

Denne fil er downloadet fra  
**Danmarks Tekniske Kulturarv**  
*[www.tekniskkulturarv.dk](http://www.tekniskkulturarv.dk)*

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

### **Rettigheder**

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på  
*[www.tekniskkulturarv.dk/about](http://www.tekniskkulturarv.dk/about)*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *[tekniskkulturarv@dtu.dk](mailto:tekniskkulturarv@dtu.dk)*











BOHRS ATOMTEORI

539.1 Hol

1922

DANMARKS  
TEKNISKE BIBLIOTEK







*Niels Bohm*





HELGE HOLST OG H. A. KRAMERS

# BOHRS ATOMTEORI

ALMENFATTELIGT FREMSTILLET

MED 32 FIGURER  
OG 2 FARVETRYKTE TAVLER



---

GYLDENDALSKE BOGHADEL - NORDISK  
FORLAG - KJØBENHAVN - KRISTIANIA  
LONDON - BERLIN - MDCCCXXII

1922

IN OETNOT

COPYRIGHT 1922 BY  
GYLDENDALSKE BOGHANDEL, NORDISK  
FORLAG, COPENHAGEN

OPLAG: 2000 EKSEMPLARER

GYLDENDALS FORLAGSTRYKKERI  
KJØBENHAVN



## FORORD

**I** Tiden omkring Aarhundredskiftet havde Kendskabet til den Virksomhed, der foregaar i Stoffets Indre, gennemløbet en Udvikling, som oversteg de dristigste Forventninger, det 19. Aarhundredes Fysikere og Kemikere kunde nære. Kemiens mindste Stofdele, Grundstofatomerne, som man hidtil kun havde nærmet sig ad Tankens Veje, var saa at sige blevet haandgribelige Realiteter, der kunde tælles og fotograferes; man havde opdaget Eksistensen af Stofdele, de saakaldte Elektroner, 2000 Gange saa lette som det mindste Grundstofatom; man havde erkendt, at Atomerne paa ingen Maade var udelelige, men at de bestod af lette negativ elektriske Atomer og tungere positiv elektriske Kerner; gennem den elektrodynamiske Elektronteori havde man bragt Læren om Stoffets Bygning i inderlig Forbindelse med Læren om Straalingsvirksomheden i Æteren; og den saakaldte Kvanteteori kunde vække Haab om, at visse alvorlige Vanskeligheder, som var dukkede frem, lod sig overvinde. Saaledes syntes det, at Tiden var blevet moden for et Angreb paa det, som i Grunden altid har været Fysikkens endelige Maal: at udlede Stoffernes mangfoldige forskellige fysiske og kemiske Egenskaber af simple almene Love.

Et saadant Angreb blev for første Gang udført med Held, da den unge Dansker Niels Bohr i Aaret 1913 fremsatte en Teori, der ikke alene gav en overraskende simpel Forklaring af visse fysiske Forhold, overfor hvilke Fysikken indtil da havde staaet raadvild, men samtidig aabnede uanede Perspektiver for den fremtidige Forskning. De Grundtanker, hvorpaa han byggede, skræmmede imidlertid mange ved deres revolutionære Karakter, og Bohr maatte i den første Tid vandre sin Vej alene, ledet af sine omfattende Kundskaber, sin store Kombinationsevne og, ikke mindst, sit sikre Instinkt. Saa kom der andre til, som erkendte Teoriens Rækkevidde og Frugtbarhed, og som hjalp at bane nye Veje. En Tid kunde det maaske endog se ud, som om Bohr var blevet bagud; men i Virkeligheden

søgte han fremad i Mørket langt forude. Først i den allersidste Tid er det blevet muligt at se, hvor langt han er naaet, og hvilket Størværk han har øvet. Det maa dog siges, at den store Opgave, Bohr har stillet sig, endnu er langt fra sin fuldstændige Løsning, og Teorien befinder sig stadig i kraftig Udvikling. Nutidens fysiske Forskning staar saa at sige i den Bohr'ske Teoris Tegn.

Det er Hensigten i denne Bog at give Læserne et lille Indblik i de Grundtanker, som har ledet Bohr, og i nogle af de betydeligste Resultater, hans Teori har ført til. Da det herved drejer sig om et af de allerstørste og mærkeligste Fremskridt i Naturforskningens Historie, har vi ment, at mange udenfor Fysikernes Kreds kunde ønske at vinde et saadant Indblik, ogsaa af den Grund, at det er en dansk Mand, som her har været Foregangsmand og derved i Danmark skabt et Forskningscentrum, mod hvilket Verdens Øjne er rettet. Vi har derfor bestræbt os for at gøre Fremstillingen saa let tilgængelig som muligt. Baade i dette Øjemed og for at give den rette Baggrund for Vurderingen af Bohrs Værk har vi i de fire første Afsnit givet en kort Oversigt over Atomlærens Udvikling før Bohrs Teori og fremdraget forskellige andre fysiske Forhold, hvortil noget Kendskab er nødvendigt. Man kunde saa med en vis Ret sige, at Bogen omfatter andet og mere end Titlen angiver; men denne giver dog Udtryk for dens Hovedformaal.

Vi haaber ved den valgte Fremgangsmaade at have opnaaet, at Bogen kan forstaas uden fysiske eller matematiske Forkundskaber, i alt Fald ud over de elementæreste Skolekundskaber. Ganske vist træffer man hist og her en „matematisk Formel“, men den tjener da blot som Udtryk for en ganske simpel Sammenhæng mellem Talværdier af visse Størrelser, og Betydningen af de Bogstaver, der bruges som Betegnelse for disse Størrelser, vil altid fremgaa af Teksten. Til yderligere Hjælp findes der bag i Bogen en lille Oversigt over de brugte Tegn m. m. Uden et virkeligt Tankearbejde vil man dog ikke kunne faa det fulde Udbytte af Bogen.

Ogsaa blandt de Læsere, som møder med fysiske og matematiske Forudsætninger, men ikke har haft Tid til et dybere Studium af Bohrs Teori, vil der maaske være adskillige, hvem dette Forsøg paa at bygge Fremstillingen op paa bar Bund ikke vil være uvelkomment.

København, December 1922.



## INDHOLDSFORTEGNELSE

|                                                           | Side |
|-----------------------------------------------------------|------|
| I. Atomer og Molekyler .....                              | 11   |
| II. Lysbølgerne og Spektret .....                         | 31   |
| III. Ioner og Elektroner .....                            | 48   |
| IV. Kerneatomet .....                                     | 60   |
| V. Bohrs Teori for Brintspektret .....                    | 72   |
| VI. Forskellige Anvendelser af Bohrs Teori .....          | 99   |
| VII. Atombygningen og Stoffernes kemiske Egenskaber ..... | 115  |
| Bohrs Institut .....                                      | 131  |
| Nogle Betegnelser og fysiske Konstanter m. m. ....        | 133  |

## FARVETAVLER

- I. Spektraltavler efter Bunsens og Kirchhoffs Originaltegninger.
- II. Hovedtræk af Atombygningen hos nogle Grundstoffer — Radiums Atombygning.





## I. ATOMER OG MOLEKYLER

ALLEREDE ca. 400 Aar f. Kr. lærte den græske Filosof *Demokrit*, at Verden kun bestod af det tomme Rum og uendelig mange usynlige smaa Dele, som var forskellige i Form og Størrelse, og ved deres Ordning og Bevægelser, deres Forening og Adskillelse var Aarsag til Dannelsen af Legemer med forskellige Egenskaber og til alle Forandringer. Denne Lære, som forøvrigt vistnok var ældre end *Demokrit*, blev senere betegnet som Atomlæren, idet Smaadelene kaldtes Atomer, d. v. s. de udelelige.

Den atomistiske Verdensopfattelse blev dog ikke den sejrende i Oldtiden. *Aristoteles* (384—322 f. Kr.), hvis vidtspændende Naturfilosofi i høj Grad prægede Oldtidens Naturopfattelse og i endnu højere Middelalderens, vendte sig direkte mod Atomistikken. Han benægtede Eksistensen af det tomme Rum og ansaa Stoffet for kontinuert, d. v. s. uafbrudt rumopfyldende. Denne Opfattelse kunde ogsaa synes at stemme bedst med den umiddelbare Iagttagelse, ifølge hvilken f. Eks. baade et Metal- og et Glasstykke, en Vand- og en Luftmængde synes at være Stofpartier af fuldstændig homogen (ensartet) Karakter uden Smaadele og Mellemrum. Da Smaadelene efter Atomlæren var usynligt smaa, kunde denne dog ikke modbevises af dette Indtryk, og Læren rummede Muligheder for en dybere Indtrængen i den fysiske Virksomhed. Naar Luft sammentrykkes og atter udvidede sig, naar Salt opløstes i Vand under Dannelse af en ny tilsyneladende homogen Vædske, Saltvand, naar Sølv smeltede i Varmen, naar Lyset ændrede Farve ved at passere gennem Vin, o. s. v., foregik der aabenbart noget i Stoffernes Indre. Men det absolut ensartede er det absolut begivenhedsløse, „uden Personer intet Drama“. Hvorledes skulde det være muligt at gøre Rede for eller overhovedet at danne sig bestemte Forestillinger om de indre Begivenheder, som laa til Grund for disse Tilstandsforandringer, hvis man ikke maatte tænke sig det, der foregik, som et Vekselstil mellem forskellige Dele af den tilsyneladende homogene Stofmasse, f. Eks. Luftens Rumfangsformindskelse som Resultatet af Smaadelenes Nærmen sig til hinanden, Saltets Opløsning i Vandet som Saltdelens Vandring ind



mellem Vanddelene og Forening med disse, Sølvets Smeltning som en Løsning af de enkelte Deles Sammenhold o. s. v.

Den Tanke, at Stoffet bestod af usynlige Smaadele, Atomer, var saaledes en sund fysisk Tanke, og den maatte virke tiltrækkende paa dem, der søgte at trænge bag det ydre Skin og at udtrykke ogsaa den bagliggende skjulte Virksomhed i Tal og Maal. Den atomistiske Opfattelse blev da heller aldrig helt overvundet. I Oldtiden forfægtedes den efter Aristoteles' Tid af *Epikur* (ca. 300 f. Kr.), der først skal have indført Navnet Atom, og af den romerske Digter *Lukrez* (ca. 75. f. Kr.), og selv i Middelalderen dukkede den frem hos enkelte selvstændigt tænkende Mænd, saaledes hos *Nicolaus de Autrucia*, der paastod, at al Naturvirksomhed kun var Forbindelse og Adskillelse af Atomer, men rigtignok ogsaa blev tvunget til at genkalde dette Kætteri (1348). Efter den nyere Fysiks Gennembrud med *Galilei* (omkring 1600) vandt atomistiske Anskuelser efterhaanden Udbredelse, snart udtrykkelig udtalte, snart som en mere eller mindre bevidst Baggrund for de paagældende Fysikers Teorier. Enkelte Forskere udviklede omfattende Atomteorier, hvor alt muligt søgtes forklaret ud fra ganske vilkaarlige Hypoteser og til Dels ganske grove og naive Forestillinger om Atomerne. Et saadant Forsøg blev omkring Midten af det 17. Aarhundrede gjort af *Pierre Gassendi* i Frankrig; han antog f. Eks. (ligesom Atomistikerne i Oldtiden) for at forklare Legemernes Fasthed krogformet bøjede Atomer, der kunde gribe ind i hinanden; Kulden ansaa han for et særligt Stof, hvis Atomer havde Form som Tetraedre, d. v. s. Legemer med 4 trekantede Sider og 4 Spidser, og det var disse Spidser, som frembragte den ejendommelige prikkende Kuldefornemmelse paa Huden. En langt dyberegaende Opfattelse af Atomerne træffer vi hundrede Aar senere hos Italieneren *Boscovich*. Ham stod det klart, at man ikke behøvede at forestille sig Atomerne i Lighed med Kugler, Terninger og andre skarpt begrænsede faste Legemer. Han tænkte sig dem som Punkter i Rummet, dog ikke blot som matematiske Punkter, men som „Kraftcentrer“, d. v. s. han antog, at de virkede paa hinanden med Kræfter, som forandrede sig med Afstanden fra Centret paa en ret sammensat Maade, hvorved det skulde blive muligt at gøre Rede for Stoffernes udviklede Forhold. Til saadanne indgaaende Atomteorier, der aabenbart var inspirerede af Newtons Lære om Afstandskræfter mellem de mindste Stofdele saa vel som mellem Kloderne, var Tiden dog endnu slet ikke moden; f. Eks. kendte man ikke noget fysisk Eksperiment, hvis Resultater med Sikkerhed kunde antages at give Udtryk for de enkelte Atomers Egenskaber.

*Atomteorien og Kemien.* Atomistiske Betragtninger af helt anden Art havde imidlertid haft en sund og afklarende Indflydelse inden-



for Kemien, hvor Atomteorien noget senere skulde vise sig overordentlig frugtbar. Særlig paa Kemiens Omraade, hvor det i allerhøjeste Grad drejede sig om Stoffernes „indre Liv,“ havde det været til megen Skade, at Aristoteles' Filosofi blev den herskende. Aristoteles havde optaget og videre udviklet den berømte Lære om de fire „Elementer“, den tørre og kolde Jord, det kolde og fugtige (flydende) Vand, den fugtige (flydende) og varme Luft og den varme og tørre Ild. Disse Elementer var imidlertid slet ikke, hvad man i Nutiden forstaar ved Elementer eller Grundstoffer; de var blot Repræsentanter

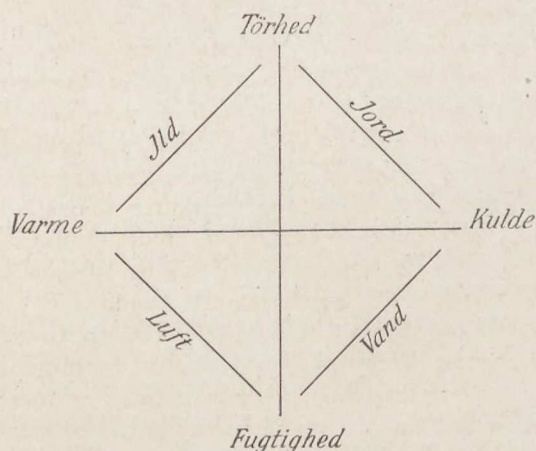


Fig. 1. De fire Elementer og de fire Grundegenskaber.

for forskellige Foreninger af de fire Egenskaber Tørhed og Fugtighed, Varme og Kulde, der ret vilkaarligt, snarest fordi der tilstræbtes en smuk Symmetri i Systemet, opstilledes som Grundegenskaber, ved hvis Blanding i forskellige Forhold alle Stoffernes Egenskaber skulde fremkomme. Hverken de fire Elementer eller de fire Grundegenskaber lod sig imidlertid klart og bestemt definere; det var vage Begreber, som man kunde tumle med i lange dialektiske Udviklinger, ikke fysiske Størrelser, som man kunde udtrykke i Tal og Maal. En Kemi, som havde sit teoretiske Grundlag i den græske Elementlære, maatte nødvendigvis arbejde i en Taage; utvivlsomt har den herfra stammende Uklarhed bidraget til, at det store Arbejde, der i Middelalderen blev sat ind paa kemiske Forsøg — særlig med det Formaal at forvandle de uædle Metaller til Guld — kun gav forholdsvis smaa Resultater. Naturligvis blev der dog gjort mange betydningsfulde kemiske Opdagelser, og Teorierne ændredes og udvikledes i Tidens Løb paa forskellige Maader; Middelalderens Alkymister lærte saaledes, at Metal kun bestod af Svovl og Kviksølv; men Opfattelsen af denne Teori var præget af den græske Elementlære,



som samtidig blev opretholdt; ogsaa disse nye „Metalelementer“ opfattedes i alt Fald af mange snarere som Udtryk for visse Sider af Metallernes Egenskaber end som bestemte Stoffer, identiske med de kendte Stoffer af dette Navn. Man maa dog vogte sig for at tillægge en enkelt Anskuelse for stor Indflydelse paa den historiske Udvikling af de kemiske og fysiske Videnskaber. Naar disse saa længe hæmmedes i Væksten, maa den dybere Aarsag hertil søges i den Autoritetstro og hele den ejendommelige psykologiske Indstilling, som i de Aarhundreder, der gik forud for Renæssancen, beherskede Tidens Tænkning i Vesterlandene.

En af dem, som særlig har Æren af at have nedbrudt de ældre af uklare filosofiske Betragtninger udsprungne Forestillinger om Elementer eller Grundstoffer og erstattet dem med en klarere og bestemtere Opfattelse af dette Begreb, er Englænderen *Robert Boyle* (1627—91). For ham var et Grundstof simpelthen et Stof, man ikke ved nogen Behandling kunde sonderdele i andre Stoffer, men vel forene med andre Grundstoffer til kemiske Forbindelser, som havde helt andre Egenskaber, og som med dertil egnede Hjælpemidler atter kunde opløses i de Grundstoffer, hvorfra de var dannet. Utvivlsomt staar Boyles klarere Opfattelse af denne Sag i nøje Sammenhæng med, at hans Forestillinger om Stoffet var af atomistisk Art. Efter Atomlæren bestaar de kemiske Processer ikke i en Forvandling af Stof, men i en Adskillelse eller Forening af Stofdele; naar der f. Eks. af Svovl og Jærn tilsammen fremkommer et nyt Stof, Svovljærn, med helt andre Egenskaber, saa er i dette de Svovlatomer og Jærnatomer, som tidligere var samlede hver for sig, blandede sammen og paa en eller anden Maade forenede indbyrdes, men i det nye Stof er de to Slags Atomer til Stede i samme Antal som tidligere. Det har saaledes her en ganske bestemt Mening, naar man siger, at Svovljærn „bestaar“ af Svovl og Jærn, og at disse to Stoffer begge er til Stede i det nye Stof. Og at f. Eks. Jærn er et Grundstof, har den bestemte Mening, at man ikke — i alt Fald ikke ved nogen kendte Midler — kan faa skilt dets Dele i forskellige Slags Atomer, der samlede hver for sig giver et Stof med andre Egenskaber end Jærnet.

Den af atomistiske Forestillinger udsprungne klarere Opfattelse af Begreberne Grundstoffer og kemiske Forbindelser havde sikkert stor Betydning for den kemiske Forskning i den følgende Tid; men inden Atomlæren kunde komme til at spille en større Rolle i Kemien, maatte denne endnu undergaa en stor Udvikling. Paa Boyles Tid og endnu længe efter var man slet ikke klar over, hvilke Stoffer der var Grundstoffer; man ansaa saaledes i Almindelighed Vand for et Grundstof, og ifølge den af Tyskeren *Stahl* (1660—1734) udviklede, saakaldte flogistiske Teori, som i lange Tider beherskede Kemien, var Metallerne kemiske Forbindelser af et luftformet Stof „Flogi-



ston“, som gik bort, naar Metallerne ophededes i Luften, og „Metalkalke“, som da blev tilbage. Først i Halvfjerdserne og Firserne af det 18. Aarhundrede lagdes Grunden til den nyere kemiske Videnskab gennem en Række Opdagelser og Undersøgelser af Svenskeren *Scheele*, Englænderne *Priestley* og *Cavendish* og fremfor alt Franskmanden *Lavoisier*. Man erkendte, at Vandet var en kemisk Forbindelse af de luftformige Grundstoffer Ilt og Brint, at Luften hovedsagelig var en Blanding af Grundstofferne Ilt og Kvælstof, at Forbrænding var en kemisk Proces, hvorved et eller andet Stof forenedes med Ilt, at Metallerne var Grundstoffer, Metalkalkene derimod kemiske Forbindelser af Metal og Ilt o.s.v. Ganske særlig Betydning for Atomlærens Forhold til Kemien fik det imidlertid, at *Lavoisier* gjorde Vægten til et af den videnskabelige Kemis allervigtigste Redskaber.

Naturligvis havde man ogsaa tidligere i mange Tilfælde benyttet Vejninger ved kemiske Undersøgelser; men man nøjedes med ret grove Vejninger, og Resultaterne paavirkede i mærkværdig ringe Grad de kemiske Teorier; Flogistonteorien blev saaledes opretholdt til Trods for, at man vidste, at Metalkalke vejede mere end det Metal, hvoraf de var dannede. Nu fastslog *Lavoisier* imidlertid paa Grundlag af meget omhyggelige Vejninger, at kemiske Foreninger eller Sønderdelinger aldrig forandrede Vægten af de Stofmængder, som indgik i Processen; en vis Mængde Metalkalk (Metalilte) vejede f. Eks. nøjagtigt lige saa meget som de Mængder Metal og Ilt til sammen, som medgik til Dannelse af Metalkalken, eller omvendt opstod ved dens Sønderdeling. Ud fra Atomlærens Standpunkt betyder dette aabenbart, at Atomernes Vægt ikke forandredes ved de Foreninger eller Adskillelser af Atomer, som foregik ved de kemiske Processer, eller med andre Ord at *et Atoms Vægt er en uforanderlig Størrelse*. Her har vi da den første ved Forsøg konstaterede Egenskab ved selve Atomet — ganske vist en Egenskab som de fleste af Atomteoriens Tilhængere vel nok forud stiltiende havde forudsat.

Ved Brugen af Vægten blev det tillige fastslaaet, at der *til hver enkelt kemisk Forbindelse svarede et ganske bestemt Vægtforhold mellem Bestanddelene*. Ogsaa dette havde sikkert forud staaet for mange eller maaske de fleste Kemikere som i alt Fald i høj Grad sandsynligt; men det skal dog nævnes, at Loven en Tid blev kraftigt bestridt fra flere Sider.

Ogsaa ved at sammenligne Vægtforholdene i forskellige kemiske Forbindelser med hinanden kom man imidlertid til visse Regler. I Begyndelsen af forrige Aarhundrede fremsatte Englænderen *John Dalton* saaledes den Regel, der betegnes som *Loven om de multiple Proportioner*. Som Eksempel paa denne Lov kan det anføres, at i de to Forbindelser af Kulstof og Brint, som hedder Metan (Sumpgas,



let Kulbrinte) og Ætylen (tung Kulbrinte) forholdt de med samme Mængde Kulstof forbundne Brintmængder sig — som Dalton paaviste — netop som 2 til 1. Andre Eksempler, som dog kun delvis er hentede fra Daltons Undersøgelser, har vi i Kulstofs og Kvælstofs Forbindelser med Ilt. For Kulstoffets to Iltforbindelser Luftarterne Kulilte og Kulsyre er Vægtforholdene mellem Kulstof og Ilt henholdsvis 1 til  $1\frac{1}{3}$  (eller 3 til 4) og 1 til  $2\frac{2}{3}$  (eller 3 til 8); en vis Mængde Kulstof har saaledes i Kulsyren forbundet sig med netop dobbelt saa megen Ilt som i Kulilten. Af Kvælstof kendes ikke mindre end 5 Iltforbindelser, hvor den med en vis Mængde Kvælstof forbundne Ilt forholder sig som Tallene 1, 2, 3, 4, 5.

Disse simple Talforhold kan nu ud fra Atomteorien forklares paa overordentlig simpel Maade, idet man antager for det første, at alle Atomer af samme Grundstof har samme Vægt, og for det andet, at ved Dannelsen af en kemisk Forbindelse mellem to Grundstoffer slutter disses Atomer sig sammen i en for den paagældende kemiske Forbindelse karakteristisk Atomgruppe — eller som vi nu kalder det — *et Molekyl* — der kun indeholder ganske faa Atomer, f. Eks. 1 af hver Slags, 1 af den ene Slags og 2, 3, eller 4 af den anden, 2 af den ene Slags 3 af den anden el. lign. Indgik der 3 Grundstoffer i en kemisk Forbindelse, maatte dens Molekyl være opbygget af mindst 3 Atomer, men der kunde ogsaa være 4, 5 eller flere. Loven om de multiple Proportioner vilde derved antage en noget mere sammensat Karakter, men dog ogsaa træde frem under disse Omstændigheder.

Da Dalton i Begyndelsen af forrige Aarhundrede opstillede denne Teori for de kemiske Forbindelsers Opbygning af Grundstofatomer, drog han med et Slag Atomteorien ind i den praktiske Forskning, og det skulde snart vise sig, at denne derved havde faaet et Hjælpemiddel af uvurderlig Værdi. Vi kan sige, at Daltons Atomteori blev det solide Grundlag, hvorpaa Nutidens Kemi er opbygget.

Medens Daltons Teori ikke kunde give nogen Oplysning om det enkelte Atoms absolute Vægt — dets Vægt i Gram — kunde den derimod fortælle noget om „de relative Atomvægte“, d. v. s. Forholdet mellem de forskellige Atomers Vægt, omend den ikke kunde fastslaa dette helt sikkert. Naar f. Eks. Forholdet mellem Ilt og Brint i Vand findes at være 8 til 1, saa maa Vægtforholdet mellem Iltatomet og Brintatomet være 8 til 1, hvis Vandmolekylet er opbygget af 1 Ilt- og 1 Brintatom (hvad Dalton antog; smlgn. Fig. 2), men 16 til 1, hvis det er opbygget af 1 Ilt- og 2 Brintatomer (hvad vi nu ved er det rette); et Forhold mellem Atomvægtene af f. Eks. 7 til 1 vilde derimod kun kunne forliges med det ved Forsøg fundne Forhold (8 til 1) mellem Vægtmængden af de to Stoffer, naar man antog, at Vandmolekylet bestod af mindst 15 Atomer, 8 Iltatomer og 7 Brintatomer, hvad der var meget lidt rimeligt. Ogsaa ved at sammenholde de Vægtmæng-



der af Ilt og Brint, der var forbundet med samme Mængde Kulstof i henholdsvis „Kulilter“ og „Kulbrinter“, kunde man under Forudsætning af, at de paagældende Molekyler var af simpel Bygning, drage Slutninger om Forholdet mellem Iltens og Brintens Atomvægte. Der- som man nu heraf førtes til Forhold som 7 til 1 eller 14 til 1, medens

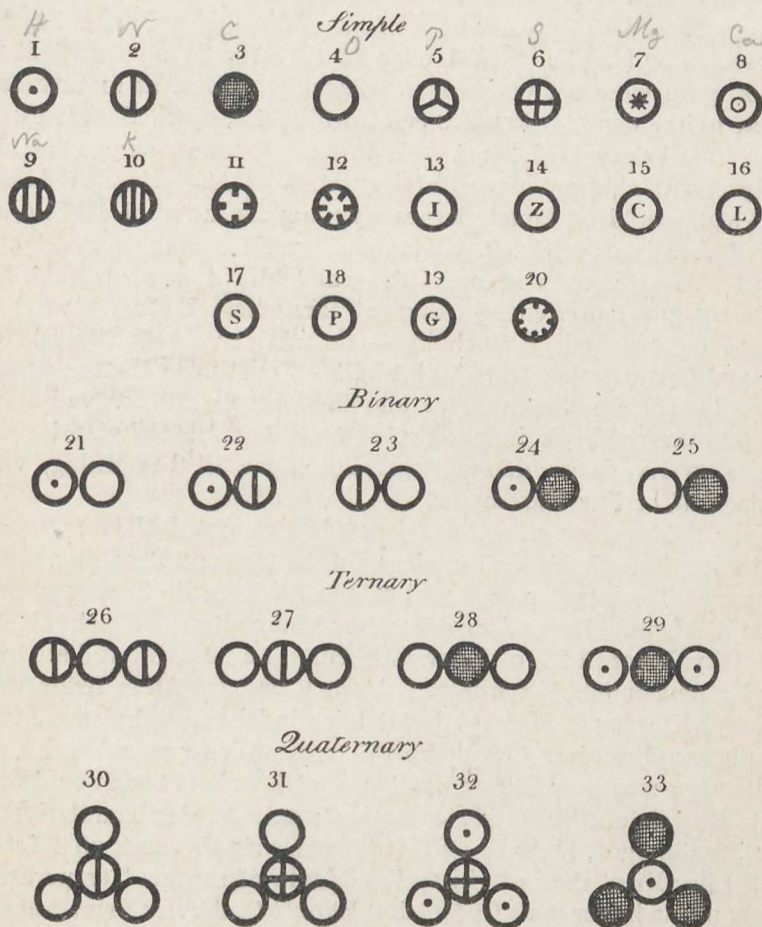


Fig. 2. Gengivelse af en Del af Daltons Atomtavle (fra 1808), hvor de forskellige Grundstofatomer har hver sit Tegn, og kemiske Forbindelser er betegnede ved den antagne Sammenslutning af Grundstofatomer i Grupper paa 2, 3, 4 .... („binære, ternære, kvaternære ... Atomter“). Nedenfor er angivet dels de enkelte Atomtegns Betydning og i Parentes de af Dalton antagne Atomvægte med Brinten som Enhed, dels Betydningen af de tegnede Atomgrupper.

Grundstofatomer: 1. Brint (1); 2. Kvælstof (5); 3. Kulstof (5); 4. Ilt (7); 5. Fosfor (9); 6. Svovl (13); 7. Magnesia (20); 8. Kalk (23); 9. Natron (28); 10. Kali (42); 11. Strontian (46); 12. Baryt (68); 13. Jærn (38); 14. Zink (56); 15. Kobber (56); 16. Bly (95); 17. Sølv (100); 18. Platin (100); 19. Guld (140); 20. Kviksølv (167).

Kemiske Forbindelser: 21. Vand; 22. Ammoniak; 23, 26, 27 og 30. Iltforbindelser af Kvælstof; 24, 29 og 33. Brintforbindelser af Kulstof; 25. Kulilte; 28. Kulsyre; 31. Svovlsyring; 32. Svovlbrinte.



Undersøgelse („Analyse“) af Vandet gav 8 til 1 eller 16 til 1, saa maatte enten Molekylbygningerne være meget mere sammensatte end antaget, eller ogsaa maatte Analyserne have været unøjagtige, hvad der da ogsaa i det betragtede Tilfælde vilde fremgaa af grundigere Undersøgelser. Man forstaar heraf, at Atomteorien bl. a. kunde tjene til Kontrol ved Analyser af kemiske Forbindelser.

For at træffe Valget mellem de forskellige mulige Forhold mellem Atomvægtene (f. Eks. 8 til 1 eller 16 til 1 for Ilt og Brint) maatte Dalton gøre visse ret vilkaarlige Antagelser, f. Eks. at to Grundstoffer, af hvilke der kun kendtes een Forbindelse, optraadte med kun 1 Atom hver i dennes Molekyl. Dels af denne Grund dels paa Grund af Analysens Ufuldkommenhed afviger Daltons Angivelser af Atomernes Vægtforhold og Molekylernes Bygning stærkt fra Nutidens, som det vil fremgaa af Fig. 2. Et langt sikrere Grundlag for det ovennævnte Valg fik man senere i den saakaldte *Avogadros Lov*. Støttende sig paa den Kendsgerning, at forskellige Luftarter viser stor Lighed i deres fysiske Forhold — de udvider sig f. Eks. alle med  $\frac{1}{273}$  ved Opvarmning fra  $0^{\circ}$  til  $1^{\circ}$  C., — opstillede Italieneren *Avogadro* (1811) den Sætning, at alle luftformede Stoffer ved samme Temperatur og Tryk indeholder samme Antal Molekyler i samme Rumfang. Hvorledes denne Regel kan tjene til Vejledning, vil let forstaas af et Par Eksempler.

Naar 1 Rumfang af det luftformede Grundstof Klor forener sig med 1 Rumfang Brint, dannes derved ikke 1, men 2 Rumfang (henført til samme Temperatur og Tryk) af den luftformede kemiske Forbindelse Klorbrinte. Ifølge Avogadros Lov bliver altsaa 1 Molekyl Klor og 1 Molekyl Brint til 2 Molekyler Klorbrinte. Da nu hvert af disse to Molekyler maa indeholde mindst 1 Atom Klor og 1 Atom Brint, maa 1 Molekyl Klor og 1 Molekyl Brint hver indeholde mindst 2 Atomer. Man lærer altsaa heraf, at ogsaa i Grundstoffer forener Atomene sig til Molekyler; man har kunnet godtgøre, at i Virkeligheden er de allerfleste Grundstofmolekyler „toatomige“; enkelte, deriblandt Kviksølv, dog „enatomige“. Naar Ilt og Brint forener sig til Vand, vil 1 Liter Ilt og 2 Liter Brint danne 2 Liter Vanddamp af samme Temperatur og Tryk; altsaa bliver der af 1 Molekyl Ilt og 2 Molekyler Brint 2 Molekyler Vand. Er nu Iltmolekylet ligesom Brintmolekylet toatomigt, vil altsaa 1 Molekyl Vand indeholde 1 Atom Ilt og 2 Atomer Brint; da Vægtforholdet mellem Ilt og Brint i Vandet er 8 til 1, vil Iltens Atomvægt altsaa være 16 Gange Brintens.

