



Figur 8. De tekniske komponenter i hybridmasten samlet.

Især når det angår små vindturbiner til integration i lysmaster, er der meget at gøre i forbedringen af ydelsen, især ved lidt lavere vindhastigheder, hvilket er særligt interessant for disse systemer, da de fleste lysmaster er placeret i nærheden af bebyggelse og ikke i åbne landskaber. Projektgruppens mission er at realisere et teknisk overlegent, dansk produkt, der med de indgående komponenter er særdeles effektive, tilpasset hinanden og med rettigheder på nøgleteknologier på

danske hænder [2], [3] og [4].

Projektet er finansieret af Dansk Energi under EL-FORSK's PSO program og har projekt nr. PSO 343-021 og 339-050.

Litteratur

- [1] Beller Ch. (2011), Urban Wind Energy, Risø-PhD-89 (EN), Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy.
- [2] Poulsen, P.B. (2013), Den selvforsynende gadelampe, *Aktuel Naturvidenskab*, bind 2, side 12-13.
- [3] Marianne Vang Ryde (2013), Den selvforsynende gadelampe er på vej, *Dynamo* #33, side 28-31, www.dtu.dk/Om-DTU/Nyheder-og-presse/Dynamo/.
- [4] Poulsen, P.B. et al. (2013), Udvikling af CO₂ neutralt byrumsarmatur, slutrapport, EL-FORSK projekt 343-021, www.elforsk.dk.



Peter Behrensdrøff Poulsen er projektleder ved DTU Fotonik og leder af instituttets aktiviteter indenfor selvforsynende belysning med vind- og/eller solenergi.

Kvantemekanikken i filosofisk belysning

Af Jan Faye, Institut for Medier, Erkendelse og Formidling, Københavns Universitet

Denne artikel fortæller om, hvordan Bohrs fortolkning af kvantemekanikken bygger på en pragmatisk tilgang til kvantemekanikken. Fortolkningen var i sin tid affødt af opdagelsen af virkningskvantet, Heisenbergs usikkerhedsrelationer, og Bohrs forståelse af de klassiske begrebers uundværlighed for enhver beskrivelse af de fysiske erfaringer. Siden har Bohrs fortolkning ofte været forbundet med en manglende forklaring på måleproblemet i forbindelse med bølgefunktionens "kollaps". Imidlertid var det slet ikke Bohrs egen opfattelse. I stedet afviste Bohr, at en fysisk teori som kvantemekanikken kan forstås som en repræsentation af den fysiske virkelighed uafhængigt af den eksperimentelle opstilling og den aktuelle måling af et kvantesystem.

Moderne fysik består af en række teorier, hvoraf kvantemekanikken ofte omtales som den mest succesrige teori af dem alle. Det er således endnu ikke lykkedes at udpege noget relevant fysisk fænomen, som den ikke kan beskrive eller forudsige iagttagelsen af. Den kan bruges på store ting som ganske små ting. Siden fremsættelsen er kvantemekanikken udvidet flere gange for at kunne beskrive de forskellige grundlæggende kræfter i verden. Dog mangler man stadig at lave en tilfredsstillende kvantemekanisk beskrivelse af tyngdekraften. Men uanset kvantemekanikkens store succes kommer man ikke uden om, at det er en underlig teori, fordi den tilsyneladende fortæller os, at verden er meget anderledes, end vi går rundt og tror. Eksempelvis forudsiger teorien, at to partikler kan befinde sig i en tilstand af sammenfiltring (entanglement), således at måling på den ene partikel får umiddelbar indflydelse

på målingen af den anden partikel. Det gælder, uanset at de to partikler i princippet kan være adskilt, så den ene partikel befinder sig på Jorden, mens den anden befinder sig i Alfa Centauri. Sådanne forhold har ført til en lang række fortolkninger, som hver især søger at klarlægge, hvad vi skal forstå ved teorien. Lige så frugtbar som teorien har været med hensyn til at beregne praktiske fysiske problemer, lige så vanskeligt har det været at opnå enighed om, hvordan vi skal opfatte teorien.

