

DET KONGELIGE DANSKE VIDENSKABERNES SELSKABS PJECE SERIE  
GRUNDVIDENSKABEN I DAG

4



C. MØLLER

OMVÆLTNINGER I FYSIKERNES  
TANKESÆT I VORT ÅRHUNDREDE

UDGIVET I SAMARBEJDE MED FOLKEUNIVERSITETETS BIBLIOTEK  
AF FOLKEUNIVERSITETET I KØBENHAVN

1977

*Redaktion:*

professor, dr. phil. MOGENS BLEGVAD  
administrator, dr. phil. ERIK DAL  
professor, dr. phil. C. OVERGAARD NIELSEN

*Redaktionssekretær:*

cand. theol. N. J. CAPPELØRN

---

CHRISTIAN MØLLER, professor i matematisk fysik, er født i 1904 og blev som elev af Niels Bohr dr. phil. i 1932 på en disputats om teorien for relativistiske spredningsprocesser. Han blev udnævnt til ekstraordinær professor ved Københavns universitet i 1943. C. Møller har holdt forelæsninger og været gæstprofessor ved en lang række universiteter i bl. a. USA, Indien, Japan, Tyskland og Holland. I 1943 blev han medlem af Videnskabernes Selskab og er siden 1959 Selskabets sekretær; endvidere er han medlem af en række udenlandske videnskabelige selskaber og organisationer. Desuden har han været direktør for NORDITA (Nordisk Institut for Teoretisk Atomfysik). C. Møller er æresdoktor ved Åbo Akademi og har fået tildelt både Ole Rømer og H. C. Ørsted medaljen.

C. Møller har skrevet flere bøger og talrige afhandlinger i inden- og udenlandske tidsskrifter om problemer inden for sit speciale atomfysikken og relativitetsteorien, f. eks. *The Theory of Relativity* (ny udgave 1972), og sammen med Mogens Pihl en mere populær bog *Atomfysikkens grundlag i elementær fremstilling* fra 1964.

---

*Forlag:*

Folkeuniversitetet i København  
Købmagergade 52  
1150 København K

*C. Møller*

## OMVÆLTNINGER I FYSIKERNES TANKESÆT I VORT ÅRHUNDREDE

### *1. Oversigt over udviklingsgangen i fysikken*

Når man ser tilbage over fysikkens historie, er det slående, at fysikkens udvikling siden oldtiden ikke er forløbet jævnt. Lange perioder med en rolig udvikling er nu og da blevet afbrudt af korte perioder med en eksplosiv udvikling, der har medført revolutionerende ændringer i vort verdensbillede. De rolige perioder er karakteriseret ved en stadig forøgelse af eksperimentelle data, udført med stadigt forfinede måleinstrumenter, ledsaget af fysikernes forsøg på at beskrive de eksperimentelle resultater ved hjælp af de i perioden gængse teoretiske begreber og principper.

En sådan rolig periode vil vare indtil opdagelsen af nye overraskende fænomener, der ikke lader sig beskrive med de traditionelle begreber og principper. I begyndelsen vil sådanne opdagelser blive mødt med sund skepsis af fysikerne, der af erfaring ved, hvor let der kan indsnige sig systematiske fejl i en iøvrigt omhyggelig forsøgsopstilling. Dertil kommer, at de tilvante teoretiske forestillinger, der er baseret på et stort hidtidigt erfaringsmateriale, i fysikernes bevidsthed let kommer til at stå som mere eller mindre selvindlysende sandheder.

Først når uafhængige gentagne forsøg har vist, at de genstridige fænomener er reelle i den forstand, at de kan reproduceres, indtræder en afgørende krise; men selv da vil mange fysikere være tilbøjelige til at forklare fænomenerne ved endnu ukendte faktorer, ofte kaldet „skjulte parametre“, snarere end at indrømme de gældende grundforestillingers utilstrækkelighed.

Afgørende fremskridt nås derpå først, når der fremstår en forsker, der har mod og klarsyn nok til at erkende den hidtidige begrebsrammes begrænsning og til at anvise de veje, man må følge for at nå til en rationel beskrivelse af både de gamle og de nye fænomener. Et sådant gennembrud gennem hidtidige fordomme efterfølges som regel af en rivende udvikling, i hvilken et større antal forskere deltager, og i løbet af kort tid når man frem til en ny konsistent og mere omfattende teori, der så danner grundlaget for beskrivelsen af de fysiske fænomener i den påfølgende rolige periode. Den nye teori muliggør langt videre-



gående systematiske forsøg, og det derved opnåede større overblik fører ofte til en åbning af uanede områder for forskningen. Omvendt er det også sket gang på gang, at den nye teori fører til en sammensmeltning af hidtil adskilte discipliner i fysikken, hvilket bringer os nærmere til det endelige mål: at anskue alle fysiske fænomener under samme synsvinkel. Selve dette mål, altså fysikkens enhed, må imidlertid nok betragtes som et ideal, vi kan stræbe imod men aldrig helt vil nå.

