

Anmeldelse

Jens Hebor, *The Standard Conception as Genuine Quantum Realism*. Odense: University Press of Southern Denmark 2005, 231 s.

Lige siden udformningen af kvantemekanikken i 1920'erne har der været en omfattende diskussion af dens erkendelsesteoretiske status. En diskussion, der desværre har været præget af utallige indlæg fra filosoffer, som ikke besad det fornødne kendskab til fysik og af en hel del fysikere, som ikke besad det fornødne filosofiske talent. De mange indlæg har været motiveret af, at det allerede før kvantemekanikkens udformning var klart, at determinismeprincippet og kontinuitetsprincippet – to af den klassiske fysiks succesfulde strategiske tankeformer – stod for fald inden for den atomare fysik. Konsekvensen var, som Niels Bohr så ofte sagde det, at "vi står i en helt ny erkendelsesteoretisk situation", hvilket han da også har redegjort på skrift, især i artiklen "Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics" fra 1949. Kun få har forstået dybden i Bohrs tankegang. Blandt disse er Jens Hebor.

Den erkendelsesteoretiske situation var rigtig nok ny, og det medførte mange ejendommelige "fortolkninger" af den ikke-relativistiske kvantemekanik. For at forstå Jens Hebors tankegang og ærinde, er det oplysende at kende til disse mange fejlagtige "fortolkninger". De eksemplificeres bedst via det såkaldte to-spalte-eksperiment, som jeg vender tilbage til nedenfor. Men for at forstå, hvad dette går ud på, er det nødvendigt at fortælle lidt om den udvikling i fysikken, der førte frem til den "ny erkendelsesteoretiske situation".

Fra J. J. Thomson opdagede elektronen i 1897 og frem til 1920'erne var det ubestrideligt, at elektroner og de senere identificerede protoner fremtræder som partikler med en elektrisk ladning og en målelig masse. Hertil kom den gennem mange forskellige eksperimenter bekræftede opfattelse af lys som elektromagnetiske bølger, dvs. med en ganske anderledes "værensform" end elementarpartiklerne. Men da Einstein i 1905 fremsatte sin forklaring på den fotoelektriske effekt blev det klart, at lys i denne sammenhæng kunne optræde

som rumligt afgrænsede "energipakker", og i 1923 kunne Compton eksperimentelt konstatere, at lys kan optræde med partikel-karakter; man indførte betegnelsen "foton" for lyspartiklerne, og fotonen blev defineret som en uladet partikel med hvilemassen nul.

Niels Bohr havde i 1913 udformet sin atomteori for brintatomet. Ifølge den består et brintatom af en proton, der udgør atomkernen og en elektron, der kredser om denne kerne. Ved atomets optagelse af energi "springer" elektronen fra en bane nær kernen til en bane, der ligger længere væk fra kernen, og det modsatte sker, når atomet afgiver energi. De mulige baner, hvor elektronen kan befinde sig, beregnede han ud fra det universelle energikvantum $h \times v$, hvor h er Plancks konstant ($= 6,62517 \times 10^{-34}$ Joulesekunder) og v frekvensen af den optagne eller afgivne energi i form af lys. Postulaterne i teorien har man aldrig kunnet anfægte, men selve den atommodel, som Bohr anvendte, forekom mange problematisk, bl.a. fordi en elektron i sin kredsen om kernen jo er en elektrisk ladning i accelereret bevægelse og følgelig må udsende stråling, hvilket den ifølge teorien ikke gjorde på det rent kvantefysiske niveau.

I 1924 fremsatte Louis de Broglie en teori, der gik ud på, at elektronen i Bohrs atommodel bør tænkes som en bølge, og de Broglie kunne på simpel måde forklare de mulige baner, og dermed energiniveauer for elektronen: Kun de baner, der tillader, at elektronen som en bølge omkredser atomkernen uden at udslukke sig selv – hvilket jo sker, hvis bølgetop møder bølgedal eller bølgedal møder bølgetop – er mulige. Så hvorfor ikke antage, at elektroner dybest set er bølger i lighed med elektromagnetiske bølger?