Realisme versus instrumentalisme

Overordnet set kan man anlægge to meget forskellige synspunkter på en videnskabelig teori. Det ene synspunkt, også kaldet realisme, går ud på, at videnskabelige teorier skal forstås helt bogstaveligt. En videnskabe-

lig teori beskriver verden, som den er, og hvis en teori i øvrigt er sand med hensyn til dens forudsigelser, så må man forvente, at dens forskellige matematiske udtryk refererer til verden. Det andet synspunkt benægter, at korrekte forudsigelser fortæller os noget om, at teorier er sande. De bedste videnskabelige teorier er empirisk adækvate, dvs. deres forudsigelser stemmer overens med fysikernes eksperimenter og observationer, men fordi de har empirisk succes, er det ikke nogen garanti for, at de er sande, altså at de fortæller os en korrekt historie om verden. Denne holdning kaldes sædvanlig for antirealisme eller instrumentalisme.

Forskellen mellem realisme og instrumentalisme kan illustreres med et klassisk eksempel. Newtons love kan bruges til at forudsige Månens bevægelse omkring Jorden. I den forstand har Newtons mekanik empirisk succes. Realisten vil efterfølgende sige, at da Newtons teori har empirisk succes, må det betyde, at dens forskellige udtryk refererer til en fysisk virkelighed. I Newtons tyngdelov indgår et udtryk for tyngdekraft, hvilket må betyde, at der findes en tyngdekraft, der virker mellem Månen og Jorden. Instrumentalismen vil derimod mene, at selv om teorien har vist sig at kunne forudsige Månens bevægelse, behøver vi ikke at antage eksistensen af en tyngdekraft. Til støtte herfor vil instrumentalisten måske anføre, at Einsteins generelle relativitetsteori kan forudsige samme bevægelse, uden at denne teori henviser til en tyngdekraft. I stedet henviser den til rummets krumning omkring tunge legemer.

Videnskabelig realisme så vel som videnskabelig antirealisme kan formuleres i forskellige styrker og varianter. Det er imidlertid klart, at intet i fysikken kan afgøre, om en realistisk eller instrumentalistisk fortolkning er det korrekte synspunkt. Der findes intet i verden, som empirisk kan vise os, om realismen eller instrumentalismen er korrekt. I øvrigt er det heller ikke sikkert, at vi skal forstå alle teorier ens. Måske giver en realistisk fortolkning mening i forhold til nogle teorier, men i forhold til andre giver en instrumentalistisk fortolkning mere mening. I dag bekender hovedparten af fysikere og filosoffer sig til en eller anden form for realisme, da de mener, at videnskabelige teorier repræsenterer den fysiske virkelighed og derfor fortæller os, hvad der er sandt. Denne realistiske tilgang har også smittet af på fortolkningen af kvantemekanikken, hvor mange nutidige fysikere og filosoffer har vendt sig mod det, man har kaldt københavnerfortolkningen. Mere end noget andet associeres denne fortolkning med Bohrs tanker angående kvantemekanikken.

Niels Bohrs fortolkning

Det, der gør kvantemekanikken så meget anderledes end andre fysiske teorier, er, at teorien opererer med en fysisk størrelse, som kaldes virkningskvantet, angivet ved Plancks konstant. Denne størrelse angiver, at eksempelvis stråling ikke blot kan opdeles i mindre og mindre portioner. Der er en nedre grænse. Da først man empirisk havde opdaget eksistensen af denne størrelse, fik opdagelsen stor indflydelse på udformningen af en teori for atomet og de dermed forbundne processer. Niels Bohr var den første, der forsøgte at beskrive

atomet under hensyntagen til virkningskvantet, men det viste sig efterhånden, at hans model kun var anvendelig for forståelsen af brintatomet, og ikke engang alt vedrørende brintatomet. Det blev Werner Heisenberg – som bl.a. en overgang virkede som Bohrs assistent – der i 1925 formulerede den teori, vi i dag kalder for kvantemekanikken. Året efter fremsatte Erwin Schrödinger en anden teori, som tilsyneladende var forskellig fra Heisenbergs. Men især Dirac og Schrödinger kunne hurtigt vise, at de to teorier kunne betragtes som matematisk ækvivalente.

Det næste par år gik med at finde en måde at forstå teorien på. En af teoriens særegne forudsigelser var, at det var umuligt at have præcis viden om eksempelvis en elektrons position, hvis man samtidig kendte dens præcise impuls. Ud fra den klassiske mekanik skulle det ellers ikke være et problem. Men fordi kvantemekanikken netop har inkorporeret virkningskvantet i sine grundlæggende formler, er det ikke længere muligt ud fra teorien samtidigt at bestemme impuls og position med vilkårlig nøjagtighed. Dette fysiske vilkår angives ved Heisenbergs ubestemthedsrelationer. De samme relationer gælder for andre kinematiske og dynamiske variable som spinkomponenterne og tid og energi.