Gennem saadanne Betragtninger støttede af andre Regler, der har vist sig vel egnede til Vejledning, er det efterhaanden lykkedes at faa sikre Talangivelser for Forholdene mellem Vægten af alle kendte Grundstoffers og Brintens Atomvægt. Man plejer at betegne denne med Tallet 1 og i Overensstemmelse dermed at kalde Forholdet



mellem Vægten af et vist Grundstofatom og Vægten af Brintatomet for det paagældende Grundstofs *Atomvægt*. Iltens Atomvægt er altsaa 16; Kulstoffets er 12, idet 1 Kulstofatom vejer ligesaa meget som 12 Brintatomer; Kvælstof har Atomvægten 14, Svovl 32, Klor 35,5, Kobber 63,6, Zink 65,4, Sølv 107,9 o. s. v.

Oversigten over de kemiske Forbindelsers Sammensætning og de kemiske Processer lettedes i høj Grad ved et af den svenske Kemiker *Berzelius* (1779—1848) grundlagt Tegnsystem, i hvilket Forbogstavet eller dette og endnu et Bogstav af et Grundstofs latinske Navn betegner baade dette Grundstof, et Atom af det og dets Atomvægt med Brintens som Enhed, medens et lille Tal forneden ved et Bogstav betegner Antallet af Atomer. Naar man f. Eks. angiver, at Svovlsyrens kemiske Formel er  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , fortæller man dermed paa een Gang, at dette Stof er en kemisk Forbindelse af Brint (Hydrogenium), Svovl (Sulphur) og Ilt (Oxygenium), at Svovlsyremolekylet bestaar af 2 Atomer Brint, 1 Atom Svovl og 4 Atomer Ilt, og at Vægtforholdet mellem de tre Bestanddele er som  $2 \times 1 = 2$  til 32 til  $4 \times 16 = 64$  eller 1:16:32. At Klorzinks (Zinklorids) kemiske Formel er  $\text{ZnCl}_2$  betyder, at Klorzink er en Forbindelse af 1 Atom Zink og 2 Atomer Klor o. s. fr. Endvidere kan de Omsætninger, der foregaar ved en kemisk Proces, angives paa meget simpel Maade. Vandets Adskillelse i Ilt og Brint f. Eks. ved  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ , idet  $\text{H}_2$  og  $\text{O}_2$  betegner Molekyler af Brint og Ilt, og omvendt Brintens og Iltens Forening til Vand ved  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ .

Ifølge den her udviklede Atomteori er Grundstofatomerne saa at sige de Byggestene, hvoraf baade Grundstoffer og kemiske Forbindelser er opbyggede; man kan ogsaa sige, at de er de mindste Stoffe, Kemikerne regner med ved de kemiske Processer. Men af Teorien følger det ikke, at disse „Byggestene“ i og for sig er udelelige; den lader frit Spillerum for den Tanke, at de er sammensat af mindre Dele. En Teori, som gik ud paa dette, blev endog fremsat af Englænderen *Prout* kort Tid efter, at Dalton havde udviklet sin Atomteori. *Prout* antog, at Brintatomet var det egentlige „Grundatom“, og at de andre Grundstofatomer bestod af et større eller mindre Antal Brintatomer. Herpaa kunde det tyde, at mange Atomvægte syntes, saa nøje det kunde undersøges, at være hele Multipla af Brintens — Iltens 16, Kvælstoffets 14, Kulstoffets 12 Gange denne o. s. v. Den Tanke laa da nær, at dette gjaldt om dem alle, og denne Hypotese gav Anledning til meget omhyggelige Atomvægtsbestemmelser, som imidlertid viste, at Antagelsen om de hele Multipla ikke lod sig opretholde. Dermed syntes *Prouts* Hypotese at maatte opgives; i vore Dage er den dog atter kommet til Ære, omend Forholdene er mere udviklede end af *Prout* formodet (se Afsn. IV).

Daltons Atomteori udsagde overhovedet ikke andet om Atomerne,



end at hver Slags Grundstofatomer havde en bestemt uforanderlig Vægt, og at de kunde slutte sig sammen indbyrdes til Molekyler i visse simple Talforhold. Hvad det var for Kræfter, der fik dem til dette, og hvorfor de foretrak visse Sammenslutninger fremfor andre, det var et langt dyberegaaende Problem, som man ikke kunde have grundet Haab om at løse, inden der ved kemiske og fysiske Undersøgelser var indsamlet en stor Sum af Viden, som Spekulationerne kunde bygge paa.

Ud fra Kendskabet til Atomvægtene kunde man aabenbart let udregne, hvilke Vægtforhold der kunde fremkomme i kemiske Forbindelser, hvis Molekyler bestod af simple Atomkombinationer, og talrige Forbindelser, som senere fremstilledes, var saaledes forud konstruerede paa Papiret. Men det var dog kun en ringe Del af de til simple Atomkombinationer svarende Forbindelser, der virkelig lod sig fremstille, og det var aabenbart en af Kemiens allervigtigste Opgaver at finde de i denne Henseende gældende Love.

Allerede fra tidligere Tid vidste man, at Grundstofferne syntes at falde i to Hovedgrupper med i vis Forstand modsatte Egenskaber, nemlig Metallerne og de andre, der ofte sammenfattes under Navnet Metalloiderne. Endvidere kendte man to meget vigtige Grupper af kemiske Forbindelser, nemlig Syrer og hvad vi nu kalder Baser, med til Dels modsatte Egenskaber, som saa at sige neutraliserede hinanden, idet der af Syrer og Baser tilsammen dannedes en tredje Gruppe af Forbindelser, de saakaldte Salte. Dette i Forening med den saakaldte Elektrolyse, ved hvilken en elektrisk Strøm adskiller opløste Salte, Syrer o. a. i to Bestanddele, som føres henholdsvis med og mod Strømretningen, tydede i høj Grad paa, at de Kræfter, som tvinger Atomerne sammen i et Molekyl, er af elektrisk Natur, d. v. s. af samme Art som dem, der fører positiv elektriske Legemer mod negativ elektriske. Man førtes til at betegne Metallerne som elektropositive, Metalloiderne som elektronegative, og der blev tidligt, bl. a. af Berzelius, sat et stort Arbejde ind paa at udvikle elektriske Teorier for de kemiske Processer. Men omend man her var inde paa et rigtigt Spor, havde Sagen dog store, foreløbig uovervindelige Vanskeligheder. Som en, der særlig falder i Øjnene, kan nævnes den Omstændighed, at to Grundstofatomer af samme Art, f. Eks. to Brintatomer forenede sig til et toatomigt Molekyl, skønt man skulde tro, at de var ensartet elektriske og derfor vilde frastøde hinanden.

Et andet Forhold, der spiller en overordentlig stor Rolle ved Bedømmelsen af, hvilke kemiske Forbindelser, der virkelig kan dannes, er det man kalder Grundstoffernes *Valens* (Gyldighed).

Som nævnt forener 1 Atom Ilt sig med 2 Atomer Brint, medens 1 Atom Klor forener sig med 1 Atom Brint. Iltatomet synes saaledes at



„gælde lige med“ 2 Brintatomer eller 2 Kloratomer, medens 1 Brintatom og 1 Kloratom gælder lige eller er „ækvivalente“ (∴ lige gyldige); kaldes Brint- eller Kloratomet „monovalent“ („engyldigt“), er Iltatomet „divalent“ („togyldigt“). Dette Forhold kan forfølges videre. En Syre er en kemisk Forbindelse, som indeholder Brint, der kan ombyttes med Metal under Dannelse af et Salt. Naar f. Eks. Zink opløses af Svovlsyre under Dannelsen af Brint og Saltet Zink-

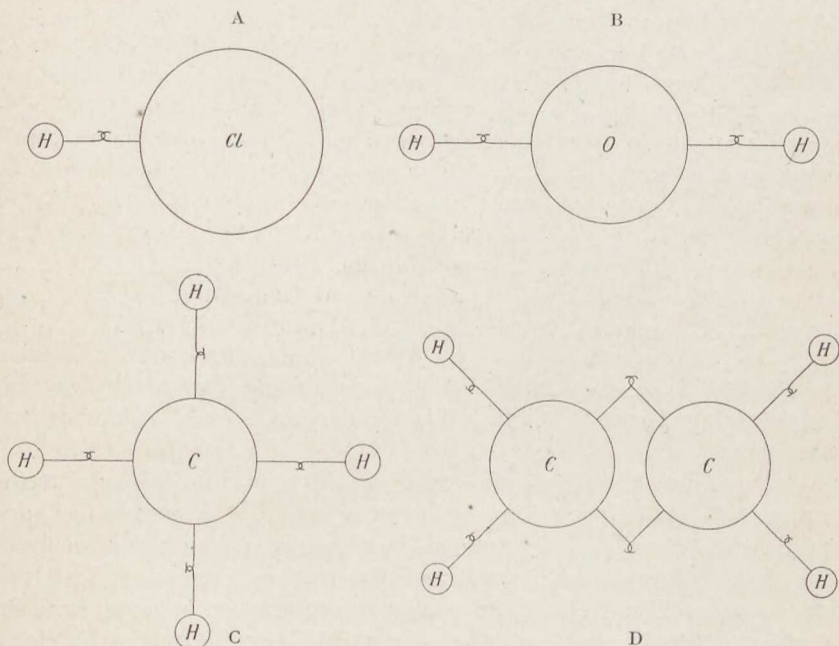


Fig. 3. Grov Anskuelse af Grundstoffers Valensforhold.  
A. Klorbrinte ( $\text{HCl}$ ). B. Vand ( $\text{H}_2\text{O}$ ). C. Metan ( $\text{CH}_4$ ). Ætylen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ).

vitriol (svovlsurt Zinkilte eller Zinksulfat), saa ombyttes Syrens Brint med Zink. Denne kemiske Proces kan skrives  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2 + \text{ZnSO}_4$ . Her bytter, som man ser, et Atom Zink Plads med to Atomer Brint; Zinken er divalent. Dette stemmer med, at et Atom Zink forbinder sig med 1 Atom Ilt. Opløses Sølv i Salpetersyre, bytter 1 Atom Sølv ( $\text{Ag}$ ) derimod Plads med 1 Atom Brint; Sølv er monovalent, og i Overensstemmelse hermed kan 1 Atom Ilt forene sig med 2 Atomer Sølv. Andre Stoffer er trivalente (tregyldige) som Kvælstof ( $\text{N}$ ), der med Brint kan danne Forbindelsen  $\text{NH}_3$  (Ammoniak) og Metallet Aluminium, atter andre tetravalente (firgyldige) som Kulstof, hvis Atom kan forene sig med 4 Atomer Brint til Metan ( $\text{CH}_4$ ) og med 2 Atomer Ilt til Kulsyre  $\text{CO}_2$ . Mere end 7 eller 8 Valenser kendes dog ikke hos noget Grundstof.

Hvis vi vilde tage Sagen ganske groft og ikke gøre os bedre end Gassendi, kunde vi forklare disse Valensforhold ved at tænke os, at Atomerne har Kroge, Brintatomet eller Kloratomet 1 Krog, Iltatomet eller Zinkatomet 2, Kvælstofatomet 3 o. s. v. Naar et Brintatoms Krog er hæftet paa Kloratomets, saa er der ikke flere Kroge fri. Forbindelsen er mættet. Ligesaa naar der er hæftet et Brintatom paa hvert af Iltatomets Kroge eller et paa hver af Kulstofatomets, o. s. fr. (Fig. 3 A, B og C).

Saa simple som fremstillet ovenfor er Forholdene dog ikke, idet samme Stof ofte kan optræde med forskellig Valens. Jærnatomet (Fe) kan f. Eks. være baade divalent, trivalent og hexavalent (6-gyldigt). I mange Tilfælde hvor man ved blot at betragte Vægtforholdene vilde faa det Indtryk, at et Stof havde skiftet Valens, er dette dog ikke Tilfældet. Det er tidligere nævnt, at Kulstof foruden Kulbrinten Metan ( $\text{CH}_4$ ) danner en anden Kulbrinte, Ætylen, med halvt saa megen Brint. Ved Hjælp af Avogadros Lov finder man imidlertid, at Ætylenmolekylet ikke er  $\text{CH}_2$ , men  $\text{C}_2\text{H}_4$ , og man kan da forestille sig Sagen saaledes, at de to Kulstofatomer i Molekylet er hægtede sammen med to Krogpar og følgelig kan Bindingsforholdene i Ætylen fremstilles ved Formlen  $\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ | \quad | \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$  hvor de smaa Streger svarer til de tænkte Kroge (sm. lgn. Fig. 3 D). Man kalder en saadan Formel en „Konstitutionsformel“.

Selv om man ikke just vil tænke sig Atomerne i Molekylet sammenhægtede med Kroge, kan det dog være godt at danne sig anskuelige Forestillinger om Molekylets Bygning. Man kan saaledes forestille sig det 4-gyldige Kulstofatom i Form af et Tetraeder (S. 12) og tænke sig de tilknyttede Atomer eller Atomgrupper anbragte ved de 4 Spidser. Man kan ved en saadan rumlig Fremstilling faa Indsigt i mange kemiske Forhold, som det ellers var vanskeligt at gøre Rede for; man forstaar f. Eks., at to sammensatte Molekyler, der har de samme Atomer og de samme Bindinger, altsaa samme Konstitutionsformler, dog kan være forskellige, idet de er Spejlbilleder af hinanden. Stoffer, hvis Molekyler saaledes er symmetriske, kan skelnes fra hinanden ved deres forskellige Forhold overfor Lyset. Denne rumlige Molekylarkemi eller „Stereokemi“ har haft stor Betydning for Opklaring af de yderst sammensatte Forhold i den organiske Kemi (d. v. s. Kulstoffets Kemi), og omend der neppe er mange Kemikere, som virkelig har troet, at Kulstofatomet var et fast Tetraeder, maa det dog siges, at man ad disse Veje er kommet et godt Stykke ind paa Livet af Atombygningens Hemmeligheder.

Ogsaa ved at sammenholde Grundstoffernes Egenskaber med deres Atomvægt har man opdaget ejendommelige Forhold, som vel foreløbig var uforstaaelige, men dog lod ane visse Sammenhænge mel-



lem Atomernes indre Bygning og deres kemiske Egenskaber. Vi tænker herved paa det saakaldte naturlige eller *periodiske System* for Grundstofferne, som i 1869 blev opstillet af Russeren *Mendelejeff* og lidt senere og uafhængigt af denne af Tyskeren *Lothar Meyer*. Man vil bedst forstaa, hvad hermed sigtes til ved at betragte Tavlen S. 25, hvor Grundstofferne med vedføjede kemiske Tegn og Atomvægte er opstillet i lodrette og vandrette Rækker, saaledes at Atomvægten tiltager, naar man følger de vandrette Linier fra venstre til højre begyndende med den øverste. Det viser sig da, at man i de ni lodrette Rækker faar samlet Grundstoffer med beslægtede Egenskaber, saa at sige dannende kemiske Familier. Tavlen er dog fra senere Tid og afviger baade ved det større Antal Grundstoffer og ved Enkeltheder i Opstillingen fra de ældre Ordninger. Til hvert Grundstof er der føjet et Tal, som angiver dets Nummer i Rækkefølgen efter stigende Atomvægt. Saaledes har Brint „Ordenstallet“ 1, Helium 2 o. s. v. op til Uran, hvis Atom er det tungeste af alle kendte Grundstofatomer, og som har Ordenstallet 92. Indenfor hver af de lodrette Rækker falder Stofferne naturligt i to Grupper, og denne Tvedeling er i Tavlen antydnet ved, at Atombetegnelsen er skudt til højre eller til venstre.

Man ser imidlertid, at Regelmæssigheden i Systemet ikke er helt enkel. For det første vil man nogle Steder finde, at et Grundstofs Atomvægt er større end det efterfølgendes (f. Eks. Argon—Kalium og Tellur—Jod.) En saadan Ombytning krævedes absolut, hvis man vilde holde fast ved, at Grundstoffer, som tilhører samme kemiske Familie, skal staa i en og samme lodrette Række. For det andet maa vi nævne den Uregelmæssighed, som knytter sig til Optræden af den med VIII betegnede lodrette Række. Medens vi ved den første Snes Stoffer i Systemet altid fandt at to paa hinanden følgende Grundstoffer besad forskellige Egenskaber og hørte til klart adskilte kemiske Familier, stødte man i den saakaldte Jærngruppe (Fe, Co, Ni) paa et Tilfælde, hvor paa hinanden følgende Grundstoffer netop i mange Henseender lignede hinanden meget (f. Eks. med Hensyn til de magnetiske Egenskaber). En saadan „Triade“ af Grundstoffer møder vi imidlertid endnu to Gange i Systemet, og om en egentlig Uregelmæssighed kunde der derfor her endnu næppe være Tale. Noget som man ligefrem kunde betegne som en Uskønhed ved Systemet, møder vi imidlertid i de saakaldte sjældne Jordarters Gruppe. Her følger efter Lanthan 13 Grundstoffer efter hinanden, hvis Egenskaber er i den Grad ens, at det endog har overordentlig store Vanskeligheder at skille dem hver for sig ud af de Blandinger, hvori de forekommer i naturlige Mineraler; de er indrammede paa Tavlen.

At der paa sine Steder synes at mangle et Grundstof i Systemet (angivet i Tabellen ved en lille Streg) er derimod paa ingen Maade noget uregelmæssigt. I det System *Mendelejeff* i sin Tid opstillede,



var der lagt flere saadanne „aabne Pladser“. Ved Hjælp af sit System kunde Mendeleejeff ligefrem saa nogenlunde forudsige saadanne manglende Grundstoffers Egenskaber. Som Eksempel kan nævnes Opdagelsen af et mellem Gallium og Arsen staaende Grundstof, som siden blev kaldt for Germanium, og som havde nøjagtig de forudsagte Egenskaber; denne Opdagelse var en af Teoriens største Triumfer. Overhovedet har alle, siden Mendeleejeff opdagede Grundstoffer fundet deres naturlige Plads i Systemet. Dette kan bl. a. siges at gælde for de saakaldte inaktive (d.e. kemisk uvirksomme) Luftarter Helium, Argon, Neon, Xenon, Krypton og Niton, som har den Egenskab, at de ikke formaar at danne kemiske Forbindelser. Deres Valens er derfor saa at sige Nul, og i Tabellen har de kunnet anbringes i den med 0 betegnede lodrette Række helt til venstre.

Af den, som det en Gang skulde lykkes at opklare det periodiske Systems Gaader, krævedes der altsaa, at han ikke blot skulde forklare Lovmæssighederne, men ogsaa en Række tilsyneladende Ulov-  
mæssigheder, der gjorde Indtryk af at være ganske vilkaarlige individuelle Særheder ved visse Grundstoffer eller Grupper. Det var aabenbart nogle slemme Prøvestene for en fremtidig Teori om Atombygningen, Kemikerne her havde udlagt.

*Fysiske Molekylarteorier.* Fra Stoffernes kemiske Forhold vender vi nu tilbage til de fysiske, eller rettere til de andre fysiske Forhold; thi Kemien er paa en vis Maade et særligt om end meget mangesidigt og omfattende Omraade af Fysikken.

Dersom Stofferne virkelig er opbygget af selvstændigt eksisterende Smaadele — Atomer og Molekyler — maa disses Sammenspil være bestemmende ikke blot for de kemiske Processer, men i det hele taget for Stoffernes Egenskaber. Da de fleste af disse ændres, naar Molekylet ændres, eller med andre Ord er „Molekylegenskaber“, kunde man vente, at man i mange Tilfælde kunde gøre Rede for Forholdene ved at regne med Molekylerne som Grunddelene. Det var endvidere naturligt, at man først forsøgte at opstille en Molekylarteori for Luftarterne, hvis fysiske Egenskaber var langt mere simple og ensartede end de faste Legemers og Vædskernes. Denne Simpelhed var i og for sig let forstaaelig ud fra Molekylarteorien. Naar en Vædske ved Fordampning omdannedes til Luft, kom samme Stofmængde til at indtage et flere Hundrede Gange saa stort Rumfang; var Molekylerne i Vædskerne tæt sammenpakkede, vilde de da i Luftarter faa forholdsvis store Mellemrum og i disse kunne bevæge sig frit uden at paavirke hinanden kendeligt; kun naar to af dem „stødte sammen“, d. v. s. kom meget tæt op til hinanden, vilde der mellem dem opstaa Kræfter, som vilde hindre dem fra at trænge ind i hinanden; da man tillige maatte antage, at de enkelte Molekyler ikke blev varigt for-



Grundstoffernes periodiske System.

| o                     | I                      | II                      | III                     | IV                                                                         | V                                                                              | VI                                                                        | VII                                                           | VIII                                                                           |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                       | 1 Brint<br>H 1,008     |                         |                         |                                                                            |                                                                                |                                                                           |                                                               |                                                                                |
| 2 Helium<br>He 4,00   | 3 Lithium<br>Li 6,94   | 4 Beryllium<br>Be 9,1   | 5 Bor<br>B 11,0         | 6 Kulstof<br>C 12,0                                                        | 7 Kvælstof<br>N 14,0                                                           | 8 Ilt<br>O 16                                                             | 9 Fluor<br>F 19,0                                             |                                                                                |
| 10 Neon<br>Ne 20,2    | 11 Natrium<br>Na 23,0  | 12 Magnium<br>Mg 24,3   | 13 Aluminium<br>Al 27,1 | 14 Silicium<br>Si 28,3                                                     | 15 Fosfor<br>P 31,0                                                            | 16 Svovl<br>S 32,1                                                        | 17 Klor<br>Cl 35,5                                            |                                                                                |
| 18 Argon<br>A 39,9    | 19 Kalium<br>K 39,1    | 20 Calcium<br>Ca 40,1   | 21 Scandium<br>Sc 44,1  | 22 Titan<br>Ti 48,1                                                        | 23 Vanadin<br>V 51,0                                                           | 24 Krom<br>Cr 52,0                                                        | 25 Mangan<br>Mn 54,9                                          | 26 Jern<br>Fe 55,8<br>27 Kobolt<br>Co 59,0<br>28 Nikkel<br>Ni 58,7             |
|                       | 29 Kobber<br>Cu 63,6   | 30 Zink<br>Zn 65,4      | 31 Gallium<br>Ga 69,9   | 32 Germanium<br>Ge 72,5                                                    | 33 Arsen<br>As 75,0                                                            | 34 Selen<br>Se 79,2                                                       | 35 Brom<br>Br 79,9                                            |                                                                                |
| 36 Krypton<br>Kr 82,9 | 37 Rubidium<br>Rb 85,4 | 38 Strontium<br>Sr 87,6 | 39 Yttrium<br>Y 88,7    | 40 Zirkon<br>Zr 90,6                                                       | 41 Niob<br>Nb 93,5                                                             | 42 Molybdæn<br>Mo 96,0                                                    | 43 —                                                          | 44 Ruthenium<br>Ru 101,7<br>45 Rhodium<br>Rh 102,9<br>46 Palladium<br>Pd 106,7 |
|                       | 47 Sølv<br>Ag 107,9    | 48 Kadmium<br>Cd 112,4  | 49 Indium<br>In 114,8   | 50 Tin<br>Sn 118,7                                                         | 51 Antimon<br>Sb 120,2                                                         | 52 Tellur<br>Te 127,5                                                     | 53 Jod<br>J 126,9                                             |                                                                                |
| 54 Xenon<br>X 130,2   | 55 Cæsium<br>Cs 132,8  | 56 Barium<br>Ba 137,3   | 57 Lanthan<br>La 139,0  | 58 Cerium<br>Ce 140,2<br>63 Europium<br>Eu 152,0<br>67 Holmium<br>Ho 163,5 | 59 Præseodym<br>Pr 140,6<br>64 Gadolinium<br>Gd 157,3<br>68 Erbium<br>Er 167,7 | 60 Neodym<br>Nd 144,3<br>65 Terbium<br>Tb 159,2<br>69 Thulium<br>Tm 168,5 | 61 —<br>66 Dysprosium<br>Dy 162,5<br>70 Ytterbium<br>Yb 173,0 | 62 Samarium<br>Sm 150,4<br>71 Lutetium<br>Lu 175,0                             |
|                       |                        |                         |                         | 72 —                                                                       | 73 Tantal<br>Ta 181,5                                                          | 74 Wolfram<br>W 184,0                                                     | 75 —                                                          | 76 Osmium<br>Os 190,9<br>77 Iridium<br>Ir 193,1<br>78 Platin<br>Pt 195,2       |
|                       | 79 Guld<br>Au 197,2    | 80 Kviksølv<br>Hg 200,6 | 81 Thallium<br>Tl 204,0 | 82 Bly<br>Pb 207,2                                                         | 83 Vismut<br>Bi 209,0                                                          | 84 Polonium<br>Po 210,0                                                   | 85 —                                                          |                                                                                |
| 86 Niton<br>Ni 222,0  | 87 —                   | 88 Radium<br>Ra 226,0   | 89 Aktinium<br>Ac ?     | 90 Thorium<br>Th 232,1                                                     | 91 Protaktinium<br>Pa ?                                                        | 92 Uran<br>U 238                                                          |                                                               |                                                                                |

andrede ved et saadant Sammenstød, vilde de forholde sig paa lignende Maade som elastiske Kugler.

Ud fra Betragtninger af denne Art udvikledes Luftarternes „kinetiske Teori“ (o: Bevægelsesteori), ifølge hvilken en Luftmasse opfattes som bestaaende af et uhyre stort Antal af overordentlig smaa Molekyler, der med stor Hastighed farer af Sted i rette Linier, indtil de støder paa et andet Molekyl eller den indesluttende Beholders Vægge, hvorefter de farer af Sted i en ny Retning indtil et nyt Sammenstød finder Sted. Luftens Tryk paa Beholderens Vægge fremkommer som Resultat af det uhyre Antal Stød, hver lille Del af Væggen faar selv i en ganske kort Tid. Hvor stort Trykket blev, maatte bero paa Molekylernes Antal, Masse (Vægt) og Hastighed. Denne sidste vilde vel, selv for en bestemt Luftart, hvis Molekyler alle var ens, være forskellig for de enkelte Molekyler i Luftmassen; men man kunde ved en bestemt Temperatur regne med en bestemt Gennemsnitsværdi af Molekylhastigheden. Forøgedes Temperaturen, vilde Gennemsnitshastigheden vokse, og hvis Luftmassens Rumfang holdtes uforandret, vilde Luftens Tryk paa Væggene da blive større. Holdt man derimod Temperaturen og dermed Gennemsnitshastigheden uforandret, medens Luftmassens Rumfang formindskedes til det halve, vilde der komme dobbelt saa mange Molekyler i hver Kubikcentimeter. En Kvadratcentimeter af Væggen vilde derfor faa dobbelt saa mange Stød i Sekundet, og Trykket vilde følgelig fordobles. Den vel kendte simple Lov (Mariottes Lov), at en Luftmasses Tryk ved en bestemt Temperatur er omvendt proportional med dens Rumfang, fremgik saaledes ganske umiddelbart af Molekylarteorien.

Denne kastede imidlertid ogsaa nyt Lys over Sammenhængen mellem Varme og mekanisk Arbejde og dermed over *Loven om Energiens Bevarelse*, som omkring Midten af forrige Aarhundrede blev klarlagt af Englænderen *Joule*, Tyskerne *Mayer* og *Helmholtz* og Danskeren *Colding*, og som vi her kort skal berøre, da en Forstaaelse af Begrebet Energi er nødvendig for det følgende.

Til at løfte en Sten eller anden Vægt paa f. Eks. 5 kg 10 m til Vejrs kræves der et Arbejde af  $5 \times 10 = 50$  Kilogrammeter (kgm); men Stenen har nu faaet Evne til at udføre et ligesaa stort Arbejde, idet den atter falder de 10 m. Man kan sige, at Stenen paa Grund af sin forøgede Højde over Jorden og dennes Tiltrækning har faaet en „Arbejdskraft“ eller „Energi“ af Størrelsen 50 kgm — „Pladsenergi“, „Beliggenhedsenergi“, „Tiltrækningsenergi“, „*potentiel Energi*“ (o: Mulighedsenergi), eller hvad man nu vil kalde det. Dersom man lader Stenen falde paa en saadan Maade, at den — f. Eks. ved Træk i en Snor til et Hejseværk — løfter en anden Vægt, vil den Beliggenhedsenergi, den faldende Sten mister, gaa over i den nye løftede Vægt; hvis der slet ikke var nogen Gnidningsmodstand i Hejseværket, kunde Ste-



nen ved sit Fald løfte netop 5 kg 10 m eller 10 kg 5 m o. s. v., saa at alle de 50 kgm efter Faldet er i Behold i den anden Vægt. Dersom man i Stedet for at lade Stenen trække et Hejseværk lader den falde frit eller trille ned ad en Rende uden kendelig Gnidning, vil dens Hastighed vokse under Faldet, og efterhaanden som den mister Beliggenhedsenergi, vil den faa mere og mere af en anden Energiform — „Bevægelsesenergi“ — („kinetisk Energi“); et bevæget Legeme kan nemlig, idet det mister sin Fart, udføre Arbejde, f. Eks. spænde en Fjeder eller sætte et andet Legeme i Bevægelse. Tænker vi os, at Stenen var bundet til et Tov og svingede med dette som et Pendul i et lufttomt Rum, hvor Bevægelsen ikke mødte nogen Modstand, vilde den vekselvis synke og atter stige til samme Højde; under Faldet vilde Beliggenhedsenergi omdannes til Bevægelsesenergi; men under Stigningen vilde det omvendte ske, og der vilde ikke finde noget Energital Sted, men kun en Vekslen mellem to Energiformer.

Dersom et Legemes Bevægelse derimod møder Gnidningsmodstand eller dets frie Fald standses af et fast Underlag, kunde det synes, som om der gik Energi tabt; noget kommer der dog i Stedet. Det er en vel kendt Sag, at der baade ved Gnidning og Stød udvikles Varme. Endvidere ved man, at Varme kan udrette Arbejde, f. Eks. i en Dampmaskine. Omhyggelige Undersøgelser har vist, at et bestemt mekanisk Arbejde frembringer en bestemt Mængde Varme; et Arbejde paa 427 kgm vil saaledes altid, naar det bruges til Varmeudvikling, frembringe en Kilogramkalorie (kcal), d. v. s. saa megen Varme, som kræves til at opvarme 1 kg Vand 1° C. Og omvendt vil der, naar Varmen frembringer Arbejde, „forsvinde“ 1 kcal, hver Gang der frembringes 427 kgm. Varmen er med andre Ord selv en Form af Energi, og f. Eks. Varmeudviklingen ved Gnidning eller Stød er blot en Omdannelse af Energi fra en Form til en anden.

Ved Molekularteorien bliver det imidlertid muligt at opfatte ogsaa en saadan Omdannelse af mekanisk Arbejde til *Varmeenergi* rent mekanisk. Lad os antage, at et faldende Legeme træffer et Stempel foroven i en luftfyldt, forneden lukket Cylinder. Idet Stemplet derved drives nedad og sammenpresser Luften, vil denne opvarmes; men dette forklares let derved, at Stemplet under sin nedadgaende Bevægelse forøger Hastigheden af de Luftmolekyler, der støder mod det, hvilket bevirker, at Molekylernes Gennemsnitshastighed og dermed Temperaturen vokser. Hvad der sker ved Varmeudviklingen er altsaa, at det faldende Legemes Bevægelsesenergi anvendes til at give Luftmolekylerne forøget Bevægelsesenergi. Naar Molekylerne bestaar af to eller flere Atomer, maa man herved regne med, at de ikke blot farer af Sted mellem hinanden, men ogsaa drejer sig rundt. En Del af Energien medgaar da til at forøge Energien i disse Rotationer.