Endnu vigtigere end det væld af nye fysiske resultater, som følger efter et sådant gennembrud, er måske de erkendelsesteoretiske konsekvenser. Under den ofte vanskelige tilvænnning til de nye begreber tvinges fysikerne (og lidt senere filosofferne) til at tænke på en ny måde. De belæres eller mindes om, at alle fysiske begreber, hvor naturlige og selvfølgelige de end forekommer os, til enhver tid blot er forestillinger, der er tilpasset beskrivelsen af de i øjeblikket kendte fænomener, og at de eventuelt må opgives eller snarere generaliseres i lyset af nye opdagelser. Derved vindes en ny indsigt i den videnskabelige tænkningens natur og i grundlaget for den videnskabelige sandhed, det vi kalder erkendelsesteori.

Endelig må det også nævnes, at enhver udvidelse af vort kendskab til naturlovene forøger menneskenes evne til på godt og ondt at beherske naturkræfterne. Historien viser da også en særlig opblomstring af de tekniske anvendelser efter ethvert gennembrud i fysikken med de deraf følgende ændringer i menneskenes levevilkår, hvilket det sidste halve århundrede jo danner et særligt eklatant eksempel på.

Ifølge sagens natur er de store gennembrud i fysikken ret sjældne foreteelser. Siden Galileis grundlæggelse af den moderne eksperimenterende fysik i begyndelsen af 1600-tallet har vi gennemsnitligt kun oplevet eet sådant gennembrud i hvert århundrede; men i det 20. århundredes begyndelse skete det to gange med kort mellemrum.

I 1905 grundlagde Albert Einstein relativitetsteorien, der i løbet af mindre end to årtier udvikledes til en konsistent teori, der siden da har dannet grundlaget for vor beskrivelse af alle fysiske fænomener i den såkaldte makroskopiske verden, inklusive universet som helhed. (Ved makroskopiske systemer forstås systemer af samme størrelsesorden som vi selv eller større).

I 1913 formulerede Niels Bohr de principper, der kom til at danne grundlaget for den i de følgende to årtier udviklede kvantemekanik. Denne teori tillader en fuldstændig beskrivelse af fænomenerne i atomernes usynlige mikroskopiske

verden, for så vidt som disse fænomener er tilgængelige for vore instrumenter, der jo selv er af makroskopisk natur.

## 2. Karakteristiske træk af den klassiske fysik

Relativitetsteorien og kvanteteorien medførte en radikal ændring af mange af de gængse fysiske principper og begreber. For ret at vurdere og forstå disse forandringer vil det være nødvendigt at skitsere nogle af de vigtigste træk af det verdensbillede, fysikerne var nået til i løbet af det 19. århundrede, og som hviler på den såkaldte *klassiske* fysik. Denne smukke og beundringsværdige tankebygning, som gav en korrekt beskrivelse af alle de kendte fænomener i den makroskopiske verden, bærer med rette tilnavnet „klassisk“, der betyder sådan noget som „efterlignelsesværdig“.

Fra de ældste tider har menneskene søgt at orientere sig i den forvirrende verden, de er sat i, ved at prøve at finde sammenhænge mellem de forskellige fænomener og derved om muligt opnå en rettesnor for deres handlinger. De mange forskellige religioner, der er opstået i tidens løb, giver foruden forskrifter af moralsk karakter som regel også maleriske beskrivelser af naturfænomenerne og endda af selve verdens skabelse. Disse forestillinger om naturen er i høj grad subjektive af karakter, opstået som de er i religionsstifternes bevidsthed ofte efter såkaldte „åbenbaringer“. Et andet karakteristisk træk især hos de primitive religioner er, at der regnes med indgriben i naturen af overnaturlige kræfter, som man kun kan værgе sig imod ved magiske ceremonier.

I modsætning hertil er den klassiske fysik baseret på den tro, at de fysiske fænomener forløber efter ganske bestemte uforanderlige og ubrydelige naturlove. Denne antagelse, som nok må kaldes en tro, er dog i høj grad blevet støttet af erfaringen, og blandt fysikere er dens rigtighed blevet så selvfølgelig, at det vakte stor muntherhed blandt studenterne, da en fysikprofessor i begyndelsen af århundredet i en forelæsning over tyngdefænomenerne forsigtigt udtalte: „Tyngdekraften har, så vidt vides, aldrig svigtet“.

