

Sammenbrud. Hvordan kan elektroner og andre småpartikler være to steder på én gang? Fysikere fra DTU Fysik og Niels Bohr Institutet har knust håbet om at gøre kvantemekanikken forståelig.

Farvel til en gammel drøm

Af HENRIK PRÆTORIUS
Experimentarium Research

I de seneste ti år har mange fysikere haft fornyet håb om, at det er muligt at forklare, hvad der sker for atomer, elektroner og andre mikroskopiske partikler i vores verden. Men nej, det kan man ikke, konkluderer danske fysikere nu.

Dermed må man igen konstatere, at vores verden er dybt besynderlig. Problemet ligger i en af fysikkens vigtigste teorier: kvantemekanikken. Denne teori giver meget præcise matematiske beregninger for eksempelvis elektroner. Men resultaterne virker komplet uforståelige, hvis man forsøger at beskrive dem med dagligdags begreber. Elektroner og andre småpartikler kan tilsyneladende opføre sig både som mikroskopiske kugler eller bølger, men *er* hverken kugler eller bølger.

Man kan ifølge kvantemekanikken heller aldrig sige nøjagtigt, *hvor* en partikel er. På elektronernes og atomernes niveau opfører alting sig efter et tilfældighedsprincip, og deres adfærd kan kun beregnes ud fra statistiske sandsynligheder. Nogle gange ser det endda ud, som om en partikel er to steder på samme tid. Eller at den har alle mulige værdier, indtil man måler efter. Som om Månen kun er der, hvis man ser derop, som Albert Einstein ironisk kommenterede.

Eksemplerne ovenover er kun få af kvantemekanikkens mærkværdigheder. I atomernes mikroskopiske verden synes der ikke at være nogen logik.

»Det er uforståeligt. Med vores dagligdags hjerner kan vi ikke forstå, hvad der sker for partikler i kvantemekanikken. Vi kan kun forstå det med matematik,« siger professor emeritus Benny Lautrup fra Niels Bohr Institutet. Han er en af forfatterne bag en ny artikel, netop offentliggjort i tidsskriftet *Physical Review E*. I artiklen tilbageviser han og andre fysikere fra Niels Bohr Institutet og DTU Fysik et eksperiment med dråber, som ellers i ti år har givet mange håb om, at kvantemekanikken trods alt kan forstås.

Man kan sige, at gruppen på DTU, som i fire år har arbejdet med denne ide, vinker

kærligt farvel til drømmen om en forståelig kvantemekanik. De påviser såvel teoretisk som praktisk, at dråbe-eksperimentet ikke kan genskabe alle kvantemekanikkens resultater.

»Vores eksperiment viser, at man må sætte spørgsmålstegn ved, om det overhovedet er muligt at se, hvad de andre hævder at have set i det her eksperiment,« siger Anders Andersen, lektor ved DTU Fysik.

EKSPERIMENTET med dråber, som satte hele diskussionen i gang, blev offentliggjort i 2006 af blandt andre den franske fysiker Yves Couder fra Université Paris Diderot.

I den franske artikel præsenterer de et vidunderligt og forbløffende fænomen. Små dråber af silikoneolie – så små, at de knap kan anes med det blotte øje – opfører sig som kvantemekaniske partikler i et såkaldt dobbelt-spalte-eksperiment. Det har ingen set før. Aldrig har man fundet et såkaldt makroskopisk system, som kan efterligne kvantemekanikkens mikroskopiske tricks.

»Da vi forstod det, gik det op for os, at det var alvor. For hvis det her var rigtigt, så var rigtig mange ting ved vores sædvanlige fremstilling af kvantemekanikken forkerte,« husker professor Tomas Bohr fra DTU Fysik.

Næsten hundrede års tolkning af kvantemekanikken såvel som Niels Bohrs og andre fysikers forsvar for teorien – den såkaldte Københavnerfortolkning – ville være skrupforkerte.

Dobbelt-spalte-eksperimentet, som Couder udførte med hoppende dråber af silikoneolie, er berømt i fysikken og en af grundstenene i kvantemekanikken. Det viser med al tydelighed, hvor besynderlig en verden elektroner, atomer og lys agerer i. Hvis man laver forsøget i et kar med vand, ser man, hvad interferens er. Når man forstyrrer vandoverfladen, vil et bølgefelt spredes til alle sider som ringe i vandet. I den anden ende af karret har man i forvejen placeret en barriere med to huller i. Bølgefeltet passerer nu igennem de to steder, hvor der er hul. Herefter fortsætter to bølgefelter – et fra hvert spaltehul – på den anden side af barrieren. Nu opstår interferensen. De to

bølgefelter løber nemlig ind over hinanden, og hvor bølgetoppe mødes, forstærker de hinanden, mens bølgerne omvendt udligner hinanden, hvor bølgetop og bølgedal mødes. Det mønster, der opstår i vandoverfladen, kaldes et interferensmønster.

