

Atomernes Bygning
og
Stoffernes fysiske og kemiske
Egenskaber

Af

N. Bohr

Foredrag holdt i Fysisk Forening den 18. Oktober 1921



København
Jul. Gjellerups Forlag
1922

SÆRTRYK AF FYSISK TIDSSKRIFT
19. AARG. 5-6. HEFTE

J. JOH. GYENSEN & CO.
(IVAR JANTZEN) KØBENHAVN.

NAAR jeg er gaaet ind paa Forlagets venlige Opfordring til at lade dette i Fysisk Forening holdte Foredrag, der er offentliggjort i Fysisk Tidsskrift, udkomme som et særskilt Hefte, skyldes det den Betragtning, at Foredraget paa Grund af dets Indhold og Form maa-ske vilde have Interesse for andre end Fysisk Tidsskrifts sædvanlige Læsekreds. Foredragets Hensigt vil fremgaa af de Bemærkninger, hvormed det indledes; jeg vil imidlertid her gerne tilføje et Par Ord for at lette Læserne Oversigten over Indholdet. Idet Foredragsformen er bibeholdt ved Trykningen, er der ikke benyttet en ved indholds-angivende Overskrifter betegnet Inddeling; men en vis Inddeling er alligevel søgt antydet ved Tegn, der angiver større naturlige Pauser i Foredraget. Den første af disse Pauser findes saaledes paa Side 5 efter den egentlige Indlednings Afslutning. Det paafølgende Afsnit af Foredraget, der strækker sig til Pausen nederst paa Side 18, indeholder en Oversigt over nogle af de vigtigste af de Resultater, man har naaet ved Arbejdet paa Spørgsmaalet om Atombygningen i Løbet af de senere Aar, samt en Angivelse af de Problemer, der vil blive søgt belyst i det følgende. I Foredragets næste Afsnit, der strækker sig til Pausen paa Side 31, gøres der dernæst nærmere Rede for de teoretiske Synspunkter, ud fra hvilke denne Belysning søges opnaaet. Dersom Læseren skulde finde Vanskelighed ved enkelte Betragtninger i Slutningen af dette Afsnit, vil jeg gerne allerede her gøre opmærksom paa, at flere af de omhandlede Enkeltheder fuldt saa meget er medtagne for Fuldstændighedens Skyld som for Forstaaelsen af det følgende. Saaledes vil der for Forstaaelsen af det paafølgende Hovedafsnit af Foredraget, hvori der gøres et Forsøg paa i Omrids at give

en Fortolkning af Grundstoffernes kemiske Egenskaber, kun kræves en Tilegnelse af Hovedtrækkene af de teoretiske Synspunkter. I lignende om end mindre Grad gælder dette ogsaa for Foredragets næste og sidste Afsnit, der begynder ved Pausen paa Side 61. I dette Afsnit søges de i det foregaaende udviklede Resultater anvendt paa den teoretiske Forklaring af Røntgenstraalespektrene, hvis eksperimentelle Undersøgelse har givet saa vigtige Bidrag til Studiet af Spørgsmaalet om Atombygningen.

København, December 1921.

N. Bohr.

De Forestillinger om Atombygningen, som jeg i Aften skal forsøge at udvikle for Dem, har jeg i Hovedtræk allerede antydnet i et Foredrag her i Fysisk Forening for omtrent et Aar tilbage. I Mellemtiden har disse Forestillinger imidlertid antaget fastere Former, og i to Breve til »Nature«, offentliggjort for nogle Maaneder siden, har jeg skitseret Teoriens nærmere Udformning. De Resultater, jeg skal forelægge for Dem, har vel ikke nogen afsluttet Karakter, men jeg haaber at kunne give Dem et Indtryk af, hvorledes det synes muligt ud fra de omhandlede Forestillinger om Atombygningen at belyse Sammenhængen mellem Stoffernes forskellige Egenskaber paa en Maade, der tillader at komme ud over visse Vanskeligheder, som hidtil tilsyneladende har stillet sig i Vejen for en simpel, sammenhængende Fortolkning af disse Egenskaber. Jeg maa paa Forhaand bede om Overbærenhed, dersom jeg i Foredragets første Halvdel kommer til at omtale adskillige Ting, der turde være mange af Dem velkendte; men for at føre Dem ind i den Tankebygning, det drejer sig om, bliver jeg nødt til først kort at omtale nogle af de vigtigste Resultater, som man er naaet til ved Arbejdet med Atomspørgsmaalene i Løbet af de senere Aar.

Det Billede af Atomet, som jeg skal lægge til Grund for alt det følgende, er det saakaldte *Kerneatom*, efter hvilket man forestiller sig, at et Atom bestaar af en Kerne omgivet af et Antal Elektroner, hvis Afstande fra hinanden og fra Kernen er meget store i Forhold til Partiklernes egne Dimensioner. Kernen besidder næsten

hele Atomets Masse og en positiv elektrisk Ladning af en saadan Størrelse, at Antallet af Elektroner i et neutralt Atom er lig det paagældende Grundstofs Nummer i det periodiske System, det saakaldte Atomnummer. Dette Billede af Atomet, til hvilket man som bekendt er naaet væsentlig gennem Rutherford's grundlæggende Undersøgelser over radioaktive Stoffer, fremviser overordentlig simple Træk, men netop denne Simpelhed rummer i første Øjeblik tilsyneladende Vanskeligheder for en Forklaring af Stoffernes Egenskaber. Hvis vi behandler dette Spørgsmaal ud fra vore sædvanlige Begreber om Mekanik og Elektrodynamik, er det nemlig ikke muligt i dette Billede at finde Udgangspunkter for en Forklaring af de udprægede Egenskaber, som de forskellige Stoffer besidder, ja ikke engang for Stoffernes Bestandighed. Paa den ene Side vil der øjensynligt ikke eksistere stabile Ligevægtstilstande af Atomets Partikler, paa den anden Side maa vi vente, at enhver Bevægelse, der kunde komme i Betragtning, vilde give Anledning til en Udsendelse af elektromagnetisk Straaling, der ikke vilde høre op, før hele Systemets Energi var udstraalet og alle Elektronerne faldne ind i Kernen. En Udvej til at komme ud over disse Vanskeligheder har man imidlertid fundet ved Benyttelse af Forestillinger hentede fra den saakaldte Kvanteteori, hvortil Grunden blev lagt ved Plancks berømte Arbejder over Varmestraalingsloven, og som betegner et afgørende Brud med tidligere Forestillinger, idet der for første Gang ved Formuleringen af almindelige Naturlove indførtes Antagelser om Optræden af Diskontinuiteter.

I den Form for Kvanteteorien, i hvilken den har fundet Anvendelse paa Spørgsmaalet om Atomernes Bygning, hviler den paa to Postulater, der netop tager Sigte paa de ovenfor berørte Vanskeligheder. Efter det første Postulat findes der visse særegne Tilstande af Atomet, i hvilke dette kan eksistere uden Udsendelse af Straaling til Trods for, at Partiklerne tænkes at befinde sig i accelereret Bevægelse i Forhold til hinanden. Disse saakaldte stationære Tilstande antages endvidere at besidde en særegen Stabilitet af en saadan Art, at det ikke er muligt at tilføre eller fratage et Atom Energi undtagen ved en Proces, der bestaar i en Overførelse af Atomet til en anden af disse Tilstande. Efter det andet Postulat vil enhver Straaling, der udsendes fra Atomet, og som altsaa skal tænkes at være knyttet til en Overgangsproces mellem to stationære Tilstande, altid

bestaa af en Rækkefølge af rent harmoniske Bølger. Svingningstallet for disse Bølger afhænger ikke direkte af Atomets Bevægelse, men er bestemt af den saakaldte F r e k v e n s b e t i n g e l s e, hvorefter Svingningstallet multipliceret med den af P l a n c k indførte universelle Konstant er lig med den totale ved Processen udstraalede Energi. For en Overgang mellem to stationære Tilstande, for hvilken Atomets Energi før og efter Udstraalingsprocessen er henholdsvis E' og E'' har man saaledes

$$h\nu = E' - E'', \quad (1)$$

hvor h er P l a n c k s Konstant og ν Svingningstallet for den udsendte Straaling. Tiden vil ikke her tillade mig at give en systematisk Fremstilling af Kvanteteorien, hvis senere Udvikling er gaaet Haand i Haand med dens Anvendelse paa Atombygningen; jeg skal derfor straks gaa over til at betragte de Anvendelser af Teorien, der har direkte Betydning for de i det følgende omhandlede Spørgsmaal.

* * *

Vi skal da begynde med at se paa det simplest tænkelige Atom, der blot bestaar af en Kerne og en Elektron. Dersom Kernens Ladning svarer til en enkelt Elektrons Ladning, og Systemet altsaa er neutralt, har vi at gøre med et B r i n t a t o m, og den nøjere Udformning af Anvendelsen af Kvanteteorien paa Atombygningen har netop taget sit Udgangspunkt i Redegørelsen for det bekendte simple Spektrum, som udsendes fra Brint. Dette Spektrum bestaar af en Række Spektrallinier, for hvilke Svingningstallet er givet ved den overordentlig simple saakaldte B a l m e r s k e Formel

$$\nu = K \left(\frac{1}{(n'')^2} - \frac{1}{(n')^2} \right), \quad (2)$$

hvor n' og n'' er to hele Tal. Efter Kvanteteorien tænker vi os nu, at Atomet besidder en Række stationære Tilstande karakteriserede ved Rækken af hele Tal, og vi ser, hvorledes de ved Formel (2) givne Svingningstal fremgaar af Frekvensbetingelsen, dersom vi antager, at en Brintlinie svarer til en Straaling, der udsendes ved en Overgang imellem to af disse Tilstande karakteriserede ved Tallene n' og n'' ,

og dersom vi antager, at Energien i den *n*te Tilstand paa nær en vilkaarlig Konstant er givet ved

$$E_n = -\frac{hK}{n^2}. \quad (3)$$

Benyttelsen af det negative Tegn hænger sammen med, at Atomets Energi simplest maales ved det Arbejde, der skal til for at fjerne Elektronen til en uendelig Afstand fra Kernen, og vi skal antage, at den numeriske Værdi af Udtrykket paa højre Side af Formel (3) netop er lig med dette Arbejde.

Hvad den nærmere Beskrivelse af de stationære Tilstande angaar, finder vi, dersom vi ser bort fra Kernens Medbevægelse, at Elektronen med meget stor Tilnærmelse vil beskrive en Ellipse med Kernen i det ene Brændpunkt. Storaksen af denne Ellipse hænger paa simpel Maade sammen med Atomets Energi, og svarende til de ved Ligning (3) givne Energiværdier af de stationære Tilstande finder vi en Række Værdier for Elektronbanens Storakse $2a$ givne ved

$$2a_n = \frac{n^2 e^2}{hK}, \quad (4)$$

hvor e er den numeriske Værdi af Elektronens og Kernens Ladning.

Sammenfattende kan vi sige, at Brintspektret belærer os om den Maade, hvorpaa Brintatomet dannes, idet de stationære Tilstande tør betragtes som forskellige Stadier af en Proces, ved hvilken Elektronen under Udsendelse af Straaling bindes i Baner af mindre og mindre Dimensioner, svarende til Tilstande med aftagende Værdier for n . Det vil ses, hvorledes dette Billede har visse Træk tilfælles med Bindingsprocessen mellem Elektron og Kerne, saaledes som det maatte ventes efter den sædvanlige Elektrodynamik; men at vort Billede afviger fra den sidstnævnte paa en Maade, som gør det muligt at gøre Regnskab for Brintens iagttagne Egenskaber. Specielt ser vi, hvorledes Bindingsprocessens Slutresultat fører til en ganske bestemt Tilstand af Atomets, nemlig den stationære Tilstand, for hvilken $n = 1$. Denne Tilstand, der svarer til Atomets mindste Energiindhold, skal i det følgende betegnes som Atomets *N o r m a l t i l s t a n d*. Det kan allerede her bemærkes, at de Værdier for Atomets Energi og Elektronbanens Storakse, som man finder, dersom man i Formlerne (3) og (4) sætter

$n = 1$, har samme Størrelsesorden som de Værdier for Fastheden af Elektronbindinger og for Atomdimensioner, som man har udledt af Undersøgelser over Luftarters elektriske og mekaniske Egenskaber. Om en nøje Prøvelse af Formlerne (3) og (4) ved en saadan Sammenligning er der dog ikke Tale, fordi Brint under de Forhold, hvorunder saadanne Undersøgelser kan udføres, ikke optræder som enkelte Atom, men som Molekyler, i hvilke Atomerne er parvis sammensluttede i indgribende Vekselvirkning.

Kvanteteoriens formelle Grundlag bestaar nu imidlertid ikke alene i Frekvensbetingelsen, men ogsaa i Betingelser der tillader at bestemme de stationære Tilstande for Atomsystemer, og som ligesom Frekvensbetingelsen kan opfattes som naturlige Generalisationer af de Antagelser om Vekselvirkningen mellem simple elektrodynamiske Systemer og et omgivende elektromagnetisk Straalingsfelt, der ligger til Grund for P l a n c k s Varmestraalingsteori. Jeg skal ikke her komme nærmere indpaa disse Betingelsers Art, men blot sige, at de stationære Tilstande gennem dem karakteriseres ved et Antal hele Tal, de saakaldte K v a n t e t a l. For en simpel periodisk Bevægelse, som den vi har antaget i Brintatomet, indgaar der i Fastlæggelsen af de stationære Tilstande kun eet Kvantetal. Dette fastlægger Atomets Energi og dermed Elektronbanens Storakse, men ikke Graden af dennes Ekscentricitet og derfor ikke Banens Form. Den nærmere Beregning giver, at Energien i de forskellige Tilstande vil være bestemt ved Udtrykket

$$E_n = - \frac{2\pi^2 N^2 e^4 m}{n^2 h^2}, \quad (5)$$

hvor e og m er henholdsvis Elektronens elektriske Ladning og dens Masse, og hvor vi for de følgende Anvendelsers Skyld har betegnet Kernens Ladning med Ne . Det hele Tal n er Kvantetallet, der karakteriserer de forskellige Tilstande.

For Brintatomet er $N = 1$, og Sammenligning med Ligning (3) fører til det følgende teoretiske Udtryk for Konstanten K i Formel (2):

$$K = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3}, \quad (6)$$

hvilket Udtryk indenfor den Nøjagtighed, hvormed de indgaaende Størrelser kan bestemmes, har vist sig at stemme overens med den

empiriske Værdi for Konstanten i Brintspektret. Dersom vi i den ovenstaaende Formel sætter $N = 2$, svarende til et Atom bestaaende af en Elektron, der bevæger sig om en Kerne med dobbelt Ladning, faar vi en Værdi for K , der er fire Gange saa stor som den for Brintspektret. For det Spektrum, der skulde udsendes under Dannelsen af et saadant Atom, faar vi derfor følgende Udtryk:

$$\nu = 4K \left(\frac{1}{(n'')^2} - \frac{1}{(n')^2} \right). \quad (7)$$

Denne Formel fremstiller visse Linier, som i længere Tid har været kendt, og som man tidligere paa Grund af den store Lighed mellem Formlerne (2) og (7) har tilskrevet Brint, fordi man aldrig havde iagttaget, at to forskellige Stoffer kunde vise Egenskaber, der lignede hinanden saa meget. Vi maa imidlertid efter Teorien vente, at Formel (7) fremstiller et Spektrum, som under visse Omstændigheder kan udsendes fra Helium, idet et Heliumatom, der har mistet en Elektron, netop bestaar af en Kerne med dobbelt Ladning og en Elektron. Denne Opfattelse har ogsaa vist sig at stemme overens med senere Erfaringer, og bl. a. har det været muligt at frembringe det omhandlede Spektrum i ren Helium. Jeg har opholdt mig ved dette Punkt for at vise, hvorledes denne nøje Forbindelse mellem to Grundstoffers Egenskaber, som i første Øjeblik kunde synes overraskende, er at betragte som et umiddelbart Udtryk for den for Kerneatomet karakteristiske, simple Bygning. Kort Tid efter Klarlæggelsen af det omhandlede Spørgsmaal fik man imidlertid nyt Vidnesbyrd af overordentlig Interesse om en saadan Lighed mellem Grundstoffernes Egenskaber, nemlig gennem Moseleys grundlæggende Arbejder over Stoffernes Røntgenspektre. Som velkendt fandt Moseley, at disse Spektre varierer paa overordentlig simpel Maade, naar man indenfor det periodiske System gaar fra Stof til Stof. Røntgenspektrenes Linier kan, som bekendt, deles i Grupper, og for den stærkeste Linie i den saakaldte K -Gruppe, der omfatter de mest gennemtrængende Røntgenstråler, som et givet Stof kan udsende, naar det udsættes for Bombardement af Katodestraler, fandt Moseley, at Svingningstallet for alle undersøgte Stoffer kunde udtrykkes ved Hjælp af en Formel, der med en ringe Forenkling kan skrives

$$\nu = N^2 K \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right), \quad (8)$$

hvor K er den samme Konstant som i Brintspektret, og hvor N er Nummeret af det paagældende Element i det periodiske System. Denne Opdagelses store Betydning var først og fremmest, at den førte til almindelig Anerkendelse af den Antagelse, at dette saakaldte *A t o m n u m m e r* netop var lig Antallet af Elektroner i det paagældende Stofs Atom, en Antagelse der allerede tidligere var lagt til Grund for Arbejder over Atombygningen, og som først var udtalt af *v a n d e n B r o e k*. Medens man straks var klar over denne Side af de *M o s e l e y*ske Resultaters Betydning, har det paa den anden Side været vanskeligere tilfulde at forstaa den ganske overordentlige Lighed med Brintspektret, som Røntgenspektrene ifølge disse Resultater udviser. Denne Lighed fremtræder ikke alene for Linierne i K -Gruppen, men ogsaa for Grupperne af mindre gennemtrængende Røntgenstraaler. Saaledes fandt *M o s e l e y*, at Svingningstallene for den stærkeste Linie i den saakaldte L -Gruppe for alle undersøgte Stoffer kunde angives ved en Formel, der med en Forenkling svarende til den, der er indført i Formel (8), kan skrives

$$\nu = N^2 K \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right). \quad (9)$$

I begge Tilfælde faar vi saaledes et Udtryk for Svingningstallet, der svarer til en Linie i et Spektrum, der vilde udsendes under en Elektrons Binding af en Kerne med Ladning $N e$.

Denne Lighed imellem Bygningen af Røntgenspektrene og Brintspektret blev yderligere uddybet paa overordentlig interessant Maade af *S o m m e r f e l d* gennem hans betydningsfulde Udvidelse af Teorien for Brintspektret. Den ovenfor omtalte Fastsættelse af Energien i de stationære Tilstande af Brintsystemet, hvor hver Tilstand er mærket ved et enkelt Kvantetal, hviler paa den Antagelse, at Elektronens Bane i Atomet er rent periodisk. Dette gælder imidlertid kun med Tilnærmelse. Det viser sig nemlig, at Banen, naar man tager den Ændring, som Elektronens Masse undergaar med Hastigheden, i Betragtning, ikke bliver en simpel Ellipse, men at Elektronbanen der-

imod kan beskrives som en Centralbevægelse fremkommen ved en Overlejring af en jævn langsom Drejning paa en rent periodisk Bevægelse i en Bane, der kun afviger meget lidt fra en Ellipse. For en saadan Centralbevægelse vil de stationære Tilstande være karakteriseret ved to Kvantetal. Af disse kan dog i det her betragtede Tilfælde det ene vælges saaledes, at det med stor Tilnærmelse bestemmer Atomets Energi, paa samme Maade som det tidligere benyttede Kvantetal antoges at bestemme Energien under den Antagelse, at Elektronbanen i Brintatomet var en simpel Ellipse. Dette Kvantetal, som vi stadig skal kalde n , skal vi derfor betegne som »Hovedkvantetallet«. Foruden denne Bestemmelse, der med stor Tilnærmelse fastlægger Storaksen i den roterende næsten elliptiske Bane, vil for en Centralbane de stationære Tilstande være underlagt endnu en Betingelse, der udsiger, at Momentet af Elektronens Bevægelsesmængde omkring Centret, det saakaldte *I m p u l s m o m e n t*, er lig med et helt Multiplum af *P l a n c k s* Konstant divideret med 2π . Det hele Tal, der optræder som Faktor til denne Størrelse, kan betragtes som det andet Kvantetal og skal betegnes ved k . Denne sidstnævnte Betingelse bestemmer i det her betragtede Tilfælde Ekscentriciteten af den roterende næsten elliptiske Bane nærmere. Det kan i denne Forbindelse bemærkes, at den mulige Betydning af Impulsmomentet i Kvanteteorien var fremhævet af *N i c h o l s o n* allerede før den første Anvendelse af denne Teori paa Brintspektret, samt at en lignende Fastsættelse af de stationære Tilstande for et Brintatom som den af Sommerfeld benyttede omtrent samtidig var foreslaaet af *W i l s o n*, uden at denne dog opnaaede at give en fysisk Fortolkning af sine Resultater.

