

# Glimt af Niels Bohr som forsker og tænker

*Af Oskar Klein*

Som den nulevende, der tidligst kom ind i kredsen af unge teoretiske fysikere fra forskellige lande, der samledes omkring Niels Bohr, skal jeg i dette bidrag til mindebogen indlede de glimt, jeg kan give af hans arbejde og arbejdsområde, sådan som jeg selv oplevede det i de år, jeg havde den lykke at tilhøre kredsen af hans elever og medarbejdere, med nogle træk fra hans tidligere udvikling, som jeg dels skylder ham selv, dels nogle af dem, der stod ham nærmest. Derved må jeg, sådan som han selv jævnlig gjorde, afvekslende gå fra filosofi til fysik og fra fysik til filosofi.

Niels Bohr selv og hans bror Harald fortalte gerne eksempler på den tro skyldigt håndfaste måde, hvormed han som barn tog på alt, han så og hørte, og på hans tidligt udviklede geometriske intuition, som viste sig i hans forbløffende sikre bedømmelse af rumfang, et træk som særlig morede hans far, den fremragende fysiolog og originale tænker. Det førstnævnte træk viste sig f. eks. i hans bogstavelige tro på det, han lærte i skolens religionstimer, som længe gjorde den dybt følende dreng højst ulykkelig over forældrenes mangel på tro. Da han senere som yngling begyndte at tvivle, skete også dette med usædvanlig styrke og det udviklede hos ham en dyb filosofisk trang i slægt med den, der synes at have virket hos de tidlige græske naturfilosoffer. Medens Harald Høffdings objektivitet og frigjorte søgen efter harmoni i tilværelsen synes at have haft betydning for hans udvikling, havde han ellers kun lidt tilfælles med de på hans tid rådende filosofiske retninger. Man kan vel sige, at hans oprindelige troskyldighed og evne til dyb tvivlen indgik i hans filosofi som komplementære træk – for at benytte hans senere yndlingsudtryk.

Med sin fine og stærke logiske sans lagde Bohr allerede som ung student og senere som forsker den største vægt på den logiske stringens uden at han derfor skænkede den formelle logik nogen større interesse – selv om den slags betragtninger til tider morede ham. Jeg husker således, hvordan han en gang ville forklare Russells »logical calculus« for os unge ved at bevise, at når vi befandt os i værelset og værelset i huset, så befandt vi os

også i huset. Jeg tror ikke det lykkedes ham, i hvert fald voldte det ham stort besvær.

Langt dybere engageret var han imidlertid i etikkens gamle grundproblem, det om viljens frihed og bundethed, ligesom senere i problemet om forholdet mellem biologi og fysik. Bagved hans grebthed af disse problemer lå mere end videnskabelig nysgerrighed, nemlig trangen til harmoni i tilværelsen uden opgivelse af hverken logikkens eller erfaringens krav. Medens de fleste mennesker vel snarest lægger mærke til forskelle mellem lignende ting, var det naturligt for ham at se det, der er fælles i det åbenlyst forskellige.

Men netop beskæftigelsen med viljesproblemet bidrog til, at han med sin levende følelse for sandhed stadig var på vagt over for letkøbte almindeliggørelser og klar over, at tilværelsen ifølge sagens natur rummer irrationelle træk. Denne hans indstilling havde intet tilfælles med den mysticisme, der fylder hullerne i vore forsøg på en rationel livsanskuelse med bogstavelige mytologiske – altså kvasirationelle – forestillinger, men kan vel betegnes med ordet religiøs, når dette ord tages i sin egentlige betydning. Samtidig hørte der til denne hans indstilling en karakteristisk blanding af humor og poetisk sans.

Enhver, der har fulgt Niels Bohrs videnskabelige gerning, vil se, hvor nøje denne hans grundindstilling svarede til de problemer, han der blev stillet overfor. At han havde den indstilling, længe før den fandt udtryk i hans fysiske forskning, var velkendt af hans ungdomsvenner. Det morede ham, når en af disse, som han i slutningen af tyverne fortalte om sit arbejde med komplementaritetssynspunktet, bemærkede, at dette var jo ikke andet, end hvad Bohr altid havde ment, en påstand som han selv naturligvis betragtede som en stor overdrivelse. Men at den indeholdt ikke så lidt sandhed, kunne vi hans tidligste elever bevidne.

Da jeg i maj 1918 første gang kom til Bohr, var det selvfølgelig med den hensigt at lære fysik. Selv var han, under aktiv medvirken af sin unge hollandske assistent Hans Kramers, som var kommet til ham i efteråret 1916, ivrigt beskæftiget med udarbejdelsen af det program, han havde udviklet i sit første atomteoretiske arbejde fra 1913, og den første del af den store afhandling i Videnskabernes Selskabs Skrifter over teorien for spektrallinjerner var netop udkommet. Men dette hindrede ham ikke i, under samtaler såvel i sit værelse i den Polytekniske Lærestalt ved Sølvtorvet, som i sit hjem i Hellerup, hvor han og fru Bohr med stor gæstfrihed modtog os unge,

og ikke mindst på spadsereture, på sin begejstrede måde at tale om mange forskellige ting, der optog ham. Især mindes jeg en længere spadseretur i Nordsjælland, sommeren 1918, hvor han blandt meget andet kom ind på den tanke, hans far havde haft, at, når det gælder beskrivelsen af levende væsners opførsel, udgør formålstjenligheden et med kausaliteten ligeberettiget synspunkt. Denne tanke kom senere til at spille en væsentlig rolle ved Bohrs bestræbelser for at belyse forholdet mellem biologiens og fysikkens naturbeskrivelse.

Noget lignende kan siges om hans betragtninger over viljesproblemet, som han også talte om i denne forbindelse. Han fremhævede derved på det stærkeste faren for en ubevidst skiften fra een betydning til en anden af sådanne ord som vilje og hensigt, når man ikke holder sig klart for øje, at tænkningen over tænkningen udgør så at sige et singulært punkt i bevidstheden.

En senere udvikling af sådanne betragtninger – som han vistnok kun betragtede som tankekim – blev selve grundlaget for hans erkendelsesteoretiske indstilling, således som han mange år senere beskrev den i festskriftet til Plancks 50-års doktorjubilæum.

