

Det kvantemekaniske marionetteater

I kvantemekanikkens barndom virkede det som ren utopi at lave eksperimenter, hvor man studerer enkelte partiklers kvantetilstande. Men utopien er blevet til virkelighed – bl.a. takket været gennembrud opnået af dette års nobelpristagere i fysik.

Forfatter



Carsten
R. Kjaer
Aktuel Natur-
videnskab
red@aktuelnaturviden-
skab.dk

Mens fænomener i vores dagligdag adlyder fysikkens klassiske love, gælder dette ikke for enkelte partikler af lys eller stof. Her er det nemlig kvantemekanikkens love, der råder. At studere de tilhørende kvantefænomener repræsenterer dog en stor udfordring for eksperimentalfysikerne, da enkelte partikler ikke uden videre lader sig isolere og undersøge. En partikel mister nemlig sine særlige kvanteegenskaber så snart den vekselvirker med sin omverden. Derfor har en række forunderlige fænomener forudsagt af kvantemekanikken også længe været henvist til tankeeksperimenter.

Det er således en Nobelpris værd, når der sker gennembrud i laboratoriet, som sætter fysikerne i stand til at måle, hvad man før har troet utænkeligt. Årets nobelpristagere i fysik, franskmændene Serge Haroche og amerikaneren David J. Wineland, har netop bidraget med sådanne gennembrud. Uafhængigt af hinanden har de opfundet og udviklet komplementære metoder til at måle og manipulere individuelle partikler, uden at disse derved mister deres kvantemekaniske egenskaber. Begge pristagere arbejder med såkaldt kvanteeoptik, hvor de studerer de fundamentale vekselvirkninger mellem lys og stof.

En fælde til ionerne

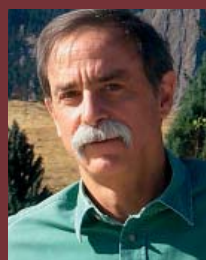
David Winelands metode går ud på at holde enkelte atomare ioner indfanget i en fælde ved hjælp af elektrisk felter. Partiklerne er isoleret fra deres omgivelser ved at udføre eksperimenterne i vakuum og ved ekstremt lave temperaturer. En af hemmelighederne ved Winelands gennembrud er stor dygtighed i brugen

af lasere til at manipulere ionerne. Nogle lasere bruges til at nedbremse ionens bevægelser i ionfælden og bringe den i den lavest mulige energitilstand, der gør det muligt at studere kvantefænomener med den indfangede ion. En nøjagtig fintunet laserpuls kan derfor bruges til at bringe ionen i en såkaldt superpositionstilstand – dvs. en tilstand, hvor ionen samtidigt befinder sig i to distinkt forskellige tilstande. Fx kan ionen forberedes til at befinde sig i to forskellige energiniveauer samtidig. Ionen starter i den laveste energitilstand, og med et ganske forsigtigt “skub” med en laserpuls bringes ionen halvvejs mod en højere energitilstand og efterlades således i en tilstand, hvor sandsynligheden for, at den ender i den ene eller anden energitilstand er lige store.

Mere spektakulært kan en ion også bringes i en kvantetilstand, som svarer til en superposition af ionen værende i en energitilstand med en “startbevægelse” i fælden mod venstre og i en anden energitilstand med en startbevægelse mod højre. På denne måde kan forskerne nu undersøge nogle af de mest fundamentale superpositioner af kvantetilstande for massive partikler. På sigt vil sådanne tilstande kunne udnyttes til forbedrede atomure og nye typer af computere – kvantecomputere – baseret på kvantemekanikkens love.

