

Gennembrudsårene 1911-1918

Af Léon Rosenfeld og Erik Rüdinger

Den periode af Niels Bohrs liv, hvorom der i det følgende skal berettes, bringer ham fra at være en ung lovende, men ukendt fysiker ind i centrum af verdensfysikken. I disse år grundlægges ikke blot de tanker om atomets struktur, der skulle betyde det afgørende brud med den klassiske fysik, men samtidig udvikles også den betragtningsmåde, der under navn af *korrespondensprincippet* skulle vise vejen til den nye kvantemekaniske beskrivelse, og som i kim rummede den erkendelsesteoretiske omvæltning, der kan karakteriseres ved ordet *komplementaritet*. Så meget mere må det beklages, at de følgende sider ikke har kunnet få form af personlige erindringer. Det er vort håb, at det dog vil være lykkedes at give et troværdigt billede af disse betydningsfulde år af Niels Bohrs liv, ikke mindst derigennem at det har været muligt i vid udstrækning at lade Bohr, så vel som andre af datidens fysikere, selv berette herom gennem den rige korrespondance, der lykkeligvis er bevaret fra denne afgørende periode i fysikkens udvikling.

Allerede det første dokument, der findes fra den tid, røber et karakteristisk træk ved Bohrs arbejdsmåde, som alle hans senere medarbejdere skulle komme til at lære at kende. I et eksemplar af sin doktordisputats har han med den største omhu indført et utal af større og mindre rettelser, øjensynlig til brug for en engelsk oversættelse af disputatsen. Det var jo planlagt, at Bohr, der da var 25 år gammel, på et stipendium fra Carlsbergfonden skulle på et års studieophold i Cambridge fra september 1911, og han ville så medbringe en oversættelse med henblik på at få disputatsen publiceret i et engelsk tidsskrift. Det har imidlertid hastet meget med at få den færdig, og de fleste af rettelserne kom ikke med. Oversættelsen blev udarbejdet i fællesskab med en ven fra nabolaget, Carl Christian Lautrup, der havde opholdt sig nogen tid i England. Hans manglende kendskab til fysik og Bohrs mangel på fortrolighed med det engelske gav sig flere pudsig udslag. Således havde de, som Bohr ofte med humor fortalte, for elektrisk ladning overalt anvendt ordet »loading« i stedet for »charge«. Det var med nød og næppe, oversættelsen blev færdig inden afrejsen, og Bohr

måtte endog benytte de første dage i Cambridge til at indføre formlerne i den.

Inden vi vender os mod Bohrs studieophold i England, er der imidlertid en tildragelse fra denne sommer, som fortjener at nævnes, nemlig at Bohr sluttede venskab med den svenske fysiker Carl W. Oseen, til hvem han havde sendt sin doktordisputats. Oseen, der ikke blot kom til at spille en betydelig rolle for fysikken i Sverige, men også gav bidrag til især hydrodynamikken, der vandt ham almindelig anerkendelse, havde som ganske ung virket som professor i Lund og var i 1909, kun 30 år gammel, blevet udnævnt til professor i fysik ved Uppsala universitet. Brødrene Bohr og han mødtes sidst på sommeren ved den skandinaviske matematikerkongres i København, hvor såvel Harald Bohr som Oseen holdt foredrag, og ved denne lejlighed knyttedes et venskab mellem Oseen og de to brødre, som gennem årene gav anledning til en lang og rig korrespondance. Oseen synes at være en af de fysikere, der tidligst har erkendt Bohrs sjældne evner, og mange breve fra ham vidner herom. Helt rørende virker det, når han allerede efter deres første møde i København skriver til sin unge ven: »Jeg beder dig modtage en varm tak for al din og din brors venlighed mod mig under matematikerkongressen. Det er en af kongressens store gevinster for mig, at jeg har lært jer to at kende. Jeg tror, at det er en sag af betydning for hele mit liv. – Jeg har lært meget af dig og har endnu meget at lære. Jeg skal altid med varm interesse følge din udvikling. . . .«

Det var med store forventninger, Niels Bohr ankom til Cambridge i slutningen af september 1911. Ikke blot måtte alene navnet Cambridge, med alt hvad det rummer af videnskabelig tradition, virke dragende på en ung, initiativrig videnskabsmand, men her var også på dette tidspunkt samlet flere af datidens berømteste fysikere, som Larmor, Jeans og først og fremmest J. J. Thomson, der i sin tid havde »opdaget« elektronen, og hvis betydeligste arbejder netop faldt inden for elektronteorien, som Bohr havde gjort til genstand for en så grundig og kritisk behandling i sin disputats. Han var herved kommet ind på mange punkter, som Thomson også havde behandlet, og havde i flere tilfælde berigtiget dennes resultater. Derfor har utvivlsomt muligheden for at drøfte problemerne med J. J. Thomson selv været den væsentligste tilskyndelse for Bohr til at vælge Cambridge som mål for sin studierejse.

De første breve til hans forlovede strømmer da også over af ungdommelig iver og begejstring:*) »Efter at være kommen hertil var jeg først nede at hilse paa Thomson. Han var umaadelig rar, og vi snakkede lidt sammen, og han sagde at det vilde interessere ham at se min Afhandling, naar den var færdig. Du kan tro, at jeg var glad, da jeg gik fra ham, jeg glædede mig saadan til at faa Formlerne skrevet ind i en Fart, for det er jo saa spændende hvad han vil sige til det hele og til den megen Kritik. . . .«, og: »... Jeg greb mig i Morges i at det jublede inden i mig, da jeg stod uden for en Butik og tilfældigvis kom til at læse Adressen Cambridge over Døren. . . .« Et par dage senere skriver han til sin bror: »Aa Harald! Det gaar mig saa storartet. Jeg har lige talt med J. J. Thomson og forklaret ham saa godt jeg kunde min Mening om Straalingen, Magnetismen o.s.v. Du skulde vide hvad det var for mig at tale med saadan en Mand. Han var umaadelig rar imod mig, vi snakkede om saa meget, og jeg tror nok, at han syntes der var nogen Mening i hvad jeg sagde. Han vil nu læse Bogen, og han indbød mig til at spise sammen med sig i Trinity College paa Søndag til Middag; saa vil han tale med mig derom. Du kan tro, at jeg er glad. . . .«

Inden Bohr kunne komme i gang med arbejdet på laboratoriet, var der jo imidlertid forskellige praktiske ting, der skulle ordnes. Det lykkedes ham således ved fysiologen A. V. Hills hjælp at finde to værelser hos en landlady, der boede i udkanten af byen, og hos hvem han blev boende selv efter at være blevet medlem af Trinity College. For den unge dansker har det også været en overgang at komme ind i det engelske akademiske liv med dets fremmedartede traditioner, dets mange snørklede bestemmelser og dets visitter, og han fortæller humoristisk herom i sine breve til sin mor: »... men jeg har fuldt op at gøre med Arrangementer, Visitter og Middags-selskaber (hvad synes I egentlig) . . .« og: »... jeg har af Tutoren faaet en hel Bog, om hvad jeg har Lov til og hvad ikke. . . .« Til sin forlovede skriver han med selvironi: »... og nu kommer det mærkelige, at du skulde bare vide hvordan jeg kunde konversere, tænk jeg der ellers er saa dum til saadant, men det ligger heller ikke hos mig, men de engelske Damer er rene Genier til at trække en op. . . .« Lettere blev det naturligvis ikke af, at Bohr ikke var alt for fortrolig med det engelske sprogs mysterier, hvilket han imidlertid straks søgte at råde bod på, idet han gav sig til at læse »David Copperfield« på engelsk og med den ham egne grundighed slog hvert eneste ord op, hvis tilsvarende danske begreb han ikke var aldeles sikker på.

*) I citater fra de breve, der er skrevet på dansk, er den gamle retskrivning bibeholdt.

Den røde ordbog, Bohr købte til dette formål, fulgte ham livet igennem og var også ved udarbejdelsen af hans sidste afhandlinger den endelige og højeste autoritet i alle tvivlstilfælde.

Det var heller ikke nogen let sag at komme i gang med arbejdet på Cavendish-laboratoriet. J. J. Thomson havde foreslået Bohr et eksperiment over såkaldte positive stråler, og for sin mor beskriver han sine begynder-vanskeligheder hermed således: »... men I maa ikke tro, at det gaar saa glat, I gør jer ingen Begreb om den Uorden, der hersker i Cavendish-laboratoriet, og en stakkels Udlænding, der ikke engang ved, hvad de forskellige Ting, der ikke kan findes, hedder, er meget ilde stedt, . . .«, hvorefter han tilføjer, at i morgen vil han »møde med Lexikon«. Til Oseen skriver han, at han ofte må tænke på Bjerknæs' ord om, at der i Cavendish-laboratoriet »herskede den moleculare Uorden«. At han imidlertid ikke lod sig gå på af disse vanskeligheder, herom vidner et brev til hans bror, hvori han en lille måned senere skriver, at han har »... i den Tid i hvert Tilfælde blandt andet lært at sætte et Glasapparat sammen, hvad jeg er meget glad for. . .«. Det viste sig dog i sidste ende, at der ikke kunne komme noget ud af eksperimentet.

Når man tænker på, at han samtidig fulgte Larmors, Jeans' og J. J. Thomsons forelæsninger, om hvilke han fortæller begejstret, omend ikke ukritisk, er det klart, at det har været begrænset, hvor megen tid, der kunne blive tilovers til teoretiske studier. Det, der fremfor alt lå Bohr på sinde, var jo imidlertid spørgsmålet om at få doktordisputatsen udgivet på engelsk. En yngre fysiker ved navn Owen hjalp ham med at forbedre sproget, og det blev aftalt med J. J. Thomson, at disputatsen skulle indgives til Cambridge Philosophical Society til bedømmelse for eventuelt at publiceres i selskabets skrifter. Bohr gav en oversigt over dens indhold for selskabet i midten af november, men det varede helt til maj, inden han fik den nedslående meddelelse, at disputatsen var for lang, således at dens offentliggørelse ville blive for dyr; men hvis den kunne skæres ned til det halve, ville man overveje at publicere den. Bohr påtænkte først at efterkomme dette krav og spekulerede derefter på at udgive den selv. Til slut opgav han begge dele igen, med det resultat at disputatsen aldrig er blevet publiceret på noget af hovedsprogene, hvilket i de kommende år følte som et alvorligt savn for alle, der arbejdede med elektronteorien. Bohrs disputats var jo en videreførelse af den klassiske elektronteori for metallerne, som den var formuleret af H. A. Lorentz, og Bohr havde under meget generelle an-

tagelser ved en konsekvent anvendelse af den såkaldte statistiske mekanik udledt en række vigtige resultater, der netop på grund af teoriens almene karakter var af den største betydning. Et hovedresultat var, som vi skal se i det følgende, at der var visse fænomener, som på ingen måde lod sig forklare på grundlag af en sådan teori.