Bohrs videnskabelige arbejde i disse år drejede sig hovedsagelig om det, han nogle år senere kaldte korrespondensprincippet, det grundsynspunkt ud fra hvilket det lykkedes ham at bringe orden i det problemkompleks, der opstod gennem Plancks opdagelse af virkningskvantet og Rutherford's opdagelse af atomkernen. Den første og netop da udkomne del af den nævnte afhandling samt dens næsten færdige anden del indeholder den afklarede og med mange nye eksempler stærkt udvidede fremstilling af den idékreds, der allerede i hans første atomteoretiske afhandlinger havde ført til så afgørende resultater vedrørende sammenhængen mellem de af Rydberg ad empirisk vej opdagede spektrallove og den kvanteteoretiske behandling af kerneatommodellen. Men i samtaler opholdt han sig gerne ved de uløste problemer, om hvilke hans tanker stadig kredsede, og da især om det, der endnu udgjorde kvanteparadokset: hvordan den klassiske mekaniks og elektromagnetismes naturbeskrivelse, der svarer til den gamle regel »naturen gør ingen spring«, kan forliges med den diskontinuerlige måde, hvorpå energi omsættes mellem atomerne og det elektromagnetiske strålingsfelt. I det nævnte arbejde var Bohr vel kommet et langt stykke på vej ved hjælp af korrespondenssynspunktet; han havde nemlig fastslået at der – til trods for den afgrund, hvis dybde han stadig fremhævede, der skiller den kvanteteoretiske beskrivelsesmåde fra den klassiske fysik – består en i enkeltheder

gående korrespondens mellem disse beskrivelsesmåder, således at deres resultater falder sammen i den grænse, hvor Plancks virkningskvant er meget lille i forhold til de virkninger det gælder om at beskrive. Han havde her bygget videre på et arbejde af Einstein, hvori denne, i nærmeste tilknytning til Bohrs atomteoretiske ideer, havde opstillet sandsynlighedslove for overgangene mellem de stationære tilstande og derved havde givet en simpel udledning af Plancks strålingsformel – selve oprindelsen til kvanteteorien. Dette er et eksempel på den vekselvirkning, der fandt sted mellem Bohrs og Einsteins ideer helt fra begyndelsen af Bohrs arbejde. Jeg husker også levende Bohrs store beundring for Einstein, som i lige høj grad gjaldt dennes bidrag til den statistiske molekylteori, til kvanteteorien og til relativitetsteorien.

Imidlertid kunne Bohr ikke rigtig forlige sig med Einsteins lyskvanteforestilling, som denne yderligere havde uddybet i det lige nævnte arbejde. Bohrs betænkeligheder stammede fra hans nøje indlevelse i bølgeteorien for lyset, og han fremhævede, hver gang disse ting var på tale, den fantastiske nøjagtighed og fuldstændighed, hvormed denne teori gør rede for de mangfoldige erfaringer vedrørende lysets forplantning. Navnlig understregede han at selve definitionen af det svingningstal, der bestemmer et lyskvants energi, hviler på bølgeteorien. Einstein derimod mente, at en rigtig teori for lyset på en eller anden måde måtte forene bølge- og partikelmæssige træk, således at lysenergien var koncentreret inden for små områder; og han efterlyste eksperimenter, hvorved afvigelser fra superpositionsprincippet kunne eftervises. Hvor dyb en revision af vore tilvante forestillinger Bohr allerede den gang var forberedt på, viste sig i hans bemærkning, at man måske endog ville blive nødt til at opgive energisætningens strenge gyldighed. Men også denne tanke, som han adskillige år senere vendte tilbage til, måtte han, allerede før den blev modbevist gennem direkte eksperimenter, betragte som et altfor letkøbt forsøg på overvindelse af kvanteparadokset. Medens også Einsteins altfor håndgribelige opfattelse af lyskvanterne modbevistes af forsøg, kom disse alligevel til deres ret i Bohrs senere afklarede syn på forholdet mellem den kvanteteoretiske og den klassisk-fysiske naturbeskrivelse. Men foreløbig var tiden ikke moden til dette synspunkt, som blev frugten af mange års arbejde af Bohr selv og en række andre forskere.

Dette, at der var kommet flere ind i det arbejdsfelt, som Bohr havde åbnet ved sine første atomteoretiske arbejder, gav ham på een gang ny inspiration og en stadigt tungere arbejdsbyrde, da han ikke kunne lade være med at bringe alt, hvad der kom af specielle – såvel eksperimentelle som teoretiske –

fremskridt, der kunne kaste lys over atomproblemerne, ind under sine egne synspunkter. Dette kom i høj grad til at præge arbejdet på den nævnte afhandling, hvis første version allerede forelå som trykfærdig korrektur over to år tidligere, men som Bohr imidlertid havde trukket tilbage, da han lærte et nyt arbejde af den fremragende tyske teoretiske fysiker Sommerfeld at kende. I betragtning af Bohrs arbejdsmåde var det også lidt af et under, at de store afhandlinger med deres overvældende rigdom af nøje gennemtænkte synspunkter og i alle enkeltheder gennemførte eksempler blev færdige på omtrent to år. Uden Kramers' hengivne og virksomme hjælp ville dette næppe være lykkedes.

I de nævnte arbejder spiller statistisk-termodynamiske betragtninger en betydningsfuld rolle, men også i forbindelse med de problemer, jeg selv beskæftigede mig med, og som Bohr på sin elskværdige og hjælpsomme måde interesserede sig for, fik jeg lært adskilligt gennem Bohrs dybe forståelse af dette emne. Jeg var den gang betaget af Gibbs' kanoniske fordeling, der på så direkte måde fører til den formelle løsning af alle slags temperaturlige-vægtsproblemer. Men først Bohr fik mig til at forstå, at denne fordeling også rent principielt med hensyn til selve definitionen af temperaturbegrebet udgør en udvidelse af Boltzmanns ideer. Dette ville, som Bohr gjorde opmærksom på, kunne læses ud af Gibbs' bog. Men, som han, når denne bog var på tale, udtrykte sagen: når en mand behersker et emne til fuldkommenhed, skriver han sådan, at næppe nogen kan forstå ham. Noget af det samme gælder også Bohrs egne arbejder, som må læses med uhyre omhu for at kunne forstås. Dette var så meget mere overraskende for os, hans unge elever, som så tit var vidner til hans forbavsende evne til mundtligt at klargøre både egne og andres ideer. I det hele taget var der en stor modsætning, eller skal vi sige komplementaritet, mellem den måde, han udtrykte sig offentligt såvel i skrift som i tale, og privat over for få tilhørere. Medens han i det første tilfælde anvendte den største omhu med hensyn til sagens nøjagtigst nuancerede formulering – hvad der netop krævede en tilsvarende nøjagtighed hos læseren – og også for ikke at såre, når han kritiserede, udtrykte han sig i det sidste tilfælde gerne drastisk malende med stærke udtryk både for beundring og kritik.