Tidligere har Christian Kraglund Andersen og Andrew C.J. Wade her i Kvant skrevet om diskussioner mellem Bohr og Einstein [1]. Selv har jeg beskrevet debatten mere udførligt i nedenstående anførte henvisninger [2] og [3], hvor der er referencer til litteraturen.

I sine diskussioner med Bohr opfattede Einstein denne ubestemthed i bestemmelsen af impuls og position som et spørgsmål om vores mulighed for at have præcis viden om disse egenskaber samtidigt. For var det tilfældet, kunne man jo altid forestille sig, at en atomar partikel i virkeligheden besad en bestemt impuls og en bestemt position på et og samme tidspunkt. Så ifølge Einstein fortalte kvantemekanikken blot noget om, hvad vi var i stand til at vide, og ikke noget om, hvordan virkeligheden var.

Bohr var af en anden mening. Han antog, at størrelser som impuls og position gav anledning til komplementære beskrivelser. Dermed mente han, at det kun gav fysisk mening at tilskrive en impuls eller en position i forhold til en bestemt eksperimentel opstilling, eller sagt på en anden måde: i forhold til en given eksperimentel kontekst. Når fysikeren bestemmer en præcis impuls eller en præcis position, sker det ved hjælp af eksperimenter, og de eksperimentelle opstillinger, som kan bruges til at bestemme den ene størrelse, udelukker samtidig opstillinger, som kan bruges til at bestemme den anden størrelse. Så for ham betød det, at det var meningsløst at tale om, hvilke egenskaber et atomart objekt måtte have uafhængigt af de forskellige eksperimentelle opstillinger.

Et andet træk, som er mærkværdigt ved kvantemekanikken, er det forhold, at atomare objekter, som elektroner, protoner og fotoner, nogle gange ses at optræde, som om de var partikler, andre gange som om de var bølger. Men også her syntes Bohr at mene, at det helt kommer an på den eksperimentelle opstilling, hvilke af disse egenskaber de atomare objekter fremstår

med. Igen ser vi, at det er den eksperimentelle kontekst, som bestemmer, hvordan det atomare objekt fremtræder for os. Eksperimenterne siger ikke noget om, hvilke kinematiske og dynamiske egenskaber et system i virkeligheden har, når det er overladt til sig selv. Derfor er Bohrs fortolkning også igennem tidens løb blev beskyldt for at være subjektivistisk. Når fysikerne ikke kan angive, hvordan verden er uafhængig af vores iagttagelser, så synes fysikerne ikke længere at give en objektiv beskrivelse af verden, som den fremtræder uafhængig af os. Bohr afviste dog beskyldningen, fordi, som han sagde, er først den eksperimentelle opstilling på plads, har fysikeren ikke længere nogen indflydelse på resultatet, som eksperimentet fremkommer med.

Nu kunne man måske tro, at man kan undgå problemerne med at forstå kvantemekanikken instrumentalistisk ved blot at indføre en række nye begreber i stedet for de klassiske begreber som impuls, position, energi, bevægelse, osv. Men det var Bohr ganske afvisende overfor. For som han sagde, vi kan ikke forstå kvantefænomenerne, hvis vi ikke bruger de klassiske begreber, som er grundlaget for den måde, vi forstår al anden fysisk erfaring. Her har David Favrholdt en pointe i forhold til Bohrs forståelse af de klassiske begreber. I en tidligere artikel i *Kvant* påpeger han, at det godt nok er det forhistoriske menneske, som efterhånden har udviklet sproget til at beskrive den oplevede verden, men at det er denne verden, som tiltrækker sprogbrugen i forhold til vores handlemuligheder og iagttagelsesmuligheder [4]. Sprogbrugen er afrettet til at udtrykke disse erfaringsmuligheder. Altså oprindeligt har vi dannet erfaringer med hensyn til, hvordan den oplevede verden skulle begribes ved henvisning til sted, tid og bevægelse. Og da vor begrebslige forståelse kommer til udtryk i dagligsproget, så dækker de klassiske begreber i fysikken hos Bohr over de begreber, som kommer til udtryk, når vi i fysikkens sprog giver en forfinet beskrivelse af vore handlemuligheder og iagttagelsesmuligheder.