Da Heisenberg og Max Born i 1925 udformede kvantemekanikken, skete det i form af en række regneregler, hvor man kunne underforstå, at elektroner og protoner er partikler. Men næsten samtidig tog Erwin Schrödinger konsekvensen af de Broglies teori og viste, hvordan klassiske bølgeligninger kunne anvendes ved beskrivelsen af de atomare processer. Og i 1927 påviste Davidsson og Germer eksperimentelt, at elektroner udviser bølgeegenskaber: Hvis man sender en strøm af elektroner imod et krystal, vil nogle af dem reflekteres af det yderste atomgitter, medens andre vil reflekteres af det næstyderste, dybere liggende gitterlag. Men de to tilbagekastede

elektronstrømme vil på grund af deres indbyrdes forskydning ved reflekteringen interferere med hinanden, som om de er to bølgetog.

To-spalte-eksperimentet, som Bohr fremsatte i 1929, blev af mange opfattet som et rent tankeeksperiment, men det var jo egentlig blot en forenklet gengivelse af Davidsson og Germers forsøg. Og senere blev det faktisk gennemprøvet eksperimentelt.

Eksperimentet går ud på, at hvis man sender en strøm af elektroner gennem en skærm, hvor der er to spalter A og B, som ligger meget tæt på hinanden – i atomar målestok –, så vil der på en fotografisk plade anbragt bag skærmen dannes et interferensmønster af de indfaldende elektroner. Hver enkelt elektron danner en plet på skærmen, dvs. den "lander" som partikel, men tilsammen danner alle de af elektronerne frembragte pletter et interferensmønster, et bølgemønster. Og dette er tilfældet, selv om man sender blot én elektron ad gangen ind i forsøgsopstillingen (fx tusind elektroner hver for sig med en times mellemrum).

Ud fra en partikel-opfattelse må man antage, at den enkelte elektron må løbe igennem enten spalte A eller spalte B, men denne antagelse har ikke mening, for hvis det var tilfældet, ville resultatet ikke være et interferensmønster på den fotografiske plade, men blot to af hinanden uafhængige sværtede pletter. Men lige så absurd ville det være at antage, at den enkelte elektron løber igennem begge spalter og interfererer med sig selv. Hvis man forsøger at afgøre, om det ene eller det andet er tilfældet ved at måle, hvad der sker undervejs i forsøget, ændres hele forsøget til et partikelforsøg – bølgefænomenet forsvinder.

Niels Bohr karakteriserede forsøg af denne type som lukkede, hvilket betyder, at man kun kan kende forsøgets initialbetingelser og dets udfald. Man kan ikke som tilfældet er i klassisk fysik underdele det og se, hvad der sker undervejs – og dette betyder, at man ikke kan lægge nogen mening ind i ordet "sker" i denne sammenhæng. I stedet for at tale om en proces må vi tale om et kvantefænomen.

Selv om den enkelte elektron går ind i forsøgsopstillingen som partikel og ender på den fotografiske plade som partikel, må man i beskrivelsen af sandsynligheden for, hvor den lander, bruge bølgebeskrivelsen, dvs. tilordne

den en Schrödinger-bølgeligning. Men betyder det nu, at elektronen undervejs i forsøget er en eller anden form for bølge? Nej, det er ikke tilfældet. Som Max Born påviste, repræsenterer bølgebeskrivelsen ikke en klassisk-fysisk bølge, som beskrivelsen afbilder. Bølgebeskrivelsen er en sandsynlighedsbeskrivelse, en beskrivelse, der angiver sandsynligheden for, hvor den enkelte elektron vil lande på den fotografiske plade. Men er den så ikke en blot matematisk størrelse? Nej, for den repræsenterer noget "derude", noget fra sig selv forskelligt. Den er med Bohrs ord en "symbolsk repræsentation". "Symbolsk", fordi den repræsenterer noget, der er principielt uanskueligt.

Ved alle mulige påhit forsøgte en række fysikere at reducere to-spalte-eksperimentet til noget rent klassisk fysisk. Hvad der skete måtte jo enten være noget partikelmæssigt i klassisk fysisk forstand eller noget bølgemæssigt. Bohr tilbageviste alle disse forklaringsforsøg.