Udfører man forsøget med lys, går lyset igennem de to huller (spalter) og danner interferensmønster på en fotografisk plade bag spalterne. Her ser man fine adskilte lodrette striber, alt efter hvor lyset har forstærket eller slukket sig selv på grund af interferens.

Så langt så godt. Dette forsøg, som første gang blev udført med lys af Thomas Young for mere end 200 år siden, blev i samtiden betragtet som det endelige bevis for, at lys er elektromagnetiske bølger.

Men efterhånden som teorien om kvantemekanik udviklede sig i 1920'erne, blev det klart, at samme interferensmønster også opstår i dobbelt-spalte-forsøget, hvis man sendte atomer eller elektroner gennem de to spalter. Ja, selv hvis man sender en eneste partikel af sted ad gangen, opstår der et interferensmønster på den fotografiske plade.

Nu var fysikerne i vildrede. For det kunne kun fortolkes på én måde: Partikler laver interferens (virker sammen, forstærker eller udslukker hinanden, *red.*) med sig selv. Ja, det kunne se ud, som om hver eneste partikel passerer igennem begge spalter samtidig eller er klar over, hvor mange spalter der er i eksperimentet.

Men det er jo absurd. Hvordan kan én partikel være to steder på én gang? Og hvad i alverden er en partikel så? Det har været en af grundstenene i kvantemekanikkens mysterier siden 1920'erne.

»Niels Bohr kom aldrig til at forstå, hvad der sker for partikler,« fortæller Benny Lautrup.

»Nej, han sagde tværtimod, at hvis man



Anders Andersen

For 80 år siden tilbageviste Tomas Bohrs farfar, Niels Bohr, at man kan forstå kvantemekanik. De seneste ti år har der været tvivl. Nu har Tomas Bohr været med til igen at slå fast, at hans farfar havde ret. FOTO: HENRIK PRÆTORIUS

ikke fik kvalme, når man tænkte over det, så havde man ikke fattet, hvor mærkeligt det er,« kommenterer Tomas Bohr.

Einstein brød sig heller ikke om de naturstridige resultater af kvantemekanikkens matematiske ligninger. Han mente, det måtte være et tegn på, at der manglede noget i teorien. Det var derfor, han spurgte, om Månen ikke eksisterer, når vi ikke ser derop.

Niels Bohr forsvarede teorien med argumenter som, at vi ikke kan stille krav til, at virkeligheden skal være på en måde, så vi kan begribe den. Og at det ikke diskvalificerer kvanteteorien, at den fører til resultater, der gensidigt udelukker hinanden.

Det er denne berømte diskussion mellem Einstein og Niels Bohr, som Yves Couder genåbner i 2006 med sin artikel om en hoppende dråbe af silikoneolie i et dobbelt-spalte-forsøg.

»Jeg tror, Niels Bohr ville have syntes, det var overordentligt spændende,« siger Benny Lautrup. Tomas Bohr nikker og giver ham ret.

I Couders forsøgsopstilling hopper en 0,8 millimeter, knap synlig dråbe af silikoneolie af sted på overfladen af et vibrerende silikonebad. Dråben skaber bølger, der som ringe



Benny Lautrup



breder sig ud på karrets overflade. Dråben rammer aldrig helt ned på overfladen, fordi der dannes en lille luftpude under dråben. Den hopper altså på en luftpude, mens den skaber ringe i overfladen under sig. Og nu sker der noget underligt: Dråben begynder at vandre af sted på sine egne bølger. Som en surfer rider af sted på havet.

Her holder den kurs og hastighed konstant, fordi retning og fart hele tiden bliver justeret af dens eget bølgefelt. Bølge og dråbe opfører sig som en helhed. De er ét. En enhed med karakter af såvel bølge som partikel. Dråbe og bølge eksisterer kun i kraft af hinanden – hver især afgør den andens opførsel.

I eksperimentet lader man nu en vandrende dråbe passere gennem to spalter lige som i Youngs dobbeltspalteeksperiment. I ny og næ vil en dråbe, der møder barrieren med de to huller, passere igennem et af hullerne. Dens bølgefelt passerer gennem begge huller.

Forsøget gentages igen og igen. Resultatet, Couder offentliggør i 2006, forbløffer: Der, hvor dråberne lander på bagkanten af eksperimentet, danner de et mønster, som minder om det, elektroner eller lys, der har passeret to spalter, efterlader. Som om dråberne var kvantemekaniske partikler. Forklaringen finder man, hvis man studerer dråbernes baner efter de to spalter. Her kan man se, at en dråbes bølgefelt passerer igennem begge spalter og skaber interferens, som derefter forstyrrer dråbens bane.

