

# Komplementaritetssynspunktet konsolideres og udbygges

*Af Léon Rosenfeld*

Året 1929 betød et vendepunkt i kvanteteoriens udvikling: Det markerer enden på den heroiske periode, hvori såvel den matematiske formalisme som de grundlæggende fysiske ideer, der tilsammen udgør kvantemekanikken for atomare systemer, blev skabt, og det betegner indledningen til nye bestræbelser af ikke mindre storslået rækkevidde, nemlig forsøget på at løse de langt vanskeligere problemer vedrørende de elektromagnetiske kræfter og de andre byggestene for den materielle verden, som efterhånden blev opdaget. Efter Diracs berømte afhandling om teorien for elektronen var det det almindelige indtryk, at alle de fundamentale træk i atomfysikken var blevet smukt indarbejdet i den nye begrebsbygning. De to andre pionerer i atomernes verden, Heisenberg og Pauli, vendte sig med karakteristisk iver mod den største opgave, der stod tilbage, nemlig at udstrække anvendelsen af de nye kvantiseringemetoder til det elektromagnetiske felt, og overlod til mindre ånder at afpudse detaljer inden for den bestående atomteori. For den, der ikke selv har oplevet det, vil det være svært at forestille sig den begejstring, for ikke at sige det overmod, der fyldte os i hine dage. Jeg skal aldrig glemme, hvordan en af mine venner (der nu er en ledende skikkelse inden for fysikken) rammende udtrykte sit syn på vore fremtidsudsigter: »I løbet af nogle år«, sagde han, »har vi bragt elektrodynamikken i orden. Derefter behøver vi endnu nogle år til atomkernerne, og så er fysikken afsluttet. Så kan vi gå i gang med biologien.«

Det faldt naturligvis ikke Bohr ind, at fysikken snart ville være »afsluttet«. Tværtimod så han endnu så mange spørgsmål inden for kvantemekanikken, der stadig ventede på en opklaring, at han i begyndelsen var tilbøjelig til at tvivle om betimeligheden af at forfølge de undersøgelser af kvanteelektrodynamikken, som var blevet indledt af Heisenberg og Pauli. Enhver teori, der ikke var solidt forankret i et eller andet konkret stykke virkelighed, var genstand for hans dybeste mistillid, og de vanskeligheder, som man var stødt på under forsøgene på at udstrække kvanteteorien til elektrodynamikken, forekom ham at ligge i den grad fjernt fra enhver kendt fysisk situation, at

det ikke var let at overtale ham til at tage dem alvorligt. Han plejede at drille mig ved at henlede min opmærksomhed på en eller anden simpel proces, hvori der indgik elektromagnetisk stråling, for derpå – med den elskeligste stemme, men med et maliciøst glimt i øjet – at spørge, hvorledes jeg mon ville behandle dette tilfælde med kvanteelektrodynamikkens lærde metoder. Svaret kom sædvanligvis først efter megen famlen og så skrækkeligt indviklet ud. Det var netop, hvad han ventede, og han benyttede lejligheden til at indskærpe mig faren ved at ekstrapolere formelle metoder ud over det erfaringsområde, for hvis beskrivelse de var blevet udviklet, og nødvendigheden af at søge et fast grundlag for vore højtravende abstraktioner i et eller andet konkret fænomen, som var umiddelbart tilgængeligt for iagttagelse.

Han følte, at tilvejebringelsen af et sådant fast grundlag endnu ikke var fuldendt inden for kvantemekanikken, til trods for det betydelige fremskridt, der i denne henseende var nået gennem Heisenbergs analyse af ubestemt-hedsrelationerne for mekaniske størrelser. Bohrs bestræbelser i de følgende år – lige til han i 1936 vendte sig mod kernefysikkens hastigt voksende område – koncentrerede sig jo netop om den opgave at uddybe og befæste det begrebsmæssige grundlag for kvanteteorien. Han ledtes endog til at udstrække denne undersøgelse til netop den udvikling af elektrodynamikken, til hvis holdbarhed han havde stillet sig så tvivlende, men som skulle ende med at frembyde det mest lærerige eksempel til efterprøvning af hans metoders styrke og forfinelse af formuleringen af hans synspunkter. Dette arbejde, hvis karakter er uden forhistorie i fysikken, betød i virkeligheden skabelsen af et helt nyt område inden for den fysiske videnskab, og Bohr måtte først finde ud af, hvilke spørgsmål, der var de rette at stille, og derefter udvikle metoder til at undersøge disse problemer og en egnet terminologi, i hvilken svarene kunne formuleres. Det nye i den situation, hvori fysikerne befandt sig, var, at de var stillet over for erkendelsesteoretiske problemer, der var af langt dybere natur end noget, de hidtil var stødt på. Det princip, der syntes rokket, var den traditionelle opfattelse af årsagsloven i fysikken, idealbilledet af universet, hvis udvikling var fastlagt af altomfattende love, og dermed også den hele rationelle metode til analyse af fænomenerne, som altid havde været videnskabens ufejlbarlige ledetråd. Det var imidlertid netop den urokkelige tillid til denne metode, som var kilden til Bohrs styrke i dette kritiske øjeblik. I modsætning til flertallet af fysikere, som viste sig ganske uforberedt på en sådan krise, var Bohr fuldstændig ube-



rørt af tidens filosofiske systemer, fordi han klart så, at det fundamentale punkt var den éntydige meddelelse af erfaringer; et problem, som det er lige så håbløst at ville løse ved – uden hensyntagen til de betingelser, hvorunder iagttagelserne er gjort – at ville tvinge beskrivelsen af de vundne erfaringer ind i en på forhånd udtænkt logisk ramme, ligesom i en spændetrøje, som ved påberåbelse af en eller anden form for mysticisme, idet jo den rent subjektive karakter af en såkaldt irrationel opfattelse af erfaringer gør den uegnet til utvetydig meddelelse.

Kun fordi Bohr angreb dette problem med en så enestående fordomsfrihed, lykkedes det ham at løse det så fuldstændigt. Han blev belønnet med forståelsen af, at komplementaritetssynspunktet som en generalisation af den traditionelle form for kausalitet kunne finde frugtbar anvendelse langt uden for atomfysikken, at det, som han måtte vente, var af universel betydning. Efterhånden som hans indsigt i komplementaritetens rolle i fysikken uddybedes i løbet af disse frugtbare år, blev han i stand til at påpege situationer inden for psykologi og biologi, som også frembød komplementære træk, og omvendt kastede diskussionen af sådanne erkendelsesteoretiske analogier nyt lys over de uvante problemer i fysikken.

Det vil ikke være muligt at finde noget systematisk fremskridt i denne uhyre omfattende og indviklede undersøgelse. Det var typisk for Bohrs måde at nærme sig problemerne på, at han – ligesom Goethe – villigt gav efter for »die Forderung des Tages«, dagens krav. Han sad ingen opfordring af betydning overhørig. Selv midt i en krævende overvejelse ville han forlade det arbejde, han var i gang med, for med samme energi at kaste sig over en ny opgave, hvis han følte at dens løsning ville føre til opklaring af et tvivlsomt punkt. Opfordringen kunne indfinde sig i skikkelse af en indbydelse til at give en forelæsning ved en eller anden festlig lejlighed – eller i form af en påmindelse om at levere den lovede skriftlige version af en allerede holdt forelæsning. Det kunne også hælde, at en bemærkning i et brev, i en samtale eller i et kollokvium, sommetider ganske uventet, ville sætte en tankerække i gang hos ham, hvis slutresultat var lige så vanskeligt at forudsige som dens begyndelse.

Bohrs tænke måde var væsentlig dialektisk snarere end reflekterende. Selvom han naturligvis, især i søvnløse nætter, tilbragte mange timer med ensomme overvejelser, behøvede han dog en tilskyndelse i form af en dialog til at sætte tankerne i gang. Hvis der var én ved hånden, der ville ytre tvivl, kunne dialogen udvikle sig meget livligt, for så snart Bohr så vejen til sagens

opklaring, fastholdt han sin pointe med grænseløs iver og vedholdenhed – slet ikke for at overvinde opponenter, men for at få ham til at deltage i hans egen glæde over at have løst vanskelighederne. Skabelsesprocessen krævede altså af Bohr ikke alene den yderste koncentration, men medførte tillige en egen følelsesmæssig spænding, der farvede hans hele filosofi. For ham lod udforskningen af naturen sig aldrig løsrive fra dens menneskelige konsekvenser, ingen forståelse af naturens lovmæssigheder var fuldkommen uden en nøje afstemt formulering og meddelelse, og opdagelsesfærden var et møde mellem naturen og det menneskelige intellekt, som han oplevede med dramatisk intensitet.