Sommeren 1918 var det hovedsagelig gennem Kramers, at jeg lærte en del om Bohrs karakteristiske arbejdsmåde. Samtidig med at Kramers med stor flid arbejdede på sin doktorafhandling – en smuk og indgående anvendelse af korrespondensprincippet på spektrallinjernes intensiteter – tog han

sig nemlig tid til at fortælle mig meget både om Bohrs og sit eget arbejde. Men den næste sommer fik jeg lejlighed til ved selvsyn at lære Bohrs arbejdsmåde at kende, idet jeg da måtte erstatte Kramers, som efter sin disputats i Leiden i foråret 1919 blev hos sin familie i Holland først for at holde ferie, men senere på grund af sygdom.

Ved disputatsen var Bohr til stede, og her mødte han Lorentz og lærte Ehrenfest at kende, hvilket blev begyndelsen til et venskab, der varede til Ehrenfests død. Bohr holdt også et sammenfattende foredrag i Leiden over resultaterne af de sidste års arbejde. Det var dette foredrag, der blev holdt på engelsk, han denne sommer agtede at udarbejde med trykning for øje, hvilket som altid hos Bohr betød en omarbejdelse fra grunden af.

Arbejdet foregik i et lejet værelse ikke langt fra det sommerhus, som Bohr med familie lejede denne og nogle følgende somre, indtil de flyttede ind i eget hus ved Tisvilde Hegn. Med papirblok og blyant foran mig blev jeg placeret ved et bord, omkring hvilket Bohr blev ved at vandre, skiftevis dikterende på engelsk og forklarende på dansk, medens jeg prøvede på at få den engelske tekst sat på papiret. Sommetider blev der lange afbrydelser enten for nøjere at gennemtænke det, der skulle følge, eller fordi Bohr var kommet til at tænke på et eller andet uden for emnet, som han så måtte fortælle om. En gang udarbejdede han således i forbindelse med en fra Helge Holst stammende kritik af Einsteins almene relativitetsteori en detaljeret diskussion af det såkaldte ur-paradoks, sådan som det ville optræde ved en retlinet rejse ud i verdensrummet og tilbage. Arbejdet blev også tit afbrudt af små løbeture og om eftermiddagen af badecykleture med familien.

Indholdet af diktaterne drejede sig om en sammenfattende fremstilling af kvanteteorien for atomerne og molekylerne, en videreførelse af de forsøg, han havde fremlagt i den første række afhandlinger i *Philosophical Magazine* i årene 1913–15. Medens dette i høj grad var lykkedes ham med hensyn til det simpleste atomsystem bestående af en kerne og en enkelt elektron – resultatet var jo den store afhandling i Videnskabernes Selskabs Skrifter (del 1 og 2) – blev det efterhånden klart, at hans oprindelige elektronringmodeller for atomer og molekyler med mere end én elektron ikke frembyder et rigtigt grundlag for en anvendelse af korrespondensbetragtninger. For de mere komplicerede spektres vedkommende var der også multipletstrukturen og den mærkelige anomale Zeeman-effekt, der først fik deres forklaring adskillige år senere gennem opdagelsen af elektronens spin. Men samtidig hermed forblev Bohrs almene tyding af de af Rydberg opdagede

spektrallove det faste grundlag. Specielt var den almene tydning blevet yderligere uddybet ved hans korrespondensbehandling af partikelbevægelsen i et centralkraftfelt, som det, hvormed resten af atomet med god tilnærmelse måtte forventes at påvirke den yderste elektron, hvorfra – ifølge Bohrs tydning af de Rydbergske love – de almindelige seriespektre hidrører. Disse resultater, der skulle indgå i den tredje del af den store afhandling, var endnu ikke publiceret, men blev omtalt i Leidenforedraget og skulle sammen med andre endnu ikke færdige ting omtales i det planlagte skrift.

Blandt de sidstnævnte var en sammen med Kramers påbegyndt undersøgelse af helium-atomet med dets to elektroner. Denne undersøgelse, hvori der blev lagt så meget arbejde, hørte imidlertid i lighed med de tidligere elektronringmodeller til de forsøg, for hvilke tiden endnu ikke var moden. Ikke mindst gjaldt dette forklaringen af den mærkelige forekomst af to helt adskilte heliumspektre, der fik mange forskere til at antage, at helium udgør en blanding af to grundstoffer, parhelium og orthohelium. At dette er udelukket ifølge den tydning af atomnummeret, som han var kommet til allerede i 1912, indså Bohr imidlertid. Alle disse uløste problemer bidrog utvivlsomt til, at det trak ud med at få det planlagte arbejde færdigskrevet, skønt Bohr stadig havde en fylde af smukke upublicerede resultater, der bestyrkede hans grundlæggende syn på atomproblemerne. Til disse hørte tydningen af Wood og Strutts undersøgelser over resonansstrålingen og Franck og Hertz' forsøg med elektronstød, der på slående måde havde bekræftet, at hver enkelt linje i et seriespektrum er knyttet til sin særlige overgangsprocess. Leidenforedraget blev imidlertid aldrig publiceret, men dets indhold kom til at indgå i en senere afhandling på tysk i tilknytning til et foredrag i Berlin næste forår.

I de følgende år opholdt jeg mig med mellemrum i København, hvor Kramers stadig var Bohrs nærmeste medarbejder. Samtidig voksede både den mere permanente og den tilfældige kreds omkring ham. Sommeren 1919 kom Hevesy, hans gamle ven fra Manchestertiden, til Danmark, hvor han snart skulle finde et blivende sted, og hvor han kom til at fuldføre en række betydningsfulde undersøgelser, som Bohr fulgte med stor interesse. I efteråret samme år havde Siegbahn, der sammen med en gruppe unge medarbejdere var begyndt på sine vigtige undersøgelser af grundstoffernes røntgenspektre, arrangeret en lille konference i Lund, hvor Bohr og Sommerfeld holdt foredrag. Mod dem, der siger, at Bohr var en dårlig foredragsholder – hvad han også tit var på grund af en altfor stor ophobning af stof og utydelig artikulation forårsaget af en faseforskydning mellem tanke og tale –

plejer jeg at anføre dette hans foredrag, hvor indhold, form og fremførelse dannede en betagende enhed, som jeg næppe ellers har oplevet. Senere samme efterår kom Sommerfeld til København, hvilket førte til fornyet tankeudveksling og, trods meningsforskelle om atomspørgsmålene og stor aldersforskel, til et meget venskabeligt forhold mellem ham og Bohr.