De klassiske begreber er således nødvendige ifølge Bohr, fordi de gør den fysiske erkendelse mulig. Vi kan blot ikke længere anvende de klassiske begreber, som vi har gjort i den klassiske mekanik. I den klassiske fysik beskriver man jo netop et fysisk systems egenskaber uden henvisning til den eksperimentelle kontekst. Virkningskvantets opdagelse betyder derimod, at vi må begrænse disse begrebers anvendelse til udelukkende at henvise til atomare objekter under eksperimentelle forhold og dermed også begrænse de situationer, hvor det giver mening at tilskrive atomare objekter egenskaber som impuls or position. Vi må tage hensyn til de eksperimentelle betingelser, hvorunder atomare objekter iagttages, i en samlet forståelse af fænomenet, og dermed begrænse brugen af de klassiske begreber i forhold til brugen i den klassiske fysik.

Måleproblemet

Flere fysikgenerationer lærte mere eller mindre denne historie udenad. Men siden har en ny generation af især teoretiske partikelfysikere som eksempelvis Steven Weinberg eller Murray Gell-Mann vendt Bohrs tolkning

ryggen. Selv om disse på ingen måde er indbyrdes enige, så er de dog enige om én væsentlig ting, nemlig at københavnerfortolkningen ikke giver en realistisk fortolkningen af kvantemekanikken. Og da den ikke giver en realistisk fortolkning, så løser den heller ikke måleproblemet. Med hensyn til det første spørgsmål, så er jeg ikke i tvivl om, at kritikerne har ret. Bohr mente ikke, at det var muligt at give en realistisk fortolkning af teorien. Men det betyder ikke, at Bohr ikke var realist. På den ene side betonede han, at atomer og molekyler er ganske virkelige, til trods for at vi ikke kan se dem med det blotte øje; men på den anden side betragtede han kvantemekanikken som en symbolsk beskrivelse, der ikke giver mulighed for at sige, hvordan kvanteverdenen i virkeligheden er. Bohr afviste enhver realistisk fortolkning. Han mente bl.a., at kvantemekanikkens anvendelse af imaginære tal i nogle af dens matematiske formuleringer helt udelukkede at forstå teorien på denne måde. Kun reelle tal og de dermed forbundne udtryk kan finde plads i en bogstavelig udlægning af teorien.

Derved løser Bohr heller ikke måleproblemet. Han opløser det. Der er ifølge Bohr ikke noget problem. Hvis hans kritikere ellers havde forstået ham ret, så ville de have forstået, at hans kontekstualisme og instrumentalisme udelukkede, at måleproblemet var et problem. Det er kun, hvis man antager, at kvantemekanikkens formalisme repræsenterer en af den eksperimentelle kontekst uafhængig kvanteverden, at der overhovedet er et problem. Når Bohr aldrig adresserede måleproblemet direkte, var det, fordi der i hans optik ikke var noget mærkværdigt ved en måling. Måleproblemet opstår udelukkende, fordi man ønsker at give en realistisk fortolkning af kvantemekanikken.

Hvad går måleproblemet så ud på? I den klassiske mekanik kan man ud fra kendskabet til et systems præcise position og impuls og kræfterne, der virker på systemet, give en eksakt beskrivelse af dets udvikling. Men det kan man bare ikke ud fra kvantemekanikken, som omtalt ovenfor. Man kan kun angive en bestemt udvikling med en vis sandsynlighed. Når man har målt eksempelvis systemets position, så kan man efterfølgende i princippet måle en hvilken som helst impuls med en vis sandsynlighed. Den ligning, som beskriver disse sandsynligheder, kaldes også for Schrödingerligningen. Ser man på ligningen, fungerer den som en klassisk bevægelsesligning beskrevet ved hjælp af en bølgefunktion. Det er først, når fysikere eksempelvis foretager en impulsmåling, at der sker noget med bølgefunktionen. En måling kan kun registrere en værdi, men bølgefunktionen består af en superposition af samtlige mulige værdier. Man siger derfor ofte, at bølgefunktionen kolliderer, når man måler en bestemt værdi. Fra at bølgefunktionen indeholdt samtlige mulige værdier, viser målingen, at systemet på det tidspunkt har en og kun en værdi. Så hvad er problemet? Jo, ifølge kritikerne er problemet, at kvantemekanikken ikke kan bruges til at beskrive "kollapset". Teorien kan ikke bruges til at beskrive måleprocessen, fordi denne ifølge københavnerfortolkningen er indeterministisk. Der sker noget i verden, som teorien ikke kan give svar på.