Bohr følte undersøgelsens spænding og glæden ved dens fuldendelse så intenst, at han ønskede at alle omkring ham skulle dele dem. Selv efter mange års forløb huskede han i enhver detalje argumenternes fremadskriden, og han kunne fortælle historien igen og igen med samme livfuldhed og friskhed. Det var karakteristisk for disse uforglemmelige samtaler, der tydeligt illustrerede det væsentligt dialektiske i hans måde at tænke på, at han aldrig prøvede at tegne noget endeligt billede, men tålmodigt gennemgik alle faser af problemets udvikling med udgangspunkt i et tilsyneladende paradoks for gradvis at nå til dets opklaring, og han betragtede aldrig de opnåede resultater på anden måde end som udgangspunkter for videre undersøgelse. Når han overvejede mulighederne i undersøgelser i en eller anden retning, så han bort fra alle de sædvanlige hensyn til simpelhed, elegance, ja endog den logiske modsigelsesfrihed, idet han bemærkede, at sådanne ting kun kan bedømmes rigtigt bagefter: »Jeg kan ikke forstå,« plejede han at sige, »hvad man kan mene med at kalde en teori smuk, hvis den ikke er rigtig.« Hvad han derimod ville tillægge stor vægt i diskussionen af den fremsatte hypotese var, hvorvidt man kunne argumentere for den på grundlag af det, man allerede vidste. For Bohr var logisk analyse således ikke en blot verifikation af modsigelsesfrihed (som han betragtede som trivial), men et virkningsfuldt, konstruktivt redskab, som kunne dreje det søgende intellekt ind på det rette spor.

At Bohr fandt logikkens praktiske formåen i dens dialektiske karakter illustreres af den slående kommentar som han ved mere end én lejlighed knyttede til sit eget første indtryk af en videnskabelig opdagelse: »Det afgørende punkt i Rutherford's atommodel var, at den gjorde det helt klart, at atomernes stabilitet ikke kunne forklares på grundlag af den klassiske fysik, og dermed pegede på kvantepostulatet som den eneste mulige udvej fra det akutte



Niels Bohr var en passioneret piberyger og brugte et utal tændstikker til at holde ild i piben. Han benyttede derfor også helst store tændstikæsker





På rejse i Kina i 1937. På det øverste billede ægteparret Bohr med den kinesiske fysiker Wu i det gamle kejserpalads i Peking. Nederst: Ved en dam i Hangchow



dilemma. Det var netop skarpheden i uoverensstemmelsen, der gav mig absolut tillid til kvantepostulatets rigtighed«. Han havde endnu denne belæring i tankerne, da han i en af de sidste samtaler påpegede, at grunden til, at der ingen virkelige fremskridt var sket i teorien for de fundamentale partiklers opførsel ved meget høje energier var, at man endnu ikke blandt disse processer var stødt på nogen, som i tilstrækkelig grad stred mod, hvad man skulle vente på grundlag af vore nuværende ideer, og som derved var i stand til at give en klar og utvetydig antydning af, hvorledes disse ideer måtte modificeres.

Det var denne Bohrs drift til at søge efter de dybere logiske sammenhænge i de problemer, som kom for dagen ved analysen af fysiske fænomener, der sammen med hans forunderlige intuition for disse problemers væsentlige træk og hans overlegne evne til med ét blik at gennemskue deres videste konsekvenser, betingede hans enestående stilling blandt fysikerne. Han var sig sine evner fuldstændig bevidst, men hans dybe menneskelighed, hans stadige opmærksomhed derpå, at videnskabelige sandheder er et fælles gode og søgen efter dem en fælles bestræbelse, frelste ham fra den brist, der er så almindelig hos store mænd: at lukke sig inde med deres eget billede af verden uden vilje eller evne til at forstå andre synspunkter. Tværtimod var Bohr altid overmåde ivrig efter at »lære« (som han med uskrømtet beskedenhed udtrykte sig) af andres ideer. Han overvejede omhyggeligt ethvert forslag, og han fremlokkede vedholdende kritiske bemærkninger om sine egne standpunkter. I særdeleshed værdsatte han sin gamle ven Ehrenfests mening, den store kritiker fra den svindende klassiske tidsalder, såvel som ideer fremsat af de pionerer og bannerførere for den nye tid, som indtil fornylig havde været hans elever og medarbejdere: Kramers, Klein, Heisenberg, Pauli, Dirac. Men han overvejede med samme samvittighedsfulde omhu de beskedne iagttagelser, som fremsattes af hans yngre og meget mindre erfarne hjælpere i disse år: Casimir og mig selv.

Den, der i den hele gruppe stod Bohr nærmest, var utvivlsomt Pauli, selvom Heisenberg naturligvis også var i den nøjeste videnskabelige og personlige kontakt med ham. En vidunderlig forening af dybsindig intuition og formel virtuositet inspirerede Heisenberg til strålende og brillante ideer. Pauli brillerede ikke. Han lagde ganske som Bohr eftertrykket (sommestider tungt) på den logiske side af problemerne, og hans indsats var snarere frugten af en gennemtrængende kritik end af fantasi. Således var de træk i atomernes spektre, som direkte afhænger af atomernes elektronstruktur, med

stort skarpsind blevet analyseret af Stoner, der endog rigtigt havde formuleret den regel, hvorefter denne struktur varierer fra atom til atom; men at erkende denne regel som udtryk for det generelle »udelukkelsesprincip« med universel gyldighed krævede imidlertid Paulis sans for den dybere harmoni i atomteorien. Som Ehrenfest engang udtrykte det: Han havde »med fin næse lugtet sig frem til det« (»mit feiner Nase herausgerochen«). Det var da intet under, at Bohrs klarlæggelse af de komplementære træk i kvanteteorien fandt fuld genklang i Paulis sind; og da Pauli forstod, at hans egne kritiske evner ikke rakte ned til disse dybder, var hans tilegnelse af Bohrs ideer parret med en følelse af taknemmelighed og næsten sønlig hengivenhed.

Bohr havde på sin side den største respekt for Paulis kritik. Denne var sædvanligvis udtrykt i spøgende form med den blanding af underfundigt vid og uhæmmet sarkasme, for hvilken Pauli var berømt. Bohr morede sig over vittighederne og lod sig ikke imponere af sarkasmen, men han tog ideerne der lå bag skæmtten meget alvorligt. Et brev fra Pauli var en virkelig begivenhed. Bohr ville tage det med sig, hvor end dagens pligter kaldte ham hen, og ikke forsømme nogen lejlighed til at kigge i det igen eller vise det til nogen, der var interesseret i det problem, der var under debat. Under påskud af at lave udkast til et svar, kunne han i dagevis i træk holde en tænkt dialog gående med den fraværende ven, næsten lige så livligt som om han virkelig havde siddet der og lyttet med sit sardoniske smil. Jeg gik som sædvanlig til hånde i min rolle som hjælper med at udforme de mere matematiske betragtninger og iøvrigt ved at tilkendegive ved tilslutning eller afvisning, om de bemærkninger, som Bohr tøvende foreslog, syntes mig at ramme det punkt, der var under diskussion, eller ikke.

Det var netop den måde, Bohr foretrak at arbejde på: at have én hos sig, over for hvem han følte sig fri til at tænke højt, og på hvem han bogstavelig talt kunne prøve formuleringen af sine tanker, efterprøve dens egnethed til at opfylde sin ene afgørende funktion: at formidle éntydig meddelelse. Ind imellem dikterede han et par sætninger, som håndgribeliggjorde argumenternes fremadskriden. De var snarest ment som en hjælp for medarbejderen, eftersom Bohrs egen utrolige hukommelse gjorde sådanne optegnelser overflødige for ham selv. Når det kom til stykket, ville han næppe nogensinde se på disse notater, men hellere påny udkaste sætningerne forfra, om og om igen, med uudtømmelig tålmodighed og langsomt nærmende sig den omhyggeligt afbalancerede form, hvori han omsider ville anse dem for egnet til offentliggørelse.