Omkring nytår 1920 tog Bohr sammen med mig og nogle af mine svenske venner på skitur til Dalarne, hvor han imponerede alle ved sin udholdenhed og sine praktiske færdigheder. Det gav anledning til følgende lidt pudsigt formulerede kompliment fra en i selskabet: »Det enda kriteriet på att professorn är professor är att professorn jämnt glömmet sina vantar«. Om aftenen i den lille hytte, hvor vi boede, fortalte han os meget om sine almene synspunkter, bl. a. om hvorfor han stillede sig så stærkt afvisende til enhver art af såkaldte parapsykologiske fænomener, og fremhævede her den trådløse telegrafi (som radioen den gang kaldtes) som netop et af de stærkeste modargumenter imod telepatien.

Ved Berlin-besøget i foråret 1920 traf Bohr for første gang Einstein og Planck samt adskillige andre af de tyske fysikere, deriblandt Franck, med hvem han sluttede et varmt venskab. Franck blev også en af de første videnskabelige gæster i det nye institut på Blegdamsvej i vinteren 1921.

Henimod slutningen af sommeren 1920 fik kredsen omkring Bohr et mere permanent tilskud gennem Rosselands ankomst. Hans lidt kantede, men i grunden yderst menneskevenlige personlighed og store videnskabelige evner – begge dele skattedes højt af Bohr – førte til et hyggeligt samvær og frugtbart samarbejde. Han kom jo senere til at høre til pionererne for indførelsen af de nye atomteoretiske synspunkter i astrofysikken. En stor oplevelse for os alle samme efterår var et besøg af Rutherford, om hvem Bohr havde fortalt så meget; han forelæste om sine mærkelige nye atomkerneforsøg (de første kunstige kerneomdannelser, foretaget i 1919).

På denne tid var Bohrs arbejde med den korrespondensmæssige tydning af spektrene og den dermed sammenhængende klarlæggelse af atomernes elektronstruktur for alvor kommet i gang. Det gik her, som det så ofte var gået med Bohrs arbejde, at han fandt en vej til at komme uden om de uløste problemer, der tilsyneladende stod i vejen for den videre fremtrængen, ved at kombinere almene teoretiske synspunkter og velvalgte empiriske kendsgerninger, og herigennem opnå sikre resultater af grundlæggende betydning. Tit blev han også inspireret af andre forskeres ufuldkomne forsøg.

Medens heliumproblemet foreløbig havde standset ham, fik han nu hjælp



af det følgende grundstof lithiums seriespektrum. Skønt man endnu ikke besad den nærmere forståelse af helium-spektret, var det på grund af den høje ionisationsenergi givet at begge elektroner i heliums grundtilstand befinder sig i en tilstand svarende til brintatomets grundtilstand (1-kvantetilstanden). Det lå derfor nær at antage, at det samme måtte gælde for den tredje elektrons binding i lithiumatomets grundtilstand, hvilket imidlertid slet ikke passede til dette grundstofs lave ionisationsenergi, der jo netop betinger lithiums metalegenskaber. Den antagelse, at elektronen her standser i den næstlaveste tilstand (2-kvantetilstanden) viste sig umiddelbart at passe til lithiumspektret. Ved at studere elektronbindingen ved hjælp af spektrene hos de efter lithium følgende grundstoffer kunne Bohr nu vise, at det til og med neon stadig drejer sig om 2-kvantetilstande for de tilføjede elektrons vedkommende, således at 8 af dette grundstofs 10 elektroner i grundtilstanden må antages at befinde sig i 2-kvantetilstande og 2 i 1-kvantetilstande. Ligesom 2-kvantetilstandene begynder efter helium, den første inaktive luftart, viste det sig endvidere, at den første 3-kvanteelektron optræder i natrium, der er et alkalimetal, ligesom lithium, og som er det grundstof, der følger på neon, den anden inaktive luftart. Her havde man nu begyndelsen til forståelsen af den ejendommelige periodiske forandring i grundstoffernes egenskaber, når de ordnes efter stigende atomnummer, d. v. s. kerneladning. Den grupperdannelse af elektronerne i atomet, som fulgte af dette Bohrs arbejde – første gruppe: to 1-kvanteelektroner, anden gruppe: 8 2-kvanteelektroner o. s. v. – blev også begyndelsen til opdagelsen af en grundlæggende naturlov, det senere af Pauli formulerede udelukkelsesprincip, der skulle blive en af grundpillerne for elementarpartikelfysikken.

Den nærmere udformning af Bohrs ideer vedrørende elektronbindingen, hvorved også røntgenspektrene spillede en væsentlig rolle, førte til en morsom opdagelse af et nyt grundstof, som udgjorde en god illustration til den sikkerhed, Bohr følte, når han havde gennemtænkt en ting tilbunds, men også til hans villighed til at ændre mening, når kendsgerningerne krævede det. Da han var kommet så langt i sine betragtninger som til tydingen af de sjældne jordarter, mente han af gode grunde at det næste element, nr. 72, som endnu ikke var opdaget, ville tilhøre samme gruppe som zirkonium med lignende kemiske egenskaber som dette grundstof. Imidlertid var de franske forskere Dauvillier og Urbain omtrent ved denne tid kommet til det resultat, at grundstof nr. 72 måtte være en sjælden jordart, som de kaldte celtium. De støttede sig her på en røntgenspektrografisk analyse af et præparat inde-

holdende en blanding af sjældne jordarter, og Rutherford havde i en artikel i Nature nævnt denne tilsyneladende opdagelse af et nyt grundstof. Da Bohr fik dette at vide, var han i første øjeblik tilbøjelig til at tage det som en kendsgerning, således at hans grunde for antagelsen at de sjældne jordarters gruppe endte med element nr. 71 måtte være utilstrækkelige. Men efter påny at have gennemtænkt sagen blev han mere og mere overbevist om, at der enten måtte være en fundamental mangel i hele hans betragtningssmåde, eller at franskmændenes påstand var forkert. Han foreslog derfor i efteråret 1922 Coster, der lige var kommet til København, og Hevesy at undersøge, om det ikke ved røntgenspektrografisk analyse af zirkonholdige mineraler skulle være muligt at påvise tilstedeværelsen af et grundstof med atomnummer 72. Dette lykkedes virkelig for dem over forventning, og snart kunne de fremstille det nye grundstof, som de kaldte hafnium, i så betydelige mængder, at dets atomvægt kunne bestemmes.