For Yves Couder var det oplagt, at den lille dråbes opførsel mindede om en kvantemekanisk partikel. Og Couder vidste, at ideen om en partikel, der styres af sit bølgefelt, var blevet præsenteret i en næsten glemt fysisk teori af franskmænd Louis de Broglie. I denne teori bevæger atomer, elektroner og lys sig omkring i verden på bølger, de selv skaber. Ingen havde dog nogensinde før set sådan et fænomen i naturen eller i laboratoriet i de år, der var gået siden de Broglie præsenterede sin ide.

Hoppende dråbe i et silikonebad. En længe ventet forklaring på, hvad stof og lys er? Nej, konkluderer danske fysikere og tilbageviser drømmen om en forståelig kvantemekanik.

SPØRGSMÅLET er altså, om man i eksperimentet ser en analogi til de Broglies kvantemekaniske pilotbølger med egne øjne? Og om denne mekanisme er forklaringen på atomer og elektroners mærkelige opførsel?

En amerikansk fysiker, John Bush fra Massachusetts Institute of Technology i USA, har gennem årene gennemført adskillige forsøg, der tyder på, at disse hoppende silikonedråber er en analogi til partiklernes verden.

»Og det var jo også det, der greb os, så vi tænkte, at det var værd at gå ind i,« husker Bohr.

Men efter fire års arbejde med dråber, silikoneolie og teoretiske ligninger er den danske gruppe nu nået til den modsatte konklusion. Dette såkaldte pilot-bølge-system kan ikke genskabe alle kvantemekanikkens fænomener. En partikel er ikke styret af sit bølgefelt i kvantemekanikkens dobbelt-spalteeksperiment.

Først og fremmest har gruppen efterprøvet Couders eksperiment, og deres resultater viser, at dråber ikke skaber den påståede interferens i dobbelt-spalte-eksperimentet. Desuden har de danske fysikere fundet på et snedigt tankeeksperiment, der skaber problemer for alle systemer, hvor en partikel føres omkring i verden på sin egen bølge.

Tankeeksperimentet går ud på at sætte en adskillelse ind foran spalterne, så dråben skal vælge at gå enten til venstre eller højre, før den når frem til spalterne i eksperimentet. Derved mister dråben sit bølgefelt på den ene side af skillelinjen.

Mærkværdigt nok laver atomer, elektroner og fotoner interferens med sig selv i dobbelt-spalte-eksperimentet, uanset om der er sat sådan en skillevæg (splitter) ind foran spalterne eller ej. Men det gælder ikke for partikler med pilot-bølger som for eksempel dråben i eksperimentet med silikoneolie. Her forhindrer skillevæggen, at interferens kan påvirke dråbens retning nævneværdigt.

HERMED sender de danske fysikere kvantemekanikken lige lukt tilbage i ubegribelighedens mørke. Og Benny Lautrup er egentlig ikke så overrasket. Det er præcis det, alle andre forsøg har vist de sidste små hundrede år.

»Altså med det, vi ved, kan man simpelthen ikke sige, at der eksisterer en partikel mellem det sted, den sendes af sted fra, og der hvor den rammer. Det er forkert at sige, at den kommer igennem to huller på en gang, for det ved vi ikke. Det eneste, man kan sige er, at der er en partikel der, og den ender der, og der er en barriere imellem. Hvad der sker imellem målingerne, tror jeg aldrig, du får forklaringen på. Det ville din far også have sagt,« siger Benny Lautrup til Tomas Bohr, søn af Niels Bohrs søn, Aage Bohr.

»Men det var det, vi prøvede,« siger Tomas Bohr.

Er diskussionen så slut med denne artikel? Næppe. I USA fortsætter Bush sine eksperimenter, selv om han indrømmer, at de danske resultater sætter de vandrende dråbers potentiale og begrænsninger som analogi til kvantemekanik i et interessant nyt perspektiv.

»Men splitteren, den vil jeg gerne se, hvordan de kommer udenom,« smiler Benny Lautrup.

NB: Det lykkedes ikke at få kontakt til Yves Couder under arbejdet med denne artikel.



Højtlesning

Hvis De er abonnent, kan De høre Henrik Prætorius læse sin artikel på Lydavisen.dk



Patricia Crone (1945-2015) var en af islamforskningens største autoriteter.

FOTO: INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY/DAN KOMODA/2015

Nekrolog. Den danske islamforsker Patricia Crone omkalfatrede let og elegant videnskabelig konsensus.

