



Victor Bahr

MINDEORD

I

NIELS BOHR

7. oktober 1885–18. november 1962.

Taler i Videnskabernes Selskabs møde den 14. december 1962.

1.

Af **C. Møller.**

Niels Henrik David Bohr blev født den 7. oktober 1885 i København som søn af fysiologen Christian Bohr og hustru Ellen f. Adler. Sammen med broderen Harald, den senere berømte matematiker, voksede han op i et milieu, der utvivlsomt har haft den allerstørste indflydelse på hans udvikling. I barndomshjemmet færdedes mange af tidens betydeligste personligheder, og Niels Bohr har selv i den tale til minde om Harald Høffding, han holdt her i Selskabet den 11. december 1931, fremhævet den berigelse, det var for ham og hans bror, at have lejlighed til i en ung alder at lytte til diskussionerne i de historiske aftensammenkomster, som en lille kreds af videnskabsmænd omkring århundredeskiftet regelmæssigt afholdt i hinandens hjem. Foruden Bohrs far bestod de andre medlemmer af denne kreds af sprogforskeren Vilhelm Thomsen, filosofen Harald Høffding og fysikeren Christian Christiansen, der senere blev Bohrs meget værdsatte lærer ved universitetet. De ofte livlige diskussioner i denne kreds, der berørte alle kulturlivets områder, må tidligt have givet de unge modtagelige sind et varigt indtryk af videnskabens enhed og må have været fremmede for den alsidighed og harmoni, der så stærkt prægede Bohrs hele senere virke. Man kan heller ikke lade være at tænke på, at hans egne lykkelige erfaringer under opvæksten, hvor særegne naturlige anlæg blev understøttet så stærkt af gunstige ydre kår, har været medvirkende til hans altid vågne interesse og aktive indsats for en stadig forbedring af især de unge videnskabsmænds kår, en indsats,

som en hel generation af danske fysikere står i dyb taknemmelighedsgæld til ham for.

Bohr blev student fra Gammelholm skole i 1903, hvorefter han påbegyndte sit studium ved Københavns universitet, der afsluttedes med magistergraden i fysik i 1909. Blandt hans lærere fra studietiden må nævnes fysikeren P. K. Prytz, matematikeren H. G. Zeuthen, astronomen og matematikeren T. N. Thiele og især C. Christiansen, som både gennem sine berømte forelæsninger og ved personlig vejledning gav ham den dybtgående indføring i den klassiske teoretiske og eksperimentelle fysiks metoder, som blev en væsentlig forudsætning for den sikkerhed, hvormed Bohr senere kunne gennemføre den udvidelse af den klassiske makroskopiske fysik, som en indtrængen i den mikroskopiske verden nødvendiggjorde. Endelig må nævnes fysikeren Martin Knudsen, der især var kendt for sine betydningsfulde undersøgelser over luftarternes molekylteori, samt ungdomsvennen, kemikeren Niels Bjerrum, der tidligt var klar over betydningen af Plancks kvantehypotese for forståelsen af de af molekylerne udsendte spektre.

Allerede i sin studietid udførte Bohr en teoretisk og eksperimentel undersøgelse over svingninger i vædskestråler, som blev belønnet med Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs guldmedalje i 1907. Opgaven var stillet af Christiansen og blev iøvrigt også besvaret af P. O. Pedersen, der ligeledes fik tilkendt guldmedaljen. Bohrs guldmedaljeafhandling dannede grundlag for hans første publikation i *Philosophical Transactions* i 1909. Det drejer sig om en bestemmelse af overfladespændingen i vand ved måling af vibrationer i vandstråler på grundlag af Lord Rayleighs teori. Dette arbejde, der er det eneste publicerede eksperimentelle arbejde fra Bohrs hånd, bærer vidnesbyrd om den dybe forståelse også af eksperimentalfysikkens metoder og problemer, som blev så betydningsfuld under hans opbygning af Universitetets institut for teoretisk fysik, der jo, til trods for navnet, fra første færd var et både teoretisk og eksperimentelt fysisk institut.

Bohrs andet arbejde, publiceret i *Proceedings of the Royal Society* i 1910, behandler et emne fra den samme problemkreds. Det er i virkeligheden en polemik med den dengang berømte, senere i Hitlertiden så sorgeligt berygtede, tyske fysiker P. Lenart, som i et arbejde fra samme år ud fra sine eksperimenter havde

draget den slutning, at overfladespændingen i en nylig dannet vanddråbe var en hurtigt varierende funktion af tiden – et resultat, som Bohr kunne modbevise på grundlag af sine egne undersøgelser i den første afhandling.

I 1911 erhvervede Bohr doktorgraden på sin vægtige afhandling om »Metallernes Elektrontheori«. I dette arbejde fører Bohr, under anvendelse af de mest generelle metoder fra den statistiske teori, de af Drude og Lorentz påbegyndte teoretiske undersøgelser over metallernes ledningsevne for elektricitet og varme så langt frem som det overhovedet er muligt på grundlag af den klassiske mekanik og elektrodynamik. Han finder nye sammenhænge mellem fænomenerne og han omstøder tidligere, af andre forfattere fremsatte formodninger især vedrørende stoffernes magnetiske egenskaber. I afhandlingens sidste tese siges det rent ud: »Det synes ikke muligt, på Elektrontheoriens nuværende Standpunkt, ud fra denne Theori at forklare Legemernes magnetiske Egenskaber.« I lyset af den senere udvikling er de interessanteste afsnit af denne afhandling måske netop de ofte med petit trykte indskud, hvor Bohr gør opmærksom på teoriens fundamentale begrænsning.

Når jeg har omtalt disse tre første arbejder af Bohr så udførligt, er det af flere grunde. Dels har man været tilbøjelig til at overse disse arbejders betydning på baggrund af Bohrs overvældende indsats i de følgende år; dels danner de en meget interessant periode i Bohrs egen udvikling, idet den dybe fortrolighed med den klassiske fysiks traditioner, som de vidner om, kan spores i alle hans senere bestræbelser for at udforme den nye revolutionerende teori på en sådan måde, at den blev en udvidelse af og ikke et egentlig brud med den klassiske fysik. Det var netop dette forhold, der tillod ham at undgå den vilkårlighed, der præger andre samtidige forsøg på en forklaring af de ejendommelige nye fænomener man møder i atomernes verden.

Efter den forholdsvis jævne og rolige udvikling, der kendetegner den klassiske periode, startede Bohr nu i 1913 den eksplosionsagtige udvikling af fysikken, som helt skulle ændre vort verdensbillede. I dette år publicerede Bohr selv ikke mindre end seks afhandlinger, i hvilke et væld af gamle og nye fænomener pludseligt blev bragt i forbindelse med hinanden og fik deres naturlige forklaring. Det første arbejde i *Philosophical Magazine*

fra januar 1913 bygger endnu på den klassiske mekanik og indeholder en beregning af bevægede elektrisk ladede partiklers bremsning ved gennemgang gennem stof på grundlag af Rutherfords atommodel. I 1911 var det lykkedes Rutherford i Manchester ud fra sine eksperimenter over α -partiklers spredning ved gennemgang gennem forskellige stoffer at give et helt nøjagtigt billede af atomernes opbygning, og under et studieophold i Manchester, umiddelbart efter doktordisputatsen, havde Bohr haft lejlighed til på første hånd at sætte sig ind i de nye opfattelser af atomets bygning, som afveg så væsentligt fra den hidtidige, især af J. J. Thomson forfægtede atommodel. I et senere arbejde fra 1915 udviklede Bohr de i arbejdet fra januar 1913 indeholdte betragtninger, blandt andet under hensyntagen til relativitetsteorien, og i et stort anlagt arbejde, publiceret i dette Selskabs matematisk-fysiske meddelelser fra 1948, vendte Bohr tilbage til denne problemkreds, idet han gav en sammenfattende fremstilling af alle de herhenhørende fænomener i lyset af den senere udvikling. Dette sidste arbejde er blevet en veritabel bestseller, som Selskabet har måttet lade trykke i stadig nye oplag.