En stor skuffelse var det, at J. J. Thomson, dels på grund af travlhed, dels fordi han øjensynlig havde tabt interessen for disse spørgsmål, slet ikke fik læst disputatsen, således at Bohr aldrig fik lejlighed til at diskutere den ordentligt med ham og derigennem komme ind på sin kritik af Thomsons egne arbejder. Skuffelsen herover kommer til udtryk i flere breve. Således skriver han i begyndelsen af december til Oseen: »... – Thomson har saa daarlig Tid, jeg gav ham Afhandlingen da jeg kom, men han har endnu ikke læst den, jeg har blot nogle Øjeblikke snakket med ham om nogle enkelte Punkter, og jeg ved endnu ikke om han vil være enig med mig eller ej; ...« At Bohr ikke har tabt modet af den grund, mærker vi imidlertid af et brev, han sender sin forlovede, og hvori han med hele sin vidunderlige optimisme konstaterer at: »... Det gaar mig saa godt, ikke egentlig bedre med Thomson, men med mig selv, jeg er ved saa godt Mod og har saa mange Planer. ...«

Den eneste af de fysikere, Bohr kom i kontakt med under sit Cambridgeophold, med hvem han virkelig fik drøftet de spørgsmål, der lå ham på sinde, var en docent i Birmingham, S. B. McLaren, der var ni år ældre end Bohr, og som publicerede adskillige afhandlinger om fundamentale problemer i fysikken, inden han faldt i den 1. verdenskrig. McLaren havde tidligere på året offentliggjort en afhandling, hvori han havde påvist, at ethvert forsøg, som f. eks. det af Jeans foreslåede, på at tyde strålingsfænomenerne på rent klassisk grundlag uden indførelse af Plancks virkningskvantum nødvendigvis måtte føre til modsigelser; til dette resultat var Bohr ligeledes kommet i sin disputats. Arbejdet med disputatsen, især behandlingen af strålingsproblemet og magnetismen, havde iøvrigt, som vi har været inde på, gjort det ganske klart for Bohr, at en dybtgående revision af den klassiske fysik var påkrævet, når man skulle forklare forholdene i atomerne. Netop fordi de antagelser, disputatsen hvilede på, var så uhyre generelle, var det tydeligt for Bohr, at det her ikke blot drejede sig om uoverensstemmelser mellem teori og eksperiment, der ville falde bort, hvis man ændrede detaljer i beregningerne, men at det var selve teoriens grundlag, d.v.s. den klassiske mekanik, der var utilstrækkelig. McLaren er tilsyneladende en af de

få andre fysikere, for hvem det på dette tidspunkt også har været åbenbart, hvor radikal en ændring, der var nødvendig. Bohr rejste til Birmingham for at tale med ham, og efter besøget fortæller han herom i det tidligere omtalte brev til Oseen, hvori han også med stor begejstring skriver om McLarens afhandling, og han slutter med bemærkningen: »... jeg tror at vi var enige om det meste. . . .«

Allerede i oktober var der imidlertid sket en afgørende vending, idet Bohr ved en festmiddag, der hvert år afholdtes ved Cavendish-laboratoriet, for første gang havde set Ernest Rutherford, der fire år forinden var blevet kaldet til professor i fysik i Manchester. Om det store indtryk Rutherfords personlighed straks gjorde på ham, skønt han ikke kom i personlig kontakt med ham ved denne lejlighed, har Bohr selv fortalt i sin Rutherford-forelæsning fra 1958*), og vi kan tænke os, hvilke muligheder han har anet åbne sig ved tanken om at komme til at arbejde et stykke tid på laboratoriet i Manchester, som under Rutherfords ledelse var rykket frem i fysikkens frontlinje. I begyndelsen af november rejste Bohr nu til Manchester, hvor han hos en af sin fars kolleger fik lejlighed til at tale med Rutherford. Hvor meget, der blev aftalt her, er imidlertid uvist, og Bohr har sikkert gerne villet drøfte hele spørgsmålet om at tage til Manchester med sin bror, der skulle komme på besøg i de første uger af januar. I det mindste skriver han lige efter nytår til sin forlovede: »... Jeg bliver i hvert Tilfælde endnu en Term i Cambridge, og jeg glæder mig saa meget dertil, men om alt det er det bedst at vente med at fortælle, til Harald kommer hjem.«

Fra dette semester, hvor Bohr helt helligede sig teorien, skal vi indskrænke os til at give et par små glimt fra hans breve. Til sin forlovede skriver han ved semestrets begyndelse: »... I denne Term vil jeg ikke gaa paa Laboratoriet men kun høre Forelæsninger og læse, læse, læse (og maaske ogsaa regne lidt og tænke). . . .« Og lidt længere hen på semestret efter omtale af forelæsninger af Jeans og Larmor: »... Jeg synes sommetider som f. Ex. i Dag ved de to Forelæsninger, at der er saa meget, hele Verdener som man faar Lov til at kigge ind i, og at jeg er saa lille og udygtig – mere udygtig end Du og nogen aner. . . .« Et foredrag af Thomson om golfboldes bevægelser begejstrede ham meget, og han skriver herom til sin bror: »... Du kan ikke tænke Dig, hvor morsomt og oplysende det var, og hvor smukke

*) Publiceret på engelsk i *Proceedings of the Physical Society* 78, 1083 (1961) samt i bogen: *Essays 1958-62 on Atomic Physics and Human Knowledge*, John Wiley & Sons, New York (1963), der kommer i dansk oversættelse.

Experimenter han viste, og saa det gnistrende funklende Humør hvormed det var holdt. Det var rigtig noget for mig, der jo selv har en lille Galskab for saadan noget. . . .«

Den eneste videnskabelige publikation fra Bohrs hånd fra dette Cambridge-ophold er en kommentar til en afhandling i *Philosophical Magazine* af O. W. Richardson (som iøvrigt senere blev en nær ven af Bohr) vedrørende metallernes elektronteori, hvori han påpeger en fejl i Richardsons afhandling, der har bevirket, at denne er nået frem til et resultat, som afviger fra det, Bohr selv havde fundet i sin disputats. Herom skriver han bl. a. til sin bror: » . . . Det var ikke saa let at finde Manglerne, og jeg havde sikkert aldrig gjort det, havde jeg ikke kendt mit eget Arbejde. . . .« Redaktøren af *Philosophical Magazine*, W. Francis, misforstod imidlertid det hele, idet han troede, at det fra Bohrs side drejede sig om et prioritetsspørgsmål, og først efter en længere brevveksling mellem Bohr og Francis, hvori vi finder et for Bohr usædvanlig skarpt indlæg, og efter at Richardson havde publiceret endnu en afhandling om emnet, i hvilken han refererede til Bohrs disputats, blev Bohrs note offentliggjort i juni-nummeret. Richardsons anden afhandling afstedkom blot en efterskrift hos Bohr om, at en ganske tilsvarende indvending kunne rettes mod beregningen heri.

Denne lille skildring af Bohrs Cambridge-ophold ville være ufuldstændig, om vi ikke nævnede de mange timer, Bohr tilbragte udendørs, enten med at dyrke sport som fodbold og skøjteløb, eller med vandringer i naturen, noget han tidligt havde lært at sætte pris på. Begejstringen herover finder vi f. eks. i denne lille fine naturbeskrivelse, som han sender sin forlovede efter en efterårsvandring: » . . . og saa gik jeg den dejligste Tur før Middagen paa en hel Time over de smukkeste Enge langs Floden med Hegn helt oversaaet med røde Bær og med enlige forblæste Piletræer, tænk Dig det hele under den pragtfuldste Efteraarshimmel med jagende Skyer og hvinende Blæst . . .«

Straks efter sin brors besøg havde Bohr skrevet til Rutherford, og i den følgende brevveksling blev det aftalt, at Bohr skulle komme til Manchester i midten af marts. Planerne blev nøjere drøftet under et besøg, han aflagde Rutherford i slutningen af februar. En vanskelighed var det, at denne ville være bortrejst det meste af april, men Bohr skulle så indledningsvis deltage i et eksperimentelt kursus i radioaktiv teknik. Dette fulgte han samvittighedsfuldt i halvanden måned, hvorom en rapportbog med omhyggeligt førte kurver over de foretagne målinger vidner. Efter besøget hos Rutherford sen-

der han sin forlovede følgende interessante indtryk: »... Rutherford er en ganske storartet Mand og utrolig dygtig, i visse Maader dygtigere end Thomson, selv om han maaske ikke er saa begavet. J. J. Thomson er en umaadelig stor Mand, jeg har lært saa utrolig meget af hans Forelæsninger, og jeg holder saa meget af ham, jeg skal fortælle mere om ham, før jeg tager fra Cambridge. ...« Om afskeden med Cambridge og forventningerne til fremtiden beretter han derefter således: »... Jeg tror, at de allesammen ikke har nogen videre Tiltro til mig, for de kan næppe forstaa, hvorfor jeg tager fra Cambridge, men jeg har saadan et Mod til at prøve og vil faa saa storartede Vilkaar i Manchester. ...«

Det laboratorium, hvor Bohr tilbragte de følgende fire måneder, havde, siden Rutherford var blevet kaldet til professor dér i 1907, været et centrum for radioaktiv forskning, i hvilket Rutherford havde formået at samle en række af datidens bedste fysikere som H. Geiger, W. Makower, E. Marsden, E. J. Evans, A. S. Russell, K. Fajans, H. G. J. Moseley, G. Hevesy, J. Chadwick og C. G. Darwin. Her udførtes i de år en række epokegørende undersøgelser, som foreløbig var kulmineret i Rutherfords opdagelse året forinden, at næsten hele atomets masse er samlet i en kerne af forsvindende udstrækning i forhold til atomets størrelse. Dette var et stort skridt frem mod opstillingen af en model for atomets struktur. Selv om kerneladningens fortegn ikke var endeligt fastslået, var det naturligt at forestille sig, at kernen var positiv, og at den negative elektricitet var til stede i form af elektroner, som under indflydelse af kernens tiltrækning kredsede omkring den efter lignende love som dem, der behersker planeternes bevægelse omkring solen. Denne model betegnes siden som den Rutherford'ske atommodel.

Bohr bevarede livet igennem en nær tilknytning til mange af de fysikere, som han første gang kom i kontakt med gennem opholdet i Manchester. Af særlig betydning for ham, ikke blot under dette ophold, men også i årene fremover, blev forholdet til Rutherford selv og George Hevesy, der var jævnaldrende med Bohr, og som på det tidspunkt havde tilbragt et år ved Rutherfords laboratorium. At Rutherfords markante personlighed gjorde et dybt indtryk på Bohr, har vi allerede set. Og efter at han er kommet nærmere i kontakt med Rutherford på laboratoriet, fortæller han om ham til sin bror: »... for Rutherford er en Mand, som man ikke kan tage Fejl af; han kommer regelmæssig og hører om hvordan det gaar og taler om hver eneste lille Ting. ... Rutherford er en saa udmærket Mand, og virkelig interesseret i alle de Folks Arbejde, der gaar hos ham. ...«

Imidlertid er det, som det ofte er blevet fremhævet, næppe muligt at forestille sig to mere forskelligartede fysikere end Rutherford, den store eksperimentator, der var dybt forankret i den mere »håndfaste« britiske tradition, og Bohr, teoretikeren (omend han også havde vist sig som en dygtig eksperimentalfysiker), som, bl. a. med rod i den især af franske og tyske fysikere udviklede tradition, var parat til med ubønhørlig strengthed at drage de fulde logiske konsekvenser af enhver ny hypotese (Bohr fremhævede ofte selv den lykkelige omstændighed, at han, der var født i et lille land uden så mange nationale præventioner, i sin ungdom havde nydt godt af *både* den »kontinentale« teoretiske tradition og den engelske empirisme). Rutherford synes dog snart at være kommet til at omfatte Bohr med stor respekt; således fortæller Hevesy, at da han engang spurgte Rutherford, fra hvilken del af atomet en bestemt slags radioaktiv stråling udsendtes, svarede Rutherford straks: »Spørg Bohr!« Ved en senere lejlighed, hvor Rutherford var blevet spurgt, hvorledes det kunne være, at hans indstilling over for Bohr var så forskellig fra hans indstilling over for teoretikere i almindelighed, skal han have svaret: »Bohr er anderledes, han er fodboldspiller!« Som vi straks skal se, var Rutherford imidlertid slet ikke forberedt på at drage så vidtgående konsekvenser af sin egen atommodel, som dem Bohr førtes til.

Ungareren George Hevesy var den Bohr knyttede sig nærmest til, og da fysikinstittet i København åbnedes ni år senere, var han da også en af de første udlændinge, der kom til Danmark for at arbejde dér (han var faktisk allerede kommet til København på Bohrs invitation året forinden, i 1920). I Manchester var det i høj grad ham, der drog den lidt generte Bohr ind i livet på Rutherfords laboratorium, og det morede siden Bohr at tænke på, hvorledes denne »ungarske aristokrat« og verdensmand havde gjort et stort indtryk på ham ved sin måde at konversere damerne på ved selskaber. Også i faglig henseende blev han imidlertid den, der kom til at betyde mest for Bohr, idet hans usædvanligt store kemiske indsigt i høj grad var, hvad Bohr havde brug for på det tidspunkt.

Bohr havde nemlig så at sige taget Rutherfords atommodel »alvorligere« end de fleste andre på laboratoriet inklusive Rutherford selv, i den forstand, at det tidligt kom til at stå ham klart, at den ikke blot var en anvendelig model til forklaring af visse eksperimenter med radioaktive stoffer, men at den faktisk frembød et udgangspunkt for en sammenfattende teori for atomernes egenskaber. Han indså snart, at Rutherfords model tillod en skarp

skelnen mellem sådanne egenskaber hos grundstofferne som de kemiske og de sædvanlige fysiske, som måtte være betinget af den måde, elektronerne var bundet til kernen på, og derfor alene afhang af kernens ladning og masse, og dem, der, som radioaktivitet, måtte være bestemt af selve kernens struktur. Flere ting kom i denne forbindelse inden længe til at stå ham klart. Han havde i lang tid været interesseret i det periodiske system og så nu, at det måtte være kernens ladning og ikke atomvægten, der var bestemmende for et grundstofs plads i systemet, og at dette var forklaringen på, at man havde måttet bytte om på nogle stoffer som f. eks. kalium og argon, når man prøvede at ordne dem efter stigende atomvægt. Endvidere kom han snart på sporet af begrebet isotopi, d.v.s. det fænomen, at flere stoffer med forskellige radioaktive egenskaber kan være kemisk uadskillelige og må knyttes til den samme plads i systemet, eftersom de har samme kerneladning. Som en direkte konsekvens af disse forhold har Bohr også været klar over de sammenhænge, der senere betegnedes som de radioaktive forskydningslove. Han udtrykte sig imidlertid ikke altid lige klart; Hevesy har således fortalt, hvordan han kunne finde på at sige, at »argon er det forkerte argon«.