På den måde svandt uge efter uge i møjsommeligt kamp for at ordne vore begreber i ydmyg lydighed mod de belæringer vi modtog fra naturen. For netop dette var Bohrs ideal i videnskaben, og ingen af dens dyrkere har nogensinde med mere hengivelse levet op til det. Tidens gang ville have været umærkelig, hvis det ikke havde været for de hyppige forstyrrelser i form af praktiske forpligtelser, som Bohr altid samvittighedsfuldt opfyldte. Men hver dag var en arbejdsdag og bragte sin opgave. Det kunne være en fortsættelse af gårsdagens arbejde, eller det kunne være en ny sag, som krævede opmærksomheden. De største anstrengelser var måske helliget diskussionen af det komplementære forhold, der hersker mellem visse fysiske størrelser som følge af eksistensen af virkningskvantet, og som gennem kvantiseringen kommer til udtryk i en begrænsning af den samtidige målelighed af sådanne størrelser. Men ved siden af disse i høj grad tekniske spørgsmål lagde Bohr et stort og hårdt arbejde i udforskningen af mulighederne for at udstrække anvendelsen af komplementaritetsbegrebet til andre kundskabsområder. Han betragtede ikke denne opgave som mindre væsentlig end sine rent fysiske undersøgelser, og han hentede ikke mindre tilfredsstillelse fra dens gradvise afklaring.

Komplementaritetsbegrebet melder sig så snart vi, for eksempel ved at reflektere over dagligdags psykiske erfaringer, stilles over for et valg mellem to standpunkter, som, omend de er indbyrdes modstridende, dog hver for sig kan retfærdiggøres. Således må vi i forbindelse med oplevelsen af et kunstværk vælge mellem at hengive os til de følelser, som det vækker til live i os, eller at analysere den sammensmeltning af nutidige og erindrede fornemmelser, som i hjernen associeres med den pågældende følelse. Her har vi to forskellige måder at nærme os det samme fænomen på, som begge er lige væsentlige for en fuld forståelse af fænomenets karakter, men som gensidigt udelukker hinanden. Sådanne situationer er naturligvis så almindelige, at det kan synes temmelig trivielt at understrege deres forekomst så højtideligt; men hvis vi går videre for at undersøge, hvorledes vi meddeler andre den følelse, vi har oplevet, eller resultatet af dens analyse, møder vi et virkeligt problem. Vi opdager nemlig, at vi kun har ét og det samme navn til rådighed til at kendetegne såvel den umiddelbart oplevede følelse som den ledsagende mangfoldighed af fornemmelser. De to komplementære sider er så intimt forbundet, at man med overlæg beskriver dem med det samme ord. Vi har her at gøre med en meget fundamental tvetydighed

i sproget, som dog i almindelighed er ret uskadelig i det daglige samkvem, men som ikke desto mindre kan narre uforsigtige filosoffer til for eksempel ganske uberettiget at overføre den umiddelbare følelse af viljens frihed til de fysiologiske processers domæne, der er komplementært hertil, og dermed nå til den forestilling, at der i disse processer må være tale om en særegen mangel på determinering.

Siden sin tidligste ungdom havde Bohr været optaget af dette problem om sprogets tvetydighed og havde med sikker intuition grebet dets væsentligt dialektiske karakter. Om denne hans tænke-mådes dialektiske orientering, der ikke var resultatet af nogen formel skoling, men frugten af dybt originale spekulationer, har vi et morsomt vidnesbyrd i den fortryllelse som den indtagende fortælling »En dansk Students Eventyr«, denne perle i dansk romantisk litteratur, mere end nogen lærd afhandling udøvede over hans tanker. Det er ikke for meget at sige, at licentiatens dilemma, som følge af at han har forvildet sig i selviagttagelsens labyrint, udgjorde den eneste praktiske belæring i Hegelsk logik, Bohr nogensinde modtog; han glemte den aldrig. Enhver, der kom i nærmere kontakt med Bohr på Institutet, stiftede, så snart han viste den fornødne kyndighed i det danske sprog, bekendtskab med den lille bog: det hørte med til hans indvielse. Bohr udpegede de scener, hvor licentiaten beskriver, hvorledes han ikke mere kan holde tal på sine mange jeg'er eller holder foredrag om umuligheden af at formulere en tanke, og fra disse spøgefulde antinomier ledte han så sin partner i samtalen – ad veje som Poul Martin Møller aldrig drømte om – til kernen i problemet om utvetydig meddelelse af erfaringer og understregede dermed dramatisk problemets alvor.

Havde vi imidlertid kun haft de psykiske oplevelser at støtte os til, ville det have været svært at nå nogen vegne med analysen af dette bemærkelsesværdige erkendelsesteoretiske problem. Det er derfor et held, at vi inden for atomfysikken er blevet tvunget til at være opmærksomme på et komplementaritetsforhold af meget simple karakter, for hvilket det var muligt at finde en langt mere præcis, nemlig en matematisk formulering. Af det ovenfor berettede fremgår det, at det ikke var noget tilfælde, at det var Bohr, der tog dette afgørende skridt fremad i erkendelsesteorien. Han havde allerede på et tidligt tidspunkt lejlighed til at konstatere, hvor relevante hans synspunkter vedrørende sprogets tvetydighed var endog inden for fysikkens område. Han så, at man i begrebet »lys« havde at gøre med en sådan tvetydighed, for så vidt som dette begreb omfattede egenskaber ved



fænomenerne – lysbølger og lyskvanter – der stod i et sådant gensidigt udelukkelsesforhold, som han senere gav navnet komplementaritet. Han var derfor vel forberedt til ud fra det samme synspunkt at analysere det dobbelte aspekt, under hvilket elektronen (såvel som alle andre fundamentale partikler) måtte betragtes. Heisenbergs opdagelse af ubestemthedsrelationerne mellem de størrelser, der fastlægger elektronens position i rum og tid, og dem, der karakteriserer dens dynamiske egenskaber, gav Bohr den afgørende nøgle til en nøjagtig analyse af dette særlige komplementaritetsforhold. Han førtes her til en stadig mere detaljeret og dybtgående undersøgelse af de betingelser, hvorunder vi definerer de grundlæggende begreber i fysikken og benytter dem ved beskrivelsen af vore erfaringer. Disse begreber, som for eksempel bølge og partikel, er tilpasset så nøjagtigt til vore vilkår for iagttagelse, at vi ikke kan undvære noget af dem. Når vi har at gøre med atomare systemer, viser det sig imidlertid, at deres anvendelse er underkastet den gensidige begrænsning, der er udtrykt i ubestemthedsrelationerne. Fysisk set er denne begrænsning en konsekvens af eksistensen af virkningskvantet, der sætter en grænse for mulighederne for underdeling af de atomare processer. Fra et erkendelsesteoretisk standpunkt har de komplementære forhold mellem forskellige begreber, der er en konsekvens af den gensidige begrænsning i deres gyldighed, sin rod i nødvendigheden af at sikre éntydig meddelelse. Således fremstod nu de pointer, der kun uklart anedes i analysen af psykiske oplevelser, i deres fulde skarphed.

Den mest betydningsfulde nye indsigt, som blev vundet gennem studiet af kvantemekanikkens grundlag, var den dybere forståelse af den iagttagelsesproces, hvorigennem vi erhverver vor viden om naturen. Det er væsentligt at forstå, at enhver iagttagelse indebærer en opdeling af den endnu udifferentierede strøm af begivenheder i to skarpt adskilte dele: iagttageren og det iagttagne system. Det er ved at lægge – eller rettere tænke sig lagt\*)

\*) Forskellen mellem et virkeligt forsøg og et tankeeksperiment, der så ofte indgår i fysiske betragtninger, kommer klart frem i følgende bemærkning af Maxwell: »Med en tænkt overflade mener man en overflade, der ikke har nogen fysisk eksistens, men som man kan forestille sig tilstedeværelsen af, uden at det ville have nogen indflydelse på de fysiske egenskaber af det materiale, som befinder sig i det pågældende rumområde. Således kan vi forestille os en mands hoved delt i to lige store dele af en lodret plan, og ved hjælp af denne tænkte flade kan vi give vor opfattelse af hans hovedfacon en mere præcis form, selvom ethvert forsøg på at erstatte den tænkte flade med en fysisk ville være strafbart.« (J. C. Maxwell, *An Elementary Treatise On Electricity*, Oxford 1881, p. 46).