Lidt før denne tid, nemlig i juni 1922, holdt Bohr en forelæsningsrække i Göttingen over sine synspunkter og resultater. Til disse forelæsninger, som tyskerne senere kaldte »Bohrfestspiele«, samlede en stor del af fysikere, der arbejdede med atomproblemerne. Göttingen, som længe havde været et af matematikkens og fysikkens hovedcentre, havde ved denne tid en lysende skare af forskere på disse områder. Af matematikerne virkede endnu Felix Klein, Hilbert, Landau og Runge, til hvilke Bohr gennem sin bror Harald havde venskabelige forbindelser, ligesom til den med ham omtrent jævnaldrende Courant. Blandt fysikerne i Göttingen var både Franck og Born og den unge Pauli, hvis fremragende artikel over relativitetsteorien i Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften fornylig var udkommet, var nu Borns assistent, medens Hund lige var blevet Francks assistent. Begge skulle – ligesom den unge Heisenberg, der var kommet fra München sammen med sin og Paulis lærer Sommerfeld – snart komme til at tilhøre Bohrs kreds i København. Ehrenfest, som et halvt år tidligere havde gjort et mindeværdigt besøg dér, var kommet fra Leiden. At nævne alle de fremragende ældre og yngre fysikere, der var til stede ved Bohrs forelæsninger, til hvilke jeg var fulgt med som hans assistent, må jeg afstå fra; det ville næsten blive et homerisk skibskatalog. På dette tidspunkt var Bohr, som tidligere havde mødt adskillig kritik og mangel på forståelse, blevet den, alle med ærbødighed lyttede til, således at diskussionerne i tilknytning til forelæsningsne mere drejede sig om, hvorvidt Bohr havde ment sådan eller sådan, end om selve sagen.



Billede fra 1920erne



Niels Bohr prøver en motorcykel tilhørende en af de unge medarbejdere

Allerede i efteråret kom Pauli til København, hvorved også uærbødigheden kom til sin ret understøttet af Bohrs egen selvkritik og humoristiske sans. I december samme år modtog han nobelprisen i Stockholm. Ved den obligatoriske forelæsning, til hvilken han som emne havde valgt atomernes bygning, skete der det uheld, at han glemte sine papirer på hotellet, således at han måtte begynde uden disse, medens de blev hentet. Dette var imidlertid snarest en fordel, da det tvang ham til at improvisere, således som han gjorde det i private samtaler.

Medens jeg i de år, der hidtil har været tale om, tilbragte en stor del af tiden i København, var jeg fra efteråret 1922 til det tidlige forår 1926 næsten helt fraværende, idet jeg opholdt mig i Sverige og Amerika. Derimod var jeg de følgende fem år permanent i København. Dog fulgte jeg gennem korte besøg og breve i store træk, hvad der skete i mellemtiden, ikke mindst gennem Kramers, som nu i egenskab af universitetslektor var endnu fastere knyttet til instituttet på Blegdamsvej. Medens Pauli, som før omtalt, kom til København i efteråret 1922 på et langt ophold, begyndte Heisenbergs mere permanente københavner-tid et år senere. Foruden en fortsat forfinelse af Bohrs korrespondensbetragtninger kom der nu en stadigt ivrigere diskussion i gang om de vanskelige punkter i teorien. Først og fremmest drejede det sig herved om umuligheden af inden for den hidtidige ramme at finde plads til den anomale Zeemaneffekt og spektralliniernes multipletstruktur. Men også på andre måder viste denne ramme sig at være utilstrækkelig, ja modsigelsesfuld. Det gjaldt f. eks. Bohrs antagelse af, at de stationære tilstande skulle kunne beskrives mekanisk, skønt dette ikke lod sig gøre for overgangene. Denne antagelse havde han ingenlunde betragtet som selvfølgelig, men den havde hidtil væsentlig bidraget til udviklingen af hans atomteoretiske program. Samtidig blev diskussionen af kvanteparadokset, som det viste sig ved spørgsmålet om strålingen, efterhånden mere tilspidset.

Medens Bohr utvivlsomt i tiårsperioden 1913–23 trods vigtige bidrag også af andre forskere havde været den ledende forsker med hensyn til hele det problemkompleks, den nye på kvanteteorien byggede atomteori omfattede, nærmede sig nu den tid, da hovedfremskridtene skulle komme fra en yngre generations forskere, men imidlertid med Bohr som den stadige idégiver og mere som den, der filosofisk sammenfattede den opnåede viden. I nær tilknytning til tidligere tanker af Bohr lykkedes det således Kramers i 1924 at formulere en kvanteteori for lysets spredning ved vekselvirkning med atomare systemer, som, samtidig med at den udgjorde en meget smuk

anvendelse af korrespondenssynspunktet, pegede fremad i retning mod en streng kvantemekanik. Dette arbejde blev til i sammenhæng med Bohrs før omtalte forsøg på at løse kvanteparadokset ved opgivelse af energisætnin- gens strenge gyldighed, men beholdt sin værdi efter at dette forsøg havde vist sig at være forfejlet.

Omtrent på samme tid kom Pauli i tilknytning til det af adskillige for- skere foretagne studium af spektrenes multipletstruktur og den anomale Zeemaneffekt til et andet betydningsfuldt resultat, nemlig at elektronen ud- over de tre sædvanlige kinematiske frihedsgrader må besidde en fjerde fri- hedsgrad svarende til et kvantetal, som imidlertid kun kan antage to talværdier. Dette blev udgangspunktet for hans udelukkelsesprincip, der gav den endelige afklaring af Bohrs grundlæggende betragtninger over atomernes elektrongrupper. Den fjerde frihedsgrad skulle snart få en interessant tyd- ning ved den af Goudsmit og Uhlenbeck – og lidt tidligere af Kronig, som imidlertid ikke publicerede sine betragtninger – opstillede hypotese om elek- tronens spin, der i store træk førte til en kvantitativ forståelse af den ano- male Zeemaneffekt og multipletstrukturen.