Den simpleste Beskrivelse af Formen af den roterende, næsten elliptiske Elektronbane i Brintatomet faas ved at betragte den paa Storaksen vinkelrette Korde gennem Brændpunktet, den saakaldte Parameter. Længden af denne Parameter vil nemlig med stor Tilnærmelse være givet ved et Udtryk, der har ganske samme Form som Udtrykket for Storaksen, blot med den Forskel, at n er ombyttet med k . Med de samme Betegnelser som i det foregaaende har vi saaledes

$$2a = n^2 \frac{h^2}{2\pi^2 Ne^2 m}, \quad 2p = k^2 \frac{h^2}{2\pi^2 Ne^2 m}. \quad (10)$$

For hver af de stationære Tilstande, som vi tidligere havde karakteriseret ved en given Værdi af n , faar vi derfor et Sæt af n Tilstande svarende til Værdier for k fra 1 til n . Ved at tage Hensyn til Elektronmassens Afhængighed af Hastigheden fandt Sommerfeld nu for Energien i de stationære Tilstande, i Stedet for den simple Formel (5), et mere kompliceret Udtryk, som afhænger saavel af n som af k , og som med Tilnærmelse kan skrives

$$E_{n,k} = -\frac{2\pi^2 N^3 e^4 m}{n^2 h^2} \left[1 + \frac{4\pi^2 N^3 e^4}{h^2 c^2} \left(-\frac{3}{4n^2} + \frac{1}{nk} \right) \right]. \quad (11)$$

Idet det andet Led indenfor Parentesen er meget lille, faar vi, svarende til enhver af de ved den enkle Formel (5) givne Energiværdier for de stationære Tilstande af Brintatomet, n Værdier, der kun afviger meget lidt fra hinanden. Ved Anvendelse af den almindelige Frekvensbetingelse (1) faar vi saaledes for enhver Brintlinie, givet ved den simple Formel (2), et Antal Svingningstal, der er meget nærlige store. Sommerfeld kunde nu vise, at Beregningen virkelig stemte overens med Maalingerne af Komponenterne i den saakaldte Finstruktur af Brintlinierne, der iagttages, naar Brintspektret undersøges med Spektrografer med meget stor Opløsningsevne. Denne Overensstemmelse gjaldt ikke alene for Brintliniernes Finstruktur, hvor Maalinger paa Grund af Komponenternes overordentlig nære Beliggenhed er meget vanskelige, men navnlig var det muligt i Enkeltheder at gøre Regnskab for Finstrukturen af de ved Formel (7) givne Heliumlinier, som har været meget nøje undersøgt af Paschen. I Forbindelse med denne Teori gjorde Sommerfeld nu opmærksom paa, at den samme Formel (11) ogsaa tillod en Anvendelse paa Røntgenspektrene, idet han kunde vise, at der saavel i K - som L -Grupperne optraadte Liniepar, hvis Svingningstals Differenser ved Hjælp af Frekvensbetingelsen med Tilnærmelse kunde bestemmes ud fra dette Udtryk for Energien i de stationære Tilstande, svarende til en Elektrons Binding af en Kerne med Ladning Ne .

Trods den store formelle Lighed mellem Røntgenspektrene og Brintspektret, som disse Resultater aflægger Vidnesbyrd om, maa der

dog antages at være en dybtgaaende Forskel imellem de Processer, der giver Anledning til Fremkomsten af de nævnte Typer af Spektre. Medens Udsendelsen af Brintspektret ligesom Udsendelsen af de sædvanlige optiske Spektre af andre Stoffer maa antages at være knyttet til en Proces, hvorved en Elektron indfanges og bindes af Atomet, viser Iagttagelser over Frembringelsen og Absorptionen af Røntgenspektre paa tydelig Maade, at disse Spektre er knyttet til en Proces, hvorved et færdigt dannet Atom reorganiseres efter en Forstyrrelse i dets Indre, frembragt ved Indgreb af ydre Kræfter. Vi maa saaledes tænke os, at Røntgenspektrenes Fremkomst ikke alene bestemmes af den direkte Vekselvirkning mellem en enkelt Elektron og Atomkernen, men at den er paa det nøjeste forbunden med den Maade, hvorpaa Elektronerne i det færdigt dannede Atom er bundet.

Ved Betragtning af dette sidste Problem besidder vi en Ledetraad af største Værdi i den ejendommelige Maade, hvorpaa mange af Stoffernes Egenskaber varierer med Atomnummeret, og som finder sit Udtryk i Grundstoffernes saakaldte periodiske System. Til Brug for det følgende er en simpel Oversigt over dette System givet i Tabellen paa næste Side. Tallene ud for ethvert Grundstof betegner Atomnummeret, og Stofferne indenfor de forskellige Rammer udgør som angivet Systemets »Perioder«, indenfor hvilke de kemiske Egenskaber varierer paa den velkendte karakteristiske Maade.

For at opnaa en Forstaaelse af denne ejendommelige Lovmæssighed, ligger det nær at antage en udpræget *Gruppdeling* af Elektronerne i Atomet, paa en saadan Maade, at Gruppeordningen af Grundstofferne i det periodiske System tilskrives disse Elektrongruppers gradvise Udformning med stigende Atomnummer. En Gruppedeling af Elektronerne i Atomet har da ogsaa været et Hovedtræk i alle nøjere udformede Forestillinger om Atombygningen, lige fra J. J. Thomsons berømte Forsøg paa en Fortolkning af det periodiske System paa Grundlag af en Undersøgelse af forskellige Elektronkonfigurationers Stabilitetsforhold. Skønt det Billede af Atomet, Thomson benyttede, ikke er foreneligt med vore siden vundne Erfaringer, har hans Arbejde paa Grund af de mange originale Tanker, der er nedlagt deri, øvet stor Indflydelse paa den senere Udvikling af Atomteorien.

Med Benyttelsen af de Oplysninger om Elektroners Binding af

I PERIODE

- 1 Brint
- 2 Helium

II PERIODE

- 3 Lithium
- 4 Beryllium
- 5 Bor
- 6 Kulstof
- 7 Kvælstof
- 8 Ilt
- 9 Fluor
- 10 Neon

III PERIODE

- 11 Natrium
- 12 Magnium
- 13 Aluminium
- 14 Silicium
- 15 Fosfor
- 16 Svovl
- 17 Klor
- 18 Argon

IV PERIODE

- 19 Kalium
- 20 Kalcium
- 21 Scandium
- 22 Titan
- 23 Vanadin
- 24 Krom
- 25 Mangan
- 26 Jern
- 27 Kobolt
- 28 Nikkel
- 29 Kobber
- 30 Zink
- 31 Gallium
- 32 Germanium
- 33 Arsen
- 34 Selen
- 35 Brom
- 36 Krypton

V PERIODE

- 37 Rubidium
- 38 Strontium
- 39 Yttrium
- 40 Zirkon
- 41 Niobium
- 42 Molybdæn
- 43 —
- 44 Ruthenium
- 45 Rhodium
- 46 Palladium
- 47 Sølv
- 48 Kadmium
- 49 Indium
- 50 Tin
- 51 Antimon
- 52 Tellur
- 53 Jod
- 54 Xenon

VI PERIODE

- 55 Cæsium
- 56 Barium
- 57 Lanthan
- 58 Cerium
- 59 Praseodym
- 60 Neodym
- 61 —
- 62 Samarium
- 63 Europium
- 64 Gadolinium
- 65 Terbium
- 66 Dysprosium
- 67 Holmium
- 68 Erbium
- 69 Thulium
- 70 Ytterbium
- 71 Lutetium
- 72 —
- 73 Tantal
- 74 Wolfram
- 75 —
- 76 Osmium
- 77 Iridium
- 78 Platin
- 79 Guld
- 80 Kvægsølv
- 81 Thallium
- 82 Bly
- 83 Vismut
- 84 Polonium
- 85 —
- 86 Niton

VII PERIODE

- 87 —
- 88 Radium
- 89 Actinium
- 90 Thorium
- 91 Protactinium
- 92 Uran

Atomkernen, som blev vundet gennem Teorien for Brintspektret, forsøgte Foredragsholderen allerede i samme Afhandling, hvori denne Teori fremsattes, at udkaste et Billede af Atombygningen i store Træk, idet det blev antaget, at enhver Elektron i Atomets Normaltilstand vilde bevæge sig paa en Maade, der var analog med Bevægelsen af en Elektron i det sidste Stadium af dennes Binding af en Kerne. Ligesom i den T h o m s o n s k e Teori antoges det endvidere, at Elektronerne bevægede sig i cirkulære Baner, og at Elektronerne indenfor de forskellige Grupper under denne Bevægelse indtog Stillinger i Forhold til hverandre som Vinkelspidserne i plane regulære Polygoner. En saadan Ordning er ofte betegnet som en Fordeling af Elektronerne i »Ringe«. Ved disse Antagelser viste det sig muligt at opnaa en Redegørelse for Størrelsesordenen af Atomernes Dimensioner, samt af den Fasthed, hvormed Elektronerne i Atomet er bundne, og for hvilken sidste man opnaar et Maal ved Forsøg over Frembringelse af de forskellige Typer af Spektre. En detailleret Forklaring af Stoffernes Egenskaber var man imidlertid paa denne Maade ikke i Stand til at opnaa, selv efter at man fra M o s e l e y s Resultater og S o m m e r f e l d s Arbejder havde faaet den Oplysning, at det skitserede, simple Billede af Atomet, saaledes som blandt andre V e g a r d har fremhævet, maatte modificeres derhen, at der foruden Elektronbaner svarende til Normaltilstanden af Brintatomet, i det Indre af det færdigt dannede Atom forekom Elektronbaner med højere Kvantetal svarende til tidligere Stadier af Brintatomets Dannelse. Vanskeligheden ved paa denne Maade at opnaa et tilfredsstillende Billede af Atomet er paa det nøjeste knyttet sammen med Vanskeligheden ved at gøre Rede for den udprægede »Stabilitet«, som en Forklaring af Stoffernes Egenskaber kræver af Atombygningen. Som vi saa ved Omtalen af Spørgsmaalet om Brintatomets Dannelse, tager Indførelsen af Kvanteteoriens Postulater netop Sigte paa dette Punkt, men de Resultater, som paa den omtalte Maade blev opnaaet for et Atom, der kun indeholder een Elektron, tillader ikke umiddelbart at kaste Lys over et saadant Spørgsmaal som Gruppedelingen af Elektronerne i et Atom med flere Elektroner. Forestiller vi os som i det omhandlede simple Billede, at Elektronerne i Atomets Grupper i hvert enkelt Øjeblik er orienterede relativt til hverandre som Vinkelspidserne i regulære Polygoner, giver de nævnte Postulater — hvad enten vi tænker os

de enkelte Elektroners Baner som cirkulære eller elliptiske — os saaledes ikke tilstrækkelige Holdepunkter til at belyse den eventuelle Forskel i Stabilitet hos Elektronkonfigurationer med forskellige Antal af Elektroner i Grupperne.

De af Stoffernes Egenskaber krævede, ejendommelige Stabilitetsforhold hos Atombygningen kommer klart frem ved en Betragtning saavel af Røntgenspektrene som af de kemiske Egenskaber, der, som allerede nævnt, maa antages at hænge nøje sammen med Gruppedelingen af Elektronerne i Atomet. Dette er paa interessant Maade blevet belyst gennem to betydningsfulde Arbejder af K o s s e l. I det første Arbejde viser han, paa hvilken Maade man nærmere kan forklare Røntgenstraalernes Fremkomst som knyttet til Gruppebygningen af Atomet. Han antager, at en Linie i Røntgenspektret kommer frem ved en Proces, hvorved, efter at en Elektron ved Indgreb udefra er fjernet fra Atomet, en Elektron i en af de andre Grupper indtager dennes Plads; en Pladsbytning, der antages at kunne finde Sted paa lige saa mange Maader, som der findes Grupper med løsere bundne Elektroner. Denne Opfattelse af Røntgenstraalernes Fremkomst førte til en simpel Forklaring af Røntgenstraalernes ejendommelige Absorptionsforhold, og har — ved at føre til Forudsigelsen af visse simple Relationer mellem Svingningstallene af Røntgenlinier for et og samme Stof — vist sig egnet til at danne Grundlag for en Udredelse af de i første Øjeblik meget indviklede Forhold, som det senere, indgaaende eksperimentelle Studium af Røntgenspektrenes Bygning, der navnlig skyldes S i e g b a h n, har bragt for Dagen. Til Trods for det store Arbejde, som en Række Forskere i Tilknytning til S o m m e r f e l d s grundlæggende Undersøgelser har udført paa dette Omraade, har det dog hidtil været vanskeligt fuldtud at drage Nytte af de K o s s e l s k e Forestillinger om Røntgenspektrenes Fremkomst. Som vi imidlertid i Slutningen af Foredraget skal se, synes det muligt udfra de ny Synspunkter, som vi skal lægge til Grund for Betragtningen af Atomernes Stabilitetsforhold, paa utvungen Maade at bringe de forskellige Resultater i naturlig Forbindelse med hverandre.

I det andet af K o s s e l s ovennævnte Arbejder undersøger han Betingelsen for Forklaringen af det periodiske System udfra Atom-

teorien. Uden at gaa nærmere ind paa Spørgsmaalet om den dybere Aarsag til Gruppedelingen af Elektronerne eller de forskellige Elektronfigurationers forskellige Stabilitet fremhæver han i Tilslutning til Tanker, der allerede spillede en Rolle i Thomsons før omtalte Teori, hvorledes det periodiske System aflægger Vidnesbyrd om en periodisk Fremkomst af Elektronkonfigurationer af særlig stabil Natur. Disse Konfigurationer optræder i de neutrale Atomter hos Grundstofferne af de inaktive Luftarters Familie, der i den foranstaaende Tabel danner Afslutningen paa Systemets Perioder, og den omhandlede Stabilitet antages ikke alene at forklare disse Stoffers Mangel paa Evne til at indgaa kemiske Forbindelser, men ogsaa at forklare de karakteristiske aktive kemiske Egenskaber hos Grundstofferne i de Familier indenfor Systemet, der gaar forud for eller følger umiddelbart efter den nævnte Familie. Betragter vi f. Eks. en inaktiv Luftart som Argon, der har Atomnummer 18, skal vi antage, at de 18 Elektroner i Atomet danner en særlig regelmæssig Konfiguration med udpræget Stabilitet. Ser vi derimod paa det foregaaende Element, Klor, tænkes dets udtalte elektronegative Karakter forklaret derved, at det neutrale Atom, der jo kun indeholder 17 Elektroner, besidder en Tendens til at indfange en yderligere Elektron, hvorved der dannes en negativ Klorion, der indeholder en Elektronkonfiguration af 18 Elektroner med lignende Egenskaber som den, der optræder i det neutrale Argonatom. Paa den anden Side tænker vi os den udprægede elektropositive Karakter hos Kalium forklaret derved, at en af de 19 Elektroner i det neutrale Atom saa at sige er overflødig i de første 18 Elektroners Sammenspil, og at denne derfor let mistes under Dannelsen af en positiv Kaliumion af en lignende Konstitution som Argonatomet. Paa tilsvarende Maade gøres Rede for den elektronegative og elektropositive Karakter af saadanne Stoffer som Svovl og Kalcium med Atomnumrene 16 og 20, der dog i Modsætning til Klor og Kalium er divalente, idet der for at danne den stabile Konfiguration af 18 Elektroner for Svovlatomet kræves Optagelse af 2 Elektroner og for Kalciumatomet Fraspaltning af 2 Elektroner. Ved at udvikle disse Tanker nærmere har Kossel ikke alene formaaet at opnaa en overordentlig interessant Belysning af et stort Antal kemiske Erfaringer, men er ogsaa for Elementerne af de første Perioder i det periodiske System blevet ført til Antagelser

om en Gruppdeling af Elektronerne i Atomet, der i formel Henseende frembyder Lighed med dem, som vi i det følgende skal omtale. Kossels Arbejde er siden paa interessant Maade blevet videreført af Ladenburg med særligt Henblik paa Gruppdelingen af Elektronerne i Atomerne hos Grundstofferne i de senere Perioder af det periodiske System. Som vi skal se, frembyder ogsaa Ladenburgs Resultater Lighedspunkter med dem, vi senere skal omtale.

Paa Spørgsmaalet om den dybere Aarsag til den udprægede Stabilitet af visse Elektronkonfigurationer fremfor andre har det hidtil ikke været muligt at opnaa et tilfredsstillende Svar ud fra en konsekvent Anvendelse af Kvanteteorien paa Kerneatomet. Dog har man i nogen Tid været klar over, at en Løsning maatte søges ved at undersøge Mulighederne for en rumlig Fordeling af Elektronernes Baner i Atomet i Stedet for at indskrænke sig til at betragte Konfigurationer, hvor alle Elektronerne indenfor en og samme Gruppe i Atomet bevæger sig i samme Plan, saaledes som det ved de første Forsøg paa at opnaa et Overblik over Atombygningen for Simpelt Skyld blev antaget. Denne Nødvendighed af at antage rumlige Elektronkonfigurationer har været paapeget fra forskellige Sider. Born og Landé har i Tilknytning til Undersøgelser over Krystallernes Bygning og Egenskaber paapeget, hvorledes Antagelsen af saadanne Konfigurationer synes krævet for at gøre Rede for forskellige af Krystallernes Forhold, og Landé har forfulgt dette Spørgsmaal nærmere og har, som det vil blive omtalt i det følgende, foreslaaet forskellige saadanne »rumlige Atommodeller«, i hvilke Elektronerne i Atomets Grupper hvert Øjeblik indtager Stillinger relativt til hverandre, der udviser en lignende Symmetri som regulære Polyedre. Disse Modeller betyder i visse Henseender et væsentligt Fremskridt, selv om der dog derved ikke er naaet afgørende Resultater med Hensyn til Forstaaelsen af Atombygningens Stabilitetsforhold.

Endvidere har Lewis og Langmuir udfra Betragtninger over Stoffernes kemiske Egenskaber paapeget Betydningen af rumlige Elektronkonfigurationer. Saaledes har Lewis, der paa mange Punkter uafhængig har naaet de samme Resultater som Kossel, fremhævet, at Tallet 8, der karakteriserer Længden af de første Grupper i det periodiske System, kunde tænkes at antyde en Konstitution af Ato-

mets Grupper, hvor Elektronerne var anbragt i Forhold til hinanden i Hjørnerne af en Kubus, og har fremhævet hvorledes en Konfiguration af denne Beskaffenhed fører til anskuelige Forestillinger om Bygningen af Molekyler af kemiske Forbindelser. Nu er dertil at sige, at en saadan »statisk« Elektronkonfiguration ikke vil være mulig, naar man antager, at Kræfterne i Atomet hidrører udelukkende fra Partiklernes elektriske Ladninger. Langmuir, der har forsøgt at udarbejde Lewis' Forestillinger videre og at gøre Rede ikke alene for Fremkomsten af de første Oktaver i det periodiske System, men ogsaa for de længere Perioder indenfor dette, tænker sig da ogsaa, at Atomernes Bygning og Stabilitet beherskes af Kræfter, hvis Natur vi ikke nøje kender. Han forestiller sig, at Atomet besidder en »Cellestruktur«, saaledes at der paa Forhaand er anvist enhver Elektron Plads i en Celle, og at disse Celler er ordnede i Lag paa en saadan Maade, at de forskellige Lag, regnet fra Atomkernen og udefter, netop indeholder lige saa mange Pladser som Perioderne i det periodiske System, optalt i Retning af stigende Atomnummer. Langmuirs Arbejder har tiltrukket sig stor Interesse indenfor Kemikerens Kreds, idet de har bidraget til at anskueliggøre de Begreber, hvormed den empiriske kemiske Videnskab opererer. Idet efter en saadan Teori Forklaringen af de forskellige Stoffers Egenskaber henføres til visse for dette Formaal opstillede Postulater angaaende de paagældende Atomers Bygning, adskiller den sig dog paa Forhaand principielt fra Bestræbelserne for at forklare Stoffernes specifikke Egenskaber ved Hjælp af almindelige Love, gældende for Vekselvirkningen mellem Partiklerne i ethvert Atom. Min Hovedopgave i dette Foredrag skal imidlertid være at forsøge at vise, hvorledes Arbejdet paa det Program, der udtrykkes i disse Bestræbelser, ingenlunde synes haabløst, men hvorledes det tvertimod synes muligt ud fra en konsekvent Benyttelse af Kvanteteoriens almindelige Postulater at opnaa en Indsigt i Atomernes Bygning og Stabilitetsforhold, naar man — støttet paa disse Postulater — angriber dette Problem ved at stille sig Spørgsmaalet: Hvordan kan et Atom tænkes dannet ved Indfangning og Binding af Elektronerne en foren i det Kernen omgivende Kraftfelt?

*

*

*

Før vi forsøger at besvare dette Spørgsmaal, maa vi dog først se lidt nærmere paa, hvad Kvanteteorien lærer os om Bindingsprocessens almindelige Karakter. For Brintatomets Vedkommende har vi allerede set, hvorledes Brintspektret tør antages at give bestemte Oplysninger om Forløbet af den Proces, hvorved Elektronen bindes af Kernen. Spørger vi om Dannelsen af andre Stoffers Atomer, har vi ogsaa i disses Spektre Kilder til Oplysning om Dannelsesprocessen, men de direkte Oplysninger, som vi faar her, er i Almindelighed ikke saa udtømmende som ved Brintatomet. For et Stof med Atomnummer N kan vi nemlig tænke os Dannelsesprocessen som forløbende i N Afsnit, svarende til den successive Indfangning i Kernens Felt af N Elektroner. Til hver af disse Indfangningsprocesser maa der tænkes at svare et Spektrum; men kun for de to første Elementer, Brint og Helium, besidder vi udtømmende Kendskab til disse Spektre. For de andre Stoffers Vedkommende, hvor flere Spektre vilde være knyttet til Dannelsesprocessen, kender vi hidtil i intet Tilfælde mere end to Typer af saadanne Spektre, der ofte benævnes som henholdsvis »Buespektre« og »Gnist-spektre«, med Henblik paa de Forhold, hvoraf deres eksperimentelle Iagttagelse afhænger. Selv om disse Spektre viser en betydelig mere kompliceret Struktur end Brintspektret, givet ved Formel (2) og det ved Formel (7) udtrykte Heliumspektrum, har det i mange Tilfælde været muligt at finde simple Love for Svingningstallene, der besidder en nøje Analogi med de ved disse Formler udtrykte Love.

Ser vi for Simpelteds Skyld bort fra den Struktur, som Linierne i de fleste Spektre udviser (Fremkomst af Dubletter, Tripletter o. s. v.), kan saaledes Svingningstallene for Linierne af mange Buespektre med stor Tilnærmelse fremstilles paa den saakaldte Rydbergske Formel

$$\nu = \frac{K}{(n'' + \alpha_{k''})^2} - \frac{K}{(n' + \alpha_{k'})^2}, \quad (12)$$

hvor n' og n'' er hele Tal og K den samme Konstant som i Brintspektret, medens $\alpha_{k'}$ og $\alpha_{k''}$ er to blandt et Sæt af Konstanter, karakteristiske for det betragtede Stof. Et Spektrum med en Bygning af denne Art kaldes ligesom Brintspektret et Seriespektrum, idet

Linierne kan ordnes i Rækker, de saakaldte »Spektralserier«, indenfor hvilke Svingningstallene konvergerer til bestemte Grænseværdier. Disse Rækker fremstilles f. Eks. ved Formel (12), dersom man ved Benyttelsen af to bestemte Konstanter for $\alpha_{k''}$ og $\alpha_{k'}$ lader n'' forblive uforandret, medens n' efter hinanden antager en Række stadig voksende Værdier.