De øvrige afhandlinger fra 1913, som utvivlsomt må anses for hovedværkerne blandt Bohrs ungdomsarbejder, består af tre afhandlinger i *Philosophical Magazine* fra juli, september og november, et kortere arbejde i *Nature* fra oktober og en sammenfattende, mere populær artikel i *Fysisk Tidsskrift* fra slutningen af året. Denne sidste er et referat af et foredrag, Bohr holdt i Fysisk Forening den 20. december 1913 og, selvom den vel ikke bringer noget nyt i forhold til de lige nævnte artikler, er den dog overordentlig interessant derved, at den viser, at der åbenbart indenfor det korte spænd af tid har fundet en vis afklaring sted, idet ordvalget og formuleringen i den sidste artikel er netop sådan, som vi genfinder dem i Bohrs senere arbejder.

Udgangspunktet i alle disse arbejder er Rutherfords atommodel, ifølge hvilket et atom består af en positivt elektrisk ladet kerne, indeholdende praktisk talt hele atomets masse, som omkredses af et antal meget lette negativt ladede partikler – elektronerne, på lignende måde som solen i vort solsystem er omkredset af planeterne. Det var imidlertid fra begyndelsen klart, at denne model, som havde gjort så god fyldest ved beskrivelsen af de fænomener, der knytter sig til gennemgangen af ladede

partikler gennem stof, i virkeligheden var i modstrid med kendte egenskaber hos de virkelige atomer, når man anvender den klassiske mekanik og elektrodynamik på en sådan model. Ifølge den klassiske fysiks love skulle nemlig et sådant atomsystem kontinuerligt udsende lys med en stadigt voksende frekvens, samtidigt med at elektronbanerne blev mindre og mindre for tilsidst at falde sammen med atomkernen. Den energimængde, som atomet derved ville udstråle, ville blive meget stor, i den grænse hvor kernen opfattes som en punktladning, ville den udstrålede energimængde endda være uendelig stor. Men dette var i åbenlys modstrid med de virkelige atomers overordentlige stabilitet såvel som med strukturen af det lysspektrum, der udsendes fra atomerne. Man havde nemlig allerede langt tidligere fundet, at atomerne under passende forhold udsender lys med bestemte diskrete, for det pågældende stof karakteristiske frekvenser. Specielt for det simpleste atom – brintatomet – havde Balmer så tidligt som i 1885 fundet en simpel empirisk formel for lysspektrets struktur. Senere undersøgelser, især af Rydberg, viste, at også andre stoffers spektre havde visse generelle træk tilfælles med brintspektret, specielt at der i alle spektres strukturformel indgik en bestemt konstant, som fik navnet Rydbergkonstanten.

Imidlertid var det, som Bohr fremhævede, heller ikke at vente, at den klassiske fysiks love kunne finde umiddelbar anvendelse indenfor atomerne. Allerede i begyndelsen af dette århundrede havde man nemlig opdaget visse fænomener, såsom varmestrålingen og fotoeffekten, der syntes at indeholde et element af diskontinuitet, som vanskeligt lod sig forene med det for den klassiske fysik karakteristiske træk af kontinuitet. Disse fænomener havde ført Planck og Einstein til den fra et klassisk-fysisk synspunkt ejendommelige antagelse, at omsætningen af energi mellem stof og stråling kun kunne ske i bestemte kvanter, uden at det dog blev helt klart, at det her drejede sig om et uigenkaldeligt brud med den klassiske fysik. Kun i den grænse hvor strålingens frekvens er lille, altså når det drejer sig om langsomme svingninger, syntes den klassiske elektrodynamik at bevare sin gyldighed.

Ved at forbinde de nævnte ideer af Planck og Einstein med Rutherfords model for brintatomet og med de i Balmerformlen udtrykte empiriske data lykkedes det nu Bohr at formulere de

simple, men for en klassisk-fysisk betragtning aldeles uforståelige principper, som med et slag bragte orden i det overvældende spektroskopiske forsøgsmateriale og som kom til at danne grundlaget for den fuldstændige og eksakte kvantemekanik, der udvikledes i løbet af de følgende femten år. I bevidst modstrid med den klassiske fysik opstillede han den hypotese, at elektronerne i atomerne kun kan eksistere i bestemte diskrete tilstande – de såkaldte stationære tilstande – og at de ved overgang fra een tilstand til en anden udsender lys med en frekvens, der er proportional med energiforskellen mellem disse tilstande. Men dertil føjede Bohr følgende, meget væsentlige princip, som sidenhen blev generaliseret og fik navnet korrespondensprincip: Selvom de lignende antagelser er i klar modstrid med den klassiske mekanik og elektrodynamik, må man forlange, at den nye beskrivelse bliver ækvivalent med den sædvanlige beskrivelse i det tilfælde, hvor det drejer sig om langsomme svingninger. Det er især med denne antagelse, at Bohrs teori så væsentligt afviger fra samtidige forsøg på en forklaring af spektrene. Det kan f. eks. nævnes, at den tyske fysiker Gehrke i et arbejde, publiceret i februar 1914, altså et halvt år efter fremkomsten af Bohrs teori, i nøje tilslutning til Plancks og Einsteins arbejder forsøgte at gøre rede for brintspektret; men i hans forsøg manglede netop den nævnte tilslutning til den klassiske fysik, som var sikret ved Bohrs korrespondensprincip. På grundlag af dette princip kunne Bohr allerede på et tidligt tidspunkt opnå eksakte kvantitative resultater, idet han f. eks. kunne udlede et endnu den dag idag gyldigt udtryk for den empiriske spektroskopiske Rydbergkonstant udtrykt ved de atomare konstanter e , m , c , h – elektronens ladning og masse, lysets hastighed i det tomme rum og Plancks virkningskvantum.

Dette var dog kun en af de første store triumfer, derudover kunne teorien forklare en lang række hidtil gådefulde fænomener. Det må være nok her at nævne Bohrs påvisning af at visse spektre, som hidtil havde været tilskrevet brint, måtte tilhøre ioniseret helium; videre hans forklaring af en lille forskel i værdierne af Rydbergkonstanten for disse spektre ved forskellen i de to atomkerners masse, samt forklaringen af Rydbergkonstantens almindelige optræden i de empiriske love for alle stoffers seriespektre. I de eksakte videnskabers historie er vel næppe forekommet et

mere dristigt brud med hvad man anså for fast funderede anskuelser end i den Bohrske atomteori; men allerede de første afhandlinger viste dens overordentlige frugtbarhed, og den nærmest følgende tid føjede hertil nye triumfer, så at den på få år havde vundet begejstret tilslutning fra alle sider.

Det er ikke muligt her i aften at omtale alle de mange afhandlinger fra Bohrs hånd, der udkom i tiden mellem 1913 og 1925, hvor han i rastløst arbejde skabte jordbunden for den endelige løsning af atomproblemet. Lad mig blot nævne hans almindelige formulering af korrespondensprincippet i 1918 samt hans kvanteteoretiske tydning af grundstoffernes periodiske system i 1921, for hvilken han i det følgende år blev belønnet med Nobelprisen.

I 1920 oprettedes Universitetets institut for teoretisk fysik på Bohrs initiativ og med ham som leder. Dette institut blev hurtigt et samlingssted for unge teoretiske fysikere fra hele verden, der under hans inspirerende ledelse og i den af ham skabte særlige atmosfære med begejstring arbejdede sammen på den endelige løsning af atomproblemet. Resultatet af disse anstrengelser, der foregik parallelt forskellige steder i Europa, blev den stolte tankebygning, som fik navnet kvantemekanik, fordi den kan opfattes som en konsistent generalisation af den klassiske mekanik. I en række afhandlinger i slutningen af tyverne gennemførte Bohr en dybtgående analyse af målingsproblemet i atomfysikken, hvorved fuldstændigheden og modsigelsesfriheden af den kvantemekaniske formalisme trådte tydeligt frem. Disse arbejder førte ham over i mere almene filosofiske undersøgelser, som allerede har præget og måske endnu mere i fremtiden vil præge udviklingen indenfor filosofien. Denne vigtige side af Bohrs virksomhed, som optog ham særligt i tiden op til midten af trediverne, skal jeg imidlertid ikke gå nærmere ind på, da Léon Rosenfeld vil tale derom.