På Bohrs vegne kan man stille sig skeptisk over for denne analyse af måleproblemet. Som sagt giver det kun mening at forstå "kollapset" som et problem, hvis man tror på, at kvantemekanikken skal tolkes realistisk, og man således mener, at det giver mening at tillægge systemets tilstand en samlet mængde af virkelige, men potentielle impulser eller positioner før selve målingen. Men Bohr afviste begge dele. Med andre ord forkaster Bohr ideen om, at man kan forstå kollapset som en fysisk proces fra potentielle værdier til en aktuel værdi. På det punkt synes Christian Kraglund Andersen og Andrew Wade helt at have misforstået Bohr. Deres omtale af kollapset minder mere om Heisenbergs synspunkt end om Bohrs. Ifølge sidstnævnte må og kan bølgefunktionen, dvs. superposition af impulser eller positioner, ikke fortolkes bogstaveligt. Når der sker en reduktion eller kollaps af bølgefunktionens mulige værdier til en aktuel værdi, er reduktionen formel og ikke reel. Et kvantesystem bærer ikke rundt på potentielt uendelig mange værdier, hvoraf en har mulighed for at materialisere sig igennem en måling. Det er selve målingen, som fastlægger betingelserne, hvorunder det overhovedet giver mening at tilskrive partiklen en impuls eller en position.

Det forklarer også, hvorfor Bohr aldrig diskuterede Schrödingers berømte tankeeksperiment med en kat i en lukket kasse. I kassen er anbragt en radioaktiv anordning, som hvis den udløses, vil dræbe katten. Hvis vi beskriver systemet kvantemekanisk, vil tilstanden kunne angives ved en superposition af to bølgefunktioner bestående af en levende kat og en død kat. Visse fysikere som John von Neumann og Eugene Wigner antog, at det var selve den iagttagende bevidsthed, der fik den "superponerede" bølgefunktion til at kollapse. Iagttagelsen af en død kat, når man åbnede kassen, var det som afstedkom, at katten døde, fordi det var på det tidspunkt, at bevidstheden hos iagttageren fik bølgefunktionen til at kollapse.

For Bohr gav dette ikke mening. Selv om han aldrig diskuterede Schrödingers kat, må vi gå ud fra, at han mente, at katten ville dø i det øjeblik, da den indåndede cyanokaliumdampe, og ikke da kassen åbnedes. I virkeligheden ville Bohr nok mene, at kvantemekanikken var ret ubrugelig til at beskrive, hvad det vil sige at være død, og hvad det vil sige at være levende. At være levende eller død er ikke kvantemekaniske tilstande og kan derfor ikke gives en kvantemekanisk definition.

Mange verdener?

For realistisk sindede fysikere består øvelsen i at løse "måleproblemet". Hvad er det, der gør, at Schrödingers bevægelsesligning kan forudsige, hvordan det kvantemekaniske system udvikler sig i tiden, så længe man ikke foretager en måling, men i det i øjeblik man igennem en måling vekselvirker med systemet, så kan ligningen ikke længere bruges til at fortælle os, hvad der sker? Det er der igennem tiden fremkommet mange og meget forskelligartede bud på. Her vil jeg blot nævne nogle af de mest kendte. En uddybende og kritisk gennemgang af disse fortolkninger er fremlagt i [3].

Det første blev fremsat af David Bohm, som mente,

at der til ethvert kvantesystem er knyttet et kvantepotentiale, som er med til at styre systemets udvikling, og som nogle gange får systemet til at opføre sig som en bølge. I virkeligheden består et kvantesystem af en eller flere partikler, som hver især har en bestemt impuls og en bestemt position på samme måde som i den klassiske fysik. Det er kun, når der måles på systemet, at apparaturet vekselvirker med kvantepotentialet, at man på forhånd ikke kan fastlægge partiklernes baner. Så ifølge Bohm betyder tilstedeværelsen af kvantepotentialet, at en partikel hele tiden vekselvirker med sig selv og alle andre partikler omkring den, at det derfor er umuligt samtidigt at måle en præcis impuls og position. Desværre for Bohm er det aldrig lykkedes at finde uafhængig empirisk evidens, som støtter antagelsen af et sådant kvantepotentiale.