Når Bohr ikke offentliggjorde disse tanker, der kort efter i temmelig ufuldkommen form blev fremsat af Fajans, Soddy og van den Broek, skyldtes det især Rutherfords forsigtigt afventende holdning til sådanne konklusioner af hans atommodel. Rutherford mente, at et større eksperimentelt materiale var påkrævet, og har ikke forstået den logiske strenghed i Bohrs argumentation. Det kan imidlertid næppe betvivles, at Bohr var fuldt på det rene med disse spørgsmål, og et vidnesbyrd herom har vi i et brev fra Hevesy til Rutherford af 14. oktober 1913, hvori han efter en omtale af de nævnte problemer, der på det tidspunkt var afklaret, skriver: »... Skønt Russell allerede var interesseret i problemet, og jeg påbegyndte valens-eksperimenterne, da Bohr kom til Manchester, kan der ikke være tvivl om, at han opmuntrede os begge meget, og hvis vi forfølger oprindelsen af de ovennævnte ideer tilbage til deres udgangspunkt, vil vi finde dem hos Bohr, som han selv har gjort mig opmærksom på, på sin sædvanlige beskedne måde.«

Naturligvis har disse spørgsmål været diskuteret inden for Manchestergruppen, men man må tænke på, at dels var Rutherford selv på den tid stærkt optaget af at udarbejde sit store værk om de radioaktive omdannelser, og dels var arbejdet i Manchester i høj grad lagt således til rette, at hver især koncentrerede sig om den – som oftest eksperimentelle – under-

søgelse, han var i færd med. Det er derfor vanskeligt at afgøre, hvor stor direkte indflydelse diskussionerne i Manchester har haft på udviklingen af Bohrs ideer og forestillinger. Medens det utvivlsomt har været særdeles stimulerende for ham at være i en gruppe, hvis arbejde var koncentreret om Rutherfords atommodel, synes det på den anden side, som om omgivelsernes interesse for de fundamentale problemer har været forholdsvis ringe. I et brev til sin bror klager han således sidst i maj, i forbindelse med elektron-teorien, over at »... jeg har jo slet ingen her, der virkelig interesserer sig for saadan noget. ...«

I begyndelsen af juni giver Bohr sig imidlertid i kast med en mere konkret opgave, og nu er tonen anderledes optimistisk: ». . . Det gaar mig ikke saa helt daarligt i Øjeblikket, jeg havde for et par Dage siden en lille Idé med Hensyn til Forstaaelsen af Absorption af α -Straaler (det gik til paa den Maade, at en ung Matematiker her, C. G. Darwin (Sønnesøn af den rigtige Darwin) lige har offentliggjort en Theori om dette Spørgsmaal, og jeg syntes, at den ikke alene ikke var helt rigtig i det mere matematiske (det var dog kun temmelig lidt) men noget utilfredsstillende i Grundopfattelsen), og har udarbejdet en lille Theori derover, der selv om den er meget lille, maaske dog kan kaste lidt Lys over nogle Ting med Hensyn til Atomers Bygning. Jeg tænker meget snart at offentliggøre en lille Afhandling derom. Du kan tro at det er morsomt at være her, her er saa mange at tale med (mine Klager sidst gjaldt mere almindelige theoretiske Spørgsmaal) og det af dem der har den allermeste Forstand paa saadan noget, . . .«

Brevene hjem giver indtryk af den begejstring, hvormed Bohr har kastet sig over den nye opgave, at give en teori for α -partiklers bremsning, når de passerer gennem stof. Således skriver han i begyndelsen af juli til sin forlovede: ». . . Det ser maaske alligevel ikke saa haabløst ud med de smaa Atomer, selv om Udfaldet af Regningerne gaar op og ned . . .«, og en fjorten dages tid senere til sin bror: ». . . Det gaar mig temmelig godt, for jeg tror jo, at jeg har fundet ud af nogle forskellige Ting; men det er rigtignok ikke gaaet saa hurtigt med at udarbejde dem, som jeg straks var saa dum at tro. Jeg haaber at faa en lille Afhandling færdig og at vise Rutherford den førend jeg rejser, og jeg har derfor saa travlt, saa travlt; . . .« og med et anstrøg af ironi: ». . . det er ikke Mangel paa Planer, jeg lider af i Øjeblikket; . . .«

Medens Bohr arbejdede på afhandlingen om α -partiklerne, tabte han imidlertid ingenlunde de fundamentale problemer om atomets struktur,

som Rutherfords opdagelse havde rejst, af sigte. Tværtimod har afhandlingen, skønt Plancks virkningskvantum kun optræder i en lille regning deri, givet ham den første nøgle til løsningen af disse problemer. Den allerførste antydning af, at han er kommet på sporet af vigtige sammenhænge, finder vi i et interessant kort, han har sendt sin bror så tidligt som 19. juni, altså ganske kort efter at han har påbegyndt arbejdet på afhandlingen. Det hedder heri: »Det kunde være at jeg maaske har fundet ud af en lille Smule om Atomernes Bygning. . . .«, som måske er » . . . et lille bitte Stykke af Virkeligheden. . . .«, og han tilføjer den betydningsfulde bemærkning, at » . . . Det er altsammen vokset ud af en lille Oplysning jeg fik fra α -Straalernes Absorption . . . «

Det centrale punkt, Bohr slog ned på, var den principielle umulighed af, inden for rammerne af de klassiske fysiske teorier, at forklare atomernes stabilitet på basis af Rutherfords atommodel. Elektronerne, der antoges at kredse om den positive kerne, ville nemlig ifølge den klassiske teori meget hurtigt miste deres energi ved udsendelse af stråling og ende med at blive indfanget af kernen. Atomet ville således være instabilt, og der indgik da heller ikke i Rutherfords model nogen størrelse, der kunne fastlægge dets radius. Nu havde de klassiske teoriers begrænsning jo allerede vist sig ved århundredets begyndelse, især gennem Plancks og Einsteins arbejder over vekselvirkningen mellem stråling og stof, og Bohr var, som vi i det foregående har været inde på, tidligt blevet overbevist om, at en dybtgående revision var påkrævet. Han så nu, at virkningskvantet, som Planck havde indført for at forklare strålingsfænomenerne, netop havde en sådan dimension og værdi, at han kunne benytte dette som den stabiliserende størrelse, som fastlagde afstand og hastighed af elektronerne, der for simpelhedsskyld tænkte at bevæge sig i cirkelbaner omkring kernen. Han benyttede herved en hypotese, hvis form var inspireret af virkningskvantets tidligere anvendelse på de faste stoffers termiske egenskaber. I løbet af juni og juli udarbejdede Bohr på grundlag heraf sine tanker om atomernes og molekylernes struktur i den såkaldte grundtilstand. Disse tanker indeholder mange af de forestillinger, der skulle udbygges i 2. og 3. del af den berømte afhandling om atomernes og molekylernes struktur, og i dem ligger også de første spirer til den teori, han udkastede i 1. del af afhandlingen, men som vi skal se, manglede han endnu en vigtig oplysning. Han nedskrev sine betragtninger for at vise dem til Rutherford, og lykkeligvis er hovedparten af dette værdifulde dokument bevaret.

Det fremgår af det allerede sagte, hvilken kolossal arbejdsindsats Bohr har ydet i løbet af disse få måneder. Vi kan se, at det næppe har været overdrevet, når han i begyndelsen af juni skriver til sin forlovede, at han arbejder »dag og nat«, og hvis det tilføjes, at hans kolleger dengang skal have sagt om ham, at han kun kom frem, når det var nødvendigt at »komme op og ånde«, har vi en træffende karakteristik fra den tid, som enhver, der har set Bohr fordybet i sit arbejde, vil nikke genkendende til.

I slutningen af juli rejste Bohr til København, hvor han blev gift den 1. august. Det var egentlig meningen, at bryllupsrejsen skulle være gået til Norge, men det havde trukket ud med at afslutte afhandlingen om α -strålerne, og de nygifte rejste derfor i stedet til England, hvor Bohr fuldenkte afhandlingen i Cambridge, hvorefter han rejste op og afleverede den til Rutherford. Den blev publiceret i *Philosophical Magazine* for januar 1913.

Da Bohr vendte hjem, havde Martin Knudsen overtaget professoratet i fysik efter Christiansen. Samtidig havde man nedlagt det docentur, Martin Knudsen havde haft, og som Bohr havde været selvskreven til, men som først blev oprettet igen og overtaget af Bohr det følgende år. I efteråret 1912 holdt Bohr imidlertid som privatdocent en forelæsningsrække over det mekaniske grundlag for termodynamikken, ligesom han i Fysisk Forening redegjorde for sine resultater vedrørende α -strålers absorption. En af tilhørerne ved forelæsningerne i termodynamik, fru Kirstine Meyer, kommenterer dem i et brev til Bohr således: »... Jeg har beundret den Klarhed og Overskuelighed, hvormed De har tilrettelagt det vanskelige Stof, og den gode Form, hvori De har »læst« for os. . . .«

I løbet af efterårssemestret lykkedes det endvidere Bohr med sin hustru hjælp (mange manuskripter og udkast til breve fra dette og de følgende år er dikteret til hende) at komme et stykke videre i sine betragtninger over den rolle, virkningskvantet spillede for atomernes opbygning. Om de vanskeligheder, han er stødt på ved beregningerne, beretter han i begyndelsen af november til Rutherford, der imidlertid beroliger ham med, at der ikke er nogen grund til at skynde sig, da det ikke ser ud til, at der er andre, der arbejder på det samme. Som tiden går, bliver han imidlertid mere og mere utålmodig, og den 5. februar skriver han til Oseen, som han lige har besøgt: »... Jeg er bange for at det haster, dersom det skal være nyt, naar det kommer; Spørgsmaalet er jo saa brændende. . . .«

Vi har i det foregående set, hvorledes det i løbet af sommeren og efteråret 1912 var lykkedes Bohr med udgangspunkt i Plancks og Rutherfords

23-12-12.

Kære Harald!

Endnu engang rigtig, rigtig glædelig Jule
fra
Marquette, Niels

7.9. Lige som det alle Ringers Brevene gaae til Julebrev vilde den ene af os dog gerne sige, at den blev af Madlens Brev. Men en afvendt med den egen. Hans Brevs indhold skulde nemlig gælde for den endelige, den Ringers Faldtand af Atomerne; medens Nielsens skulde henhænge sig med Atomen under Udskevelsen, men Elctromagnetisme er i Forandring med A. med Energi; for de som indtøjet den endelige Plodren. Udskevelsen skulde de de skrive, (hvilket er det for) og Nielsens skulde henhænge med Atomen, medens den Energi indholdt inden en som stød af de enkelte Gys i det enkelte Spectrum. Yderligere skulde Gys i det enkelte skulde indtøjet af Energi inden som indtøjet

er indtøjet. Den ene leder til det endnu engang om Udskevelsen for det uopgavede Julebrev, den Udskevelsen skulde inden skulde skrive at legge Brevet paa Madlens Brev, som den skulde indtøjet den indtøjet om, at sammenkomme inde maade selv alle Ringers skulde henhænge sig saa meget med Nielsens Brevs i Morgen-Aften, og maade derfor alle Ringers endnu flere Brevet tilovers til at sende til Elctromagnetisme.

7.9.2.

Brevet vilde sige at de Ringers, og skulde sig til, at Ringers i den Julebrev, men de skulde til telefonen for.