Det primitive menneske har en forestilling om naturen, der er nøje knyttet til dets sanser. Den ældre fysiks inddeling i mekanik, optik, akustik og varmelære viser endnu den oprindelige forbindelse med øjets, ørets og følesansens funktioner. På det primitive stade er det billede, mennesket danner sig af naturen, direkte anskueligt og i høj grad subjektivt. I modsætning dertil er det mest karakteristiske træk ved det billede, som den klassiske fysik tegner, at det er



*objektivt*, dvs. det vedrører kun de sider af fænomenerne, som er uafhængige af subjektet, og som alle iagttagere ved deres fulde fem kan blive enige om. En enkelt observation af en enkelt iagttagere vil aldrig indgå i dette billede, og al ønsketænkning er bandlyst.

For at det overhovedet blev muligt at tegne et sådant objektivt billede af naturen var det afgørende, at Galilei, grundlæggeren af den moderne fysik, opfandt eksperimentet. Ved hjælp af passende veldefinerede forsøgsopstillinger er det muligt at stille præcise spørgsmål til naturen og tvinge den til at give utvetydige svar. Eksperimentet afløste tidligere tiders sporadiske observationer af naturfænomenerne og blev i den moderne fysik den højeste dommer til afgørelse af, hvad der er sandt, og hvad der er forkert.

Den pris, man har måttet betale for at opnå en objektiv eksakt videnskab, er temmelig høj. Fysikken for eksempel er blevet mere og mere abstrakt. For at illustrere nødvendigheden af denne abstraktionsproces, når man vil opnå en objektiv beskrivelse af naturen, vil vi et øjeblik betragte et så simpelt fysisk begreb som temperaturen af et legeme, et begreb som vi alle vagt er fortrolige med fra det daglige liv. Det hænder vist ofte, at der opstår uoverensstemmelser i familien, når man i disse energisparetider diskuterer, om der er varmt nok eller for varmt i en stue. Det primitive temperaturbegreb, der er direkte knyttet til vore sanser er simpelthen for vagt. Hvis der derimod er et termometer til stede i stuen, kan vi alle enes om varmetilstanden i stuen, idet erfaringen har vist, at termometerets visning er uafhængig af de forskellige iagttageres subjektive følelser og fornemmelser.

Ved hjælp af termometeret kan man nå til en objektiv eksakt definition af det fysiske temperaturbegreb udtrykt ved et tal. Det eneste, det har knebet med at blive enige om, er temperaturskalaen, idet man i mange oversøiske lande benytter Fahrenheitskalaen, medens vi i Europa mest bruger Celsiusskalaen. Dette forringer imidlertid på ingen måde objektiviteten af det fysiske temperaturbegreb, idet der findes en almindelig anerkendt transformation, der tillader en simpel omregning fra Celsiusgrader til Fahrenheitskalaen og omvendt.

Den fysiske temperatur er *defineret* ved de manipulationer, man må udføre med termometeret for at nå til et bestemt måltal for denne størrelse. Med denne ret abstrakte definition af det fysiske temperaturbegreb, udtrykt ved et tal, er dette begreb blevet rensset for alle de irrelevante subjektive træk, der klæber ved det primitive temperaturbegreb, og vejen er åben for en objektiv beskrivelse af varmfænomenerne.

En lignende abstraktionsproces har været benyttet ved konstruktionen af alle fysiske størrelser. Den mekaniske kraft og energi f. eks. har praktisk talt kun navnene tilfælles med sportsmandens eller arbejdsmandens subjektive fornemmelse af kraft og energi. Ligesom i det lige omtalte tilfælde med temperaturen er alle fysiske størrelser simpelthen defineret ved de forskrifter, man skal følge for at måle dem, hvorved de bliver udtrykt ved et tal, og relationer imellem de fysiske størrelser bliver så udtrykt ved matematiske funktioner. *I den klassiske fysik er alle naturlove udtrykt som fundamentale relationer mellem målelige fysiske størrelser, og matematikken er blevet det adækvate sprog, i hvilket disse love er skrevet.*

For kunstnerisk orienterede sind kan der nok være noget uhyggeligt ved det abstrakte billede af naturen, de eksakte videnskaber præsenterer for os. I fysikken er lysets farve f. eks. reduceret til en svingning af en bestemt frekvens, og klangen af en akkord på pianoet er beskrevet ved et sæt af tal, nemlig ved frekvenserne og forholdene mellem amplituderne i dets Fourier-analyse. Dette må nok forekomme kunstneren noget magert og fattigt. Det er velkendt, at digteren Goethe havde en livslang strid om farvernes natur med fysikeren Newton, i hvem han så repræsentanten for en fjendtlig naturopfattelse. Selv Einstein har i et brev til en ven sagt: „i forhold til naturens mangfoldighed er det billede, vi har tegnet af den kun fattigt“; men tilføjer han: „ikke desto mindre er det det kosteligste, vi har“.