– et sådant snit, at iagttageren indtager den stilling »uden for« det iagttagne system, som sætter ham i stand til at beskrive det iagttagne system »objektivt«, d. v. s. på samme måde som enhver anden iagttagere i hans sted. Sådanne snit kan lægges på mange måder – svarende til at man kan betragte den samme ting under mange forskellige synsvinkler – men begreberne, som er indrettet til at udtrykke resultaterne af iagttagelserne, er forbundet med iagttagereens standpunkt på en sådan måde, at det altid er muligt at gå fra ét standpunkt til et andet og dermed sikre fuld objektivitet. I fysikken, hvor man begrænser undersøgelserne til sider af erfaringerne, hvorfra alle manifestationer af livsprocesser er udelukket, er den eneste del af »iagttageren«, der kommer ind i billedet, i sig selv et fysisk system, et apparat, der registrerer signaler eller permanente spor, efterladt deri af det iagttagne system, og som en eller anden virkelig iagttagere (eller tilstrækkelig sammensat »hjerne«) kan undersøge og »aflæse« i ro og mag, når han måtte ønske det.

At et sådant program for objektiv beskrivelse af universet ikke er så fantastisk, som det lyder, bevises til overflod af den såkaldte klassiske fysiks triumftog. Ved at lægge vægt på den kvantitative side af fænomenerne, som er tilgængelig for matematikken, det mest udsøgt forfinede af alle sprog, har det været muligt at formulere lovmæssighederne i mekanikken, elektromagnetismen og gravitationen på en sådan måde, at kun det måleresultat, iagttagereens apparat viste, kom i betragtning, hvorimod dette apparats virkemåde og endog dets tilstedeværelse er helt elimineret fra beskrivelsen. Iagttagereen er så effektivt »stillet udenfor«, at han fuldstændigt forsvinder ud af billedet. Det behøver næppe siges, at dette er en temmelig vidtgående idealisering af de virkelige forhold, men det er en idealisering, der fungerer vidunderlig godt. Men – og dette er kvanteteoriens afgørende belæring – den fungerer kun, når vi har at gøre med fænomener, hvori der indgår mange kvanter: store legemer, som består af mange atomer eller elektromagnetiske felter af lav frekvens indeholdende mange lyskvanter. Når vi derimod ønsker at beskrive de enkelte atomare processer, kan vi kun anvende de klassiske begreber på komplementær måde. Det er vigtigt at forstå, at denne komplementaritet ikke sætter nogen absolut grænse for anvendelsen af noget *enkelt* klassisk begreb. Vi kan jo slet ikke lade være at betragte de atomare processer på den klassiske måde; det er den eneste mulighed for at opnå en objektiv beskrivelse: Vi må iagttage disse processer med vore klassiske apparater, og her møder vi (i det mindste i princippet) absolut ingen be-



grænsning i den ideale nøjagtighed, hvormed vi kan måle hver *enkelt* størrelse, der karakteriserer processen. Men vekselvirkningen mellem det atomare system og apparatet kan, fordi den er »kvantiseret«, ikke ved en sådan måling kontrolleres under en vis grænse, der er bestemt af virkningskvantet, og denne omstændighed gør det umuligt nøjagtigt at bestemme andre størrelser, som refererer til samme proces. Dette er indholdet af Heisenbergs ubestemthedsrelationer, meningen med komplementariteten mellem forskellige måder at betragte den samme proces.

Som en direkte følge af denne situation er det nu absolut nødvendigt i definitionen af et hvilket som helst fænomen at specificere vilkårene for dets iagttagelse, arten af det apparat, der bestemmer den særlige side af det fænomen, vi ønsker at iagttage, og vi må være forberedt på, at forskellige iagttagelsesbetingelser kan være uforenelige med hinanden i det omfang, der er angivet ved relationer af den Heisenbergske art. I sådanne situationer taler man om komplementære sider af det atomare fænomen eller simpelthen om komplementære fænomener, idet man så i begrebet »fænomen« indbefatter opregningen af alle de omstændigheder, hvorunder systemet er iagttaget. Denne terminologi er også velegnet til at klargøre forholdet mellem komplementaritet og kausalitet. Den klassiske fysiks ubrudte kausale kæde af fænomener er strengt taget en illusion. Hvert fænomen udgør i virkeligheden en helhed, der afsluttes ved registreringen af permanente spor i måleapparatet, og dets sammenkædning med andre fænomener er langt mere vidtrækkende, end man forestillede sig i den klassiske fysik. De danner et indviklet netværk, hvorfra der i hvert punkt udgår ikke blot en enkelt udviklingslinie, men en hel række af muligheder, som hver især er tilordnet en bestemt sandsynlighed for at den skal forekomme. Den klassiske fysiks determinisme fremtræder blot som et specielt tilfælde af denne mere omfattende statistiske kausalitet. Den svarer til iagttagelsesomstændigheder, hvor vi ikke skelner mellem de mange beslægtede linier, der fører til næsten samme resultat, men blot taler om dem som et enkelt, bestemt begivenhedsforløb.

Dette er altså i grove omrids den nye erkendelsesteori, som gradvis voksede ud af Bohrs tålmodige og møjsommelige analyse af, hvad kvantemekanikken indebar. At han her havde at gøre med helt almindelige egenskaber ved menneskelig erkendelse, stod ham klart lige fra begyndelsen. Han var lykkelig over den lejlighed, som kvanteteorien gav ham til at udforme sine tidligere spekulationer over de komplementære træk ved psykiske op-

levelser, og han holdt meget af fra dette område at fremdrage illustrationer til de nye ideer. Således kunne han for at klargøre nødvendigheden af at skelne skarpt mellem iagttagelsesmidlerne og det iagttagne system anføre det kendte eksempel med en blind mands stok: Hvis man holder stokken fast i hånden, kan den bruges – som en slags forlængelse af denne – til at udforske omgivelserne ved berøring. Hvis man derimod holder den løst, bliver den selv til en genstand, hvis tilstedeværelse røbes for hånden gennem berøringssansen, og stokken mister derigennem sin funktion som et redskab for iagttagelse.

Med udviklingen af kvanteelektrodynamikken dukkede snart nye erkendelsesteoretiske problemer op. Medens det i kvantemekanikken drejede sig om kræfter, der virkede i bestemte punkter i rummet, nemlig på partikler, omhandlede teorien for elektromagnetismen kontinuerte rumlige kraftfordelinger i form af elektriske og magnetiske felter. Ifølge denne teori indebærer kvantiseringen af de elektriske og magnetiske felter, at middelværdien af disse felters intensitet i et vilkårligt rum-tids-område undergår fluktuationer, som til stadighed optræder fuldstændig tilfældigt. Landau og Peierls havde argumenteret for, at forekomsten af sådanne fluktuationer måtte betyde, at det var umuligt at bestemme feltintensiteter med ubegrænset nøjagtighed, og at begrebet et elektromagnetisk felt i virkeligheden var ganske meningsløst for så vidt angik beskrivelsen af kvanteprocesser. Teorien forudsagde yderligere eksistensen af gensidige ubestemthedsrelationer mellem forskellige middelintensiteter beregnet for forskellige rum-tids-områder af samme almindelige form som ubestemthedsrelationerne mellem mekaniske størrelser. Men hvis Landau og Peierls havde ret, ville man i elektrodynamikken have at gøre med en langt alvorligere begrænsning i brugen af klassiske begreber, og selvfølgelig fortjente en så vidtrækkende påstand den omhyggeligste undersøgelse.