Det laa nær at antage at ogsaa i de faste Legemer og i Vædske er



Varmen blot en Molekularbevægelse; ogsaa her skulde da Varmeudviklingen ved Stød fra et bevæget Legeme blot være en Omsætning af Bevægelsesenergi hos et enkelt synligt Legeme til en indre Bevægelsesenergi fordelt paa tallose usynlige Molekyler. Men medens man for at danne sig en Forestilling om de indre Forhold ved Luftarter ikke (i alt Fald for de grove Hovedtræks Vedkommende) behøvede at tage andre indre Kræfter i Betragtning end Frastødningen under de „elastiske“ Molekylsammenstød, maatte man ved faste Legemer og Vædske ogsaa regne med Tiltrækninger mellem de tættere sammenpakkede Molekyler. I Virkeligheden bliver Forholdene endnu mere sammensatte, saa at en simpel Molekular teori ikke kan gøre Rede for dem.

I det hele taget lader det sig ikke gøre at opfatte alle Energiomsætninger rent mekanisk. Varme kan jo fremkomme i et Legeme, ved at det udsættes for Straaler fra Solen, en varm Kakkelovn el. a., og omvendt kan et varmt Legeme miste Varme ved Udstråling. Ogsaa herved har vi at gøre med Energiomsætninger, og ogsaa herved gælder Loven om Energiens Vedligeholdelse, d. v. s. den Lov at den samlede Energi mængde hverken forøges eller formindskes ved Omsætningerne. Til Frembringelse af Varmemængden 1 kgal medgaar en bestemt Mængde „*Straaleenergi*“, og netop lige saa megen Straaleenergi vil der opstaa, naar omvendt en Varmemængde af 1 kgal omsættes i Stråling; men disse Omsætninger kan ikke forklares som Resultat af mekaniske Vekselvirkninger (Tiltrækninger og Frastødninger) mellem Legemer i Bevægelse.

„Den mekaniske Varmeteori“ kan imidlertid føre os langt, naar vi holder os til Varmeafgivelsen fra et Legeme til et andet, med hvilket det er i Berøring. Anvendt paa Luftarterne fører den bl. a. direkte til Avogadros Lov. Dersom to Luftmasser har samme Temperatur, d. v. s. er i en saadan Tilstand, at hverken gennem en Væg eller ved direkte Berøring vil den ene afgive Varme til den anden, kan det vises, at Gennemsnitsværdien af Molekylernes Bevægelsesenergi maa være den samme i begge Luftmasser. Er den ene Luftmasse Brint, den anden Ilt, maa de lette Brintmolekyler da have større Hastighed end de tungere Iltmolekyler; thi ellers kunde de ikke have samme Bevægelsesenergi som disse. Men da en Luftmasses Tryk bestemmes af de enkelte Molekylers Bevægelsesenergi og deres Antal pr. Kubikcentimeter, maa der ved samme Tryk og Temperatur være samme Antal Brint- og Iltmolekyler i lige store Rumfang. — Forøvrigt kan man, som Joule viste allerede i 1851, alene af en Luftmasses Vægt pr. Kubikcentimeter og dens Tryk paa en Kvadratcentimeter beregne Molekylernes Hastighed ( $\propto$  Gennemsnitshastighed). For Brint ved  $0^{\circ}$  og atmosfærisk Tryk finder man, at denne Hastighed er ca.



1700 m i 1 Sek.; for Ilt under samme Forhold er den noget over 400 m i 1 Sek.

Gennem alle de i det foregaaende nævnte Resultater af Atom- og Molekular teorien havde man imidlertid ikke faaet nogen Oplysning om de enkelte Atomers og Molekyler absolute Vægt (Vægt i Gram) eller Størrelse, eller om hvor mange Molekyler der fandtes i  $1 \text{ cm}^3$  ved en bestemt Temperatur og et bestemt Tryk. Saa længe dette ikke var sket, havde hele Teorien imidlertid et vist Uvirkelighedspræg over sig; man kunde let faa en Mistanke om, at den kun var et bekvemt Middel til at samle en Række iagttagne Kendsgerninger i et anskueligt Billede, men at Atomer og Molekyler egentlig blot var „Fantasivæsener“. De vilde faa noget ganske anderledes reelt og vederhæftigt over sig, hvis man kunde sige, hvor store og tunge de var. Molekular teorien for Luftarter anviste imidlertid ogsaa Veje, ad hvilke man kunde komme ind paa Livet af disse Spørgsmaal, som Kemien havde været magtesløs overfor.

Lad os antage, at en Luftmasses Temperatur er  $100^\circ$  i en vis Højde,  $0^\circ$  1 m længere nede, d. v. s. at Luftmolekylerne har forskellig Gennemsnitshastighed de to Steder. Denne Forskel vil efterhaanden udjævnnes ved Molekylstødene, og man kunde maaske vente, at Udjævningen paa Grund af Molekylernes foran angivne store Hastighed vilde gaa meget hurtigt; men man maa tage i Betragtning, at Molekyler fra det ene Sted ikke uhindret kan fare hen til det andet, hvad der da kun vilde tage en forsvindende Brøkdelen af et Sekund. I Virkeligheden vil Molekylerne kun kunne gaa et ganske kort Stykke, inden de træffer paa andre Molekyler, hvorefter de farer af Sted i en ny Retning, og det er let at forstaa, at Udjævningen bliver meget langsommere, naar Molekylerne saaledes bevæger sig i Zigzaglinier med ganske korte retliniede Stykker; den større Hastighed i en Egn af Luftmassen vil da kun gennem mange Mellemlid paavirke Hastigheden i en anden Egn. Herved kan det forklares, at Luft er en meget daarlig Varmeleder. Naar man kender en Luftarts Varmeledningsevne, samt dens Molekylhastighed, vil man kunne udregne den gennemsnitlige Længde af Zigzagliniernes smaa retliniede Stykker eller med andre Ord Molekylernes *Middelvejlængde* mellem to Sammenstød. Den findes at være meget lille; for Ilt ved almindelig Tryk og Temperatur f. Eks. ca. 1 Titusindedel Millimeter eller  $0,1 \mu$ , idet  $\mu$  (det græske Bogstav *my*) er Betegnelsen for 0,001 mm, som ogsaa kaldes en *Mikron*.

Hvor lang Middelvejlængden bliver, afhænger aabenbart foruden af Molekylhastigheden dels af den gennemsnitlige Afstand mellem de enkelte Nabomolekyler Midtpunkter, eller med andre Ord af Molekyltallet i 1 Kubcm. ( $\text{cm}^3$ ), dels af Molekylernes Størrelse. Hvad



man skal forstaa herved, er nu rigtignok noget ubestemt, bl. a. fordi et Molekyl som Regel bestaar af mindst to Atomer; men man kan faa et foreløbigt Begreb om Sagen ved at tænke sig Molekylerne som elastiske Kugler. Selv under denne grove Forudsætning kan vi dog ikke af Middelveljængden udlede deres Størrelse, thi vi havde jo to ubekendte, nemlig Molekylstørrelsen og Molekyltallet pr. Kubikcentimeter. Af de samme to Ting afhænger aabenbart ogsaa det Rumfang, Molekylerne i  $1 \text{ cm}^3$  vilde indtage, naar de blev pakket tæt sammen. Antager man, at dette er sket, naar Stoffet fremtræder i Vædskeform, behøver man blot at kende Forholdet mellem samme Stofmængdes Rumfang i Luftform (ved  $0^\circ$  og atmosfærisk Tryk) og i Vædskeform for at faa endnu en Oplysning, som sammen med Middelveljængden kan tjene til Bestemmelse af de to ubekendte. Skønt Antagelserne er ufuldkomne, kan de dog give et Begreb om de paagældende Størrelser, og de Tal, man fandt ad de antydede Veje, var i alt Fald nogenlunde af samme „Størrelsesorden“ som dem, der senere er fundet ved fuldkomnere Metoder, bl. a. af elektrisk Art.

Om Radierne af Molekylerne betragtede som Kugler skal her kun siges, at de er af Størrelsesordenen  $0,1 \mu\mu$ , hvor  $\mu\mu$  betegner 1 Milliontedel Millimeter eller 1 Tusindedel Mikron. Selv om Molekylradien kun er en Regnestørrelse, viser den angivne Værdi for den dog, at Molekylet er over al Beskrivelse lille, d. v. s. kun kan øve kendelige Frastødninger og Tiltræknninger indenfor et uhyre ringe Rum.

Antallet af Molekyler i  $1 \text{ cm}^3$  af en Luftart ved Temperaturen  $0^\circ$  og atmosfærisk Tryk er derimod noget ganske bestemt; det er paa det nærmeste 27 Trillioner eller  $27 \cdot 10^{18}$ . Af dette Tal samt Vægten af en saadan Kubikcentimeter af en bestemt Luftart kan man finde Vægten af dennes Molekyl i Gram, og naar Antallet af Atomer i et Molekyl kendes, ligeledes Atomvægten i Gram. For Brint finder man 1,65 divideret med 1 Kvadrillion eller  $1,65 : 10^{24}$ , eller som det almindeligt skriver  $1,65 \cdot 10^{-24}$ ; et Gram Brint indeholder saaledes ca. 600 000 Trillioner Atomer og 300 000 Trillioner Molekyler. Af Brintatomets Vægt kan de andre Grundstoffers Vægt jo findes ved Multiplikation med Kemikernes relative Atomvægte — 16 for Ilt, 14 for Kvælstof o. s. v. —. Dersom man fortynder en Luftart saa stærkt, som det overhovedet er muligt ved Nutidens fuldkomneste Midler, d. v. s. til ca. en Timilliontedel af Atmosfærens Tryk, vil der endnu være op imod 3 Billioner Molekyler i en Kubikcentimeter, og Middelfafstanden mellem Nabomolekyler vil være ca. 1 Mikron. Middelvejlængden mellem to Sammenstød bliver imidlertid under disse Forhold meget anselig, for Brint ca. 2 Meter.

De fundne Tal for Molekylernes Antal, Vægt og Størrelse er saa overvældende ved deres Storhed eller Lidenhed, at de maaske hos



mange i Stedet for at styrke Tilliden til Atom- og Molekylteorien tværtimod vil forstærke Mistanken om, at Atomer og Molekyler kun er Tankefostre. I Virkeligheden var der endnu for 2—3 Aartier siden Fysikere og Kemikere, som — navnlig i Tilslutning til den ansete tyske Forsker *Wilhelm Ostwald* — benægtede Molekylernes og Atomernes Eksistens, ja endogsaa søgte at rense den videnskabelige Fremstilling af Naturlæren for atomistiske Forestillinger. Naar disse Tvivlere til Forsvar for deres Standpunkt hævdede, at de antagne Molekyler og Atomer var og for stedse vilde forblive fuldstændig utilgængelige for Iagttagelsen, skulde man tro, at de i alt Fald i denne Henseende kunde være sikre paa at beholde Ret.

Imidlertid har en Række af store og mærkelige Opdagelser i Aarene omkring Aarhundredskiftet udvidet vort Kendskab til Atomerne og vor Evne til at undersøge deres Forhold saa mægtigt, at enhver Tvivl om Atomernes Realitet maatte forstumme. Hvor utroligt det end kan lyde, er man nu paa mange Maader i Stand til at iagttage Virkninger af et enkelt Atom og derigennem at tælle Atomer et for et; ja man har endog kunnet fotografere enkelte Atomers Bane. Det drejer sig herved om Atomer, som er elektrisk ladede, og som bevæger sig under Paavirkning af elektriske Kræfter. Vi skal komme nærmere ind paa disse Ting i et følgende Afsnit, efter at vi først har betragtet nogle Forhold ved Lyset, hvis Klarlæggelse er nødvendig for Forstaaelsen af den af *Niels Bohr* opstillede Teori for selve Atomernes Bygning.

Her skal det blot endnu nævnes, at ogsaa i Luftarternes Molekylarteori, hvor det er neutrale (uelektriske) Molekyler, man har med at gøre, er der i det nye Aarhundrede gjort store Fremskridt særlig gennem Danskeren *Martin Knudsens* Undersøgelser af Forholdene ved meget stærk Luftfortynding, hvor Molekylerne kan gaa lange Veje uden at støde paa andre Molekyler. Samtidig med at hans Forsøg gav Oplysning om mange højst interessante og betydningsfulde Enkeltheder, maa de siges at give et Vidnesbyrd af meget direkte Natur om Molekylernes og Atomernes reelle Eksistens.

## II. LYSBØLGERNE OG SPEKTRET

*Bølgeteorien for Lyset.* Om Lysets Natur har der været forskellige Meninger. Den store engelske Fysiker *Isaac Newton* (1648—1727), hvis Virksomhed var banebrydende paa Lyslærens saa vel som paa Mekanikkens Omraade, var nærmest tilbøjelig til en atomistisk Opfattelse af Lyset, d. v. s. han tænkte sig, at det bestod af Smaadele, „Lysatomer“, der udslyngedes af de lysende Legemer som Projektiler af en Kanon. Imod denne „Emissionsteori“ (Udsendelsesteori)



stillede Newtons Samtidige Hollænderen *Huygens* sin Bølgeteori, ifølge hvilken Lyset var en fra de lysende Legemer udgaaende Bølgebevægelse i et Stof, *Æteren*, der opfyldte det ellers tomme Verdensrum og gennemtrængte alle Legemer, i alt Fald de gennemsigtige. I det 19. Aarhundrede bragtes Bølgeteorien — særlig af Englænderen *Young* og Franskmanden *Fresnel* — til afgørende Sejr over Emissionsteorien, og da den Opfattelse, at Lyset er en Bølgebevægelse, spiller en stor Rolle i det følgende, skal vi her opholde os lidt ved visse for alle Bølgebevægelser fælles Forhold, idet vi herved henter

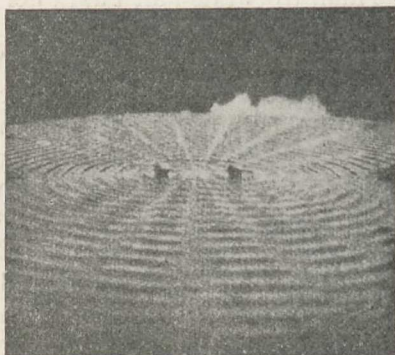


Fig. 4. Photograph af Interferens mellem to ens Bølgesystemer.



Fig. 5. Et Stykke af samme Billede forstørret.

(Efter Grimsehl: Lehrbuch der Physik).

anskuelige Eksempler fra Vandbølgers Udbredelse paa en Vandflade eller Lydbølgers Udbredelse i Luften.

Lad os tænke os, at vi staar i en Baad, som er forankret midt ude i Vandet, og betragter regelmæssige Bølger, der passerer forbi Baaden. Dersom det er Vindstille, og Vandet ikke er i Strømning, vil en Korkprop eller anden let Genstand, som ligger paa Vandet, løftes af Bølgebjergene, synke ned i Bølgedalene og tillige gaa lidt fremad paa Bølgetoppen og tilbage i Bølgedalen, men forøvrigt forblive paa samme Sted. Idet Proppen følges med de omliggende Vanddele, viser den disses Bevægelse, og man ser saaledes, at den enkelte Vanddel udfører en Svingning eller rettere et Kredsløb, som er fuldført i den Tid, Bølgebevægelsen skrider en „Bølgebredde“, eller som vi hellere vil kalde det, en „Bølgelængde“ frem d. v. s. saa langt som Afstanden fra en Bjergtop til den følgende. Denne Tid kan vi kalde *Svingningstiden* eller *Perioden*. Tæller vi, hvormange Bølgebjerge der skrider forbi i en vis Tid, har vi dermed ogsaa talt den enkelte Vanddels Svingninger i samme Tid. Antallet af Svingninger i Tidsenheden, som vi her passende kan lade være i Minut, kalder vi *Svingningstallet* eller *Frekvensen*. Er Svingningstallet f. Eks. 40, og er Bølgelængden 3 Meter, vil Bølgebevægelsen skride  $3 \times 40 = 120$  m frem i 1 Min.



Den Hastighed, hvormed Bølgebevægelsen skrider frem eller med andre Ord Bølgenes *Forplantningshastighed* er da 120 m i 1 Min. Vi har altsaa den Regel, at *Forplantningshastigheden* = *Svingningstallet*  $\times$  *Bølgelængden*.

Paa en Vandflade kan der samtidig optræde flere Bølgesystemer, store Bølger dannede af en Storm, som maaske har lagt sig, smaa Krusninger som er frembragt af et let Vindpust og løber hen over de større Bølger, Kølvasbølger fra et eller flere Skibe o. s. v. Vandoverfladens Form og Formvekslen kan herved blive overordentlig sammensat; men man kan gøre Rede for den, idet man paa hvert Sted saa at sige sammenlægger de Virkninger, de enkelte Bølgebevægelser for sig vilde fremkalde. Der- som et Bølgesystem paa et vist Tidspunkt vilde give et Bjerg og et andet samtidig ogsaa et Bjerg, faar man et højere Bjerg; paa lignende Maade vilde Dale fra to Systemer give en dybere Dal, og Bjerger fra det ene, Dal fra det andet delvis ophæve hinanden. En særlig smuk og simpel Indgriben („*Interferens*“) af to Bølgesystemer faar man, naar de er ganske ens, altsaa baade har samme Bølgelængde og lige høje Bølgebjerge. Man kunde f. Eks. til-

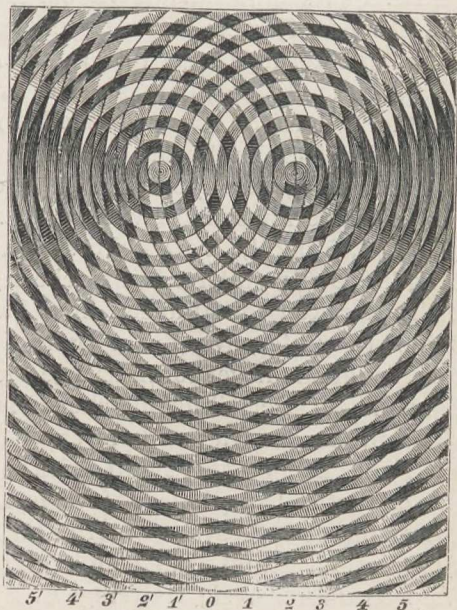


Fig. 6. Tegning af Interferens.

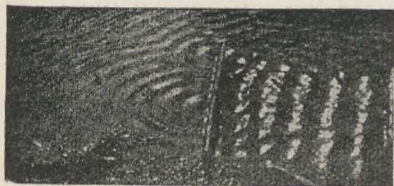


Fig. 7. Bølger, som tilbagekastes af et Bræt og gaar gennem et Hul i dette.

flade udspændt Tov, hvori var ophængt to Kugler, blev sat i Svingninger op og ned.

I Fig. 6 er der givet en skematisk Fremstilling af en Interferens af samme Art, og vi vil her betragte Forholdene i Punkter af Figurens



nedre Grænselinie. Til Punktet 0, der ligger lige langt fra de to Bølgecentre, vil der aabenbart samtidig komme et Bølgebjerg fra dem begge og derved opstaa et Bjerg af omtrent dobbelt Højde; en halv Svingningstid senere vil der komme en Bølgedal fra dem begge og derfor komme dyb Dal; efter endnu en halv Svingningstid vil to Bjerge atter mødes, og saaledes vil her høje Bjerge og dybe Dale veksle. Paa samme Maade vil det gaa i Punkt 2, der ligger en hel Bølgelængde fjernere fra det venstre end fra det højre Bølgecentrum, og i det hele taget i de Punkter ( $2, 2'4$  og  $4'$ ), hvor Forskellen i Vejlængde fra de to Bølgecentre er et helt Antal Bølgelængder. I Punktet 1 derimod, hvor Forskellen i Vejlængde er  $\frac{1}{2}$  Bølgelængde, vil stadig Bjerg fra det ene Centrum mødes med Dal fra det andet; og da Dalen er lige saa dyb, som Bjerget er højt, vil de ophæve hinanden; her bliver derfor stadig Hvile, og ligesaa gaar det i de andre Punkter ( $1', 3, 3', 5$  og  $5'$ ), hvor Vejforskellen er et ulige Antal halve Bølgelængder. Den resulterende Bølgebevægelse faar saaledes en ejendommelig Karakter med Partier, hvor Vædsken skvulper op og ned, adskilte af Punkter, hvor der er Hvile. Ogsaa ved at kaste en enkelt Sten i en Vandflade noget foran en lige Væg kan man faa en Inteferens af lignende Art. Der vil nemlig ske en Tilbagekastning fra Væggen, ganske som om der fra den kom et System af Bølgeringe med Centrum i et Punkt bag Væggen symmetrisk med det Punkt, hvor Stenen faldt, altsaa i dettes „Spejlbillede“ i Væggen.

Dersom et Bølgesystem træffer en Skillevej med en temmelig lille Aabning, vil denne virke som et nyt Bølgecentrum, hvorfra der bag Væggen udbreder sig Halvringe af Bjerge og Dale (Fig. 7). Men hvis det er Smaabølger, og Aabningen er stor i Forhold til deres Bølgelængde, gaar det paa væsentlig anden Maade. Man kan tænke sig Forholdet saaledes, at der fra hvert Punkt af Aabningen udgaar Bølgeringe. Som Resultatet af alle disse Bølgesystemers Samvirken vil nu Bjerge og Dale skride videre som før i den oprindelige Forplantningsretning, d. v. s. efter rette Linier, der trækkes fra det oprindelige Bølgecentrum gennem Aabningen, Straaleretningen kunde vi kalde det. Det kan imidlertid vises, at i Retninger længere ud til Siderne vil Interferensen mellem Bølgesystemerne svække den resulterende Bølgebevægelse. Idet Afgangslinien fra Straaleretningen forøges, vil Svækkelsen, hvis Bølgerne er tilstrækkelig smaa, saa at sige bølge op og ned, d. v. s. snart blive større, snart mindre; men selv om Bølgebevægelsen saaledes gentagne Gange kan blusse noget op, vil den dog i det hele taget aftage, idet Afgangslinien fra Straaleretningen forøges. Jo mindre Bølgerne er i Forhold til Aabningen, des mere udpræget bliver den deraf følgende Aftagen af Bølgebevægelsen ud til Siderne fra Straaleretningen, des mere nærmer Bølgeudbredelsen sig med andre Ord til en retliniet Straaling. At Lyset gaar i rette Linier, saa at



uigennemsigtige Genstande kaster skarpe Skygger, kan derfor godt forliges med Bølgeteorien, saafremt Lysbølgerne er overordentlig smaa; dog maa man vente, at der ved Lysets Passage gennem snævre Aabninger kan fremkomme en kendelig Afbøjning fra Straaleretningen. Dette stemmer imidlertid netop ogsaa med Erfaringen. Alle-rede ved Midten af det 17. Aarhundrede havde Italieneren *Grimaldi* opdaget en saadan Afbøjning („Diffraktion“) af Lys, der gennem en snæver Aabning trængte ind i et mørkt Værelse.

Saa-vel ved Lyset som ved Lyden er det egentlig kun billedlig Tale, naar vi bruger Betegnelser som „Bølger“ og „Bølgebevægelse“; thi de „Bjerger“ og „Dale“, som disse Navne oprindelig tager Sigte paa, har vi ikke her. Men denne Billedtale er et heldigt Valg, fordi man ved den rammer noget meget væsentligt, som baade Lyset og Lyden har fælles med Vandbølgerne. Hvad der sker, naar der fra en Lydgiver, f. Eks. en svingende Stemmegaffel, udbreder sig „Lydbølger“ i det omgivende Rum, er, at Luftdelene sættes i Svingninger frem og tilbage i Lydens Forplantningsretning. Alle Luftdelene har samme Svingningstid eller Periode som den lydgivende Stemmegaffels Grene, og Antallet af Svingninger i 1 Sekund bestemmer den udsendte Tones Højde; men Luftdele i forskellig Afstand fra Lydgiveren er ikke samtidig i samme Svingningstilstand eller „Fase“. Dersom en Luftdel i en vis Afstand fra Lydgiveren paa et givet Tidspunkt har stærkest Fart i den udadgaende Bevægelse, vil samtidig Luftdele noget længere fremme i Forplantningsretningen være i stærkest Fart i indadgaende Retning; endnu et Stykke længere fremme har Luftdelene paa dette Tidspunkt stærkest Fart udad ligesom de førstnævnte o. s. fr. Mellem Luftdele, der samtidig svinger mod hinanden, vil der dannes en Luftfortætning, og mellem Luftdele, der samtidig svinger fra hinanden, en Luftfortynding. Medens Luftdelene svinger frem og tilbage paa samme Sted, vandrer Fortætninger og Fortyndinger ligesom Bølger og Dale paa Vand fremad med en Hastighed, som kaldes Lydens Forplantningshastighed eller blot Lydhastigheden; idet vi kalder Afstanden mellem to paa hinanden følgende Punkter med stærkest Fortætning (svarende til to Bølgetoppe) eller i det hele taget mellem to paa hinanden følgende Punkter, hvor Luftdelene er i samme Svingningstilstand, en Bøgelængde, og Antallet af Svingninger eller Perioder i Tidsenheden for Svingningstallet, faar vi ligesom ved Vandbølger, at Forplantningshastigheden er lig Produktet af Svingningstallet og Bøgelængden.

Om Lyset kan vi nu sige, at det ligesom Lyden er periodiske Forandringer af Tilstanden i de enkelte Punkter i Rummet, og at disse Forandringer, der forplanter sig fra Lysgiveren ud i Rummet, i Løbet af en Periode skrider en Bøgelængde frem, d. v. s. saa langt som Afstanden mellem to paa hinanden følgende Punkter (i Forplantnings-



retningen), hvor Tilstandene til et vist Tidspunkt er ens. Og vi faar da som før, at Forplantningshastigheden (Lysets Hastighed) er lig Produktet af Svingningstallet (Periodetallet eller „*Frekvensen*“) og Bølgelængden. Man betegner gerne Lyshastigheden med Bogstavet  $c$ , Svingningstallet med det græske Bogstav  $\nu$  (ny), og Bølgelængden med det græske Bogstav  $\lambda$  (lambda). Den nævnte Sammenhæng kan da udtrykkes ved Formlen:

$$c = \nu \cdot \lambda \text{ eller } \nu = \frac{c}{\lambda} \text{ eller } \lambda = \frac{c}{\nu}$$

Lyshastigheden er i det tomme Rum en uforanderlig Størrelse, den samme for alle Bølgelængder. Den blev første Gang bestemt af Danskeren *Ole Rømer* (1676) gennem Iagttagelser af Jupiters Maaner; i Følge Nutidens Maalinger er den meget nær 300 000 Kilometer i 1 Sekund; udtrykt i Centimeter er Lyshastigheden 30 000 Millioner  $= 3 \cdot 10^{10}$  cm i 1 Sek.

Det laa nær at tænke sig Lysbølgerne i Lighed med Lydbølgerne dannede ved Svingninger af Smaadele ikke af Luften, men, som før nævnt, af et særligt, alt opfyldende og gennemtrængende Stof „*Æteren*“; men alle de Forsøg, man har gjort, paa at danne sig bestemte Forestillinger om Æterens stofflige Egenskaber og de enkelte Æterdeles Bevægelser er strandede. En Viden af væsentlig anden Art om Lysbølgernes Natur har man derimod faaet gennem *den elektromagnetiske Lysteori*, som for ca. halvhundrede Aar siden blev fremsat af Skotten *Maxwell*.

Efter Maxwells Teori skulde man vente, at naar Elektricitet svingede hurtigt frem og tilbage i en Leder, f. Eks. mellem to Metal-kugler, som derved vekselvis blev positiv og negativ elektriske, vilde der i det omgivende Rum med en Hastighed netop lig Lysets udbrede sig en Slags „*elektromagnetiske Bølger*“. Overalt hvor disse naaede hen, skulde der opstaa elektriske og magnetiske Kræfter, som var vinkelrette paa hinanden og paa Bølgernes Forplantningsretning, og som skiftede Retning i Takt med Elektricitetsbevægelsen i den ud-sendende Leder. Meningen med disse Udtryk kan illustreres derved, at man et eller andet Sted i Rummet tænker sig anbragt en uhyre lille og let Genstand, der besidder elektrisk Ladning. Foregaar der nu paa det paagældende Sted en elektromagnetisk Bølgebevægelse, vil denne have til Følge, at den ladede Partikel kommer i svingende Bevægelse paa Grund af de periodisk skiftende elektriske Kræfter. Partiklen spiller herved samme Rolle som Proppen paa Vandfladen i de tidligere omtalte Forsøg med Vandbølger (sml. S. 32); den bevirker en Synliggørelse af de elektriske Svingninger i Rummet, paa samme Maade som Proppen gjorde Vanddelenes Svingninger synlige. Foruden elektriske Kræfter findes der, som sagt, ogsaa magnetiske Kræf-



ter i en elektromagnetisk Bølge. Disse sidste kan ligeledes tænkes synliggjort, nemlig ved en uhyre lille Staal-magnet, der blev anbragt i Stedet for den elektrisk ladede Partikel. Ogsaa Magneten vilde i Følge Maxwells Teori komme til at udføre en hurtig svingende Bevægelse. Maxwell kom nu til den Slutning, at ogsaa Lyset bestaar af elektromagnetiske Bølger af ganske samme Art, blot mangfoldige Gange finere end dem, der kunde være Mulighed for at frembringe direkte ad elektrisk Vej.

Det lykkedes i Firserne Tyskeren *H. Hertz* at frembringe elektromagnetiske Bølger med Svingningstal af Størrelsesordenen 100 Mil-lioner i Sekundet, svarende til Bølgelængder af Størrelsesordenen nogle faa Meter ( $\lambda = c : \nu = 3 \cdot 10^{10} : 10^8 = 300 \text{ cm}$ ), og direkte at paavise de svingende elektriske Kræfter derved, at de frembragte elektriske Gnister i Ledningskredse anbragte paa Bølgernes Vej. Han kunde endvidere vise, at disse grove elektromagnetiske Bølger blev tilbagekastet og interfererede efter samme Love som Lysbølger. Der kunde efter dette ikke godt være nogen Tvivl om, at Lyset virkelig var elektromagnetiske Bølger, selv om de egentlige Lysbølger er saa fine, at det vilde være ganske umuligt at iagttage Svingningerne direkte ved Hjælp af elektriske Instrumenter.

Dermed var Spørgsmaalet om Æterens Natur, og hvad det egentlig var for Processer i denne, der laa til Grund for Lyssvingningerne, ingenlunde løst. Man har imidlertid mere og mere slaaet sig til Ro med den elektromagnetiske Beskrivelse af Lysbølgerne og opgivet at grunde over Æterens Natur. Ja, det hævdes i de sidste Aar ofte — særlig under Henvisning til Einsteins Relativitetsteori — at Æteren slet ikke eksisterer. Striden om Æterens Eksistens er dog mere et Spørgsmaal om Ord end om Realiteter; vi kan godt fremdeles tale om Lyset som Æterbølger, naar vi blot opgiver den tidligere grove Opfattelse af Æteren som et fast elastisk Legeme el. lign. med bestemte stofflige Egenskaber som Vægtfylde, Haardhed, Elasticitet o. s. v.

*Lysets Opløsning i Farver.* Det blev sagt, at egentlige Lysbølger var mangfoldige Gange finere end de Hertz'ske Bølger. Forholdet er imidlertid ikke saaledes, at alle Lysbølger har en og samme Bølgelængde og det dertil svarende Svingningstal. Lys, der kommer til os fra Solen, er sammensat af Lysbølger med en Mangfoldighed af forskellige Bølgelængder og Svingningstal, hver svarende til sin bestemte Farve.