Trods Goethes hårdnakkede modstand måtte Newtons eksakte videnskabelige metode sejre, for den er det eneste mulige middel til at nå til en objektiv beskrivelse af naturen. Helt bortset fra de materielle goder, som de eksakte videnskaber gennem den tekniske udvikling danner grundlaget for, ligger der da også en stor humanistisk værdi deri, at der i det mindste findes eet område for menneskelig aktivitet, hvor alle folk i verden kan samarbejde uden misforståelser.

Inden vi går over til at omtale de omvæltninger i fysikken, som relativitetsteorien og kvanteteorien medførte, må vi på det kraftigste fremhæve, at fysikken stadig har bevaret sin objektive karakter til trods for lejlighedsvis misforståede påstande om det modsatte (men derom senere). Derimod var der en række andre grundlæggende ideer i den klassiske fysik, som måtte opgives.

Hjørnestenene i denne smukke tankebygning var Newtons mekanik og Maxwells elektrodynamik. Newtons mekaniske grundligninger i forbindelse med tyngdeloven tillod en beundringsværdigt nøjagtig beregning af planeternes og deres satellitters bevægelse inden for solsystemet, hvilket astronomernes forud-



sigelser af alle fremtidige sol- og måneformørkelser er et populært eksempel på. Men samtidigt tillader de Newtonske ligninger en fuldstændig korrekt beskrivelse af alle sædvanlige mekaniske fænomener her på jorden. Når vi f. eks. kender en makroskopisk partikels sted og hastighed (eller bevægelsesmængde) til een tid, og når vi kender de kræfter, der virker på den, er partiklens bane og dens hastighed i banen til enhver tid fuldstændig bestemt ved de Newtonske bevægelsesligninger.

Den Newtonske mekaniks succes først og fremmest i astronomien havde en enorm indflydelse på datidens filosofi. Denne mekanik var baseret på forestillingen om en universel tid uafhængig af iagttageren og på forestillingen om et absolut rum, der var Euklidisk, dvs. at der i dette gælder alle de geometriske sætninger om vinkelsummen i en trekant osv., som vi lærte om i barneskolen. Disse forestillinger fik efter nogen tid karakteren af en trosbekendelse, der ikke behøvede nogen yderligere retfærdiggørelse. Dette blev mest eksplicit udtrykt af filosofen Immanuel Kant, der anså disse forestillinger om rum og tid som *a priori* sandheder helt uafhængige af erfaringen.

Endvidere førte den Newtonske mekaniks tilsyneladende almengyldighed til den tanke, at det måtte være fysikkens endelige mål at beskrive alle fysiske fænomener, inklusive de materielle legemers egenskaber, ved hjælp af de Newtonske ligninger anvendt på bevægelsen af materiens mindste smådele, atomerne. Overensstemmende med denne rent mekanistiske naturopfattelse var det en almindelig anskuelse, at udviklingen af den fysiske verden er bestemt, *determineret*, en gang for alle ved begyndelsestilstanden, på lignende måde som planeternes bevægelse omkring solen. Den klassiske fysiks årsagssammenhæng (også kaldet kausalitet) var altså deterministisk, og mange filosoffer (her må igen nævnes Kant) hævdede endog, at deterministisk kausalitet var en nødvendig forudsætning for muligheden af en rationel beskrivelse af den fysiske verden.

Enkelte filosoffer gik endda videre, idet de ved en dristig ekstrapolation udstrakte forudbestemmelsen til at gælde for alt eksisterende altså også for levende væsener. (Her må især nævnes filosofen Arthur Schopenhauer). Tilhængere af denne filosofiske retning, kaldet *determinister*, lå i en endeløs strid med deres modstandere *indeterministerne* om problemer som viljens frihed osv. (Schopenhauer fremlagde iøvrigt sine synspunkter i to afhandlinger, der blev indsendt som besvarelse af prisopgaver stillet af henholdsvis Det Kgl. Norske Vid. Selsk. for året 1839 og Det Kgl. Danske Vid. Selsk. for året 1840. Den første afhandling blev prisbelønnet, den anden derimod ikke, hvilket Schopenhauer tog vort



selskab meget ilde op). Langt senere skulle det jo vise sig, at den ovennævnte ekstrapolation ikke blot var dristig, men direkte dumdristig, idet atomteoriens udvikling viste, at den klassiske forestilling om en deterministisk kausalitet ikke engang er brugelig i hele den fysiske verden, hvilket dog på ingen måde betød, at indeterministerne fik ret.

Iøvrigt havde det længe før kvantemekanikkens udvikling været nødvendigt at modificere det ovenfor skitserede rent mekanistiske billede af den fysiske verden, idet det viste sig, at de elektromagnetiske fænomener ikke kunne reduceres til mekaniske egenskaber af den såkaldte æter. Endvidere havde det været nødvendigt af praktiske grunde at indføre sandsynlighedsbegrebet i beskrivelsen af varmfænomenerne. Dette begreb, der oprindeligt var udviklet til beskrivelse af udfaldene af terningspil efter et stort antal kast, og som har fået stor anvendelse i forsikringsvidenskaben, viste sig også velegnet til at beskrive varmfænomenerne i makroskopiske legemer, der består af et stort antal identiske atomer.