Denne udfordring kunne ikke lade Bohr uberørt. Han kastede sig med liv og sjæl over problemet, og det tog ham (og mig, som hjalp ham med opgaven) mange måneders hårdt arbejde at løse det. Jeg må modstå fristelsen til at genopfriske alle faserne af denne undersøgelse, som stod på – ganske vist med hyppige afbrydelser – i omtrent to år (1931–33) og frembød en række dramatiske vendepunkter; det vil imidlertid føre os ind i for mange tekniske detaljer. Lad det være nok at nævne, at vi ikke fandt noget helt tilfredsstillende svar før under den allersidste rettelse af korrekturen, og så viste svaret sig at være noget af et antiklimaks. Middelværdien af feltinten-



siteterne i et vilkårligt rum-tids-område viste sig at være målelig med ubegrænset nøjagtighed, og rækkevidden af det klassiske feltbegreb er ikke underkastet nogen begrænsning. Langt fra at indebære nogen sådan begrænsning er fluktuationerne, der hidrører fra feltets kvantisering, nødvendige for teoriens fulde logiske modsigelsesfrihed, og det er i princippet muligt at eftervise deres tilstedeværelse ved passende målinger. Kun mellem feltintensiteter i forskellige rum-tids-områder gælder komplementaritetsrelationer, som det lykkedes os at analysere tilbunds ved en udvidelse af de metoder, Bohr havde udviklet inden for kvantemekanikken; en hård opgave, hvis løsning krævede hele Bohrs opfindsomhed.

Undersøgelsens fremadskriden (der på ingen måde var jævn) blev fulgt med intens interesse af både Heisenberg og Pauli, og deres reaktioner belyser ganske slående forskellen i deres temperament. Under et besøg i København modtog Heisenberg vore første konklusioner, som, må man indrømme, endnu var langt fra at være klare, med dyb skepsis. Han erklærede ligeud, at han ikke troede et eneste ord af mine udregninger og begyndte straks at gentage nogle af dem på tavlen. Det var morsomt, efterhånden som han gik frem, og de resultater, som jeg havde angivet, begyndte at dukke op, at iagttagelse det voksende udtryk af forbavselse, der tegnede sig på hans ansigt. Så snart han imidlertid havde grebet betydningen af det problem, som de mystiske feltfluktuationer gav anledning til, skiftede han fra lidenskabelig vantro til lidenskabelig begejstring. I løbet af få uger sendte han os to afhandlinger, der var inspireret af denne diskussion. Den ene (som aldrig blev offentliggjort) indeholdt et åndfuldt forsøg på at omgå de besværlige indre modsigelser, som kvanteelektrodynamikken lider under, ved udtrykkeligt – således som også vi i vor undersøgelse havde fundet det nødvendigt – at betragte middelværdien af feltintensiteter i endelige rum-tids-områder i stedet for deres størrelse i bestemte rum-tids-punkter. Den anden afhandling henlede for første gang opmærksomheden på forekomsten af de beslægtede fluktuationer, som middelværdien af den elektriske ladning og strøm i et rum-tids-område undergår. Det var for os et overordentlig værdifuldt vink, at det problem, vi stredes med, ikke indskrænkede sig til elektromagnetiske felter, men også eksisterede for de bølgefelter, der er forbundet med ladede partikler.

Paulis holdning var forsigtigere, men på sin vis lige så inspirerende. Han var tilbageholdende med at ytre nogen mening om det sandsynlige resultat af undersøgelserne, men han fremhævede bestandig betydningen af de pro-

blemer, der var under debat. Ingen forstod bedre end Pauli Alvoren i Bohrs bestræbelser, fordi han selv var så alvorligt optaget af de filosofiske og menneskelige problemer, der var den dybeste ledetråd for Bohr i hans søgen. Da han hørte om Heisenbergs beregninger af fluktuationerne i ladning og strøm, opmuntrede han os til at angribe også dette problem. Som han fuldstændig rigtigt påpegede, var Bohr den eneste, der mestrede de særlige metoder, som var nødvendige for en sådan analyse af ideale målinger. Endnu den dag i dag har ingen fysiker kunnet rose sig af blot at have nærmet sig Bohrs virtuositet i så henseende. Vi gav virkelig efter for Paulis formaninger, og selvom denne nye undersøgelse kom til at lide under mange afbrydelser og først var rede til offentliggørelse i 1952, tog det os ikke lang tid at fuldende en første oversigt over emnet, som førte os til konklusioner af lignende art som dem, vi havde kunnet drage i elektrodynamikken. Pauli modtog disse foreløbige resultater med udtryk for dyb tilfredsstillelse, der kun kølnedes ved den – som det skulle vise sig – berettigede frygt for, at arbejdets videre fremgang ville blive langsom. På sin sædvanlige sarkastiske måde tilføjede han: »Eftersom det er lykkedes for jer at offentliggøre afhandlingen om det elektromagnetiske felt, er det jo imidlertid blevet umuligt med sikkerhed at fastslå, at den anden afhandling aldrig vil blive offentliggjort«. Denne milde spot var naturligvis blot et dække over en sand og dyb følelse af taknemmelig beundring. Pauli fortalte også Bohr dengang, hvor umådelig meget analysen af måleligheden af de elektromagnetiske felter havde betydet for ham ved at uddybe hans forståelse af kvanteteorien og styrke hans tro på fastheden af dens grundlag.

Ingen form for tilslutning kunne værdsættes højere af fysikere, Bohr ikke undtaget, end Paulis velvillige nikken. Det var imidlertid ikke på alle, at Bohrs ideer gjorde et så stærkt indtryk. Kort efter fuldendelsen af vor afhandling om kvanteelektrodynamikken i 1933 havde jeg lejlighed til at holde et foredrag om dette emne i Bruxelles netop på den tid, da Einstein opholdt sig der, før han emigrerede til Princeton. Han overværede foredraget og fulgte med største opmærksomhed argumenterne. Han kom dog ikke med nogen kommentar til disse, men drejede straks diskussionen hen på det almindelige spørgsmål om meningen med kvanteteorien. Han nærrede ikke længere tvivl om logikken i Bohrs argumentation, men følte stadig den samme utilfredsstillelse (»Unbehagen« var det ord han brugte) ved at blive stillet over for teoriens fremmedartede konsekvenser. »Hvad ville De



sige om følgende situation?» spurgte han mig. »Lad os antage, at vi har to partikler, der bevæger sig mod hinanden med samme meget store impuls, og at de vekselvirker i en meget kort tid, medens de passerer forbi hinanden med kendte positioner. Tænk Dem nu en iagttager, som får fat på en af partiklerne langt borte fra vekselvirkningsområdet og måler dens impuls. Det er da klart, at de eksperimentelle betingelser vil sætte ham i stand til at slutte sig til impulsen af den anden partikel. Hvis han derimod vælger at bestemme stedet for den første partikel, vil han kunne slutte, hvor den anden partikel er. Alt dette er en fuldstændig korrekt og simpel anvendelse af kvantemekanikkens principper, men er resultatet ikke højst paradoksalt? Hvordan kan den anden partikels sluttelige tilstand påvirkes af en måling, der udføres på den første, efter at enhver fysisk vekselvirkning mellem partiklerne er ophørt?«

Jeg havde ikke ved den lejlighed det indtryk, at Einstein så andet i dette eksempel, hvor behændigt det end blev fremsat med et overbevisende skin af et paradoks, end en illustration af de uvante træk i kvantefænomenerne. To år senere tildelte han det imidlertid en langt mere fremtrædende rolle i en afhandling forfattet i fællesskab med Podolsky og Rosen. I forbindelse med et »virkelighedskriterium« anvendtes det nu med den hensigt at blotte en væsentlig ufuldkommenhed i kvanteteorien. Enhver egenskab ved systemet, som kan fastlægges nøjagtigt uden at systemet forstyrres, således lød argumentet, er et »element af den fysiske virkelighed«, og en beskrivelse af systemet kan kun anses for fuldstændig, hvis den indbefatter alle de elementer af virkeligheden, der kan tilskrives systemet. Nu viser eksemplet med de to partikler, at man kan lære stedet eller impulsen af en given partikel at kende ved passende målinger udført på en anden partikel uden at forstyrre den første, og at disse størrelser derfor i den ovennævnte forstand er elementer af virkeligheden. Eftersom kvanteteorien ikke tillader begge størrelser at indgå samtidigt i beskrivelsen af partiklens tilstand, vil en sådan beskrivelse altså være ufuldstændig. Det paradoks, som denne ufuldstændige beskrivelse frembyder ved at antyde en ukontrollabel indflydelse af målinger på partiklens tilstand, ville naturligvis ikke optræde i en fuldstændig teori.