Man kan ogsaa i denne Henseende sammenligne Lyset med Lyden. Hvad enten Lyden udgaar fra et Musikinstrument eller frembringes paa anden Maade, vil den i Almindelighed være af sammensat Art og kunne betragtes som sammensat af mange enkelte Toner med



hver sin bestemte Bølgelængde og Svingningsperiode. Naturligvis kan Luftdelene ikke samtidig svinge paa flere forskellige Maader; men man kan tænke sig Luftens øjeblikkelige Tilstand paa hver enkelt Sted bestemt ved, at de Fortætninger og Fortyndinger, de Svingninger frem og tilbage, som vilde svare til de forskellige Toner, sammensættes paa lignende Maade som Bølgebjerger og Bølgedale paa en Vandflade, hvor flere Bølgesystemer gennemkrydser hinanden. Naar man siger, at den indviklede Bølgebevægelse, som udgaar fra en Lydgiver, bestaar af forskellige Toner, ligger heri dog andet og mere end, at man paa den antydede Maade rent matematisk kan tænke sig den opløst i en Række simplere Bølgesystemer. Opløsningen kan ogsaa foregaa paa mere reel fysisk Vis. Dersom de udsendte Lydbølger et Sted træffer en Samling af Strenger, der er stemt hver for sin Tone, d. v. s. vilde frembringe den, naar de blev anslaaet, vil de saa at sige vælge denne ud af den sammensatte Lyd og derved sættes i Svingning; man siger, at Strengen virker som „*Resonnator*“ for den paa-gældende Tone. De Toner, som saaledes opfanges og sætter Resonnatoren i Medsvingning, vil vel derved bringes til at lyde stærkere i Nærheden af Resonnatorerne; men de tages delvis ud af det hele Bølgetog, der passerer disse, saa at de længere fremme paa dettes Vej vil være svækket i Forhold til dem, der ikke har fundet nogen ligestemt Streng og derfor er gaaet upaavirket videre. Resonnatorerne vil saa at sige „*absorbere*“ (indsuge) de Toner, for hvilke de er stemt.

Paa noget lignende Maade kan det, som vi senere skal se, gaa med Lys, der er sammensat af forskellige Farver, d. v. s. af Bølgesystemer med forskellige Bølgelængder; men til en fuldstændig Opløsning af saadant Lys i Farver benytter man sig af helt andre Midler.

Naar Lyset gaar over fra et Stof til et andet f. Eks. fra Luft til Glas eller omvendt, vil det „brydes“, d. v. s. Lysstraalernes Retning vil forandres; men hvis det er sammensat af forskellige Farver, vil Brydningen ledsages af en Farvespredning. Ser vi f. Eks. gennem et Glasprisme, saa at Lyset fra de betragtede Genstande maa passere ind og ud gennem to Prismeflader, der danner en — ikke altfor stor — Vinkel med hinanden, vil Genstandene ikke blot ses forskudt paa Grund af Straalernes Brydning, men tillige fremtræde med farvede Rande. Efter hvilke Love den til Brydning knyttede Farvedannelse foregaar, har Newton først klarlagt ved et berømt Forsøg, ved hvilket Sollys, der gennem en snæver Aabning sendtes ind i et mørkt Værelse, bredtes ud til et Farvebaand — et *Spektrum* bestaaende af alle Regnbuens Farver: Rødt, Gult, Grønt, Blaåt og Violet i den angivne Orden og med jævne Overgange mellem Nabofarverne.

I Newtons oprindelige Forsøg var de forskellige Farver dog kun ret ufuldkomment adskilte. Et Spektrum med renere Farver kan man



faa ved det i Fig. 8 viste „Spektroskop“. Det Lys, der skal undersøges, belyser en indstillelig, lodret Spalte i Endepladen af et Rør („Kollimatoren“) med en Linse i den anden Ende. Idet Spalten sidder i Linsens Brændplan, vil Lyset fra et Punkt i Spalten udgaa i parallelle Straaler. De træffer saa et Prisme med lodrét Kant, opstillet paa et lille drejeligt Bord og brydes af dette. De brudte Straa-

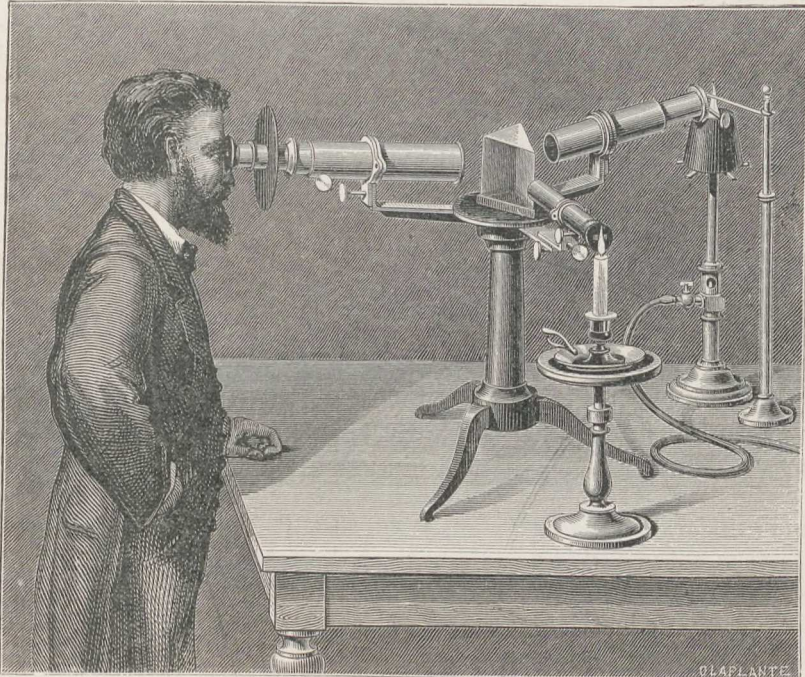


Fig. 8. Prismspektroskop. Tilhøjre ses Kollimatoren, tilvenstre Kikkerten; foran en Indretning til Belysning af Traadkorset.

ler gaar derefter i en ny Retning ind i en Kikkert, hvis Objektivlinse i sin Brændplan for hver Farve danner et skarpt lodret Spaltebillede, som kan betragtes gennem Kikkertens Okular, men da de forskellige Farver brydes ulige meget — de violette mest, de røde mindst —, vil de forskelligt farvede Spaltebilleder komme paa hver sit Sted, og tilsammen vil alle Spaltebillederne da danne et i vandret Retning udstrakt Spektrum overalt med samme Højde som det enkelte Spaltebillede. Ved at dreje Kikkerten kan man faa forskellige Partier af Spektret midt i Synsfeltet. Til Udmaalinger i Spektret anbringes der i Kikkertens Brændplan et med en Finskrue forskydeligt Traadkors eller en lodret Traad af Edderkoppespind.

I Stedet for at benytte Lysets Brydning i et Prisme til Farveadskillelse, kan man imidlertid benytte den Interferens, der opstaar,



naar et Bundt parallelle Lysstraaler passerer gennem et „Gitter“, d. v. s. en stor Mængde yderst fine og tætliggende parallelle Spalter i nøjagtigt ens Afstande, dannede f. Eks. af Ridser i Metallaget paa en forsølvet Glasplade. Fra hver af Spalterne udsendes Lysbølger i alle Retninger, men dersom vi kun har at gøre med Lys af en ganske bestemt Farve, d. v. s. en bestemt Bølgelængde, vil Interferensen mellem Bølgerne fra alle Spalterne tilsammen bevirke, at de praktisk

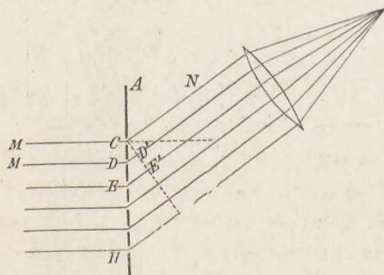


Fig. 9. Et Gitters Virkemaade. A Gitter; C, D, E, .... H Spalter; MM indfaldende Straaler. Naar DD', EE' ... er et helt Antal Bølgelængder, vil Lysbølger, der gaar i den ved AN angivne Retning og samles af en Linse, i Samlingspunktet alle have samme Svingningstilstand og derfor her alle samvirke. I andre Retninger ophæver Lys fra een Spalte Lys fra en anden.

talt fuldstændig ophæver hinanden undtagen i selve Straaleretningen og i Retninger, der danner visse bestemte af Bølgelængden og Spalteafstanden afhængige Vinkler med denne. Ensfarvet („monokromatisk“) Lys kan man faa ved som Lysgiver at anvende en Spritflamme, der er farvet gul med almindeligt Salt (Klornatrium); belyses Spalten i et Spektroskop med gult Lys fra en saadan Flamme, og anbringer man paa Prismets Plads et Gitter vinkelret paa Straaleretningen, vil man da i Kikkerten lige ud for Gitteret se et gult Spaltebillede og til begge Sider for dette endnu 1, 2, 3 eller maaske flere gule Spaltebilleder. Bruges Sollys, bliver Midterbilledet hvidt, idet alle Farverne samles her; men de andre forvandles til Spektre, fordi de forskellige Farver afbøjes ulige meget. I disse „Gitterspektre“, der efter deres Nummer fra Midterlinien betegnes som Spektre af første, anden, tredje Orden, ligger det violette Parti nærmest ved, det røde længst fra Midtlinien. Da man kan godtgøre, at Afbøjningen maa være des større, jo større Bølgelængden er, kan man heraf slutte, at det violette Lys har den mindste, det røde den største Bølgelængde. Af Afbøjningens Størrelse samt Spalteafstanden i Gitteret kan man udregne Bølgelængden for det paagældende Lys.

For det gule Lys fra den omtalte Spritflamme findes Bølgelængden at være omtrent  $0,000\,589\text{ mm.} = 0,589\ \mu$  eller  $589\ \mu\mu$  (se S. 30). Angivet i Centimeter er Bølgelængden  $0,000\,0589\text{ cm.}$  og af Formlen  $\nu = c : \lambda$  faar man da, at  $\nu = 526 \times 10^{12}$  eller 526 Billioner. Svingningstallet er saaledes et ganske overvældende højt Tal. For det yderste røde og det yderste violette i Spektret er Bølgelængderne med runde Tal henholdsvis  $800\ \mu\mu$  og  $400\ \mu\mu$ , og Svingningstallene henholdsvis 375 og 750 Billioner.



I Stedet for gennemsigtige Spaltegitre anvender man altid i videnskabelige Undersøgelser Spejlgitre af Spejlmatal med parallelle Ridser; Spektret dannes her af det tilbagekastede Lys fra de ikke-ridsede Partier. Spejlgitre kan fremstilles ved Indridsning paa et Hulspejl (Konkavgitre), som samler Straalerne, saa at man ikke behøver Glaslinser hertil. Gitre med flere hundrede Spalter eller Ridser paa 1 Millimeter og udførte med yderste Omhu, men derfor ogsaa meget kostbare, kan give udmærkede Spektre, baade lysstyrke og med meget stor Farveadspredelse.

*Spektrallinier.* I Begyndelsen af forrige Aarhundrede opdagede først *Wollaston* i England, senere *Fraunhofer* i Tyskland, at der i Sollysets Spektrum optraadte mørke Linier, hvad der altsaa viste, at visse Farver manglede. De mest fremtrædende af disse saakaldte „*Fraunhoferske Linier*“ blev benævnte med Bogstaverne A, B, C, D, E, F, G, H fra rødt mod violet; senere fandt man, at nogle af dem var dobbelte, f. Eks. D, som da opløstes i  $D_1$  og  $D_2$ ; man indførte ogsaa andre Navne som b og h; men Liniernes Antal steg med de forbedrede Hjælpemidler til Hundreder, ja Tusinder. Lyset fra et glødende fast eller flydende (smeltet) Stof var derimod „kontinuert“, d. v. s. det havde ingen mørke Linier. En Illustration af Solspektret med de stærkeste *Fraunhoferske Linier* findes øverst paa Spektraltavlen bag i Bogen.

En Modsætning til Solspektret med dets mørke Linier paa lys Grund danner de saakaldte *Liniespektre*, der bestaar af lyse Linier paa mørk Baggrund. Det først kendte var det, der dannedes af Lyset fra den tidligere omtalte saltholdige Spritflamme. Det havde, som nævnt, kun en eneste gul Linie, som dog senere viste sig at bestaa af to tæt ved hinanden. Det var jo *Klornatrium*, der farvede Flammen gul; men at det ikke er Klor, men det metalliske Grundstof *Natrium*, der herved er virksomt, fremgaar af, at ogsaa andre *Natriumsalte*, men ikke *Klorforbindelser* uden *Natrium* kan give den gule Dobbeltlinie. Man maatte da slutte, at det var *Natriumdamp*, der udsendte det gule Lys, som derfor kaldes *Natriumlys*. Fig. 7 paa Spektraltavlen bag i Bogen gengiver Spektret, som udsendes fra *Natriumdamp* i en Flamme. (Paa Grund af den lille Maalestok er Figuren ikke i Stand til at vise, at den gule Linie er dobbelt). Man gjorde nu den interessante Opdagelse, at *Natriumlinien* besad nøjagtig samme Bølgelængde, som det Lys, der i Solspektret manglede, der hvor den dobbelte D-Linie dannedes. Hvorledes det hang sammen med dette mærkelige „*Sammentræf*“ og andre af samme Art blev ca. 1860 opklaret af *Kirchhoff* og *Bunsen*. De viste nemlig ved direkte Forsøg, at *Natriumdamp* ikke alene er i Stand til at udsende det omtalte gule Lys, naar den selv er paa høj Temperatur, men at den samtidig er i Stand



til at absorbere Lys af den samme Bølgelængde, naar Straalerne fra et endnu varmere glødende Legeme passerer igennem Dampen. Der er aabenbart i denne Sammenhæng noget, der minder om det ved Lydbølgerne omtalte Forhold, at en „Resonnator“ absorberer den Tone, som den selv kan udsende. Den mørke D-Linie i Solspektret maatte nu aabenbart hidrøre fra, at der i Solens yderste Lag befandt sig Natriumdamp af lavere Temperatur end Solens straalende hvidglødende Indre, og at det til D-Linien svarende Lys, som oprindeligt var til Stede i Solens Straaler, absorberedes af denne Damp. Flere sindrige Forsøg, som vi ikke kan omtale her, bestyrkede yderligere Rigtigheden af denne Opfattelse.

Ogsaa ved de andre Liniespektre svarer bestemte Linier ligesom i Kogsaltflammens Lys i Almindelighed til bestemte Grundstoffer og ikke til bestemte kemiske Forbindelser; Udsendelsen af disse Linier er med andre Ord ikke en Molekylegenskab men en Atomegenskab. Metallernes Liniespektre kan ofte frembringes ligesom Natriumspektrets ved, at man bringer et Metalsalt til at fordampe i en Spritflamme eller bedre i en hed farveløs Gasflamme (fra en „Bunsenbrænder“); men kraftigere og bedre Midler har man i den elektriske Lysbue eller stærke elektriske Gnister. Ogsaa de Atomer, hvorefter Luftarternes Molekyler er opbyggede, kan bringes i saadanne Omstændigheder, at de udsender Lys, der ved Undersøgelse i et spektroskopisk Apparat viser sig at bestaa af et Liniespektrum. Man opnaar dette ved Hjælp af elektriske Udladninger af forskellig Art, Lysbuer, Gnister og Udladninger gennem Rør, hvori Luftarten befinder sig i fortyndet Tilstand.

Ligesom D-Linien svarer de øvrige Fraunhoferske Linier i Solspektret til lyse Linier i bestemte Grundstoffers Liniespektre, der kan frembringes her paa Jorden, og de maa da antages at fremkomme ved Lysets Absorption i de paagældende Grundstoffer. De fortæller derfor, at disse Stoffer findes i Luftform i Solens Atmosfære, som passerer af Lyset fra de indre tættere Lag, der for sig vilde give et kontinuert Spektrum.

Gennem Kirchhoffs og Bunsens Undersøgelser og Betragtninger over alle disse Ting fik Videnskaben Raadighed over et nyt, vidunderligt Hjælpemiddel af uoverskuelig Rækkevidde. Først og fremmest toges Spektralundersøgelsen i Kemiens Tjeneste som „Spektralanalyse“. Ved denne blev det bl. a. muligt i mangfoldige Tilfælde at „analysere“ saa smaa Stofmængder, at almindelig kemisk Behandling ikke kunde gennemføres, eller at paavise ubetydelige Spor af et Grundstof, og adskillige Grundstoffers Eksistens er først blevet opdaget ved Spektroskopet. Og tillige blev det muligt at udstrække den kemiske Analyse til Solen og fjerne Fiksstjerner. Men Spektrallinierne har tillige kunnet give os Besked om mange forskellige fysiske For-



hold, som man skulde tro var ganske utilgængelige for Iagttagelsen, ja de har givet os en Nøgle til Atomernes dybeste Hemmeligheder — en Nøgle, som dog først *Niels Bohr* har lært os at bruge.

Vi har i den foregaaende Omtale af Spektret holdt os til det for Øjet synlige Spektrum, der begrænses af det yderste røde og det yderste violette. Men disse Grænser er i Virkeligheden tilfældige, bestemte ved det menneskelige Øjes Egenskaber. Vi kan imidlertid undersøge Spektret paa andre Maader end ved direkte Betragtning; vi kan saaledes benytte dels Straalernes Virkning paa den fotografiske Plade, dels deres Varmevirkning f. Eks. paa tynde elektriske Ledningstraade, der anbringes forskellige Steder i Spektret. Paa disse Maader blev det opdaget, at der udenfor henholdsvis det violette og det røde ligger *ultraviolette* Partier med kraftige fotografiske Virkninger og *ultrarøde* Partier med kraftige Varmevirkninger, og vi kan ogsaa her paavise Spektrallinier, saavel mørke som lyse. Ved disse Undersøgelser har den Omstændighed, at Glas ikke er „gennemsigtigt“ overfor ultraviolette og ultrarøde Straaler dannet en Hindring, men dels ved at anvende andre Stoffer som Kvarts og Stensalt til Prismes og Linser, dels ved at benytte Konkavgittere har man kunnet overvinde dem og strække Undersøgelsen af Spektret ud til begge Sider. Ved særlige Midler har det været muligt at paavise Straaler med Bølgelængder helt op til omtrent 300  $\mu$  og helt ned til omtrent 0,02  $\mu$ , svarende til Svingningstal mellem 1 Billion og 15000 Billioner, medens de lysende Straalers Bølgelængder som nævnt ligger mellem 0,8 og 0,4  $\mu$ . Forøvrigt benyttes Betegnelsen Lysstraaler ofte i videre Betydning ogsaa om de ultrarøde og ultraviolette Straaler, som kan paavises i Prisme- eller Gitterspektre.

Bølgelængder langt større end ovennævnte 300  $\mu$  (0,03 cm) har, som det før er sagt, de ad direkte elektrisk Vej frembragte elektromagnetiske Bølger; man er her i den traadløse Telegrafi naaet op til Bølgelængder paa 1 Kilometer eller mere, svarende til Svingningstal af 300 000 eller mindre; men man har ad direkte elektrisk Vej ikke kunnet naa længere ned end til ca.  $\frac{1}{2}$  cm.; der er saaledes en lang Afstand til de yderste ultrarøde Straalers 0,3 mm. Bølgelængder langt mindre end de ovennævnte 0,02  $\mu$  eller 20  $\mu\mu$  repræsenteres af de saakaldte *Røntgenstraaler*, ved hvilke man kan komme helt ned paa 0,01  $\mu\mu$  svarende til et Svingningstal af 30 Trillioner. Disse Straaler kan umulig undersøges selv med de allerfineste kunstige Gittere; men Krystaller danner paa Grund af den regelmæssige Ordning af Atomerne en Slags naturlige Gitre af overordentlig Finhed, og ved disse „Krystalgitre“ er det i de senere Aar lykkedes at opløse Røntgenstraaler i en Art Spektre og derved samtidig at faa maalt Røntgenstraalers Bølgelængder og at vinde et Indblik i Krystallernes indre Struktur. De største Bølgelængder, man kender for Røntgen-



straaler, er omtrent  $1,5 \mu\mu$ , og ogsaa herfra er der altsaa et stort Spring til de  $20 \mu\mu$  for de yderste ultraviolette Straaler.

Samtidig med at man saaledes er gaaet i Bredden og har mangedoblet Spektrets Omfang, er man imidlertid ogsaa gaaet i Dybden, d. v. s. man har i høj Grad forøget den Finhed, hvormed de enkelte Partier af Spektret kan undersøges. Det er med Nutidens Midler

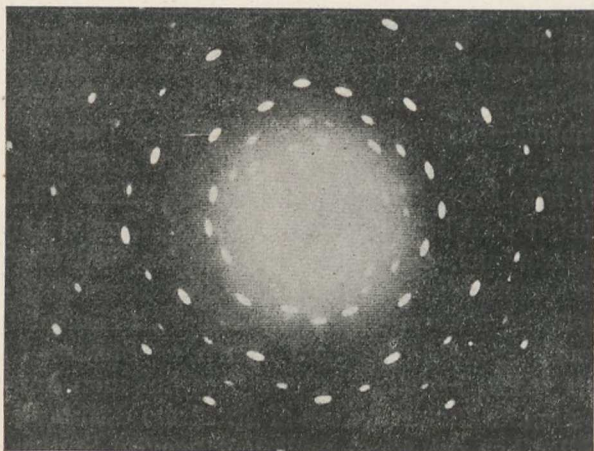


Fig. 10. Fotografisk Virkning af Røntgenstraaler, som er passeret gennem „Atomgitteret“ i en Magnesiakrystal.

muligt at bestemme en Spektrallinies Bølgelængde med en Nøjagtighed af  $0,001 \mu\mu$  eller endnu mindre og saaledes paavise overordentlig smaa Forandringer i Bølgelængde, forårsagede af forskellige fysiske Paavirkninger.

Foruden de i det foregaaende nævnte *kontinuerte Spektre*, som udsendes af faste eller

flydende glødende Legemer, og *Liniespektre*, der udsendes af luftformede Stoffer, samt *Absorptionsspektre* med mørke Linier, har man ogsaa Spektre af anden Karakter. Der er saaledes de Absorptionsspektre, som fremkommer ved det hvide Lys' Passage gennem farvet

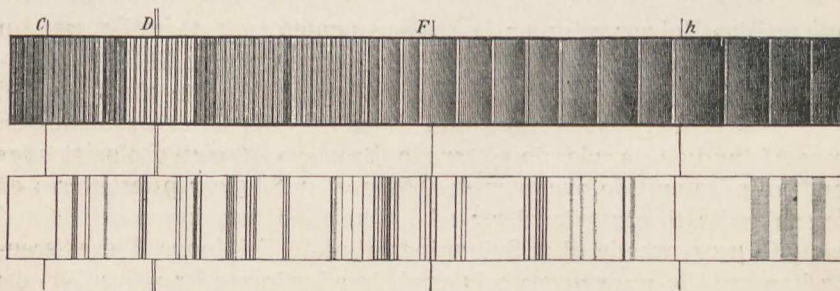


Fig. 11. Spektre dannede ved Gnistudladninger af forskellig Art gennem et Glasrør med Kvælstof fortyndet til  $\frac{1}{20}$  Atmosfære. Øverst Baandspektrum, nederst Liniespektrum.

Glas eller farvede Vædsker; her faar man ikke fine mørke Linier i Spektret, men der viser sig bredere mørke „Absorptionsstriber“, eller Spektret indskrænkes til enkelte lyse Partier. Endvidere er der de saakaldte „Baandspektre“, der ligesom Liniespektrene er rene Ud-



sendelses- eller „*Emissionsspektre*“ dannede af Lys fra Luftarter under særlige Omstændigheder; de synes at bestaa af en Række lysende Baand, der følger efter hinanden med en vis Regelmæssighed (se Fig. 11). Ved stærkere Farveadspredelse opløses Baandene dog i Grupper af lysere Linier.

De Spektre, vi faar mest at gøre med i det følgende, er dog de egentlige Liniespektre, og dem skal vi derfor her betragte lidt nærmere.

De forskellige Stoffers Liniespektre er højst forskellige med Hensyn til Komplikerthed. Medens mange Metaller giver et overvældende Antal Linier, Jærn f. Eks. ca. 5000, er der andre, som kun giver faa, i alt Fald i et simpelt Spektroskop. Ved et lysstærkere og mere farvespredende Spektroskop vil Simpelheden dog formindskes, idet der dels viser sig helt nye lyssvagere Linier, dels indtræder en Fordobling eller Tredobling af Linier, som før syntes enkelte, og naar man udstrækker Undersøgelsen til de ultraviolette og ultrarøde Partier af Spektret, forøges Liniernes Antal. Det er saaledes nævnt, at Natriumspektret først syntes kun at bestaa af en enkelt gul Linie, men at denne viste sig at være en Dobbeltlinie; senere fandtes endnu flere Rækker af svagere Dobbeltlinier. Det skal her bemærkes, at hvilke og hvor mange Linier man faar frem, beror ikke blot paa Spektroskopets Godhed, men ogsaa paa de fysiske Forhold, hvorunder Spektret dannes.

Fysikerne har bestræbt sig ivrigt for at finde Lovmæssigheder i Liniernes Fordeling, og det lykkedes ogsaa nogenlunde let for nogle Spektre at finde visse Lovmæssigheder. F. Eks. kan det nævnes, at Liniespektrene for Lithium, Natrium, Kalium, Kobber m. m. kunde inddeles i 3 Rækker eller Serier, hver bestaaende af Dobbeltlinier; senere har man endvidere fundet, at Forskellen mellem Svingningstallene for en Dobbeltlinies to „Komponenter“ var nøjagtigt ens for de fleste Linier i et af disse Spektre, og at denne Forskel for de forskellige Spektre stod i simpel Sammenhæng med Stoffets Atomvægt. Men alt dette maa dog snarest kaldes Brokker af Lovmæssighed; man er hermed meget langt fra en Lov, der nøjagtigt kunde gøre Rede for Liniefordelingen blot i en enkelt Serie endsige i et helt Spektrum eller i alle Spektre.

Det første betydningsfulde Skridt i denne Retning blev allerede 1885 gjort af Schweitzeren *Balmer* ved *Brintspektret*, der er det simpleste af alle Spektre. I den synlige Del bestaar det blot af tre Linier, en rød, en blaa og en violet; de svarer til de Fraunhoferske Linier C, F og h og betegnes nutildags almindelig som H $\alpha$ , H $\beta$  og H $\gamma$ . Hertil kommer imidlertid et ikke ringe Antal Linier i det ultraviolette.

Balmer opdagede, at Bølgelængderne for den røde og den grønne Brintlinie forholdt sig til hinanden nøjagtigt som to hele Tal, nem-



lig 27 og 20, og at Bølgelængderne for den grønne og den violette Linie forholdt sig som 28 til 25. Fortsatte Betragtninger over denne Sammenhæng førte ham til at opstille en Regel, der kunde udtrykkes i en simpel Formel. Naar man i Stedet for Bølgelængder indfører Svingningstal, kan *Balmers Formel* skrives:

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

hvor  $\nu$  betyder Svingningstallet for en Brintlinie,  $K$  et konstant Tal der er  $3,29 \cdot 10^{15}$  eller 3290 Billioner og  $n$  et helt Tal. Idet man tillægger  $n$  forskellige Værdier, bliver  $\nu$  Svingningstallet for forskellige Brintlinier. Nu vil  $n = 1$  der gør  $\nu$  negativ, og  $n = 2$ , der gør  $\nu = 0$  aabenbart ikke give nogen Mening; men sættes  $n = 3$ , faar man Svingningstallet for den røde Brintlinie ( $H\alpha$ );  $n = 4$  giver den grønne

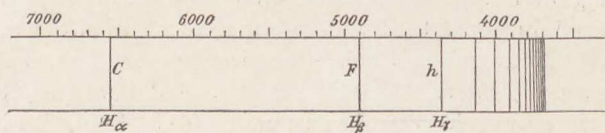


Fig. 12. Linier i Brintspektret svarende til Balmerserien.

( $H\beta$ ) og  $n = 5$  den violette ( $H\gamma$ ). Efterhaanden fandt man over 30 Brintlinier, som med stor Nøjagtighed svarede til Formlen ved forskellige hele Tal for  $n$ . Nogle af disse Linier var dog ikke frembragte ved jordisk Brint, men fundne i Spektret af Sol og Stjerner; men deres nøjagtige Indpasning i Balmers Formel var et yderst kraftigt Vidnesbyrd om, at de hidrørte fra Brint, og Formlen havde saaledes vist sin Evne til at aabenbare „himmelske Ting“. Efterhaanden som  $n$  vokser, nærmere Leddet  $1 : n^2$  sig til Nul, og man kan faa det saa nær til denne Grænse, man vil, ved at lade  $n$  vokse „i det uendelige“, eller som det udtrykkes i Matematikken: for  $n = \infty$  (uendelig), bliver  $1 : n^2 = 0$  og følgelig  $\nu = K : 4 = 823$  Billioner, svarende til en Bølgelængde af  $365 \mu\mu$ . Fysisk betyder dette, at Brintens Liniespektrum i det ultraviolette skal være begrænset af en Linie svarende til dette Svingningstal. I Nærheden af denne Grænse vil de til Balmerformlen svarende Brintlinier ligge meget tæt; allerede for  $n = 20$  bliver  $\nu$  kun lidt forskellig fra  $K : 4$ , og Afstanden mellem to paa hinanden følgende Linier svarende til en Forøgelse af  $n$  med 1 bliver mere og mere ubetydelig. Fig. 12, hvor Tallene foroven betyder Bølgelængder angivne i den saakaldte Ångstrømske Enhed, der er  $0,1 \mu\mu$ , viser tydeligt denne Sammenhobning af Brintlinierne hen imod en bestemt Grænse. Omstaaende Tabel, hvor der for  $K$  er anvendt den nøjagtigere Værdi  $K = 3\,290,364$  Billioner, viser hvor nøje de af Formlen udregnede Værdier stemmer med dem, Iagttagelsen har givet.



I den nyere Tid har Balmers Landsmand *Ritz* imidlertid ud fra visse Argumenter i Tilknytning til Svenskeren *Rydbergs* Undersøgelser af Spektrene for andre Grundstoffer gjort det sandsynligt, at Brintspektret indeholdt flere Linier end dem, der svarer til Balmers Formel. Han antog, at det ligesom andre Spektre indeholdt flere Serier af Linier, og at Balmers Formel kun svarede til een af dem. Ritz opstillede nu den mere omfattende Formel (Balmer-Ritz Formel):

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

hvor  $K$ . har samme Værdi som før, og baade  $n'$  og  $n''$  er hele Tal, som kan antage en Række forskellige Værdier. For  $n'' = 2$  faar man den Balmerske Serie; til  $n'' = 1$  og  $n' = 2, 3 \dots \infty$  vilde svare en anden

Tabel over nogle af Balmerseriens Linier.

|          | $K \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) = \nu$ (udregnet) | $\nu$ fundet  | $\lambda$ (fundet)          |
|----------|-----------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| $n = 3$  | $K \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) = 456\,995$ Bill.   | 456 996 Bill. | 656,460 $\mu\mu$ H $\alpha$ |
| $n = 4$  | $K \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right) = 616\,943$ »      | 616 943 »     | 486,268 » H $\beta$         |
| $n = 5$  | $K \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right) = 690\,976$ »      | 690 976 »     | 434,168 » H $\gamma$        |
| $n = 6$  | $K \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{36} \right) = 731\,192$ »      | 731 193 »     | 410,288 » H $\delta$        |
| $n = 7$  | $K \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{49} \right) = 755\,440$ »      | 755 441 »     | 397,119 » H $\epsilon$      |
| .....    | .....                                                           | .....         | .....                       |
| $n = 20$ | $K \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{400} \right) = 814\,365$ »     | 814 361 »     | 368,307 »                   |

Serie, som ligger helt i det ultraviolette, og til  $n'' = 3, n' = 4, 5, \dots \infty$  en Serie i det ultrarøde. Det er virkelig senere lykkedes at finde Linier, som hører til disse Serier.

Ogsaa for andre Grundstoffers Liniespektre er det lykkedes at opstille Formler, som minder om Ritz' Formel, og ligesom denne gør Rede for Liniernes Fordeling. Ogsaa her fremtræder Svingningstallet som en Differens mellem to Led, der hver indeholder et helt Tal, som kan gennemløbe en Række Værdier. Men medens Brintformlen foruden  $n$ 'erne kun indeholder den ene konstante Størrelse  $K$ , og Leddene har den simple Form  $K : n^2$ , er Forholdene mere sammensatte ved de andre Grundstoffer. De enkelte Led kan ofte med

stor Tilnærmelse skrives paa Formen  $\frac{K}{(n + \alpha)^2}$ , hvor  $K$  med meget stor Tilnærmelse er den samme Konstant som i Brintformlen; den nye tilkomne Størrelse  $\alpha$  kan for samme Stof antage flere forskellige Værdier, og derved bliver Antallet af Serier større, og Forholdene i det hele langt mere indviklede.