Det tydede på, at der måske var mulighed for en ny slags årsagssammenhæng i naturen, såkaldt statistisk kausalitet, der ikke direkte vedrører individer, men snarere udtrykker egenskaber hos en *art* eller som man siger hos et *ensemble* af identiske individer. For et tilstrækkeligt stort antal individer er de statistiske love for ensemblet lige så eksakte som deterministiske love for enkeltindivider. Forsikringsselskaber, hvis forretninger er baseret på statistiske beregninger, løber ikke større risiko for at gå fallit end enhver anden forretning. (De synes jo tværtimod at klare sig ganske godt).

Ikke desto mindre var det kun modstræbende, at fysikerne, midlertidigt som de mente, accepterede brugen af sandsynlighedsbegrebet i den fysiske beskrivelse af naturen, og til trods for, at man i slutningen af sidste århundrede havde opdaget en række forhold, der ikke passede ind i det klassiske billede, såsom de radioaktive processer, hulrumstrålingens egenskaber og resultatet af et berømt forsøg af Michelson over lysets udbredelse, så var det dog stadig den almindelige opfattelse lige op til vort århundrede, at fysikkens endelige mål måtte være at beskrive alle fysiske fænomener ved hjælp af de deterministiske mekaniske og elektromagnetiske ligninger, der var opstillet af Newton og Maxwell.

### 3. Relativitetsteoriens fremkomst

Med relativitetsteoriens sejrige gennembrud kort efter århundredskiftet udsattes den klassiske opfattelse af naturen for den første alvorlige rystelse. I

*Albert Einstein  
(1879–1955).*



De lidt usædvanlige billeder af de to grundlæggere af det 20. århundredes fysik er fotografier af bas-relieffer af den russiske kunstner Vladimir Lemport.

denne teori blev selve fundamentet, de Newtonske bevægelsesligninger og Newtons tyngdelov, erstattet med mere almene love, som dog indeholder de Newtonske love som en god første tilnærmelse, når legemernes hastigheder er små i forhold til lyshastigheden, og når tyngdefelterne er „svage“. Disse betingelser er overordentlig vel opfyldt for alle dagligdags bevægelser og også for planeterne i solens tyngdefelt, hvilket forklarer den Newtonske teoris enestående succes gennem flere århundreder.

Drejer det sig derimod om meget hurtigt bevægede partikler, som for eksempel i de store partikelacceleratorer, hvor partiklernes hastighed nærmer sig lysets hastighed, gælder de Newtonske ligninger ikke mere. De må i sådanne tilfælde erstattes af de relativistiske mekaniske ligninger, der netop finder deres væsentligste eksperimentelle bekræftelse i det faktum, at de store acceleratorer, der er konstrueret under hensyntagen til de relativistiske ligninger, virkelig fungerer. Også den Newtonske beskrivelse af planetbevægelsen viste sig kun at være tilnærmet rigtig. En nøjere beregning ved hjælp af relativitetsteoriens ligninger giver små afvigelser både i planetbevægelsen og i en lysstråles bane igennem



Niels Bohr  
(1885–1962).



solens tyngdefelt. Disse afvigelser er så små, at det først i de senere år har været muligt at påvise dem eksperimentelt med rimelig nøjagtighed.

Blandt de mange andre vigtige fysiske konsekvenser af relativitetsteorien skal jeg blot nævne, at begreberne energi og masse i denne teori er nøje forbundet, idet enhver energimængde har træghed, og enhver masse repræsenterer en betydelig energi, hvilket danner grundlaget for den store energiproduktion i kernekraftanlæggene. Endvidere skal nævnes, at mekanik og gravitation er uløseligt forbundet i denne teori, idet de mekaniske bevægelsesligninger er konsekvenser af de feltligninger, der bestemmer tyngdefelterne. Disse to fundamentale egenskaber har bidraget væsentligt til fysikkens enhed.

Relativitetsteoriens vigtigste og mest vedvarende resultat er dog vel nok dens indflydelse på vor filosofiske holdning, idet den medførte en dybtgående ændring af vore tilvante forestillinger om rum og tid. Newtons absolutte universelle tid blev erstattet af en relativ tid afhængig af iagttagernes bevægelsestilstand og af tyngdefeltet omkring ham. Også geometrien i det fysiske rum, bestemt ved udmåling af afstande ved hjælp af naturlige målestokke, er efter denne

teori afhængig af tyngdefeltet og af måleinstrumentets bevægelsestilstand, og i almindelighed viser det sig, at geometrien over store områder ikke er Euklidisk. Så langt fra at være *a priori* givet, som hævdet af Kant, kan rummets og tidens egenskaber først bestemmes ved eksperimenter, og de egenskaber, der blev forudsagt af teorien, er nu blevet verificeret ved meget nøjagtige målinger indenfor de sidste 20 år.