Som nævnt gælder Formel (12) kun med Tilnærmelse, men altid finder man, at Svingningstallene for Spektrenes Linier ligesom i Formlerne (2) og (12) kan skrives som en Differens mellem to Funktioner af hele Tal. Saaledes gælder den sidste Formel nøjagtigt, dersom Størrelserne α_k ikke betragtes som Konstanter, men som Repræsentanter for et Sæt af Talrækker $\alpha_{k(n)}$, karakteristiske for det betragtede Stof, hvis Værdier for voksende n indenfor hver enkelt Række hurtigt nærmer sig en konstant Grænseværdi. Den Omstændighed, at Svingningstallene for Spektrene altid optræder som Differens mellem to Led, de saakaldte »Spektraltermmer«, af hvis Kombinationer det fuldstændige Spektrum fremgaar, er navnlig blevet fremhævet af Ritz, der ved Opstilling af det saakaldte Kombinationsprincip i høj Grad har befordret Studiet af Spektrene. For dette Princip tilbyder nu Kvanteteorien en umiddelbar Fortolkning, idet vi efter Frekvensbetingelsen ganske som i Brintspektret føres til at opfatte Linierne som fremkommende ved Overgange mellem stationære Tilstande af Atomet, blot at vi for de andre Stoffers Spektre ikke har at gøre med en enkelt Række stationære Tilstande, men med et Sæt af saadanne Rækker. Fra Formel (12) faar vi saaledes for et Buespektrum, idet vi foreløbig ser bort fra de enkelte Liniers Struktur, Oplysning om en Samling stationære Tilstande, for hvilke Energien af Atomet i den n te Tilstand i den k te Række kan angives ved

$$E_k(n) = - \frac{Kh}{(n + \alpha_k)^2} \quad (13)$$

i nøje Lighed med den simple Formel (3) for Energien i Brintatoms stationære Tilstande.

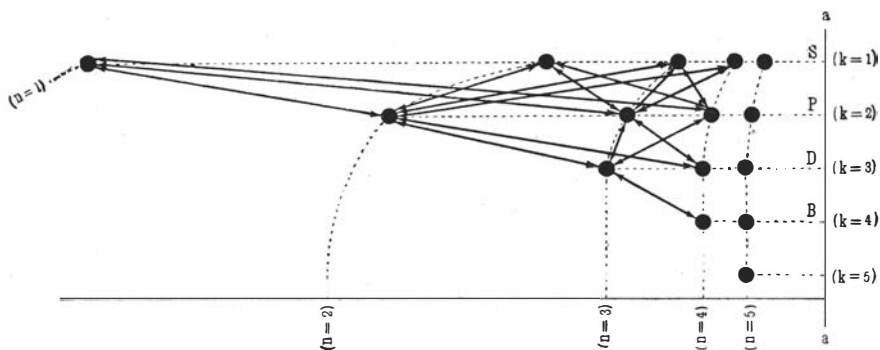
Hvad G n i s t s p e k t r e n e, hvis Struktur navnlig er klarlagt igennem Undersøgelser af Fowler, angaar, har det været muligt for mange Stoffers Vedkommende med Tilnærmelse at udtrykke Svingningstallene ved en Formel af ganske samme Type som (12), kun med den Forskel,

at Konstanten K , ligesom i det ved Formel (7) givne Heliumspektrum, er ombyttet med en Konstant, der er 4 Gange saa stor. For Gnistspektrene vil derfor Energiværdierne i de tilsvarende stationære Tilstande af Atomet være givet ved et Udtryk af samme Type som (13), kun med den Forskel, at K er ombyttet med $4K$.

Denne ejendommelige Lighed mellem Strukturen af de nævnte Typer af Spektre og de simple Spektre givet ved (2) og (7) fortolkes simpelt ved at antage, at Buespektrene er knyttet til det sidste Afsnit af Dannelsen af det neutrale Atom, bestaaende af Indfangningen og Bindingen af den N te Elektron, medens Gnistspektrene er knyttet til det næstsidste Afsnit af Atomets Dannelse, nemlig Bindingen af den $(N - 1)$ te Elektron. I disse Tilfælde vil nemlig den paagældende Elektron — i det mindste paa de tidligere Stadier af Bindingsprocessen, hvor Elektronen under største Del af sit Omløb bevæger sig i Afstande fra Kernen, der er store i Forhold til Dimensionerne af de tidligere bundne Elektroners Baner — bevæge sig i et Kraftfelt stammende fra Kernen og de $N - 1$ eller $N - 2$ tidligere indfangne Elektroner, der vil være meget nær det samme som det, der omgiver Kernen i et Brint- eller Heliumatom. Analogt med hvad der gjaldt for Formel (3) vedrørende de stationære Tilstande af Brintatomet, skal vi saaledes tænke os, at den numeriske Værdi af Udtrykket paa højre Side af (13) vil være lig det Arbejde, der kræves for fra Atomet at fjerne den sidst indfangne Elektron, til hvis Binding Udsendelsen af det omhandlede Stofs Buespektrum er knyttet.

Medens disse Forhold naturligt fortolkedes ud fra Foredragsholderens simple Teori for Brintspektret, gav først Sommerfelds Teori for Brintliniernes Finstruktur en klar Forstaaelse af den karakteristiske Forskel mellem Brintens Spektrum og Heliums Gnistspektrum paa den ene Side og de andre Stoffers Bue- og Gnistspektre paa den anden Side. Naar vi betragter Bindingen ikke af den første, men af de paafølgende Elektroner i et Atom, vil nemlig — i det mindste for de senere Stadier af Bindingsprocessens Vedkommende, hvor den sidst fangne Elektron under sit Omløb kommer i indgribende Vekselvirkning med de tidligere indfangne Elektroner, — den paagældende Elektrons Bane ikke mere med stor Tilnærmelse være en lukket Ellipse, men derimod i første Tilnærmelse en Centralbane af

lignende Type som den vi allerede møder i Brintatomet, naar vi tager Elektronmassens Foranderlighed med Hastigheden i Betragtning; kun vil den overlejlrede Rotation her være forholdsvis langt hurtigere og den periodiske Banes Afvigelse fra en Ellipse langt større. For en Bane af denne Type vil de stationære Tilstande ligesom i Teorien for Finstrukturen være bestemt ved to Kvantetal, som vi stadig skal betegne ved n og k , og som paa simpelt angivelig Maade hænger sammen med Banens kinematiske Egenskaber. Jeg skal for det følgende Skyld blot nævne, at medens Kvantetallet k i alle Tilfælde paa den tidligere angivne simple Maade er forbundet med Værdien af Elektronens konstante Impulsmoment omkring Centret, kræver Fastsættelsen af Hovedkvantetallet n en Undersøgelse af Banens hele Forløb og vil for en vilkaarlig Centralbane ikke hænge simpelt sammen med den roterende periodiske Banes Dimensioner, dersom denne afviger væsentlig fra en Keplerellipse.



De omtalte Resultater er skematisk fremstillet paa Figuren, der er en Gengivelse af en Tavle, som jeg har benyttet ved en tidligere Lejlighed, og som giver en Oversigt over Forholdene ved Natriumspektrets Fremkomst. De sorte Punkter repræsenterer de stationære Tilstande svarende til forskellige Rækker af Spektraltermen, kendetegnede ved de til højre staaende Bogstaver S , P , D og B , svarende til de i den spektroskopiske Litteratur sædvanlig benyttede Betegnelser, der tager Sigte paa Egenskaber hos de til Termernes Kombinationer knyttede Spektralserier (skarpe Serie, principale Serie, dif-

fuse Serie o. s. v.). De enkelte Punkters Afstand fra den lodrette Linie *aa* yderst til højre paa Figuren er proportionale med den numeriske Værdi for Atomets Energi, udtrykt ved Formel (13). De skraa, sorte Pile antyder endelig de Overgange mellem stationære Tilstande, der giver Anledning til Fremkomsten af Linier i det sædvanligt iagttagne Natriumspektrum. De til de forskellige Tilstande føjede Værdier for *n* og *k* er ment som angivende de Kvantetal, der efter Sommerfelds Teori ud fra en foreløbig Betragtning kunde tænkes at kendetegne den ydre Elektrons Bane. For Oversigtens Skyld er de Tilstande, der er tænkt at svare til samme Værdi for *n*, forbundne ved de punkterede Kurver, der er dragne saaledes, at deres lodrette Asymptoter svarer til saadanne Termer i Brintspektret, der hører til samme Værdi for Hovedkvantetallet. Kurvernes Forløb er tænkt at illustrere, hvorledes Afbigelsen fra Brinttermene maa ventes at aftage med voksende Værdi af *k*, svarende til Tilstande, hvor den mindste Afstand, hvortil Elektronen under sit Omløb nærmer sig Kernen, bliver stadig større.

Ved Betragtning af Figuren maa det straks bemærkes, at selv om Teorien lader Hovedtrækkene i Spektrenes Struktur paa tydelig Maade komme for Dagen, har det ikke hidtil været muligt ved Undersøgelser af Elektronbaner, der kan optræde i et simpelt Kraftfelt med Central-symmetri, at gøre Rede for noget Stofs Spektrum i Enkeltheder. Jeg tænker ikke her saa meget paa Spørgsmaalet om de enkelte Spektralliniers sammensatte Bygning, der f. Eks. for Natriumspektrets Vedkommende kommer til Syne ved Optræden af to nær sammenfaldende Spektraltermen for hvert Led i *P*- og *D*-Rækkerne. Dette Forhold, som vi skal komme tilbage til i det følgende, skyldes utvivlsomt mindre Afbigelser fra Centralsymmetri af det fra det indre System stammende Kraftfelt, der vil bevirke, at Banen ikke nøjagtig bliver en Centralbane, men har en noget mere indviklet Karakter, og derfor i de stationære Tilstande maa karakteriseres ved mere end to Kvantetal, paa analog Maade som Optræden af Afbigelser i Elektronbanen i Brintatomet fra en simpel periodisk Bane som nævnt bevirker, at de stationære Tilstande af dette Atom maa karakteriseres ved mere end eet Kvantetal. Det, der i første Række er af Betydning for den følgende Diskussion af Atomernes Dannelse, er imidlertid den entydige Fastlæggelse af de to for Beskrivelsen af en simpel Centralbane fordrede

Kvantetal n og k , der svarer til de forskellige stationære Tilstande, om hvis Eksistens Spektrene lærer os. Allerede ved Fastlæggelse af disse Tal er man nemlig stødt paa Vanskeligheder af dybtliggende Art, der — som vi skal se — paa det nøjeste er knyttet til Spørgsmaalet om Atombygningens ejendommelige Stabilitetsforhold. Jeg skal her kun bemærke, at de Værdier for Kvantetallet n , der er angivne paa Figuren, utvivlsomt ikke kan opretholdes, hverken for S -Rækkens eller for P -Rækkens Vedkommende. Hvad derimod de benyttede Værdier for Kvantetallet k angaar, kan man med Sikkerhed sige, at den Tydning af Egenskaberne ved Banerne, som de angiver, er rigtig. Et Støttepunkt for Undersøgelsen af dette Spørgsmaal har man opnaaet ved Betragtninger af en væsentlig anden Karakter end dem, jeg hidtil har haft Lejlighed til at omtale, og som har gjort det muligt at opnaa en Forbindelse mellem Bevægelsen i Atomet og Fremkomsten af Spektrets Linier.

Hvad Kvanteteoriens Principper angaar, har det hidtil været den gennemgribende Afvigelse fra vore sædvanlige Forestillinger om mekaniske og elektrodynamiske Fænomener, som det har haft Betydning at fremhæve. Som Foredragsholderen gennem Arbejder i de sidste Aar har forsøgt at vise, synes det imidlertid muligt for Anvendelsen af Kvanteteorien at lægge et Synspunkt til Grund, der holder os det Haab for Øje, ikke desto mindre at lade denne Teori fremtræde som en rationel Udvidelse af vore sædvanlige Forestillinger. Som det fremgaar af Kvanteteoriens Postulater og specielt af Frekvensbetingelsen, er en direkte Forbindelse mellem Spektrene og Bevægelsen som den, den klassiske elektrodynamiske Teori vilde fordre, paa Forhaand udelukket, men samtidig leder disse Postulaters Form os paa Sporet efter en anden Forbindelse af ejendommelig Karakter. Dersom vi betragter et elektrodynamisk System og ud fra vore sædvanlige Forestillinger spørger om Arten af den Straaling, som Systemets Bevægelse vilde foraarsage, tænker vi os Bevægelsen opløst i saakaldte rene harmoniske Svingninger og antager, at Straalingen vil bestaa i den samtidige Udsendelse af et Antal elektromagnetiske Bølgesystemer, der besidder samme Svingningstal som disse harmoniske Komponenter og Intensiteter, der afhænger af disse Komponenters Amplituder. En nærmere Undersøgelse af Kvanteteoriens formelle Grundlag viser nu, at det er muligt

at føre Spørgsmaalet om Fremkomsten af de Straalingsprocesser, der ledsager de forskellige Overgange mellem et Atoms stationære Tilstande tilbage til en Undersøgelse af de forskellige harmoniske Svingninger, der optræder i Atomets Bevægelse, saaledes at Muligheden for, at en bestemt Overgang skal kunne finde Sted, kan anses for at være betinget af Optræden i Bevægelsen af en bestemt angivelig »korresponderende« Svingningskomponent. Dette Synspunkt tillader samtidig at kaste Lys over det i det foregaaende flere Gange berørte Spørgsmaal om Sammenhængen mellem Antallet af de Kvantetal, der maa benyttes til Beskrivelsen af et Atoms stationære Tilstande, og Typen af Elektronernes Baner, hvis Klassificering simplest føres tilbage netop til en Opløsning af Bevægelsen i harmoniske Svingningskomponenter. Tiden tillader mig imidlertid ikke at komme nærmere ind paa dette sidste Spørgsmaal, og jeg skal her væsentlig indskrænke mig til at omtale de Slutninger, som det antydede *K o r r e s p o n d e n s p r i n c i p* tillader at drage angaaende Fremkomsten af Overgange mellem forskellige Par af stationære Tilstande, og som er af afgørende Betydning for det følgende.

Det simpleste Eksempel paa en saadan Slutning faar vi, dersom vi betragter et Atomsystem, der indeholder en Partikel, som beskriver en ren periodisk Bane, og hvor som nævnt de stationære Tilstande vil være karakteriserede ved et enkelt Kvantetal n . I dette Tilfælde kan Bevægelsen efter *F o u r i e r s* Teorem opløses i en enkelt Række harmoniske Svingninger, hvis Svingningstal kan skrives $\tau\omega$, hvor τ er et helt Tal og ω er Omløbstallet i Banen. Det viser sig nu, at en Overgang imellem to stationære Tilstande, for hvilken Værdierne for Kvantetallet er lig henholdsvis n' og n'' , vil korrespondere med en harmonisk Svingningskomponent, for hvilken $\tau = n' - n''$. Dette tillader at kaste Lys over den ejendommelige Forskel, der findes imellem Mulighederne for Overgange mellem de stationære Tilstande af et Brintatom paa den ene Side og af et simpelt System bestaaende af en elektrisk Partikel, der kan udføre rent harmoniske Svingninger omkring en Ligevægtsstilling, paa den anden Side. For det sidste System, der ofte kaldes en *P l a n c k s* Oscillator, bestemmes Energien i de stationære Tilstande ved den velkendte Formel $E = nh\omega$, og ved Anvendelse af Frekvensbetingelsen faar vi derfor for den Straaling, der vilde udsendes ved en Overgang mellem to stationære Tilstande,

$\nu = (n' - n'') \omega$. Nu er det imidlertid ikke alene en væsentlig Antagelse i Plancks Varmestraalingsteori, men ogsaa en Antagelse der synes krævet for at gøre Rede for Molekylers Absorption i det ultrarøde Straalingsomraade, at en saadan harmonisk Oscillator kun vil emitte og absorbere en Straaling, for hvilken Svingningstallet ν er lig Oscillatorens Svingningstal ω . Vi tvinges derfor til at antage, at for Oscillatoren kan Overgange kun finde Sted mellem stationære Tilstande, karakteriserede ved umiddelbart paa hinanden følgende Kvantetal, medens det, som vi saa, for Forklaringen af Brintspektret givet ved Formel (2) netop var en væsentlig Betingelse, at alle mulige Overgange mellem de stationære Tilstande, for hvilke Atomets Energi var givet ved Formel (5), kunde finde Sted. Ud fra det omhandlede Korrespondenssynspunkt ser vi imidlertid, hvorledes denne tilsyneladende Vanskelighed umiddelbart fortolkes derigennem, at der i den elliptiske Bevægelse af Elektronen i Brintatomet, til Forskel fra Oscillatorens Bevægelse, findes Svingningskomponenter svarende til Værdier af τ forskellig fra 1; eller ved Benyttelse af en velkendt Betegnelse fra Lydlæren, at der i Brintatomets Bevægelse findes Overtoner.

Et andet simpelt Eksempel paa Anvendelsen af Korrespondensprincippet faar vi nu netop i Strukturen af de ovenfor betragtede Seriespektre. Betragter vi igen Figuren med den skematiske Fremstilling af Natriumspektrets Fremkomst, ser vi, at de sorte Pile, der svarer til de Spektrallinier, der fremkommer under sædvanlige Udladningsbetingelser, kun forbinder Punktpaar i hinanden følgende Rækker. Denne ejendommelige Begrænsning i Optræden af Kombinationer mellem Spektraltermene viser sig nu at kunne fortolkes naturligt ud fra en Undersøgelse over de harmoniske Svingningskomponenter, der optræder i en Centralbevægelse af den beskrevne Art. En saadan Bevægelse kan nemlig, som man let viser, opløses i to Rækker af harmoniske Svingningskomponenter, hvis Svingningstal kan udtrykkes henholdsvis ved $\tau\omega + \sigma$ og $\tau\omega - \sigma$, hvor τ er et helt Tal, og hvor ω er Omløbstallet i den roterende periodiske Bane, medens σ er Omløbstallet for den overlejlrede Rotation. Disse Svingningskomponenter korresponderer netop med Overgange, hvor Hovedkvantetallet n aftager med τ Enheder, medens Kvantetallet k henholdsvis aftager og vokser med 1 Enhed, altsaa netop med saadanne Overgange, der svarer til de sorte Pile paa Figuren. En yderligere Støtte og interes-

sant Uddybning af denne Betragtning kan man endvidere vinde gennem en Fortolkning af Iagttagelser, gjort af Stark og hans Medarbejdere, over Virkningen af elektriske Felter paa Seriespektre.

For Brintspektrrets Vedkommende bestaar, som bekendt, den af Stark opdagede Virkning af et elektrisk Felt i en Opløsning af de enkelte Linier i et Antal polariserede Komponenter. Jeg beklager, at Tiden her ikke tillader mig nærmere at omtale den indgaaende Fortolkning af denne Starkeffekt paa Brintlinierne, som det, kort efter Fremkomsten af Sommerfelds Teori for Brintliniernes Finstruktur, lykkedes Epstein og Schwarzschild at give, og som ikke alene danner en af de smukkeste Anvendelser af Kvanteteorien paa Atomsprogsmaal, men som ogsaa har bidraget væsentlig til denne Teoris nøjere Udformning. Jeg skal blot nævne, at den Fastlæggelse af stationære Tilstande, som det her drejer sig om, er væsentlig forskellig fra den, der benyttes i Teorien for Finstrukturen, idet de Perturbationer, som Elektronens næsten periodiske Bane undergaar under de ydre elektriske Kræfters Indflydelse, har en ganske anden Karakter end den langsomme Drejning af Banen, der som Følge af Elektronmassens Afhængighed af Hastigheden optræder i det uforstyrrede Atom, men som ganske undertrykkes af de elektriske Kræfter, for hvilke Atomerne udsættes i Starks Forsøg. Dette bevirker, at det Kvantetal, der — foruden Hovedkvantetallet, som i første Tilnærmelse bestemmer Atomets Energi og den perturberede Banes Storakse — optræder ved Fastsættelsen af de stationære Tilstande, har en ganske anden Betydning end det Kvantetal k , der optræder i Teorien for Finstrukturen. Dette Punkt har det været muligt at belyse ved Hjælp af Korrespondensprincippet, der, som Foredragsholderen har vist, tillader en simpel Fortolkning af Epstein's og Schwarzschild's Resultater ud fra en direkte Undersøgelse af Baneperturbationerne. I Forbindelse med Starkeffekten paa Brintlinierne maa det dog navnlig nævnes, at det har været muligt at benytte dette Princip til, som udført af Kramers, i Enkeltheder at gøre Rede for den ejendommelige Intensitetsfordeling, hvormed Opsplittingskomponenterne optræder, ud fra en Undersøgelse af Amplituderne af de med disse Komponenter korresponderende harmoniske Svingninger i det perturberede Atoms Bevægelse. For andre Stoffers Spektre møder vi væsentlig andre Forhold, fordi her som oftest

de ydre Kræfter ikke vil være i Stand til fuldstændig at forstyrre Centralbanekarakteren af den paagældende Elektrons Bevægelse, men kun til at deformere denne Bevægelse i ringe Grad. Derigennem opnaar man en umiddelbar Fortolkning af den svage Virkning, som, ifølge Forsøgene, elektriske Kræfter har paa de fleste af Spektrenes Linier. Hvad der imidlertid i Sammenhæng med de ovenstaaende Betragtninger er af særlig Interesse, er den Iagttagelse, at der i et Spektrum som Natriumspektret under de omhandlede Forhold optræder helt nye Spektralserier svarende til andre Overgange mellem stationære Tilstande end de, der er angivet paa Figuren. Dette er netop, hvad vi ud fra Korrespondensprincippet maatte vente, fordi der i Elektronernes Bevægelse som Følge af de Perturbationer, som de ydre elektriske Kræfter frembringer, foruden de Svingsningskomponenter, der optræder i en uforstyrret Centralbane, i Banen vil optræde nye Typer af Svingsningskomponenter med Amplituder proportionale med Intensiteten af de ydre Kræfter.