Heisenberg, som havde været i København det meste af tiden fra efter- året 1923, fik under et ferieophold på Helgoland i sommeren 1925 en idé til i videreførelse af korrespondenssynspunktet at give de grundlæggende kvanteteoretiske love en streng formulering, der skulle få den allerstørste be- tydning for den følgende udvikling af kvanteteorien og dens anvendelse. I tilknytning til Kramers' teori for lysets spredning, til hvis videre udvikling han under sit københavnsophold selv havde bidraget, fandt han en sindrig måde at omskrive mekanikken i kvanteteoretisk retning ved at udgå fra netop de størrelser, der beskriver overgangene mellem de stationære tilstande såvel som lysets spredning fra atomet. Midlet hertil var en regel han opstil- lede for sådanne størrelses sammensætning, hvis direkte udgangspunkt var den fundamentale relation, hvorved frekvenserne hos det emitterede lys be- stemmes af de pågældende atomtilstandes energiforskel.

Denne Heisenbergs idé udvikledes snart til en i formel henseende fuld- stændig kvantemekanik af Born og Jordan samt Heisenberg selv og omtrent samtidig af Dirac, som fik impulsen til sit arbejde gennem et besøg af Heisen- berg i Cambridge. Et smukt bidrag blev givet allerede i efteråret 1925 af Pauli, der nu var i Hamborg, og som gennem en algebraisk metode løste brint- atomets problem i den nye kvantemekanik i fuld overensstemmelse med de tid- ligere resultater såvel for det frie atom som i nærværelse af forstyrrende elek-

triske og magnetiske felter, men således at de tidligere vanskeligheder nu faldt væk. Som Pauli bemærkede, manglede der imidlertid i den Heisenbergske kvantemekanik en side af den mekaniske beskrivelse, der har med forfølgelsen af en partikels bevægelse i tid og rum at gøre. Endvidere opfyldte teorien endnu ikke relativitetsteoriens krav. I begge henseender skulle der snart komme væsentlige fremskridt.

At Heisenbergs arbejde og dets fortsættelse, der svarede så nøje til, hvad Bohr stræbte efter med sine korrespondensbetragtninger, men dengang endnu havde betragtet som et fjernt mål, måtte gøre det dybeste indtryk på ham og hele københavnerkredsen, kan man let forestille sig. Jeg erindrer endnu, hvor forundret jeg selv blev, da Kramers i efteråret 1925 sendte mig et postkort, hvori han skrev, at der nu var kommet en ny formulering af kvanteteorien uden eksplicite kvantebetingelser, men i stedet for disse en mystisk algebraisk relation mellem ikke-kommuterende størrelser.

Først i det følgende semester – fra marts 1926 – skulle jeg selv opleve det røre, der var opstået gennem de nye fremskridt, som nu yderligere forøgedes gennem Schrödingers bølgemekaniske arbejder, der byggede på en tidligere idé af de Broglie. Samme forår kom Heisenberg og Pauli igen til København, hvad der gav anledning til ivrige diskussioner om den dybere mening af de nye teoretiske synspunkter, og især om forholdet mellem Schrödingers bølgeligning og den Heisenbergske algebraiske kvantemekanik. Pauli viste os straks efter sin ankomst en mærkelig matematisk sammenhæng mellem de to formalismer, hvormed mystikken omkring den kendsgerning, at de i de hidtil behandlede tilfælde havde givet overensstemmende resultater, blev fjernet. I en kort tid derefter udgivet afhandling af Schrödinger viste det sig, at også han havde fundet denne sammenhæng. I løbet af sommeren kom der yderligere vigtige bidrag til teorien, blandt hvilke Borns behandling af stødproblemerne skal nævnes. Heri understregedes påny kvanteteorien statistiske karakter i forbindelse med bølgefunktionerne, som Schrödinger selv havde opfattet som feltstørrelser i klassisk-fysisk forstand.

Ved denne tid mistede Bohr og Instituttet den uvurderlige medarbejder Kramers, der nu vendte hjem til Holland som professor i Utrecht efter et næsten tiårigt ophold i Danmark. Hans efterfølger som lektor blev Heisenberg, der i lighed med sin forgænger forelæste på dansk, som han allerede talte ubesværet. Dette er to særlig gode eksempler på Bohrs virke for det danske sprogs udbredelse.

I efterårssemestret fortsatte diskussionerne med flere og flere deltagere.

Dirac var nu kommet til København, og selv om han ikke deltog meget i disse drøftelser, fik han indirekte stor betydning ved sine fremragende arbejder, der stedse tydeligere viste, at kvantemekanikken er én eneste sammenhængende teori. En lignende almindeliggørelse som Diracs var omtrent samtidig udviklet af Jordan i Göttingen, der senere også kom til København. Diskussionerne nåede et højdepunkt, da Schrödinger kom på et kort besøg og fortalte om sine forsøg på at udvikle sin fremstilling af kvantemekanikken til en bogstavelig bølgeteori, svarende til den, der i begyndelsen af det 19. århundrede havde erstattet korpuskularteorien for lyset. Det endte imidlertid med, at han måtte erklære sig besejret af Bohrs og Heisenbergs argumenter (se nærmere herom side 99), noget som han senere hen mærkeligt nok angrede.

Imidlertid herskede der stadig stor uklarhed med hensyn til den matematiske teoris fysiske indhold, idet det gamle kvanteparadoks vedrørende bølger og partikler nu ikke blot gjaldt lyset, men ifølge de Broglies og Schrödingers ideer, der i mellemtiden havde fået direkte eksperimentel bekræftelse, også de materielle partikler.

Stødet til den endelige klarlæggelse fik Bohr i foråret 1927 gennem et meget betydningsfuldt nyt arbejde af Heisenberg, hvori denne opstillede de såkaldte ubestemthedsrelationer. Ifølge disse består der et reciprok forhold mellem den optimale nøjagtighed, hvormed samtidig to størrelser som f. eks. en bevægelsesmængdekomponent og tilsvarende stedkoordinat eller energi og tid lader sig definere. Heisenberg havde også gjort forsøg på ved hjælp af tankeeksperimenter at demonstrere den anskuelige betydning af disse relationer. Men medens Bohr var dybt betaget af selve den almene formulering af sådanne relationer, måtte han ved nærmere betragtning stille sig kritisk til disse tankeeksperimenter.