Fotoner mellem spejle

I Serge Haroches laboratorium i Paris bruges en komplementær metode til at studere kvantefænomener. Her er forskerne i stand til at måle på enkelte fotoner ved hjælp af atomer, uden at fotonerne derved ødelægges. Det foregår ved, at mikrobølge-fotoner drøner frem og tilbage i et lille kammer mellem to superledende og højrefleksive spejle, der er placeret ca. 3 cm fra hinanden. Spejlene reflekterer lys så effektivt, at en foton kan tilbagelægge en distance svarende til 40.000 km(!) på den tiendedel af et sekund, der går, før den enten absorberes eller “miser” spejlene. Denne tid er mere end rigeligt til, at forskerne kan nå at manipulere og måle på den fangne foton.



Pristagerne

Serge Haroche, født 1944, Marokko. Er tilknyttet Collège de France, Paris, France, École Normale Supérieure.

Foto: CNRS Photothèque/Christophe Lebedinsky

David J. Wineland, født 1944, USA. Er tilknyttet National Institute of Standards and Technology, University of Colorado, Boulder, USA.

Foto: NIST

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab: aktuelnaturvidenskab.dk

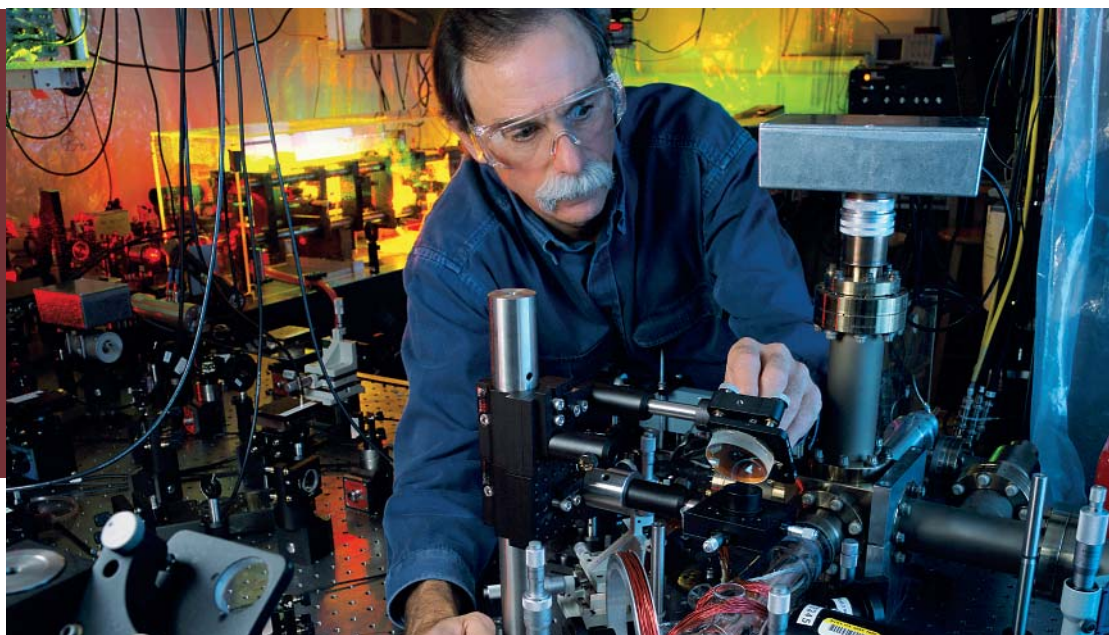


Foto af Wineland i laboratoriet
Foto: Geoffrey Wheeler, NIST

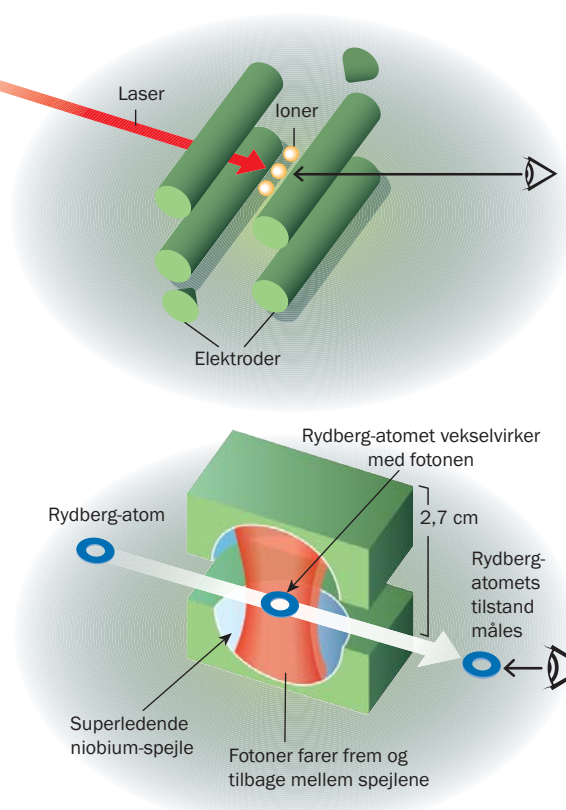
Til det formål sender forskerne nogle specielle store, "skiveformede" atomer – kaldet Rydberg-atomer – ind mellem spejlene. Rydberg-atomerne sendes af sted et ad gangen og med en nøjagtig valgt hastighed, så vekselvirkningen mellem atomet og enkelte fotoner kan ske velkontrolleret. Vekselvirkningen forårsager en lille ændring i Rydberg-atomets kvantetilstand, som afhænger af antallet af fotoner. Ved at måle denne ændring af Rydberg-atomets tilstand, efter at det har passeret mellem spejlene, kan forskerne fx afsløre, hvorvidt der ingen eller en enkelt foton er til stede. Ligesom for ion-eksperimenterne, kan man også danne nogle meget specielle kvantekorrelerede tilstande, hvor man fx danner en superpositionstilstand mellem ingen fotoner og et atom uden ændring i dens tilstand og én foton og det samme atom i en ændret tilstand. Ved at lade flere atomer passer mellem spejlene kan man også danne foton-tilstande med et helt præcist antal fotoner.