Dette angreb kom som lyn fra en klar himmel. Dets virkning på Bohr var bemærkelsesværdig. Vi var på det tidspunkt midt i famlende forsøg på at udforske betydningen af fluktuationerne i ladnings- og strømfordelinger, hvilket stillede os over for gåder af en art, vi ikke var stødt på i elektro-

dynamikken. En ny bekymring kunne ikke indfinde sig på et mere ugunstigt tidspunkt. Næppe havde Bohr imidlertid hørt min beretning om Einsteins argumenter, før alt andet blev lagt til side: Vi måtte straks opklare en sådan misforståelse. Vi skulle svare ved at gennemgå det samme eksempel og vise den rigtige måde at tale om det. I stærk spænding begyndte Bohr straks at diktere mig et udkast til et sådant svar, men snart blev han tøvende: »Nej, det går ikke. Vi må prøve en gang til helt forfra . . . Vi må gøre det fuldstændig klart . . .« Således fortsatte vi i nogen tid med stigende undren over argumentets uventede spidsfindighed. Nu og da vendte han sig om mod mig: »Hvad *kan* de mene? Forstår *du* det? Nogle ikke særlig overbevisende forsøg på fortolkning fulgte. Vi var tydeligvis længere fra målet, end vi først havde troet. Endelig brød Bohr af med den kendte bemærkning, at han »måtte sove på det«. Næste morgen genoptog han straks dikteringen, og det slog mig, at der var sket en ændring i sætningernes klang; gårsdagens skarpe udtryk for uenighed var borte. Da jeg bemærkede til Bohr, at han nu syntes at anlægge et mildere syn på sagen, smilede han: »Det er blot et tegn på,« sagde han, »at vi begynder at forstå problemet.« Og virkelig, nu begyndte for alvor det egentlige arbejde. Dag efter dag, uge efter uge, blev hele argumentationen tålmodigt undersøgt ved hjælp af simple og lettere gennemskuelige eksempler. Einsteins problem blev omformet og dets løsning formuleret påny med en sådan præcision og klarhed, at svagheden i kritikernes ræsonnement blev indlysende, og deres hele argumentation, til trods for al dens falske åndrigheid, faldt i stumper og stykker. »De gør det fikst,« lød Bohrs kommentar, »men hvad det kommer an på, er at gøre det rigtigt.«

Gendrivelsen af Einsteins kritik følger ikke noget nyt element til komplementaritetsbegrebet, men den er af stor betydning derved, at den blotstiller et overmåde dybtgående modsætningsforhold mellem Bohrs almindelige filosofiske indstilling og de endnu udbredte tænkevaner, der tilhører et glørværdigt, men uigenkaldelig forbigangent stadium i videnskabens udvikling. Einstein plejede at sige, at »fysiske begreber er frit skabte frembringelser af intellektet«. Det »virkelighedskriterium«, som han foreslog i forbindelse med det problem, der var under debat, havde virkelig i høj grad denne karakter og viser sig at frembyde en slående illustration af de faldgruber, man udsætter sig for at falde i, ved en sådan vilkårlig begrebsdannelse. Til trods for kriteriets tilsyneladende klarhed rummer det i virkeligheden en væsentlig flertydighed skjult i det tilsyneladende harmløse forbehold »uden at for-



styrre systemet«. For at gennemskue denne flertydighed er det nødvendigt at give afkald på det uberettigede krav om at ville påtvinge naturen vore egne forudbefattede meninger om, hvad »elementer af virkeligheden« burde være, og, som Bohr formaner os til det, i al ydmyghed lade os lede af, hvad vi kan lære af naturen selv.

I tilfældet med de to partikler er det rigtigt, at en måling, der udføres på den første partikel, ikke forårsager nogen direkte fysisk forstyrrelse af den anden; men målingen påvirker på afgørende måde arten af verificerbare forudsigelser, vi vil være i stand til at gøre om denne anden partikel. Der er ikke noget paradoksalt i det; der er ikke tale om nogen mystisk »indgriben«, men om den dagligdags kendsgerning, at vore fornuftbegrundede forventninger med hensyn til forskellige mulige hændelser er betinget af arten og omfanget af vor viden om de omstændigheder, hvorunder disse hændelser finder sted. Med den sprogbrug, vi brugte før, definerer enhver måling, vi beslutter at gøre på den første partikel, et »fænomen« for sig svarende til det samme to-partikel-system iagttaget under forskellige vilkår og dermed svarende til forskellige muligheder for kontrol af den korrelation mellem de to partikler, der er opstået ved deres midlertidige vekselvirkning med hinanden. Man må først og fremmest gøre sig klart, at så længe vi ikke udfører nogen måling, har vi ingen som helst kontrol over denne korrelation; der er slet intet fænomen, hvorom vi overhovedet kan udtale os fornuftigt. Hvis vi virkelig ønsker, at systemet skal blive genstand for undersøgelse og meddelelse, må vi udføre en eller anden måling.

Hvis vi nu iagttager den første partikels sted, kan korrelationen mellem partiklernes sted bruges til at give os oplysning om, hvor den anden partikel er, men vi har ingen mulighed for at udnytte korrelationen mellem partiklernes impulser, fordi vi (som det er udtrykt i ubestemthedsrelationerne) har mistet kontrollen over den første partikels impuls ved at måle dens sted; dette er en følge af den i en sådan måling uundgåelige, ukendte impulsudveksling mellem partiklen og apparatet. Hvis vi iagttager impulsen af den første partikel, er det lige omvendt. Vi beholder kontrollen over impulskorrelationen, men mister den over stedkorrelationen. De to forskellige målinger definerer to komplementære fænomener, der aldrig kan forenes til en enkelt beskrivelse af det givne to-partikel-system. Ikke desto mindre kan man betragte de to fænomener samtidig, hvis man har at gøre med to identiske systemer bestående af sådanne partikelpar, der vekselvirker på nøjagtig samme måde. De to fænomener udtømmer så alle observationsmuligheder

for systemer af denne type og giver dermed så fuldstændig en beskrivelse af dem, som det overhovedet er foreneligt med naturlovene.

Når man indser, hvor fundamentalt et problem, det drejer sig om, forstår man lettere den tilstand af spænding, hvori Bohr fuldendte dette arbejde. At affatte svaret, at få det maskinskrevet, pudset af, maskinskrevet på ny og afsendt til trykning tog ikke mere end seks uger – en forbløffende fart, når man ved, hvor langsomt han ellers gik frem. Det var betagende at se ham således på højden af sine evner, hvorledes han med den yderste koncentration og ubøjelig kraft nåede frem til klarhed ved møjsommelig udforskning af hver enkelt detalje – som altid tro mod sin yndlingslinie af Schiller: »Nur die Fülle führt zur Klarheit«. Ved denne lejlighed støttedes han ikke mindst af sin sjældne evne til at sætte sig ind i modpartens synspunkter, at dissekere argumenterne og vende dem til fordel for sandheden. Han gik imidlertid altid frem med fuldstændig åbent sind og frydede sig kun ved sejren, hvis han selv tillige havde vundet en dybere indsigt i problemet.

Twisten om fuldstændigheden af den beskrivelse af fysiske fænomener, som er indeholdt i kvanteteorien, var det sidste sammenstød mellem de to giganter. Konfrontationen af deres divergerende opfattelse af grundlaget for videnskabelig erfaring var nu nået til den grænse, der sættes ved at indskrænke den til problemer vedrørende den fysiske verden. At der intet håb var om at føre den videre, blev snart gjort klart af Einstein selv, som udtalte om Bohrs indstilling, at den var logisk mulig, men »i den grad i modstrid med min videnskabelige intuition, at jeg ikke kan opgive at søge efter en mere fuldstændig opfattelse«. Bohr var højst ulykkelig over denne hårdknude, for han beundrede netop Einstein for den måde, hvorpå han havde understreget de erkendelsesteoretiske pointer i den klassiske fysik såvel som i kvantemekanikken på dens tidligere stadium. I virkeligheden havde Einsteins måde at angribe disse problemer på været i den grad beslægtet med Bohrs egen, at han måtte føle Einsteins senere mangel på forståelse dobbelt nedslående. På den anden side kunne Bohr med god grund se tilbage med tilfredshed på den meningsudveksling, der så kritisk havde prøvet ikke alene hans egen opfattelse af komplementariteten af fysiske fænomener, men endog i den sidste diskussion om det fremsatte »virkelighedskriterium« også de til grund liggende almindelige ideer, som han havde udviklet, om grundlaget for menneskelig viden og menneskets stilling i universet.

