Striden mellem Bohr og Einstein

Om kvantemekanikkens fortolkning, komplementaritet og selvreference

Claus Münchow

Verden er givet, bevidstheden er ikke givet. Når bevidstheden finder problemer i verden, opstår de som følge af den måde bevidstheden tilgår verden på.

I vores filosofi om verden har en selvstændig bevidsthed søgt, fundet og behandlet problemerne som værende en del af en ligeledes selvstændig verden. Det har resulteret i fastlåste konflikter omkring blandt andet kvantemekanikkens fortolkning.

Ved at opfatte problemer som opstående *i* bevidstheden og hjemmehørende dér åbnes der for en ny tilgang til problemerne og derfor også for nye muligheder for løsninger.

En analyse af, hvordan vores bevidsthed modtager og behandler informationerne fra verden, afslører en ny konkret opfattelse af den virkelighed vi faktisk lever i. Det fører til en åbenlys sondring mellem verden og virkeligheden som tydeliggør vores særlige vilkår som iagttagere af den verden hvoraf vi selv er en del. Ud over at mange hårdnakkede problemer bliver demonteret, vil det faktisk også afgøre striden mellem Bohr og Einstein.

> *"Jeg mener jeg med sikkerhed kan sige, at der er ikke nogen der forstår kvantemekanik... Lad være med at blive ved med at sige til dig selv: "Jamen hvordan kan det lade sig gøre?" for du bliver trukket ind i en blindgyde hvorfra ingen endnu er undsluppet. Ingen ved hvordan det kan lade sig gøre"* [1].
>
> Richard Feynman

Richard Feynman er en af de mest indflydelsesrige fysikere i det sene 20. århundrede og modtager af Nobelprisen for sine bidrag til kvantelektrodynamikken. Hvordan kunne det forekomme når han efter eget udsagn ikke forstod kvantemekanik?

Jo, han forstod at regne på formalismen, men han forstod ikke at de resultater som fulgte af regningerne var mulige. Men det var de! Det alligevel mulige har i vort århundrede resulteret i en succesfuld voldsom aktivitet med det man ikke forstår er muligt, kvantecomputere, kvantekryptering, kvante-osv. under devisen "hold kæft og regn" [2] – en decideret antividenskabelig holdning.

Tydeligere kan udfordringen ikke træde frem: Det grundlag hvorpå vi tænker, kan ikke rumme en tilfredsstillende sammenfatning af vores oplevelser i verden.

Når noget som burde være umuligt faktisk forekommer, er et af Kuhns [3] kriterier der kan udløse et nyt grundlæggende paradigme, opfyldt.

Det feynmanske dilemma er af en sådan fundamental natur. Det er opstået inden for og som følge af de aktuelle videnskabelige rammer, de implicitte vedtægter for god tænkning og god forskning. Det kan ikke nytte noget at søge en løsning inden for de selv samme rammer. Så vil dilemmaet jo bare genopstå.

Altså må vi søge nye rammer for vores tænkning. Det sker her via et fokus på *bevidsthedens vilkår som iagttager af den verden hvoraf den selv er en del* (et Bohr-diktum).

"Bevidstheden" og fænomenet "selvreference" spiller således afgørende roller i denne proces.



Figur 1. Niels Bohr (til venstre) og Albert Einstein hjemme hos deres fælles ven Paul Ehrenfest i Leiden i december 1925.

Hvad er bevidstheden?

> *"Bevidsthed er nok det mest undersøgte emne i psykologien, men til trods herfor det vanskeligst forståelige"* [4].

Igen træder udfordringen frem: Det grundlag hvorpå vi tænker, kan ikke præstere en tilfredsstillende sammenfatning af vores oplevelser i verden.

Bevidstheden er i sig selv den totale selvreference. Når vi spørger "Hvad er bevidstheden?" så er det bevidstheden der spørger til sig selv. Den står altså uden nogen som helst reference til noget som helst andet end sig selv. Der er ingen bånd der binder den.