Efter opdagelsen af neutronen i begyndelsen af trediverne kom der rigtig fart i den eksperimentelle udforskning af det inderste af atomet, selve atomkernen; men bortset fra Gamows forklaring af α -radioaktiviteten på grundlag af kvantemekanikken gik det i første omgang ret langsomt med den teoretiske beskrivelse af atomkernen. Det problem, der frembød sig her, var af en helt anden art end det der forelå, da Bohr gjorde sit store

fremstød i 1913. Dengang havde man gennem Rutherfords undersøgelser fået en bestemt atommodel og et ganske nøjagtigt kendskab til de kræfter, der virker mellem atomkernen og de ydre elektroner, såvel som mellem disse indbyrdes. Derimod kendte man ikke de fundamentale fysiske love, der gælder indenfor atomet. Omvendt kunne man nu regne med, at de fundamentale love indenfor atomkernen var de samme som i de ydre dele af atomet, nemlig de nu kendte kvantemekaniske love (Gamows forklaring af α -radioaktiviteten var jo netop baseret på et typisk kvantemekanisk fænomen, den såkaldte tunneleffekt), hvorimod man savnede en anvendelig model for atomkernen med et dertil hørende kendskab til de kræfter, der virker mellem atomkernens enkelte bestanddele.

Her var det nu, at Bohr gjorde en ny afgørende indsats i midten af trediverne. Den 27. januar 1936 holdt han her i Selskabet et foredrag, som kort efter blev trykt i *Nature*, i hvilket han udviklede sine nye forestillinger om atomkernernes opbygning, der kom til at danne grundlaget for alle teoretiske overvejelser over atomkernernes egenskaber op til den sidste krig. Ved en analyse af de eksperimentelle resultater vedrørende kernereaktioner fremkaldt ved bombardement af atomkerner med neutroner kunne han vise, at en kernereaktion i de fleste tilfælde foregår på den måde, at der først dannes en såkaldt *compound kerne*, der opstår ved indfangning af en neutron i den oprindelige kerne. Denne compound kerne lever forholdsvis meget længe i en højt anslået tilstand indtil energien så at sige tilfældigt igen koncentrerer på en enkelt kernepartikkel, der så forlader kernen ved en proces, der minder meget om en fordampning af et molekyle fra en ophedet vædske dråbe. Disse tanker udvikledes yderligere i et arbejde, som Bohr publicerede i dette Selskabs matematisk-fysiske meddelelser i 1937 i samarbejde med den unge, alt for tidligt afdøde danske fysiker Fritz Kalckar.

Da den vigtige kerneprocess, som siden fik navnet uranfission, blev opdaget af den tyske fysiker Otto Hahn i begyndelsen af 1939, ved bombardement af uran med neutroner, opholdt Niels Bohr sig i Princeton i Amerika. På samme tid arbejdede Robert Frisch og Lise Meitner på instituttet på Blegdamsvej og de var de første, der udtalte den formodning, at uranfissionen bestod i en spaltning af urankernen i to omtrent lige store dele, der farer

til hver sin side. Frisch var endda i stand til at eftervise denne opfattelses rigtighed ved direkte forsøg, idet han kunne opfange kernehelvdelen på to plader anbragt på hver sin side af det bombarderede uran. Det var ikke så få telegrammer, der krydsede atlanten i disse dage mellem København og Princeton med bud om de sidste resultater. I en kort note i Nature fra februar 1939 viste Bohr nu, at muligheden for en sådan proces, i hvilken en urankerne spaltes i to omtrent lige store dele, netop måtte ventes på grundlag af hans kernemodel, idet stabilitetsproblemet for en så tung kerne som urankernen kunne sammenlignes med det tilsvarende problem for en elektrisk ladet vædskeedråbe. I en længere artikel i julinummeret af Physical Review fra 1939, skrevet i samarbejde med den amerikanske fysiker J. A. Wheeler, kunne han dernæst på grundlag af denne dråbemodel i mange enkeltheder forudsige, under hvilke forhold en atomkerne kunne bringes til fission. Dette blev af den største betydning for den udvinding af atomenergien, som blev realiseret et par år senere, idet uranfissionen netop er den proces, der er virksom i atomreaktorerne.

Den 6. december 1939 holdt Bohr et foredrag i Selskabet for naturlærens udbredelse, som dannede grundlaget for en længere artikel i Fysisk Tidsskrift nr. 1–2 af 1941. I denne diskuterede han også muligheden for en udvinding af atomenergien og de uhyggelige muligheder for en anvendelse af denne til militære formål. Det var på det tidspunkt blevet helt klart, at det var den sjældne bestanddel af almindeligt uran – isotopen uran 235 – der her var den afgørende faktor, og han nævner at man ved at blande almindeligt uran med brinholdige stoffer måske kunne få en kædeproces igang, sådan at en fredelig udnyttelse af atomenergien ville blive realiseret. Samtidigt nævner han i artiklen, at hvis man kunne separere uranisotoperne, sådan at man fik en vejelig mængde af rent uran 235, ville man kunne disponere over en bombe med en sprængkraft millioner af gange større end den verden hidtil havde set. Samtidigt beroligede han os dog med, at en sådan isotopadskillelse ville være et teknisk problem af så uhyre dimensioner, at det næppe kunne løses indenfor vor generation.

Da Bohr i 1943 måtte forlade Danmark og over Sverige og England nåede Amerika, lærte han, at amerikanerne var i færd

med at løse problemet ad netop de nævnte veje. Den fredelige udnyttelse af atomenergien var allerede en kendsgerning efter Fermis konstruktion af den første atomreaktor i 1942, og samtidigt var amerikanerne godt på vej til gennem en næsten ufattelig indsats af tekniske ressourcer at løse problemet om en isotopadskillelse i stor stil. Resultatet af disse anstrengelser og de følger, det havde for hele verden, er velkendte. Bohr var vel nok blandt de første, der indså hvilke konsekvenser denne anvendelse af atomfysikkens resultater kunne medføre for menneskehedens fremtid, og han prøvede allerede under krigen og også efter krigen atter og atter at gøre sin indflydelse gældende for at få de betydende politikere i de store lande til at forlade vanetænkningens vej og indstille sig på den nye situation, der krævede en åben verden. Som bekendt lykkedes det ikke; men jeg tror aldrig Bohr tvivlede om, at hans tanker om disse spørgsmål til sidst måtte trænge igennem og det må have været en opmuntring for ham at opleve, at begivenhederne omkring Cubakrisen syntes at medføre en ændring af det politiske klima i den rigtige retning.

Efter krigen vidde Bohr, samtidigt med at han til det sidste fortsatte sit rent videnskabelige arbejde, en stor del af sin tid til de vigtige samfundsmæssige opgaver, som udviklingen af fysikken havde ført med sig, og som han med sin enestående indsigt og autoritet og sin evne til at vinde tillid havde held til at fremme så afgørende. I den forbindelse må det nævnes at Institutet på Blegdamsvej, som årligt modtager en strøm af udenlandske fysikere som gæster, blev udvidet flere gange, ligesom NORDITA – det nordiske institut for teoretisk atomfysik – blev oprettet i nær tilknytning til dette institut i 1957. Af andre store foretagender, ved hvis oprettelse Bohr var den drivende kraft, kan nævnes atomenergistationen på Risø samt CERN – det europæiske højenergilaboratorium i Genève.