Jeg beklager ligeledes, at Tiden ikke tillader mig at komme nærmere ind paa Spørgsmaalet om Virkningen af magnetiske Felter paa Spektrenes Linier, der jo blev opdaget af Zeeman for netop 25 Aar siden. Jeg skal blot lige nævne, at det har været muligt ved Hjælp af Korrespondensprincippet at uddybe den af Sommerfeld og Debye paa Kvanteteoriens Grund opbyggede Teori for den »normale« Zeemaneffekt paa en saadan Maade, at Teorien kan siges at udvise saa stor en Lighed med den berømte, af Lorentz umiddelbart efter Zeemans Opdagelse givne Teori, som det overhovedet kan ventes, naar man holder sig den store Forskel mellem den klassiske elektromagnetiske Teori og Kvanteteorien for Øje. Jeg skal imidlertid kort omtale et Spørgsmaal, der har Betydning for det følgende, og som har en nøje Tilknytning til Spørgsmaalet om Virkningen af magnetiske Kræfter paa Spektrallinier, nemlig den sammensatte Bygning, som mange Seriespektres Linier udviser, og som vi allerede ovenfor har hentydet til. Denne saakaldte Komplexstruktur af Spektrenes Linier maa tænkes at hidrøre fra en ringe Afvigelse fra Centralsymmetri hos de Kræfter, som den sidst indfangne Elektron er underkastet under dens Binding i Atomet. En saadan Afvigelse, der maa tænkes at have sin Grund i Konfigurationen af de tidligere bundne Elektrons Bane, vil nemlig bevirke, at den

paagældende Elektrons Bevægelse ikke vil foregaa i en fast Plan, men at Baneplanen stadig vil ændre sin Stilling paa en saadan Maade, at Bevægelsen kan beskrives som en Centralbevægelse, paa hvilken der er overlejret en jævn, langsom Drejning om en fast Akse, af lignende Art som den Drejning, som ifølge *Larmors* Teorem efter den klassiske elektromagnetiske Teori vilde blive overlejret et Atoms Bevægelse under Indvirkning af et homogent ydre Magnetfelt. Foruden de to Kvantetal n og k , som med stor Tilnærmelse vil fastlægge Elektronens Bevægelse i den roterende Centralbane i Atomets stationære Tilstande, svarende til Stadier af den sidst indfangne Elektrons Binding, vil der i Fastlæggelsen af disse Tilstande derfor tillige indgaa et tredje Kvantetal j , der vil bestemme Baneplanens Orientering relativt til de tidligere bundne Elektroners Konfiguration paa en saadan Maade, at Atomets resulterende Impulsmoment multipliceret med 2π vil være lig et helt Multiplum af Plancks Konstant. I Forbindelse med Spørgsmaalet om Forklaringen af Spektralliniernes Komplexstruktur har *Sommerfeld* paapeget Muligheden for en formel Fortolkning af Iagttagelserne ved Indførelsen af et tredje ikke nærmere defineret »indre« Kvantetal ved de stationære Tilstandes Fastsættelse. Ved at forfølge denne Tanke nærmere har *Landé* vist, hvorledes Indførelsen af et tredje Kvantetal med den angivne Betydning aabner Mulighed for at udvikle en formel, paa Frekvensbetingelsen bygget Teori for den saakaldte »anomale« Zeemaneffekt, som Komponenterne af de omhandlede komplekse Serielinier udviser, og hvis »Type«, som bekendt, viser nøje Forbindelse med Karakteren af Liniernes Struktur. Spørger vi nu om den Indflydelse, som en Afvigelse af de indre Elektroners Konfiguration fra simpel radial Symmetri vil have paa Fremkomsten af de forskellige Typer af Overgange mellem stationære Tilstande, finder vi ved Anvendelse af Korrespondensprincippet, at den omhandlede Virkning paa den ydre Elektrons Bane ikke kan ventes at give Anledning til Fremkomst af nye Typer af Overgange, forsaavidt det drejer sig om Ændringer i Kvantetallene n og k . I Modsætning til de Perturbationer, der f. Eks. frembringes af et ydre elektrisk Felt, vil den omhandlede, overlejlrede Drejning af Banen nemlig ikke frembringe nye Svingningskomponenter, men blot bevirke en Opspaltning af hver af Komponenterne i Centralbevægelsen i et Antal Svingninger med nær sammenfaldende Sving-

ningstal, der vil korrespondere med et Antal Overgange mellem stationære Tilstande af Atomet, for hvilke n og k forandrer sig paa samme Maade, medens Kvantetallet j ændrer sig paa forskellig Maade. Vi forstaar derfor, at den Afvigelse fra Centralsymmetri i Atombygningen, der giver Anledning til Komplexstrukturen af Seriespektrenes Linier, i Lighed med Virkningen af ydre magnetiske Felter, men i Modsætning til Virkningen af ydre elektriske Felter, ikke giver Anledning til Fremkomsten af andre Typer af Overgange mellem stationære Tilstande end de, der kan ventes for en ren Centralbevægelse. [Tilføje lse efter Foredraget: I et netop udkommet Hefte af det hollandske Tidsskrift »Physica«, udgivet til Minde om Zeemans Opdagelse, har Paschen og Back meddelt den interessante iagttagelse, at der i et Magnetfelt fremkommer nye Komponenter i Serieliniernes Struktur, svarende til Overgange, hvor det tredje Kvantetal ændrer sig paa anden Maade end for det uforstyrrede Atom. For dette faar man efter Korrespondensprincippet en simpel Fortolkning, naar man antager, at Karakteren af de Ændringer, som den ydre Elektrons Baneplan i det uforstyrrede Atom vil undergaa, vil ændres af et Magnetfelts Tilstedeværelse paa anden Maade end gennem en simpel overlejret Drejning af den Art, som den klassiske Elektrodynamik efter Larmors Teorem vilde kræve. At et saadant Forhold tør betragtes som den egentlige Aarsag til Zeemaneffektens »Anomalitet« synes ogsaa tydeligt at fremgaa af den af Paschen og Back i et tidligere, betydningsfuldt Arbejde gjorte Opdagelse, at Zeemaneffekten paa Spektrallinier af sammensat Bygning, med voksende Intensitet af de magnetiske Kræfter, undergaar en gradvis Forandring paa en saadan Maade, at Opspaltningsbilledet mere og mere nærmer sig til en normal Zeemaneffekt paa en Spektrallinie af usammensat Bygning. En saadan Virkning maa nemlig ventes at indtræde, naar det ydre magnetiske Felts Indflydelse paa Elektronbanens Karakter er af samme Størrelsesorden som den fra de indre Elektrons Konfiguration stammende Afvigelse fra en plan Centralbevægelse; thi det vil simpelt forstaas, at denne sidste Afvigelse under saadanne Omstændigheder ikke vil kunne gøre sig gældende som bestemmende for Elektronbanens Konfiguration relativt til det indre System].

I Forbindelse med disse Spørgsmaal tør det være af Interesse at gøre opmærksom paa, at en Undersøgelse af Begrænsningen for Over-

gangsmuligheder mellem stationære Tilstande, baseret paa en simpel Betragtning af Ændringen i Atomets Impulsmoment under Straalingsprocessen, i Modsætning til hvad man tidligere har ment, ikke er egnet til at kaste Lys over den ved Figuren illustrerede, ejendommelige Struktur af Seriespektrene. I Tilknytning til de ovennævnte Arbejder af Sommerfeld og Landé maa vi nemlig antage, at »Komplexiteten« af Spektraltermene, svarende til givne Værdier for n og k , der kommer til Syne i Finstrukturen af Spektrenes Linier, maa tilskrives Tilstande, svarende til forskellige Værdier for dette Impulsmoment, i hvilke Elektronbanens Plan er orienteret paa forskellig Maade relativt til Konfigurationen af de tidligere bundne Elektroner i Atomet. Betragtninger af Ændringen af Impulsmomentet under Straalingsprocessen — saaledes som de er fremdragne af Foredragsholderen til Støtte for visse Slutninger fra Korrespondensprincippet og, uafhængig af dette Princip, samtidig er udviklede af Rubinowicz — kan derfor ikke belyse den Begrænsning af Kombinationsmulighederne, der giver sig Udtryk i den omhandlede simple Struktur af Seriespektrene, og den Ændring, som denne Struktur undergaar ved ydre Kræfters Indflydelse. Saadanne Betragtninger, der er af betydelig principiel Interesse, kan i Sammenhæng med Seriespektrene kun bidrage til en Forstaaelse af den Begrænsning i Kombinationsmuligheder, der giver sig til Kende i de ejendommelige Love, der gælder for det Komponenttal, hvormed de enkelte Spektrallinier optræder. Hvad dette sidste Spørgsmaal angaar, tilbyder Betragtninger over Impulsmomentets Ændring under Straalingsprocessen en direkte Støtte for de ovenfor antydede Konsekvenser af Korrespondensprincippet.

*

*

*

I det følgende skal vi se, hvorledes den for Seriespektrene paaviste Korrespondens mellem Bevægelsen af den sidst indfangne Elektron og Fremkomsten af Overgange mellem de til forskellige Stadier af Bindingsprocessen svarende stationære Tilstande giver os et Udgangspunkt for at vælge imellem de i første Øjeblik overordentlig righoldige Muligheder, der frembyder sig ved en Betragtning af Atomernes Dannelse ved successiv Indfangning og

Binding af Elektronerne. Vi ledes nemlig til blandt de tænkelige Processer, der efter Kvanteteoriens Postulater kunde ventes at finde Sted i Atomet, at udskyde saadanne, hvis Optræden ikke kan anses for forenelig med en Korrespondens af den krævede Beskaffenhed.

Ved Betragtning af Atomernes Dannelse behøver vi ikke at beskæftige os længe med Spørgsmaalet om den første Elektrons Binding. Som det fremgaar af det foregaaende, maa vi antage, at Slutresultatet af Bindingsprocessen vil være en Tilstand, hvor Atomets Energi er givet ved Formlen (5), naar vi sætter $n = 1$, eller nøjere ved Formlen (11), naar vi sætter $n = 1$ og $k = 1$, samt at Elektronens Bane vil være en Cirkel, hvis Dimensioner er givne ved Formel (10), dersom vi sætter $n = 1$ og $k = 1$. En saadan Bane skal vi betegne som en 1-kvantet Bane, idet vi i Almindelighed skal betegne en Bane, for hvilken Hovedkvantetallet har en given Værdi n som en n -kvantet Bane. For Anvendelser, hvor det gælder om at skelne imellem Baner svarende til forskellige Værdier af Kvantetallet k , skal vi betegne en Centralbane karakteriseret ved givne Værdier for Kvantetallene n og k som en n_k Bane.

Betrægter vi Bindingen af den anden Elektron, møder vi straks et langt mere indviklet Spørgsmaal. Oplysninger om Bindingsprocessen kan vi imidlertid faa ud fra Heliums Buespektrum. Dette bestaar i Modsætning til de fleste andre simple Spektre ikke af eet, men af to fuldstændige Systemer af Linier, hvis Svingningstal er udtrykt ved Formler af Typen (12). Denne Omstændighed har bevirket, at man paa et tidligere Tidspunkt har antaget, at Helium var en Blanding af to Luftarter, »Orthohelium« og »Parhelium«, men nu ved vi, at de to Spektre blot betyder, at den anden Elektrons Binding kan finde Sted paa to forskellige Maader. En teoretisk Klarlæggelse af Hovedtrækkene af Heliumspektrrets Bygning er givet i et betydningsfuldt Arbejde af Landé. Han tænker sig, at Orthoheliumspektrrets Udsendelse skyldes Overgange mellem stationære Tilstande, hvor begge Elektronerne bevæger sig i samme Plan og i samme Omløbsretning; den sidst indfangne i en Bane udenom den først bundne. Parheliumspektret derimod tænker han sig som knyttet til stationære Tilstande, hvor Elektronbanerne danner Vinkler med hinanden. En nærmere Undersøgelse af den Maade, hvorpaa de to Baner i de stationære Til-

stande af Heliumatomet maa tænkes at indvirke paa hinanden, er udført af Foredragsholderen i Samarbejde med Dr. K r a m e r s. Resultaterne af vor Undersøgelse, der var paabegyndt længere Tid før Offentliggørelsen af L a n d é s Arbejde, har endnu ikke været offentliggjort. Uden at komme ind paa Detailler kan jeg sige, at selv om vore Resultater paa flere Punkter skiller sig væsentligt fra L a n d é s, er vi enige med ham i de ovennævnte almindelige Slutninger angaaende Orthohelium- og Parheliumspektrets Oprindelse.

I nøjeste Forbindelse med Betragtninger over Heliumspektrets Fremkomst er Spørgsmaalet om Slutresultatet af Bindingen af den anden Elektron i Atomet blevet belyst paa betydningsfuld Maade ved Forsøg af F r a n c k og hans Medarbejdere, der som bekendt i de sidste Aar ved Undersøgelser over Virkningen af Bombardement af Atomere med Elektroner med forskellige Hastigheder har formaaet at kaste overordentlig interessant Lys over vigtige Træk af Atombygningens Stabilitet og Spektrernes Fremkomst. For kort Tid siden har disse Forsøg saaledes ledt til den Opdagelse, at Heliumatomer, der udsættes for et Bombardement af Elektroner, kan bringes over i en Tilstand, som F r a n c k benævner »metastabil«, og fra hvilken Atomet ikke kan vende tilbage til Normaltilstanden ved en simpel Overgangsproces ledsaget af Udsendelse af Straaling, men kun ved en Proces der kan betegnes som en kemisk Reaktion, idet den er betinget af Tilstedeværelsen af Atomere af andre Stoffer. Dette Resultat staar i nøjeste Forbindelse dermed, at Bindingen af den anden Elektron i Heliumatomet, saaledes som Spektret lærer os, kan foregaa paa to forskellige Maader. Det fremgaar saaledes af F r a n c k s Forsøg, at Atomets normale Tilstand svarer til Slutresultatet af den til Udsendelse af Parheliumspektret knyttede Bindingsproces, hvorved den sidst indfangne Elektron ligesom den først indfangne vil bindes i en 1_1 Bane. Den nævnte metastabile Tilstand derimod svarer til Slutresultatet af den til Fremkomsten af Orthoheliumspektret knyttede Proces, ved hvilken den sidst indfangne Elektron i Modsætning til den første vil bevæge sig i en 2_1 Bane, svarende til en Fasthed af Bindingen, der er ca. 7 Gange mindre end for Elektronen i Atomets Normaltilstand.

Hvis vi nu forsøger nærmere at undersøge dette i første Øjeblik overraskende Resultat, viser det sig, at en Forklaring, eller rettere en Forstaaelse, deraf kan opnaas paa Basis af det i det ovenfor omtalte

Korrespondenssynspunkt. Man indser nemlig let, at der er en stor Forskel paa de to Bindingsprocesser, der netop kommer tydeligt frem ved Undersøgelse af disse Processers sidste Stadium. Betragter vi saaledes Orthoheliumbanerne, hvor de to Elektroner bevæger sig i samme Plan, viser det sig, at den ydre Elektrons Bane har den samme Karakter som en Bane af en Elektron der bevæger sig i et simpelt centralsymmetrisk Kraftfelt, og at derfor Fremkomsten af Overgange mellem de stationære Tilstande, paa den i det foregaaende omtalte Maade, direkte kan henføres til Egenskaber ved denne Elektrons Bevægelse. Dette gælder dog netop kun, naar vi indskrænker os til Baner, for hvilke Hovedkvantetallet er større end 1. Vilde vi tænke os Muligheden af en Orthoheliumbane, for hvilken baade n og k var lig 1, maatte vi nemlig, som den nøjere Undersøgelse af Banerne viser, antage, at de to Elektroners Baner var »ækvivalente«, og da de skal ligge i samme Plan, vilde vi blive ført til en Tilstand, hvor de to Elektroner bevægede sig om Kernen i en og samme cirkulære Bane, saaledes at de hvert Øjeblik befandt sig i Endepunkterne af en Diameter. Denne meget enkle Ringkonfiguration kunde efter en simpel Anvendelse af Kvanteteorien ventes at svare til den fastest mulige Binding af Elektronerne i Atommet, og var derfor i mit første Arbejde over Atombygningen foreslaaet som en Model for et neutralt Heliumatom. Spørger vi imidlertid efter Muligheden for en Overgang fra en af Orthoheliumtilstandene til en Konfiguration af den nævnte Art, møder vi Forhold, der er ganske forskellige fra dem, der gælder for indbyrdes Overgange mellem to af Orthoheliumbanerne. For en Overgangsproces, hvorved den sidst indfangne Elektron fra at bevæge sig »udenom« den anden blev optaget som jævnbyrdig Deltager i Bevægelsen omkring Kernen, kan vi nemlig ikke forestille os en Række simple Mellemformer for de to Elektroners Bevægelse, under hvilke den sidst indfangne Elektrons Bane udviste en saadan Lighed med en Centralbevægelse, at der for denne Overgang kunde blive Tale om en Korrespondens af den efterlyste Art. Det bliver derfor forstaaeligt, at den sidst indfangne Elektron ved en Proces, hvorunder de to Elektroner bevæger sig i samme Plan, ikke kan bindes fastere end i en 2_1 Bane. Ser vi derimod paa den Bindingsproces, der ledsager Parheliumspektrets Udsendelse, og hvor Elektronerne i de stationære Tilstande bevæger sig i Baner, hvis Planer danner Vinkler med hinanden, møder

vi væsentlig andre Forhold. Her kræves ikke en tilsvarende, gennemgribende Forandring i Vekselspillet mellem den sidst indfangne Elektron og den tidligere bundne for at opnaa, at de to Elektroner Plads i Atomet bliver ligestillet, og vi kan derfor forestille os, at det sidste Afsnit af Bindingsprocessen kan foregaa paa en lignende Maade som de Afsnit, der er betegnet ved Overgange mellem Baneformer, karakteriserede ved større Værdier for Kvantetallene n og k .

I Heliumatomets Normaltilstand maa de to Elektroner tænkes at bevæge sig i ækvivalente 1_1 Baner, der i første Tilnærmelse kan beskrives som to Cirkelbaner, hvis Planer — i Overensstemmelse med den i det foregaaende omtalte Betingelse, der efter Kvanteteorien er paalagt Impulsmomentet for et Atom — danner en Vinkel paa 60 Grader med hinanden, men iøvrigt paa Grund af Vekselspillet mellem de to Elektroner ikke vil besidde en fast Orientering i Rummet. Udfra Synspunkter, der afviger væsentlig fra dem, jeg her har fremsat, er en tilsvarende Model for Heliumatomet fornylig foreslaaet af K e m b l e, der, hvad det finere Vekselspil mellem Elektronerne angaar, samtidig har gjort opmærksom paa en mulig Bevægelsestype af udpræget Symmetri og af en saadan Beskaffenhed, at Elektronerne under deres hele Omløb indtager symmetriske Stillingen i Forhold til en fast Akse. K e m b l e har dog ikke undersøgt denne Bevægelse nærmere. Allerede før Fremkomsten af hans Arbejde havde imidlertid Dr. K r a m e r s paabegyndt en nøjere Gennemregning af netop denne Bevægelsestype, for at forsøge hvorvidt det var muligt ud fra en saadan Beregning at gøre nøjere Rede for den Fasthed, hvormed Elektronerne er bundne i Heliumatomet, og som kan maales ved en Undersøgelse af det saakaldte I o n i s e r i n g s p o t e n t i a l. Tidligere Maalinger af dette Potential havde givet Værdier for Fastheden af Bindingen, der omtrentlig svarede til den, der vilde fremgaa af den ovenfor omtalte Ringkonfiguration, der for Fjernelsen af en Elektron kræver et Arbejde lig $\frac{17}{8}$ af det Arbejde, der kræves for Fjernelsen af Elektronen i Brintatomets Normaltilstand. Idet den teoretiske Værdi for dette sidste Arbejde — som vi i det følgende for Kortheds Skyld skal betegne ved W — svarer til et Ioniseringspotential af 13,53 Volt, skulde saaledes Ioniseringspotentialet for Helium efter denne Model ventes at være 28,8 Volt. Nyere, nøjagtigere Maalinger har imidlertid givet en Værdi for Heliums Ionise-

ringspotential, der er betydelig lavere og ligger i Nærheden af 25 Volt. Ganske uafhængig af de ovenstaaende Betragtninger var Uholdbarheden af den omhandlede Ringkonfiguration som fremstillende Normaltilstanden af et Heliumatom allerede derved fastslaaet. I Modsætning til, hvad der gælder for denne Konfiguration, kræver en nøjere Undersøgelse af den beskrevne rumlige Atomkonfiguration et vidtløftigt Beregningsarbejde, og K r a m e r s Regninger har endnu ikke givet afsluttede Resultater. Med den Tilnærmelse hvormed de hidtil er gennemførte, peger imidlertid Beregningerne paa Muligheden af at opnaa Overensstemmelse med Forsøgsresultaterne, og det endelige Resultat maa afventes med stor Interesse, fordi det giver os Mulighed for i det simplest tænkelige Tilfælde at opnaa en Prøvelse af de Synspunkter, ud fra hvilke man forsøger at fastlægge stationære Tilstande for Atomer indeholdende mere end een Elektron.

Som det fremgaar af Oversigten over Grundstofferne System, danner Brint og Helium tilsammen den første Periode i Systemet, idet Helium jo er den første inaktive Luftart. Den store Forskel i de kemiske Egenskaber af Brint og Helium hænger nøje sammen med den store Forskel i Elektronbindingens Beskaffenhed, som Undersøgelsen af Spektrene og Ioniseringspotentialerne direkte lærer os om, og som vi har set, det ogsaa synes muligt at fortolke ved direkte Anvendelse af Kvanteteorien. Medens Helium har det højeste Ioniseringspotential af alle Stoffer, er Elektronen i Brintatomet ikke bundet fastere, end at vi kan forstaa Brintens Tilbøjelighed til at optræde som positiv Ion i vandige Opløsninger og kemiske Forbindelser. En nærmere Betragtning af dette Spørgsmaal kræver imidlertid en Sammenligning mellem Elektronkonfigurationernes Art og Fasthed hos andre Stoffers Atomer og kan derfor ikke diskuteres, før vi har betragtet dette Spørgsmaal nærmere.