#### 4. Kvanteteorien

Til trods for de gennemgribende forandringer i vort verdensbillede, som relativitetsteorien medførte, bevarede den klassiske deterministiske årsagssætning sin gyldighed i denne teori; men med udviklingen af den fuldstændige kvanteteori, der fulgte efter Bohrs banebrydende arbejde fra 1913, måtte også denne den klassiske fysiks stærkeste fæstning give op. Når man nu bagefter med bagklogskabens hjælp tænker nøjere over det, er det måske heller ikke så mærkeligt. Atomteorien drejer sig jo om stoffernes mindste smådele, atomerne, som vi hverken kan se, høre, lugte eller røre ved. Det må derfor siges at være en mere end dristig ekstrapolation at antage, at atomerne består af klassiske partikler med veldefinerede baner og hastigheder bestemt ved de Newtonske mekaniske bevægelsesligninger, der jo var udledt fra erfaringer i den direkte sansbare makroskopiske verden. I slutningen af forrige århundrede var der da også en kreds af fremtrædende fysikere, der mente, at man aldrig nogen sinde ville blive i stand til at få oplysning om individuelle atomers opførsel. Med opdagelsen af radioaktiviteten blev denne pessimisme dog gjort til skamme, da man indså, at dette fænomen var forbundet med en omdannelse, et henfald af individuelle atomer. Ved forsøget på en beskrivelse af hyppigheden af disse henfaldsprocesser begyndte det at dæmre for nogle fysikere i hvert fald, at det nok ikke alene var praktisk, men måske principielt nødvendigt at benytte statistiske metoder i fysikken, idet der ikke syntes at være nogen mulighed for at bestemme, hvornår et individuelt atom henfalder. Derimod er sandsynligheden for et sådant henfald en direkte målelig størrelse.

I denne forbindelse er det vigtigt at huske på, *at vi til undersøgelse af atomernes mikroskopiske verden kun disponerer over instrumenter, der selv er af makroskopisk størrelse*, og at tale om mikrosystemers egenskaber, udover hvad vore måleinstrumenter kan oplyse os om, er en farlig spekulation, der ligesom



al ønsketænkning må være bandlyst fra fysikken. Betydningen af dette synspunkt blev først gradvist klar, efterhånden som den fuldstændige kvantemekanik blev udviklet. Denne teori, der på en rationel måde inkorporerer de Bohrske kvante-postulater, samtidig med at den indeholder den klassiske mekanik i en vis grænse, handler ikke om mikrosystemer slet og ret, men kun om mikrosystemer integreret i et makroskopisk hele, der definerer de eksperimentelle betingelser.

Når man i kvantemekanikken skal beskrive en partikel, en elektron f. eks., så opererer man med de samme størrelser, der karakteriserer en partikels tilstand i den klassiske mekanik, nemlig dens sted og bevægelsesmængde. Men på grund af eksistensen af det såkaldte virkningskvantum, der repræsenterer en nedre grænse for den ved enhver måling uundgåelige vekselvirkning mellem partiklen og måleinstrumentet, består der et udelukkelsesforhold mellem de to forsøgs-opstillinger, der tillader en eksakt bestemmelse af henholdsvis stedet og bevægelsesmængden af en atomar partikel. Til at karakterisere denne nye ejendomme-lige situation indførte Bohr begrebet *komplementaritet*.

En samtidig bestemmelse af sådanne komplementære størrelser som sted og bevægelsesmængde af en atomar partikel er i princippet kun muligt med en begrænset nøjagtighed bestemt ved de såkaldte Heisenbergske ubestemtheds-relationer. Man ser derfor, at der ikke kan være tale om at anvende Newtons bevægelsesligninger på en sådan partikels bevægelse, da forudsætningen for en anvendelse af disse ligninger er, at man kender sted og bevægelsesmængde nøj-agtig til een tid. I denne situation kan man højst forvente, at det er muligt at komme med sandsynlighedsudsagn om systemets fremtidige udvikling, og kvante-mekanikken forsyner os nu netop med den formalisme (Schrödingerligningen), der tillader os at beregne disse sandsynligheder.