Det er vel nok især denne del af Bohr indsats, der har gjort hans navn kendt af ethvert menneske i dette land og af millioner af mennesker ude omkring i verden; men for fysikerne over hele verden vil hans indsats for nu snart halvtreds år siden, som jo også danner grundlaget for alt det øvrige, stå som en bedrift, der hæver ham op i række med de store banebrydere i fysikken: Galilæi, Newton, Maxwell, Planck, Einstein, Rutherford.

Genierne tilhører jo hele verden og få har som Niels Bohr gennem sit hele virke været en sand verdensborger. Men vi véd også, at han var så inderlig forbundet med dansk kultur og dansk tænke- og følemåde, at han, hvis han var vokset op i et andet land, ikke ville have været – Niels Bohr. Vi har lov til at være stolte over, at denne mand udgik fra vort land og vi er dybt taknemmelige for, at han, for hvem hele verden stod åben, valgte sit fødeland til stedet for sit livslange, velsignelsesrige virke.

Niels Bohrs publikationer.

1. Determination of the surface-tension of water by the method of jet vibration, *Phil. Trans. Roy. Soc. A* **209** (1909) 281
2. On the determination of the tension of a recently formed water-surface, *Proc. Roy. Soc. A* **84** (1910) 395
3. Studier over metallernes elektrontheori, Dissertation (København, 1911)
4. Note on the electron theory of thermo-electric phenomena, *Phil. Mag.* **23** (1912) 984
5. On the theory of the decrease of velocity of moving electrified particles on passing through matter, *Phil. Mag.* **25** (1913) 10
6. On the constitution of atoms and molecules,
Part I, *Phil. Mag.* **26** (1913) 1
Part II, Systems containing only a single nucleus, *Phil. Mag.* **26** (1913) 476
Part III, Systems containing several nuclei, *Phil. Mag.* **26** (1913) 857
7. The spectra of helium and hydrogen, *Nature* **92** (1913) 231
8. Om brintspektret, *Fysisk Tidsskrift* **12** (1914) 97
9. Atomic models and x-ray spectra, *Nature* **92** (1914) 553
10. On the effect of electric and magnetic fields on spectral lines, *Phil. Mag.* **27** (1914) 506
11. On the series spectrum of hydrogen and the structure of the atom, *Phil. Mag.* **29** (1915) 332
12. The spectra of hydrogen and helium, *Nature* **95** (1915) 6
13. On the quantum theory of radiation and the structure of the atom, *Phil. Mag.* **30** (1915) 394
14. On the decrease of velocity of swiftly moving electrified particles in passing through matter, *Phil. Mag.* **30** (1915) 581

15. On the quantum theory of line spectra,
 Part I, On the general theory
 Part II, On the hydrogen spectrum
 Part III, On the spectra of elements of higher atomic structure,
 Skrifter, nat. mat. Dan. Vid. Selsk. 8. rk. **4**. no. 1 (1918–1922);
 Über die Quantentheorie der Linienspektren (Vieweg, Braun-
 schweig, 1923)
16. On the model of a triatomic hydrogen molecule, K. Vet. Nobelinst.
 Stockholm **5** no. 28 (1919)
17. Über die Serienspektren der Elemente, Z. f. Phys. **2** (1920) 423
18. Atomic structure, Nature **107** (1921) 104
19. Zur Frage der Polarisation der Strahlung in der Quantentheorie,
 Z. f. Phys. **6** (1921) 1
20. Atomic structure, Nature **108** (1921) 208
21. Abhandlungen über Atombau aus den Jahren 1913–1916 (Vieweg,
 Braunschweig, 1921) [enthält 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 und Die An-
 wendung der Quantentheorie auf periodische Systeme]
22. Atomernes bygning og stoffernes fysiske og kemiske egenskaber,
 Fysisk Tidsskrift **19** (1921) 153
 Atomernes bygning og stoffernes fysiske og kemiske egenskaber
 (København, 1922)
 Der Bau der Atome und die physikalischen und chemischen Eigen-
 schaften der Elemente, Z. f. Phys. **9** (1922) 1
23. The effect of electric and magnetic fields on spectral lines (7th
 Guthrie Lecture), Proc. Phys. Soc. (1922) 275
24. The theory of spectra and atomic constitution (University Press,
 Cambridge, 1922, 2nd ed. 1924) [contains 8, 17, 22]
 Drei Aufsätze über Spektren und Atombau (Vieweg, Braunschweig,
 1922)
 Les spectres et la structure de l'atome (J. Hermann, Paris, 1923)
25. On the selection principle of the quantum theory, Phil. Mag. **43**
 (1922) 1112
26. Om atomernes bygning, Nobelforedrag (Les prix Nobel, Stockholm
 1921–22; Gjellerups Forlag, København, 1923); Fysisk Tidsskrift
21 (1923) 6
 Über den Bau der Atome, Naturw. **11** (1923) 606; (Springer, Ber-
 lin, 1924)
 The structure of the atoms, Nature **112** (1923) 29
27. Röntgenspektren und periodisches System der Elemente (mit D.
 Coster), Z. f. Phys. **12** (1923) 342
28. Linienspektren und Atombau, Ann. d. Phys. **71** (1923) 228 29
29. Über die Anwendung der Quantentheorie auf den Atombau,
 I Die Grundpostulate der Quantentheorie, Z. f. Phys. **13** (1923) 117
 On the application of the quantum theory to atomic structure,
 Part I, The fundamental postulates, Proc. Cambr. Phil. Soc. **22**
 (1924) 1

30. Über die Quantentheorie der Strahlung (mit H. A. Kramers und J. C. Slater), *Z. f. Phys.* **24** (1924) 69
The quantum theory of radiation (with H. A. Kramers and J. C. Slater), *Phil. Mag.* **47** (1924) 785
31. Zur Polarisation des Fluoreszenzlichtes, *Naturw.* **12** (1924) 1115
32. Über die Wirkung von Atomen bei Stößen, *Z. f. Phys.* **34** (1925) 142
33. Atomic theory and mechanics, *Nature* **116** (1925) 845
Atomtheorie und Mechanik, *Naturw.* **14** (1926) 1
34. Spinning electrons and the structure of spectra, *Nature* **117** (1926) 265
35. Sir Ernest Rutherford, *Nature Suppl.* **118** (1926) 51
36. Sir J. J. Thomson's seventieth birthday, *Nature* **118** (1926) 879
37. The quantum postulate and the recent development of atomic theory, *Atti del Congresso Internazionale dei Fisici, Como 1927; Nature Suppl.* **121** (1928) 78, 580
Das Quantenpostulat und die neuere Entwicklung der Atomistik, *Naturw.* **16** (1928) 245
38. Sommerfeld und die Atomtheorie, *Naturw.* **16** (1928) 1036
39. Wirkungsquantum und Naturbeschreibung, *Naturw.* **17** (1929) 483
40. Atomteori og naturbeskrivelse (Københavns universitets festskrift, November 1929) [contains 33, 37, 39]
41. Atomteorien og grundprincipperne for naturbeskrivelsen, *Fysisk Tidsskrift* **27** (1929) 103
Die Atomtheorie und die Prinzipien der Naturbeschreibung, *Naturw.* **18** (1930) 73
42. Atomtheorie und Naturbeschreibung (Springer, Berlin, 1931) [enthält 33, 37, 39, 41]
Atomic theory and the description of nature (University Press, Cambridge, 1934, reprint 1961)
La théorie atomique et la description des phénomènes (Gauthier-Villars, Paris, 1932)
Atomteori og naturbeskrivelse (Schultz Forlag, København, 1958)
43. Maxwell and modern theoretical physics, *Nature* **128** (1931) 691
44. Chemistry and the quantum theory of atomic constitution (Faraday Lecture), *J. Chem. Soc.*, p. 349 (1932)
45. Atomic stability and conservation laws, *Atti del Convegno di Fisica Nucleare della »Fondazione Alessandro Volta«* (1932) 5
46. Light and Life, 11e Congrès Intern. de la Lumière, Copenhagen (1932); *Nature* **131** (1933) 421 and 457
Lys og liv, *Naturens Verden* **17** (1933) 49
Licht und Leben, *Naturw.* **21** (1933) 245
47. Zur Frage der Messbarkeit der elektromagnetischen Feldgrößen (mit L. Rosenfeld), *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* **12**, No. 8 (1933)
48. Sur la méthode de correspondance dans la théorie de l'électron, Septième Conseil de Physique (Institut Intern. de Physique Solvay, Paris, 1934)