Naar vi nu gaar over til at betragte Atombygningen hos Stoffer, der i det neutrale Atom indeholder mere end to Elektroner, skal vi først og fremmest antage, at alt, hvad vi ovenfor har sagt om Heliumatomets Dannelse, i Hovedtræk vil gælde ogsaa for Indfangningen og Bindningen af de to første Elektroner i saadanne Atomer. Disse Elektroner maa saaledes i Normaltilstanden antages at bevæge sig i ækvivalente Baner, karakteriserede ved Kvantebetegnelsen $1_{\cdot}$.

Spørger vi nu om Bindingen af den 3die Elektron, faar vi direkte Oplysning fra en Undersøgelse af Lithiumspektret. Dette Spektrum lærer os om en Række stationære Tilstande, hvor den Fasthed, hvormed den sidst indfangne Elektron er bundet, er meget nær den samme som i de stationære Tilstande svarende til Stadier af Brintatomets Dannelse. Foruden disse Rækker af Tilstande, der svarer til Baner, hvor k er større eller lig 2, og hvor den sidst indfangne Elektron bevæger sig helt udenfor det Omraade, hvori de to første Elektroner bevæger sig, lærer Spektret os om en Række Tilstande, der svarer til $k = 1$, og hvor Energien afviger væsentlig fra de tilsvarende stationære Tilstande af Brintatomet. I disse Tilstande, hvortil Atomets Normaltilstand — saaledes som det fremgaar af Forsøg over Absorption i Lithiumdamp — hører, maa den sidst indfangne Elektron, selv om den under Størstedelen af Omløbet befinder sig i større Afstande fra Kernen, under et vist Tidspunkt af Omløbet antages at trænge ind til Afstande fra denne, der er af samme Størrelsesorden som Dimensionerne af de tidligere bundne Elektroners Baner. Paa Grund af denne Omstændighed vil Elektronen være bunden med en Fasthed, der er betydelig større end den, hvormed Elektronen er bunden i stationære Tilstande af Brintatomet, svarende til samme Værdi for n . I Normaltilstanden, hvor, som det fremgaar af Spektret, det Arbejde, der kræves for Elektronens Fjernelse fra Atomet, kun er 0,396 W, maa vi derfor antage, at denne bevæger sig i en 2_1 Bane, selv om den er bunden omtrent halvanden Gang saa fast som i den tilsvarende Bane i Brintatomet, hvor det for Fjernelsen krævede Arbejde er $\frac{1}{4}$ W. Hvis vi her spørger om Aarsagen til, at en Overgang fra en af de stationære Tilstande, hvorom Spektret belærer os, til en Tilstand, hvor den sidst indfangne Elektron vilde bevæge sig i en 1_1 Bane, er udelukket, møder vi Forhold, der frembyder Lighed med Fortolkningen af Heliums metastabile Tilstand. En saadan Overgang, der, som en nærmere Undersøgelse viser, maatte tænkes at føre til en Tilstand af Atomets, hvor alle Elektronerne bevægede sig i ækvivalente Baner, vilde nemlig være af en ganske anden Type end de til Udsendelsen af Lithiumspektret knyttede Overgange mellem stationære Tilstande og vilde i Modsætning til disse ikke udvise Korrespondens med harmoniske Komponenter i Atomets Bevægelse. Vi faar derfor et Billede af Lithiumatomets Dan-

nelse og Bygning, der tilbyder en naturlig Forklaring for de fra Heliums og Brints stærkt afvigende, kemiske Egenskaber, som Lithium udviser, idet vi opnaar en Basis for at forstaa, hvorfor den sidst indfangne Elektron i Lithiumatomet er næsten 5 Gange løsere bunden end Elektronerne i Heliumatomet, og lidt mere end 2 Gange løsere end Elektronen i Brintatomet.

Hvad her er sagt gælder ikke alene om Dannelsen af Lithiumatomet, men maa antages at gælde om Bindingen af den 3die Elektron i ethvert Atom, der altsaa i Modsætning til de to første Elektroner, som bevæger sig i 1_1 Baner, maa tænkes at bevæge sig i en 2_1 Bane. Tilsvarende vil nu gælde om den 4de, 5te og 6te Elektron. Jeg skal ikke her komme nærmere ind paa de Forestillinger, man kan gøre sig om den successive Indfangning og Binding af disse Elektroner, men blot nævne, at Aarsagen til, at Bindingen af de første af disse ikke vil forhindre Indfangningen af de paafølgende i ækvivalente 2_1 Baner, maa antages at hænge sammen med, at Banerne ikke er cirkulære, men stærkt ekscentriske, og at saaledes f. Eks. den 3die Elektron ikke kan holde de senere Elektroner borte fra det indre System paa tilsvarende Maade, som Tilstedeværelsen af de to først bundne Elektroner i Lithiumatomet hindrer den 3die i at bindes i en 1_1 Bane. Vi maa saaledes vente, at den 4de, 5te og 6te Elektron paa tilsvarende Maade som den 3die hver især under visse Øjeblikke af deres Omløb trænger ind i det Omraade, hvor de to først bundne Elektroner bevæger sig. Vi skal imidlertid ikke tænke os, at disse Besøg hos det indre System for de fire Elektroners Vedkommende finder Sted paa samme Tid, men at de fire Elektroner besøger Kernen enkeltvis med lige store Tidsmellemrum. Ved tidligere Arbejder over Atombygningen har man tænkt sig, at Elektronerne i Atomets forskellige Grupper bevægede sig i adskilte Omraader indenfor dette, samt at Elektronerne i hver enkelt Gruppe hvert Øjeblik indtog Konfigurationer, der besad en Symmetri af lignende Art som en regelmæssig Polygon eller Polyeder, hvad blandt andet medførte, at Elektronerne i Gruppen antoges samtidig at befinde sig i de Punkter af deres Baner, hvor de er Kernen nærmest. En saadan Bygning af Atomet kan betegnes som en, hvor Bevægelsen af Elektronerne indenfor Grupperne er koblet sammen paa en Maade, der er uafhængig af Vekselvirkningen mellem de forskellige Grupper. Det karakteristi-

ske Træk hos en Bygning for Atomet som den her foreslaaede er derimod den intime K o b l i n g mellem Elektronbevægelserne i de forskellige Grupper, samt den større U a f h æ n g i g h e d, som kommer for Dagen i Bindingsarten indenfor en og samme Gruppe af Elektroner med ækvivalente Baner karakteriserede ved samme Kvantetal. Ved at fremhæve dette sidste Træk tænker jeg ikke alene paa den langt ringere Indflydelse af Tilstedeværelsen af tidligere bundne Elektroner indenfor samme Gruppe paa Fastheden af Bindingen af de paafølgende Elektroner, som den beskrevne Bevægelsesmaade bringer med sig, men fuldt saa meget paa den Maade hvorpaa Bevægelserne af Elektronerne indenfor Gruppen afspejler Uafhængigheden af de Processer, gennem hvilke Gruppen kan dannes ved de enkelte Elektroners Indfangning, samt kan reorganiseres ved Pladsbytning af de enkelte Elektroner i Atomet efter en Forstyrrelse frembragt ved ydre Kræfter. Det sidste Spørgsmaal skal vi komme nærmere ind paa ved Omtalen af Fortolkningen af Røntgenspektrenes Fremkomst og Beskaffenhed; foreløbig skal vi gaa videre med at betragte, hvilken Bygning af Atomet vi føres til ved at undersøge de til Elektronernes successive Indfangning knyttede Processer.

De foregaaende Betragtninger giver et Grundlag for at forstaa, at de paa Lithium følgende Stoffer, B e r y l l i u m og B o r, i Forbindelser med andre Stoffer kan optræde som elektropositive med henholdsvis to og tre Valenser, idet, ligesom den 3die Elektron i Lithiumatomet, de senere indfangne Elektroner i disse Stoffers Atomer vil være langt løsere bundne end de to første Elektroner. Samtidig forstaaer vi, at den elektropositive Karakter dog for disse Stoffer er mindre udpræget end hos Lithium, idet Elektronerne i 2_1 Banerne paa Grund af det stærkere Felt, hvori de bevæger sig, vil være langt fastere bundne i Beryllium- og Bor-Atomet end i Lithium-Atomet. Hos det næste Grundstof, K u l s t o f, møder vi nye Forhold, idet dette Stof i sine typiske kemiske Forbindelser ikke kan antages at optræde som Ion, men snarere som neutralt Atom. Dette maa antages ikke alene at hænge sammen med Elektronbindingens store Fasthed, men tillige at være væsentlig betinget af Symmetriegenskaber hos Elektronkonfigurationen.

Ved Bindingen af den 4de, 5te og 6te Elektron i 2_1 Baner maa den rumlige Symmetri af den relative Konfiguration af de paa-

gældende Elektronbaner antages stadig at forøges, indtil ved Bindingen af den 6te Elektron Banerne af de fire sidst bundne Elektroner maa ventes at indtage en overordentlig symmetrisk Konfiguration, hvori Normalerne til Baneplanerne indtager en Stilling relativt til hverandre, meget nær som Linierne fra Centret til Hjørnespidserne i et regulært Tetraeder. En saadan Konfiguration af Gruppen af 2-kvantede Baner i Kulstofatomet synes nu virkelig egnet til at danne Grundlag for Forestillinger om Bygningen af de organiske Forbindelser. Jeg skal imidlertid ved denne Lejlighed ikke komme nærmere ind paa dette Spørgsmaal, hvis nøjere Undersøgelse vil kræve et indgaaende Studium af Vekselvirkningen mellem Elektronbevægelsen i de i Molekylet indgaaende Atomer. Det skal i denne Forbindelse blot nævnes, at de Typer af Elektronkonfigurationer, som man ud fra de her fremsatte Betragtninger naturligt føres til, bliver væsentlig forskellige fra saadanne Molekylmodeller, som blev foreslaaet i Foredragsholderens første Arbejder, og hvor de kemiske »Valensbaand« fremstilledes ved »Elektronringe« af lignende Type som de, der antoges at udgøre Elektrongrupperne indenfor de enkelte Atomer. Naar det, uden at komme ind paa saadanne Spørgsmaal, dog er muligt, som jeg skal forsøge her, at give en Oversigt over, Fortolkningen af Grundstoffernes kemiske Egenskaber ud fra en Undersøgelse af disse Stoffers Atomer, ligger dette i, at Betragtningen af Molekyldannelser af den Art, som optræder i Sammenslutningen af Atomer af et og samme Grundstof og i mange organiske Forbindelser, ikke spiller den Rolle for en saadan Oversigt som Betragtningen af Molekyldannelser, hvori de enkelte Atomer tør anses at indgaa som elektrisk ladede Ioner. Den sidste Art af Forbindelser, som ofte benævnes »heteropolare«, og hvortil de simple uorganiske Forbindelser for den største Del hører, besidder nemlig en langt mere typisk Karakter end de førstnævnte Forbindelser, der benævnes »homoeopolare«, og hvis Egenskaber i en ganske anden Grad er individuelle for de indgaaende Stoffer. Hovedopgaven i det følgende vil derfor blive at betragte den Tilpasning, som Elektronkonfigurationerne i de forskellige Atomer frembyder for Iondannelsen.

Før vi forlader Spørgsmaalet om Kulstofatoms Bygning, maa jeg imidlertid nævne, at en Model af et Kulstofatom, hvor Konfigurationen af Banerne af de fire løse bundne Elektroner besidder en

udtalt Tetraeder Symmetri, allerede har været foreslaaet af L a n d é, der for at gøre Rede for det eksperimentelle Materiale vedrørende Atomernes Størrelse ligeledes har benyttet den Antagelse, at de paa-gældende Elektroner bevægede sig i Baner, karakteriserede ved Kvan-tebetegnelsen 2_1 . Der er imidlertid den Væsensforskkel mellem L a n - d é's Betragtninger og de her anførte, at medens Kulstofatomets karakteristiske Forhold hos L a n d é søges baseret alene paa en Un-der søgelse af de simpleste Bevægelsesformer med rumlig Symmetri, som fire Elektroner kan udføre, er Betragtningerne her ført tilbage til det hele Atoms Stabilitetsforhold, idet, som vi har set, Antagelserne om de paagældende Elektroners Baner er direkte baseret paa en Un-der søgelse af Vekselvirkningen mellem disse Elektroner og de to først bundne. Denne Forskel kommer til Syne gennem de Antagelser om Koblingen mellem Bevægelserne af Elektronerne i de to Grupper med ækvivalente Baner og om Vekselspillet mellem Bevægelserne in-denfor hver af disse, som Betragtninger af Atomets Dannelse har ledt os til, og som giver vor Model for Kulstofatomet dynamiske Egen-skaber, der er væsentlig forskellige fra Egenskaberne af L a n d é's Model.

For at gøre Rede for de nærmest paafølgende Grundstoffers Egen-skaber kommer det, som nævnt i det foregaaende ved Omtalen af K o s s e l's Arbejder, i første Række an paa at forstaa, hvorfor den Konfiguration af 10 Elektroner, der optræder i det neutrale Nèon-atom besidder Stabilitetsforhold af særegen Art. Ved Betragtninger over dette Spørgsmaal har man hidtil lagt den Antagelse til Grund, at denne Konfigurations Egenskaber var betinget af Vekselspillet mel-lem 8 Elektroner, der i ækvivalente Baner bevægede sig udenom Ker-nen og en indre Gruppe af to Elektroner svarende til Konfigurationen af Elektronerne i Heliumatomet. Vi skal imidlertid se, at Løsningen maa antages at skulle søges i en væsentlig forskellig Retning. Spørger vi om Indfangningen og Bindingen af den 7ende Elektron i Atomets, kan vi nemlig ikke vente, at denne vil blive bundet i en 2_1 Bane ækvi-valent med de fire foregaaende Elektroners Baner. En Optræden af 5 saadanne Baner i Atomets vilde nemlig paa saa afgjort Maade forstyrre Symmetrien i disse Elektroners Vekselspil, at vi ikke kan forestille os, at en Proces resulterende i Optagelsen af en femte Elektron i den paa-gældende Gruppe vilde besidde den af Korrespondensprincippet kræ-

vede Analogi med en Proces, hvormed Udsendelsen af Straaling efter vore sædvanlige Forestillinger vil være forbunden. Vi maa tvertimod tænke os, at de fire Elektroner i deres overordentlig symmetriske Bane-konfiguration vil holde senere tilkomne Elektroner ude fra deres Gruppe, med det Resultat at disse Elektroner vil blive bundne i Baner karakteriserede ved højere Kvantetal.

De Baner, der kommer i Betragtning ved Bindingen af den 7ende Elektron i K v æ l s t o f a t o m e t og den 7ende, 8nde, 9ende og 10ende Elektron hos Atomerne af de paafølgende Elementer, vil være cirkulære Baner af Typen 2_2 , der — selv om deres Diameter vil være betydelig større end Banediametrene for de to første Elektroner —, dog vil forløbe indenfor det Omraade, i hvilket de fire næste Elektroner bevæger sig, saaledes at de yderste Dele af de ekscentriske 2_1 Baner vil rage et Stykke udenfor de cirkulære 2_2 Baner. Jeg skal ikke her komme ind paa Spørgsmaalet om de paagældende Elektro-ners successive Indfangning og Binding, for hvilke en nærmere Undersøgelse af Vekselspillet mellem Bevægelserne af Elektronerne i de 2 Typer af 2-kvantede Baner er nødvendig. Jeg skal blot nævne, at i N e o n a t o m e t, hvor vi skal antage, at der findes fire Elektroner i 2_2 Baner, disse Baners Planer ikke alene maa tænkes at indtage en Stilling i Forhold til hverandre, der udmærker sig ved en høj Grad af rumlig Symmetri, men ogsaa at besidde en harmonisk Konfiguration relativt til de fire elliptiske 2_1 Baner. Et Vekselspil af denne Art kan imidlertid uden Sammenfald af Baneplaner kun opnaas ved, at Bane-konfigurationerne i begge Undergrupper viser en systematisk Afvigelse fra Tetraeder-Symmetri, der vil bevirke, at Elektrongruppen med 2-kvantede Baner i Neonatomet kun vil besidde en enkelt Symmetriakse, der maa antages at falde sammen med Symmetriaksen for Konfigurationen af den inderste Gruppe med de to Elektroner i 1-kvantede Baner.

Med Henblik paa Forklaringen af den udprægede elektronegative Karakter af de forud for Neon gaaende Elementer, Ilt og Fluor, med Atomnummer 8 og 9 maa det her fremhæves, at den Tendens, som disse Stoffers neutrale Atomer besidder for ved yderlig Indfangning af Elektroner at danne negative Ioner med en lignende Konstitution som det neutrale Neonatom, maa tilskrives ikke alene

den Forøgelse af Symmetrien og den dermed følgende Forøgelse af Elektronbygningens Fasthed, som Kompletteringen af den paagældende Elektrongruppe vil medføre, men lige saa meget den Omstændighed, at de sidst indfangne Elektroners Baner vil finde deres Plads indenfor det Omraade, hvori de tidligere indfangne Elektroner i 2_1 Baner bevæger sig. Dette Forhold betinger nemlig en Forstaaelse af den store Forskel, som Stofferne i den sidste Halvdel af den anden Periode af det periodiske System udviser fra Stofferne i den første Halvdel, i hvis Atomer i Modsætning til de førstnævnte Stoffers der kun findes en Type af 2-kvantede Baner.

Vi skal nu gaa over til at undersøge Spørgsmaalet om Bygningen af Atomerne for Stofferne i den tredje Periode i Grundstofferne System og stilles da straks overfor Spørgsmaalet om, hvorledes den 11te Elektron i Atomet bindes. Her møder vi Forhold, der i visse Henseender er analoge med dem, vi omtalte ved Bindingen af den 7ende Elektron. I Lighed med hvad der gjaldt for Konfigurationen i Kulstofatomet vilde Symmetrien af Konfigurationen i Neonatomet blive væsentlig, for ikke at sige fuldstændig, forstyrret ved Optagningen af endnu en Elektron i Atomet i en Bane af samme Type som den, hvori de sidst indfangne Elektroner blev bundne. Ligesom ved den 3die og 7ende Elektron maa vi derfor vente ved den 11te Elektron at møde en ny Type af Baner i Atomet, og de Baner, der denne Gang melder sig, er 3_1 Baner. En Elektron, der bevæger sig i en saadan Bane, vil vel for Størstedelen af Bevægelsen befinde sig udenfor Konfigurationen af de 10 første Elektroners Baner; men i visse Øjeblikke af dens Omløb vil den ikke alene trænge ind i Omraadet for 2_1 og 2_2 Banerne, men vil ligesom de første af disse Baner endda trænge helt ind til Afstande fra Kernen, der er mindre end Radierne af de 1-kvantede Baner af de to først bundne Elektroner. Dette Forhold, der har den største Betydning for Forstaaelsen af Atomets Stabilitet, fører for Bindingen af den betragtede 11te Elektron til et ejendommeligt Resultat. I Natriumatomet vil saaledes for de ydre Banedeles Vedkommende denne Elektron bevæge sig i et Felt, der kun afviger meget lidt fra det, der omgiver Kernen i Brintatomet, men alligevel vil Dimensionerne af de omhandlede Dele af Banen være væsentlig forskellige fra Dimensionerne af de tilsvarende Dele af en 3_1 Bane i

Brintatomet. Dette hidrører fra, at selv om Elektronen kun i korte Øjeblikke af sit Omløb kommer indenfor den indre Konfiguration af 10 Elektroner, vil dog denne Del af Banen være væsentlig bestemmende for Fastlæggelsen af Hovedkvantetallet, hvad der hænger simpelt sammen med, at Elektronens Bevægelse for denne Banedels Vedkommende kun afviger lidt fra den Bevægelse, som hver af de tidligere bundne Elektroner i 2_1 Baner vil udføre under et helt Omløb i disse Baner. Med denne Omstændighed hænger den Usikkerhed sammen, der har hersket angaaende Fastlæggelsen af Kvantetallene for de stationære Tilstande svarende til et Spektrum som Natriumspektret, og som vi har hentydet til i det foregaaende. Dette Spørgsmaal har være underkastet Drøftelse fra forskellig Side. Ud fra Sammenligninger mellem Spektraltermene for de forskellige Alkalimetaller har *Roschdestwensky* ment at kunne drage den Slutning, at Normaltilstanden ikke, som man paa Forhaand kunde være tilbøjelig til at vente, svarer til en 1_1 Bane — en Opfattelse, der f. Eks. kommer til Udtryk i de Talværdier for n , hvormed i Figuren paa Side 22 de stationære Tilstande er kendetegnet — men at denne Tilstand svarer til en 2_1 Bane. I et Forsøg paa at gøre Rede for den store Forskel imellem *S*-Termene og Termene i *P*- og *D*-Rækkerne hos Alkalispektrene, der viser sig i Værdierne for Konstanterne α_k i Formlen (12), er *Schrödinger* kommet til et tilsvarende Resultat ud fra den Antagelse, at den »ydre« Elektron i de Tilstande der svarer til *S*-Termene, i Modsætning til de, der svarer til *P*- og *D*-Termene, under sit Omløb forløber delvis indenfor Omraadet for de indre Elektroners Baner. Disse Undersøgelser indeholder vel betydningsfulde Fingerpeg, men som vi skal se, maa Forholdene i Virkeligheden antages at ligge væsentlig forskelligt for de forskellige Alkalispektre. I Modsætning til Lithiumspektret, hvor de første Termer af *S*- og *P*-Rækkerne svarer henholdsvis til 2_1 Baner og 2_2 Baner, maa vi saaledes for Natriumspektrets Vedkommende ikke alene antage, at det første Spektralterm i *S*-Rækken svarer til en 3_1 Bane, men en nøjere Betragtning viser tilmed, at det første Term i *P*-Rækken ikke svarer til en 2_2 Bane, som antydtes paa Figuren, men til en 3_2 Bane. Den Opfattelse, der ligger til Grund for Figurens Betegnelser, vilde blandt andet føre med sig, at *P*-Termene skulde være mindre end Brinttermene, svarende til samme Hovedkvantetal. En

Forklaring heraf vilde imidlertid kræve, at Middelvirkningen af de indre Elektroners Tilstedeværelse kunde beskrives som en Frastødning, større end den der vilde fremkomme, hvis deres samlede elektriske Ladning var forenet i Atomets Centrum. Ud fra en Forestilling om Atombygningen som den her omhandlede kan et Forhold som dette imidlertid ikke ventes at forekomme. Den Omstændighed, at den sidst indfangne Elektron, i hvert Fald for lave Værdier af k , forløber delvis indenfor de tidligere indfangne Elektroners Bane, vil tværtimod bevirke, at disse Elektroners Tilstedeværelse vil give Anledning til en virtuel Frastødning, der er betydelig mindre end den, der vilde skyldes deres forenede Ladning. I Stedet for de fra højre til venstre forløbende Kurver, der paa Figuren er trukket mellem Punkter, der tænkes at repræsentere stationære Tilstande, svarende til samme Værdi for Hovedkvantetallet, faar vi derfor Kurver, der forløber fra venstre til højre, og et saadant Forhold finder vi ikke alene for Natriumspektret, men ogsaa for andre Stoffers Spektre. I Forbindelse med Spørgsmaalet om Fortolkningen af Natriumspektret ud fra det omhandlede Billede af Atomet kan det nævnes, at dette ikke alene synes at tilbyde en Forklaring af Størrelserne af Termene, men at ogsaa Komplexiteten af Termene i P - og D -Rækkerne forklares naturligt ud fra den Afvigelse fra ren Centralsymmetri, som Konfigurationen af de 10 først bundne Elektroner udviser. Denne Mangel paa Symmetri har sit Udspring i de to allerinderste Elektroners Konfiguration og »forplanter« sig ud til de ydre Dele af Atombygningen netop paa Grund af den Omstændighed, at 2_1 Banerne delvis trænger ind paa disse Elektroners Omraade.