Men selvreferencen er værre endnu.

Ingen ville formentlig gøre indsigelse mod denne min anvendelse af begrebet "bevidsthed" ovenfor. Men i selve spørgsmålet er det bevidstheden der spørger, så

uden at kende svaret kan vi ikke vide hvad der spørger. Svaret må kendes før spørgsmålet kan stilles ordentligt. Hvad er det så for en slags spørgsmål? Og hvilken status kan et eventuelt svar gives?



Figur 2. Albert Einstein (til venstre) og Niels Bohr under Solvaykonferencen i Bruxelles i 1930.

Her ser vi en principiel grænse i form af en ultimativ selvreference, og her mener jeg vi må kaste håndklædet i ringen og operere med afgørende principielt uforklarlige fænomener, som jeg kalder mirakler uden religiøse konnotationer ("mirakel" er bedre end "mysterium", fordi det i højere grad tildeler "bevidsthed" en faktisk eksistens).

Som den selvreference bevidstheden er, må vi altså, uden at vide hvad det egentlig er, acceptere at *miraklet "*bevidsthed" *er*.

Et tilsvarende mirakel er at verden *er*, og at vi *er*. Uden at tildele disse mirakler *en slags eksistens* giver det ingen mening at læse videre - så fortsat god fornøjelse!

Vi oplever at leve i verden. Denne oplevelse adresserer vi til bevidstheden, så livet opleves selvrefererende i bevidstheden. Det er derfor nærliggende at kalde livet en illusion. Fint for mig, men den illusion er lige så virkelig som vores oplevede liv - og omvendt (for det er det samme).

Lignende åbenbart universelle forestillinger kan opstå når som helst man tænker dybt over bevidstheden og livet, se f.eks. følgende redegørelse for ældgammel vedisk filosofi (ca. 5000 år) ved en nulevende filosof og professor inden for Hare Krishna-filosofien, Jahnu Dasa:

> "*I den moderne naturvidenskab har man kun stof som undersøgelsesobjekt. Man observerer og studerer materien i dens utallige vekselvirkninger. I den åndelige videnskab har man sin egen bevidsthed som forsøgsobjekt, og man undersøger materiens indflydelse på bevidstheden og sindet.*
>
> *Den materielle videnskab rækker ikke til at forstå den virkelighed, vi lever i. Og hvorfor gør den ikke det? Fordi naturvidenskaben intet fornuftigt har at sige om vores bevidste oplevelse af verden. Den taler kun om materiens vekselvirkninger, men siger intet om vores oplevelse af disse. Og det er vores oplevelse af verden, som er det mest grundlæggende ved den virkelighed, vi befinder os i*" [5].

Det kan ikke siges bedre. Den virkelighed vi *oplever og derfor befinder os i*, er *den indre virkelighed* der opstår i bevidstheden som følge af "*materiens indflydelse på bevidstheden og sindet"*.

I vores filosofi om verden har en forestillet selvstændig bevidsthed behandlet problemerne som værende i verden. Jeg finder problemerne *i* bevidstheden og i dens *forhold* til verden.



Figur 3. Werner Heisenberg (til venstre) og Niels Bohr i samtale ved et bord på Institut for Teoretisk Fysik i København i 1930'erne.

Hvad er verden? – og hvad er virkeligheden?

Verden *er*, og vi *er*. Men lige så snart vi siger mere om hvordan vi mener verden er, så er det *nødvendigvis* vores tolkning af vores oplevelser i verden. *Med den tolkning skaber vi selv den virkelighed vi befinder os i og lever med* jf. Jahnu Dasa.

Vores virkelighed opstår uundgåeligt i spændingsfeltet *mellem verden* og *bevidstheden* i og med vi sætter ord på vores oplevelser. Den kan aldrig blive mere end et midlertidigt *forestillings*billede af verden, aldrig en beskrivelse af verden som den er i sig selv. Når vi forsøger at tale om verden, italesætter vi faktisk virkeligheden. Ethvert forsøg på at komme videre mod en forståelse af verden som sådan er en ny tolkning og skaber bare en ny virkelighed.