Alle disse Formler var imidlertid rene „empiriske Formler“ (Er-



faringsformler), udledede alene af de ved Spektralmaalinger fundne Værdier af Bølgelængder og Svingningstal. De repræsenterede saa at sige visse mer eller mindre simple Bogføringsregler, hvorved man bekvemt kunde registrere baade gammelkendte og nyfundne Linier — indføre dem i Rækker, ordnede efter bestemte Metoder. Men kunde man end ikke tvivle om, at disse Regler havde en dybere fysisk Betydning, var det dog ikke muligt at faa Øje paa denne; man kunde ikke se nogen Sammenhæng mellem Spektralformlerne og andre fysiske Egenskaber af de Stoffer, som udsendte de paagældende Spektre; deres Form frembød end ikke nogen Analogi med Formler, man kendte fra andre Omraader.

### III. IONER OG ELEKTRONER

*Ældre elektriske Teorier og Love.* De elektriske Grundfænomener, som var kendt allerede for henved et Par Aarhundreder siden, bestaar, kan man sige, deri at visse Stoffer ved Gnidning bliver „elektriske“, d. v. s. faar en ejendommelig Evne til at tiltrække lette Ting, samt at der findes to Slags elektriske Legemer — „positiv elektriske“ og „negativ elektriske“ — af hvilke de ensartet elektriske frastøder hinanden, medens de uensartet elektriske tiltrækker hinanden og, naar de bringes tæt sammen, helt eller delvis ophæver hinandens Virkninger udadtil. Tillige havde man tidligt opdaget, at i nogle Stoffer (elektriske *Ledere*, hvortil særlig Metallerne hørte) kunde Elektriciteten bevæge sig frit fra Sted til Sted, medens andre Stoffer (*Isolatorer*, f. Eks. Glas, Porcelæn, Luft) dannede Hindringer for dens Bevægelse.

For at forklare disse Forhold tænkte nogle sig, at der var to Slags „Elektricitetsstoffer“ — „elektriske Fluida“. Da man ikke kunde opdage nogensomhelst Vægtforandring af Legemer ved Elektrisering, antog man i Almindelighed, at de elektriske Fluida var vægtløse. I de normale, uelektriske Legemer var de til Stede blandede med hinanden og i lige store Mængder, og de ophævede (neutraliserede) da hinandens Virkninger, hvorfor man kunde betegne dem som hinanden modsatte og passende kalde det ene positivt det andet negativt. Efter en anden Teori antog man kun eet Elektricitetsstof, som hos de „uelektriske“ eller neutrale Legemer var til Stede i en vis normal Mængde, men hos de positiv elektriske i Overskud over denne, hos de negativ elektriske i Underskud. Ud fra begge Teorier kunde man tale om den Mængde af positiv eller af negativ Elektricitet, et Legeme indeholdt eller var „ladet“ med, idet Tilhængere af Enstoffteorien saa derved forstod henholdsvis Overskuddet og Underskuddet af det ene Elektricitetsstof. Ligesaa kunde



man, naar der foregik Elektricitetsstrømning i en Leder ud fra begge Teorier tale om *Retningen* af den elektriske Strøm, idet Tilhængere af Tostofsteorien da herved kunde forstaa den Retning, hvori de elektriske Kræfter vilde drive den positive Elektricitet, eller den modsatte af den, hvori de vilde drive den negative; om der i Virkeligheden gik positiv Elektricitet i den ene Retning eller negativ i den modsatte, eller om de samtidig bevægede sig hver i sin Retning, kunde man ikke afgøre. Det var ogsaa ved begge Teorier ganske vilkaarligt, naar man betegnede den elektriske Tilstand hos Glas, der var gnedet med Uld som den positiv elektriske, og i det hele taget syntes den ene Teori ikke at have væsentlige Fordele fremfor den anden. Forskellen mellem dem syntes mere at bestaa i Udtryksmaader end i Realiteter.

At den positive og den negative elektriske Tilstand ikke uden videre var ligestillede eller „symmetriske“ Tilstande syntes dog at fremgaa af de saakaldte Udladningsfænomener, ved hvilke Elektricitet under Lysen strømmer ud i Luften fra stærkt ladede (positive eller negative) Legemer eller bryder gennem Luften mellem positive og negative Legemer i Gnister, elektriske Lysbuer eller paa anden Maade. Ved Udladning mellem en Spids og en Metalplade, vil man saaledes i visse Tilfælde se en smuk „Lysbusk“ staa ud af Spidsen, naar denne er positiv, medens man ved en negativ Spids kun ser ligesom en lille Stjerne.

Vi kan naturligvis ikke her gaa ind paa de mangfoldige elektriske Fænomener og Lovene for dem, men maa nøjes med kort at omtale visse Forhold, som spiller en særlig Rolle for Atomteorien.

Hertil hører bl. a. den saakaldte *Coulomb'ske Lov*. I Følge denne af Franskmanden *Coulomb* ca. 1785 opstillede Lov forholder Kraftvirkningen — Frastødningen eller Tiltrækningen — mellem to elektriske Legemer sig ligefrem som Produktet af deres Elektricitetsmængder og (ligesom Tiltrækningen mellem neutrale Stofdele efter Newtons Lov) omvendt som Kvadratet paa deres Afstande. Som Enhed for Elektricitetsmængde kunde man tage den, der frastødte en ligesaa stor ensartet Elektricitetsmængde i en Afstand af 1 Længdeenhed med 1 Kraftenhed. Regner man med det videnskabelige eller „absolute“ Enhedssystem, hvis Grundenheder er Længdeenheden 1 Centimeter (1 cm), Tidsenheden 1 Sekund (1 Sek. eller 1 sec) og Masseenheden (Vægtenheden) 1 Gram (1 g), bliver Kraftenheden den Størrelse, som kaldes 1 *dyn*, og som er lidt større end Jordens Træk i et Miligramlod. Tænker vi os, at man opstiller to ganske smaa Legemer, der er ladet med lige store Mængder af positiv (eller negativ) Elektricitet, i en Afstand af 1 cm fra hinanden, og finder man da, at de frastøder hinanden med en Kraft af 1 dyn, saa er den Elektricitetsmængde, hvert af Legemerne er ladet med, det man



kalder den *absolute elektrostatiske Elektricitetsenhed*. Gør man det ene Legemes Ladning 3, det andets 4 Gange saa stor, vil Frastødningen blive  $3 \times 4 = 12$  Gange saa stor; forøges Afstanden fra 1 til 5 cm, bliver Frastødningen  $5^2 = 25$  Gange saa lille. Forandres det ene Legemes Ladning til negativ Ladning af samme Størrelse, vil Frastødningen forandres til en Tiltrækning saa stor som Frastødningen før.

I Begyndelsen af det 19. Aarhundrede fandt man Midler til at frembringe en stadig *elektrisk Strøm* gennem metalliske Lednings-traade. I Aaret 1820 opdagede *H. C. Ørsted*, at en elektrisk Strøm paavirkede en Magnet paa en ejendommelig Maade, og at den omvendt selv paavirkedes af de fra en Magnet udgaaende Kræfter, eller med andre Ord af et magnetisk Felt. Franskmanden *Ampère* opstillede snart efter nøjagtige Love for de „*elektromagnetiske*“ Kraftvirkninger mellem Magneter og Strømme og disse indbyrdes. I 1831 opdagede Englænderen *Faraday* at der opstod — „*induceres*“ — elektrisk Strøm i en Ledning, naar Strømme eller Magneter i Nærheden bevægedes eller ændrede Styrke. De af *Faraday* anlagde Synspunkter for Tilstanden i de elektriske og magnetiske Kraftfelter om Strømme og Magneter fik ogsaa grundlæggende Betydning for den af *Maxwell* udviklede *elektromagnetiske Bølgeteori*, som er omtalt i forrige Afsnit. — Tilsammen betegnes alt dette i vore Dage almindeligt som *Elektrodynamikken*.

*Elektrolyse*. *Faraday* har ogsaa nærmere undersøgt de kemiske Virkninger, en elektrisk Strøm udøver, naar den ledes gennem Opløsninger af Salte og Syrer mellem to i Vædsken neddykkede Metalplader, *Elektroderne*. Strømmen vil adskille Saltene og Syrerne i to Bestanddele, som af de elektriske Kræfter føres i modsatte Retninger; man kalder denne Adskillelse *Elektrolyse*. Er Vædsken f. Eks. fortyndet Saltsyre, d. v. s. en Opløsning af Klorbrinte ( $\text{HCl}$ ), vil Brinten gaa med Strømmen til den negative Elektrode, *Katoden*, og føre positiv Elektricitet med sig til denne, medens Klorret gaar mod Strømmen og fører negativ Elektricitet til den positive Elektrode, *Anoden*. Man maa da med Svenskeren *Arrhenius* antage, at under Vandets Indflydelse adskilles Klorbrintemolekylerne i positiv elektriske Brintatomer og negativ elektriske Kloratomer, og at de fra Anoden og Katoden udgaaende elektriske Kræfter fører disse henholdsvis med og mod Strømretningen, og man betegner disse elektrisk ladede, vandrede Atomere som *Ioner*, d. v. s. Vandrere. Den positive Elektricitet, Brintatomerne fører til Katoden, gaar fra denne ud i den metalliske Strømledning, og Anoden maa paa sin Side fra den metalliske Strømledning modtage ligesaa megen positiv Elektricitet, som afgives til Kloratomerne og neutraliserer dem; deres negativ



elektriske Ladning maa derfor være ligesaa stor som Brintatomernes positive. Dette gælder, da der er lige mange af de to Slags Atomer, baade om den hele Mængde i en vis Tid overførte Atomer og om de enkelte Brint- og Kloratomer.

Faraday havde fundet, at den Brintmængde, der ved Elektrolysen i en vis Tid førtes til Katoden, var proportional med den i samme Tid overførte Elektricitetsmængde. Et Gram Brint førte altsaa altid samme Elektricitetsmængde med sig. Hvor stor denne Elektricitetsmængde er, kan man finde ved Forsøg, og da man nu kender et Brintatoms Vægt i Gram (S. 30), kan man udregne, hvor stor en Elektricitetsmængde, det fører med sig; udtrykker man den i den før omtalte elektrostatiske Enhed, vil dens Størrelse være angivet ved Tallet  $4,77 \cdot 10^{-10}$  eller 477 Billionte dele. Et Kloratom vil da ogsaa føre  $4,77 \cdot 10^{-10}$  elektrostatiske Enheder — men denne Gang negativ Elektricitet — med sig; da dets Atomvægt er 35,5 Gange Brintens, fører 35, 5 Gram Klor altsaa ligesaa megen Elektricitet som 1 Gram Brint. Forholdet  $e : m$  mellem Ladningen  $e$  og Massen  $m$  er med andre Ord 35,5 Gange saa stor for Brint som for Klor.

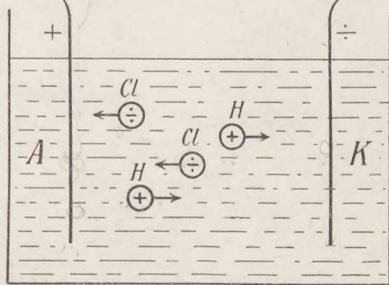


Fig. 13. Skema for Elektrolyse af Klorbrinte. A Anoden; K Katoden; H Brintatomer; Cl Kloratomer.

Vi har foreløbig holdt os til Elektrolyse af Klorbrinte. Lad os nu tænke os, at vi i Stedet har Klorzink, som ved Elektrolysen adskilles i Klor og Zink. Hvert Kloratom vil da ligesom før føre  $4,77 \cdot 10^{-10}$  negative Elektricitetsenheder til Anoden; men da Zink er divalent (S. 21), og et Atom Zink følgelig er forbundet med 2 Kloratomer, maa Zinkatomet føre en (positiv) Elektricitetsmængde af  $2 \times 4,77 \cdot 10^{-10}$  Enheder til Katoden. Et Atom (eller en Atomgruppe) med 3 Valenser vilde ved Elektrolyse føre  $3 \times 4,77 \cdot 10^{-10}$  Enheder o. s. v..

Vi ser saaledes, at den Elektricitetsmængde, der under Elektrolyse ledsager Ionerne, altid er  $4,77 \cdot 10^{-10}$  elektrostatiske Enheder eller hele Multipla deraf. Men den Tanke ligger da nær, at „Elektricitetsstoffet“ er atomistisk, og den nævnte Størrelse den mindste Elektricitetsmængde, der kan optræde for sig, eller med andre Ord et „elektrisk Elementarkvantum“ eller et „Elektricitetsatom“. Et monovalent Grundstofatom skulde da, naar det var elektrisk, altsaa optræde som Ion, have 1 Elektricitetsatom knyttet til sig, et divalent 2 o. s. v. Det var endvidere rimeligst i Tilknytning til Tostofsteoriens Tankegang at antage, at der var to Slags Elektricitetsatomer repræ-



senterende henholdsvis positiv og negativ Elektricitet. Man kunde da danne sig den ved Fig 14 fremstillede grove Forestilling om f. Eks. en Klorion og en Brintion og om deres Forening til et Molekyl.

Elektricitetsatomerne adskilte sig dog væsentligt fra de almindelige Grundstofatomer bl. a. derved, at de ikke syntes at kunne føre et selvstændigt Liv, men kun optraadte som Ledsagere af Grundstofatomerne. Forestillingerne om dem vilde aabenbart faa et langt kraftigere Virkelighedspræg, hvis det lod sig gøre at faa Elektrici-

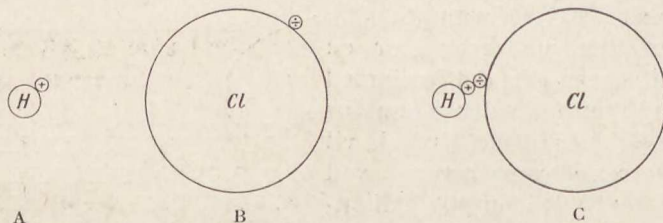


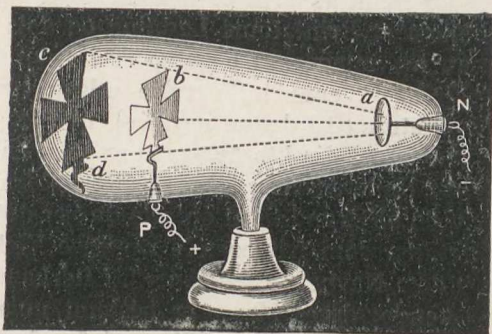
Fig. 14. Foreløbige Forestillinger (efter „Tostofsteorien“) om A en Brintion, B en Klorion og C et Klorbrintemolekyl.

tetsatomer til at gaa paa egen Haand. At dette virkelig var muligt, har man opdaget ved Undersøgelser over Elektricitetsbevægelsen i Luften.

*Forholdene i Udladningsrør.* Det er tidligere sagt, at Luften er en Isolator for Elektriciteten, og dette er ogsaa Tilfældet under almindelige Forhold; men som allerede nævnt, kan den gennembrydes af elektriske Gnister og passeres af den elektriske Lysbue. Endvidere fandt man ret tidligt, at fortyndet Luft var ganske godt ledende, saa at man kunde faa en nogenlunde stærk Strøm til at gaa over mellem to Metalelektroder anbragte i et Glasrør med fortyndet Luft og forbundet med en ydre Strømledning ved Metaltraade indsmeltet i Glasset. Herved indtraadte nu i disse „Udladningsrør“ eller „Geissler-rør“, som de ofte kaldes efter en tysk Glasblæser *Geissler*, forskellige mærkelige og uforstaaelige Lysvirkninger. Naar man drev Luftfortyndingen meget vidt, f. Eks. til en Hundredtusindedel af Atmosfærens Tryk, eller derunder, krævedes der stærke elektriske Kræfter (stærk elektrisk Spændingsforskel mellem Elektroderne) til at fremkalde en elektrisk Udladning, og denne antog en ganske ny Karakter. I Glasrørets Indre viste der sig næsten intet Lys, men Glasvæggen lige overfor den negative Elektrode (Katoden) lyste med et grønligt Skær (fluorescerede). Anbragte man i Røret mellem Katoden og Glasvæggen en lille Metalplade, kastede den Skygge paa Væggen, ganske som om dennes Lysen fremkaldtes af Straaler, der udgik fra Katoden vinkelret paa dennes Overflade (se Fig. 15). Den

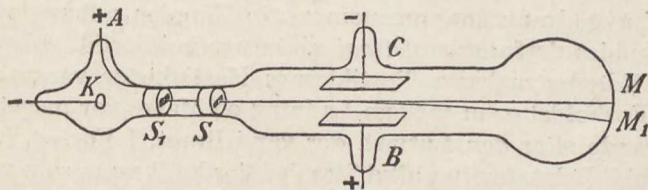


engelske Fysiker *Crookes*, som var en af de første til at undersøge disse „*Katodestraaler*“, antog, at de ikke som *Lysstraaler* var *Æterbølger*, men derimod dannedes af *Smaadele*, som udslyngedes fra *Katoden* med stor *Hastighed* i rette *Linier* og ved deres *Stød* mod *Væggen* bragte denne til at lyse. Det blev da ogsaa snart stillet udenfor al *Tvivl*, at *Crookes* havde Ret. *Katodestraalerne* var aabenbart negativ elektriske *Partikler*, som dreves frem af *Frastødningen* fra den negativ elektriske *Katode*. En *Metalplade*, som rantes af *Straalerne*, blev negativ elektrisk. Danner man som vist i *Fig. 16* et smalt *Bundt Katodestraaler*, idet man lader *Straalerne* fra *Katoden K* passere gennem to snævre *Aabninger S<sub>1</sub>* og *S*, kan det vises, at *Straalebundtet* afbøjes saa vel af magnetiske *Kræfter* fra en *Magnet*, der holdes hen i *Nærheden* af *Glasset*, som af elektriske *Kræfter*. I *Figuren* er vist en *Afbøjning*



*Fig. 15.* Udladningsrør med *Katodestraaler* og et skyggedannende *Kors*. *P* og *N* *Tilledningstraade* for den elektriske *Strøm*; *a* *Katode*; *b* *Anode* og *Skyggegeiver*; *cd* *Skyggen*.

af sidstnævnte *Art* frembragt ved, at de ved *B* og *C* anbragte *Plader* gøres henholdsvis positiv og negativ elektriske; idet *B* tiltrækker og *C* frastøder de negative *Partikler*, flyttes den forud af *Straalebundtet* fremkaldte *Lysplet M* til *M<sub>1</sub>*. Den magnetiske *Afbøjning* stemmer med de *Ørstedske Regler* for *Strømmes* og *Magneters Vekselvirkning*, idet man opfatter det af bevægede elektriske *Partikler* dan-



*Fig. 16.* Udladningsrør, hvor et *Bundt Katodestraaler* afbøjes med elektriske *Kræfter*. *A* *Anoden*, *K* *Katoden*.

nede *Straalebundt* som en elektrisk *Strøm*. (Da det er negativ elektriske *Partikler*, der farer i *Straaleretningen*, og man vedtægtsmæssig ved *Strømretningen* forstaar *Retningen* modsat den negative *Elektricitets Bevægelse*, maa *Strømretningen* her siges at være modsat *Straaleretningen*).



Ved Maalinger af de magnetiske og elektriske Afbøjninger kan man finde dels Partiklernes Hastighed, der retter sig efter Katodens elektriske Spænding, men altid er meget stor, f. Eks. 50 000 km. i 1 Sek., (altsaa  $\frac{1}{6}$  af Lysets Hastighed) eller mere, dels Forholdet  $e:m$  mellem Partiklernes elektriske Ladning  $e$  og deres Masse  $m$ . Man har nu fundet, at  $e:m$  altid er ens, ligegyldigt hvad Metal Katoden er af, og hvilken Luftart der findes i Røret; dette tyder paa, at Partiklerne ikke er Grundstofatomer, men noget ganske nyt. Endvidere finder man, at  $e:m$  er henved 2000 Gange saa stort som Forholdet mellem et Brintatoms Ladning og dets Masse ved Elektrolyse. Hvis man nu antager, at  $e$  netop er lig det elektriske Elementarkvantum  $4,77 \cdot 10^{-10}$ , som i Størrelse udgør Brintatoms Ladning, (men i Modsætning til denne negativ), hvilket senere er bekræftet ved Forsøg af mere direkte Art, maa  $m$  være ca.  $\frac{1}{2000}$  af Brintatoms Masse. Disse Undersøgelser, som særlig skyldes Englænderen *J. J. Thomson*, gav da al Grund til at opfatte de her optrædende helt nye og ukendte Partikler som fritgaaende negative Elektricitetsatomer; man har givet dem nu Naynet „Elektroner“. Efterhaanden har man lært dem bedre at kende; deres Masse er bestemt nøjagtigere til ca.  $\frac{1}{1835}$  af Brintatoms, og man har tillige ud fra forskellige Betragtninger kunnet angive deres Størrelse; Elektronens Radius anslaaes til noget som  $1,5 \cdot 10^{-13}$  cm eller 1,5 Milliontedel  $\mu$   $\mu$  d. v. s. af en Størrelsesorden ca. titusend Gange saa lille som Molekylernes og Atomernes.

Da man havde faaet det negative Elektricitetsatom eller Elementarkvantum frigjort fra Atomerne som Katodestraalepartikler, laa den Tanke nær, at der fra Anoden i et Udladningsrør udgik tilsvarende positiv elektriske Partikler. Det lykkedes nu ogsaa ved særlige Metoder at paavise og undersøge Straaler af positive Partikler. For at skille dem fra de negative Katodestraalepartikler lod Tyskeren *Goldstein* dem slippe gennem nogle Kanaler udborede i Katoden; de kaldes derfor *Kanalstraaler*. De var imidlertid af helt anden Art end Katodestraalerne. Partiklernes Hastigheder var meget ringere, og Forholdet  $e:m$  mellem Ladning og Masse var meget mindre og varierende efter den Luftart, der var i Røret. I Forsøg, hvor Røret indeholdt Brint, fandtes altid Straaler, for hvilke  $e:m$  som ved Elektrolysen var ca. 2000 Gange Forholdet ved Katodestraalerne, saa at man neppe kunde være i Tvivl om, at det var ladede Brintatomer i Fart (Brintioner), man havde at gøre med. Ogsaa de andre fundne Værdier stemmer med, at Partiklerne er Atomere af forskellige Stoffer (undertiden ogsaa Molekyler), hvis Ladning er 1 eller flere Gange det elektriske Elementarkvantum,  $4,77 \cdot 10^{-10}$  elektrostatiske Enheder. — Ogsaa disse Undersøgelser er særlig udført af *J. J. Thomson*, og af dem saa vel som af Forsøg af anden Art fremgaar det, at den



positive Elektricitet ikke som den negative kan optræde paa egen Haand, men er uløselig knyttet til Grundstofatomerne.

*Elektricitets Natur.* De tidligere antydende Forestillinger om et eller to Elektricitetsstoffer fremtræder herved i et nyt Lys. Man føres til at tænke sig et neutralt Atom bestaaende af en positiv elektrisk „Hovedmasse“ samt saa mange negativ elektriske Elektroner, at de neutraliserer den. Mister Atomet 1, 2 eller 3 Elektroner, bliver det positiv elektrisk med 1, 2 eller 3 elektriske Elementarkvanta, eller, som vi kortere vil sige, med 1, 2 eller 3 „Ladninger“. Optager det

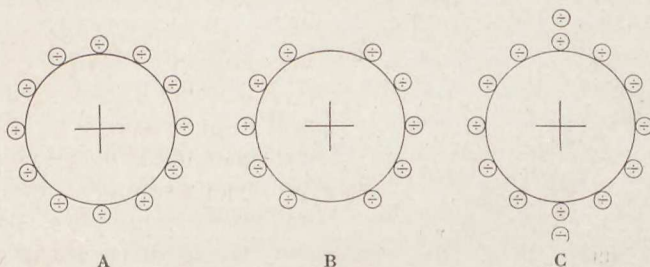


Fig. 17. Foreløbige Forestillinger (efter „Elektronteorien“) om A et neutralt Atom, B samme Atom med to positive Ladninger (en divalent positiv Ion) og C samme Atom med to negative Ladninger (en divalent negativ Ion).

derimod 1, 2 eller 3 overskydende Elektroner, bliver det negativ elektrisk med 1, 2 eller 3 Ladninger. Fig. 17 kan bidrage til at fæstne disse Forestillinger, men man maa dog ikke tænke sig, at Elektroner just er anbragt paa den angivne Maade. De Stoffer, der ved Elektrolysen optræder som elektropositive — Brint og Metaller — skulde være saadanne, hvis Atomer let mister een eller flere Elektroner, medens de elektronegative Stoffer derimod let optager overskydende Elektroner; og Stofferne skulde være monovalente eller divalente, eftersom deres Atomer er tilbøjelige til henholdsvis at afgive og optage eet eller to Atomer. Af Undersøgelserne i Udladningsrør fremgaar det dog, at Grundstofatomer af samme Slags kan opføre sig paa flere Maader i denne Henseende, end man kunde vente efter Elektrolysen eller de kemiske Valensforhold.

Naar en elektrisk Strøm gaar gennem en Metaltraad, maa man tænke sig, at Metalatomerne forbliver paa deres Plads, medens de virkende elektriske Kræfter fører Elektroner i en Retning modsat den, der almindelig betegnes som Strømretningen (smlgn. S. 49); man maa dog ikke opfatte Elektronbevægelsen som en jævn uhindret Strømning, men som Resultat af et indviklet, endnu langt fra fuldstændig opklaret Vekselspil, hvorved Elektroner løsrives fra og fan-



ges af Atomerne og farer frem og tilbage mellem dem, men saaledes at der igennem hvert Tværsnit af Metaltraaden stadig gaar et Overskud af Elektroner modsat den saakaldte Strømretning. Det overskydende Antal Elektroner, som i hvert Sekund passerer gennem et Tværsnit af den tynde Metaltraad i en almindelig 25-Lys Glødelampe, vil i et 220 Volts Jævnstrømsanlæg beløbe sig til henimod en Trillion, altsaa 1000 Millioner i en Tusindmilliontedel Sekund. Dersom den metalliske Ledningstraad ender i Katoden i et Udladningsrør, vil de gennem Traaden transporterede Elektroner fra Katoden fare frit ud i Røret som Katodestraaler.

Denne Elektricitetsbevægelse passer bedst med Enstofsteoriens Tankegang, idet Elektronerne, der her alene besørger Elektricitetstransporten, kan opfattes som det enkelte Elektricitetsstofs Grunddele. Dog havde Valget af Betegnelserne positiv og negativ saa været uheldigt, da de negativ elektriske Legemer netop har Overskud af Elektroner. Desuden havde Elektronerne jo Masse; men da denne kun er  $\frac{1}{1835}$  af de letteste Grundstofatomers, og da der desuden i en Stofmængde, der kan vejes paa en Vægtskaal, altid kun vil være en forsvindende Mængde elektriske Atomers, er det let forstaaeligt, at Elektricitetsstoffet tidligere blev anset for vægtløst.

Ved Elektrolysen, hvor Elektricitetstransporten besørges af positive og negative Ioner, der føres hver sin Vej af de elektriske Kræfter, har vi derimod nærmere Tilknytning til Enstofsteoriens Tankegang. Ved Elektricitetsbevægelse i Luften er Forholdet af mere blandet Art, idet Transporten snart overvejende besørges af Elektronerne, snart dels af disse, dels af større positive eller negative Ioner, d. v. s. positiv og negativ ladede Atomers eller Molekyler.

*Lorentz Elektronteori.* Udgaende fra den Tanke, at Stoffernes elektriske og optiske Egenskaber var bestemte ved elektriske Partiklers Virksomhed, lykkedes det Hollænderen *Lorentz* at opstille en overordentlig omfattende „Elektronteori“, ved hvilke de elektrodynamiske Love for de vekslende Tilstande i Æteren blev tilpassede til Læren om Ioner og Elektroner. Den maa betegnes som et af de allersmukkeste og betydningsfuldeste Resultater af det 19. Aarhundredes fysiske Forskning.

Det var en af denne Teoris allermest lovende Opgaver at gøre Rede for Udsendelsen af Lysbølger fra Atomets. Af den i forrige Afsnit (S. 37) omtalte elektromagnetiske Lysteori følger det, at en Elektron, som svingede frem og tilbage i et Atom, vilde udsende Lysbølger i Æteren, og Svingningstallet  $\nu$  for disse Bølger vilde naturligvis være lig med det Antal Svingninger, som Elektronen udfører i et Sekund; betegner vi dette sidste Tal med det græske Bogstav  $\omega$  (omega), skal vi altsaa have

$$\nu = \omega.$$



Man kunde nu tænke sig, at de forskellige Elektroner i det uforstyrrede Atom befandt sig i en Hviletilstand, som kan sammenlignes med en Kugles i Bunden af en Skaal. Naar Atomet paa en eller anden Maade blev „rystet“, begyndte en eller flere Elektroner i Atomet at svinge frem og tilbage omkring Hviletilstanden med et bestemt Svingningstal, ligesom Kuglen vilde give sig til at trille frem og tilbage i Skaalen, naar denne fik et Stød; dette vilde betyde, at Atomet udsendte Lysbølger, som for hver enkelt Elektron havde en bestemt til Elektronens Svingningstal svarende Bølgelængde, og i Spektret af det udsendte Lys skulde der da fremkomme Linier svarende til disse Bølgelængder. En overmaade stærk Støtte for denne Opfattelse fik man gennem Hollænderen *Zeemans* Opdagelse af et magnetisk Felts Indvirkning paa Spektrallinier. Zeeman fandt for 25 Aar siden, at naar et lysende Udladningsrør blev stillet mellem Polerne af en stærk Elektromagnet, vilde Spektrallinierne i det udsendte Lys „opspaltes“, saaledes at hver Linie deltes i 3 „Komponenter“ med meget ringe Afstand. Det var nu en af Elektroteoriens store Triumfer, at Lorentz kunde vise, at en saadan Virkning virkelig maatte ventes, naar man antog, at Lyssvingningerne blev frembragt af smaa svingende elektriske Partikler inden i Atomet. Teorien satte ham i Stand til ud fra Forsøgene og de kendte Love for Vekselvirkning mellem en Magnet og en elektrisk Strøm (her den bevægede Elektron) at bestemme saavel Forholdet  $e:m$  mellem Partiklernes elektriske Ladning og deres Masse som Ladningens Art. Han kunde slutte af Zeemans Forsøg, at Ladningen var negativ, og at Forholdet  $e:m$  var ganske det samme som det, man havde fundet ved Katodestraalerne. Der kunde herefter ikke godt være Tvivl om, at Elektroner i Atomerne var Ophavsmændene til det Lys, der dannede Spektrallinierne. Men det syntes rigtignok ganske ugørligt ved Teorien at gøre Rede for Enkelthederne i et Spektrum — at udlede f. Eks. den ved Balmers Lov udtrykte Regelmæssighed og at forklare, hvorfor netop Brint havde disse, Kobber hine Linier o. s. v. Disse Vanskeligheder og særlig de enkelte Spektres store Linietal syntes at tyde paa, at der var mange Elektroner i et Atom, og at Atomets Bygning var ganske overordentlig indviklet.

*Ionisering.* Som nævnt bragte Elektronerne i Udladningsrøret detes Væg til at udsende et grønligt Lys, naar de ramte den. De giver ogsaa ved at træffe Glasvæggen eller et i Røret anbragt Metalstykke (Antikatoden) Anledning til Udsendelsen af de ejendommelige stærkt gennemtrængende Straaler, som efter deres Opdager kaldes *Röntgenstraaler*, og som er ultraviolette Straaler med overmaade smaa Bølgelængder (se S. 43). Naar Elektronerne træffer Luftmolekylerne i Røret, slaar de dem i Stykker; de adskiller dem i positive og nega-



tive Ioner, og det er de positive af disse Ioner, som optræder i Kanalstraaler; Ionerne kan ogsaa, satte i Fart af elektriske Kræfter, slaar andre Luftmolekyler i Stykker og saaledes bidrage til Ioniseringen. Samtidig med denne bringes Luftens Molekyler og Atomere til at lyse, og derved fremkommer de Lysfænomener, der optræder i ikke altfor stærkt udpumpede Rør.