Den næste fortolkning, som også har sine tilhængerne, kaldes for GRW, opkaldt efter tre fysikere Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini, and Tullio Weber. I korthed går deres udlægning ud på, at den partikel, man måler på, ikke blot befinder sig i en tilstand af superposition af alle mulige tilstande (værdier), men den befinder sig i en sammenfiltret tilstand med måleapparatets milliarder af partikler, som også beskrives som bestående af superpositioner. Blandt disse milliarder af partikler er der altid en, som spontant kolliderer til at indtage en bestemt tilstand, og på grund af deres indbyrdes sammenfiltrering igangsætter denne en kaskade af kollapser, så man ender med at måle en bestemt værdi. Det er slet ikke alt ved denne fortolkning, som er teoretisk uproblematisk. Men set ud fra et filosofisk perspektiv er det mest problematiske nok, at GRW postulerer processer, som fysikerne ikke har kunnet skaffe sig uafhængig empirisk viden om.

Endelig har vi den mest berømte og berygtede fortolkning, der kaldes for mangeverdensfortolkningen. Den blev oprindeligt lanceret af Hugh Everett og findes i dag i mange forskellige udgaver. Den grundlæggende tanke bag denne udlægning er, at når man måler på et system, som har bestemte sandsynligheder for at have forskellige værdier, så kolliderer bølgefunktion ikke til en og kun en værdi. I stedet bliver hver af disse mulige værdier realiseret i hver deres verden. Hvordan det præcist sker, er tilhængerne af de forskellige versioner uenig om. I den mest radikale udlægning forestiller man sig, at verden opdeles i nye verdener, så det ikke blot er den målte partikel, som splittes op mellem forskellige verdener, men det sker også for måleapparatet, fysikeren der udfører eksperimentet, og hans eller hendes bevidsthed. Så når systemet registreres til at have en bestemt værdi af dig og mig i aktuelle verden, vil der være en mængde andre verdener, hvor det "samme" system registreres til at have andre værdier af "dig" og "mig". Jeg behøver næppe at sige, at der er ret mange filosoffer med et godt kendskab til kvantemekanikken, der har svært ved at sluge den kamel. Men hvis vi alene ser på hensigten bag forslaget, er det oplagt, at mangeverdensfortolkningen "løser" måleproblemet ved at postulere, at bølgefunktionens mangfoldige tilstandsværdier alle realiseres omend i hver deres verden. Kvantemekanikkens formalisme kan direkte bruges til

at forstå måleprocessen, fordi den fortæller os, hvordan bølgefunktionen opfører sig under målingen.

Man taler ofte om, at mangeverdensfortolkningen undgår enhver henvisning til bølgefunktionens kollaps til en bestemt værdi. Det er på sæt og vis rigtigt. Men det besvarer blot ikke spørgsmål som, hvorfor vi måler netop "op" i den aktuelle verden, når vi måler elektronens spin. For vi kunne lige så godt have målt "ned" i den aktuelle verden. Tidligere var det sådan, at man kun kunne studere sådanne effekter fra eksperimenter udført med mange partikler. I dag kan fysikerne, som beskrevet af Julsgaard og Mølmer her i *Kvant* [5], måle på den enkelte partikel. Men dette forhold ændrer ikke på resultatets tilfældighed. Mangeverdensfortolkningen kan ikke forklare det aktuelle måleresultats tilfældighed, som Bohr netop mente, at man måtte afstå fra at forklare, fordi "objektets" vekselvirkning med apparatet ikke var analyserbar. Så i virkeligheden har vi intet opnået ved en realistisk fortolkning af bølgefunktionen.

Naturen og vor egen udvikling

Kvantemeknikken er på mange måder et højdepunkt i videnskabens udvikling. Den har hjulpet os mennesker til at udvikle et højteknologisk samfund, der bygger på kendskabet til, hvordan atomerne og deres dele opfører sig under forskellige fysiske omstændigheder. Denne teknologiske udvikling er sket som følge af, at fysikere og ingeniører kan styre de mikrofysiske processer. Det kan de, fordi de kan bruge teorien til at beregne, hvad der vil ske, når man gør sådan og sådan. Ingen har haft brug for at forstå, om teorien kunne fortælle os noget om verden ud over det, man kan iagttage. Her er det så, at Bohr fortæller os, at naturen i kraft af virkningskvantet og vore kognitive evner sætter grænser for, hvad vi overhovedet kan vide om verden.