Enhver virkelighed varer imidlertid kun ved indtil vi får nye erfaringer som ikke kan tolkes inden for den

aktuelle virkelighed. Så må vi tilpasse vores virkelighed så godt det lader sig gøre.

Volder det uoverstigelige problemer, vil kulturen gennemgå et fundamentalt paradigmeskifte - og dem har der været nogle stykker af i historisk tid. Når transitionen er overstået, er virkeligheden grundlæggende forandret, men *verden er naturligvis stadig den samme*.

Det er den helt kategoriske og uafviselige forskel på verden og virkeligheden. Den kan ikke overskrides. ***Vi kan intet sige om verden***. *Vi kan kun tale om virkeligheden.*

Dette udtrykkes fint af Kants "*an sich*" om verden og *"für uns"* om virkeligheden.

Denne skelnen mellem den givne verden og den midlertidige virkelighed er en iboende nødvendighed som følge af den måde hvorpå vi modtager vores informationer, men det spiller for mig at se ikke den udfordrende rolle i aktuel filosofi som det burde.

Det er vist fristende for enhver tid at forestille sig at fuldbringe historiens afslutning. Men det er at ignorere netop historien.

Denne skelnen spiller derimod en helt afgørende rolle i nærværende tekst.

Kvantemekanikken

Udfordringen med vores formulering af virkeligheden er yderligere skærpet af fysikken efter år 1900 hvor Planck opdagede lysets kvantificering. Lys var indtil da blevet betragtet som et bølgefænomen. Men Plancks opdagelse gav lys partikelegenskaber. Det fremstod endnu klarere da Einstein i 1905 forklarede den fotoelektriske effekt på basis af Plancks opdagelse. Senere opstod den samme dikotomi, bølge/partikel, omkring elektroner og andre atomare fænomener.

I de følgende to årtier var der totalt opbrud i de fysiske forestillinger om naturen. Mange enkeltstående sammenhænge blev opdaget, men der manglede en samlende beskrivelse.

Et stort skridt foretog den unge Heisenberg i 1925 i form af et originalt matematisk arbejde baseret på en partikelopfattelse. Men i 1926 havde Bohrs institut besøg af Schrödinger som havde taget et tilsvarende skridt i form af en bølgebeskrivelse. Det skærpede dikotomien; er en elektron/foton en partikel eller en bølge? Det førte til nogle meget intense diskussioner mellem Bohr og Heisenberg i slutningen af 1926. Sidstnævnte mente man kunne nøjes med hans partikelbaserede beskrivelse. Deri var Bohr slet ikke enig. Under disse diskussioner skulle Bohr have sagt "*Selv ikke den matematiske formalisme hjælper. Jeg må først forstå hvordan naturen undgår modsætninger*" [6]. Åbenlyse modsigelser modtog han altid som en mulig vej til ny væsentlig indsigt. Således også her.

Det var i denne udfordring Bohr i begyndelsen af 1927 indså nødvendigheden af sit komplementaritetsprincip: En elektron/foton kan fremstå dels som en bølge dels som en partikel. En modsætning vil imidlertid ikke anfægte logikken, blot den ene mulighed samtidigt udelukker den anden. Hvis vi vil inddrage kvantemekanikken som en del af vores virkelighed, må vi vænne os til at sådan er virkeligheden (som vi har vænnet os til tyngdekraften, de andre naturkræfter og de tidligere nævnte mirakler.)

Det er bestemt en umiddelbart uforståelig, radikalt ny virkelighed, som opfatter materien som indeholdende modsætninger. Når vi accepterer den som en ny virkelighed, tilegner vi os noget der ligner Bohrs filosofi hvor komplementaritet og selvreference er centrale begreber [7].