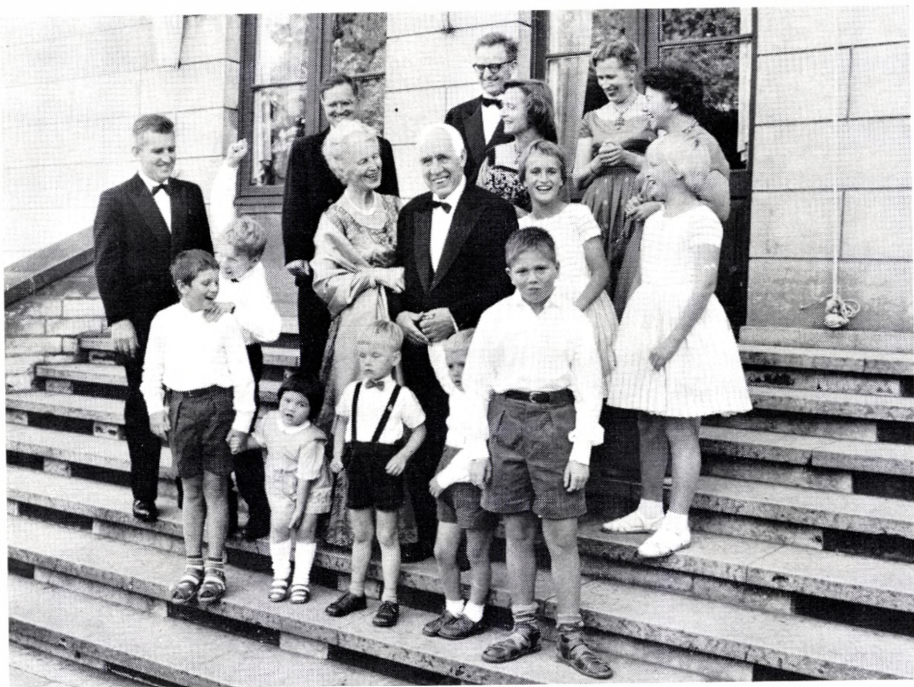
7.9.3. Endnu engang glædelig Jule

En julehilsen sendt til broderen Harald i 1912. I det første post scriptum fortæller Niels Bohr om sine nye tanker om atomernes udstråling



Margrethe Nørlund og Niels Bohr
som forlovede

Et billede fra guldbrylluppet i 1962



opdagelser at nå frem til nogle modeller for atomerne og molekylerne i den såkaldte grundtilstand. Først ca. en uge ind i februar 1913 støder han imidlertid på den tredje og afgørende brik i puslespillet, nemlig den formel, der var fremsat af schweizeren Balmer 28 år tidligere, og som redegjorde for de farver – *spektrallinierne* – der udsendes af lysende brint – brintens såkaldte *optiske spektrum*. Når man spurgte Bohr om det forunderlige i, at ingen tidligere var kommet på den tanke, at denne formel og dermed beslægtede, som især var fremsat af svenskeren Rydberg, og som var så forskellige fra, hvad man ellers kendte i fysikken, måtte afsløre fundamentale lovmæssigheder, kunne han sige: »Man opfattede dem på samme måde som de smukke mønstre i sommerfuglenes vinger, hvis skønhed man kan beundre, men som ingen formoder vil røbe fundamentale biologiske lovmæssigheder.«

Bohr har fortalt, at det var hans studiekammerat H. M. Hansen, der først henledte hans opmærksomhed på Balmers formel og de simple lovmæssigheder hos de optiske spektre, som Bohr hidtil slet ikke havde turdet give sig i kast med. Han gav sig nu til at studere, hvad han kunne finde i Starks bog »Prinzipien der Atomdynamik« om dette emne. Bohr sagde selv: »Så snart jeg så Balmers formel, stod det hele mig straks klart«, og det materiale, vi er i besiddelse af, dokumenterer da også utvetydigt rigtigheden heraf. Af breve til Rutherford af 31. januar og Hevesy af 7. februar 1913 fremgår det tydeligt, at Bohr på dette tidspunkt endnu ikke har studeret Balmers formel, og i den retning tyder også et brev fra Oseen til Bohr af 11. november samme år, som vi skal komme tilbage til. Til Rutherford skriver Bohr direkte: ». . . Jeg beskæftiger mig slet ikke med spørgsmålet om beregningen af de frekvenser, der svarer til linierne i det synlige spektrum. . . .« Vi er således her vidne til en helt utrolig skabelsesproces, hvor al den viden, Bohr tidligere har erhvervet sig, og alle de tanker om atomernes struktur, han har gjort sig, i et nu med placeringen af puslespillets sidste brik falder på plads og giver ham det helhedssyn, der gør det muligt for ham på mindre end en måned at udarbejde den berømte 1. del af afhandlingen om atomernes struktur, som han sender til Rutherford den 6. marts, og hvori overensstemmelsen med de optiske spektre nu er blevet hovedhjørnестenen i bygningen.

Det fundamentalt nye træk, der her er kommet ind i teorien, er tanken om at udvide begrebet grundtilstand til en hel række, som Bohr kaldte »stationære tilstande«, i hvilke elektronen kredser i bestemte afstande om-

kring kernen uden at afgive energi ved stråling. De forskellige spektrallinier tænkes så fremkommet ved, at elektronen springer fra én stationær tilstand til en anden under udsendelse af lys af en bestemt farve. Dette er indholdet af Bohrs to berømte postulater, og vi skal her forsøge kort at beskrive, hvorfor disse tanker – trods de grundlæggende arbejder af Planck, Einstein og andre – med rette kan siges at betegne det afgørende brud med den klassiske fysik.

Ifølge denne skulle en elektron, der kredser om en kerne, til stadighed udsende lys med en farve, som var bestemt ved den tid, *omløbstiden*, elektronen bruger til at bevæge sig én gang rundt om kernen. Farven ville derfor – i direkte modstrid med alle erfaringer – ændre sig fortsat, efterhånden som elektronen udstrålede energi og nærmede sig kernen, hvorved den nemlig ville komme til at rotere hurtigere og hurtigere. For det første er altså forekomsten af »stationære tilstande« helt udelukket ifølge den klassiske elektrodynamik. For det andet er det klart, at efter Bohrs teori, hvor lyset udsendes, når elektronen springer fra en bane med én omløbstid til en anden med en derfra helt forskellig omløbstid, kan der ikke være en sådan sammenhæng mellem farve og omløbstid som i den klassiske teori. Den betingelse, Bohrs angav til bestemmelse af lysets farve, den såkaldte *frekvensbetingelse*, adskilte sig således principielt helt fra den klassiske betingelse. Det var fremfor alt dette, der rystede samtidens fysikere så dybt; at lysets farve ikke svarede nøje til elektronens omløbstid, forekom dem ganske utænkeligt, og det krævede netop geniets mod at bryde med denne så fast forankrede forestilling.

Lad os antage, at vi accepterer dette, at elektronens omløbstid og farven af det udsendte lys ikke direkte har noget med hinanden at gøre. Nu havde en lang række tidligere forsøg – f. eks. med radiobølger – jo på overbevisende måde bekræftet den klassiske teoris påstand om en sådan sammenhæng. Det vil da være naturligt at spørge: hvorledes kunne det være muligt at forene den nye teoris antagelser med den viden, man havde fra de tidligere eksperimenter? Dette spørgsmål var Bohr imidlertid i stand til at besvare. Hvis man nemlig går til større og større baner – så at sige nærmer sig mere og mere til de betingelser, hvorunder den klassiske fysik skulle gælde – vil omløbstiderne for to nabobaner nærme sig mere og mere til hinanden, til en fælles værdi. Og beregner man nu farven af det lys, der efter Bohrs formel udsendes ved et spring mellem to sådanne baner, viser det sig, at den nærmer sig mere og mere til den farve, man i den klassiske teori ville

beregne svarende til denne fælles omløbstid. Selv om således *mekanismen* for lysets udsendelse i alle tilfælde er en helt anden end i den klassiske teori, nærmer de *resultater*, man kommer til, sig mere og mere til de klassiske, jo nærmere man kommer de betingelser, hvorunder disse er gyldige, således at Bohrs teori så at sige indeholder den klassiske teoris resultater i sig, er en *generalisation* af eller *korresponderer* med denne. Bohr kunne endog, ved at opstille en sådan overensstemmelse som en betingelse, vise, at en bestemt konstant, som han først havde indført på en noget hypotetisk måde, *måtte* have værdien $\frac{1}{2}$. Denne betragtningsmåde er den første antydning af hans *korrespondensprincip* eller analogibetragtninger, som han i begyndelsen talte om, en ledetråd, Bohr selv skulle udvikle og anvende så frugtbart i de følgende år, og som til slut skulle blive nøglen til kvantemekanikken. Det er da også med stolthed, Bohr skriver til Rutherford, at han finder »... den smukkeste analogi mellem den gamle elektrodynamik og de betragtninger, der er benyttet i min afhandling. ...« Selv om det nok gjorde et større indtryk på samtiden, at Bohr opnåede en nøje overensstemmelse mellem den på grundlag af hans teori beregnede og den eksperimentelt fundne værdi for den såkaldte Rydberg-konstant, kan man med rette sige, at korrespondensargumentet udgør kernepunktet i denne vidunderlige afhandling, der har få sidestykker i fysikkens historie.

Bohr sendte afhandlingen med et brev til Rutherford den 6. marts. I Rutherfords svar træder vanskelighederne ved at forstå de nye tanker og deres rækkevidde tydeligt frem; det var imidlertid et mere praktisk spørgsmål, der skulle blive hovedproblemet for Bohr i de kommende uger. I sit svar pointerede Rutherford nemlig tre gange, at han syntes, Bohrs afhandling var for lang og burde skæres ned, sidst med følgende efterskrift: »P. S. Jeg formoder, at De ikke har noget imod, at jeg efter eget skøn skærer det væk, jeg måtte synes er overflødigt i Deres afhandling. Vær venlig at svare.« Når man kender Bohrs omhu med udarbejdelsen af hans afhandlinger, kan man forestille sig hans skræk ved tanken om et sådant indgreb; han havde endog, da han modtog dette brev, sendt Rutherford yderligere nogle tilføjelser til afhandlingen. I denne kritiske situation rejste han sporenstregs til Manchester for, som han selv kunne udtrykke det, at »kæmpe sagen ud« med Rutherford.

Vi kan kun gisne om Rutherford forbløffelse over den unge danskers initiativ, men han glemte i hvert fald aldrig dette møde, hvor Bohr under timelange diskussioner holdt fast ved, at hvert eneste ord i manuskriptet

måtte blive stående. Tyve år senere fortalte Rutherford herom: »Jeg kunne mærke, at han havde overvejet hvert ord i den, og det imponerede mig, hvor ihærdigt han holdt fast ved hver sætning, hvert udtryk, hvert citat; alt havde en ganske bestemt grund, og skønt jeg først syntes, at man let kunne stryge mange sætninger, så viste det sig, da han forklarede mig, hvordan det hele hang sammen, at det var umuligt at ændre nogenting.« Ingen, der kender den vægt, Bohr lagde på argumenters betydning, kan da heller være i tvivl om, at han ikke blot kæmpede for at bibeholde den formulering, han anså for den eneste rigtige, men i lige så høj grad for ved sine argumenters vægt at overbevise Rutherford om, at det virkelig *var* den eneste mulige formulering. Under alle omstændigheder blev resultatet, at der kun blev foretaget rent sproglige rettelser.

Efter disse hektiske uger arbejder Bohr uopholdeligt videre på 2. og 3. del af afhandlingen, hvis hovedpunkter, som vi har omtalt, allerede er udarbejdet, men som nu må gennemarbejdes og omarbejdes i overensstemmelse med det nye grundlag. De indeholder, foruden betragtninger over strukturen af mere komplicerede atomer og molekyler, et første forsøg på at gøre nøjere rede for det periodiske system ved hjælp af elektronringe samt afsnit vedrørende røntgenstråling og radioaktive fænomener. Bohr overvejede også at inkludere et afsnit om magnetisme, hvor de nye betragtninger skulle knyttes sammen med det af Weiss indførte magneton-begreb og anvendes til behandling af den som Zeeman-effekt betegnede opspaltning af spektrallinierne i et magnetfelt. Imidlertid mødte Bohr her store principielle vanskeligheder, som først senere blev afklaret, og han opgav offentliggørelsen af dette afsnit, der kun findes som kladder. Den 10. maj returnerer Bohr korrekturen af 1. del til Rutherford ledsaget af et brev, der bl. a. beretter om, hvorledes det kun går langsomt frem med 2. del på grund af »besværlige numeriske beregninger« vedrørende stabiliteten af ringsystemer af elektroner. En del af Bohrs papirer vedrørende dette spørgsmål er bevaret, og de vidner om det arbejde, han har nedlagt heri, og den omhu, hvormed alle regninger er gennemført. I løbet af foråret og sommeren udarbejdede Bohr 2. og 3. del af afhandlingen og sendte manuskripterne til Rutherford efterhånden, som de blev færdige. Efter at 1. del var udkommet i juli-nummeret af *Philosophical Magazine*, rejste Bohr på ny til England, hvor han foruden at tage til Manchester også gav sig tid til at aflægge besøg i London og Cambridge.