Gennem alle disse år var sådanne almindelige filosofiske problemer gen-



stand for Bohrs stadig bevågenhed. Han var naturligvis spændt på at se, hvor vidt frugtbarheden af komplementaritetssynspunktet rakte, og når lejlighed gaves, var han på udkig efter mulighederne for at anvende det inden for de mest forskellige områder af menneskelig virksomhed. Til en nedskrivning af sine tanker med den dermed forbundne kritiske granskning skred han imidlertid kun under tilskyndelse af en eller anden ydre omstændighed. Den første særlige lejlighed af den art frembød sig, da han blev indbudt til at tale ved en kongres for lysterapi, som blev afholdt i København i 1932. Det emne, som Bohr straks slog ned på som velegnet til lejligheden, var »Lys og Liv«. Det ville give ham mulighed for at forklare komplementaritetssynspunktet udfra et typisk tilfælde, nemlig dobbeltheden i lysets egenskaber, og han kunne så gå videre og pege på tilstedeværelsen af komplementære forhold i biologien. Dette appellerede særlig stærkt til ham: Han var blevet dybt påvirket af sin fars syn på emnet, og han var tydeligvis lykkelig over nu at være i stand til at tage det op og give det en mere dækkende formulering. I kølvandet på reaktionen mod den mekaniske materialisme i begyndelsen af dette århundrede havde Christian Bohr gjort sig til kraftig fortaler for et finalistisk synspunkt i studiet af fysiologien. Uden i forvejen at kende et organs funktion, sagde han, er der intet håb om at opklare dets struktur eller de fysiologiske processer, for hvilket det er sæde. Samtidig fremhævede han med al den autoritet, som et liv viet til analysen af de kemiske og fysiske sider af sådanne processer havde skænket ham, den lige så bydende nødvendighed af at presse en sådan analyse frem til den yderste grænse, som de tekniske hjælpemidler for undersøgelsen tillod os at nå. Som han rammende bemærkede, løb man ellers den risiko at bedrage sig selv med ord og overse væsentlige træk af fænomenerne.

Sådanne overvejelser kom så nær, som man kunne vente på den tid, til at fastslå et komplementært forhold mellem den fysisk-kemiske side af livsprocesserne, der beherskes af den art af kausalitet, som vi er vant til at udråbe som den virkelig videnskabelige, og den rent funktionsmæssige side af disse processer, der er underlagt en teleologisk eller finalistisk kausalitet. Tidligere var disse to synspunkter altid blevet stillet i skarp modsætning til hinanden udfra den almindelige opfattelse, at et af dem måtte vige for det andet, at der ikke var plads til begge i biologien. Niels Bohr kunne nu påpege, at denne opfattelse blot var en følge af logiske forestillinger, som man i fysikken havde erkendt som værende for snævre, og at komplementaritetens videre ramme på naturlig måde gav plads for begge

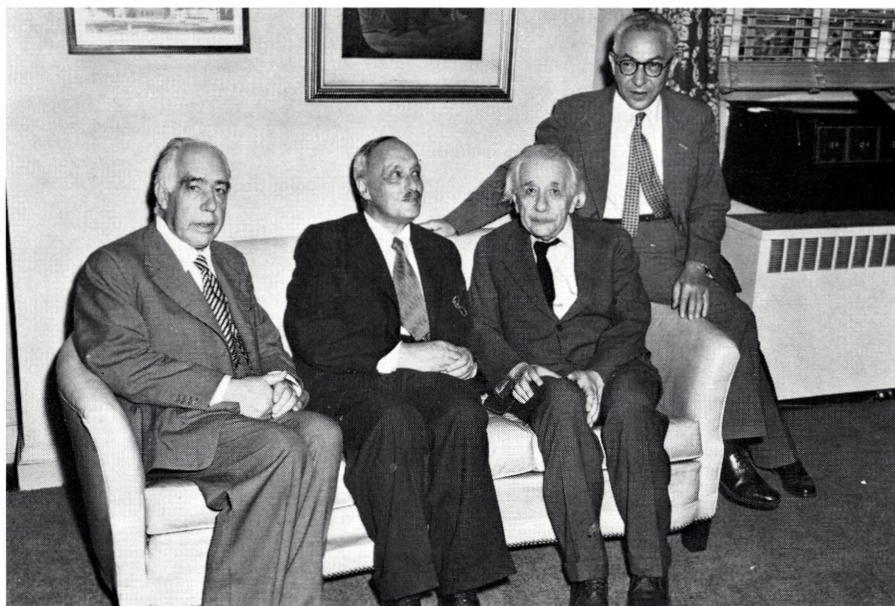
de to standpunkter og muliggjorde, at man uden nogen modstrid kunne drage fordel af dem begge, ganske i hans fars ånd. På den måde ville en årgammel, ufrugtbar strid være bragt ud af verden og erstattet med en fuld udnyttelse af alle muligheder for videnskabelig analyse.

I én henseende var analogien mellem situationen i atomfysikken og i biologien imidlertid stadig ufuldstændig: Hvor havde man i biologien et modstykke til den reciprokke begrænsning i brugen af fysiske begreber, som udtrykkes i Heisenbergs ubestemthedsrelationer? Hvis analogien skulle følges videre, på hvad måde ville da rækkevidden af den fysiske og kemiske analyse af en organisme begrænses af den funktionsmæssige analyses rivaliserende fordringer? For at gøre argumenterne mere direkte vovede Bohr, da han skrev »Lys og Liv«, på dette punkt en gætning. Han bemærkede, at en kontinuert stofudveksling må finde sted mellem organismerne og det omgivende medium for at de skal kunne opretholde livet, således at en klar afgrænsning af organismen som fysisk-kemisk system ikke var mulig. Man kunne derfor tænke sig, at ethvert forsøg på at gøre adskillelsen skarp nok til at tillade en udtømmende fysisk-kemisk analyse ville forhindre stofskiftet i en grad, der var uforeneligt med organismens liv.

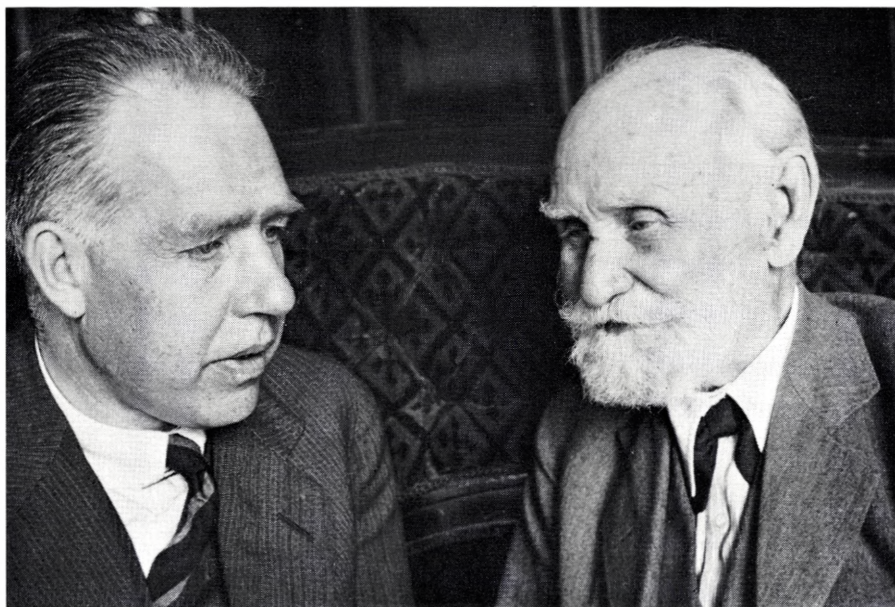
Skønt den sammenhæng, hvori dette argument udvikledes, ikke skulle efterlade nogen tvivl med hensyn til dets mening, er det dog blevet misforstået på forskellig måde og er endda blevet udlagt som skulle det antyde eksistensen af særlige biologiske love, der på en eller anden måde begrænsede mulighederne for at anvende fysikkens love på organismerne. Det, Bohr her havde i tankerne, var som altid det logiske problem, der er forbundet med den utvetydige anvendelse af givne begreber, som er udviklet til redegørelsen for bestemte empiriske situationer. Han ønskede blot at illustrere den kendsgerning, at de fysisk-kemiske begreber på den ene side og de begreber, der beskriver biologiske funktioner og tilpasning på den anden side, henviser til betingelser for iagttagelse af organismerne, der er komplementære til hinanden.