Komplementariteten er lige forklaret, og Feynmans dilemma forklares ved selvreferencen således:

Feynman bygger i det indledende citat på en analyse af dobbeltspalteeksperimentet [1]. Elektronen/fotonen giver sig her til kende snart som bølge snart som partikel. Han mener at udfaldene må være bestemt af en underliggende logisk verden, og en sådan kan han ikke begribe. Naturligvis, for udfaldene afgøres af de omstændigheder hvorunder de opstår. Og de omstændigheder bestemmer han selv med valget af den forsøgsopstilling hvori elektronen/fotonen fremstår. Iagttageren er selv en del af det iagttagede, omstændighederne er en del af fænomenet.

Vi kan kun begribe virkeligheden. Verden må forblive uomtalt, og vi tvinges til at godkende iagttagelserne som virkeligheden.



Figur 4. Niels Bohr (til venstre) og Werner Heisenberg i kantinen på Københavns Universitets Institut for Teoretisk Fysik under konferencen i København i 1936.

Kontroversen

Bohr præsenterede sit komplementaritetsprincip i forbindelse med den nye kvantemekanik i en stor konference i september 1927 i Como. Der deltog 61 fysikere og matematikere, dog ikke Einstein, som meldte afbud grundet Mussolinis styre.

Han var imidlertid blevet svært utilfreds med kvantemekanikken i dens aktuelle udgave, med dens brud med årsagsprincippet og dens statistiske tolkning, altså faktisk med dens brud med klassisk fysiks grundprincipper. Han mødte derfor op godt forberedt til den femte Solvay-konference i oktober 1927 medbringende et tankeeksperiment, dobbeltspalteeksperimentet. Det skulle blive lakmusprøven for mulige tolkninger på konferencen og er det stadig den dag i dag (jf. Feynman).

De positioner Bohr og Einstein indtog under den konference bevarede de resten af livet, og jeg vil her

karakterisere dem i form af de helt grundlæggende forskelle i hvad man kunne kalde videnskabelig intuition.

Einstein:

Som netop antydet var Einstein ikke villig til at forlade den klassiske fysiks grundprincipper og det tilhørende videnskabelige mål at søge **en objektivt eksisterende verden uafhængig af vores observation af den**.

I den klassiske fysik holder videnskabsmanden armslængdeafstand til objekterne. Når f.eks. Newtons love anvendes - også i termodynamikken - antages lovmæssighederne at fungere uafhængigt af iagttagerens tilstedeværelse. Det er sådan Einstein ønsker også at kunne beskrive de atomare fænomener.

Han kaldte det selv sit videnskabelige instinkt ikke at opgive tanken om en "verden i sig selv". Men om en sådan kan vi ikke tale. Hvis vi mener at tale om verden, kommer vi uvægerligt til at tale om virkeligheden, den aktuelle og selvskabte. Vi kan ikke på nogen måde opnå en *sikker endelig* beskrivelse af verden som den er i sig selv. Enhver forestilling om verden er endnu et skridt på en vej uden ende.

Det er faktisk Poppers indsigt at en teori aldrig kan verificeres, kun falsificeres.

Bohr:

I modsætning til Einstein var Bohr straks i 1913 bevidst om, at hans teori om brintatomet anfægtede hellige klassiske begreber, hvorfor han øjeblikkeligt gik i gang med at søge efter bindeled mellem det gamle og det nye, hvilket han opnåede med betydelig succes i sit korrespondensprincip.

Også Bohrs iagttagerposition var den modsatte af Einsteins. Igen og igen gjorde han opmærksom på vores særlige vilkår når vi iagttager den verden, *hvoraf vi selv er en del*. Desværre nævner han intetsteds begrebet *selvreference* eksplicit. Men implicit kan det ikke gøres tydeligere end med det netop anførte diktum. Med varianten: "Vi må huske at *vi er både aktører og tilskuere i livets skuespil.*" (=illusion?)