Det har været med spænding, Bohr har imødeset, hvorledes de nye tanker ville blive modtaget blandt fysikerne rundt om i verden. En af de tidligste reaktioner på den første afhandling har vi i et postkort fra professor Sommerfeld i München, der var en af de førende teoretiske fysikere i Tyskland. Dette postkort er så interessant, at det fortjener at gengives uforkortet:

4. IX. 13.

Højtærede Herr Kollega!

Jeg takker Dem mange gange for tilsendelsen af Deres særdeles interessante arbejde, som jeg allerede havde studeret i Phil. Mag. Det problem, at udtrykke den Rydberg-Ritz'ske konstant ved det Planck'ske h , har allerede længe foresvævet mig. Jeg har for nogle år siden talt om det til Debye. Selv om jeg foreløbig endnu er noget skeptisk over for atommodeller i det hele taget, så foreligger der i beregningen af denne konstant uomtvisteligt en stor bedrift. Iøvrigt bliver den numeriske overensstemmelse endnu bedre med den nye Planck'ske værdi $h = 6,4 \cdot 10^{-27}$. Vil De også anvende Deres atommodel på Zeeman-effekten? Jeg ville beskæftige mig med det. Gennem hr. Rutherford, som jeg håber at se i oktober, kan jeg måske høre nærmere om Deres planer.

Deres hengivne

A. Sommerfeld.

Bohr yndede siden humoristisk at fortælle om Sommerfelds første skepsis over for »atommodeller i det hele taget«. Imidlertid er det ikke helt let af dette kort at udlede, i hvor høj grad Sommerfeld egentlig havde accepteret det radikale brud med de klassiske forestillinger, som lå til grund for de nye ideer. Et interessant vidnesbyrd om Sommerfelds holdning har vi fra den franske fysiker Brillouin. Han fortæller, at han erindrere, han kom ind på Sommerfelds kontor, da denne lige havde set nummeret af Philosophical Magazine med Bohrs afhandling; »Der er en særdeles vigtig afhandling her af N. Bohr«, sagde Sommerfeld, »den vil betyde en milepæl i den teoretiske fysik.«

I Göttingen, hvis matematisk-naturvidenskabelige fakultet indtog en så fremtrædende stilling i videnskaben, var reaktionen mere kølig. Vi har især oplysninger herom fra matematikeren Richard Courant, en nær ven af Harald Bohr, der også skulle slutte et nært venskab med Niels, efter at de havde truffet hinanden i Cambridge i september 1913, lige efter det store Birmingham-møde, som vi straks skal omtale. Courant fortæller, at selv om fysikerne i Göttingen nærede stor respekt for Harald, der jo på det tidspunkt var en kendt skikkelse ved fakultetet dér, og som forsikrede dem, at »når Niels siger det og betragter det som så vigtigt, må det også være et stort fremskridt i fysikken«, stillede de sig alligevel i begyndelsen

fuldstændigt afvisende over for den nye teori. Især den berømte spektroskopiker Runge reagerede voldsomt mod Bohrs ideer. Efter hvad Bohr selv erindrede, var det bl. a. den tidligere omtalte faktor $\frac{1}{2}$, som han jo havde begrundet ved et strengt korrespondensargument, der gjorde, at man ikke tog teorien alvorligt. Langt senere – da Bohr havde fået Nobelprisen – skrev Courant i et lykønsningsbrev, efter en omtale af hvorledes Bohr i England havde fortalt ham om sine ideer: »...Takket være den forudgående suggestion gennem Harald, der så ofte havde fortalt vidunderlige ting om sin bror, var jeg dengang straks parat til at tro, at De måtte have ret; da jeg så berettede om disse ting i Göttingen, lo man af, at jeg kunne tage sådanne fantasier alvorligt; jeg er altså så at sige blevet en martyr for den Bohr'ske model. . . .«

Allerede i begyndelsen af august havde Hevesy, hvem Bohr havde sendt sine manuskripter, i et fint brev givet udtryk for sin anerkendelse af hans arbejde. I dette brev skriver Hevesy efter en omtale af den dybe tilfredsstillelse, som den videnskabelige forskning kan give os: »... De vil nu forstå, hvorfor læsningen af Deres afhandlinger har været mig en kilde til glæde. Jeg ser med stor interesse frem til resultatet af Deres mere udførlige beregninger. Så vidt er alting så klart, opførslen af brint og helium, som den er beskrevet i teorien, så sand, at ingen kan undgå at blive slået af det ved at læse det. . . .«

Et vidnesbyrd fra en anden nær ven har vi i et brev fra Oseen, sendt i november, efter at 3. og sidste del af afhandlingen var kommet; det understreger atter, at Bohr ved besøget hos ham i begyndelsen af februar endnu ikke var kommet på sporet af spektrenes lovmæssigheder. Denne hengivne ven udtrykker sin beundring således: »... Det jeg først ville sige Dig er, at jeg, som jo på forhånd kendte retningen af din tankegang såvel som nogle af dens resultater, alligevel på ét punkt blev overrasket over skønheden i Dit resultat. Det var sammenhængen mellem h og den Balmer-Rydbergske konstant. Så vidt det kan ses, er Du på det punkt kommet over hypotesernes og teoriernes region til den faktiske sandheds. Højere kan ingen teoretiker komme, og jeg lykønsker Dig af hele mit hjerte. . . .«

Bohrs egen indstilling omkring denne tid får vi et indtryk af gennem en interessant bemærkning i et kort, han i september sender McLaren, der i februar, som svar på et brev fra Bohr, der desværre er gået tabt, har skrevet, at han selv »... hælder til den anskuelse, at de gamle mekaniske forestillinger ikke står til at redde.« Medens Bohr så sent som 1. juli, under ind-

tryk af en eksperimentel undersøgelse af J. J. Thomson, skriver til Rutherford: »Jeg har i nogle få dage været frygteligt i tvivl med hensyn til gyldigheden af grundlaget for hele teorien. . . .«, aner vi i kortet til McLaren den sikkerhed, hvormed han nu føler, at han er på den rette vej: ». . . I nødvendigheden af nye antagelser tror jeg, at vi er enige; men tror De, at så frygtelige antagelser, som jeg har benyttet, er nødvendige? For øjeblikket hælder jeg til de mest radikale anskuelser og betragter anvendelsen af mekanikken som værende blot af formel gyldighed.«

Når vi hidtil slet ikke har omtalt reaktionen i England, skyldes det, at den første lejlighed, ved hvilken et større forum af sagkyndige blev præsenteret for Bohrs teori, netop var ved British Association for the Advancement of Science's årlige møde, der blev holdt i Birmingham i midten af september. Allerede i maj havde Rutherford foreslået, at man skulle indbyde Bohr til at tage del i den diskussion af strålingsproblemerne, som skulle finde sted på denne konference. Så sent som 1. september, godt og vel en uge inden mødets begyndelse, skriver Bohr imidlertid, at han ikke vil være i stand til at forlade København. I sidste øjeblik, efter at han fra Rutherford har fået meddelelse om, at bl. a. den store hollandske fysiker Lorentz vil være til stede, har han imidlertid ombestemt sig, og mødet blev en stor oplevelse for ham, som han ofte siden i samtaler vendte tilbage til.

At Bohrs teori allerede på dette tidspunkt, hvor 2. del af afhandlingen netop var udkommet, havde tiltrukket sig opmærksomhed i England, fremgår af, at den på konferencen ikke blot omtaltes i indlæg af Rutherford og Jeans, men også blev nævnt i Sir Oliver Lodges åbningstale. Det var Jeans, der indledte diskussionen om strålingsproblemerne, og herunder gav han en udførlig redegørelse for Bohrs teori, der introduceredes med følgende ord: ». . . er Dr. Bohr nået frem til en særdeles sindrig og tankevækkende og, tror jeg vi må tilføje, overbevisende forklaring af lovene for spektralserierne.« Bohrs dristige postulater kommenterede Jeans således: ». . . Den eneste retfærdiggørelse, der for øjeblikket kan gøres gældende for disse antagelser, er den meget vægtige, at de virker i praksis.« Om sit indtryk af Jeans' holdning til teorien fortæller Bohr en uge senere i et brev til sin kone: ». . . Foreløbig er det gaet saa godt som jeg paa nogen Maade kunde ønske. Jeans, der indledte Diskussionen om Straalingsproblemet med et ganske storartet Foredrag, gav en meget smuk og velvillig Fremstilling af min Theori, jeg tror at han er overbevist om at der i det mindste er nogen Realitet bag mine Betragtninger . . .«

De ældre fysikere var imidlertid mere tilbageholdende. Bohr har således i Rutherford-forelæsningsen fortalt, hvorledes Lord Rayleigh undgik at tage stilling til spørgsmålet ved en humoristisk bemærkning om, at selv om han ikke længere stod så fast på sit standpunkt fra de unge år, at en mand over 60 ikke burde tage del i en debat om aktuelle problemer, stod han dog fast nok på det til ikke at ville deltage i denne diskussion. Diskussionsindlæggene er iøvrigt desværre ikke bevaret i deres helhed, men vi ved dog, at Lorentz i forbindelse med et indlæg af Bohr rejste spørgsmålet om den logiske sammenhæng mellem Bohrs postulater og den klassiske teori. Bohr indskrænkede sig til at svare, at denne del af teorien ikke var komplet, men hvis man accepterede kvanteteorien, var et eller andet skema af den art, han havde benyttet, nødvendigt. At han ikke har ladet det blive herved, men har fortsat med at udvikle sine forestillinger for Lorentz efter mødet, røber et brev fra Lorentz til Bohr, hvori Lorentz adskillige år senere skriver om »... de teorier, som De gav mig en første fremstilling af i Sir Oliver Lodges have. . . .«

Et vigtigt punkt i teorien blev genstand for diskussion på samme tid, som Birmingham-konferencen fandt sted. Bohr var nemlig i sin afhandling kommet til den konklusion, at visse spektrallinier, som man hidtil havde troet hidrørte fra brint, i virkeligheden måtte tilskrives helium, og allerede i det brev, han sendte til Rutherford med 1. del af afhandlingen, havde han berørt dette punkt og spurgt, om det var muligt at anstille eksperimenter herover i Manchester. Disse var blevet udført af Evans i løbet af sommeren, og hans resultater, der støttede Bohrs påstand, blev offentliggjort i »Nature« den 4. september. Den fremragende engelske spektroskopiker A. Fowler, der selv havde opdaget nogle af de omtalte spektrallinier, var imidlertid endnu ikke overbevist, idet han pegede på en lille, men reel uoverensstemmelse mellem de eksperimentelle resultater og de værdier, man fandt ved en simpel anvendelse af Bohrs formel. Nu var Bohrs påstand begrundet i en korrespondensbetragtning, og en sådan uoverensstemmelse ville derfor, hvor lille den end var, i virkeligheden betyde, at hele grundlaget for Bohrs teori faldt væk. I den påfølgende diskussion i »Nature« viste Bohr imidlertid, at Fowlers indvending kunne afvises, hvis man tog hensyn til selve kernens bevægelse omkring atomets tyngdepunkt. Ved denne nøjagtigere beregning kunne Bohr ikke blot påvise den smukkeste overensstemmelse mellem de beregnede og de iagttagne spektrallinier, men kunne også forudsige, at en række andre, hidtil ikke observerede heliumlinier, som efter den simple

teori ville falde sammen med nogle af Balmer-linierne, i virkeligheden skulle vise sig en lille smule forskudt i forhold til disse. Linierne blev det følgende år fundet af Evans på de forudberegnete steder.