49. Friedrich Paschen zum siebzigsten Geburtstag, *Naturw.* **23** (1935) 73
50. Zeeman effect and theory of atomic constitution, *Zeeman Verhandelingen* (1935) 131
51. Quantum mechanics and physical reality, *Nature* **136** (1935) 65
Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Phys. Rev.* **48** (1935) 696
52. Neutron capture and nuclear constitution, *Nature* **137** (1936) 344 and 351
Neutroneneinfang und Bau der Atomkerne, *Naturw.* **24** (1936) 241
53. Conservation laws in quantum theory, *Nature* **138** (1936) 25
54. Atomkernernes Egenskaber, *Fysisk Tidsskrift* **34** (1936) 186
55. Kausalität und Komplementarität, *Erkenntnis* **6** (1937) 293
Kausalitet og komplementaritet, *Naturens Verden* **21** (1937) 113
56. On the transmutation of atomic nuclei by impact of material particles, I. General theoretical remarks (with F. Kalckar), *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* **14**, No. 10 (1937)
57. Transmutations of atomic nuclei, *Science* **86** (1937) 161
58. Tribute to the late Lord Rutherford, *Nature Suppl.* **140** (1937) 1048
59. Biology and atomic physics, Galvani Congress, Bologna, 1937
Biologi og atomfysik, *Naturens Verden* **22** (1938) 433
60. Wirkungsquantum und Atomkern, *Ann. d. Phys.* **32** (1938) 5
Virkningskvantum og atomkerne, *Fysisk Tidsskrift* **36** (1938) 69
61. Analysis and synthesis in science, *Intern. Encyclopedia of Unified Science*, vol. 1, no. 1 (1938)
62. Nuclear photo-effect, *Nature* **141** (1938) 326
63. Resonance in nuclear photo-effects, *Nature* **141** (1938) 1096
64. Natural philosophy and human cultures, C. R. Congrès Intern. Sci. Antropol. et Ethnol., Copenhagen 1938; *Nature* **143** (1939) 268
Fysikkens erkendelselære og menneskekulturene, *Tilskueren* (Jan. 1939)
65. Disintegration of heavy nuclei, *Nature* **143** (1939) 330
66. Resonance in uranium and thorium disintegrations and the phenomenon of nuclear fission, *Phys. Rev.* **55** (1939) 418
67. Nuclear reactions in the continuous energy region (with R. Peierls and G. Placzek), *Nature* **144** (1939) 200
68. The mechanism of nuclear fission (with John A. Wheeler), *Phys. Rev.* **56** (1939) 426
69. The fission of protactinium (with John A. Wheeler), *Phys. Rev.* **56** (1939) 1065
70. The causality problem in atomic physics, Conference on New Theories in Physics, Warsaw, 1938 (Paris 1939);
Le problème causal en physique atomique, Réunion sur les nouvelles théories de la physique, Varsovie, 1938 (Paris, 1939)
71. Scattering and stopping of fission fragments, *Phys. Rev.* **58** (1940) 654
72. Velocity-range relation for fission fragments (with J. K. Bøggild, K. J. Brostrøm and T. Lauritsen), *Phys. Rev.* **58** (1940) 839

73. Successive transformations in nuclear fission, *Phys. Rev.* **58** (1940) 864
74. Velocity-range relation for fission fragments, *Phys. Rev.* **59** (1941) 270
75. Nyere undersøgelser over atomkernernes omdannelser, *Fysisk Tidsskrift* **39** (1941) 3
76. Mechanism of deuteron-induced fission, *Phys. Rev.* **59** (1941) 4042; *Nature* **148** (1941) 229
77. Universitetet og forskningen, *Politiken* (3 juni 1941)
78. Dansk Kultur, i: Danmarks Kultur ved Aar 1940 (København, 1941–43)
79. Ole Chievitz, *Ord och Bild*, Stockholm (1944)
80. Science and civilization, *The Times* (August 11, 1945)
81. A challenge to civilization, *Science* **102** (1945) 363
82. Newton's principles and modern atomic mechanics, Royal Society, Newton Tercentenary Celebrations (July 1946) p. 56
83. Om Maalingsproblemet i Atomfysikken, *Matem. Tidsskr. B* (1946) 163
84. Atomic physics and international cooperation, *Proc. Amer. Phil. Soc.* **91** (1947) 137
Atomphysik und internationale Zusammenarbeit, *Universitas* **6** (1951) 547
85. Problems of elementary-particle physics, *Phys. Soc. Cambridge Conference Report* (1947) 1
86. The penetration of atomic particles through matter, *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* **18**, No. 8 (1948)
87. On the notions of causality and complementarity, *Dialectica* **2** (1948) 312
88. Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics, in Albert Einstein, *Philosopher-Scientist* (Evanston, Ill., 1949) p. 201
Diskussionen mit Einstein über erkenntnistheoretische Probleme in der Atomphysik, in Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher (W. Kohlhammer, Stuttgart, 1955) p. 115
Diskussii s Einsteinom o problemakh teorii poznaniye v atomnoi fizike, *Usp. Fiz. Nauk* **66** (1950) 571
89. Open letter to the United Nations, June 9, 1950 (J. H. Schultz Forlag, Copenhagen, 1950)
Åbent Brev til de Forenede Nationer, 9 juni 1950 (J. H. Schultz Forlag, København, 1950)
90. Field and charge measurements in quantum electrodynamics (with L. Rosenfeld), *Phys. Rev.* **78** (1950) 794
91. On the notions of causality and complementarity, *Science* **3** (1950) 51
92. Medical research and natural philosophy, *Acta Medica Scand.* **142** Suppl. 266 (1952) 967
93. Hendrik Anthony Kramers, *Ned. T. Natuurkunde* **18** (1952) 161

94. Ved Hendrik Anton Kramers' død, Politikens kronik (27 april 1952)
95. Physical science and the study of religions, *Studia Orientalia Ioanni Pedersen septuagenario A. D. VII id. Nov. Anno MCMLIII*, p. 385
96. Electron capture and loss by heavy ions penetrating through matter (with J. Lindhard), *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* **28**, No. 7 (1954)
97. Det fysiske grundlag for industriel udnyttelse af atomkerneenergien, *Tidsskr. f. Industr.* no. 7/8 (1955) 168
98. Physical science and man's position, *Proc. Int. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy (Geneva 1955)* **16** (1956) 57; *Philosophy Today* (1957) 65
99. Rydberg's discovery of the spectral law, *Lunds Univ. Årsskrift, N. F., avd. 2*, **50** (1955) 15
100. Albert Einstein: 1879–1955, *Scientific American* **192** (1955) 31
101. The unity of knowledge (Doubleday & Co., New York, 1955)
102. Mathematics and natural philosophy, *The Scientific Monthly* **82** (1956) 85
103. Atomerne og den menneskelige erkendelse, *Oversigt over Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Virksomhed 1955–1956* (København 1956)
On atoms and human knowledge, *Dædalus* **87** (1958) 164
104. Atomfysik og menneskelig erkendelse (København, 1957) [contains, 46, 59, 64, 88, 101, 103 and Physical Science and the problem of life]
Atomphysik und menschliche Erkenntnis (Vieweg, Braunschweig, 1958)
Atomic physics and human knowledge (John Wiley and Sons, Inc., New York, 1958)
Atomfysik och mänskligt vetande (Bonniers, Stockholm, 1959)
Physique atomique et connaissance humaine (Gauthier-Villars, Paris, 1961)
Atomnaya fizika i chelovecheskoye poznaniye (IL, Moskva, 1961) [contains also 105, 107]
Teoria dell' atomo e conoscenza umana (Boringhieri, Torino, 1961) [contains also 21, 24, 42, but not 88]
105. Quantum physics and philosophy: causality and complementarity, in *Philosophy in the Mid-century, a survey*, ed. R. Klibansky (Firenze 1958), p. 308
Kvantovaya fizika i filosofiya, *Usp. Fiz. Nauk* **67** (1959) 37
106. Über Erkenntnisfragen der Quantenphysik, *Max-Planck-Festschrift* (Berlin 1958) p. 169
107. Quantum physics and biology, *Symposia of the Society for Exp. Biology*, no. 14: *Models and Analogues in Biology* (Bristol, 1960)
108. Physical models and living organisms, in *Light and Life*, ed. W. D. McElroy and Glass (The Johns Hopkins Press, 1961)