I den mikroskopiske verden er den klassiske deterministiske kausalitet altså afløst af den lige så eksakte statistiske kausalitet. Denne sidste er mere almen end den første, og faktisk omfatter den kvantemekaniske beskrivelse den klas-siske beskrivelse, idet kvantemekanikken giver samme resultat som den klassiske mekanik, når den anvendes på en partikel af makroskopisk størrelse; men kvantemekanikken har et meget større anvendelsesområde. Som Dirac sagde engang: „Quantum mechanics explains a large part of physics and the whole of chemistry“ (hvilket vel nok er rigtigt i princippet om ikke i praksis). Først og fremmest forklarer den atomernes overordentlige stabilitet i modsætning til den klassiske mekanik og elektrodynamik, der anvendt på Rutherford's atommodel ville forudsige en meget hurtig kollaps af atomet. Dette forhold var netop Bohrs

udgangspunkt under formuleringen af kvantepostulaterne, og lige fra begyndelsen stod det Bohr klart, at dette skridt væk fra den klassiske beskrivelse var uigenkaldeligt. På den tid (omkring 1913) var dette svært at acceptere, selv for folk, der havde gjort et fremragende arbejde inden for området, og naturligvis endnu mere for folk, der kun var interesserede udenforstående.

Følgende sandfærdige anekdote illustrerer dette ganske godt. Ikke længe efter Bohrs første arbejde om brintatomet holdt han et foredrag i Fysisk Forening om materiens atomare opbygning, hvor han stærkt fremhævede kvantelovens uforenelighed med den klassiske mekanik. I den påfølgende diskussion deltog en ingeniør, der var landskendt for sine mange smukke brokonstruktioner. Han sagde, at han altid havde klaret sig godt med den klassiske mekanik, og at han ville føle sig mere tryk ved en atomteori baseret på de gode gamle Newtonske ligninger. Dertil svarede Bohr: Hvis de klassiske fysiske love gjaldt inden for atomerne, ville der overhovedet ikke findes noget stabilt materiale, som man kunne bygge broer af.

Det billede af den fysiske verden, som kvanteteorien byder os, er væsentlig forskelligt fra det billede, man dannede sig i forrige århundrede på grundlag af de klassiske fysiske love. I den klassiske fysik står iagttageren uden for naturen som en tilskuer, der ser verden udvikle sig efter strikte deterministiske love, alting er forudbestemt ved begyndelsestilstanden. Den vekselvirkning med det klassiske fysiske system, som er uundgåelig ved enhver måling af systemets tilstand, kunne gøres så lille, at den ikke havde nogen nævneværdi indflydelse på systemets senere udvikling. I princippet var der altså ingen grænser for den informationsmængde, den klassiske iagttagere kunne få om den fysiske verdens tilstand til enhver tid. Der var noget næsten overmenneskeligt ved denne klassiske iagttagere.

Med opdagelsen af virkningskvantet og den påfølgende udvikling af kvantemekanikken fik iagttageren tildelt en anden rolle, der bedre svarede til menneskets virkelige situation i verden. Den var på samme tid mere beskeden og mere vigtig. Ifølge den nye opfattelse er det ikke muligt, ja ikke engang meningsfuldt, at forsøge at tegne et billede af mikroverdenen uafhængigt af, hvordan den iagttages. Som ofte fremhævet af Bohr er et mikrosystem simpelthen *ikke defineret* uden en beskrivelse af det makrosystem, hvormed det står i vekselvirkning, og de to systemer danner et uadskilleligt hele. Ethvert indgreb, der er nødvendigt, når den menneskelige iagttagere foretager en måling, er en væsentlig intervention, der ændrer de betingelser, under hvilke mikrosystemet udvikler sig, hvilket Bohr



engang udtrykte med et citat fra Shakespeare: „Mennesket er både tilskuer og skuespiller i livets store spil“.

### 5. *Det uforanderlige*

Man kunne nu måske tro, at kvantemekanikken har bragt et subjektivt element ind i fysikken, ligesom også relativitetsteorien med dens relative rum og tid, der er afhængige af iagttagerens bevægelsestilstand, synes at bringe et subjektafhængigt element ind i teorien. Frygten for, at det 20. århundredes fysik har mistet et af den klassiske fysiks mest værdifulde egenskaber, dets objektivitet og dets rationalitet, er imidlertid ganske ubegrundet, for både relativitetsteorien og kvanteteorien leverer de nødvendige transformationer, der entydigt forbinder resultaterne af eksperimenter udført under forskellige forsøgsbetingelser. Ved hjælp af disse transformationer kan meddelte forsøgsresultater gøres forståelige for alle menneskelige iagttagere, der så kan udtale, om de er enige eller uenige med hinanden, på lignende måde som en amerikaner og en dansker kan blive enige om temperaturen på et bestemt sted til trods for, at de benytter forskellige temperaturskalaer, da der jo findes en bestemt (i dette tilfælde triviel) transformation, der forbinder Fahrenheitgrader og Celsiusgrader. Nej, naturvidenskabens *objektivitet* er bevaret, den er en juvel, som vi aldrig må kaste bort, for objektiviteten er en væsentlig forudsætning for, at den menneskelige fornuft kan bevare overtaget over alle former for overtro og obskurantisme, der jo endnu i vor tid har magt over mange sind, og som under særlige forhold kan antage helt uhyggelige former.

