helt nye resultater selv i de områder hvor numeriske eller eksperimentelle resultater ikke kan følge med. Min forskning er dermed med til at kortlægge et solid fundament for en-dimensionelle kvantesystemer hvor anvendelses muligheder er eksponentiel store.

### Kvanteteknologier på vej

I de moderne eksperimenter har man i dag mulighed for at tvinge partikler kun at bevæge sig i en dimension, hvilket kun er blevet muliggjort i de sidste 10 år. Men da det ikke har været muligt eksperimentalt, har man heller ikke rigtig haft nogen interesse i at løse disse systemer teoretisk. Figure 2 illustrerer sådan et eksperiment hvor to slags partikler er blevet blandet og fastholdt i en én-dimensional geometri. For at partiklerne ikke flyver væk i den ene eller anden retning, har man yderligere fastholdt dem i en parabel lignende fælde. På illustrationen kan man også se partiklernes sandsynlighedsbølger, som er det, kvantemekanikken beskæftiger sig med.

I eksperimenterne har man i dag mulighed for at ændre på forholdene i omgivelserne eller ændre interaktionstyrken mellem partiklerne så de placerer sig på en bestemt måde for at minimere systemets energi. Sammenholdt med min teoretiske og analytiske resultater er jeg stand til at forstå bedre, hvordan materialer, såsom magneter i naturen er opbygget og måske designe nye materialer helt fra bunden af i fremtiden. Det åbner også for mange anvendelsesmuligheder både i nano-science og kvanteinformation, hvilket jeg er sikker på, vi vil møde oftere i fremtiden. For vi mennesker har altid en interesse for, hvordan naturen og hele universet egentlig hænger sammen og ofte forsøgt at udnytte denne viden til vores fordel.



Figur 2: Partikler placeret på en række hvor ombytning af dem vil kræve at deres sandsynlighedsbølge går gennem hinanden.

*Ps. min afhandling er publiceret på arXiv (<https://arxiv.org/abs/1801.04993>) og dele af min formidlingstekst er baseret på nogle af mine tidligere formidlingsværker (min afhandling, [videnskab.dk](http://videnskab.dk), *forskerfight*, *forskningensdøgn* og *videnskab på besøg*), som jeg har udført under min ph.d. studie.*