Ogsaa den fri Luft kan imidlertid paa forskellige Maader ioniseres og derved blive mer eller mindre ledende; idet elektriske Kræfter driver de positive og negative Ioner gennem Luften, transporterer de nemlig Elektricitet gennem denne. Hvis Ioniseringen ikke stadig holdes vedlige, vil Luften imidlertid efterhaanden tabe sin Ledningsevne, idet de positive og negative Dele forener sig med hinanden. En kraftig Ionisering kan bl. a. fremkaldes af Røntgenstraaler. Paa mindre kunstig Maade frembringes Ionisering bl. a. af Flamme, idet den fra disse opstigende Luft indeholder Ioner; i de højere Luftlag virker de ultraviolette Solstraaler ioniserende; men frem for alt ioniseres Luften dog af Straaler fra de saakaldte *radioaktive* Stoffer, der i overordentlig smaa Mængder findes fordelt rundt om i Jordskorpen.

Den ejendommelige Straaling fra disse Stoffer blev i Halvfemserne opdaget af Franskmanden *Becquerel* og derefter nærmere undersøgt af Fru *Curie*, der af det uranholdige radioaktive (α: straalevirksomme) Mineral Begblende udskilte det mangfoldige Gange stærkere radioaktive Stof Radium. Straalernes egentlige Natur blev senere opklaret særlig gennem Undersøgelser af Englænderne *Rutherford*, *Soddy* og *Ramsay*. Straalerne, der kan fremkalde baade Lysvirkninger, fotografiske Virkninger og Ionisering, bestaar af 3 helt forskellige Arter, der betegnes som α-Straaler, β-Straaler og γ-Straaler (Alfa-, Beta- og Gammastraaler). De sidste er ligesom Røntgenstraalerne ultraviolette Straaler, men de har som oftest endnu mindre Bølgelængder og er endnu mere gennemtrængende end disse. β-Straalerne er Elektroner, som bevæger sig med en Hastighed langt større end i Katodestraalerne; den kan i nogle Tilfælde gaa op til 99,8% af Lysets Hastighed. α-Straalerne endelig er positive Atomioner, som bevæger sig med en Hastighed, der efter det udsendende radioaktive Stof varierer fra  $\frac{1}{22}$  til  $\frac{1}{13}$  af Lysets, det er endvidere godtgjort, at α-Partiklerne er Atomere af Grundstoffet Helium, der har Atomvægten 4, og at de har to positive Ladninger, d. v. s. at de skal optage 2 Elektroner for at danne et neutralt Heliumatom.

Det er nu udenfor al Tvivl, at det, der foregaar ved de radioaktive Stoffers Straaleudsendelse, er en *Grundstofforvandling* — en Slags Eksplosion af Grundstofatomer under Udsendelse af Heliumatomer eller Elektroner og Dannelse af nye Grundstofatomer, og Energien i Straalerne er indre Atomenergi, som frigøres ved disse Omdannelser. Grundstoffet Uran, der har den største af alle kendte Atomvægte



(238), omdannes gennem flere Mellemlid til Radium med Atomvægt 226, og af Radium opstaar atter gennem en Række Mellemlid Bly eller i alt Fald et Stof, som i alle kemiske Egenskaber opfører sig som Bly. Vi skal her ikke gaa nærmere ind paa denne Sag, men blot bemærke, at Omdannelserne er ganske uafhængige af Stoffernes kemiske Forbindelser og af alle ydre Indflydelser.

Naar  $\alpha$ -Partikler fra Radium sendes mod en Skærm med et Lag

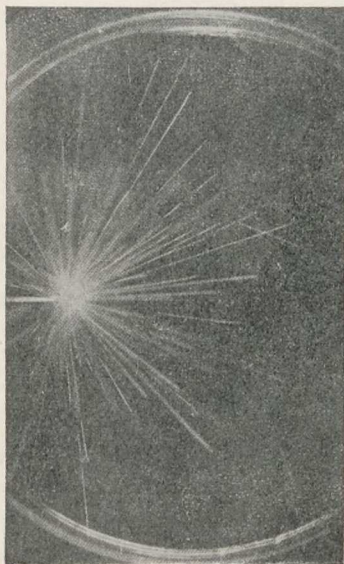


Fig. 18. Fotografi af Baner beskrevne af  $\alpha$ -Partikler (positive Heliumatomer) udslyngede fra radioaktivt Stof.

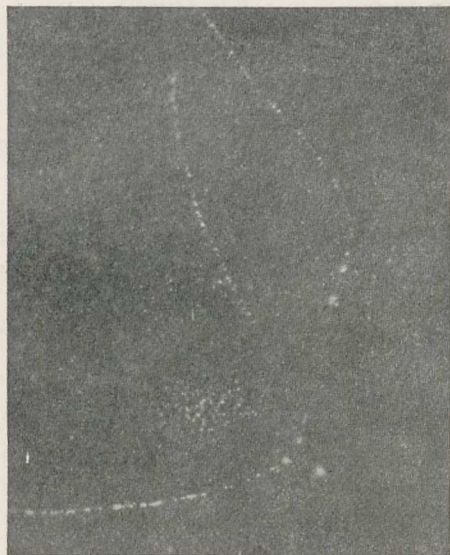


Fig. 19. Fotografi af en  $\beta$ -Partikels (en Elektrons) Bane.  
(Begge Fot. efter C. T. R. Wilson).

af særlig præpareret Zinksulfid, kan man paa denne Skærm i Mørke iagttage et ejendommeligt Lysfænomen, den saakaldte Scintillation, der bestaar af en Mængde kortvarige Lysblink. Hvert enkelt Blink angiver, at en  $\alpha$ -Partikel, altsaa et Heliumatom, har ramt Skærmen. Under dette „Atombombardement“ bliver saaledes de enkelte „Atomprojektiler“ synlige paa lignende Maade, som de enkelte Regndraaber, der falder paa en Vandflade, kan blive synlige ved de Bølgeringe, der udbreder sig fra deres Træffested. Disse Lysglimt var de første for iagttagelsen tilgængelige Virkninger af enkelte Atomer. Det utrolige i, at noget saa smaat som et Atom kan frembringe en synlig Virkning, formindskes, naar man i Stedet for blot at fæste Opmærksomheden ved Atomets ringe Størrelse eller Masse tænker paa dets Bevægelsesenergi; denne vokser nemlig proportionalt med Kvadratet paa Hastigheden, som her er overvældende stor. For de hurtigste



$\alpha$ -Partikler er Hastigheden,  $2,26 \cdot 10^9$  i et Sekund, og deres Bevægelsesenergi vil da være noget som  $\frac{1}{30}$  af den, en Stofmængde af et Milligram har ved en Hastighed af 1 cm i 1 Sekund. Dette er ganske vist meget lidt, men dog ikke en Størrelse af „ufattelig Lidenhed“, og den er altsaa tilstrækkelig til under de nævnte Omstændigheder at fremkalde en synlig Lysvirkning; man maa herved tage i Betragtning, at Øjet er overordentlig følsomt.

Mere praktiske Metoder til at synliggøre Virkningen af de enkelte  $\alpha$ -Partikler og dermed til at tælle dem grunder sig paa deres overordentlig stærke ioniserende Evne. Ved paa en særlig Maade at forstærke den af en enkelt  $\alpha$ -Partikel fremkaldte Ionisering kunde *Rutherford* og *Geiger* gøre Luft i et saakaldt Ioniseringskar saa stærkt ledende, at dette bevirkede et Udslag i et elektrisk Apparat, et Elektrometer.

Paa mere direkte Vis har Englænderen *Wilson* synliggjort  $\alpha$ -Partiklernes Bane, idet han benyttede sig af den Egenskab ved Ioner, at de i fugtig Luft tiltrækker de uelektriske Vandmolekyler, hvorved der kan dannes Vanddraaber med Ionerne som Kerner. I en fuldstændig støv- og ionfri Luft vil Vanddampen ikke fortættes, selv om man skulde vente det efter dens Tryk, men dersom Luft, der saaledes er „overmættet“ med Vanddamp, pludselig ioniseres, vil der dannes Taage. Idet nu *Wilson* sendte  $\alpha$ -Partikler gennem Luft overmættet med Vanddamp, fortættedes Dampen da om de af Partiklen dannede Ioner til smaa Draaber, og de saaledes fremkomne Taagestriber kunde fotograferes. Fig. 18 gengiver et saadant Fotografi af et Antal Atombaner. Naar Taagestriberne ender brat, betyder det dog ikke, at  $\alpha$ -Partiklen standser brat, men blot at dens Hastighed her er gaaet saa langt ned, at den ikke mere kan slaa Luftmolekyler i Stykker under Dannelse af Ioner. — Selv  $\beta$ -Partiklernes Baner er det lykkedes at fotograferer paa denne Maade, skønt det er Elektroner med en Masse ca. 7000 Gange saa ringe som Heliumatomernes, men rigtignok samtidig med meget større Hastighed; denne store Hastighed bevirker, at de dannede Ioner faar større indbyrdes Afstand, saa at Vanddraaberne om de enkelte Ioner kan træde frem hver for sig paa Fotografiet (Fig. 19).

#### IV. KERNEATOMET

Vi er nu naaet frem til de store og dybtgaaende, i det foregaaende kun løseligt berørte Spørgsmaal om selve „Atommekanismens“ Konstruktion og Virkemaade. For det første: Hvorledes er Atomets „Arkitektur“, d. v. s. hvilke Pladser indtager Atomets positive og negative Dele i Forhold til hinanden, og hvor mange er der af hver Slags?



For det andet det endnu dybere: Af hvad Art er de Processer, som foregaar i et Atom, og hvorledes kan vi ved dem gøre Rede for Grundstoffernes fysiske og kemiske Egenskaber. I dette Afsnit vil vi væsentlig holde os til det første Spørgsmaal og særlig betragte det grundlæggende Bidrag, *Rutherford* i 1911 har givet til dets Besvarelse gennem Opdagelsen af den positive Atomkerne og Opstillingen af den saakaldte *Rutherford'ske* Atommodel eller Kerneatomet.

*Rutherfords Atommodel.* Han førtes til den nævnte Opdagelse gennem Forsøg, der i Hovedtrækkene var ordnet paa følgende Maade. Fra et kraftigt Radiumpræparat sendtes en tæt Strøm af  $\alpha$ -Partikler i et næsten lufttomt Rum gennem en lille Aabning. Paa en Zinksulfidskærm noget bag Aabningen dannedes der ved dette Bombardement af Atomprojektiler en lille skarpt begrænset Lysplet. Dernæst dækkedes Hullet med et tyndt Metalblad. Vi kan betegne dette som et Panser dannet af tæt pakkede Atomer. De udskudte  $\alpha$ -Partikler gaar let gennem dette Panser, idet de med deres store Hastighed farer tværs igennem Atomerne; men man vil dog se, at Lyspletten nu breder sig lidt og ikke længere er skarpt begrænset. Man kan af denne Udflyden slutte, at  $\alpha$ -Partiklerne ved at passere gennem de mange Metalatomer faar talrige ganske smaa Afbøjninger, som dog, da de gaar snart i en, snart i en anden Retning, kun bevirker en ringe Spredning af Straalerne. Det kunde imidlertid vises, at ganske enkelte  $\alpha$ -Partikler brød helt ud af Sværmen og fo'r videre i en helt ny Retning, ja endog kom ud fra Metalbladet i tilbagegaaende Retninger. Forholdet var omtrent, som om man havde skudt en Mængde smaa Kugler gennem en Væg af Smør, og de næsten alle sammen gik igennem Væggen i praktisk talt uforandret Retning, men at af og til en enkelt tilsyneladende umotiveret kom farende tilbage fra Smørrets Indre. Man vilde da slutte, at der hist og her i Smørret var indlejret nogle smaa haarde og tunge Genstande, f. Eks. smaa Kugler, som enkelte af Projektilerne tilfældigvis var stødt paa. Ogsaa i Metalbladet maatte der da være saadanne smaa haarde Tingester. Metalatomets Elektroner kunde det aabenbart ikke være, thi  $\alpha$ -Partiklerne er som før nævnt Heliumatomer med en Masse over 7000 Gange en Elektrons, og hvis et saadant Atom stødte paa en Elektron, vilde det derfor slynge den til Side uden selv at afbøjes nævneværdigt. Der stod da næppe andre Muligheder tilbage, end at det, de stærkt afbøjede  $\alpha$ -Partikler var stødt paa, var Atomernes positive Del, hvis Masse er betydelig i Forhold til Heliumatomets. Det fulgte af en matematisk Beregning, at de store Afbøjninger kom frem paa Grund af, at de paagældende  $\alpha$ -Partikler paa deres Vej havde passeret et uhyre stærkt elektrisk Felt af den Slags, som vil eksistere omkring en elektrisk Ladning, der er koncentreret i et overmaade lille Rum og



virker paa andre Ladninger efter Coulombs Lov. (S. 49). Naar der i det foregaaende er talt om Sammenstød maa dette Ord da ikke opfattes paa grov, ydre Vis saaledes, at man tænker sig  $\alpha$ -Partiklen og den positive Atomdel, den „støder paa“, som elastiske Kugler der kommer i Berøring med hinanden; hvad der sker er, at de to Partikler kommer saa nær ind paa hinanden, at de elektriske Kræfter bliver meget store og bevirker en betydelig Afbøjning af  $\alpha$ -Partiklen fra dens oprindelige Bane.

Rutherford førtes saaledes til den Antagelse, at næsten hele et Atoms Masse var samlet i en positiv elektrisk Kerne, der ligesom Elektronerne var meget lille i Forhold til Atomets Størrelse, medens

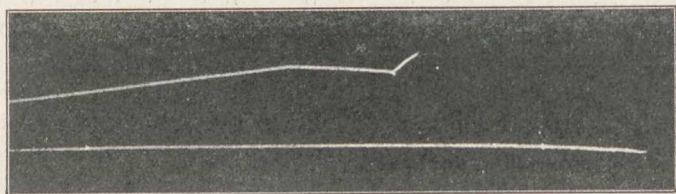


Fig. 20. Fotografi af to  $\alpha$ -Partiklers (positive Heliumatomers) Bane. Den ene støder mod en Atomkerne.

Resten af Massen var fordelt paa et Antal negative Elektroner, der maatte antages at kredse om Kernen, holdt fast af dennes Tiltrækning, ligesom Planeter kredser om Solen; Atomets ydre Grænse maatte anses for at være dannet af de yderste Elektrons Baner. Ved et Atom af denne Bygning bliver det forstaaeligt, at  $\alpha$ -Partiklerne i Almindelighed kan fare gennem Atomerne kun afbøjede ubetydeligt ved Frastødning fra Kernen, og at de store Afbøjninger er saa sjældne som Forsøgene viser, at de er. Disse Forhold kunde derimod slet ikke forliges med en Atommodel, som tidligere var opstillet af Lord Kelvin og derefter nærmere behandlet af J. J. Thomson, og i hvilken den positive Elektricitet antoges at være jævnt fordelt over hele Atomets Rum, medens Elektronerne kredsede indenfor den derved bestemte Grænse, fordelte i Ringe med større eller mindre Afstande fra Atomets Centrum.

De samme ejendommelige Forhold ved  $\alpha$ -Straalers Gennemgang gennem et Stoflag, som aabenbares ved Rutherfords Forsøg, fremtræder paa en endnu mere anskuelig Maade ved Wilsons S. 60 omtalte Forsøg og Fotografier. Disse kan her ligefrem vise, at enkelte  $\alpha$ -Partikler pludselig viger brat af fra deres Bane. I Fotografiet Fig. 20, der viser to  $\alpha$ -Partiklers Bane i Luft med overmættet Vanddamp, er den ene af disse Baner næsten retliniet, dog med en ganske svag Krumning. Den anden har først en ret anelig Afbøjning paa et bestemt Sted, hvor den allerede maa være kommet meget nær til



Kernen af et Atom i Luften, og derefter et ganske brat Knæk; her har den aabenbart været ganske nær inde paa en Atomkerne. Ser man nøjere til, finder man — i alt Fald paa selve Fotografiet — en ganske lille Hage ved Knækstedet; Banen synes at have delt sig i to Grene, en kortere og en længere. Denne Tvedeling fører paa meget direkte Maade frem for Øjet, at det drejer sig om et Sammenstød mellem to Partikler, der efter Stødet farer i hver sin Retning. Det vilde svare til, at der i det tænkte Bombardement paa Smørvæggen fo'r to Kugler ud fra Smørret, hver i sin Retning, skønt man kun havde skudt een ind i Smørret. Den Forskel, der i Fotografiet er mellem de to Grenes Længde, staar i Sammenhæng med, at de to sammenstødende Partikler har forskellig Masse; ved det fotograferede Forsøg har  $\alpha$ -Partiklen ramt en tungere Atomkerne, som kun faar meget ringe Fart og derfor hurtig mister sin ioniserende Evne. Havde Luftarten været Brint, vilde en Kerne, der blev ramt af  $\alpha$ -Partiklen kunne faa stærkere Fart end denne, fordi Brintatomets Vægt kun er  $\frac{1}{4}$  af Heliumatomets.

De Stødforsøg, hvorpaa Rutherfords Teori støtter sig, er af en saa direkte og afgørende Karakter, at man knap nok kan kalde det en Teori, men snarere en ved Iagttagelser godtgjort Kendsgerning, at Atomet er bygget paa den angivne Maade. Fortsatte Forsøg har givet en Række nærmere Oplysninger om vigtige Forhold ved Atomerne. Rutherford kunde saaledes vise, at Kernernes Radius i Almindelighed er af Størrelsesordenen  $10^{-12}$  à  $10^{-13}$  cm. (1 Hundredetusindedel à 1 Milliontedel  $\mu\mu$ ), d. v. s. først naar en  $\alpha$ -Partikel paa sin Vej kommer i saa ringe Afstand fra Kernens Centrum, optræder der Kraftvirkninger; der, i Modsætning til hvad der i Almindelighed er Tilfældet ved de store Afbøjninger, ikke mere følger Coulombs Lov for Frastødningen mellem to punktformede positive Elektricitetsmængder. Det skal dog bemærkes, at der for Brintkernens Vedkommende, hvis Størrelse ikke er bestemt ad direkte Vej ved Stødforsøg, findes stærke Grunde for den Antagelse, at den er endnu mange Gange mindre end de nævnte Størrelser, og altsaa ogsaa mange Gange mindre end de ca. 2000 Gange saa lette Elektroner.

*Kerneladning, Atomnummer og Atomvægt.* De forskellige Atomkerners Masse eller Vægt skulde vi ikke behøve at søge ved nye Forsøg, thi de er praktisk talt lig hele Atomets Vægt, altsaa naar Brintatomets Vægt tages som Enhed, lig de relative Atomvægte; thi den Nøjagtighed, hvormed det er muligt at maale Atomvægte, er altfor ringe til, at Elektronernes Vægt kan gøre sig gældende.

Derimod var det en ny Opgave af allerstørste Betydning at bestemme Størrelsen af Kernernes positive Ladning. Den maatte nødvendigvis være et helt Antal af det elektriske Elementarkvantum



$4,77 \times 10^{-10}$  eller — idet vi simpelthen betegner dette som „1 Ladning“ — et helt Antal Ladninger; thi ellers kunde der slet ikke dannes et neutralt Atom af Kernen af Elektronerne. I et neutralt Atom maa nemlig Antallet af de (negative) Elektroner, der kredser om Kernen, netop være lig Antallet af Kernens positive Ladninger. At bestemme dette Tal var altsaa det samme som at besvare det vigtige Spørgsmaal om, hvor mange Elektroner det paagældende Grundstofatom havde i det om Kernen kredsende Elektronsystem, naar Atomet var i den normale neutrale Tilstand.

Letttest var Svaret paa dette Spørgsmaal for Heliumatomet. Naar

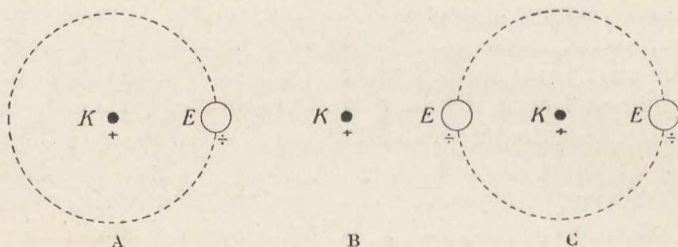


Fig. 21. Skematisk Fremstilling af Kerneatomet. A et neutralt Brintatom; B en positiv og C en negativ Brintion; K Atomkerne; E Elektroner.

dette farer af Sted som  $\alpha$ -Partikel, har det nemlig, som det i sin Tid blev vist af Rutherford, 2 positive Ladninger, d. v. s. der skal 2 Elektroner til at forvandle det fra en positiv Ion til et neutralt Atom. Der er imidlertid al Grund til at anse  $\alpha$ -Partiklen som en for Paahæng af Elektroner frigjort Heliumkerne; det neutrale Heliumatoms Elektronsystem bestaar altsaa af kun 2 Elektroner. Da Atomvægten er 4, er Elektrontallet altsaa her det halve af Atomvægten. Allerede gennem sine Forsøg over de store Afbøjninger af  $\alpha$ -Partikler ved Gennemgang gennem et fast Stof fandt Rutherford imidlertid, at ogsaa ved andre Grundstoffer gjaldt, i det mindste med Tilnærmelse, den Regel, at Kerneladningen og følgelig Elektrontallet var det halve af Atomvægten. Dog maatte Brinten nødvendigvis danne en Undtagelse, da dens Atomvægt jo er 1; *Brintkernens positive Ladning er 1 Elementarkvantum, og om Kernen kredser i Atomets neutrale Tilstand kun 1 Elektron.* Fig. 21 kan give en Forestilling om dette simple Atoms Bygning og om Brintioner dannede ved Tab eller Tilgift af en Elektron. Elektronernes Anbringelse er dog vilkaarlig, og Banen er kun for Simpelheds Skyld tegnet som en Cirkel.

Som antydet var Rutherfords Regel for Elektrontallet kun en Tilnærmelse. En Hollænder, van den Broek, fik imidlertid den Idé, at *et Stofs Elektrontal er lig dets Ordenstal eller Nummer i det perio-*



*diske System (dets „Atomnummer“), og dette har vist sig at være den rigtige Regel. I systematiske Undersøgelser af de for Grundstofferne karakteristiske Røntgenspektrer har man fundet et sikkert Midde- til at bestemme hvert Stofs Tal, og de har alle fundet deres rette Plads i Systemet. (Smilgn. Tavlen S. 25).*

Det Tal, som før kun slet og ret angav Nummeret af et Element i det periodiske System, har nu altsaa faaet en dyb fysisk Betydning. Atomvægten selv, som var af saa stor Hjælp ved Systemets Opstilling, har kun saa at sige en mere sekundær Betydning. Den S. 22 omtalte Ombytning af Stofferne Argon og Kalium, der, naar man holdt sig til Atomvægten, syntes en Undtagelse fra en smuk Regelmæssighed, forklares ud fra den Broek'ske Regel derved, at Kalium har 1 Elektron mere end Argon, skønt dettes Atomvægt er størst. Man ser saaledes, at Atomvægt og Elektrontal, eller, hvad der er det samme, Kerneladning, ikke uden videre følges ad; og da det — ved Elektrontallet bestemte — periodiske System repræsenterer en Ordning efter Stoffernes Egenskaber, særlig de kemiske, føres man naturligt til den Formodning, at det er Elektrontallet og ikke Atomvægten, der er bestemmende for de kemiske Egenskaber.

Den Opfattelse, at det er Atomnummeret, det i første Omgang kommer an paa, og at Atomvægten kun er af sekundær Betydning, har i de senere Aar faaet overbevisende Støtte gennem Undersøgelser, der særlig skyldes *Fajans* og *Soddy*, som har fastslaaet Eksistensen af saakaldte *isotope Grundstoffer* (af *isos* = samme og *topos* = Plads), d. v. s. Stoffer med forskellig Atomvægt (Kernemasse), men samme Kerneladning, Elektrontal og altsaa samme Plads eller Nummer i det periodiske System; to saadanne isotope Stoffer er praktisk talt fuldstændig ens saa vel i deres kemiske Egenskaber som de allerfleste fysiske Egenskaber. Et af de ældste Eksempler paa isotope Stoffer har vi i det almindelige Bly med Atomvægt 207,2 og et i Begblende fundet Stof, hvis Atomvægt er 206, men som forøvrigt er identisk med Bly, og som er det S. 59 nævnte Slutprodukt af radioaktive Omdannelser.

Ved Undersøgelser af Kanalstraalerne har særlig Englænderen *Aston* i de allerseneste Aar vist, at flere Stoffer, som altid har været anset for enkelte Grundstoffer, i Virkeligheden er Blandinger af Isotoper. Klor's Atomvægt er ad sædvanlig Vej bestemt til 35,5; men i et Udladningsrør optræder der to Slags Kloratomer med Atomvægte 35 og 37, og det maa antages, at disse to Slags Klor i alle Klorforbindelser, vi har at gøre med her paa Jorden, forekommer i et Forhold af omtrent 3 : 1. At adskille saadanne Blandinger i deres Bestanddele er yderst vanskeligt, netop fordi disse har ganske samme Egenskaber med Undtagelse af smaa Vægtfyldeforskelle o. a., som staar i direkte Sammenhæng med Atomvægten. En saadan Adskillelse er før-



ste Gang udført af Danskeren *Brønsted* i Forening med Ungareren *Hevesy*, idet de i Aaret 1920 adskilte en større Mængde Kviksølv, hvis Vægtfylde er 13,5955, i to Parter med lidt forskellig Vægtfylde. De forskellige Isotoper, af hvilke almindeligt Kviksølv er en Blanding, var dog ikke skilt helt ad; men de var i hver af de to Parter til Stede i forskellige Vægtforhold, ved et af de første Forsøg var Vægtfylden af den ene Part 13,5986 og af den anden 13,5920 ved  $0^{\circ}$  C.

At det er Elektronsystemet, der er bestemmende for et Grundstofatoms „ydre“ Egenskaber, d. v. s. for alle de Egenskaber, som beror paa Vekselvirkning mellem Atomer, er i og for sig rimeligt, da Elektronsystemet, som i lang Afstand omgiver Kernen, saa at sige afsondrer denne fra Omverdenen og derfor maa antages at være det Organ, hvorigennem Atomet staar i Forbindelse med Omverdenen. Man maatte tillige vente, at Elektronsystemets Bygning alene vilde afhænge af Kerneladningen og Elektrontallet, men ikke af Kernens Masse, da det er Kernens elektriske Tiltrækning og ikke den i Forhold dertil aldeles ubetydelige Newtonske Massetiltrækning, der holder Elektronerne i deres Baner.

Det bliver herigennem forstaaeligt, at Atomernes og dermed Grundstoffernes Egenskaber deler sig i to skarpt adskilte Grupper, nemlig 1. *Kerneegenskaberne* og 2. *Elektronsystemets Egenskaber*. Det var *Niels Bohr*, der først erkendte denne skarpe Adskillelse — en Erkendelse, som er af fundamental Betydning for al dybere Indtrængen i Atomets Væsen.

Kerneegenskaberne er bestemmende for a) de radioaktive Processer, der skyldes en Slags Eksplosioner af Atomkerner, og eventuelt andre beslægtede Processer, b) Sammenstød, hvor Kernerne kommer hinanden særlig nær, o. desl. og c) Vægtforhold, der direkte staar i Sammenhæng med Atomvægten. Elektronsystemets Egenskaber er derimod bestemmende for al anden fysisk og kemisk Virksomhed, og de er som nævnt udelukkende afhængige af eller, som det kan udtrykkes, en Funktion af det paagældende Stofs Atomnummer. Vi kan sige, at Bohr i sin Atomteori tog den Opgave op af et Stofs Atomnummer at udlede alle dets fysiske og kemiske Egenskaber med Undtagelse af de ovenfor nævnte Kerneegenskaber. Det er derfor væsentlig Elektronsystemet, vi faar at gøre med i de følgende Afsnit; men forinden vi gaar over til denne Sag, hvortil alt det foregaaende har været Forberedelse, skal vi dog endnu dvæle lidt ved Atomkernerne.

*Atomkernernes Bygning.* At en Atomkerne ikke er en usammensat Elementardel, men derimod et System af Dele, fremgaar umiddelbart af de radioaktive Processer, ved hvilke der af de radioaktive Stoffers Atomkerner udslynges enten positive Heliumkerner ( $\alpha$ -Partik-



ler) eller negative Elektroner ( $\beta$ -Partikler). At ikke alene  $\alpha$ -Partiklerne, men ogsaa  $\beta$ -Partiklerne kom inde fra Kernerne, har Bohr vistnok indset for nogen anden. Der hersker nu ingen Tvivl derom, og foruden de til det ydre Elektronsystem hørende Elektroner, som er dem, vi alene regner med ved Angivelse af et Atoms Elektrontal, maa der altsaa ogsaa, i alt Fald i de radioaktive Stoffers Atomer findes særlige „Kerneelektroner“, som fører en mere skjult Tilværelse i Kernens Indre. Man forstaar let, at der ved de radioaktive Processer kan opstaa Isotoper; udsender en Atomkerne f. Eks. først en  $\alpha$ -Partikel, altsaa en Heliumkerne med to positive Ladninger, og dernæst under to nye Omdannelser to Elektroner med hver sin negative Ladning, saa vil Kerneladningen i det fremkomne nye Atom være den samme som i det oprindelige (fordi Tabet af de to positive og de to negative Ladninger ophæver hinanden); men Atomvægten vil være formindsket med 4 (da dette er Heliums Atomvægt, og Elektronernes Vægt er forsvindende ringe). Blandt de radioaktive Stoffer kender man flere Eksempler paa isotope Grundstoffer, hvis Atomvægte netop adskiller sig med 4. Det radioaktive Stof Uran er det Grundstof, der af alle kendte Grundstoffer har størst Atomvægt (238) og Atomnummer (92), og altsaa ogsaa størst Kerneladning, og alle de andre hører ogsaa til de højst nummererede i det periodiske System. Aarsagen til Radioaktiviteten maa da søges i, at deres Atomkerner er meget sammensatte Systemer med ringe Stabilitet og derfor let under Udskillelsen af nogle af deres Dele og Afgivelse af en betydelig Energi, som træder frem i de udsendte Straaler, gaar over til mindre sammensatte Systemer.

Ogsaa de ikke radioaktive Grundstoffers Atomkerner maa imidlertid antages at være sammensatte af Kerneelektroner og positive Dele — alene med Undtagelse af Brintkernen. Der er god Grund til at opfatte denne som selve det positiv elektriske Elementarkvantum, eller om man vil, det positive Elektricitetsatom, ligesom Elektronen er det negative. Alt Stof skulde da være opbygget af kun to Slags Grunddele, Brintkerner og Elektroner. At disse selv bestaar af endnu mindre Dele, er naturligvis ikke udelukket, men det ligger udenfor alle vore hidtidige Erfaringer. I alle Kerner er der flere af de positive Brintkerner end af de negative Elektroner, saa at Kernen faar en positiv Ladning af den Størrelse (d. v. s. saa mange Elementarkvanter), som angives ved Forskellen mellem Brintkernens og Kerneelektronernes Antal.

Gaar vi fra Brinten, der har Atomvægten, Atomnummeret og Kerneladningen 1, opad i Nummerrækken, kommer vi til Helium med Atomvægt 4, Atomnummer og Kerneladning 2. Heliumkernen skulde da indeholde 4 Brintkerner, der tilsammen giver Atomvægten 4; men da de tillige repræsenterer 4 positive Ladninger, maa Ker-



nen tillige indeholde 2 Elektroner, hvis negative Ladninger neutraliserer 2 af de positive, medens de ikke giver noget væsentligt Bidrag til Kernens Masse eller med andre Ord til Atomvægten. Man kunde heller ikke godt tænke sig et System dannet alene af 4 positive Brintkerner, da de samlede i Kernens lille Rum vilde frastøde hverandre med stærke Kræfter; der maa Elektroner til for at holde Systemet sammen. Fig. 22 kan give et Begreb om Heliumatomets Bygning; men Anbringelsen saa vel af Brintkerner og Elektroner i

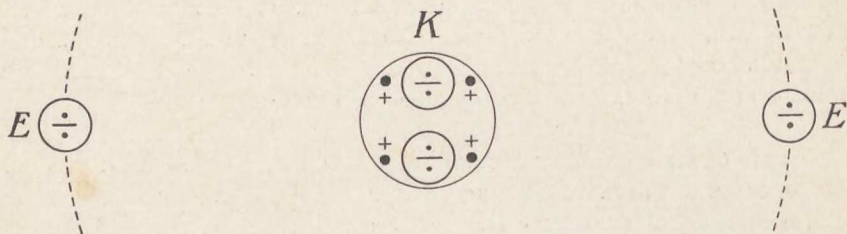


Fig. 22. Skematisk Fremstilling af et Heliumatom. K Kernesystemet med 4 Brintkerner og 2 Kerneelektroner; E Elektroner i det ydre Elektronsystem.