I årene, der fulgte, vendte Bohr ofte tilbage til disse spørgsmål og søgte at iklæde dem en formulering, der var endnu mere gennemsigtig og fri for hypotetiske betragtninger. Han fulgte ivrigt den vidunderlige udvikling af den molekylære biologi, og i de sidste måneder af sit liv studerede han konsekvenserne af de nye opdagelser med den nøjeregnende opmærksomhed over for detaljerne og kompromisløse logiske strenghed, som karakteriserede hans behandling af ethvert problem. Han bad om hjælp hos de unge bio-





Et møde i Princeton i 1954 mellem fire store fysikere: Bohr, Franck, Einstein og Rabi



På sin rejse til Sovjetunionen i 1934 besøgte Niels Bohr den berømte russiske fysiolog Pavlov, der er kendt for sine studier af betingede reflekser hos dyrene



Fra rejsen til Japan i 1937. Margrethe og Niels Bohr med sønnen Hans og med japanske kolleger foran Buddha-statuen i Kamakura. Helt til venstre Y. Nishina, der var en af de første udenlandske medarbejdere på Institutet i København og som spillede en stor rolle i udviklingen af fysikken i Japan



Under sit besøg i Sovjetunionen i 1961 deltog Niels Bohr i en studenterfestlighed på Moskva Universitetet. Her taler han til studenterne, medens hans gamle elev, den berømte russiske fysiker L. D. Landau, oversætter til russisk



loger af den fremragende Københavner-skole og diskuterede de nyeste fremskridt med dem med samme iver og intense koncentration, som han udfoldede ved diskussionen af fysiske spørgsmål. Det, som gjorde størst indtryk på disse nye medlemmer i kredsen af Bohrs medarbejdere, var ikke så meget hans uformindskede vitalitet som den ydmyghed, hvormed han søgte og tog hensyn til deres kritik. Ganske som i fysikken var det, han søgte ved en så omhyggelig granskning af det eksperimentelle materiale, et eller andet alment princip, der kunne tjene som en ledetråd for videre undersøgelse. I den nuværende sammenhæng betonedede han frugtbarheden af at anvende lovene for kemiske reaktioner på de biologiske processer, hvilket straks antydede, at enhver sådan proces må gå i retning af at tilvejebringe en tilstand af størst mulig stabilitet svarende til betingelserne i det medium, hvori den finder sted.

Da Bohrs foredrag om »Lys og Liv« blev offentliggjort for tredive år siden, blev det ikke vel modtaget af biologerne. Tingene synes nu at have ændret sig, og fysikerens stemme lyder ikke mere så fremmedartet for de pågældende kredse. Hvordan nu end dette forholder sig, gav afhandlingen i hvert fald ét ganske uventet, storartet resultat; den blev nemlig bestemmende for kaldelsen af en ung mand, der nu tælles blandt vor tids fremragende biologer. Blandt de mange lyse erindringer fra hin patriarkalske epoke i Instituttets historie finder jeg denne, at jeg samme dag, som Bohr skulle holde sit foredrag, gik ud på banegården for at hente et medlem af vor lille gruppe, Max Delbrück, der vendte tilbage fra en rejse lige netop i rette tid; fra banegården tog vi direkte til Christiansborg, hvor vi lyttede til forelæsningen fra et af tilhøregallerierne, som vi havde ganske for os selv. At påstå, at vi blev fascineret af foredraget, ville være en romantisk overdrivelse, men det er en kendsgerning, at da Delbrück bagefter læste afhandlingen og funderede over den, blev han i den grad begejstret over det udsyn, den åbnede over biologiens udstrakte område, at han straks besluttede at tage udfordringen op. Tredive år efter, da Delbrück blev udnævnt til leder af det nye genetiske institut i Köln, indbød han Bohr til at tale ved instituttets indvielse. Som en opfyldelse af denne forpligtelse, som Bohr villigt påtog sig, udarbejdede han en redegørelse for sin nuværende stilling med hensyn til de biologiske problemer. Efter Delbrücks forslag havde han håbet at offentliggøre den under titlen: »Light and Life Revisited«. Denne plan er blevet udført omend ufuldstændigt, eftersom den tekst, der foreligger, mangler den afpuddning, som mesteren ville have givet den; men vi

finder i den de synspunkter, jeg prøvede at ridse op ovenfor, så dybsindige og udfordrende som nogen han har fremført.

I førkrigsperioden forekom der endnu en lejlighed for Bohr til at udstrække komplementaritetsideens rækkevidde eller rettere sagt til at udkrystallisere sine tanker om den omkring et givet emne. Denne gang var det ved den københavnske antropologkongres i 1938, at han blev opfordret til at tale. I den store sal på Kronborg slot behandlede Bohr de komplementære sider af menneskekulturerne. Emnevalget var om ikke dikteret så dog i hvert fald påvirket af den voksende bekymring, vi alle følte, over den meningsløse forøvelse af dens egen kulturelle arv, som blev begået af en forblindet nation for øjnene af en rådvild og ubeslutsom verden. For nu at blive inden for videnskabens område, var det dybt chokerende at være vidne til, hvordan grotesk forvanskede, videnskabelige læresætninger misbrugtes til at retfærdiggøre de værste grusomheder. Bohr gjorde en pointe ud af at afsløre disse vildfarelser på sin egen kraftfulde måde. Han fremmanede de komplementære sider af de menneskelige samfund. På den ene side har vi de rent biologiske egenskaber, der overføres gennem arv; på den anden side de fælles overbevisninger og ideer, som ligger i den mundtlige og skrevne tradition. Kun den sidstnævnte del og ikke den første, argumenterede han, kan med rette betegnes som det kulturelle element i samfundet. Idet han fastholdt den kendsgerning, at enhver kultur, uanset dens niveau i social udvikling, opnår en særegen harmoni, påpegede han, at det må betragtes som et fuldstændigt tilfælde, at en given kultur tilhører et eller andet fremmed samfund og ikke vort eget. Men, tilføjede han med fin ironi, ved en sådan betragtningsmåde har vi set bort fra de fordomme om ens egen kulturs overlegenhed, som er et iboende element af enhver national kultur.

Dette hovedtema gav Bohr lejlighed til også at berøre en række af de psykologiske problemer, som lå ham så stærkt på hjerte, og hvis analyse som allerede nævnt frembyder så smukke eksempler på komplementære forhold. Han kunne nu se tilbage på dualiteten i de psykiske erfaringer med det fulde herredømme, han havde vundet over de komplementære forholds natur, og påpege at denne dualitet svarer til forskellige måder at trække skillelinien mellem den psykiske proces, der gøres til genstand for undersøgelse, og det iagttagende subjekt. At drage en sådan skillelinie er nøjagtigt det, vi mener, når vi taler om at koncentrere opmærksomheden om en bestemt side af processen. Alt efter hvordan vi lægger skillelinien kan vi opleve en sindstilstand som en del af vore subjektive følelser eller analysere



den som en del af den iagttagne proces. Forståelsen af, at disse to situationer er komplementære, løser gåden om licentiatens jeg'er, der iagttager hinanden, og udgør i virkeligheden den eneste redning fra hans kvaler.

Der er endnu en dualitet i det psykiske liv hos dyr og mennesker, hvori Bohr erkendte karakteren af et komplementaritetsforhold. Det er den, vi betegner med ordene instinkt og fornuft. Også her understregede han den pointe, at disse ord i praktisk sprogbrug henviser til gensidigt udelukkende opførselsmønstre, der er tilpasset til forskellige betingelser i omgivelserne, og pegede især på, hvorledes menneskelig kultur opstår ved udviklingen af rationel tænkning. Hele foredraget bliver på den måde til et indtrængende indlæg for det almengyldige i den metode, der havde tjent fysikerne så vel. Først og fremmest fremstår imidlertid her i et klarere lys end i måske noget andet af hans arbejder Bohrs menneskelige storhed, hvori hans hjertes varme så harmonisk forenede sig med intellektuel afklarethed, og hans urokkelige tro på menneskelig fornuft.