Interessant er det, at det netop var Evans' første eksperimenter, der blev udslagsgivende for Einsteins holdning. Vi har denne viden fra to breve, som Hevesy sendte til henholdsvis Bohr og Rutherford, efter at han på en kongres i Wien i slutningen af september havde fortalt Einstein om udfaldet af disse eksperimenter. Til Bohr skriver han med rørende hengivenhed på sit charmerende engelsk, som vi kun kan give et fattigt indtryk af i oversættelsen: »... så spurgte jeg ham [Einstein] om hans syn på Deres teori. Han fortalte mig, den er meget interessant, meget vigtig, hvis den er rigtig og så videre, og han havde meget lignende ideer for mange år siden, men havde ikke mod til at udvikle den; jeg fortalte ham, at det er godtgjort nu med sikkerhed, at Pickering-Fowler-spektret tilhører helium. Da han hørte dette, var han overordentlig forbløffet og fortalte mig: »Så afhænger lysets frekvens slet ikke af elektronens frekvens – (Jeg forstod ham således??). Og dette er en *uhyre bedrift*. Så må Bohrs teori være rigtig.« Jeg kan næppe fortælle Dem, hvor glad jeg har været, og næsten intet andet kunne gøre mig en sådan glæde end denne spontane bedømmelse fra Einstein.« Og brevet til Rutherford slutter således: »... Da jeg fortalte ham om Fowler-spektret så Einsteins store øjne endnu større ud, og han fortalte mig: »Så er det en af de største opdagelser.« Jeg følte mig meget lykkelig ved at høre Einstein sige dette.«

Vi har tidligere fremhævet den foreløbige og ubegrundede karakter af Bohrs hypoteser og især »blandingen af Plancks ideer med den gamle mekanik«, som Rutherford noget respektløst havde beskrevet dem. Ingen var imidlertid mere på det rene med dette forhold end Bohr selv, og i de følgende år, hvor flere fysikere troede, at man allerede var ved at få fastere grund under fødderne, benyttede han enhver lejlighed til at pointere denne mangel på teoretisk fundering. Således understregede han i et foredrag om den nye teori, som han holdt i Fysisk Forening i december 1913*), og som han selv med rette regnede for noget af det bedste og klareste, han havde skrevet, denne side af sagen i følgende smukke slutning: »Førend jeg slut-

*) Offentliggjort i Fysisk Tidsskrift 1914; genoptrykt i Fysisk Tidsskrifts mindeskrift for Bohr (1963).

ter, vil jeg blot gerne sige, at jeg haaber, at jeg har udtrykt mig saa tydeligt, at De vil have opfattet, hvor meget de fremførte Betragtninger strider imod den saa beundringsværdigt sammenbyggede Kreds af Forestillinger, som man med Rette har benævnt den klassiske Elektrodynamik. Paa den anden Side har jeg bestræbt mig for at bibringe Dem det Indtryk, at der – netop ved saa stærkt at fremhæve denne Modstrid – maaske er Mulighed for med Tiden ogsaa at bringe en vis Sammenhæng i de nyere Forestillinger.«

Efteråret 1913 bragte iøvrigt to meget betydningsfulde arbejder, der havde direkte tilknytning til Bohrs teori. For det første offentliggjorde Moseley resultaterne af de eksperimenter, han havde udført i Manchester, hvor han for en række grundstoffer, der følger efter hinanden i det periodiske system, havde foretaget målinger af bølgelængderne af »spektrallinier« fra den såkaldte karakteristiske røntgenstråling, der ligger uden for det synlige område. Moseleys eksperiment støttede på smukkeste måde Bohrs forestillinger, idet det viste sig, at linierne flyttede sig på regelmæssig måde fra grundstof til grundstof, således at der måtte være en bestemt størrelse, der ændrede sig med én enhed fra det ene stof til det næste, og denne størrelse kunne kun være kernens ladning, eller, hvad der er det samme, antallet af elektroner i det neutrale atom. Tolkningen af de karakteristiske røntgenliniers fremkomst på grundlag af Bohrs model blev imidlertid først givet det følgende år af tyskeren W. Kossel, der antog, at de fremkommer, når en elektron er blevet fjernet fra en af de indre baner, idet en ydre elektron derefter springer ind på dens plads under udsendelse af stråling efter Bohrs formel.

Det andet store fremskridt fra dette efterår var tyskeren Starks opdagelse, at en spektrallinie splittes op i flere, når de atomer, hvorfra den udsendes, anbringes i et elektrisk felt, analogt til Zeemans tidligere opdagelse af den tilsvarende effekt for et magnetfelt. Stark offentliggjorde sin afhandling i november, og det var Rutherford, der gjorde Bohr opmærksom herpå, idet han i begyndelsen af december sendte Bohr et brev, hvori han bl. a. skrev: »Blot en notits for at henlede Deres opmærksomhed på den nye opdagelse af Stark, at et elektrisk felt frembringer en opsplnitning af brint- og heliumlinierne, der minder meget om Zeeman-effekten . . . Jeg synes, at det er Deres sag nu at skrive noget om Zeeman-effekten og den elektriske effekt, hvis det er muligt at bringe dem i overensstemmelse med Deres teori.«

Dette arbejde gav Bohr sig straks i kast med, og hans teori var nu blevet så kendt, at flere andre fysikere ligeledes forsøgte at benytte den til forkla-

ring af Stark-effekten. Med en for Bohr usædvanlig hurtighed publicerede han allerede sin afhandling herom i marts-nummeret af *Philosophical Magazine*. I indledningen opridser Bohr i en ny formulering grundlaget for sin teori, og det er et karakteristisk træk, som vi genfinder ved alle de følgende afhandlinger, at han gennem en stadig mere forfinet analyse af de grundlæggende antagelser søger at nå frem til en klarere og klarere forståelse af, hvad de indebærer. Hvad angår afhandlingens egentlige indhold, var teorien endnu ikke tilstrækkeligt udviklet til at kunne gøre rede for de omtalte effekter, og Bohr førtes derfor af tungtvejende grunde til for Zeeman-effektens vedkommende at modificere sin frekvensbetingelse. Senere, da Sommerfeld i 1915–16 havde videreudviklet teorien, og korrespondensprincippet forfinedes, viste det sig, at disse grunde faldt bort, og man kunne bibeholde frekvensbetingelsen i dens oprindelige form. For Stark-effektens vedkommende kunne teorien forklare de grovere træk og give visse kvalitative udsagn, omend man også her først efter Sommerfelds udvidelse af teorien kunne skimte begyndelsen til en forklaring.

Et andet punkt, der endnu et par år skulle forblive en gåde, og som skulle blive nøglen til det næste store fremskridt, var, at brintlinierne i virkeligheden havde vist sig at være dobbelte. Bohr udkastede først den teori, at fænomenet kunne skyldes en opsplitning hidrørende fra en Stark-effekt i det udladningsrør, hvor spektret frembragtes, og i løbet af foråret 1914 anstillede han sammen med H. M. Hansen eksperimenter herover, der imidlertid gav negativt resultat. Samtidig holdt han en forelæsningsrække over sit gamle speciale, metallernes elektronteori, ligesom han i Fysisk Forening fortalte om de nyere arbejder over røntgenstråler.

I begyndelsen af foråret genoptog man imidlertid for alvor den tanke at søge oprettet en selvstændig lærerpost til Bohr, som allerede havde været fremme i 1911, men atter var blevet skrinlagt, bl. a. fordi der fra universitetets side havde været en del modstand herimod, hvilket bevirkede, at Bohr havde måttet ofre kostbar tid på assistentarbejde, især med undervisning af medicinerne. For at antyde karakteren af de genvordigheder, Bohr havde i disse år, skal vi blot gengive et lille stykke af et brev til Oseen, som han skrev i marts 1914, kort før han bad om en udtalelse til støtte for sin ansøgning om oprettelse af et professorat i teoretisk fysik: »... Til min Stilling hører der nemlig intet Laboratorium, thi det Prof. Knudsen havde, da han var Docent, blev lagt over til Professoratet, da jeg blev ansat. Jeg har kun det Hverv at undervise de medicinske Studerende i Fysik, og har intet at

gøre med den videnskabelige Undervisning i Fysik og har saaledes ikke Mulighed for at faa Elever eller Assistance. Jeg arbejder derfor paa at faa oprettet en Lærerpost i Theoretisk Fysik (Du husker maaske at der efter min Doktordisputats var Tale om en saadan) men der er vist ikke meget Haab om at det vil lykkes idet Fakultetet stadig ikke ønsker Oprettelsen af en saadan Stilling.«

Sagen trak da ogsaa i langdrag, og da Rutherford kort efter tilbød Bohr det docentur, der var blevet ledigt efter Darwin, slog han derfor til. Rutherford antydede først forsigtigt muligheden heraf i et brev, han sendte i maj: »... Jeg formoder, at De ved, at Darwins docentur er udløbet, og vi annoncerer nu efter en efterfølger til et honorar af 200 £. Foreløbige forespørgsler viser, at der ikke er mange lovende mænd til rådighed. Jeg ville sætte pris på at få en ung fyr med nogen originalitet i sig.« I juni rejste Bohr til Manchester og traf endelig aftale med Rutherford om at overtage docenturet for universitetsåret 1914-15, i hvilket tidsrum han fik bevilget orlov fra Københavns universitet.

Inden han rejste til England, foretog Bohr i juli sammen med sin bror en vandretur i Alperne, og på vejen gennem Tyskland benyttede han lejligheden til foruden i Würzburg at aflægge besøg i Göttingen og München, hvor han i to kollokvier gjorde rede for sine resultater. Medens Harald, der stødte til i Göttingen, jo allerede tidligt havde haft så nær tilknytning til kredsen her, var det første gang Niels havde lejlighed til at tale med de tyske fysikere om sin teori, og han benyttede naturligvis denne til i samtaler med bl. a. Debye, Born, Wien, Sommerfeld og Kossel at redegøre for sine synspunkter. Fra brevene hjem til hans hustru får vi et indtryk af disse samtaler og overhovedet af holdningen til hans teori i Göttingen. Runge synes som ventet ikke mulig at overbevise, han »... tilhører den gamle Skole...«. Debye, derimod, som Bohr nærrede stor beundring for, »... har hele Tiden stillet sig velvilligt til mine Spekulationer, men jeg tror dog, det lykkedes mig at overbevise ham om, at det hele maaske kan føre til mere, end han havde tænkt sig...«. Bemærkelsesværdigt er det, at Bohr beretter om skepsis hos Born, der kun var få år ældre end ham selv, og som senere skulle yde så væsentlige bidrag til kvanteteorien: »... Til at begynde med havde han stillet sig ganske afvisende over for min Theori, men jeg tror, at det lykkedes mig at gøre ham begribeligt, at det altsammen maaske ikke var saa helt vildt, som det i første Øjeblik saa ud...«. Tiden i Göttingen tilbragte Bohr iøvrigt ganske naturligt meget sammen med matematikerne, med

hvem han gik ture og spillede tennis. Hans indtryk fra München, som han beskrev i et brev til sin mor, er vi desværre afskåret fra at gengive, idet dette brev synes at være gået tabt.

Den egentlige vandretur foregik i de bayerske og østrigske Alper, hvor de to brødre vandrede fra hytte til hytte, og herfra sendte Bohr begejstrede naturskildringer hjem til sin kone. Ved én lejlighed, hvor han har bestegt en bjergtop, beskriver han f. eks. udsigten således: »... Jeg kan ikke beskrive, hvor dejligt der var deroppe, til de tre sider saa man saa langt Øjet rakte kun snedækte Bjergtinder, og til den fjerde saa man ned i en græsklædt Dal, der mandede ud i en stor Slette, og det var saa morsomt at se, hvordan Bjergene ligesom pludselig voksede op af Sletten ...« Og senere, da tåge og regn har forhindret en planlagt dagsmarch: »... Man kan ikke beskrive, hvor vidunderligt og storslaaet det er, naar Taagen i Højfjeldet pludselig kommer drivende ned fra alle Tinderne, til at begynde med som ganske smaa Skyer for til Slut at opfylde hele Dalen ...« At de to brødre har været i ganske god form, får man indtryk af, når man hører, at de har gået op til 35 km på en dag.

Det var planlagt, at brødrene skulle komme hjem den 6. august, men i mellemtiden brød verdenskrigen ud, så de måtte rejse hjem over hals og hoved, og det var kun med nød og næppe, de nåede tilbage gennem Tyskland, inden grænserne blev lukket. Krigen bevirkede også, at den regelmæssige skibsforbindelse med England blev afbrudt, og Bohr kom i det hele taget i stærk tvivl om betimeligheden af at tage derover under disse omstændigheder. Efter at have stået i telegrafisk forbindelse med laboratoriet i Manchester besluttede han sig imidlertid alligevel til at rejse, og sammen med sin hustru ankom han til England i begyndelsen af oktober med et skib direkte fra København nord om Skotland. Det følgende forår bestemte Bohr sig til at søge endnu et års orlov fra København, og dette hans andet ophold i England kom således til at strække sig helt til sommeren 1916.