Det hænger direkte sammen med Bohrs påpegning af at de atomare fænomener kun giver sig tilkende i makroskopiske opstillinger som qua vores konstruktion af dem definerer fænomenet (Bohrs karakteristik: de atomare fænomeners ejendommelige helhedspræg). En opstilling som frembringer en partikel, vil udelukke en bølge. Det var således Bohr så overbevisende afviste Einsteins angreb på Solvaykonferencen i 1927 vha. Heisenbergs ubestemthedsrelationer.

Læs Ehrenfests herlige beskrivelse af dette forløb her [8]. Den er faktisk afgørende for forståelsen af stridens opståen og indhold.

Det kan siges enkelt: Einstein vil se på problemerne i verden udefra, mens Bohr ser dem indefra og respekterer de vilkår der følger med.

Begge vores hovedpersoner var ledet af intuitioner - i grunden irrationelle hvorfor enighed ikke var opnåelig trods den meget store gensidige respekt.

Bohrs tidligere nævnte filosofi indebærer at han er tilfreds med *tolkningen* af oplevelserne i verden, altså *virkeligheden*, og afviser at tale om *verden*.

Klaus Mølmer udtrykker det således i Kvant [9]: "Bohr fandt det, efter eget udsagn, hverken nyttigt eller nødvendigt at tale om det der "virkeligt" sker i den mikroskopiske verden. . . så længe han kunne redegøre for de målte resultater".

Bohr stiller sig tilfreds med virkeligheden og nægter at forholde sig til verden – for det er ikke muligt.

Konklusionen

Så kom jeg frem til en konklusion som overrasker mig selv: Opfordringen "Hold kæft og regn!" er god nok - ikke med afstandtagende sarkasme, men seriøst. Og så må den omformuleres:

Vi må for nuværende acceptere "kvantemekanikkens resultater" som en del af den aktuelle virkelighed, og det er en helt anden virkelighed end den Feynman mener at befinde sig i.

- og det er med Bohrs samtykke:

> *"Det er forkert at tro, at det er fysikkens opgave at finde ud af hvordan naturen er. Fysik handler om hvad vi kan sige om naturen."* [10]
>
> "*Vi er ophængt i sproget*" [11].

Litteratur

På munchow.net/claus/Kvant.pdf findes aktive links til mange af teksterne.

[1] R. P. Feynman (1965) *The Character of Physical Law*, British Broadcasting Corporation, London, side 129.

[2] N. D. Mermin (1989) "What's Wrong with this Pillow?", *Physics Today*, bind **42**, nr. 4, side 9–11.

[3] T. S. Kuhn (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, side 129.

[4] B. Katzenelson og J. Ryberg (2024) "Bevidsthed", *Lex – Danmarks Nationalleksikon*, lex.dk/bevidsthed.

[5] da.quora.com/Hvad-tror-du-er-en-sandsynlig-løsning-på-det-svære-problem-om-bevidsthed

[6] A. Pais (1994) *Niels Bohr og hans tid: I fysik, filosofi og samfundet*, Spektrum, København, side 322.

[7] C. Münchow (2023) *Arven efter Niels Bohr: Det vigtigste mangler!*, Books on Demand, Norderstedt, 76 sider.

[8] C. Münchow (2018) "Niels Bohr og det nuværende paradigmeskifte", munchow.net, opdateret 14. september 2018.

[9] K. Mølmer (2021) "Kvantemekanikkens fortolkninger", *KVANT*, bind **32**, nr. 2, side 21–25.

[10] A. Pais (1994) *Niels Bohr og hans tid: I fysik, filosofi og samfundet*, Spektrum, København, side 450.

[11] A. Pais (1994) *Niels Bohr og hans tid: I fysik, filosofi og samfundet*, Spektrum, København, side 474.



Claus Münchow er tidligere lærer på Sønderborg Statsskole i fysik og matematik. Sluttede med et toårigt forløb i samarbejde mellem filosofi og fysik.