109. Über die Einheit unseres Wissens, Universitas **16** (1961) 835
The unity of human knowledge, Address delivered in 1960 at the Congress in Copenhagen arranged by »La Fondation Européenne de la Culture«
Den menneskelige erkendelses enhed, Foredrag på Den Europæiske Kulturfonds Kongres, Berlingske Tidende (22.10.1960)
Die Einheit menschlicher Erkenntnis, »Europa« Monatszeitschrift für Politik, Wirtschaft und Kultur (August 1961)
Unità della conoscenza umana, Responsabilità del Sapere **57** (1961) 7
 110. Atomvidenskaben og menneskehedens krise, Politiken (20.4.1961)
 111. Die Entstehung der Quantenmechanik, in Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit (Vieweg, Braunschweig, 1961)
 112. The Rutherford Memorial Lecture: Reminiscences of the founder of nuclear science and of some developments based on his work, Proc. Phys. Soc. **78** (1961) 1083
 113. The Solvay meetings and the development of quantum physics. Institut International de Physique: 12^e Conseil de Physique, Brussels, October 1961.
In: La Théorie Quantique des Champs, Interscience Publ., New York 1962.
-

Af L. Rosenfeld.

Niels Bohrs indsats i epistemologien.

Da jeg besøgte Yukawas institut i Kyoto for to år siden, havde jeg lejlighed til at drøfte Bohrs tanker med den store japanske fysiker, hvis skabelse af mesonbegrebet med dets komplementære aspekter elementarpartikel og kernekraftfelt er et af de mest slående eksempler på frugtbarheden af de nye synspunkter, vi skylder Niels Bohr. Jeg spurgte Yukawa, om de japanske fysikere havde fundet det lige så vanskeligt som deres vestlige kolleger at tilegne sig komplementaritetstanken og tilpasse sig den. Han svarede: »Nej, Bohrs argumentation har altid forekommet os ganske indlysende;« og da jeg udtrykte min forundring derover, tilføjede han, med sit aristokratiske smil: »Jo, vi her i Japan er ikke blevet fordærvet af Aristoteles.«

Hadde Yukawa også nævnt Platon, ville hans epigram have givet en fuldstændig karakteristik, som man næppe kunne gøre mere træffende, af betydningen af Bohrs indsats i den filosofiske tænkning. Uhæmmet af formel skoling, kun ledet af naturforskerens sikre intuition, genopdagede Bohr den dialektiske erkendelsesproces, som så længe havde været formørket af erkendelsesteoriens énsidige udvikling på den aristoteliske logiks og den platoniske idealismes grundlag. Da Newton forkyndte den nye naturfilosofi (som han kaldte den), som skulle give den moderne naturvidenskab dens mål og metode, var han jo så forskrækket ved tanken om den ugudelige materialisme, hvortil et system baseret udelukkende på menneskelig fornuft ville føre, at han indsprøjtede en rigelig dosis modgift af mysticisme i sin filosofi efter platonisk mønster; og dette unaturlige forbund mellem rationalisme og mysticisme har siden lammet den naturvidenskabelige

filosofi. Selv de af det nittende århundredes videnskabsmænd, som havde størst tilbøjelighed for idealismen, var uimodtagelige (som Ørsteds eksempel viser) for den hegelske form for dialektik; hvad den marxistiske dialektik angår, som kunne have givet materialisterne blandt dem et fingerpeg, var den faktisk spærret ude fra deres synskreds af en uigennemtrængelig social mur.

Da den unge Niels Bohr trådte ind i billedet, var en anti-materialistisk reaktion på sit højdepunkt. Hans fars bestemte afvisning af den haeckelske skoles overfladiske materialisme og fremhævelse af nødvendigheden af, i det mindste af metodiske grunde, at bibeholde teleologiske synspunkter i biologien, gjorde et stærkt indtryk på ham. Høffdings forelæsninger havde i alt fald den fortjeneste, at de ikke påtvang hans tilhørere noget system; det lå ham mere på sinde at fremlægge selve problemerne end de af de forskellige systemer foreslåede løsninger; for, som han sagde, systemerne kommer og går, men problemerne bliver. Det lå imidlertid ikke i Bohrs natur at blive tiltrukket af noget så vagt som de klassiske filosofiske problemer; hans interesse kunne kun vækkes af en konkret, skarpt tegnet situation, som satte hans fantasi i bevægelse. Spinozas tanke om en psyko-fysisk parallelisme tiltalte ham; han beundrede Kierkegaards stilistiske virtuositet mere end hans overspændte meditationer; men det, der virkelig gjorde et dybt og varigt indtryk på ham, var den jævne fortælling »En dansk students eventyr«, i hvilken Poul Martin Møller har givet en så henrivende humoristisk belysning af den hegelske dialektik.

Habent sua fata libelli! Lidet havde Poul Møller tænkt sig, at hans licentiats grublerier en skønne dag skulle udløse en tanke-række, der førte til en afklaring af atomteoriens mest fundamentale aspekter og til en fornyelse af den naturvidenskabelige filosofi. Det er næppe nogen overdreven påstand, at licentiats vanskeligheder, især hans brydning med sine mange jeg'er, er den eneste praktiske lektion i dialektisk tænkning, Bohr nogensinde fik, og den eneste forbindelse mellem hans højst originale betragtninger og den filosofiske tradition. En af grundene til, at Bohr var så indtaget i den stakkels licentiats kvaler med at skrive en sætning eller holde emnet for sin disputats inden for endelige grænser, er måske, at han her så en godmodig karikatur af sig selv. Fra den tid, da vi sammen undersøgte problemet om de

elektromagnetiske størrelses komplementaritet, husker jeg, at vi en af de dage, hvor problemets løsning syntes fjernere end nogen- sinde, cyklede en tur på landet og fik den smukke Nærumgård i sigte. »Det er her,« sagde Bohr, »jeg skrev min første afhandling færdig.« (Det var den afhandling, for hvilken han fik Selskabets guldmedalje.) »Jeg arbejdede på den i byen, men forsøgene ville ikke tage nogen ende; hver dag bemærkede jeg nye enkeltheder, som jeg mente, jeg først måtte have klarhed over. Til sidst sendte min far mig herud, væk fra laboratoriet, og jeg blev da nødt til at skrive afhandlingen.« Nu er det jo en del af Bohrs storhed, at han skrev sine afhandlinger færdig. Han kunne nok sysle med et problem i årevis, med stædig ihærdighed betragte det fra alle sider, tage det samme punkt op til drøftelse igen og igen; men han vidste, hvor han skulle holde op. Det stod ham ganske klart, at vore stolte teorier kun er midlertidige hvilesteder for tanken på dens uendelige vej mod erkendelsen, men at det dog er nødvendigt med sådanne hvilesteder, hvor vi kan føle erkendelsens glæde og mærke, at vi er nået til en vis harmoni mellem vor forestilling om verden og vor oplevelse af den.