De ovenstaaende Betragtninger angaaende Natriumspektrets Fremkomst giver samtidig en umiddelbar Fortolkning af Natriums stærke elektropositive Egenskaber, idet som Spektret lærer os, og som Atommodellen gør forstaaeligt, den sidst bundne Elektron i Natriumatomet er endnu løsere bunden end den sidst indfangne Elektron i Lithiumatomet. Det kan i denne Forbindelse anføres, at ogsaa en Betragtning af Atomvolumenets Tiltagen med stigende Atomnummer indenfor Alkalimetallernes Familie fortolkes simpelt ud fra den stedse løsere Binding af Valenselektronen. I Tilknytning til sine Arbejder over Røntgenspektrene har Sommerfeld paa et tidligere Tidspunkt ment i denne Tiltagen at Atomvolumenerne at kunne finde

Støttestrukturer for den Antagelse, at det Hovedkvantetal, der svarer til Valenselektronernes Bane, ligesom det her er antaget, vil vokse med en Enhed, hver Gang vi gaar fra et Metal i den omhandlede Familie til det næste. Sommerfeld har dog senere i Sammenhæng med Undersøgelser over Seriespektrerne bestemt taget Afstand fra denne Antagelse, der i første Øjeblik ogsaa kunde synes at medføre en Tiltagelse af Atomvolumenerne langt større end den iagttagne. En simpel Forstaaelse af disse Forhold opnaar man imidlertid ved, som ovenfor beskrevet, at tage Hensyn til, at den paagældende Elektrons Bane vil delvis forløbe indenfor de indre Banekonfigurationers Omraade, og at derfor de »effektive« Kvantetal, der svarer til Banens ydre, næsten elliptiske Sløjfer, vil være langt mindre end det Hovedkvantetal, hvormed den hele Centralbane beskrives. Det maa i denne Forbindelse ogsaa bemærkes, at Vegard, ligeledes i Tilknytning til Undersøgelser over Røntgenspektrerne, har foreslaaet Antagelsen af stedse stigende Kvantetal for Elektronbanerne i Atomets Grupper, regnet fra Kernen og udefter, og i denne Sammenhæng indført Antagelser angaaende Forbindelsen mellem Elektrontallene i Atomets Grupper og Periodelængderne i Grundstoffernes System, der udviser visse formelle Lighedspunkter med de i det følgende fremsatte Resultater. Heller ikke Vegards Betragtninger tilbyder imidlertid Udgangspunkter for en nærmere Undersøgelse af Gruppernes Udformning og Stabilitet og derfor ikke noget Grundlag for en indgaaende Fortolkning af Stoffernes Egenskaber.

Betragter vi de paa Natrium følgende Stoffer i den 3die Periode af Grundstoffernes System møder vi ved Bindingen af den 12te, 13de og 14de Elektron Forhold, der er nøje analoge med dem, vi mødte ved Spørgsmaalet om Bindingen af den 4de, 5te og 6te Elektron i Atomet. Vi skal saaledes antage, at vi i det neutrale Siliciumatom har at gøre med en Konfiguration, hvor de fire sidst indfangne Elektroner bevæger sig i 3_1 Baner, der ligesom 2_1 Banerne hos Kulstof maa tænkes at danne en Konfiguration med saadanne Symmetriegenskaber, at en Optagen i Atomerne af de følgende Elementer af en yderligere Elektron i en 3_1 Bane er udelukket. Den 15de Elektron hos Stofferne af højere Atomnummer vil derfor være bunden i en ny Banetype; men her vil vi ikke, som ved Indfangningen af den 7ende Elektron, møde cirkulære Baner, men en roterende ekscentrisk Bane af Typen 3_2 . Dette hæn-

ger paa det nøjeste sammen med de Forhold, som jeg før omtalte, og som bevirker, at ikke-cirkulære Baner vil svare til en fastere Binding end cirkulære Baner med samme Værdi for Hovedkvantetallet, idet for de første Baners Vedkommende Elektronen i visse Øjeblikke vil trænge langt dybere ind i Atomets Indre. En Bane 3_2 vil vel ikke komme helt ind i den inderste Konfiguration af 1_1 Baner, men den vil trænge ind til Afstande fra Kernen, der er betydelig mindre end Radierne i de cirkulære 2_2 Baner. For den 16de, 17de og 18de Elektrons Vedkommende stiller Forholdene sig paa tilsvarende Maade som for den 15de, og vi maa for Arگون vente en Konfiguration, hvori de ti inderste Elektroner bevæger sig i Baner af samme Typer som Elektronerne i Neonatomet, medens de 8 sidste Elektroner vil danne en Konfiguration af fire 3_1 Baner og fire 3_2 Baner, der besidder Symmetriegenskaber, der maa tænkes nøje at svare til Konfigurationen af 2-kvantede Baner i Neonatomet. Samtidig med at denne Forestilling giver en Forstaaelse af den Lighed i kvalitativ Henseende, som de kemiske Egenskaber af Stofferne i den sidste Del af henholdsvis den anden og tredje Periode i Grundstoffernes System udviser, aabner den en Mulighed for en naturlig Forklaring af den betydelige Forskel, der i kvantitativ Henseende findes hos Egenskaberne af disse Stoffer.

Gaar vi nu over til den 4de Periode af Grundstoffernes System, møder vi til at begynde med Stoffer, som i kemisk Henseende ligner Stofferne i Begyndelsen af de to foregaaende Perioder. Dette er ogsaa, hvad vi maatte vente. Vi maa saaledes forestille os, at den 19de Elektron vil blive bundet i en Bane af ny Type, og den nærmere Betragtning viser, at dette maa være en 4_1 Bane. De Forhold, som vi omtalte ved Bindingen af Elektronen i Natriumatomet, viser sig her endnu mere udprægede paa Grund af det større Kvantetal, hvorved de indre Elektrons Baner er kendetegnede. Saaledes vil, som Følge af den Omstændighed at den paagældende Bane, hvad dens indre Sløjfer angaar, falder meget nær sammen med en 3_1 Bane, Dimensionerne af de ydre Dele af Banen hos den 19de Elektron i Kaliumatomet ikke alene afvige stærkt fra Dimensionerne af en 4_1 Bane i Brintatomet, men maa ventes at falde nær sammen med en Brintbane af Typen 2_1 , hvis Dimensioner er ca. fire Gange mindre end

den førstnævnte Brintbane. Dette Resultat tillader umiddelbart i Hovedtræk at gøre Rede for Kaliums spektrale og kemiske Egenskaber. Tilsvarende Resultater gælder for Calcium, i hvis neutrale Atom vi skal tænke os to Valenselektroner i ækvivalente 4_1 Baner. Gaar vi til Grundstoffer med højere Atomnummer, afviger imidlertid, som bekendt, Egenskaberne hos Stoffernes i den 4de Periode af Grundstoffernes System mere og mere fra tilsvarende Stoffer i de første Perioder, indtil vi i Jernmetallernes Familie møder Stoffer, der viser Egenskaber, som er væsentlig forskellige fra Stofferne i disse Perioder. Naar vi gaar til endnu højere Atomnumre, træffer vi paany ændrede Forhold, idet vi møder en Række Stoffer, der i deres kemiske Egenskaber nærmer sig mere og mere til Stofferne i den sidste Del af de forudgaaende Perioder, indtil vi endelig ved Atomnummeret 36 igen møder en inaktiv Luftart, nemlig Krypton.

Forhold af denne Art er nu netop, hvad vi maatte være forberedt paa at træffe. Medens Betragtningerne over Dannelsen og Stabiliteten af Atomkonfigurationerne for Stofferne af de tre første Perioder af Grundstoffernes System medfører, at enhver af de første 18 Elektroner i Atomet ogsaa i de følgende Elementer stadig vil blive bundet i en Bane af samme Type som den, hvormed den paagældende Elektron første Gang optræder, gælder dette, som man simpelt ser, ikke mere for den 19de Elektron. Med stigende Kerneladning og dermed følgende Formindskelse af Forskellen mellem de Kraftfelter, der hersker udenfor og indenfor Omraadet for Banerne af de 18 først bundne Elektroner, vil nemlig Dimensionerne af de Dele af en 4_1 Bane, der falder udenfor den nævnte Konfiguration mere og mere nærme sig til Dimensionerne af en 4-kvantet Bane beregnet ud fra den Antagelse, at man kan se bort fra Vekselvirkningen mellem Elektronerne i Atomet. Med stigende Atomnummer kommer der derfor snart et Øjeblik, hvor en 3_s Bane vil svare til en fastere Binding af den 19de Elektron end en 4_1 Bane, og dette indtræffer allerede i Begyndelsen af den fjerde Periode. Medens vi ud af Kaliumspektret direkte kan læse, at Banen 4_1 vil svare til en mere end dobbelt saa fast Binding som Banen 3_s , der giver Anledning til det første Spektralterm i *D*-Rækken, stiller Forholdene sig allerede meget forskellige i Calcium. Her skal vi ikke se paa Buespektret, der udsendes under Ind-

fangningen af den 20de Elektron, men paa Gnistspektret, der svarer til Indfangningen og Bindingen af den 19de Elektron. Medens Magniums Gnistspektrum, der — bortset fra, at der i Formlen (12) optræder en Konstant fire Gange saa stor som den Rydbergske Konstant — viser stor Lighed med Natriumspektret, hvad Værdierne for Spektraltermene i de forskellige Rækker angaar, møder vi i Calciums Gnistspektrum det ejendommelige Forhold, at det første Term af *D*-Rækken er større end det første Term af *P*-Rækken og kun er meget lidt mindre end det første Term af *S*-Rækken, der maa tænkes at svare til Bindingen af den 19de Elektron i Calciumatomets Normaltilstand. Allerede for det næste Element, Scandium, maa vi derfor være forberedt paa, at en 3_3 Bane vil svare til en fastere Binding af den 19de Elektron end en 4_1 Bane. Den 19de Elektron i Scandiumatomet, der saaledes maa ventes at bindes i en 3_3 Bane, vil dog, som det følger af det foregaaende, være bundet langt løsere end de første 18 Elektroner i Atomet, hvilket ogsaa svarer til, at Scandium i kemiske Forbindelser optræder elektropositivt med tre Valenser. Gaar vi til de følgende Stoffer, vil der i Atomet optræde et større Antal af Elektroner i 3_3 Baner i Atomets Normaltilstand, idet Antallet af saadanne Elektronbaner vil afhænge af Fastheden af deres Binding, sammenlignet med Fastheden af Elektronbindingen i en 4_1 Bane, i hvilken Type af Baner vi maa tænke os, at i det mindste den sidst indfangne Elektron i Atomet vil bevæge sig. Vi møder derfor Forhold vedrørende Atomernes Stabilitet og Dannelse, der er væsensforskellige fra dem, vi har betragtet ved Omtalen af de forudgaaende Perioder af Grundstoffernes System, og som bevirker, at vi her, i Modsætning til tidligere, har at gøre med den successive Udvikling med stigende Atomnummer af en af de indre Elektrongrupper i Atomet, i vort Tilfælde af Gruppen af Elektroner i 3-kvantede Baner. Først naar Udbygningen af denne Gruppe vil være fuldendt, kan vi vente igen at faa en tilsvarende Ændring i Stoffernes Egenskaber med stigende Atomnummer, som den vi finder i de foregaaende Perioder i Grundstoffernes System. En Betragtning af Egenskaberne af Stofferne i den sidste Del af den fjerde Periode viser nu direkte, at den vedkommende Gruppe i sin færdige Form maa besidde 18 Elektroner, idet vi f. Eks. maa tænke os, at Krypton foruden Grupperne af 1, 2 og 3-kvantede Baner besidder en udpræget symme-

trisk Konfiguration af 8 Elektroner i 4-kvantede Baner bestaaende af fire 4_1 Baner og fire 4_2 Baner.

Spørgsmaalet er nu: Hvordan maa vi nærmere tænke os Gruppen af Elektroner i 3-kvantede Baner udformet? I Lighed med Konstitutionen af Elektrongruppen af 2-kvantede Baner kunde man maaske ved første Betragtning være tilbøjelig til at vente, at den fuldstændige Gruppe med 3-kvantede Baner vilde bestaa af tre Undergrupper med hver fire Elektroner med Baner henholdsvis af Typerne 3_1 , 3_2 og 3_3 , altsaa ialt kun 12 Elektroner i Stedet for 18, saaledes som det kræves for at gøre Rede for Grundstoffernes iagttagne Egenskaber. En nærmere Betragtning viser imidlertid, at en saadan Forventning heller ikke vilde være berettiget. Stabiliteten af den i Neon optrædende Konfiguration af 8 Elektroner med 2-kvantede Baner maa nemlig ikke alene tilskrives den symmetriske Konfiguration af Elektronbanerne i de to Undergrupper med henholdsvis 2_1 og 2_2 Baner, men ligesaa fuldt Muligheden for at bringe Banerne indenfor disse Undergrupper i harmonisk Forhold til hverandre. Anderledes stiller Forholdet sig imidlertid for Elektrongruppen med 3-kvantede Baner; her kan tre Undergrupper med hver fire Baner ikke ventes paa tilsvarende simpel Maade at kunne bringes i indbyrdes Sammenspil. Vi maa tværtimod tænke os, at Optagelsen af Elektroner i 3_3 Baner vil formindske Harmonien i Konfigurationen af Banerne indenfor de to første Undergrupper med 3-kvantede Baner, i det mindste naar vi ved stigende Atomnummer er naaet til et Punkt, hvor den 19de Elektron ikke mere som hos Scandium er bundet væsentlig løsere end de tidligere bundne Elektroner i 3-kvantede Baner, men er trukket saa dybt ind i Atomet, at den forløber væsentlig indenfor det samme Omraade af dette, hvor disse Elektroner bevæger sig. Vi maa nu tænke os, at denne Formindskelse af Harmonien saa at sige vil »aabne« den tidligere »lukkede« Konfiguration af Elektroner i 3_1 og 3_2 Baner og derved skabe Muligheden for Binding af yderligere Elektroner i Baner af disse Typer. Hvad Slutresultatet angaar, peger Tallet 18 paa, at der efter Gruppens endelige Udformning vil være tre Undergrupper med seks Elektroner hver. Selv om det ikke paa det nuværende Tidspunkt har været muligt indgaaende at følge de forskellige Trin i Gruppens Dannelse, støttes denne Slutning dog paa interessant Maade af den Omstændighed, at det er muligt at placere tre Konfigurationer hver med seks Elektron-

baner paa simpel Maade relativt til hverandre. Denne Konfiguration af Undergrupperne udviser imidlertid ikke en saaden tetraedral Symmetri som Gruppen af 2-kvantede Baner i Kulstof, men derimod en Symmetri der, hvad Banenormalernes relative Konfiguration angaar, kan betegnes som trigonal.

Trods den store Forskel i de paagældende Grundstoffers Egenskaber kan Fuldstændiggørelsen af Gruppen med 18 Elektroner i 3-kvantede Baner for en nærmere Betragtning siges at ytre sig paa en Maade analog med Fuldstændiggørelsen af Gruppen af 2-kvantede Baner, der, som vi har set, ikke alene betinger Neons Egenskaber som inaktiv Luftart, men ogsaa maa antages at betinge de foregaaende Stoffers elektronegative og de paafølgende Stoffers elektropositive Egenskaber. At vi ikke træffer en inaktiv Luftart med en ydre Gruppe af 18 Elektroner i 3-kvantede Baner forklares simpelt ved de langt større Dimensioner, som en 3_s Bane har i Sammenligning med en 2_s Bane, der bevæger sig under Indflydelse af samme Kraftfelt. Dette bevirker nemlig, at den førstnævnte Gruppe ikke kan optræde som yderste Gruppe i et neutralt Atom, men kun i positivt ladede Ioner. I det karakteristisk Fald i Valens hos K o b b e r i Sammenligning med de foregaaende Grundstoffer, som Optræden af Cupro-Ioner betegner, tør vi imidlertid se en lignende Tendens til Afslutning af en symmetrisk Elektronkonfiguration, som vi har lært at kende i den udprægede elektronegative Karakter af et Stof som Fluor. At vi i Cupro-Ionen virkelig har at gøre med en fuldstændig Gruppe af 3-kvantede Baner, faar vi direkte Oplysning om gennem K o b b e r - s p e k t r e t, der i Modsætning til de yderst komplicerede Spektre hos de foregaaende Stoffer, der maa tilskrives den usymmetriske Karakter af det indre System, besidder en simpel Bygning af en Type meget nær svarende til Natriumspektrets. Dette maa utvivlsomt tilskrives en lignende simpel symmetrisk Struktur hos Cupro-Ionen som hos Natrium-Ionen, selv om den forskellige Konstitution af den ydre Elektron-gruppe i disse Ioner gør sig gældende i den betydelige Forskel i Spektraltermernes Værdier for Kobberspektret sammenlignet med Natriumspektret saavel som i Dubletafstanden i *P*-Termene for de to Spektre. Paa den anden Side lærer Optræden af Cupri-Forbindelserne os, at Gruppen af 3-kvantede Baner ikke i Kobberatomet besidder en tilsvarende Fasthed med Hensyn til Elektronbindingen som Grup-

pen af 2-kvantede Baner i Natriumatomet. Først hos det næste Grundstof, *Zink*, der optræder udelukkende som divalent, er Gruppens Elektroner saa fast bundne, at de ikke kan afgives ved sædvanlige kemiske Processer.

De her fremsatte Forestillinger om Dannelsen og Bygningen af Atomerne hos Stofferne af den fjerde Periode i Grundstoffernes System tillader ikke alene i store Træk at gøre Rede for de kemiske og spektrale Egenskaber af disse Stoffer, men den faar ogsaa Støtte ved Betragtning af Egenskaber af anden Art end dem, vi hidtil har betragtet. Som det er vel kendt, udmærker Grundstofferne i den 4de Periode sig paa forskellig Maade fra Stofferne i de foregaaende Perioder, nemlig dels ved deres magnetiske Egenskaber, dels ved de karakteristiske Farver, som Forbindelserne af disse Stoffer udviser. Vel optræder der Paramagnetisme og Farver hos Stoffer i de foregaaende Perioder, men ikke i saadanne simple Forbindelser, hvor de paagældende Atomr optræder som Ioner. Mange Stoffer i den 4de Periode derimod viser netop i dissocierede, vandige Opløsninger udprægede paramagnetiske Egenskaber og karakteristiske Farver. Betydningen af disse Forhold har bl. a. været betonet af *Ladenburg* i Forbindelse med hans før omtalte Betragtninger over Fortolkningen af Egenskaberne hos Stofferne i de senere Perioder i Grundstoffernes System. I Modsætning til *Langmuir*, — der for at gøre Rede for Forskellen mellem den 4de Periode og de foregaaende Perioder i Systemet simpelthen antager, at Atomr udenom de Lag af Celler med hver 8 Elektroner, der benyttes til at anskueliggøre Egenskaberne hos Elementerne i de sidstnævnte Perioder, besidder et Lag af Celler med Plads til 18 Elektroner, der først er fuldt besat hos Krypton, som danner Afslutningen af den 4de Periode — tænker *Ladenburg* sig, at der i Løbet af denne Periode af en eller anden ikke nærmere angivet Aarsag mellem den indre Elektronkonfiguration i Atomr, der allerede optræder i Argon, og den yderste Gruppe af Valenselektroner, udvikler sig et »Mellem-lag«, hvis Dannelse begynder ved Scandium og er afsluttet netop ved Afslutningen af Jernmetallernes Familie. Til Støtte for denne Antagelse anfører *Ladenburg* ikke alene Betragtninger over de kemiske Egenskaber hos Stofferne indenfor den 4de Periode, men han henviser ogsaa til de ovenfor omtalte Egenskaber hos disse Stoffer,

idet han fremhæver, at Optræden af Paramagnetisme og Farve netop findes hos de Stoffer, hos hvis Atomer dette Mellemlag skulde være under Udvikling. Som det vil ses, udviser *Ladenburgs* Opfattelse visse formelle Lighedspunkter med den ovenfor givne Fortolkning af Fremkomsten af den 4de Periode i Grundstoffernes System, og det er nu af Interesse at se, at vore Betragtninger, baseret paa en direkte Undersøgelse af Betingelserne for Atomernes Dannelse, netop tilbyder Mulighed for Forstaaelse af de af *Ladenburg* fremdragne Forhold.