Imidlertid virkede såvel resultaterne af som manglerne i Heisenbergs arbejde stærkt inspirerende på ham, og fra nu af arbejdede han næsten dag og nat med disse spørgsmål. Opgaven passede også storartet til hele hans videnskabelige habitus, hvor hans på en gang håndfaste og fine følelse for det anskuelige og dets grænser og hans filosofisk-kritiske trang forenede sig med et dybtgående kendskab til bølgebevægelsens egenskaber, som han skyldte et tidligt studium af Rayleighs arbejder. Alligevel måtte han nu kæmpe med vanskeligheder, der nok kunne sammenlignes med dem, han havde mødt i de tidligere års arbejde.

Som sædvanlig begyndte han meget snart at skrive, d. v. s. at diktere, og



samtidig kom der hele tiden nye tanker og nye tvivl, således at det, der blev skrevet den ene dag, kasseredes den næste. På denne måde gik resten af foråret og hele sommeren, hvor arbejdet gik for sig på Bohrs sommersted i Tisvilde. Det drejede sig herved i første linie om at definere en optimal måling af en elektrons sted, koordinat, henholdsvis bevægelsesmængde. For den førstnævnte måling havde Heisenberg foreslået, hvad han kaldte et  $\gamma$ -strålemikroskop, hvorved elektronen tænkte belyst med  $\gamma$ -stråler, hvorefter den spredte stråling tænkte iagttaget ved hjælp af en passende fokuseringsanordning. Brugen af  $\gamma$ -stråler i stedet for almindeligt lys havde til hensigt at drive nøjagtigheden så vidt, at fejlen blev lille i forhold til atomets dimensioner. Heisenberg havde nu bemærket, at den til lysspredningen knyttede Comptoneffekt ville bevirke en ændring af elektronens bevægelsesmængde, således at denne efter spredningsprocessen var blevet en anden end før processen. Han så deri det træk, der svarede til den mangel på definition af bevægelsesmængden, som ifølge ubestemthedsrelationen knytter sig til en nøjagtig definition af stedet. Bohr viste imidlertid, at ubestemtheden i bevægelsesmængden i dette tilfælde ikke havde nogen direkte forbindelse med den omstændighed, at bevægelsesmængden ændres gennem Comptoneffekten, men derimod hidrører fra Comptoneffektens egen uundgåelige ubestemthed, når forsøgsanordningen er sådan, at den kan bruges til en nøjagtig stedsbestemmelse. Såvel for stedsmåling som for måling af bevægelsesmængde gennemførte han undersøgelsen i enkeltheder og kunne derved påvise en fuldstændig overensstemmelse mellem målemulighederne og de af Heisenbergs relationer følgende definitionsmuligheder. Det her antydede udgør kun ét eksempel på den fylde af betragtninger vedrørende samstemmigheden mellem iagttagelses- og definitionsmuligheder ifølge kvanteteorien, der blev klarlagt gennem Bohrs arbejde. Herved viste sig netop bølgebegrebet at være det naturlige hjælpemiddel, da det jo drejede sig om forholdet mellem rum-tidbeskrivelsen og bevægelsesmængde-energibevarelsen ved de atomare processer. På denne måde opnåede Bohr en forenklet udledning af selve ubestemthedsrelationerne, der dog i sig var ækvivalent med den udledning Heisenberg havde givet med udgangspunkt i den algebraiske kvantemekanik.

Den ydre gang af arbejdet var, at Bohr, som fra foråret havde benyttet mig som assistent, da sommeren var forbi ikke havde nået at få et manuskript færdigt, skønt han i store træk havde løst de problemer, han havde stillet sig. Dette var en skuffelse, da han havde lovet at holde et foredrag

ved en kongres i anledning af hundredeåret for Voltas død, som skulle finde sted i Como i september. Under stærkt pres fra sin bror Harald, som i sådanne tilfælde var en trofast hjælper, fik han til sidst skrevet et meget kort manuskript til et brev til Nature, som skulle af sted fra Institutten morgenen efter at han sammen med fru Bohr var rejst sydpå med nattoget fra København. Da jeg kom til Institutten den næste morgen, viste det sig imidlertid, dels at de først var rejst med morgentoget – Bohr havde glemt, at han havde lagt passene på sit bord på kontoret – dels at han havde taget manuskriptet med på rejsen.

Fortsættelsen blev alligevel heldig, thi i Como traf Bohr sammen med Pauli, der blev yderst interesseret i de nye tanker og som efter kongressen under et ophold sammen med Bohr ved Como-søen gennem en passende blanding af kritik og anerkendende forståelse hjalp Bohr at få et nyt betydeligt fyldigere manuskript – nu på tysk – tilsyneladende så godt som færdigt, således at det snart efter hjemkomsten kunde sendes til Naturwissenschaften og omtrent samtidig – i engelsk oversættelse – til Nature. Men det viste sig snart, at dette stadig kun var begyndelsen. Under hele efteråret 1927 og vinteren 1928 blev der en bestandig retten af den ene korrektur efter den anden, hvori en stor del af Institutten medlemmer tog del; og på et tidspunkt blev endog korrektoren erstattet af et helt nyt manuskript, da den knap kunne læses på grund af de mange rettelser. Den sidste korrektur kom først af sted ved påsketid 1928.

For i få ord at antyde resultatet af dette Bohrs kæmpearbejde, så viste han på den ene side, at man heller ikke i kvanteteorien kan undvære den klassiske fysiks grundbegreber – som sted- og tidkoordinater samt energi og bevægelsesmængde – da muligheden af at drage entydige slutninger fra iagttagelserne hviler på, at der ved forsøgsanordningerne kan ses bort fra de med Plancks virkningskvantum sammenhængende afvigelser, således at forsøgene beskrives af de klassiske fysiske love. På den anden side medfører eksistensen af virkningskvantet, at enhver iagttagelse betyder et indgreb i det fænomen, man vil undersøge, der ikke kan bringes under en vis minimal størrelse, og heraf følger, at de forskellige forsøgsanordninger blot i specielle tilfælde er forenelige i den forstand, at der ved det næste forsøg skulle kunne bygges videre på et forudgående forsøg med en anden anordning. Således vil, som vi har set, efter en nøjagtig stedsbestemmelse, kendskabet til bevægelsesmængden, som måske til at begynde med var velkendt, være blevet meget ringe.

Dette forhold, som på det nøjeste hænger sammen med den statistiske karakter af den kvanteteoretiske naturbeskrivelse, betegnede Bohr med ordet komplementaritet, idet han kaldte sådanne begreber som sted og bevægelsesmængde komplementære. I kvanteteorien har man altså den situation, at visse for den fuldstændige beskrivelse uundværlige begreber står i en slags modsætningsforhold til hinanden. Det var netop arten af dette modsætningsforhold han ville antyde gennem ordet komplementaritet, idet det ene af et sådant begrebspar kompletterer det andet, men også sætter en grænse for dettes samtidige anvendelighed.