Det er bemærkelsesværdigt, at Bohrs system med filosofiske problemer ikke havde sit udspring i hans fysiske forskning, men i almindelige erkendelsesteoretiske betragtninger over sprogets funktion som middel til meddelelse af vore erfaringer. Licentiatens forsøg på at holde rede på sine jøger var kun en overdrivelse af mere almindelige situationer, hvor det samme ord i forskellige forbindelser anvendes til betegnelse af sider ved den menneskelige erfaring, der ikke alene er forskellige, men endog udelukker hinanden; således bruger vi jævnlig det samme ord, når vi taler om en bevidsthedstilstand og om vort legemes tilsvarende adfærd. Hvordan man i sådanne tilfælde kan undgå tvetydighed, var det problem, der optog Bohr. Jeg skal ikke her omtale den smukke matematiske analogi, som han benyttede i sin søgen efter en løsning; ej heller skal jeg komme ind på de dybsindige og originale betragtninger over det matematiske sprogs natur, som han samtidig udviklede; thi det er næppe muligt uden at gøre brug af dette vidunderlige, men noget hermetiske sprog. Jeg vil blot fremhæve, at vi allerede i disse tidlige betragtninger finder de hovedmotiver, der bestandig kommer igen i hans senere erkendelsesteoretiske arbejde: brugen af sproget til objektiv meddelelse af

erfaringer; den deraf følgende nødvendighed af at fastlægge ordenes entydige mening ved henvisning til situationer fra vor almindelige erfaring; og til sidst, muligheden for, at der optræder en dualitet af aspekter, der kræver særlig forsigtighed i sprogets brug for at sikre entydig meddelelse.

På denne baggrund bliver det lettere at forestille sig, hvordan Bohr ville reagere over for det dilemma om lysets dobbeltsidighed, som havde været en gåde for fysikerne, lige siden Plancks opdagelse af virkningskvantet havde ført Einstein til erkendelsen af de korpuskulære træk, som lyset frembyder i sin vekselvirkning med atompartikler, i modsætning til den bølgelignende måde, hvorpå det spredes i rummet. Medens de store mestre forgæves forsøgte på aristotelisk vis at fjerne modsigelsen ved at henhøre det ene aspekt til det andet, indså Bohr det frugtesløse i sådanne bestræbelser; han vidste jo, at vi måtte affinde os med dette dilemma som med de andre, som han havde spekuleret så dybt over, og at det virkelige problem var at forfine fysikkens sprog på en sådan måde, at der blev plads samtidig til begge opfattelser af lysets natur, med passende indskrænkninger for at forebygge tvetydigheder i deres anvendelse. Naturligvis var dette kun et program, og der skulle gå adskillige år, inden det kunne gennemføres; men vi ser, at komplementaritetssynspunktet (for at bruge dets fremtidige navn) var en positiv indstilling, der forhindrede arbejdsspild på ufrugtbare opgaver og meget skarpere end den gængse synsmåde belyste virkningskvantets sande betydning. Alt for mange er endnu tilbøjelige til flot at affærdige komplementariteten som »den rene filosofi«, fordi de ikke har gjort sig klart, hvor vigtig en rolle den spillede som ledende princip under kvanteteoriens hele historiske udvikling.

I de ti år, der fulgte Plancks opdagelse, og især efter Rutherfords påvisning af atomkernen, var det blevet klart, at virkningskvantet var lige så væsentligt for atomsystemernes opbygning som for lysets natur; men her stødte man igen på en skarp modsætning mellem sådanne systemers mekaniske egenskaber og deres kvantemæssige træk. Netop det at denne modsætning var så skarp, gav imidlertid Bohr et håb om afgørende fremskridt; netop fordi enhver anden udvej var spærret, fremsatte han dristigt sine kvantepostulater i absolut overbevisning om, at de var udtryk for en fundamental sandhed. Hans faste og rolige holdning over for den

dengang herskende almindelige forvirring er et slående vidnesbyrd om den styrke, hans erkendelsesteoretiske standpunkt gav ham.

Da endelig, med kvantemekanikkens fremkomst, det længe søgte logiske grundlag for en streng formulering af komplementaritetsforholdene i atomteorien blev skabt, nøjedes Bohr ikke med at påvise, hvordan den nye udvikling opfyldte hans fremsynte forventninger; han kastede sig med iver over den opgave at afklare komplementaritetstanken gennem en detaljeret analyse af dens mangeartede følger. Dette arbejde blev i ikke ringe grad fremmet gennem Einsteins stimulerende kritik; for den årelange kontrovers med dens dramatiske vekselspil mellem snedige indvendinger og afgørende gendrivelser gav Bohr en redegørelse i en senere afhandling, der vil blive stående som en klassiker i fysikkens og filosofiens historie.

Den metode, de to kæmper anvendte i denne berømmelige holmgang, fortjener særlig omtale: for lettere at anskueliggøre betydningen af de omstridte begreber udtænkte de mere eller mindre idealiserede forsøgsopstillinger, egnet til at vise, hvordan disse begreber faktisk bruges. Med hensyn til at opstille sådanne tankeeksperimenter var Einsteins opfindsomhed enestående; men Bohr var uovervindelig i sin skarpsindige analyse af deres betydning. Denne metode nåede sin mest raffinerede form ved undersøgelsen af elektromagnetismens grundbegreber, et arbejde, som det var min store lykke at deltage i; det tog os flere år, før vi havde klaret alle skær.

Som resultat af denne tålmodige og vedholdende stræben efter klarhed opstod i fuld almindelighed opfattelsen af komplementariteten som en logisk relation mellem to fysiske fænomener, som viser aspekter af et fysisk system, der er lige nødvendige for systemets fuldstændige beskrivelse, men svarer til hinanden udelukkende eksperimentelle vilkår. Sådanne relationers optræden i atomfysikken har en uhyre betydning for kausalitetsrelationerne mellem atomfænomener: denne kausalitet kan ikke længere være deterministisk, som den var for fænomener i stor målestok, men må principielt være statistisk. Desuden fremtræder selve funktionen af en fysisk teori i ny belysning: på grund af nødvendigheden af for hvert fænomen nøjagtigt at specificere de omstændigheder, hvorunder det iagttages, er fænomenernes beskrivelse ikke længere, som i den klassiske fysik, et billede af begivenheder uden

nogen henvisning til deres iagttagelse, men snarere en rationel, helt objektiv redegørelse for vekselvirkningen mellem den ydre verden og menneskelige iagttagere – en opfattelse af naturvidenskaben, som tydeligt svarer langt bedre til den rolle, den faktisk spiller i det menneskelige samfund.

Det er nu tredive år siden denne afklaring af de komplementære træk ved kvantemekanikken og kvante-elektrodynamikken i alt væsentligt afsluttedes. Overfladisk set har fysikerne i det store og hele forsonet sig med denne indtrængen af dialektikken i deres vante tænkemåder. Hvem af os kan imidlertid gøre sig til af at beherske alle komplementaritetsargumenternes finesser i en sådan grad, at han er forberedt på enhver situation? Jeg vil snarere karakterisere vor indstilling med de ord, jeg engang hørte fra en af Bohrs mest trofaste og fremragende disciple, Weisskopf, som, efter at han, ikke uden besvær, havde fundet forklaringen på et indviklet komplementaritetsproblem fremført af en tvivlende eksperimentator, udbød: »Bohr always wins!« Selv nu er der altfor få, der helt har gjort sig klart, hvor alvorlig den erkendelsesteoretiske krise var, som Bohr alene måtte bøde på; altfor få har loddet dybden af de problemer, han løste, og vurderet den banebrydende betydning af hans indsats for en bedre forståelse af den dialektiske proces og udviklingen af en virkelig videnskabelig filosofi.