Også en dansk specialitet

I Danmark arbejder forskere med metoder udviklet af de to nobelpristagere. I Ionfældegruppen, som er en del af Danmarks Grundforskningsfonds Center for Kvanteoptik ved Aarhus Universitet, arbejder et forskerhold ledet af professor Michael Drewsen i øjeblikket med at videreudvikle nogle af de teknikker, der ligger bag prisen til Wineland. Men her drejer det sig om kontrol og manipulation af molekulære ioner på det absolutte kvanteniveau. Dette arbejde vil på kort sigt kunne lede til, at man kan måle overgange mellem energitilstande i molekyler med uset præcision. På længere sigt vil det gøre det muligt at studere kemiske reaktioner ved ultra-lave temperaturer (<0.000001 K), hvor helt nye kvantefænomener forventes. Den samme forskergruppe har tillige forskningsaktiviteter, der kombinerer de to nobelpristageres arbejder ved at studere kvante-optiske

fænomener med ioner placeret stationært mellem et sæt spejle.

På det teoretiske plan har danske forskere været med i fronten af udviklingen, idet professor Klaus Mølmer, Aarhus Universitet, og professor Anders Sørensen, Københavns Universitet, har været arkitekterne bag nogle af Winlands mest spektakulære forsøg med at danne meget ekstreme kvantetilstande. Dette er sket ved hjælp af en proces – en såkaldt kvantegate – som i vide kredse har fået navnet Mølmer-Sørensen gaten.



I David J. Winebergs laboratorium studeres ioner, der holdes "indespærret" af et elektrisk felt. Lasere bruges til at nedbremse ionerne og manipulere dem, så deres kvantetilstande kan studeres.

Illustration fra Nobelprize.org

Illustration af den metode, Serge Haroce har udviklet til at måle på kvantetilstande i enkelte fotoner. Ved passagen gennem kammeret med fotoner kan Rydbergatomet vekselvirke med fotonen og skifte tilstand, uden at dette ødelægger fotonens kvantetilstand. Ved efterfølgende at måle på Rydbergatomet kan man få information om fotonernes tilstand.

Illustration fra Nobelprize.org