Hvad de magnetiske Egenskaber angaar, har vi i vore sædvanlige, elektrodynamiske Forestillinger vel ikke et tilstrækkeligt Grundlag til at gøre Rede for Atommagnetismen, hvad der dog ikke tør undre os, naar vi tænker paa, at disse Forestillinger ikke har vist sig i Stand til at gøre Rede for Straalingsfænomenerne, der netop er betinget af den intime Vekselvirkning mellem de fra Elektronernes Bevægelse hidrørende elektriske og magnetiske Kraftvirkninger. Hyordarr disse Vanskeligheder end skal løses, ligger imidlertid den Antagelse nær, at en Optræden af Magnetisme som den, vi møder hos Stofferne i den 4de Periode i Grundstoffernes System, er betinget af en Mangel paa Symmetri i Atombygningen, hvorved de fra Elektronernes Bevægelse hidrørende magnetiske Kræfter hindres i at danne et System af lukkede, indenfor Atomerne selv forløbende Kraftlinier. Medens vi for Stofferne indenfor de forudgaaende Perioder i Systemet har antaget, at Ionerne, hvad enten de er positivt eller negativt ladede, indeholder Elektronkonfigurationer af udpræget symmetrisk Karakter, maa vi netop være forberedt paa at møde en udtalt Mangel paa Symmetri i Elektronkonfigurationen hos Ionerne af de Stoffer indenfor den 4de Periode, der indeholder en Elektrongruppe med 3-kvantede Baner, der befinder sig paa et Overgangstrin mellem en symmetrisk Konfiguration med henholdsvis 8 og 18 Elektroner. Som paapeget af *Kossel*, udviser de eksperimentelle Resultater en overordentlig Simpelhed, idet det magnetiske Moment hos Ionerne af de påagældende Grundstoffer er det samme hos Ioner, der indeholder det samme Antal Elektroner; f. Eks. udviser Ferri-Ioner samme Atommagnetisme som Mangano-Ioner, medens Mangani-Ioner udviser samme Atommagnetisme som Kromo-Ioner. I smukkeste Overensstemmelse med, hvad der oven-

for blev antaget om Bygningen af Atomerne hos Kobber og Zink, viser det sig nu, at Magnetismen netop forsvinder hos Ioner med 28 Elektroner, der som nævnt maa antages at indeholde en fuldstændig Gruppe af 3-kvantede Baner. I det hele giver Betragtninger af de magnetiske Egenskaber hos Stofferne indenfor den 4de Periode os en levende Forestilling om, hvordan vi hos de paagældende Stoffer iagttager et Saar i Atomernes ellers meget symmetriske indre Bygning, der, naar vi vandrer fra Stof til Stof, ses saavel at udvikles som at heles, og det maa forventes, at den nærmere Undersøgelse af de magnetiske Forhold vil kunne give en Ledetraad for den nøjere Forfølgning af den Maade, hvorpaa Udviklingen af Elektrongruppen af 3-kvantede Baner foregaar Skridt for Skridt.

Hvis vi vender os til Spørgsmaalet om Ionernes Farve, faar vi her en tilsvarende direkte Støtte for den udviklede Opfattelse af Atombygningen. Efter Kvanteteoriens Postulater maa vi tænke os, at Absorption saavel som Emission af Straaling foregaar ved Overgang mellem to stationære Tilstande. Optræden af Farver, d. v. s. Absorption af Lys svarende til det synlige Spektralomraade, lærer os derfor om Overgangsprocesser, der kan foregaa i Atomet, og som er ledsaget af Energiændringer af samme Størrelsesorden som de, vi iagttager i Stoffernes sædvanlige optiske Spektre. I Modsætning til Ionerne hos Elementerne af de foregaaende Perioder, hvor alle Elektronerne maa antages at være meget fast bundne, er Muligheden af saadanne Processer netop, hvad vi kan vente for Ionerne af de omhandlede Stoffer i den 4de Periode; thi, som vi har set, vil Udviklingen og Kompletteringen af Gruppen af Elektroner med 3-kvantede Baner foregaa saa at sige under Kappestrid med en Elektronbinding i højere-kvantede Baner, idet Antallet af optrædende 3-kvantede Baner netop er betinget af, at Elektronerne i disse Baner er bundne fastere end Elektroner i 4₁ Baner, og Udviklingen af den paagældende Gruppe vil derfor foregaa lige til det Punkt, hvor der saa at sige er Ligevægt mellem Bindingen i de to Slags Baner. Dette Forhold maa antages ikke alene at have nøjeste Forbindelse med Ionernes Farver, men ogsaa med de paagældende Stoffers Tilbøjelighed til at danne Ioner med flere forskellige Ladninger i Modsætning til Stofferne af de første Perioder, hvor Ladningen af Ioner i vandige Opløsninger altid er den samme for et og samme Stof.

For de paafølgende Perioder af Grundstoffernes System udvikler alle Betragtningerne sig nu af sig selv i fuldkommen Analogi med det, der hidtil er sagt. Ser vi saaledes paa de første Stoffer indenfor den 5te Periode, maa vi tænke os, at den 37te og 38te Elektron bindes i 5_1 Baner, hvad ogsaa en Undersøgelse af Rubidiums Buespektrum og Strontiums Gnistspektrum bekræfter. Som det sidste Spektrum viser, melder Baner 4_3 sig dog hurtigt, og i den paagældende Periode, der ligesom den 4de indeholder 18 Grundstoffer, maa vi tænke os, at vi er Vidne til Tilbagelæggelsen af et Stadium i Udviklingen af Elektrongruppen med 4-kvantede Baner. Denne Gruppe, hvis Dannelses første Stadium kan siges at være tilbagelagt i Krypton ved Optræden af en symmetrisk Konfiguration af 8 Elektroner bestaaende af to Undergrupper med hver fire Elektroner i 4_1 og 4_2 Baner, maa i Sølv tænkes at have opnaaet en anden foreløbig Afslutning ved Optræden af en symmetrisk Konfiguration af 18 Elektroner, bestaaende af tre Undergrupper med hver seks Elektroner i Baner af Typerne 4_1 , 4_2 og 4_3 . Alt hvad vi har sagt om Omdannelsen af Elektrongruppen med 3-kvantede Baner gælder nemlig uforandret for det omhandlede Stadium af Omdannelsen af Gruppen med 4-kvantede Baner, idet vi paa intet Punkt har gjort Brug af de absolute Værdier af Kvantetallene eller af nærmere Antagelser om Banernes Form, men blot om Antallet af mulige Banetyper, der kunde komme i Betragtning. Paa samme Tid er det af Interesse at nævne, at de paagældende Elementers Egenskaber, sammenlignet med dem af den foregaaende Periode, dog viser en Forskel, der netop svarer til, hvad man skulde vente efter den antagne Forskel i Banetyperne. I den femte Periode kommer saaledes Forskellen fra de for Stofferne i den anden og tredie Periode karakteristiske Valensforhold senere for Dagen end hos Stofferne i den fjerde Periode; medens et Stof som Titan i den fjerde Periode allerede viser en udpræget Tilbøjelighed for at optræde med forskellige Valenser, er et Stof som Zirkon endnu rent firevalent ligesom Kulstof i den anden Periode og Silicium i den tredie. En simpel Undersøgelse af Elektronbanernes kinematiske Forhold viser nu netop, at en Elektron i en ekscentrisk 4_3 Bane hos et Stof i den femte Periode vil være betydelig løsere bundet end en Elektron i en cirkulær 3_3 Bane hos det tilsvarende Stof i den fjerde Periode, medens Elek-

troner, som i disse Stoffer er bundne i ekscentriske Baner af henholdsvis 5_1 og 4_1 Typen vil svare til en omtrentlig lige fast Binding.

Ved Afslutningen af den 5te Periode maa vi tænke os, at vi i *Xenon*, der har Atomnummeret 54, møder en Konfiguration, hvor der foruden de omtalte Konfigurationer af to 1-kvantede, otte 2-kvantede, atten 3-kvantede og atten 4-kvantede Baner optræder en symmetrisk Konfiguration af 8 Elektroner i Baner, bestaaende af to Undergrupper med hver 4 Elektroner i henholdsvis 5_1 og 5_2 Baner. Betragter vi Atomerne hos Stoffer med endnu højere Atomnumre, maa vi først og fremmest, som Spektrene af *Cæsium* og *Barium* lærer os, antage, at i disse Metalleres Atomer den 55nde og 56nde Elektron bindes i 6_1 Baner; men vi maa nu være forbedret paa snart at træffe helt nye Forhold. Vi maa nemlig vente, at der med stigende Kerneladning ikke alene vil komme et Øjeblik, hvor en Elektron i en 5_3 Bane vil være bunden fastere end i en 6_1 Bane; men vi maa ogsaa vente, at det Øjeblik vil komme, hvor under Atomets Dannelse den 47nde Elektron ikke mere vil indfanges i en 5_1 Bane, men hvor en 4_4 Bane vil repræsentere en fastere Binding af denne Elektron, ganske paa samme Maade som vi ved Stofferne af den tredje Gruppe mødte det Øjeblik, hvor for første Gang den 19de Elektron bandtes i en 3_3 Bane i Stedet for i en 4_1 Bane. Er vi naaet til dette Punkt, maa vi vente med stigende Atomnummer at møde en Række paa hinanden følgende Stoffer, der ligesom Stofferne i Jernmetallernes Familie har meget nær de samme Egenskaber, kun at dette Forhold vil fremtræde i endnu højere Grad, fordi vi her har at gøre med den successive Omdannelse af en Elektronkonfiguration, der befinder sig dybere inde i Atomet. De vil allerede have forstaaet, at hvad jeg sigter til er en simpel Fortolkning af Optræden af de saakaldte sjældne Jordarters Familie i Begyndelsen af den 6te Periode indenfor Grundstoffernes System. Ligesom ved den tidligere betragtede Omdannelse og Komplettering af Gruppen med 3-kvantede Baner i Systemets 4de Periode og den delvise Komplettering af Gruppen med 4-kvantede Baner i den 5te Periode, kan vi her umiddelbart ud fra Længden af den 6te Periode paa Forhaand være sikre paa Antallet af Elektroner, nemlig 32, der indgaar i den betragtede Gruppe af Elektroner med 4-kvantede Baner efter denne Gruppens endelige Udvikling. I Analogi med hvad

der gjaldt for Gruppen af 3-kvantede Baner, ligger den Slutning nær, at den færdige Gruppe vil indeholde 8 Elektroner i hver af de fire Undergrupper. Selv om det endnu ikke har været muligt at følge Gruppens Udvikling Skridt for Skridt, kan vi imidlertid ogsaa her allerede ud fra simple Betragtninger finde Støttepunkter for en teoretisk Forstaaelse af Optræden af en symmetrisk Konfiguration med netop dette Elektrontal. Jeg skal blot nævne, at det ikke er muligt uden Sammenfald af Baneplaner at opnaa et lignende simpelt Vekselspil mellem fire Undergrupper med hver seks Elektroner i en Banekonfiguration af trigonal Symmetri, som det der tilbyder sig for tre saadanne Undergrupper, samt at de Vanskeligheder, vi møder her ved, gør det sandsynligt, at et harmonisk Sammenspil netop kan opnaas for fire Grupper med hver 8 Elektroner, hvis Banekonfigurationer udviser aksial Symmetri.

Ligesom det var Tilfældet ved Jernmetallernes Familie i den 3die Gruppe, støttes den fremsatte Fortolkning af Fremkomsten af de sjældne Jordarters Familie paa interessant Maade af en Undersøgelse af disse Stoffers magnetiske Egenskaber. Til Trods for den store Lighed i kemisk Henseende viser saaledes Medlemmerne af den sidstnævnte Familie meget forskellige magnetiske Forhold, og medens nogle af dem kun viser ringe Magnetisme, viser andre et større magnetisk Moment pr. Atom end noget andet undersøgt Stof. Ogsaa for de ejendommelige Farver, hvormed Forbindelserne af de omhandlede Stoffer optræder, opnaar vi Mulighed for en simpel Fortolkning analog med de ved Omtalen af den 4de Periode fremsatte Betragtninger.

Foruden den endelige Udformning af Gruppen med 4-kvantede Baner iagttager vi hos Stofferne i den 6te Periode af Grundstofferne System det andet Stadium af Udformningen af Gruppen med 5-kvantede Baner i Fremkomsten af Platinmetallernes Familie, samt det første foreløbige Stadium i Udformningen af en Elektrongruppe med 6-kvantede Baner, nemlig hos den radioaktive, kemisk inaktive Luftart Niton, der danner Afslutningen paa denne Periode. I Atomets af dette Stof maa vi, foruden Elektrongrupper med henholdsvis to 1-kvantede, otte 2-kvantede, atten 3-kvantede, to og tredive 4-kvantede og atten 5-kvantede Baner, tænke os en ydre symmetrisk Konfiguration af otte Elektroner i 6-kvantede Baner, bestaa-

ende af to Undergrupper med hver fire Elektroner i henholdsvis 6_1 og 6_2 Baner.

Rent bortset fra den fundamentale Forskel, der ligger deri, at vi i Modsætning til Langmuirs statiske Modeller betragter Konfigurationer af Elektroner, der bevæger sig med store Hastigheder mellem hverandre paa en saadan Maade, at Elektronerne i de »ydre« Grupper under deres Omløb trænger ind paa Omraadet for Banerne af Elektronerne i de »indre« Grupper, vil det ses, at den Gruppedeling i Atomet, som vi ved direkte Betragtning af Atomernes Dannelse er blevet ført til f. Eks. for Niton, er væsentlig forskellig fra den Gruppedeling, der i Langmuirs Teori benyttes i Forsøget paa at fortolke Stoffernes Egenskaber. Paa lignende Maade som vi nævnte ved Spørgsmaalet om Forskellen mellem de kemiske Egenskaber af Stofferne i den 4de Periode af Grundstoffernes System og Egenskaberne hos Stofferne i de foregaaende Perioder antager saaledes Langmuir for at forklare Egenskaberne hos Stofferne i den 6te Periode, at Atomet udenom de indre Cellelag med henholdsvis 2, 8, 8, 18 og 18 Elektroner, der benyttes til at gøre Rede for Egenskaberne hos Stofferne i de tidligere Perioder, besidder et Lag af Celler med Plads til 32 Elektroner, der netop er udfyldt i Niton. [Tilføjelse efter Foredraget: Det er i denne Forbindelse af Interesse at nævne et nyligt udkommet Arbejde af Bury, som jeg lige har faaet Lejlighed til at gøre mig bekendt med, og som indeholder en interessant Gennemgang af Grundstoffernes kemiske Egenskaber, belyst ud fra lignende Forestillinger om Atombygningen som Lewis' og Langmuirs. Bury fremhæver med Styrke, at en Redegørelse for Egenskaberne hos Stofferne i de senere Perioder af Grundstoffernes System, langt naturligere end den af Langmuir foreslaaede, opnaas ved at antage, ikke alene at Fremkomsten af den 4de og 5te Periode i Systemet — i Lighed med hvad allerede Ladenburg havde foreslaaet — hidrører fra Komplettering af indre Elektrongrupper, men at ogsaa Fremkomsten af de sjældne Jordarters Familie i den 6te Periode hidrører fra en Komplettering af en indre Gruppe i Atomet; en Opfattelse som iøvrigt allerede Vegard har gjort sig til Talsmand for i Sammenhæng med sine Undersøgelser over Røntgenspektrene. Bury omtaler min første Note til »Nature«, hvori det her udviklede Billede af Atomet fremsattes i Hovedtræk,

uden at han dog tager Stilling til Spørgsmaalet om Aarsagen til Fremkomsten og Stabiliteten af de forskellige Grupper i Atomet.]

Betragter vi endelig den 7ende og sidste Periode i Grundstoffer-nes System, maa vi vente Optræden i Atomernes Normaltilstand af 7-kvantede Baner. I det neutrale R a d i u m-Atom vil der saaledes, foruden en Elektronkonfiguration svarende til den i Niton, optræde to Elektroner i 7_1 Baner, der under deres Omløb ikke alene vil trænge ind i Omraadet for Elektronbanerne med lavere Værdi for Hovedkvantetallet, men endda helt ind til Afstande fra Kernen mindre end Baneradierne af de inderste 1-kvantede Baner. Hvad Egenskaberne hos Stofferne i den 7ende Periode angaar, minder de meget om Egenskaberne hos Stofferne i den 5te Periode. I Modsætning til hvad der gjaldt for den 6te Periode optræder der i Begyndelsen af den 7ende Periode saaledes ikke Stoffer, hvis Egenskaber ligner hinanden paa en Maade, der svarer til Ligheden i kemisk Henseende mellem Medlemmerne af de sjældne Jordarters Familie. I nøje Analogi med hvad vi har sagt om Forholdet imellem Egenskaberne hos Stofferne i den 4de og 5te Periode, fortolkes dette Forhold simpelt derved, at en ekscentrisk 5_4 Bane vil svare til en betydelig løsere Binding af den 79nde Elektron i Atomet hos et Stof i den 7ende Periode end Bindingen af den 47nde Elektron i en cirkulær 4_4 Bane hos det tilsvarende Stof i den 6te Periode, medens der vil være en langt mindre Forskel paa Fastheden af Bindingen af de nævnte Elektroner i Baner af henholdsvis Typerne 6_1 og 5_1 .

Som bekendt er den 7ende Periode hidtil ikke afsluttet, idet intet Stof er fundet, der har et Atomnummer større end 92, hvad der antagelig hænger sammen med, at de sidste Stoffer i Systemet er radioaktive, og at Atomkerner med en samlet Ladning af mere end 92 ikke vil være tilstrækkelig stabile til at eksistere under Forhold, hvor Elementernes Egenskaber kan iagttages. Det kunde være fristende at søge at gøre sig Forestillinger om Bygningen af Atomer, dannede ved Indfangning og Binding af Elektroner omkring Atomkerner med saadanne højere elektriske Ladninger, og derigennem om de Egenskaber, der kunde ventes hos de dertil svarende hypotetiske Stoffer. Jeg skal imidlertid ikke komme nærmere ind herpaa, idet Arten af de Forestillinger, hvortil vi vilde blive ført, vil være Dem klar af de Betragtninger, jeg her har fremsat om Fortolkningen af

de virkelig iagttagne Stoffers Egenskaber. En Oversigt over Resultaterne af disse Betragtninger faar De maaske bedst ved følgende Tabel, der giver en skematisk Fremstilling af Forestillingerne om Atombygningen hos de inaktive Luftarter, der danner Afslutningen

Grundstof	Atomnum.	Antal af Elektroner i n_k Baner.																											
		1 ₁	2 ₁	2 ₂	3 ₁	3 ₂	3 ₃	4 ₁	4 ₂	4 ₃	4 ₄	5 ₁	5 ₂	5 ₃	5 ₄	5 ₅	6 ₁	6 ₂	6 ₃	6 ₄	6 ₅	6 ₆	7 ₁	7 ₂	7 ₃				
Helium .	2	2																											
Neon . .	10	2	4	4																									
Argon . .	18	2	4	4	4	4	—																						
Krypton	36	2	4	4	6	6	6	4	4	—	—																		
Xenon . .	54	2	4	4	6	6	6	6	6	6	—	4	4	—	—	—													
Niton . .	86	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6	—	—	4	4	—	—	—	—							
? . .	118	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	—	6	6	6	—	—	—	—	4	4	—			

paa de seks første Perioder i Grundstoffernes System. For at understrege Tendensen er yderligere angivet den formodentlige Elektronfiguration af det næste Atom, der vilde besidde lignende Egenskaber som Atomerne af de omhandlede Stoffer.

Før jeg forlader Spørgsmaalet om Fortolkningen af Grundstoffernes kemiske Egenskaber ud fra vort Billede af Atombygningen, vil jeg gerne endnu engang minde om, at de fremsatte Betragtninger hviler paa en Undersøgelse — baseret paa Kvanteteoriens Postulater — af de Processer, der maa tænkes knyttet til D a n n e l s e n af et Atom ved Indfangningen af Elektronerne en efter en. Det Hovedsynspunkt, der er lagt til Grund for denne Undersøgelse, finder sit Udtryk i det saakaldte Korrespondensprincip, der bag Kvanteteoriens Anvendelser lader ane en indre Sammenhæng af en lignende Art som den, der findes i de klassiske Forestillinger om elektrodynamiske Processer, der til Trods for deres udstrakte Anvendelighed paa mange fysiske Fænomener dog har vist sig ude af Stand til at gøre Rede for den af Stoffernes Egenskaber krævede Stabilitet hos Atombygningen. Selv om det har været muligt paa mange Punkter at uddybe Betragtningerne i betydelig højere Grad, end Tiden her har tilladt mig at give Dem noget Indtryk af, har man dog endnu ikke ved en direkte Anvendelse af Korrespondensprincippet kunnet forfølge alle

Stadier i Atomernes Dannelse paa en saadan Maade, at man f. Eks. kan sige, at de Resultater, der fremtræder i ovenstaaende Tabel, i alle Enkeltheder kan betragtes som det entydige Resultat af en saadan Anvendelse. Paa den anden Side synes det, at allerede den Tendens, der ligger i Betragtningerne, stiller de empiriske Data i et Lys, der næppe tillader nogen væsentlig anden Fortolkning af Stoffernes Egenskaber udfra Kvanteteoriens Postulater. Dette gælder ikke alene om Seriespektrene og deres nøje Sammenhæng med Stoffernes kemiske Egenskaber, til Betragtning af hvilke vi direkte førtes ved Undersøgelse af de Processer, der er knyttet til Atomernes Dannelse, men i fuldt saa høj Grad om Røntgenspektrene, hvis Betragtning fører os ind paa Undersøgelsen af indre-atomiske Processer af en helt anden Art. Som vi har nævnt, maa vi nemlig tænke os, at Udsendelsen af de sidste Spektre er knyttet til Processer, hvorved det færdigt dannede Atom reorganiseres efter en senere Forstyrrelse, frembragt i Atomets Indre ved ydre Kræfters Indgreb.