Kernesystemet som af de ydre Elektroner er her fuldstændig vilkaarlig. Det af de 4 Brintkerner og 2 Elektroner dannede Kernesystem synes at være overmaade stabilt, og det er sandsynligt, at Heliumkerner optræder som en Slags højere Enheder, ikke blot i de radioaktive Stoffers Atomkerner, fra hvilke vi ved, at de udslynges, men ogsaa i andre Atomers Kerner; maaske kommer man Sandheden meget nær, hvis man siger, at de alle er dannede af Helium- og Brintkerner, samt Elektroner.

I Kvælstof, der har Atomnummeret 7 og Atomvægten 14, skulde Kernen bestaa af 14 Brintkerner (maaske med de 12 samlede i 3 Heliumkerner) og 7 Kerneelektroner, som bringer den positive Kerneladning ned fra 14 til 7. Uran med Atomnummer 92 og Atomvægt 238 skulde have sin Atomkerne dannet af 238 Brintkerner og 146 Elektroner, der vilde bringe Kerneladningen ned til 92. — Man ser, at denne Opfattelse af Atomkernerne fører os tilbage til den gamle Proutske Hypotese (S. 19) om, at alle Atomvægte skulde være hele Multipla af Brintens. Tilsyneladende stod den i afgjort Strid med Maalingerne; men Læren om Isotoperne bringer os over denne Vanskelighed; det blev saaledes foran nævnt, at Klor med den maalte Atomvægt 35,5 synes at være en Blanding af Isotoper med Atomvægte 35 og 37, og paa lignende Maade synes det at gaa i andre Tilfælde. Dog skal Reglen ikke være helt nøjagtig. For det første skal Elektronernes Masse frembringe Afvigelser, men disse er dog for smaa, til at en saadan Afvigelse kan maales. Der er imidlertid et



andet Forhold, der spiller med ind, nemlig den af Einstein udledede Lov, at enhver Forøgelse eller Formindskelse af et Legemes Energi bevirker en med Energiændringen proportional Forøgelse eller Formindskelse af dets Masse. De forskellige Atomkerners Masse maa derfor ventes at afhænge ikke alene af Antallet af Brintkerner (og Kerneelektroner), men ogsaa af den Energi, som repræsenteres af Tiltrækninger og Frastødninger mellem eller Bevægelser af Systemets Dele eller paa anden Maade spiller ind ved Dannelsen og Opløsningen af Kernesystemer. Det staar antagelig i Forbindelse hermed, om end foreløbig paa ganske dunkel Maade, at man for at faa hele Tal for Atomvægtene maa sætte Brintens Atomvægt ikke lig 1, men lig 1,008, d. v. s. som Enhed for Atomvægt vælge en Størrelse lidt mindre end Brintens. (Smlgn. Tavlen S. 25).

*Grundstoffforvandling og Udvinning af Atomenergi.* Endnu skal blot berøres to Spørgsmaal, som i særlig Grad har interesseret mange Mennesker, fordi de drejer sig om mulige praktiske Anvendelser af den nye Viden om Atomerne.

Det ene er det Spørgsmaal, om man ikke ud fra denne Viden kan udføre Forvandling af et Grundstof til et andet? Herpaa kan svares, at i de radioaktive Stoffer foregaar en Grundstofforvandling uden noget Indgreb fra menneskelig Side, og det kunde ikke paa Forhaand anses for umuligt, at man vilde blive i Stand til kunstig at udføre en saadan Forvandling; kunde det f. Eks. lykkes at slaa 1 Brintkerne løs fra en Kviksølvkerne, vilde denne herved forvandles til en Guldkerne. Noget saadant kan imidlertid ikke alene tænkes; det er virkelig — omend ikke med de nævnte Stoffer — udført af Rutherford; i 1919 opnaaede han ved at bombardere Kvælstof ( $N=14$ ) med  $\alpha$ -Partikler at slaa Brintkerner løs fra Kvælstofkernerne; det er ikke umuligt, at hver af disse herved spaltedes i 1 Kulstofkerne ( $C=12$ ) og 2 Brintkerner. Men for at ramme nogle ganske faa Kvælstofkerner maatte Rutherford udføre et formidabelt Bombardement med Hundredetusinder af Projektiler, og selv om det havde været Guld, han havde faaet frem i Stedet for Kul, vilde det fra et økonomisk Synspunkt have været et fuldkommen vanvittigt Foretagende at lave Guld paa denne Maade, og nogen anden udførlig Metode til Grundstofforvandling kender vi foreløbig ikke. At Rutherfords Forsøg alligevel har en overordentlig stor Interesse og videnskabelig Værdi er en anden Sag.

Det andet Spørgsmaal er, om man ikke vil kunne udvinde og udnytte den Energi, der ligger gemt i Atomernes Indre. Spørgsmaalet, der allerede vakte til Live ved Radiums Opdagelse, har i den nyeste Tid tiltrukket sig Opmærksomheden paany ved Meddelelser om, at 1 Gram af et hvilket som helst Stof alene i Kraft af sin Masse



ifølge Einsteins Teori skulde indeholde en Energi omtrent lig den, 3000 Tons Kul vilde afgive ved sin Forbrænding. Meningen med denne Paastand er følgende: Som ovenfor nævnt vil en Formindskelse af et Legemes Energi bevirke en Formindskelse af dets Masse; det er i denne Henseende ligegyldigt, i hvad Form den af Legemet afgivne Energi kommer frem (Varme, elastiske Spændinger o. desl.); til en vis Masseformindskelse vil svare en Energi-afgivelse af bestemt Størrelse. Tænker man sig nu, at hele Massen af 1 Gram Stof blev „tilintetgjort“ som Masse og „genopstod“ f. Eks. som Varmeenergi, saa kan man af det kendte Forhold mellem Masse og Energi udregne, at den frigjorte Varmeenergi vilde være lig Varmen fra de førnævnte 3000 Tons Kul. Men for at al denne Energi skulde komme frem, maatte rigtignok selve Brintkernerne og Elektronerne tilintetgøres, og intet tyder paa, at en saadan Tilintetgørelse af Stoffets Grundbestanddele, eller om man vil, deres Omdannelse til andre Energiformer er mulig; Tanken herom maa siges at være en ren Fantasi, hvis Oprindelse nærmest skyldes en Misforstaaelse af en videnskabelig Udtryksmaade (noget som forresten meget ofte har ført til Fantasterier).

Væsentlig anderledes stiller Sagen sig med de Energimængder, der maa antages at blive frigjorte eller forbrugte ved Omdannelse af et Kernesystem til et andet, altsaa ved Grundstofforvandlinger. De er langt ringere, men at de i og for sig ikke er at foragte, fremgaar af de radioaktive Processer; 1 Gram Radium vilde under sin fuldstændige Omdannelse til ikke-radioaktivt Stof afgive saa megen Energi som — ikke 3000 Tons, men dog omtrent 460 kg. Kul; men det vilde rigtignok vare meget nær 1700 Aar, inden blot Halvdelen af Radium'et var omdannet. At der ved andre Grundstofforvandlinger kunde komme lige saa store Energiomsætninger med i Spillet som ved „Nedbrydningen“ af de radioaktive Stoffers Kernesystemer, er ikke umuligt. Tænker vi os, at 4 Brintkerner, som tilsammen har Massen  $4 \times 1,008 = 4,032$  (udtrykt i den S. 69 omtalte Enhed for Atomvægte), og 2 Elektroner kunde slutte sig sammen til en Heliumkerne med Atomvægt meget nær 4,00, tabes herved en Masse, som maa antages at komme frem i en eller anden Energiform, og hvad man ved denne tænkte Opbygning af Heliumkerner kunde faa ud af 1 Gram Brint, vilde være adskilligt mere, end hvad 1 Gram Radium afgiver ved Nedbrydningen af dets Kerner.

At der i Naturen foregaar ikke blot Nedbrydning, men ogsaa (maaske i Stjernernes Indre) Opbygning, hvorved sammensatte Kerner dannes af enkle, derom kan man ikke godt være i Tvivl. Det er da en nærliggende Antagelse, at man ved at bringe Brint under særlige Forhold (m. H. t. Temperatur, Tryk, elektriske Spændinger o. a.)



kunde opnaa, at det omdannedes til Helium under en mægtig Energiudvikling. Det er imidlertid meget muligt, at selv under gunstige Omstændigheder vilde en saadan Proces forløbe uhyre langsomt, idet en Heliumkernes Dannelse kun vilde være en meget sjælden Begivenhed — f. Eks. Resultat af et tilfældigt 6-dobbelt Sammenstød mellem Brintkerner og Elektroner — et Lykketræf, hvis Chance blandt et vist Antal Sammenstød er uhyre mange Gange ringere end Chancen for den store Gevinst i Lotteriet ved samme Antal Udtræk; men medens Naturen har Tid at vente paa „Gevinsterne“, har Menneskene det ikke. Om de radioaktive Stoffers Nedbrydningsprocesser, ved vi, at de har den her antydede Karakter; af den store Mængde Atomer, som findes selv i en ganske lille Masse, eksploderer snart et, snart et andet; men hvorfor Skæbnen just rammer dette bestemte Atom, det kan vi ligesaa lidt sige, som vi kan sige, hvorfor Vajsenhusdrengen, der trækker Lotterinumrene ud, just faar dette eller hint Nummer i sin Haand. Udefra set kan vi kun erkende den Gennemsnittets, Sandsynlighedens eller de store Tals Lov, der giver sig Udtryk i Processerne; af 1 Billion Radiumatomer vil der gennemsnitlig eksplodere 13 i Sekundet, og selv om det af en enkelt Billion tilfældig kan blive betydelig flere eller færre, vil Forholdet 13 af Billionen træde tydeligt frem, hvis man har f. Eks. 1000 eller endog 1 Million Billioner Radiumatomer. For andre radioaktive Stoffer faar vi helt andre Gennemsnitstal; men i intet Tilfælde kan man gribe ind i Processens Gang. Ogsaa ved den vilkaarlige Grundstofforvandling var Atomnedbrydningen et Hasardspil, hvor Rutherford kun ved at gøre Hundreatusinder af Indsatser kunde være sikker paa at faa enkelte Gevinster.

Dersom det imidlertid kunde lykkes at tilvejebringe saadanne Forhold, at en under Energiudvikling forløbende Grundstofforvandling forplantede sig fra Atom til Atom, vilde den Omstændighed, at det drejer sig om Energimængder mangfoldige Gange større end ved kemiske Processer give Grund til alvorlige Betæneligheder. Der kunde aabne sig Muligheder for Eksplosioner saa omfattende og ødelæggende, at vi ikke kan danne os nogen Forestilling derom. Man har fremsat den Tanke, at de voldsomme Verdensrevolutioner, der giver sig Udtryk i nye Stjerner Opblussen, skyldes saadanne omfattende Udbrud af indre Atomenergi, maaske foraarsagede ved, at Fornuftvæsner paa en Klode er blevet for „kloge“; men dette er kun en fantasifuld Gisning.

Vi behøver dog foreløbig ikke at være bange for saaledes at mane Aander frem, som vi ikke kan beherske; thi vi kan slet ikke se nogen farbare Veje til at udvinde Energi af Atomernes Kernesystemer ud over, hvad Naturen frivilligt giver, endsige til en praktisk Løsning



af dette Energiproblem. Tiden er i alt Fald endnu slet ikke kommet til, at Teknikeren her kan følge i Forskerens Fodspor. Om hvad Fremtiden kan bringe vilde det imidlertid være farligt at spaa.

Hvor interessante og betydningsfulde end de Indblik er, som Rutherford og andre har aabnet for os til Atomkernernes Indre, tør det sikkert siges, at Udforskningen af Elektronsystemernes Egenskaber griber langt stærkere ind paa den fysiske og kemiske Videnskabs forskellige Omraader og derigennem ogsaa har større Muligheder for i en nærmere Fremtid at føre til Opdagelser af praktisk Betydning.

## V. BOHRS TEORI FOR BRINTSPEKTRET

*Kerneatomet og Elektrodynamikken.* Selv om Rutherford langtfra havde givet en fuldstændig Besvarelse af det første af de i det foregaaende Afsnit opstillede Spørgsmaal om Anbringelsen af de positive og negative Dele i Atomerne, skulde man dog tro, at den foran skildrede Opklaring af Forholdene — Adskillelsen i en lille Kerne og et ydre Elektronsystem og Bestemmelsen af dettes Elektrontal hos de forskellige Grundstoffer — maatte danne et godt Grundlag for Besvarelsen af det andet Spørgsmaal om Sammenhængen mellem Atomprocesserne og Stoffernes fysiske og kemiske Egenskaber. Men til at begynde med syntes dette rigtignok saa langt fra at være Tilfældet, at det tværtimod nu først var blevet helt haabløst at løse denne Opgave.

Vi ser bedst dette, naar vi holder os til det simpleste Grundstofatom, Brintatomet, med dets positive Kerne og dets ene Elektron, som kredser om Kernen. Hvorledes skulde det være muligt, at man ud fra en saa simpel Konstruktion skulde kunne forklare Brintspektret med dets mange forskellige skarpe Linier fordelte i flere Serier efter Balmer-Ritz Formel (S. 47)? Som tidligere omtalt syntes Elektronteorien netop at kræve en meget sammensat Atombygning til Forklaring af disse Forhold. Efter Elektronteorien skulde Atomerne, kan man sige, kunne lignedes med Strenginstrumenter, der var i Stand til at udsende et stort Antal Toner, og Elektronerne skulde svare til Instrumentets Streng; men Brintatomerne havde kun een Elektron, og det syntes ikke troligt, at de enkelte Brintatomer i en Brintmasse var stemt for forskellige, men ganske bestemte „Toner“, d. v. s. Svingningstal.

Nu kunde man ganske vist ikke af Analogien med Strenginstrumentet slutte, at en enkelt Elektron kun kunde give Lys af et enkelt Svingningstal svarende til en enkelt Spektrallinie. En anslaaet Streng vil nemlig ikke give en enkelt usammensat Tone; det vilde den kun



gøre, hvis den svingede paa en vis bestemt, særlig simpel Maade; men i Virkeligheden udsender den en sammensat Lydbevægelse, der kan opfattes som sammensat af en „Grundtone“ og „Overtoner“, hvis Svingningstal er 2, 3 ..... Gange Grundtonens, altsaa hele Multipla af dette. Disse Overtoner svarer til, at Strengen, foruden at svinge som Helhed, deler sig i 2, 3 ..... lige store svingende Dele, hvad der vilde give henholdsvis 2, 3 ..... Gange saa høje Svingningstal; man kalder en saadan Række af Svingninger „*harmoniske Svingninger*“. Den samtidige Eksistens af disse forskellige Svingningsmaader i Strengens Svingninger er at opfatte paa lignende Maade som den samtidige Eksistens af Bølgesystemer af forskellige Bølgelængder paa en Vandflade, og de af Strengen udsendte sammensatte Lydbølger kan ved Resonnatorer opløses i Toner med de forskellige Svingningstal som angivet S. 38.

Med den om Brintkernen kredsende Elektron skulde Forholdet efter Elektrodynamikkens Love ventes at være noget lignende. Hvis dens Bane var en Cirkel, skulde den i Æteren udsende elektromagnetiske Bølger med en enkelt bestemt Bølgelængde og et tilsvarende Svingningstal  $\nu$ , som var lig Elektronens Omløbstal  $\omega$ , d. v. s. Antallet af dens Baneomløb i 1 Sekund. Men ligesom en Planet under Paavirkning af Solens Tiltrækning, der er omvendt proportional med Afstandens Kvadrat, bevæger sig i en mere eller mindre aflang Bane, en Ellipse med Solen i det ene Brændpunkt, vil Elektronen under Paavirkning af den positiv elektriske Kerne, hvis Tiltrækning følger samme Lov, kunne bevæge sig i en Ellipse med Kernen i det ene Brændpunkt. De elektromagnetiske Bølger, som udsendes i Æteren fra en saaledes bevæget Elektron, skal imidlertid efter Elektronteorien kunne betragtes som sammensat af Lysbølger svarende til en Række harmoniske Svingninger med Svingningstal

$$\nu_1 = \omega, \nu_2 = 2\omega, \nu_3 = 3\omega \text{ o. s. v.}$$

hvor  $\omega$  som før betyder Elektronens Omløbstal; eftersom Banen afviger mere eller mindre fra en Cirkel, skulde Svingningerne  $\nu_2, \nu_3$  ..... o. s. v. træde stærkere eller svagere frem i den sammensatte Lysbevægelse. Fordelingen af Spektrallinierne i det virkelige Brintspektrum har imidlertid ikke nogen som helst Lighed med denne Fordeling af Svingningstallene.

Allerede heraf ser man saaledes, at man ikke ad denne Vej kan føres til Overensstemmelse mellem Elektronteorien og den Rutherford'ske Atommodel. Uoverensstemmelserne mellem dem gaar imidlertid langt dybere.

Efter Lorentz' Forklaring af Lysbølgenes Fremkomst skulde Elektronerne i Stoffet som tidligere nævnt (S. 57) have visse Hvilestillinger og komme i Svingninger frem og tilbage om disse, naar



de ved en ydre Impuls — en Art Rystelse — blev ført ud fra dem. Den Energi, som ved en saadan Impuls tilførtes Elektronen, vilde da efterhaanden forbruges til Udsendelsen af Lysbølgerne og saaledes omdannes til Straaleenergi i det udsendte Lys, medens Elektronerne samtidig faldt i Ro, hvis den ikke forinden fik en ny Impuls. Impulserne kunde f. Eks. ved et glødende fast Legeme komme fra Molekylernes Sammenstød, ved lysende Luft i et Udladningsrør fra Elektroners og Ioners Stød mod Atomer. Det af Elektronen repræsenterede svingende System („Oscillatoren“) vilde under disse Omstændigheder have meget stor Analogi med en Streng, der efter at være sat i Svingning ved et Anslag efterhaanden kommer i Ro, idet den til Anslaget anvendte Energi afgives i Form af Lydbølger. Skønt Strengens Svingninger efterhaanden bliver svagere, holder Tiden for hver enkelt Svingning sig uforandret: Svingningerne er ligesom Pendulsvingninger „ligetidige“, og det samme vilde være Tilfældet med Elektronens Svingningstal, naar den Kraft, der førte den tilbage til Hvilestillingen var proportional med Afstanden.

Rutherfords Atommodel er imidlertid et System af en hel anden Art end Elektronteoriens tænkte Oscillatorer. Brintatoms ene kredsende Elektron vilde kun kunne finde Hvile inde ved den positive Kerne, og naar den først var forenet med denne, lod den sig ikke let rive løs igen; den vilde saa være blevet til en Kerneelektron, og en saadan Proces vilde være noget saa indgribende som en Grundstof-forvandling (S. 58). Paa den anden Side fulgte det nødvendigt af Elektrodynamikkens Grundlove, at Elektronen under sin Kredsen maatte udsende Straaleenergi og som Følge af Energitabet efterhaanden nærme sig til Kernen. Men da Kernens Tiltrækning paa Elektronen er omvendt proportional med Afstandens Kvadrat, vil Omløbstiden herved stadig formindskes, Omløbstallet  $\omega$  og dermed Svingningstallet for den udsendte Straaling altsaa stadig forøges; den til de udsendte Lysbølger svarende Spektrallinie skulde altsaa stadig vandre i Retning fra Spektrets røde Ende mod den violette. Rutherfords Atommodel var altsaa ikke blot ude af Stand til at gøre Rede for Spektralliniernes Antal og Fordeling; det var overhovedet umuligt ud fra de kendte elektrodynamiske Love at forstaa, at den kunde give Anledning til Dannelsen af Spektrallinier paa bestemte Steder i Spektret. Ja, man maatte erkende, at et elektrodynamisk System af den Art var et ustabilt og derfor i Grunden umuligt System, og dette gjaldt ikke blot om Brintatomet, men om alle Kerneatomer med deres positive Kerne og det udenom denne kredsende Elektronsystem.

Hvorledes man end betragter Sagen, finder man saaledes en uløselig Modstrid mellem Rutherfords Teori om Atomets Bygning og de fundamentale elektrodynamiske Forudsætninger for Lorentz' Elektronteori. Som tidligere fremhævet har Rutherford imidlertid udledet



sin Atommodel af saa direkte og overbevisende Forsøg, at en anden Fortolkning af disse næppe er mulig. Naar det Resultat, han er kommet til, ikke kunde forliges med Elektrodynamikken, var det derfor, som det er blevet sagt, værst for denne.

Man kunde dog ikke vente, at Fysikerne skulde være meget tilbøjelige til at opgive Elektrodynamikkens Tankebygning, selv om dens Fundamenter blev alvorligt beskadigede af Rutherfords Atomprojektiler. Udbygget med den skønne Lorentzske Fløj, Elektron-teorien, stod den ved Aarhundredskiftet som en paa engang solid og rummelig Borg, hvor en overordentlig stor Del af den gennem Aarhundreder indsamlede Viden allerede var blevet anbragt, og hvor der syntes at være Plads for alle Fysikkens gamle Afdelinger, Lyslæren saa vel som Elektricitetslæren, Varmelæren saa vel som den mekaniske Fysik. Hvis den faldt sammen, vilde det være, som om Fysikken pludselig blev husvild.

*Kvanteteorien.* Ogsaa ad helt anden Vej var man imidlertid naaet til den Erkendelse, at der var noget i Vejen med den klassiske Elektrodynamik. Ud fra dybsindige Spekulationer over Varmeligevægten ved Straalingsprocesser var Tyskeren *Planck* (1900) kommet til den saakaldte *Kvanteteori*, der lige saa lidt som Rutherfords Atommodel lod sig forlige med Elektrodynamikkens Grundlove.

Vi maa paa Grund af Sagens Vanskelighed nøjes med en ganske kort Antydning af det Grundlag, hvorpaa *Planck* byggede.

Ved en sort Overflade forstaar man en Overflade, som indsuger alle de Lysstraaler, som falder paa den, og altsaa slet ingen kaster tilbage. Fysikerne bruger imidlertid Betegnelsen absolut sort i udvidet Forstand om en Overflade, som ved enhver Temperatur indsuger alle Straaler, der falder paa den, saavel egentlige Lysstraaler som ultrarøde og ultraviolette Straaler. Gennem visse Betragtninger, der for over 60 Aar siden blev anstillet af Kirchhoff, kan det godtgøres, at den Straaling, der udsendes fra en saadan Overflade, naar det paa-gældende Legeme opvarmes, ikke afhænger af Legemets Beskaffenhed, men kun af dets Temperatur, og at den er større end Udstraalingen fra et Legeme med en hvilkensomhelst anden Overflade ved samme Temperatur. Man betegner en saadan Udstraaling som „Temperaturstraaling“ eller „den sorte Straaling“, hvilken sidste Betegnelse ganske vist kan være noget vildledende, da det udstraalende Legeme godt kan være hvidglødende.

I Praksis vil intet Legeme være absolut sort; selv fra en med fin Sod (Kørnøg) beklædt Overflade tilbagekastes ca. 10% af de egentlige Lysstraaler, som falder paa den. Den danske Fysiker *C. Christiansen* gjorde nu opmærksom paa, at man vilde kunne tilvejebringe sort Straaling, hvis man kunde indrette det saaledes, at de Straaler,



der tilbagekastedes fra et Sted af dets Overflade, traf et andet Sted, efter Tilbagekastning fra dette et nyt Sted og saa fremdeles. Hvis der hver Gang f. Eks. indsuges 90 % og kun tilbagekastes 10 % af Straalerne, vil der, allerede efter at Overfladen er ramt 3 Gange, kun gaa  $\frac{1}{1000}$  af de oprindeligt indfaldende Straaler ud fra Legemet, medens Resten er indsuget, og da Indsugningen saaledes er omtrent fuldstændig, vil Udstraalingen fra Legemet faa Karakter af sort Straaling. Christiansens Tanke er senere blevet realiseret derved, at man i en Ovn indretter et Hulrum med et lille Hul og sørger for, at Hulrummets Vægge har samme Temperatur overalt. En Straale, der sendes ind gennem Hullet, vil saa at sige blive fanget, idet den inde i Hulrummet kastes utallige Gange frem og tilbage mellem Væggene og derved efterhaanden vil blive fuldstændig indsuget. Derfor vil den Straaling, der fra det hvidglødende Hulrum kommer ud gennem Hullet, være sort Straaling.

Hulrummet selv vil i alle Retninger gennemkrydses af Straaler, som udsendes fra en Del af Overfladen, indsuges af og tilbagekastes af en anden Del, og naar Væggene en Tid lang har været holdt paa en bestemt Temperatur, vil der være opstaaet en Ligevægtstilstand, hvor hver Kubikcentimeter af Hulrummet indeholder en bestemt af Væggens Temperatur afhængig Mængde Straaleenergi. Denne skal imidlertid i Ligevægtstilstanden ogsaa være fordelt paa en bestemt af Temperaturen afhængig Maade mellem de forskellige Straalearter, svarende til forskellige Bølgelængder eller Svingningstal. Hvis der er for meget af en Slags Straaler, for lidt af en anden, vil Væggene indsuge mere, end de udstraaler af den første Slags, og udstraale mere end de indsuger af den anden Slags; saaledes vil Tilstanden forandres, indtil det rette Forhold er naaet.

Hvorledes Energien er fordelt mellem de forskellige Straalearter, kan man undersøge ved at sende den af Hullet udtrædende Straaling ind i et Spektroskop og maale Varmeudviklingen i de forskellige Dele af Spektret. Ved en Temperatur af f. Eks.  $1500^{\circ}$  finder man Maksimum af Energi for Straalerne med Bølgelængde  $1,8 \mu$ , altsaa langt ude i det ultrarøde. Forøges Temperaturen, rykker Energi-maksimet hen imod Spektrets violette Ende; aftager den, rykker det den modsatte Vej.

Nu kan man ogsaa søge ad teoretisk Vej at udregne, hvorledes Energien ved en vis Temperatur skal være fordelt imellem de forskellige Svingningstal. Det Resultat, man kommer til ad denne Vej, stemmer imidlertid ikke med, hvad Maalingerne viser. Ud fra de elektrodynamiske Love har Englænderne *Rayleigh* og *Jeans* gennem tilsyneladende tvingende Ræsonnementer udledet en Fordelingslov, efter hvilken der slet ikke kan blive Straalingsligevægt, idet Energien vil gaa mere og mere over paa Straaler med korte Bølge-



længder og høje Svingningstal, og denne Overgang skulde fortsættes i det uendelige. Teorien fører altsaa til Resultater, der ikke blot strider mod Erfaringen, men ogsaa maa siges i sig selv at være ganske urimelige.

Planck var imidlertid kommet over disse Vanskeligheder og naaet til en med Erfaringen stemmende Straalingslov, idet han gjorde en højst besynderlig Antagelse. Han tænkte sig ligesom Lorentz Straalingen formidlet ved smaa svingende Systemer eller Oscillatorer, som hver kunde udsende og absorbere Straaler af et bestemt Svingningstal  $\nu$ . Men medens Straalingen efter Lorentz' Teori og i det hele taget efter Elektrodynamikkens Love maa kunne udsendes i saa smaa Mængder, det skal være, antog Planck, at en Oscillator kun kunde udsende en vis Mængde eller et vist „Kvantum“ af Straalingsenergi ad Gangen, hvis Størrelse var bestemt ved Oscillatorens Svingningstal og voksede proportionalt med dette. Betegner vi den Energi-mængde, en Oscillator med Svingningstal  $\nu$  kunde udsende, med  $E$ , kan vi da skrive

$$E = h \cdot \nu$$

hvor  $h$  betegner en for alle Svingningstal fælles, konstant Størrelse. Hulrummet kan altsaa aldrig fra det straalende Legeme faa tilført Straalingsenergi med Svingningstallet  $\nu$  i mindre Mængde end  $h \cdot \nu$ , og den hele i en vis Tid udstraalende Energi af denne Slags vil følgelig altid være hele Multipla af  $h \cdot \nu$ . En Oscillator med f. Eks.  $1\frac{1}{2}$  Gange saa stort Svingningstal vil derimod udsende Energien i  $1\frac{1}{2}$  Gange saa store Kvanter.

Størrelsen  $h$  er uafhængig ikke blot af Bølgelængden, men ogsaa af Temperaturen og af det udsendende Legemes Art. Denne „Planckske Konstant“ er med andre Ord en universel Konstant. Regner man med de videnskabelige (absolute) Enheder for Længde, Masse og Tid, faar man Talværdien  $6,54 \cdot 10^{-27}$ . For Svingningstallet  $750 \cdot 10^{12}$ , der omtrent svarer til det yderste violette i det synlige Spektrum, bliver det Planckske Energikvantum altsaa ca.  $5 \cdot 10^{-12}$  erg, idet den videnskabelige Enhed for Energi kaldes 1 erg; den er ca.  $10^{-8}$  Kilogrammeter, og det omtalte Energikvantum er altsaa ca.  $5 \cdot 10^{-20}$  kgm, d. v. s. en Tyvebilliontedel af den Energi, der skal anvendes til at løfte et Milligramlod 1 Millimeter; for Lys, der hører til den røde Ende af Spektret er det omtrent halv saa stort. Gaar vi derimod til de allerhøjeste Svingningstal og altsaa de allermindste Bølgelængder, der kendes, nemlig dem der svarer til de aller „haardeste“ (mest gennemtrængende  $\gamma$  Straaler (se S. 58), da kommer vi op til Energikvanter paa  $2 \cdot 10^{-6}$  erg.

Denne mærkelige Kvanteteori, som hos Planck endnu besad en meget abstrakt og verdensfjern Karakter, viste sig i den følgende Tid under Einsteins geniale Behandling at have den allerstørste Betyd-



ning for flere Problemer, der ligesom Varmestraalingen havde beredt Fysikerne store Vanskeligheder. Det viste sig saaledes, at man ved at antage, at Energien kun afgaves og modtoges i Kvanter, kunde gøre Rede for visse Forhold ved Legemernes Varmefylde, som den gamle Fysik havde været magtesløs overfor. Paa en særlig smuk og direkte Maade fremtræder de Planckske Energikvanter, som Einstein viste, ved den saakaldte fotoelektriske eller lyselektriske Virkning. Den bestaar i, at ultraviolette Straaler frigør Elektroner af en Metalplade, som de rammer. Den Hastighed, hvormed disse Elektroner farer ud fra Pladen, fandtes at være uafhængig af Belysningsstyrken, men derimod at rette sig efter Straalernes Svingningstal, og omhyggelige Maalinger har vist, at Lyset, som Einstein havde forudsagt, ved hver Elektrons Frigørelse brugte et Energikvantum  $h \cdot \nu$  til at løsrive Elektronen og give den Fart; (smlgn. Afsn. VI).

Alt dette laa ganske udenfor Elektrodynamikkens Love og pegede mod ukendte dybere liggende Love; men foreløbig maatte man nøjes med den Erkendelse, at disse mystiske Energikvanter spillede en betydningsfuld Rolle ved mange Forhold.

For en halv Snes Aar siden stod Fysikken da overfor Straalingsproblemerne i en højst besynderlig og pinlig Situation. Man raadede over 4 forskellige Grupper af Viden, som hver for sig syntes at være af solid og dybtgaaende Art, men som var ganske uden indbyrdes Forbindelse, ja til Dels endog stred mod hinanden. Den ene var den klassiske Elektrodynamik i smukt afsluttet Udformning ved Lorentz' Elektronteori. Den anden var de af Balmer, Rydberg og Ritz fundne erfaringsmæssige Lovmæssigheder i Liniespektrenes Bygning. Den tredie var Rutherfords Kernemodel for Grundstofatomet. Den fjerde var Plancks Kvanteteori for Udstraalingen. Fysikken havde disse fire kraftige Heste at spænde for sin Vogn; men de vilde aldeles ikke gaa i Spænd sammen, og derfor kunde Vognen ikke komme frem.