I den tid holdt Bohr forelæsninger over termodynamik, kinetisk teori, elektromagnetisk teori og elektronteori, samtidig med at han naturligvis arbejdede videre med atomteorien såvel som teorien for bremsning af ladede partikler. Yderligere tog han sig tid til eksperimentelt arbejde. I 1914 havde nemlig de to tyske fysikere Franck og Hertz gjort en meget betydningsfuld opdagelse, som i den følgende tid kom til at spille en stor rolle, og for hvilken de en halv snes år senere fik tildelt Nobelprisen. De fandt, at

kviksølvatomer, der bombarderes med elektroner, optager energien i kvanter, idet elektronerne slet ikke afgiver deres energi til kviksølvatomerne, hvis den er under en vis kritisk værdi, men beredvilligt afgiver den, hvis den er over denne værdi. Disse eksperimenter skulle i sidste ende frembyde endnu en væsentlig støtte for Bohrs teori, idet det, der sker, er, at den stødende elektron løfter den yderste elektron i et kviksølvatom op fra dens grundtilstand til den næste stationære tilstand, og den energi, der kræves hertil, har netop den af Franck og Hertz fundne værdi. Det er imidlertid interessant, at denne mulighed slet ikke havde strejft Franck og Hertz selv, som i deres afhandling om eksperimentet overhovedet ikke nævnedes Bohrs teori, men tværtimod mente, at de havde slået elektroner helt ud af kviksølvatomerne, havde *ioniseret* disse. De troede således, at det var den hertil svarende energi, ioniseringsenergien, de havde målt, og de iagttog da også, at der virkelig fremkom ionisering. Dette ville imidlertid være uforståeligt ud fra Bohrs teori og betyde en stor vanskelighed for denne, da det skulle kræve en langt større energi end den málte, og Bohr, der snart fandt den rigtige forklaring, kom da også til det resultat, at den iagttagne ionisering måtte skyldes en bieffekt. Det var med henblik på at opklare dette vigtige punkt, at han sammen med Makower gik i gang med en eksperimentel undersøgelse. Hvorledes denne måtte opgives igen, fordi der gik ild i deres apparat, og den tyske glasblæser, der havde konstrueret det, i mellemtiden var blevet interneret, har Bohr selv givet en humoristisk beskrivelse af i Rutherfordforelæsnngen. Det er bemærkelsesværdigt, at så sent som i 1916 omtaler Franck og Hertz stadig den kritiske energiværdi som en ioniseringsenergi, og først efter at Davis og Goucher, der arbejdede i New York, i 1917 definitivt havde vist, at ioniseringen var en sekundær effekt, accepterede de Bohrs forklaring.

Bohrs teoretiske arbejde i disse år gik naturligvis først og fremmest ud på at videreudvikle atomteorien, og han offentliggjorde en afhandling om dette emne i september 1915, hvori man foruden en omhyggeligt udarbejdet oversigt over de fundamentale antagelser bl. a. finder en omtale af Franck og Hertz' eksperiment med den korrekte forklaring, samt en redegørelse for Moseleys eksperimenter på grundlag af Kossels forklaring (Moseley var i august 1915 faldet i krigen i en alder af 27 år, et tab, der blev dybt begrædt af fysikere i alle lande). Samtidig arbejdede Bohr som sagt videre på sin teori for bremsning af ladede partikler, der passerer gennem stof, som han forfinede ved indførelse af statistiske betragtninger, og han publicerede

en afhandling herom i oktober 1915. Den tilsyneladende modsætning mellem de klassiske principper, der er anvendt ved beregningerne heri, og de principper, der lå til grund for kvanteteorien for atomet, havde Bohr også påtænkt at komme ind på, men han var bange for, at afhandlingen ville blive for lang, og opgav det igen.

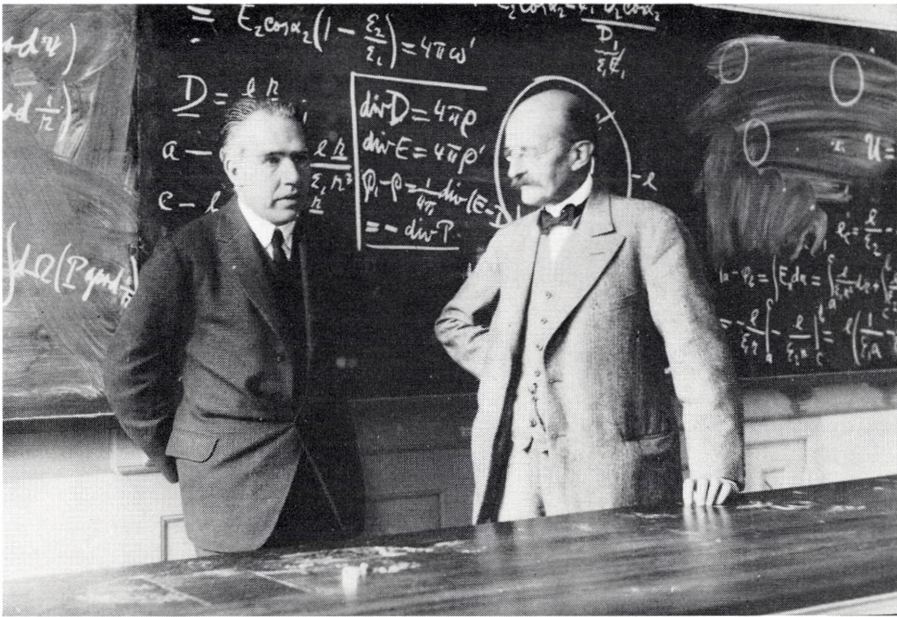
En af de mest interessante afhandlinger, der kom fra Bohrs hånd i disse år, er imidlertid en ganske kort note, formuleret som et brev til *Philosophical Magazine* med kommentarer til en afhandling af H. S. Allen. I denne note, der offentliggjordes i februar 1915, anfører han for første gang den korrektion, der kommer ind i hans formel for brintspektret ved anvendelse af relativitetsteorien på de cirkulære elektronbaner i brintatomet. For de ellipseformede baners vedkommende vil en anvendelse af relativitetsteorien imidlertid give det resultat, at ellipsen som helhed foretager en drejende bevægelse, således at elektronen beskriver en række »sløjfer« omkring kernen, og Bohr antyder nu, at denne drejning kunne være årsag til brintliniernes dobbelte karakter, som han allerede havde beskæftiget sig så meget med året forinden. Det var, som vi straks skal se, netop i den retning, det næste store fremskridt skulle gå. Bohr går imidlertid ikke nærmere ind på problemet, men tilføjer blot, at det næppe er umagen værd at tage spørgsmålet op til detaljeret behandling, før der foreligger nøjagtigere målinger af opspaltningen af spektrallinierne.

Sådanne målinger blev taget op samtidig af Evans i Manchester og den tyske fysiker Paschen i Tübingen. Medens Evans stødte på forskellige eksperimentelle vanskeligheder, lykkedes det Paschen i løbet af 1915, ved en serie fremragende målinger, med stor nøjagtighed at bestemme en række af de søgte værdier. Det blev da også Sommerfeld, der stod i nær kontakt med Paschen, hvem det lykkedes at bringe teorien det næste afgørende skridt fremad. Sommerfeld fulgte netop de af Bohr antydede retningslinier, idet han anvendte relativitetsteorien på ellipseformede baner. Han føjede imidlertid et fundamentalt nyt træk til teorien, idet han fandt en måde at fastlægge de stationære tilstande på, der var mere almen end den, Bohr havde benyttet. Medens Bohr således kun havde været i stand til at behandle elektronbevægelser, der var periodiske, d.v.s. bevægelser, som gentager sig efter én omdrejning, var man efter Sommerfelds teori i stand til også at behandle mange ikke-periodiske bevægelser, hvilket naturligvis betød et stort fremskridt. Det var herigennem muligt for Sommerfeld at gøre rede for de dobbelte brintlinier, ligesom han kunne vise, at spektrallinierne måtte være

yderligere spaltet op i komponenter, den såkaldte finstruktur, og han fandt en udmærket overensstemmelse mellem teoriens udsagn og de af Paschen foretagne målinger. Kort efter fremkomsten af Sommerfelds teori var Epstein og Schwarzschild i stand til at redegøre for Stark-effekten for brintatomet på det nye grundlag.

Sommerfeld havde fremsat sin teori for det videnskabelige akademi i München i december 1915 og januar 1916. Han sendte afhandlingerne til Bohr, der fik dem i hænde i marts 1916, da han selv var nået så vidt med en afhandling om »Anvendelse af kvanteteorien på periodiske systemer«, at den allerede forelå i korrektur. Bohr modtog Sommerfelds arbejde med begejstring og skrev straks et brev til ham, hvori det bl.a. hedder: »Jeg takker Dem så meget for Deres overordentlig interessante og smukke afhandlinger. Jeg tror ikke, at jeg nogensinde har nydt læsningen af noget, mere end jeg nød studiet af dem, og jeg behøver ikke sige, at ikke blot jeg, men alle her har været særdeles interesseret i Deres betydningsfulde og smukke resultater. . . .«, og til Oseen skrev han, at ». . . Denne afhandling har ganske ændret kvanteteorien nuværende stilling, . . .« Han drog heraf den konsekvens at trække sit eget arbejde tilbage for at revidere det i overensstemmelse med de nye ideer, men som det så ofte gik, måtte det i tidens løb, efterhånden som nye afhandlinger kom til, omarbejdes mere og mere, og først to år senere kom i totalt ændret form 1. del af den store afhandling om »Kvanteteorien for liniespektrene«.

I marts 1916 modtager Bohr besked hjemmefra, at det endelig ser ud til, at professoratet til ham vil blive oprettet. Den officielle bekendtgørelse om oprettelsen af et professorat i teoretisk fysik foreligger i begyndelsen af maj, og medens man året forinden havde fået afslag på en ansøgning til ministeriet herom, hedder det nu i ministeriets indstilling til finansudvalget: ». . . Med Hensyn til den teoretiske Fysik maa fremhæves, at dette Fag efter Fakultetets Forslag til en ændret Indretning af Skoleembedseksamen vil faa en udvidet Betydning, og at der til Ansættelse i Stillingen netop nu haves en særlig egnet Videnskabsmand, nuværende Docent Dr. phil. Niels Bohr, der har vist sig som en fremragende Dygtighed paa den teoretiske Fysiks Omraade. . . .« Alle vanskeligheder var dog ikke overvundne hermed, idet man i første omgang nedlagde det docentur, Bohr hidtil havde haft, således at han også som professor skulle have ». . . Forpligtelse til indtil videre at varetage den Undervisning, der hidtil havde paahvilet ham som Docent i Fysik. . . .« Det lykkedes imidlertid Bohr efter sin hjemkomst at få be-



Niels Bohrs teori for atomernes opbygning hviler på to fundamentale opdagelser: Max Plancks i 1900 af virkningskvantet og Ernest Rutherfords i 1911 af atomkernen. Det øverste billede er taget under Plancks besøg i København i 1930, det nederste under et af Bohrs besøg hos Rutherford i Cambridge. Rutherford og Bohr ses siddende med ryggen til hinanden under en udflugt til kaponing Cambridge-Oxford

I sommerhuset i Tisvilde brugte Niels Bohr meget af sin fritid til at arbejde på grunden. Her er han – sammen med medarbejdere fra Institutet – i gang med at fælde og save træer



Sammen med en gruppe venner deltog Niels Bohr i en årrække i sejlture med båden »Chita«. På billedet ses fra venstre: Niels Bohr, Niels Bjerrum, Ole Chievitz

vilget vikar til dette arbejde, der i 1918 atter skiltes ud ved genoprettelse af docenturet.

Blandt gratulanterne var naturligvis Bohrs gamle lærer ved universitetet, professor C. Christiansen, der tidligere havde udtalt frygt for, at Bohr ville blive i udlandet, og som nu sendte et lykønskingsbrev, hvori han gav følgende fine lille karakteristik af sin elev: » . . . Jeg kender Dem jo fra de unge Dage; jeg har aldrig truffet noget Menneske der som De gik til Bunds i hver Sag, havde Energi til at føre den igjennem og saa ved Siden deraf var alsidig interesseret for Livet i det Hele . . .«

På dette tidspunkt var Bohrs ry imidlertid også nået til Amerika, og allerede i februar havde han modtaget en invitation fra professor G. N. Lewis til at tilbringe et semester og give en række forelæsninger ved Californiens universitet. Bohr overvejede alvorligt i hvert tilfælde at holde den ønskede forelæsningsrække, men dels stillede krigen sig hindrende i vejen, dels har det været vanskeligt, måske umuligt, for ham at få orlov det første semester efter sin tiltrædelse som professor. Under alle omstændigheder blev rejsen opgivet, og der skulle gå syv år, inden Bohr første gang aflagde besøg i Amerika.