* *

*

For Røntgenspektrenes Vedkommende har det ligesom for Seriespektrene været muligt at opfatte Svingningstallene for de enkelte Linier som Differenser (Kombinationer) mellem en Række Spektraltermen karakteristiske for det betragtede Stof. Tydet ud fra Kvanteteoriens almindelige Frekvensbetingelse (1) skal vi derfor tænke os, at enhver Røntgenlinie fremkommer ved en Overgang mellem to blandt et vist Antal af stationære Tilstande af Atomet. Værdierne for Atomets Energi svarende til disse Tilstande benævner man ofte som de til Røntgenspektrene svarende »Energiniveauer«. Som allerede nævnt i Begyndelsen af Foredraget kommer den store Forskel imellem Røntgenspektrenes og Seriespektrenes Oprindelse imidlertid tydeligt for Dagen ved de forskellige Love, der gælder for Stoffernes Absorption af Straaling i Røntgenomraadet og i det optiske Omraade. Medens Absorptionen i det sidstnævnte Omraade under sædvanlige Forhold er knyttet til saadanne Linier i Seriespektrene, der svarer til Kombinationer mellem to Spektraltermen, hvoraf det ene er det størst forekommende — og derfor Absorptionen maa tilskrives en Proces, hvorved den sidst indfangne Elektron i Atomets fra sin Bane i dets Normaltilstand bringes over i en Bane, svarende til et tidligere

Stadium af Bindingsprocessen — viser Absorptionen i Røntgenomraadet sig at være knyttet ikke til selve Linierne i Røntgenspektrene, men til udstrakte Spektralomraader, der tager deres Begyndelse ved de saakaldte »Absorptionskanter«, hvis Svingningstal, i det mindste med stor Tilnærmelse, har vist sig netop at svare til de Termer, af hvis Kombination de enkelte Linier i Spektret fremgaar. Vi maa derfor tænke os, at Atomets ved Absorption fra Normaltilstanden kan bringes over til enhver blandt de stationære Tilstande, ved Overgang mellem hvilke Røntgenspektrets Linier udsendes, og for hvilke Atomets Energi svarer til de ovennævnte Niveauer. Vi skal nu se, hvorledes det Billede af Atombygningen, der er udviklet i det foregaaende, tillader en simpel Fortolkning af disse Forhold, naar vi spørger om, hvilke Ændringer i Atomets Tilstand der kan ventes frembragt ved Absorption af Straaling, og hvilke efterfølgende Udstraalingsprocesser en saadan Ændring kan give Anledning til.

At vi ved Bestraaling overhovedet kan ændre Bevægelsen af en Elektron i Atomets Indre maa først og fremmest tænkes at staa i nøjeste Forbindelse med den Karakter af Vekselspillet mellem Elektronerne indenfor de enkelte Grupper, som vi blev ført til ved Betragtning af Muligheden for Atomernes Dannelse ved Elektronernes successive Binding, og som — i Modsætning til Bevægelsesformer ved hvilke Elektronernes Stilling hvert Øjeblik udviser polygonal eller polyhedral Symmetri, — medfører, at de harmoniske Svingningskomponenter i de enkelte Elektroners Bevægelse i Almindelighed er repræsenteret i Atomets resulterende elektriske Moment. Dette bevirker nemlig, at det vil være muligt ved en Proces, der besidder den krævede Analogi med det Billede af en Absorptionsproces, som vilde svare til vore sædvanlige elektrodynamiske Forestillinger, at udløse en enkelt Elektron af Vekselspillet med de andre Elektroner i samme Gruppe. De Synspunkter, som vi har lagt til Grund for Fortolkningen af Elektrongruppernes Udformning og Afslutning under Atomets Dannelse, fører paa den anden Side med sig, at en Ændring af Atomets Tilstand, frembragt ved Bestraaling, lige saa lidt som en til Udsendelse af Straaling knyttet Ændring i Elektronernes Bevægelse, kan resultere i Optagelsen af en ny Elektron i nogen Gruppe i Atomets forud afsluttet Karakter. Dette betyder, at en Elektron, der tilhører en af Atomets indre Grupper, ved en Absorptionsproces — dersom den ikke fuldstændigt frigøres fra Atomets — kun kan overføres til en Gruppe

af uafsluttet Karakter eller til en Bane, hvor Elektronen under Størstedelen af sit Omløb bevæger sig i en Afstand fra Kernen, der er stor i Forhold til de andre Elektroners Afstande. Paa Grund af de særegne Stabilitetsforhold, der, som vi har set, behersker Optræden af ufuldstændige Grupper i det Indre af Atomet, vil imidlertid den Energi, der er nødvendig for Overførelsen af en Elektron til en saadan Gruppe, i Almindelighed kun afvige meget lidt fra den, der kræves til at fjerne vedkommende Elektron fuldstændigt fra Atomet. I første Tilnærmelse kan vi derfor sige, at de til Absorptionskanterne svarende Energiniveauer lærer os om det Arbejde, der skal til for at fjerne en Elektron i en af de indre Grupper fuldstændigt fra Atomet. Hvad dernæst Fremkomsten af Røntgenspektrenes Emissionslinier ved Overgange mellem de til disse Niveauer svarende Tilstande i Atomet angaar, giver de omhandlede Synspunkter os et tilsvarende Grundlag for Forstaaelsen af Iagttagelserne. Den ovenfor beskrevne Form af Vekselspillet mellem Elektronerne i Atomets Grupper fører nemlig med sig, at enhver Elektron i Atomet saa at sige er forberedt paa, uafhængig af de andre Elektroner i samme Gruppe, at gribe enhver Lejlighed, der tilbyder sig for en fastere Binding ved Optagelse i en Elektrongruppe med Baner svarende til mindre Værdier for Hovedkvantetallet. Ud fra de Synspunkter, vi har lagt til Grund for Atomets Opbygning, er det imidlertid indlysende, at en saadan Lejlighed er til Stede, saasnart en Elektron er fjernet fra en af disse Grupper.

Samtidig med, at det omhandlede Billede af Atomet saaledes utvungent fører til en Opfattelse af Røntgenspektrenes Fremkomst og Absorptionsforhold, der stemmer nøje overens med de Synspunkter, ud fra hvilke Kossel paa formel Maade har søgt at fortolke Iagttagelserne, tillader det at give en simpel Forstaaelse af de kvantitative Relationer gældende for Røntgenliniernes Svingningstal, som Moseleys og Sommerfelds Undersøgelser har lært os at kende. Som vi har set, bragte disse Undersøgelser en ejendommelig og overraskende Lighed for Dagen mellem Røntgenspektret af et givet Stof og det Spektrum, der maatte ventes at fremkomme ved Atomkernens Binding af en enkelt Elektron. Denne Lighed forstaaes umiddelbart, naar vi tænker paa, at der i Atomets Normaltilstand vil findes Elektroner i Baner, der, med en vis Begrænsning, svarer til alle Stadier af en saadan Bindingsproces, samt at der, naar en Elek-

tron er fjernet fra sin oprindelige Plads i Atomet, indenfor det forstyrrede Atom vil kunne udløses Processer, der svarer til alle af Korrespondensprincippet tilladte Overgange mellem disse Stadier. Disse Omstændigheder bringer os med et Slag ud over de Vanskeligheder, som man tilsyneladende møder, dersom man forsøger at gøre Rede for Røntgenspektrenes Fremkomst ved Hjælp af et Billede af Atomet, egnet til en Fortolkning af Grundstoffernes periodiske System. Denne Vanskelighed har været følt i den Grad, at den f. Eks. har ført Sommerfeld til i sine senere Arbejder at antage, at Elektronfigurationerne i de forskellige Atomer af et og samme Stof allerede under sædvanlige Omstændigheder kan være forskellige. Idet han i Modsætning til vore Forestillinger tænker sig, at alle Elektronerne i Atomets Hovedgrupper bevæger sig i ækvivalente Baner, tvinges han nemlig til at antage, at disse Grupper i de forskellige Atomer er forskelligt udformede, svarende til forskellige mulige Typer af Baneformer. En saadan Antagelse forekommer imidlertid uforenelig med en Fortolkning af den bestemte Karakter af Stoffernes karakteristiske fysiske og kemiske Egenskaber og staar, som det vil ses, i den mest iøjnefaldende Modstrid med de Synspunkter om Atomernes Stabilitetsforhold, der er lagt til Grund for det her fremsatte Billede af Atombygningen.

Det er i denne Forbindelse af Interesse at fremhæve, at Gruppedelingen af Elektronerne i Atomet, — som i Overensstemmelse med vort Billede af Atombygningen ligger til Grund saavel for Fortolkningen af det periodiske System som af Klassificeringen af Linierne i Røntgenspektrene, — iøvrigt ytrer sig paa helt forskellig Maade i de kemiske Egenskaber og de røntgenspektroskopiske Fænomener. Medens den karakteristiske Ændring af de kemiske Egenskaber med Atomnummeret skyldes den gradvise Udformning og Komplettering af Grupperne af de løse bundne Elektroner, har den for Røntgenspektrene karakteristiske Mangel paa saa at sige ethvert Spor af en periodisk Ændring med Atomnummeret sin Grund ikke alene deri, at Elektronkonfigurationen for de afsluttede Grupper Vedkommende, hvad de optrædende Banetyper angaar, gentages uforandret for stigende Atomnummer, men lige saa meget i den gradvise Maade, hvorpaa de uafsluttede Grupper ifølge vore Betragtninger udformes, og som har til Følge, at en Banetype, fra det Øjeblik hvor den for første

Gang optræder i Normaltilstanden af det neutrale Atom, stadig vil optræde i denne Tilstand og vil svare til en Binding af de paagældende Elektroner, hvis Fasthed vokser jævnt med Atomnummeret. Den Udformning af Grupperne i Atomet med stigende Atomnummer, der behersker Stoffernes kemiske Egenskaber, kommer i Røntgenspektrene derfor kun direkte for Dagen ved Optræden af nye Linier i Spektrene, efterhaanden som der i Atomet optræder Elektronbaner af nye Typer. Til en Forbindelse af denne Art mellem det periodiske System og Røntgenspektrene har allerede Swinne henvist i Tilknytning til Kossels Teori. [Tilføjeelse efter Foredraget: Som Hr. Coster venligt har meddelt mig, har han i den sidste Tid i Sammenhæng med Fortsættelsen af sine nedenfor omtalte, betydningsfulde Undersøgelser over Røntgenspektrenes formelle Udredning opnaaet Resultater, der paa interessant Maade synes at støtte de Antagelser om den gradvise Udformning af Elektrongrupperne i Atomet, som faar deres Udtryk i den i Tabellen paa Side 60 antydede Opbygning af de inaktive Luftarters Atomer]. Iøvrigt kan vi kun for saadanne røntgenspektroskopiske Fænomener, hvor Forholdene ved Atomets »Overflade« kommer direkte i Betragtning, vente nogen nærmere Forbindelse mellem disse Fænomener og Stoffernes kemiske Egenskaber. I Overensstemmelse med hvad der er bragt for Dagen ved Undersøgelser over Absorptionen af Røntgenstråler i Stoffer af lavere Atomnummer, som i de sidste Aar er udførte i det fysiske Laboratorium i Lund, forstaar vi saaledes umiddelbart, at Absorptionskaternes Beliggenhed og eventuelle Struktur i nogen Grad afhænger af den fysiske og kemiske Tilstand, hvori det undersøgte Stof befinder sig, medens en saadan Afhængighed ikke gør sig gældende for de karakteristiske Emissionslinier i Røntgenspektrene.

Ved et Forsøg paa en nærmere Fortolkning af Iagttagelserne ud fra vore Forestillinger om Atombygningen møder vi Spørgsmaalet om, hvilken Indflydelse Tilstedeværelsen af de andre Elektroner i Atomet vil have paa Fastheden af Bindingen af en Elektron i en bestemt Banetype. Denne Indflydelse vil, som man umiddelbart ser, være mindst for de indre Dele af Atomet, hvor for enhver Elektron Kernens Tiltrækning er stor i Forhold til Frastødningen fra de andre Elektroners Side. Det maa i denne Forbindelse ogsaa erindres, at medens den relative Indflydelse af de andre Elektroners Tilstede-

værelse paa Bindingens Fasthed med voksende Kerneladning vil af-tage, vil Virkningen af Elektronmassens Foranderlighed med Hastig-heden paa Bindingens Fasthed, saaledes som det fremgaar af S o m - m e r f e l d s Formel (11), vokse stærkt, naar Kerneladningen til-tager. Medens vi derfor for de Niveauer, der svarer til Fjernelsen af en af de inderste Elektroner i Atommet, faar en nogenlunde god Over-ensstemmelse allerede ved Brug af den simple Formel (11), er det imidlertid for blot en tilnærmet Redegørelse for de Niveauer, der svarer til en Fjernelse af en Elektron fra en af de ydre Grupper i Atommet, nødvendigt at tage de andre Elektroners Indflydelse i Be-tragtning. Til Gengæld byder imidlertid netop denne Omstændighed os en Mulighed for ved Hjælp af Røntgenspektrene at faa Oplysnin-ger om Elektronfigurationerne i Atomernes Indre. Over dette Spørgs-maal er der anstillet talrige indgaaende Undersøgelser saavel af S o m - m e r f e l d og hans Elever, som af D e b y e, V e g a r d og andre. I denne Forbindelse kan det ogsaa bemærkes, at d e B r o g l i e og D a u v i l l i e r i et nylig offentliggjort Arbejde har ment i det eks-perimentelle Materiale at kunne finde Støttestrukturer for Antagelser om Elektrontallene i Atomets Grupper, til hvilke D a u v i l l i e r var blevet ført ved lignende Betragtninger over det periodiske System, som de der er blevet fremsat af L a n g m u i r og L a d e n b u r g. Ved de i Sammenhæng med disse Undersøgelser udførte Beregninger er det antaget, at Elektronerne i de forskellige Grupper af Atommet bevæger sig i adskilte koncentriske Omraader af dette, saaledes at Virkningen af Tilstedeværelsen af Elektronerne i indre Grupper paa Bevægelsen af Elektronerne i ydre Grupper i første Tilnærmelse maa ventes at bestaa i en simpel »Afskærmning« af den fra Kernen udgaaende Tiltrækning. Paa Grundlag af et Billede af Atombygningen som det her fremsatte stiller Forholdene sig imidlertid væsentlig anderledes, idet det for Beregningen af Elektronbindingens Fasthed er nødvendigt at tage Hensyn til, ikke alene at Elektronerne i de løsere bundne Grupper under Størstedelen af deres Omløb bevæger sig udenom de fastere bundne Elektroners Baner, men ogsaa at Elektronerne i Al mindelighed under en vis Brøkdelen af deres Omløb vil trænge ind i Omraadet for Elektronbanerne i de fastere bundne Grupper. Paa Grund af denne sidstnævnte Omstændighed, hvis Indflydelse vi har set Eksempler paa ved Betragtningen af Seriespektrene, kan vi ikke

vente at gøre Regnskab for Fastheden af Bindingen af de enkelte Elektroner ved en simpel »Afskærmningskorrektion«, bestaaende i et Fradrag af en konstant Størrelse i Værdien for N i saadanne Formler som (5) og (11). Hertil kommer endvidere, at man ved Beregning af det til Energiniveauerne svarende Arbejde maa tage Hensyn ikke alene til Vekselvirkningen mellem Elektronerne i Atomets Normaltilstand, men ligeledes til de Ændringer i de øvrige Elektroners Konfiguration og Vekselvirkning, der uden Udsendelse af Straaling indstiller sig automatisk under den paagældende Elektrons Fjernelse fra sin Plads i Atomet. Selv om saadanne Beregninger endnu ikke er gennemført med nogen større Tilnærmelse, har en foreløbig Undersøgelse dog allerede vist, at det er muligt tilnærmelsesvis at gøre Rede for de eksperimentelle Resultater ud fra de Antagelser om Elektronkonfigurationernes Beskaffenhed, som Betragtningerne over Atomernes Dannelse har ført os til.

Uafhængig af Spørgsmaalet om Udformningen af bestemte Forestillinger om Atombygningen er det i den allersidste Tid lykkedes ved en formel Anvendelse af Kossels og Sommerfelds Teorier paa detailleret Maade at gøre Rede for det store Iagttagelsesmateriale angaaende Røntgenspektrene og de til disse svarende Niveauer, der først og fremmest er fremskaffet ved de nøjagtige Maalinger af disse Spektre, der i de sidste Aar er udført af Siegbahn og hans Medarbejdere. Ved denne Udredelse af Erfaringsmaterialet, i hvilken foruden Sommerfeld og hans Elever, navnlig Smekal og Coster har taget Del, er man saaledes ført til Erkendelsen af Muligheden for en fuldstændig Klassifikation af de til Røntgenspektrene svarende Energiniveauer, baseret paa en formel Henføring til Bantyper, karakteriseret ved to Kvantetal n og k , samt til Opstillingen af bestemte Regler for Kombinationsmulighederne mellem de saaledes klassificerede Niveauer. Herigennem er der naaet flere Resultater af stor Interesse for den nærmere Belysning af Røntgenspektrenes Fremkomst. For det første har det ikke alene været muligt at finde Niveauer, der indenfor visse Grænser svarer til alle mulige Talpar for n og k , men det har vist sig, at der i Almindelighed til hvert saadant Talpar maa tilskrives mere end et Niveau. Dette Resultat, der i første Øjeblik kunde forekomme overraskende ud fra vort Billede

af Atombygningen, tillader imidlertid ved nærmere Betragtning en simpel Fortolkning. Vi maa nemlig, som ovenfor berørt, huske paa, at Niveauerne ikke alene er betinget af Atomets Konstitution i Normaltilstanden, men lige saa meget af de Elektronkonfigurationer, der optræder efter Fjernelsen af en af Elektronerne i Atomets Indre, og som i Modsætning til Normaltilstanden netop ikke besidder en entydig afsluttet Karakter. Betragter vi saaledes en Proces, hvorved en af Elektronerne i en Gruppe (Undergruppe) fjernes, maa vi derfor være forberedt paa, at Banerne af de resterende Elektroner i denne Gruppe efter Processen vil kunne være orienteret paa mere end en Maade i Forhold til hverandre i Konfigurationer, der opfylder de af Kvanteteorien til stationære Tilstande stillede Krav. En saadan Opfattelse af Niveaurnes Komplexitet tillader, som en nærmere Betragtning viser, ogsaa netop at gøre Rede for den Maade, hvorpaa Afstandene mellem sammenhørende Niveauer varierer med Atomnummeret. Uden at forsøge at danne sig nogen nærmere udformet Forestilling om Atomets Bygning har allerede S m e k a l diskuteret Muligheden af at gøre Rede for Mangfoldigheden af de iagttagne Niveauer. Foruden at henvise til den Mulighed, at de enkelte Elektroner i Atomets Hovedgrupper, ligesom det her er antaget, ikke bevæger sig i ækvivalente Baner, foreslaar S m e k a l Indførelsen af tre Kvantetal til Beskrivelsen af Elektronkonfigurationerne i Atomets forskellige Grupper, men angiver ikke nærmere, hvorvidt disse Kvantetal skal opfattes som karakteriserende en Komplexitet i Bygningen af Grupperne i Normaltilstanden selv eller af saadanne Grupper af ufuldstændig Karakter, der optræder i Atomer, hvorfra en Elektron er fjernet ved ydre Indgreb.

Den her fremsatte Opfattelse af R ø n t g e n n i v e a u e r n e s Kom p l e x i t e t vil ses at udvise nøje Analogi med den i det foregaaende omtalte Fortolkning af Komplexiteten af Seriespektrenes Termer. Mellem den med Niveaurnes Komplexitet sammenhængende finere Struktur af Røntgenspektrene og den omhandlede sammensatte Bygning af Linierne i Seriespektrene er der dog den Forskel, at der i Røntgenspektrene — i Modsætning til hvad der under sædvanlige Omstændigheder gælder for de sidstnævnte Spektre — ikke alene forekommer Kombinationer mellem Spektraltermer (Niveauer), for hvilke Værdien af k varierer med en Enhed, men ogsaa imellem Termer, der svarer til samme Værdi af k . Dette maa antages at hid-

røre fra, at vi i Røntgenspektrene i Modsætning til Seriespektrene har at gøre med Overgange mellem stationære Tilstande, hvor baade før og efter Overgangen den Elektron, til hvis Bevægelsesændring Straalingsudsendelsen er knyttet, deltager i intimt Vekselspil med andre Elektroner i Baner med samme Hovedkvantetal. Selv om dette Vekselspil maa antages at være af saadan Beskaffenhed, at de Svingningskomponenter, der vilde fremtræde i en enkelt af Elektronernes Bevægelser uden de andres Nærværelse, i Almindelighed ogsaa vil optræde i Atomets resulterende Moment, maa vi nemlig vente, at Vekselvirkningen mellem Elektronerne vil give Anledning til Optræden i dette Moment af Svingningskomponenter af nye Typer. Samtidig med at dette Forhold giver en Forstaaelse af, at det, som Niveauernes Komplexitet viser os, er muligt ved en Straalingsproces paa mere end en Maade at udløse en Elektron af Vekselspillet med de andre i samme Undergruppe i ækvivalente Baner bundne Elektroner, tilbyder det os et Udgangspunkt for at gøre Rede for de iagttagne Kombinationer mellem Niveauerne.

Jeg skal her indskrænke mig til disse Antydninger af den Fortolkning, som de fremsatte Betragtninger over Atombygningen synes at tilbyde for de røntgenspektroskopiske Fænomener, men idet jeg afslutter dette Foredrag, vil jeg gerne endnu en Gang understrege den nøje Forbindelse mellem denne Fortolkning og de forudgaaende Betragtninger vedrørende Fortolkningen af Stoffernes karakteristiske kemiske Egenskaber, saaledes som de kommer til Syne i Grundstoffernes periodiske System. Den Omstændighed, at det er en ganske tilsvarende Anvendelse af Kvanteteorien paa Kerneatomets Stabilitetsforhold, som vi ved Fortolkningen af de to Slags Fænomener har gjort Brug af, er nemlig et Punkt af største Vægt for Bedømmelsen af Betragtningernes Realitet; thi Berettigelsen af at benytte Betragtninger over Atomernes *D a n n e l s e*, ved den første Indfangning af Elektronerne en efter en, som en Hovedledetraad ved Udforskningen af Atombygningen kunde paa Forhaand forekomme tvivlsom, dersom saadanne Betragtninger ikke lod sig bringe i utvungen Overensstemmelse med Betragtninger over Atomets *R e o r g a n i s a t i o n* efter en senere Forstyrrelse i det Indre af det færdigt dannede Atom frembragt ved ydre Indgreb. Selv om der maaske saaledes kan paapeges

en vis indre Sammenhæng i de Forestillinger om Atombygningen, som jeg har søgt at give Dem et Indblik i, behøver jeg dog neppe at fremhæve Betragtningernes uafsluttede Karakter ikke alene hvad Udarbejdelsen af Enkeltheder, men ogsaa hvad Underbygningen af de almindelige Synspunkter angaar. Der synes imidlertid ikke at tilbyde sig nogen anden Vej til Fremtrængen paa Atomspørgsmaalets Omraade end den, som man hidtil har fulgt, nemlig at lade Arbejdet paa Udviklingen af vore Forestillinger i de to nævnte Retninger følges ad Haand i Haand.