Hvad der især foruroligede mange fysikere – blandt disse Einstein – var, at man ikke kunne etablere en årsagsbeskrivelse i forsøget. Hvis man fx tænkte sig, at en elektron kunne tilskrives en 50-50 procents sandsynlighed for at lande i enten punkt A eller punkt B, så måtte det forhold, at den fx landede i A, medføre en fjernvirkning, der udelukkede en tilsvarende hændelse i punkt B – en instantan virkning i strid med princippet om lysets hastighed som den optimale informationshastighed. Det var sådanne overvejelser, der førte en del fysikere til at gå ind for Everetts "mange-verdens-teori", ifølge hvilken der i det øjeblik, hvor elektronen lander i punkt A, skabes et helt univers ved siden af det, vi kender, og i hvilket den lander i punkt B – et univers, hvor vi alle skabes som kopier eller ekstraudgaver af det, som vi er her og nu. Det vil jo sige, at man for at redde kausaliteten og anskueligheden accepterer, at noget kan opstå af intet og dermed kvitter loven om energiens bevarelse til fordel for en teori, der ikke er andet end en principielt uverificerbar ad hoc antagelse.

Forståelsesvanskelighederne kom endnu tydeligere frem i den såkaldte EPR-debat, hvor man diskuterede målingen på fx to elektroner, A og B, som udspringer af en singlet-state, hvor de to dem tilordnede bølger er i en superposition. Hvis de to elektroner fjerner sig fra hinanden, vil man kunne forbinde mening med deres samlede impuls og deres indbyrdes afstand. Men ved måling fx af impulsen på A, vil A's position ifølge ubestemt-

hedsrelationerne blive ubestemt – og omvendt. Dette betyder, at en måling på A bestemmer, hvad man kan måle på B, uanset afstanden mellem de to partikler. Hvordan skulle dette kunne lade sig gøre, spurgte Einstein. Det ville betyde en instantan information fra den ene partikel til den anden i strid med princippet om lyshastigheden som den optimale hastighed. Bohrs svar var, at ifølge den kvantemekaniske formalisme måtte det forholde sig sådan. De to partikler er i en superposition, som kollapser ved en måling på den ene af dem.

I 1982 blev debatten afgjort eksperimentelt til fordel for Bohrs synspunkt. Igen forsøgte mange – blandt disse David Bohm – at komme uden om dette for en traditionel klassisk fysisk opfattelse uforståelige forhold ved at introducere en ny slags felt, og igen stod man hermed over for en meningstom, tautologisk, principielt uverificerbar ad hoc løsning.

I sin afhandling tilbageviser Hebor suverænt alle de forskellige forsøg på at reducere kvantemekanikkens tilsyneladende paradokser til klassisk fysisk beskrivelse. Ligesom Niels Bohr peger han på beskrivelsesbetingelserne, som på grund af Plancks konstant er anderledes i kvantemekanikken end i den makroskopiske fysik og dagliglivet, og – som Bohr gjorde det – påpeger han, at Plancks konstant ikke er en blot og bar regnestørrelse, men en naturkonstant, et træk ved den af os og vores erkendelse uafhængige virkelighed.

Hebor betoner, at vi i kvantemekanikken har at gøre med måleværdier, der fremkommer gennem vore iagttagelser ved hjælp af måleinstrumenter, som på grund af virkningskvantet er i en principielt ukontrollerbar vekselvirkning med det, man undersøger. Når vi ved eksperimenter bestemmer en elektrons impuls eller position, så er den målte værdi ikke en værdi, som elektronen har i sig selv eller besidder lige før målingen finder sted, men et "vekselvirkningsresultat". Hvis vi kunne tilskrive elektronen sådanne værdier – k ud over hvad sandsynlighedskalkyler sætter os i stand til – ville hele kvantemekanikken være en afdeling af den klassiske fysik med alt, hvad dette indebærer af determinisme, kontinuitet og anskuelighed. Men prisen ville være, at utallige fænomener ville være uforklarlige, fx atomernes stabilitet for nu blot at nævne én ting.