Vov at vide

AF THOMAS HOFFMANN

Professor MSO i koranstudier
Afdeling for Bibelsk Eksegese
Teologisk Fakultet
Københavns Universitet

Den danskfødte historiker og islamforsker Patricia Crone, f. 1945, er gået bort efter længere tids sygdom. Det er ingen overdrivelse at sige, at det er én af islamforskningens allerstørste autoriteter, som faget nu er blevet foruden. Crones arbejder har været banebrydende og sat helt nye spørgsmålstegn ved islams oprindelse og politisk-religiøse strukturer.

Patricia Crone blev født og voksede op i Danmark, men havnede som ung menneske i London i midten af 1960'erne, hvor hun videreførte de historiestudier, hun havde begyndt i København. Hun begyndte at følge kurser på den hæderkronede School of Oriental and African Studies, hvor hun endte med at skrive ph.d.-afhandling under vejledning af Bernard Lewis, en anden kæmpe inden for islamforskningen. Senere førte hendes akademiske karriere til ansættelser på nogle af verdens fineste forskningsinstitutioner; Oxford, Cambridge og siden 1997 Princeton Institute for Advanced Study i USA.

Crones forskningsfelt var den førmoderne verdens islamiske verden. Dels islams tilblivelse i første halvdel af 600-tallet: ikke blot som en isoleret bevægelse forankret dybt i et arabisk miljø, men også som en bevægelse, der var en del af bredere kulturelle og politiske strømninger i den senantikke verden. Dels islams politiske idéhistorie, fra Muhammeds »stat« i Medina til islams hastige forvandling til erobringssamfund og imperium.

Akribi og lærdom strømmede ad libitum i Crones værker. I hendes første udgivelse *Hagarism* i 1977 (sammen med Michael Cook) bliver læseren fra start meddelt, at der ikke vil blive tale om en guidet tur. Bogen er den dag i dag et stykke kontroversiel forskningslitteratur. Det var især en yderst dristig og kompleks tese, der vakte opmærksomhed: At islam slet ikke opstod som »islam«, men som en sekt kaldet hagarererne (efter patriarken Abrahams slavinde Hagar, med hvem han fik sin arabiske søn Ismael), som ønskede at tilbageerobre det hellige Palæstina fra det kristne Byzans. Undervejs skulle hagarererne

så have udviklet en religion, der kalkerer forskellige jødiske og kristne temaer over til en arabisk kontekst.

Den tese blev fremført med en sådan sproglig entusiasme og giftig lærthed, at forskersamfundet simpelthen måtte forholde sig til den. At tesen stort set blev afvist (også senere af Cook og Crone, som kaldte den et udslag af »ungdommelig vandalisme«), ændrede ikke ved, at den kickstartede en interesse for ikke-islamiske kilders belysning af tidlig islam.

I den senere bog *Meccan Trade and the Rise of Islam* fremsatte Crone endnu en dristig hypotese: At Mekka aldrig havde været det driftige handelscenter for røgtelse og andre eksotiske varer, som forskningen ellers havde fremført. Derfor var islam slet ikke opstået som en revolutionær social og monoteistisk kritik af det moralsk korrumperede bedsteborgerskab, som denne luksushandel angiveligt skulle have skabt. Snarere var hypotesen, at der var tale om en arabisk stammevækkelse, der reagerede mod fremmede imperiers indblanding. Tesen virker uhyggelig aktuel i dag, hvor islamismen også delvist må analyseres som reaktioner på »imperier« som USA og det nu faldne Sovjet.

Som årene gik, blev bøgerne og artiklerne stadig mere letlæselige, men på ingen måde mere letbenede eller mindre originale. Igen og igen blev man slået over den lethed (som er få forundt), hvormed Crone omkalfatredede videnskabelig konsensus. Det kunne undertiden have karakter af det, som den klassiske økonom Joseph Schumpeter kaldte for »kreativ destruktion«, men slutresultatet var altid berigelse og et nyt blik på tingene. Hendes sidste bog, *The nativist prophets of early Islamic Iran*, blev anmeldt af *Weekendavisens* Pernille Bramming i 2013, og til august udkommer en dansk oversættelse af *God's Rule* fra 2004. Den nåede Crone ikke at se i dansk udstyr, men heldigvis nåede hun at opleve fejringen af hende som forsker, underviser og formidler i et festskrift dette år.

Patricia Crone efterlader sig en fornem arv af bøger og artikler, hvis empiri, analyser og metode vil stå som milepæle i mange år fremover. Og endnu vigtigere – fra hver en side af hendes oeuvre stråler den ånd, Immanuel Kant satte som motto for Oplysningstiden: Sapere aude, »Vov at vide!«