Komplementaritet er ikke noget system, ikke nogen lære med færdige forskrifter. Der er ingen *via regia* til den; der findes ikke nogen formel definition af den i Bohrs skrifter, og dette bekymrer mange. Franskmændene er forfærdede over dette brud på de cartesiske regler; de bebrejder Bohr, at han hengiver sig til »clair-obscur« og indhylder sig i »les brumes du Nord«. De grundige tyskere har opdelt komplementariteten i forskellige arter og på hundredvis af sider studeret disses forhold til Kant. Pragmatiske amerikanere har dissekeret komplementariteten med den symbolske logiks skalpel og påtaget sig at definere denne sarte kunst, at bruge ordene rigtigt, uden at bruge nogen som helst ord. Bohr nøjedes med at give belæring ved eksempler. Ofte pegede han på fortidens tænkere, der intuitivt havde set dialektiske sider ved tilværelsen og stræbt efter at finde en poetisk eller filosofisk udtryksform for dem; vort eneste fortrin for disse store mænd, bemærkede han, er, at vi i fysikken er blevet stillet over for et så

simpelt og klart tilfælde af komplementaritet, at vi er i stand til at studere det i alle enkeltheder og derved præcist at formulere en logisk lovmæssighed af universel rækkevidde. Denne lovmæssigheds natur mente han tilstrækkeligt belyst ved hans analyser af de klassiske fysiske begrebers gyldighedsgrænser.

Ved de mange lejligheder, hvor Bohr holdt tale for forsamlinger af specialister inden for de mest forskellige grene af videnskaben, forsøgte han aldrig at gøre sine tilhørere bekendt med komplementaritetstanken i den skikkelse, den havde fået i atomfysikken, og at pege på anvendelsesmuligheder på deres egne undersøgelses områder. Komplementaritetsrelationerne i biologien lå ham til stadighed stærkt på sinde; det var en stor glæde for ham, at han kunne tage sin fars tanker op til fornyet overvejelse og fremstille dem i form af en komplementaritetsrelation mellem en rent fysisk-kemisk redegørelse for de biologiske fænomener og brugen af det teleologiske begreb biologisk funktion, som jo er lige så uundværligt for en fuldstændig beskrivelse. Sidste sommer greb han ivrigt en gunstig lejlighed til at komme tilbage til disse betragtninger på baggrund af de nye opdagelser inden for molekylarbiologien; det var især denne afhandling, som han ønskede at få skrevet færdig; desværre efterlod han sig kun et første udkast dertil, som, omend ufuldendt, indeholder hans sidste tanker om disse fundamentale spørgsmål.

Til komplementaritetens fremtidige rolle nærrede Bohr store forhåbninger. Han holdt fast ved dem uden nogensinde at tabe modet til trods for den ringe forståelse, han mødte i vor ufilosofiske samtid. På en af disse uforglemmelige spadsereture, hvor Bohr så åbenhjertigt kunne afsløre sine inderste tanker, kom vi til at tale om, at det, som mange mennesker nutildags søger i religionen, er en ledetråd og en trøst i tilværelsen, som videnskaben ikke formår at give dem. Da erklærede Bohr med tydelig sindsbevægelse, at han så den dag komme, hvor komplementariteten ville indgå i skolernes undervisning og blive en del af den almindelige dannelse; og bedre end nogen religion, tilføjede han, ville en sans for komplementaritet give mennesker den vejledning i livet, de savnede. Utopiske drømme? Det påhviler os at tage imod udfordringen og sørge for, at det, der er en utopi i dag, bliver til virkelighed i morgen. Vi skylder Bohr en uhyre udvidelse af vor videnskabelige og filosofiske horisont; han har skænket os

en verdensanskuelse af rigere indhold og dybere harmoni, og et syn på videnskabens opgave, der gør denne altomfattende og mere menneskelig. Men hans kosteligste gave til os, der har kendt ham, er hans eget livs lysende eksempel, et liv så inderligt helliget sandheden, så fuldt af visdom og menneskevenlighed. Hans navn står skrevet i historiens annaler ved siden af Newtons og Einsteins; hans plads i vore hjerter er blandt dem, der er os kærest.

3.

Af Johs. Pedersen.

Det værk som nu er skildret for os, dannede baggrunden for den store betydning som vor afdøde præsident fik for vort Selskab.

Niels Bohr blev medlem af Selskabet i 1917, kun 31 år gammel var han en moden forsker. Fra 1939 var han Selskabets præsident. De værker vi har hørt om, blev forelagt her i Selskabet før de blev udsendt i publikationer til den internationale videnskabelige verden. Adskillige af dem fremkom i vore publikationer. I en lang årrække gjorde han hvert år rede for de nye arbejder.

Det var altid en oplevelse at lytte til Niels Bohr. Selvom mange af os manglede forudsætninger for at følge hans fremstilling i enkeltheder, tændtes der et lys som måtte inspirere, og man øjnede nye perspektiver. Hans foredrag var altid nøje gennemtænkt, alle muligheder taget op til prøvelse, han kæmpede med sproget for at finde de bedste udtryk for sin tanke.

Han fremhævede altid sine medarbejderes andel i værket, og betonede betydningen af samarbejdet i nutidens videnskabelige arbejde. Men forholdet var naturligvis det, at i drøftelserne med eleverne var han den ledende, det var hans ingenium der så problemet og viste vejen til dets løsning. At eleverne derigennem vakte til selvstændigt arbejde vidner vore publikationer om. Både danske og mange af de udenlandske elever som søgte hans vejledning, har i disse publikationer offentliggjort betydelige bidrag til deres videnskabs fremme. Præsidenten gjorde sit institut til et centrum for atomvidenskaben, og vort Selskab blev et vigtigt led i samvirket mellem dette centrum og omverdenen.

Niels Bohrs interesse for videnskabens opgaver var ikke begrænset ved hans særlige fagområde. Den omfattede ikke blot den biologiske side af naturvidenskaben, men også de humanistiske videnskaber. Fortrolig fra ungdommen med hjemlig og udenlandsk litteratur og historie, lyttede han altid med interesse til hvad kolleger havde at berette fra disse områder.

I personlige samtaler – om jeg må nævne det i denne sammenhæng – var det berigende at drøfte den livsbelysning som vindes ved studiet af naturen, og den som vindes ved studiet af folkenes kulturer i oldtidens og middelalderens orient. Det var en bekræftelse af sammenhængen i al vor videnskab.

I vort Selskab, der beskæftiger sig både med naturen og med menneskeåndens værker, var det af stor betydning at have en præsident der ikke blot har gjort en fremragende indsats i videnskaben, men hvis forstående interesse omfattede alle videnskabens områder.

Det var en stor sorg for os, at vi kort tid efter at han var bleven præsident i 1939, måtte savne ham indtil krigen var afsluttet. Men også i denne periode blev der brug for hans fremragende personlighed, og han kom til at spille en rolle på et område som han aldrig havde tænkt sig eller ønsket sig. Det som for ham var det væsentlige i denne virksomhed i den store politik, var at hindre at den videnskab han havde bidraget så afgørende til, skulle bruges til ødelæggelse.

Da han kom hjem i 1945 indtog han påny sin plads som Selskabets præsident. Vi havde ikke villet foretage os noget som kunne antyde at hans fraværelse var andet end en begrænset episode. I vort Selskab følte han sig hjemme. På sin stilfærdige, rolige måde ledede han vore møder, og ikke mindst vore udvalgmøder. Der er grund til særlig at mindes dem i hvilke vi drøftede en fornyelse af vore vedtægter og forretningsorden. Vi følte os trygge ved som leder at have en mand af hans støbning, lige fremragende af intelligens og karakter.

Et uforglemmeligt minde om ham vil leve i vore hjerter, hans navn vil for stedse være en hæder for vort Selskab.