Måske er manglen på anskuelighed for mange den største anstødssten i kvantemekanikken. Det synes som om mennesker i almindelighed er genetisk kodede til at tænke i modeller. Selv Maxwell forsøgte at omsætte og forstå feltbegrebet ved hjælp af euklidisk geometriske modeller. Men i kvantemekanikken udelukkes anskueligheden alene af det nødvendige matematiske værktøj. Når man taler om Hilbert-rum, der fx i et atom angår mere end en elektron, har man at gøre med flere end fire dimensioner, som oven i købet behandles som ortogonale (retvinklede) polynomier, og det er der jo ingen, der kan se for sig.

Men netop på grund af uanskueligheden er der nogle fysikere, der mener, at det er bedst og tilmed i overensstemmelse med god videnskabelig praksis at benægte eksistensen af en atomar verden. Her er der tale om en positivisme, der går tilbage til Ernst Mach i slutningen af 1800-tallet. Vi har en række observationer, siger disse anti-realister, af pletter på fotografiske plader, af striber i tågekamre, af klik i geigertællere osv. Men bagom observationerne er der ikke noget. Kvantemekanikken sætter os i stand til alene ud fra observationerne at etablere forudsigelser, lave tekniske innovationer etc. At antage eksistensen af mere end det makroskopisk iagttagelige ville være uvidenskabeligt.

Svaret på dette er ifølge Hebor, at man ikke skal identificere ontologi med den klassiske fysiks ontologi. 'Ontologi' betyder 'læren om det værende', og i klassisk fysik er det muligt at karakterisere det alle teorier og lovmæssigheder handler om i en generel karakteristik: De omhandler partikler, bølger og felter, afgrænselige i rum og tid, indkorporerede i kausalforbindinger, der tillader antagelsen af generel kontinuitet og determinisme. Sandt nok, men hvorfor skulle denne ontologi gælde for alt eksisterende? Vi kan nærmest a priori sige, at den i hvert fald ikke gælder i den atomare verden, for gjorde den det, ville vi ende i et hav af uopløselige selvmodsigelser. Jamen, hvad skal vi dog så mene om vores første indgang til den atomare verden, den ikke-relativistiske kvantemekanik?

Jo, for det første har vi her en komplet beskrivelse. Al tale om skjulte variable har vist sig at være overflødig. For det andet har vi i Hebors formulering en 'Value-indefiniteness', som vi kender den fra Heisenbergs

ubestemthedsrelationer (som Hebor i parentes bemærket begrunder bedre end Heisenberg gjorde det). Og dertil kommer den indbyggede sandsynlighed – 'intrinsic probability', og superpositionsprincippet, som indebærer kollaps af tilstandsfunktionen ved målings-interaktionen. Måske har vi ikke den tilbundsgående forståelse af, hvad kollapsen af en bølgefunktion egentlig er for noget – end ikke, om dette er en rigtig formulering af problemet –, men alt, hvad her er nævnt er bekræftet eksperimentelt, også Bohrs svar til Einstein i den berømte EPR-debat. Og hermed introduceres der en ontologi, der er forskellig fra ontologi i klassisk fysisk forstand. At løbe fra den ved at benægte eksistensen af en atomar verden, er nonsens – i og med at der jo hele tiden er tale om interaktion ved observationerne. Det er jo ikke tilfældet, at iagttagelsesmidlerne af sig selv skaber måleværdierne.

Jens Hebors bog er væsentlig og nødvendig for den standende diskussion om kvantemekanikkens status. Der er skrevet hundredevis af bøger og artikler om dette emne med misforståelser i hobetal. I stedet for at bruge tiden på en polemik imod alle misforståelserne går Hebor i dybden med det ene formål at udrede kvantemekanikkens erkendelsesteoretiske konsekvenser og ontologi. Alt i bogen er skrevet klart og informativt. Dog kræves et vist kendskab til matematik på gymnasieniveau hos læseren, der vil have den grundige forståelse. Af minusser kan nævnes, at Hebor ikke er god til at redigere. Ofte fylder fodnoterne lige så meget som hovedteksten. Dertil kommer, at han ikke bruger ret mange analogier og andre fortællekneb, sådanne som ofte kan bruges til at føre læserens tænkning ind på rette spor. Men når disse minusser nu er nævnt må de sættes i parentes, for bogen er et stykke videnskab – ikke populærlitteratur.

David Favrholt
(emeritus)
Syddansk Universitet