Omtrent en måned efter Comomødet afholdtes der i Bruxelles en Solvaykonference over emnet »elektroner og fotoner«. Jeg husker endnu, hvor ivrigt Bohr så frem til denne lejlighed til igen at møde Einstein og fortælle ham om sit syn på kvanteproblemerne, som han mente Einstein straks ville ikke blot fatte, men også betragte som en tilfredsstillende opløsning af det gamle kvanteparadoks, idet Bohr jo i så høj grad byggede videre på Einsteins tidligere tanker. Men det skulle derved gå ham som det ti år tidligere var gået Einstein selv over for Mach med hensyn til relativitetsteorien; dog med den store forskel, at Einstein med dybeste interesse satte sig ind i Bohrs tanker. Som Bohr selv så smukt har skildret, blev Einstein således ved med at fremsætte det ene skarpsindigt udtænkte tankeeksperiment efter det andet – først i Bruxelles, så i Ehrenfests hjem i Leiden og også ved senere lejligheder – hvorved han hver gang mente at have påvist en ufuldstændighed i Bohrs opfattelse. Bohr kom temmelig skuffet hjem fra rejsen, men samtidig glad over den lejlighed, han havde haft til i enkeltheder at forsvare sit standpunkt mod en så dybtstående modstander. Og det morede ham at fortælle om, hvordan det var lykkedes ham at gendrive ethvert af Einsteins eksempler og især, at denne hver gang havde erkendt fejlen i sin betragtningensmåde, dog uden at opgive sit principielle standpunkt, at den kvanteteoretiske statistiske naturbeskrivelse måtte være ufuldstændig.

Medens Bohr var beskæftiget med udarbejdelsen af komplementaritetssynspunktet kom der stadig nye fremskridt med hensyn til den kvanteteoretiske formalisme og dens anvendelse på forskellige fysiske problemer, der hidtil havde unddraget sig en teoretisk forklaring – Diracs behandling af strålingsproblemet og navnlig hans teori for elektronen; Paulis, Jordans og Heisenbergs udvikling af grundvolden for kvantefeltteorien; den indgående behandling af kvanteteorien for systemer af identiske partikler og dermed sammenhængende symmetrier af Heisenberg, Dirac, Hund, Wigner o. a. for

blot at nævne dem der forekommer mig at være de vigtigste. Men da Bohrs reaktion på disse fremskridt væsentlig falder i det af Rosenfeld behandlede tidsafsnit skal jeg ikke berøre dem her. I stedet for skal jeg give nogle antydninger om hans videre arbejde med det almene komplementaritetsproblem i slutningen af tyverne.

Den nye erkendelse, som Bohr havde opnået med hensyn til fysikkens fundament – og hvis mest karakteristiske træk er, at man i kvanteteorien, i modsætning til den klassiske fysik, aldrig må glemme, at en måling betyder et indgreb i det fænomen, man vil undersøge\*) – førte ham tilbage til de unge års erkendelsesteoretiske betragtninger, hvorved hans gamle tanke: at tænkningen over tænkningen udgør et singulært punkt i bevidstheden, fik følgende med den nævnte fysiske situation dybt analoge form: »En beskrivelse af vor tankevirksomhed forlanger på den ene side, at et objektivt givet indhold stilles over for et betragende subjekt, medens på den anden side – således som det fremgår allerede af et sådant udsagn – ingen skarp adskillelse mellem objekt og subjekt kan opretholdes, da jo også det sidstnævnte begreb tilhører vort tankeindhold«. Dette citat er taget fra Bohrs artikel i anledning af Plancks 50-års doktorjubilæum i 1929, hvor han, efter en sammenfattende redegørelse for sit syn på kvanteteorien, benyttede lejligheden til at give nogle antydninger om, hvordan komplementaritetssynspunktet danner den naturlige baggrund for diskussionen af væsentlige filosofiske og psykologiske problemer. Blandt andet peger han i denne forbindelse på den lærerige analogi, der består mellem kvanteteoriens bølge-partikelparadoks og den tilsyneladende modsætning mellem den kontinuerte fremadskriden af den associative tænkning og bevarelsen af personlighedens enhed, hvorved iagttagelsens indgreb i de atomare fænomener modsvares af de psykiske oplevelsers forandring med selvanalyse.

Men Bohr ville også gennem at pege på dagligdags psykologiske erfaringer vedrørende vanskeligheden ved at skelne mellem subjekt og objekt gøre det lettere at forstå den nye situation i fysikken, hvor hans indstilling, selv for mange fysikere, fremstod som altfor radikal eller mystisk. I denne forbin-

\*) Som det vil fremgå af de følgende afsnit, har Bohr senere ændret sin terminologi på dette punkt. For at undgå misforståelser fandt han det bedst ikke at tale om iagttagelse som »indgreb i fænomenet«, men i stedet udelukkende at anvende ordet »fænomen« til en beskrivelse af iagttagelser vundet under nærmere specificerede forhold omfattende en redegørelse for hele forsøgsanordningen.

delse nævnte han som et særligt simpelt eksempel den måde, hvorpå man gennem at føle sig frem i mørke ved hjælp af en stok ved at fatte hårdt om denne forlægger skillestedet mellem subjekt og objekt til stokkens endepunkt, medens stokken, når den holdes løst, i sig selv opfattes som objekt.

Jeg skal afslutte disse glimt af Niels Bohr som forsker og tænker med nogle ord af ham selv i slutningen af den lige nævnte artikel, nemlig: »Det lå mig også på sinde på eftertrykkelig måde at fremhæve, hvor dyb en rystelse den nye erkendelse har bragt af grundvolden for den begrebsbygning, hvorpå ikke alene fysikkens klassiske fremstilling men også hele vor sædvanlige tanke-måde hviler. Netop den herigennem vundne befrielse har vi at takke for de vidunderlige fremskridt af vor indsigt i naturfænomenerne, som vi har tilkæmpet os i løbet af den sidste menneskealder; et fremskridt der overgår alle forhåbninger, som man blot for få år siden turde nære. Fysikkens øjeblikkelige stilling kendetegnes måske allerbedst derved, at næsten alle tanker, som nogensinde har været anvendt med udbytte i naturforskningens tjeneste, er kommet til deres ret i en fælles harmoni uden derved at have tabt i frugtbarhed.«