I et større perspektiv kan man sige, at både menneskets kognitive evner og anatomiske opbygning er skabt igennem den biologiske evolution. Fra Charles Darwin ved vi, at vi fysisk har udviklet os under indflydelse af omgivelserne gennem naturlig selektion. Det er ikke blot vor fysik, men også vor psykologi, som er skabt ved tilpasning til disse omgivelser. Med andre ord er vore kognitive evner dannet på en sådan måde, at vore sansorganer og hjerne er indrettet til at modtage, behandle og reagere på informationer fra ting, som har nogenlunde samme størrelse som os selv. Det har givet os store muligheder for at forstå og handle i forhold til, hvad der sker i naturen og blandt mennesker. Evolutionen har dermed også sat naturlige grænser for, hvad vi kan forvente at forstå. Ingen kan benægte, at vi med evolutionen har fået anlæg for at udvikle sprog og evnen til at udvikle matematik. Men den biologiske evolution har næppe givet os anlæg til at forstå ting, som anlægget ikke selv er rundet af. Alle vore evner er tilpasset det, vi kan sanse, men dermed har vi ingen garanti for, at vi kan bruge dem til at forstå det, vi ikke kan sanse, og som vore evner ikke oprindeligt er udviklet til at forstå.

I det darwinistiske lys mener jeg, at Bohrs tolkning fremstår som den mest plausible fortolkning. Den fremstår som den tolkning, som mest er i overens-

stemmelse med, hvad vi ved om menneskets oprindelse og kognitive muligheder. Vi er fra naturens hånd født realister. Der findes en verden uden for os selv, og den er omtrent sådan, som vi oplever den. Denne form for common-sense realisme indgår som en medfødt del af vores kognitive forståelse. Det er også dette instinkt, der driver mange fysikere til at fortolke deres teorier realistisk. Det forklarer helt naturligt deres realistiske tilbøjeligheder. Alligevel er der gode grunde til at mene, at deres realistiske fortolkninger får dem til at postulere en virkelighed, som vi helt er afskåret for at have viden om.

Den virkelighed, som disse realister har i tankerne, minder mere om det syn, som Gud måtte have på verden end vort eget syn herpå. Hvilket også Favrholdt var inde på. Fysikken er med Immanuel Kants udtryk ikke i stand til at beskrive verden, som den er i sig selv, men kun som den fremtræder for os. Alt andet ville betyde, at vi var i stand til at træde ud af menneskets egen erkendelsessituation og beskrive virkeligheden uafhængigt af denne erkendelsessituation. Det er naturligvis uladssiggørligt. Vi er en del af virkeligheden. Vi kan ikke beskrive verden fra et "nowhere". Det må altid ske fra et "somewhere". Som en del af virkeligheden må vi mennesker beskrive virkeligheden indefra, sådan som vor biologi har tilpasset os til at forstå den.

Litteratur

- [1] Christian Kraglund Andersen og Andrew C.J. Wade (2013), Bohr vs. Einstein. Fortolkning af kvantemekanikken, *Kvant* 24. årgang, nr. 1, side 27-31.
- [2] Jan Faye, Niels Bohr: His Heritage and Legacy. Kluwer Academic Publishers 1991.
- [3] Jan Faye, *Kvantefilosofi*. Århus Universitetsforlag 2010.
- [4] David Favrholdt (2010), Lidt om Bohrs filosofi, *Kvant* 21. årgang, nr. 2, side 11-14.
- [5] Brian Julsgaard og Klaus Mølmer (2013), Hundrede år efter Bohr: Nobelprisen for fysik under gennemsnittet, *Kvant* 24. årgang, nr. 1, side 14-18.
- [6] Niels Bohr, *Atomfysik og menneskelig erkendelse*. Schultz 1957. Heri omtaler Bohr sine diskussioner med Einstein.
- [7] Lone Bruun, Finn Aaserud og Helge Kragh (red.): Bohr på ny. ForlagetEpsilon.dk, 2013.



Jan Faye har læst filosofi og fysik ved Københavns Universitet og er i dag ansat i filosofi ved Københavns Universitet. Han har især arbejdet med videnskabsfilosofi, metafysik og erkendelsesteori og er forfatter til adskillige bøger og artikler. Senest har han i 2015 udgivet bogen "Kundskabens træ – Introduktion til naturalistisk videnskabsfilosofi" på Samfundslitteratur. Den belyser på et evolutionært grundlæg forskelle og ligheder mellem natur-, human- og samfundsvidenskabene.