Til slut vil jeg gerne fremhæve et andet væsentligt træk ved vor videnskab, som virker betryggende i den forvirrende verden, vi lever i. Jeg tænker på det faktum, at en videnskabelig sandhed i de eksakte videnskaber i en vis forstand er evig. Når man taler om de store fremskridt, der er sket i fysikken i vort århundrede, er man tilbøjelig til at kalde dem revolutionerende, omvæltende, og jeg har formodentlig også gjort det i det foregående. Men et sådant udtryk er i virkeligheden ikke helt dækkende; for det kunne give indtryk af, at de gamle teorier er blevet fuldstændig forkastet, og det er faktisk ikke på den måde, at fremskridtene sker i de eksakte videnskaber. Videnskabens historie viser, at udviklingen af fysikken altid er foregået ved udvidelser af de gamle teorier, sådan at de omfatter et stadigt større erfaringsområde. De gamle teorier forbliver

gyldige indenfor deres anvendelsesområde, hvis grænser ganske vist først bliver veldefinerede, efter at den udvidede mere omfattende teori er formuleret.

Således er f. eks. de Newtonske mekaniske love stadigvæk gyldige indenfor deres anvendelsesområde, som vi nu ved er begrænset til makroskopiske legemer med hastigheder, der er små i forhold til lyshastigheden. Som den russiske fysiker *Lev Landau* en gang udtrykte det: „en astronaut, som foreslår at beregne sin bane ved hjælp af den relativistiske mekanik eller kvantemekanikkens *Schrödingerligning*, burde indlægges på et statshospital“. Ganske vist ville det i princippet være muligt at benytte disse mere almene teorier, men de ville i dette tilfælde give samme resultat som de meget simple Newtonske love; for astronauten er til enhver tid under sin rejse indenfor disse sidstes anvendelsesområde.

I den forstand er de videnskabelige sandheder evige, eller man skulle vel snarere sige, at de vil blive ved med at blive anerkendte som sandheder, så længe videnskabelig virksomhed danner en væsentlig del af menneskenes aktivitet.



## Litteraturhenvisninger

Niels Bohr: *Atomfysik og Naturerkendelse* (Schultz 1957).

Oskar Klein: *Einsteins Relativitetsteori* (*Natur og Kultur*, Stockholm 1933).

C. Møller: *Kvanteteori og Naturerkendelse* (*Videnskaben i Dag*, Schultz 1944).

C. Møller, Ebbe Rasmussen og Jørgen Kalckar: *Atomere og andre Småting* (Rhodos, København 1969).

Mogens Pihl: *Den moderne naturerkendelse* (*Mennesket i Tiden IV*, H. Reitzel, 1952).

Léon Rosenfeld: *Erkendelsesteori på naturvidenskabeligt grundlag* (*Physica Norvegica* 5, 1971).





*Grundvidenskaben i dag* er navnet på en foredragsrække, Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab begyndte i efteråret 1976. Formålet er at bidrage til en større forståelse af den forskning, der ikke direkte stiler mod praktisk anvendelse, men mod forøget indsigt i sammenhængen i verden.

Pjeceserien bygger på disse foredrag. Forfatterne er fremtrædende forskere hentet såvel i som uden for Selskabets medlemskreds. Fremstillingen er gjort så almen, at det enkelte hæfte kan tjene som udgangspunkt for en videre beskæftigelse med de behandlede fag og emner. Hertil hjælper også omfattende litteraturhenvisninger.

Behandlingen af de enkelte naturvidenskabelige og humanistiske videnskabsgrene sigter mod at give et indtryk af forskningens udvikling i den sidste menneskealder. Det drejer sig ikke alene om metoder og resultater; også spørgsmålet om grundforskningens praktiske betydning og de farer, den kan rumme, berøres. I det første hæfte drøftes den grundvidenskabelige forskning som helhed samt dens samfundsmæssige rolle.

---

De nedennævnte 10 pjecer forventes udsendt 1977-78. De nummererede er allerede udkommet:

1. Mogens Pihl: Hvad er grundvidenskab?
2. Erling Bjøl: Politik som videnskab.
3. Søren Egerod: Det fjerne Østens sprog – sammenhænge og påvirkninger.
4. C. Møller: Omvæltninger i fysikernes tankeæt i vort århundrede.  
Arne Noe-Nygaard: Jordens nye ansigt.  
Olaf Pedersen: Videnskabshistorien og dens aktuelle betydning.  
Erik A. Nielsen: Hvad kan litteraturvidenskaben?  
Ingmar Bengtsson: Musikvidenskaben nu og i fremtiden.  
Ole Maaløe: Biologiens molekylære grundlag.  
B. Gomard: Retsvidenskabens opgaver og metode belyst ved eksempler fra aktieselskabsretten.

**Pris kr. 12,85 incl. 18 % moms.**

**ISBN 87-87696-03-7**