Kort før efterårssemestrets begyndelse skete der noget, der skulle blive af stor betydning for Bohr i de kommende år, idet en 21-årig hollandsk fysiker, Hendrik Anthony Kramers, der havde studeret hos Lorentz og Ehrenfest i Leiden, kom til København. Han fortæller i et brev til Bohr, hvorledes det egentlig var lidt af et tilfælde, at han var kommet til Danmark; han ønskede simpelthen at studere et stykke tid i udlandet, og da Danmark var neutralt, var det nærliggende for ham at tage hertil. I dette brev introducerer han sig til Bohr på lidt ubehjælpsomt engelsk med disse ord: »Til at begynde, lad mig introducere mig selv ved at fortælle, at jeg er en hollandsk student i fysik og matematik. . .«, og han fortsætter: » . . . Naturligvis ville jeg sætte megen pris på at komme i bekendtskab med *Dem* først og fremmest, og også med Deres bror Harald. . .« Efter at have talt med Bohr ytrede han ønske om at blive dennes assistent, og Bohr har fortalt, hvorledes hans bror, som han rådførte sig med i dette som i så mange andre spørgsmål, havde sagt til ham, at hvis den unge hollænder virkelig var så ivrig, kunne han da altid lade ham prøve. Det gjorde Bohr, og det blev en succes over al forventning, idet Kramers kom til at arbejde som Bohrs assistent i de følgende 10 år og først forlod Danmark, da han blev udnævnt til professor i Utrecht i 1926. Han blev den første videnskabelige

assistent, der i 1921 knyttedes til det nyoprettede fysikinstitut, og i sit virke dér var han en uvurderlig inspirationskilde, der fik den største betydning for Institutet og dermed også for fysikken her i landet.

I efteråret 1916 påbegyndte Bohr så sit arbejde som professor, og i de nærmest følgende år holdt han forelæsninger over så forskelligartede emner som mekanik, elasticitetsteori, termodynamik, elektronteori og atomteori, ligesom han afholdt kollokvier, hvor han lod de studerende referere nogle af de mest betydningsfulde afhandlinger fra den nyere tid, samt eksaminatorier, ved hvilke han omhyggeligt førte en notesbog med en – til tider særdeles kritisk – bedømmelse af de studerendes præstationer. Han holdt også en række foredrag om atomteorien i Fysisk Forening, for hvilken han i perioden 1916–19 var formand. I 1917 indvalgte han i Videnskabernes Selskab, hvis mangeårige præsident han senere skulle blive.

Bohrs eget arbejde foregik i et værelse ved siden af biblioteket på Polyteknisk Lærestanstalt, og i et brev til Sophus Weber beklager han sig i 1917 over, at han ikke har ét eneste rum for sig selv til at eksperimentere i. Med den handlekraft, han var i besiddelse af, lod han det imidlertid ikke blive ved dette, men søgte samme år staten om bevilling til oprettelse af et laboratorium. Bl. a. som følge af pengenes devaluering i den følgende tid måtte han i 1919 søge Carlsbergfonden om en yderligere bevilling, hvortil han indhentede støtte i udtalelser af Rutherford og Sommerfeld. Allerede inden udgangen af 1917 havde man imidlertid fra privat side på skolekammeraten Aage Berlèmes initiativ indsamlet et beløb på 80.000 kr. til erhvervelse af en grund på Blegdamsvejen, og snart efter kunne man tage fat på bygningen af »Universitetets Institut for Teoretisk Fysik«, der i højeste mål kom til at opfylde Sommerfelds ord i udtalelsen til Carlsbergfonden: »Måtte, som tidligere i Radiuminstitutet i Wien, for fremtiden forskere fra alle lande træffes til særlige studier i København og i det Bohr'ske institut for atomfysik forfølge fælles kulturidealer.«

Sammen med Kramers, der var særlig fortrolig med den matematiske formulering af den klassiske mekanik, udarbejdede Bohr i disse år den store afhandling »Kvanteteorien for linespektrene«, i hvilken en videreudvikling af korrespondensprincippet på det af Sommerfeld skabte grundlag udgør kernepunktet. Som vi tidligere har omtalt det for de simple cirkulære baner, ligger der i dette princip det fundamentale, rent logiske krav, at efter-

som den nye teori skal være en generalisation af den klassiske, må den »indeholde« den klassiske teoris resultater i den forstand, at de størrelser, man beregner, som f. eks. farven eller styrken af en spektrallinie, må nærme sig til den klassisk beregnede værdi, når systemet nærmer sig mere og mere til den klassiske fysiks gyldighedsområde. For mange mere komplicerede elektronbevægelers vedkommende er det i princippet muligt at foretage en matematisk »opløsning« af bevægelsen i simple »delbevægelser«, og ifølge den klassiske teori vil enhver af disse svare til en bestemt del af det udsendte lys, og denne del af lyset vil være desto mere fremherskende, jo større en rolle den pågældende delbevægelse spiller i den samlede bevægelse. Enhver overgang fra én stationær tilstand til en anden svarer nu til eller korresponderer med en af disse delbevægelser. Når man går til større og større baner, viser det sig da, som det jo måtte være tilfældet, at såvel farven som styrken af den spektrallinie, der efter Bohrs formel udsendes ved en sådan overgang, nærmer sig til de værdier, man efter den klassiske formel beregner for den tilsvarende delbevægelse. Den dybtgående forskel på mekanismen for lysudsendelsen efter den klassiske teori og efter Bohrs teori illustreres måske endnu bedre ved dette eksempel end ved det tidligere betragtede. Medens det nemlig er klart, at alle farverne må udsendes på én gang ifølge den klassiske teori, hvor opløsningen i delbevægelser jo er en rent matematisk proces, er det lige så indlysende, at efter Bohrs teori udsendes kun én bestanddel ad gangen svarende til et bestemt elektronspring. Kun det samlede resultat af *alle* de forekommende elektronspring vil i den korrespondensmæssige grænse nærme sig til den klassiske lysfordeling.

Pointen var nu, at Bohr også kunne slutte tilbage fra den klassiske opløsning af bevægelsen til sandsynligheden for en elektrons overgang for de indre baners vedkommende, hvor man var fjernt fra de klassiske betingelser, og han kunne heraf drage en række betydningsfulde slutninger vedrørende det lys, der ifølge kvanteteorien skulle udsendes. Som et vigtigt eksempel kan vi nævne, at hvis en bestemt delbevægelse ganske manglede i det klassiske udtryk, kunne Bohr slutte, at det tilsvarende elektronspring mellem to baner slet ikke kunne forekomme, og han kunne ved dette helt generelle argument begrunde en række eksperimentelt fundne såkaldte »udvalgsregler«, der netop er udtryk for det forhold, at mange overgange mellem stationære tilstande slet ikke forekommer. Det kan i dag være vanskeligt at forstå, at den dybtgående karakter af dette korrespondensargument i så høj grad er undsluppet samtidens fysikere. Det kommer f. eks. til udtryk i

korrespondancen mellem Sommerfeld og Bohr. I 1920 skriver Sommerfeld således, at han »... må ... bekende, at den for kvanteteorien fremmede oprindelse til Deres princip stadig er mig ubehagelig ...«, og så sent som i 1922 skriver Bohr til Sommerfeld: »... I de senere år har jeg ofte videnskabeligt følt mig meget ensom under indtryk af, at mine bestræbelser for efter bedste evne systematisk at udvikle kvanteteoriens principper er blevet optaget med meget ringe forståelse. Det drejer sig for mig ikke om pædagogiske bagateller, men om et alvorligt forsøg på at opnå en sådan indre sammenhæng, at man kunne håbe at opnå et sikrere grundlag for den videre opbygning. ...« I virkeligheden rummede korrespondensprincippet spiren til den erkendelsesteoretiske belæring, som er indeholdt i komplementaritetsprincippet, hvori et afgørende punkt er, at i hvor høj grad en fysisk teori end unddrager sig vor anskuelse, er det dog principielt nødvendigt at anvende det sprog, vi benytter i den makroskopiske verden, til beskrivelse af dens resultater.

Efterhånden som tiden gik, voksede afhandlingen, og Bohr besluttede sig til sidst for at offentliggøre den i dele. Den udkom i Videnskabernes Selskabs Skrifter, og 1. og 2. del blev publiceret i april og december 1918. På dette tidspunkt var også 3. og 4. del udarbejdet, men disse måtte omarbejdes i de følgende år. Til sidst opgav Bohr en sådan revision og offentliggjorde i 1922 3. del i dens oprindelige form med et tillæg om den senere udvikling. I årene 1916–18 anvendte Kramers teorien til en matematisk behandling af finstrukturen og Stark-effekten for brintspektret. Han udarbejdede en større afhandling herom, der ligeledes udkom i Videnskabernes Selskabs Skrifter, og som han forsvarede for doktorgraden i Leiden i foråret 1919.

Allerede i efteråret 1916 havde Bohr og Kramers udarbejdet en detaljeret teori for heliumatomet, som omtales i mange af Bohrs breve indtil adskillige år senere, men som aldrig blev publiceret. Selv om de en overgang øjensynlig har troet at have løst dette problem, viste det sig imidlertid i sidste ende, at heliumspektret ikke lod sig behandle på grundlag af de tidlige teorier, idet disse f. eks. gav en for lav værdi for ioniseringsenergien, og det blev da også et af de problemer, der stærkest pegede mod nødvendigheden af mere radikale ændringer. Dette var allerede forudset af Bohr i et brev, han sendte Oseen efter sin hjemkomst fra Tyskland i 1914, hvori han under en omtale af vanskelighederne ved at behandle systemer med mere end to partikler fremsætter følgende næsten profetiske bemærkning: »... Jeg er tilbøjelig til at tro, at der i Problemet stikker ganske overordentlig store

Vanskeligheder, der kun kan omgaaes ved at fjerne sig i endnu langt højere Grad fra de sædvanlige Betragtninger end det hidtil har været nødvendigt, og at det foreløbige Held udelukkende skyldes de betragtede Systemers Simpelt. . . .«

Denne overbevisning deltes imidlertid langt fra af alle fysikere. Især Sommerfeld var tilbøjelig til at tage de tidlige teorier mere bogstaveligt, end Bohr anså for berettiget. En i denne henseende karakteristisk bemærkning finder vi i et af Sommerfelds breve til Bohr fra 1918, hvori han efter en omtale af Rubinowicz' mere »anskuelige« måde at udlede nogle af udvalgsreglerne på, fremsætter følgende kommentar: »... Deres metode rækker vel længere, men den ovenfor antydede opfattelse forekommer mig fysisk mere lærerig. . . .« Dog var det netop det af Bohr udtrykte synspunkt, der skulle vise sig frugtbart. Således lykkedes det i 1917 Einstein ved anvendelse af statistiske betragtninger på Bohrs stationære tilstande, men uden benyttelse af specielle forestillinger om elektronbaner, at nå frem til en overraskende simpel udledning af den Planck'ske strålingsformel. Denne fundamentale betragtningsmåde kom i forbindelse med korrespondensprincippet til at danne grundlaget for den udvikling, som, ikke mindst gennem den afgørende indsats af Bohrs unge medarbejdere, Kramers og først og fremmest Heisenberg, skulle føre til hovedproblemernes løsning gennem skabelsen af en matematisk konsistent formalisme, den såkaldte kvantemekanik, hvori forestillingen om anskuelige elektronbaner er helt forladt, medens på den anden side alle korrespondensprincippets fordringer er opfyldt.

Hvor svært det i de tidlige år har været på baggrund af de ret primitive atommodellers uomtvistelige succes at frigøre sig fra en ubegrundet optimisme med hensyn til frugtbarheden af baneforestillinger og acceptere nødvendigheden af en konsekvent uanskuelig beskrivelse, alene baseret på korrespondensprincippet, får man et levende indtryk af gennem et brev, Bohr sendte til Oseen i januar 1926, ganske kort efter den nye teoris fremkomst. Lad os derfor slutte den skitse, vi her har forsøgt at give, med gennem et citat fra dette brev at lade Bohr selv kaste et blik tilbage på den udvikling, der gik forud: »... Frem kommer vi vel efterhaanden, men i ethvert Resultat lurer Fristelserne til at komme paa Afveje. I Atomteorien gælder det i en saadan Grad, at man paa Kvanteteoriens nuværende Udviklingstrin næppe kan sige, om det var et Held eller et Uheld, at Keplerbevægelsens Egenskaber kunde bringes i saa simpel Forbindelse med Brintspektret, som man engang troede muligt. Havde Forbindelsen blot indskrænket sig til den

asymptotiske Art, som man efter Korrespondensprincippet kunde forlange, havde man ikke været fristet til en saa grov Anvendelse af Mekanikken, som man en Tid lang troede mulig. Paa den anden Side var det imidlertid netop disse mekaniske Betragtninger, der skulde hjælpe til Opbygningen af den Analyse af de optiske Fænomener, der gradvis ledte over i Kvantemekanikken. . . .«