*Grundtrækkene af Bohrs Teori.* Saaledes var Stillingen, da *Niels Bohr* i Aaret 1913 i en Afhandling i det engelske „Philosophical Magazine“ fremsatte sin Atomteori, hvori han med et genialt Greb havde knyttet Kerneatomet, Balmer-Ritz' Formel og Kvanteteorien sammen. Hvad Elektrodynamikken angaar, da traadte Umuligheden af at opretholde denne i dens klassiske Form gennem Bohrs Teori frem i et endnu grellere Lys end tidligere; men som vi skal se, har Bohrs Teori dog Tilknytning til den klassiske Elektrodynamik, og Bohrs Bestræbelser for at bevare og videre udvikle denne Forbindelse har vist sig at være af største Betydning for hans Teori; han spændte med andre Ord ogsaa Elektrodynamikken for Vognen. Naar det lykkedes Bohr at føre den fysiske Forskning ud af Uføret og ind paa



nye frugtbare Baner, beror det netop paa, at han med Originalitet og Dristighed forbandt en omfattende Viden om og en dybtgaaende Forstaaelse af alt det forudgaaende Arbejde og trods dybtgaaende Brud med ældre Synspunkter forstod at drage Nytte af alt det, man ud fra dem havde naaet.

I Spidsen for sin Atomteori stiller Bohr to Grundantagelser eller „Postulater“ angaaende et Atoms Egenskaber.

*Det første Postulat udsiger, at der for hvert Atom eller Atomsystem eksisterer et Antal bestemte Bevægelsestilstande, de saakaldte „stationære Tilstande“, i hvilke Atomet (eller Atomsystemet) kan befinde sig, uden at der finder Udstraaling af Energi Sted. En blivende Ændring i Atomets Energiindhold kan kun finde Sted ved en Proces, hvorved Atomet gaar fuldstændig over fra een stationær Tilstand til en anden.*

*Det andet Postulat udsiger, at hvis en saadan Overgang finder Sted under Udstraaling eller Absorption (Optagelse) af elektromagnetiske Lysbølger, vil disse Bølger have et bestemt Svingningstal, hvis Størrelse er bestemt ved Ændringen i Atomets Energiindhold. Kalder vi denne Ændring  $E$  og Svingningstallet  $\nu$ , skal man have, at*

$$E = h \cdot \nu \text{ eller } \nu = \frac{E}{h}$$

*hvor  $h$  er den førnævnte Planckske Konstant. Ifølge det andet Postulat skal altsaa saavel Udstraaling fra som Optagelse af Straaleenergi i et Atom (eller Atomsystem) altid foregaa i Planckske Energi-  
kvanter.*

I de to Postulater er der ikke sagt noget om, af hvad Art de stationære Bevægelsestilstande er. Her er det nu, at Bohr søger Tilknytning til den Rutherfordske Atommodel. Idet vi foreløbig holder os til Brintatomet, skal det System, vi har med at gøre, altsaa bestaa af en positiv elektrisk Kerne og en Elektron, som kredser om denne. De forskellige Bevægelsestilstande, som Elektronen ifølge det første Postulat kan befinde sig i, er en Række Baneomløb i forskellige Afstande fra Kernen. I hver af disse „stationære Baner“ følger Elektronen de almindelige mekaniske Love; under Paavirkning af Kernens Tiltrækning, der er omvendt proportional med Afstandens Kvadrat, beskriver den en Ellipse med Kernen i det ene Brændpunkt som før beskrevet; men i Modstrid med Elektrodynamikkens Love udsendes der ingen Straaling. I Fig. 23 er antydnet en Række af disse Baner, som vi har givet Numrene 1, 2, 3, 4, og som vi for Simpplheds Skyld foreløbig har tænkt os cirkelformede.

Dersom Elektronen gaar over fra en ydre Bane til en indre f. Eks. fra Nr. 4 til Nr. 2 eller fra Nr. 2 til Nr. 1, vil den elektriske Kraft, som drager den ind mod Kernen udføre et vist Arbejde ligesom



Tyngdekraften, naar en Sten falder ned mod Jorden. En Del af dette Arbejde anvendes til at forøge Elektronens Bevægelsesenergi, idet dens Hastighed i Baneomløbet er større i den indre Bane end i den ydre; men en anden Del frembringer Straaleenergi, som straalers ud fra Atomet og saaledes gaar tabt for dette. Ifølge det andet Postulat er den udsendte Straalings Svingningstal proportional med Energifabet. Naar Elektronen er kommet til den inderste med 1 betegnede Bane, kan den ikke nærme sig mere til Kernen og derfor heller ikke udsende Straaling paany, uden at den først ved udefra tilført Energi

er overført til en ydre Bane, hvorfra den da atter kan gaa over til en indre. Den inderste Bane repræsenterer saaledes Elektronens Hviletilstand eller *Atomets Normaltilstand*.

Hvis vi vilde søge at anskueliggøre Sagen ved en Analogi fra Lydsvingningernes Omraade, da kunde vi sammenligne Atomet ikke med et Stregeinstrument, men med et tænkt Musikinstrument af hel anden Art. Lad os tænke os, at vi over hinanden har anbragt en Række Skiver, paa hvilke en Kugle kan løbe rundt uden at møde Modstand og uden at frembringe nogen Lyd. Under en saadan Bevægelse kan Systemet

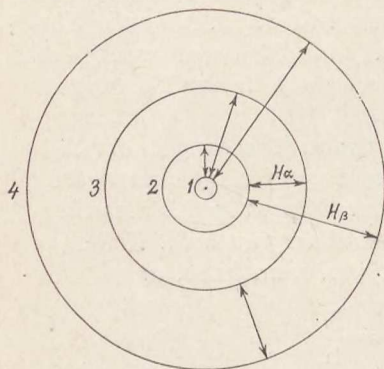


Fig. 23. Bohrs Model for Brintatomet i simplificeret Form (med Cirkler i Stedet for Ellipser).

siges at være i en „stationær Tilstand“; men før eller senere kommer Kuglen ud over Randen af Skiven og falder ned paa en af de lavere liggende, hvor den atter løber rundt som før, og ved Faldet frembringes der, antager vi, en Tone. Idet den saaledes gaar over fra en stationær Tilstand til en anden, mister den en Energi saa stor som det Arbejde, der vilde kræves til atter at løfte den op paa den Skive, hvor den før var og bringe den i den gamle Bevægelsestilstand. Vi vil antage, at den Energi, der tabes ved Faldet, kommer frem i de af Musikinstrumentet udsendte Lydbølger, og at Tonhøjden, d. v. s. Svingningstallet netop er proportionalt med den af Systemet tabte og som Lydbølger udsendte Energi. Tænker vi os tillige, at den nederste Skive har en Rende, som optager den faldende Kugle og hindrer den i at falde endnu dybere, saa kan dette ejendommelige Musikinstrument i ganske grove Træk give et Billede af Forholdene ved Bohrs Atom; men man maa vel vogte sig for at strække Analogien videre end her antydet.

Hvad man særlig bør fæste Opmærksomheden ved, er den Omstændighed, at Svingningstallet for den udsendte Tone ikke har no-



gen Forbindelse med Kuglens Omløbstal paa en af Skiverne. I Analogi hermed har Elektronens Omløbstal  $\omega$  i en af de stationære Baner ikke noget som helst direkte at gøre med Svingningstallet for de fra Atomet udsendte Lysbølger. Dette er et i høj Grad overraskende Brud med alle tidligere Forestillinger om Straaling, et Brud, hvis revolutionære Karakter ikke tilstrækkelig kan understreges. Men hvor urimeligt det end kunde synes at opgive den direkte Sammenhæng mellem Omløbstal og Svingningstal, var det dog ganske nødvendigt, naar Rutherfords Atommodel skulde opretholdes. Og som vi nu skal se, førte de nye Synspunkter Bohr ganske naturligt til en Fortolkning af Balmer-Ritz Formel, som hidtil havde staaet uden Sammenhæng med noget andet.

Den Energimængde  $E$ , som Atomet afgiver, naar Elektronen gaar fra en ydre til en indre stationær Tilstand, eller som omvendt ved den modsatte Overgang kræves tilført udefra, kan som nævnt betegnes ved Forskellen mellem Atomets Energiindhold i de to Tilstande. Denne Forskel kan udtrykkes paa følgende Maade. Lad os tænke os, at vi fra en vis stationær Bane f. Eks. Nr. 2 fra Kernen fører Elektronen „uendelig langt bort“ eller „helt bort“ fra Kernen, d. v. s. saa langt bort, at Kernens Tiltrækning er aldeles umærkelig, eller med andre Ord løsriver den helt fra Atomet, saa vilde hertil kræves en vis Energi, som vi kan kalde det til den paagældende stationære Bane svarende „Løsrivelsesarbejde“ og betegne med  $A_2$ . Til at føre Elektronen helt bort fra den stationære Bane Nr. 4 vilde der kræves et mindre Løsrivelsesarbejde  $A_4$ . Forskellen  $A_2 - A_4$  er det Arbejde, der maatte udføres, altsaa den Energi  $E$ , der vilde udkræves for at føre Elektronen fra Bane Nr. 2 til Bane Nr. 4, eller hvad der er det samme, den Energi, der ved den modsatte Overgang vilde udsendes som Lysbølger. Kalder vi Svingningstallet for disse  $\nu$ , skal vi jo have (S. 79)  $E = h \cdot \nu$ , og da vi nu fandt  $E = A_2 - A_4$ , bliver

$$h \cdot \nu = A_2 - A_4$$

Hvis vi i Stedet for de tilfældige Eksempler paa stationære Baner Nr. 2 og Nr. 4 tager to vilkaarlige Baner betegnede med Numrene  $n''$  for den indre,  $n'$  for den ydre, kan vi skrive

$$h \cdot \nu = A_{n''} - A_{n'} \text{ eller } \nu = \frac{A_{n''}}{h} - \frac{A_{n'}}{h}$$

Vi er nu kommet til det Tidspunkt, da det lønner sig at tage Balmer-Ritz' Formel (se S. 47) for Liniernes Fordeling i Brintspektret frem til Betragtning. Denne Formel kan skrives

$$\nu = \frac{K}{n'^2} - \frac{K}{n''^2}$$

Vi ser nu tydeligt Ligheden mellem denne af Spektralundersøgel-



ser udledede Formel og Formlen ovenfor, der er udledet af Bohrs to Postulater, og deres Tilknytning til Rutherfords Atommodel. I begge Formler fremtræder Svingningstallet som en Differens mellem to Led, der bestemmes ved hvert sit af to hele Tal, i den første Formel Numre for to stationære Baner i Bohrs Model for Brintatomet, i den anden de to Tal som i Balmer-Ritz' Formel for Brintspektret karakteriserer henholdsvis en Serie og en af Linierne i denne. For at faa fuld Overensstemmelse behøver vi blot at sætte Leddene i den ene Formel lig med Leddene i den anden. Dette vil de blive, naar man for et vilkaarligt helt Tal  $n$  sætter

$$\frac{A_n}{h} = \frac{K}{n^2} \text{ eller } A_n = \frac{h \cdot K}{n^2}$$

For den inderste stationære Bane, for hvilken  $n$  er lig 1, skal „Løsrivelsesenergien“  $A_1$  for Elektroner altsaa være lig Produktet af Plancks og Balmers Konstanter,  $h \cdot K$ , og for Banerne Nr. 2, 3, 4 ... henholdsvis  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{16}$  ... deraf. Af Kernens og Elektronens elektriske Ladninger, der jo begge er lig det elektriske Elementarkvantum  $e$  (S. 51), og Løsrivelsesenergien for en vis Bane kan man nu ud fra simple mekaniske Betragtninger finde Banens Radius. Idet vi for Bane Nr. 1, 2, 3 ... betegner Radierne med  $a_1, a_2, a_3 \dots$ , Diametrene med  $2a_1, 2a_2, 2a_3 \dots$ , giver Regningen:  $2a_1 = 1,056 \cdot 10^{-8}$  eller med Tilnærmelse:  $2a_1 = 10^{-8}$  cm (eller  $0,1 \mu\mu$ ),  $2a_2 = 4 \cdot 10^{-8}$ ,  $2a_3 = 9 \cdot 10^{-8}$  ... osv. Det ses, at Banernes Radier eller Diametre forholder sig som 1, 4, 9, ... d. v. s. som Kvadraterne paa de hele Tal, der angiver Banernes Numre indefra. Saaledes er de ogsaa afsatte paa Fig. 23, som derfor kan tjene som en Slags Illustration af Bohrs Atommodel. Dog maa det erindres, at vi foreløbig har tænkt os Banerne som Cirkler, medens de i Virkeligheden maa antages i Almindelighed at være Ellipser. I de foregaaende Betragtninger og Beregninger vil dette dog ikke indføre anden Forandring end, at  $2a_n$  i Stedet for Cirkelns Diameter skal betyde den største Diameter eller „Storaksen“ i Ellipsen.

Vender vi nu tilbage til de to Formler

$$\nu = \frac{A_{n''}}{h} - \frac{A_{n'}}{h} \text{ og } \nu = \frac{K}{n'^2} - \frac{K}{n''^2}$$

saa betød  $n''$  jo i den første Formel Nummertallet for den *indre* af de to Baner, mellem hvilke der skete en Overgang, og i den anden det Tal, der karakteriserede en bestemt Serie i Brintspektret. Er  $n''$  lig 2, medens  $n'$  gennemløber Værdierne 3, 4, 5, ...  $\infty$ , saa svarer hertil i Brintatomet en Række Overgange *til* Bane Nr. 2 *fra* Banerne 3, 4, 5, ... og i Brintspektret Balmerseriens Linier: den røde ( $H\alpha$ ) til Overgangen 3—2, den grønne ( $H\beta$ ) til 4—2, den violette ( $H\gamma$ ) til 5—2 o. s. v. Sætter vi  $n'' = 1$ , medens  $n'$  sættes lig 2, 3, ... , faar vi i Atomet Overgange til Bane Nr. 1 fra Banerne Nr. 2, 3, ... og i



Spektret den saakaldte Lyman-Serie. Og saaledes repræsenteres enhver Linie i Brintspektret af en Overgang imellem to bestemte stationære Baner i Brintatomet, idet denne Overgang vil give netop det til denne Linie svarende Svingningstal.

Dette kunde nu maaske ved første Øjekast synes mange at være et saa forbavsende smukt Resultat, at det paa ganske overbevisende Maade vidnede til Gunst for Bohrs Teori. Ved noget nærmere Eftertanke vilde nogle dog maaske bedømme disse Vidnesbyrd ganske modsat og sige, at de slet ikke havde den ringeste Værdi, da de stationære Tilstande var *valgt* saaledes, at man derved opnaaede Overensstemmelse med Balmer-Ritz' Formel. Denne sidste Betragtning rummer den Sandhed, at Overensstemmelsen mellem Formlen og Teorien — efter hvad der hidtil er sagt om denne — er af rent formel Natur. Gennem Bohrs Postulater fremtraadte Svingningstallene for den udsendte Straaling som bestemt ved en Differens mellem to og to af en Række Energimængder (karakteriserende de stationære Tilstande), ligesom de i Balmer-Ritz' Formel fremtraadte som en Differens mellem to og to af en Række Led ( $K, \frac{1}{4}K, \frac{1}{9}K \dots$  karakteriserede ved hver sit hele Tal. Ved nu — i og for sig ganske vilkaarligt — at karakterisere ogsaa Energimængderne i de stationære Tilstande ved en Række hele Tal kunde man opnaa fuld Overensstemmelse. Man behøvede ikke engang i dette Øjemed at indføre Rutherfords Atommodel. Ved at gøre dette opnaaede man at knytte den nye Teori til, hvad man forud vidste om Atomets „Arkitektur“, og at faa de ubestemte „stationære Tilstande“, ved hvilke man kunde tænke sig alt muligt, til saa at sige at krystallisere sig i bestemt Form som Omløb i visse Baner, der dannede Led af en mere omfattende Atomarkitektur; men Teorien syntes ikke derfor mindre vilkaarlig, da intet syntes at berettigede Baner med visse bestemte Diametre eller Storakser til at spille en særlig Rolle. Det kan derfor ikke undre, at mange fandt Bohrs Teori uantagelig eller endog var tilbøjelig til at betragte den som en paa en Gang vilkaarlig og urimelig Opstilling, som intet forklarede.

Naturligvis havde Bohr saa klart som nogen erkendt den formelle Natur af den opnaaede Overensstemmelse mellem Balmer-Ritz' Formel og hans Postulater. Men at Kvanteteorien rummede Muligheder for at tilvejebringe en saadan Overensstemmelse, havde ingen set før Bohr, og han saa tillige, at det herved ikke drejede sig om noget ydre og tilfældigt, men om noget meget dybtgaaende, noget man kunde bygge videre paa. At Atomprocesserne efter hans Teori tog sig uforstaaelige og urimelige ud, skræmmede ham ikke; thi han var, maaske før nogen anden, kommet til klar Erkendelse af, hvor fuldkommen umuligt det var ud fra kendte Love at forstaa den Planckske og Ein-



steinske „Kvantestraaling“ saavel som at udlede Spektrets Egenskaber af Rutherfords Kerneatom. Han saa derfor klart, at han ved sin Teori slet ikke indførte nye Urimeligheder, men kun lod den fundamentale Natur af de Modsigelser, der forud var til Stede, træde tydeligt frem i Teoriens Grundlag, medens andre var tilbøjelige til at tilsløre dem i det forfængelige Haab, at de nok skulde opløse sig paa en eller anden Maade.

Men desuden var Valget af de stationære Baners Diametre paa ingen Maade saa vilkaarlige, som det kunde se ud til efter det foregaaende. I sin første Fremstilling af Teorien for Brintspektret havde Bohr udledet dem af visse til Kvanteteorien knyttede Betragtninger, som ganske vist ogsaa var af formel Art, men som gav Overensstemmelse med Spektralformlen. Tillige gjorde han opmærksom paa, at de fundne Værdier for Banestørrelsen stemmede godt med, hvad man af helt andre Grunde kunde vente. Den inderste Banes Diameter, altsaa den, der angav Atomets ydre Begrænsning i Normaltilstanden, fandtes som ovenfor vist at være omtrent  $10^{-8}$  cm eller  $0,1 \mu\mu$ , d. v. s. den var af samme Størrelsesorden som de Værdier, man af Luftarternes Molekylarteori havde udledet for Molekylernes Diametre (S. 30). Stationære Tilstande svarende til meget høje Nummertal kunde man kun vente at træffe, naar Brinten var meget stærkt fortyndet, da der ellers ikke kunde blive Plads til de store Baner; den 32te Banes Diameter skulde jo være  $32^2$ , altsaa over 1000 Gange saa stor som den inderstes. Da nu Linier med højt Nummer i en Brintserie svarede til Overgange fra Baner med højt Nummer til en indre Bane, blev det forstaaeligt, at man kun havde iagttaget indtil 12 Linier af Balmer-serien i Udladningsrør, men op til 33 i Spektre fra visse Stjerner; thi ude i Himmelfrummet var der Mulighed for, at Brint kunde optræde i overordentlig stærk Fortynding og dog i saa store Mængder, at de paagældende Linier kunde blive stærke nok; hertil krævedes nemlig, at et stort Antal Atomers samtidig udsendte Lys af den til Linien svarende Bølgelængde. Ogsaa for Løsrivelsesarbejdet  $A_1$ , d. v. s. det Arbejde, der kræves til at fjerne en Elektron helt fra et Brintatom i Normaltilstanden og saaledes omdanne Atomet til en positiv Ion, gav Bohrs Teori en Værdi, der i Størrelsesorden stemmede med de Værdier for „Ioniseringsarbejdet“, man ved Forsøg havde fundet for forskellige Luftarter. En nøjagtig Sammenligning mellem Teori og Forsøg kunde ikke opnaas, fordi Brintatomerne i luftformig Brint altid optræder parvis forenede til Molekyler.

Allerede i sin første Afhandling havde Bohr imidlertid ad en anden Vej opnaaet Tilslutning til Balmers Formel og udledet en med Iagttagelserne stemmende Værdi af Konstanten  $K$  i denne. Der sigtes herved til den tidligere omtalte Tilknytning af Teorien til den klassiske Elektrodynamik.



En saadan Tilknytning havde Kvanteteorien før Bohr allerede deri, at Straalingsloven ved de store Bølgelængder, altsaa de lave Svingningstal eller langsomme Svingninger, stemmede med, hvad man kunde udlede af Elektrodynamikken. Dette hænger sammen med, at Energikvanterne  $h \cdot \nu$  bliver smaa, naar  $\nu$  er lille; Udstraalingens Karakter vil derved nærme sig mere til en kontinuert „ukvantet“ Straaling. Man kunde da vente, at ogsaa Bohrs Atomteori skulde føre til, at man i alt Fald i det ydre fik stor Lighed med Elektrodynamikkens Straalingsprocesser, naar man havde med meget langsomme Svingninger at gøre. Saadanne vilde man faa ved Overgang mellem to stationære Baner med høje og kun lidt forskellige Numre, altsaa f. Eks. mellem de to paa hinanden følgende Baner  $n$  og  $n-1$ , naar  $n$  er et højt Tal; thi for saadanne Baner er  $A_n$  og  $A_{n-1}$  kun meget lidt forskellige, og følgelig  $h \cdot \nu$ , der er lig  $A_{n-1} - A_n$ , og  $\nu$  selv lille. Efter de elektrodynamiske Love skulde den omløbende Elektron jo udsende en Straaling, hvis Svingningstal  $\nu$  var lig Elektronens Omløbstal  $\omega$ . Efter Bohrs Teori kan denne Betingelse ikke opfyldes, da Straalingen fremkommer ved Elektronens Overgang mellem to forskellige Baner, som har hver sit Omløbstal; men naar  $n$  er et stort Tal, bliver Forskellen mellem Omløbstallene  $\omega_{n-1}$  og  $\omega_n$  for de to Baner  $n-1$  og  $n$  forholdsvis lille, for  $n=100$  f. Eks. kun 3 pCt. For en vis høj Værdi af  $n$  kunde Svingningstallet  $\nu$  derfor godt være omtrent lig Omløbstallet for Elektronen i begge de Baner, hvormellem Overgang fandt Sted. Men selv om dette nu passede f. Eks. ved Værdier af  $n$  omkring 500, kunde man ikke paa Forhaand vide, om det ogsaa vilde passe ved endnu højere Værdier af  $n$ , f. Eks. ved Banenumre omkring 1000.

For at undersøge dette maa vi se paa Formlerne for Omløbstallet  $\omega$  i en stationær Bane og for Svingningstallet  $\nu$ . Da man efter Bohrs Teori kan anvende de sædvanlige mekaniske Love paa Omløbet i en stationær Bane, er det en let Sag at finde et Udtryk for  $\omega$ ; man faar ved en matematisk Beregning, at  $\omega = R \cdot n^3$ , hvor  $R$  er den første Banes Omløbstal;  $\nu$  findes af Balmer-Ritz' Formel ved at indsætte Banenumrene  $n$  og  $n-1$ , og en Regning viser, at for større Værdier af  $n$  vil Udtrykket for  $\nu$  nærme sig til det simple Udtryk  $\nu = 2 K \cdot n^3$ . For høje Banenumre bliver  $\nu$  altsaa ligesom  $\omega$  omvendt proportional med tredje Potens af  $n$ ; det er da muligt at bestemme  $K$  saaledes, at  $\nu$  for høje Banenumre nærmer sig mere og mere til  $\omega$ .

Bohr kom ad denne Vej til et Udtryk for  $K$ , som her skal anføres, fordi denne Beregning af Balmers Konstant var et meget betydningsfuldt Resultat af hans Teori. Han fandt  $K = 2\pi^2 \cdot e^4 \cdot m : h^3$ , hvor  $\pi$  er Forholdet mellem en Cirkels Omkreds og dens Diameter,  $e$  det elektriske Elementarkvantum (d. v. s. en Brintkernes eller en Elektrons Ladning),  $m$  en Elektrons Masse, og  $h$  Plancks Konstant. Den ved



Indsætning af Talværdierne for disse Størrelser fundne Værdi for K viste sig at stemme saa godt med den fra Spektralundersøgelser kendte Værdi,  $3,29 \cdot 10^{15}$ , som det kunde ventes efter den Nøjagtighed, hvormed  $e$ ,  $m$  og  $h$  var bestemt. Dette var en meget stærk Støtte for Teorien.

Nu kunde man indvende, at vi her kun har betragtet Straaling ved Overgang mellem to paa hinanden følgende stationære Baner, f. Eks. Nr. 100 og Nr. 99 el. lign. — „Enkeltspring“ kunde vi kalde det. Dersom Overgangen i Stedet skete mellem Baner, hvis Numer var 2, 3 eller flere Enheder forskellige, altsaa i „Dobbeltspring“, „Tredobbeltspring“ o. s. v., kunde den fundne Overensstemmelse synes helt at forsvinde, og hvis dette var Tilfældet, vilde den ikke være meget værd. Ved tilstrækkelig høje Banenumre vil nemlig Omløbstallene blive omtrent ens selv ved en Forskel af 2, 3 eller mere i Numrene; men Svingningstallet vil ved Dobbeltspring blive meget nær dobbelt, ved Tredobbeltspring meget nær 3 Gange saa stort som ved Enkeltspring. Vi vilde altsaa for Omløbstal omtrent lig samme Størrelse  $\omega$  faa Svingningstal omtrent bestemt ved  $\nu_1 = \omega$ ,  $\nu_2 = 2\omega$ ,  $\nu_3 = 3\omega$  .... Nu maa det imidlertid erindres, at naar en Elektronbane ikke er en Cirkel, men en Ellipse — hvad man som nævnt maa antage i Almindelighed er Tilfældet med de stationære Baner — saa skal Elektronen efter den klassiske Elektrodynamik foruden — saa skal Elektronen efter den klassiske Elektrodynamik foruden „Grundtonen“ med Svingningstal  $\nu_1 = \omega$  tillige udsende „Overtoner“ med Svingningstal  $\nu_2 = 2\omega$ ,  $\nu_3 = 3\omega$  o. s. v. Ogsaa her kan vi saaledes se den ydre Lighed mellem Straalingen efter Bohrs Teori og efter den klassiske Elektrodynamik. Vi kan sige, at den Straaling med Svingningstal  $\nu_1$ , der fremkommer ved Enkeltspring „korresponderer“ med den klassiske Elektrodynamiks Grundtone, medens den til  $\nu_2$  svarende Straaling, der opstaar ved Dobbeltspring, korresponderer med den første Overtone o. s. v.

Ligheden er imidlertid kun af ydre Art, da Straalingsprocesserne efter Bohrs Teori er af ganske anden Natur, end man skulde vente efter Elektrodynamikkens Love. For at gøre det klart, hvor dybtgaaende Forskellen er, selv hvor Ligheden synes størst, vil vi tænke os, at vi har en Brintmasse med en uhyre Mængde Atomer i Baner, der har en Række forskellige Numre, men alle saa høje, at Omløbstallene praktisk talt kan sættes lig en og samme Størrelse  $\omega$ . Nu kan der her foregaa Overgange mellem Baner med Forskellene 1, 2, 3 ... i Nummeret, og som Resultat af disse forskellige Overgange vil vi i den udsendte Straaling ved Spektralundersøgelser finde Svingningstal, der praktisk talt er lig  $\omega$ ,  $2\omega$ ,  $3\omega$  osv. Efter Elektrodynamikkens Straalingsteori skulde man ogsaa faa disse Svingningstal og de dertil svarende Spektrallinier; men de maatte antages at fremkomme ved, at *hvert enkelt* af de straalende Atomer samtidig udsendte en Grund-



tone og en Række Overtoner; efter Bohrs Teori giver derimod hvert enkelt straalende Atom til et vist Tidspunkt kun en bestemt Linie, svarende til et bestemt Svingningstal (monokromatisk Straaling).

Vi kan nu ogsaa erkende, at Bohrs Teori fører os ned i ukendte Dybder, at den peger mod dybtliggende Naturlove, om hvilke vi tidligere ikke havde nogen Anelse. Elektrodynamikkens Grundlove, som en Tid lang syntes at være selve den fysiske Verdens Grundlove, ud fra hvilke man kunde haabe at forklare baade Mekanikkens og Lysets Love og alt andet, afsløres ved Bohrs Teori i en vis Forstand som „Skinlove“; den tilsyneladende nøjagtige Beskrivelse af Virksomheden i Naturen, man fik ved Elektrodynamikkens Formler, var i Virkeligheden ganske overfladisk; den dækkede over Processer af en helt anden Art end dem, Formlerne antoges at give Udtryk for.

Man kunde da undre sig over, at man overhovedet har kunnet komme til de elektrodynamiske Love og kunnet opfatte dem som det fundamentaleste af alt. Men man maa herved holde sig for Øje, at Bohrs Teori for de store Bølgelængder, altsaa de grove, langsomme Svingninger, fører til ydre Overensstemmelse med Elektrodynamikken. Og man maa betænke, at de elektrodynamiske Love er opstillede paa Grundlag af grove elektriske og magnetiske Processer, hvorved uhyre Mængder af Elektroner førtes i en vis Retning i elektriske Strømledninger eller svingede frem og tilbage i en Svingningstakt, der var yderst langsom i Forhold til Lyssvingningerne, og derved udsendte meget grove elektromagnetiske Bølger. Desuden havde de fundne Love, selv om de kunde gøre Rede for mange Forhold ved Lyset, som vi har set, tidlig vist deres Afmagt til at forklare et Spektrums Beskaffenhed og mange andre Forhold, der stod i Forbindelse med Stoffets fineste Struktur. Og jo dybere man trængte ind i denne, des større blev Vanskelighederne, des stærkere Tegnene paa, at man ikke kunde naa til Bunds ad de kendte Veje.

Vil man nu spørge, om Bohr da er naaet til at opstille nye fundamentale Love, som kan udtrykkes i Formler, der kan erstatte Elektrodynamikkens og bruges til Udledning af alt, hvad der sker i Atomerne og dermed ogsaa i det store, saa maa dette Spørgsmaal besvares med Nej. Elektronens Bevægelse i en vis stationær Tilstand lader sig beregne efter Mekanikkens Love; men vi ved hverken, hvorfor visse Baner er saaledes foretrukne, hvorfor Elektronen vil gaa over fra ydre Baner til indre, hvorfor den herved snart gaar fra en stationær Bane til den følgende, snart springer een eller flere over, hvorfor den fra den inderste Bane ikke kan komme nærmere til Atomet, eller hvorfor den under disse Overgange udsender Straaling med en efter de angivne Regler beregnet Svingningstid.

Nu maa man herved ikke glemme, at vi altid i Videnskaben maa vise Resignation overfor Spørgsmaalet: Hvorfor? Vi kan her aldrig



komme til Bunds. Hvorfor de mindste Stofdele — de elementæreste „fysiske Individuer“ — vi standser ved, (altsaa foreløbig Brintkerner og Elektroner) er til, hvorfor Grundlovene for deres indbyrdes Forhold — de elementæreste Relationer mellem dem — er af den eller den bestemte Beskaffenhed, det kan der ifølge Sagens Natur ikke gives noget Svar paa; thi dette maatte nødvendigvis henvise til noget endnu mere elementært. Videre end til en fuldstændig *Beskrivelse* af „Grunddelenes“ relative Stillinger og Bevægelser og af den derved bestemte Tilstand i Rummet mellem dem ud fra visse Grundlove er det overhovedet umuligt at naa.

Men betragter vi vor Viden om Atomprocesserne i Lys af dette Ideal, fristes vi snarest til at betegne den som bundløs Uvidenhed. Vi er saa langt som vel tænkeligt fra at kunne give en saadan Beskrivelse af Atommekanismen, at vi f. Eks. kan følge Elektronen fra Sted til Sted under dens hele Bevægelse, eller at de stationære Tilstande i Stedet for at staa som isolerede „Gaver fra oven“ indgaar som Led i den hele Sammenhæng. Under Overgangen fra en stationær Tilstand til en anden har vi intetsomhelst Kendskab til Elektrons Tilværelse, ja, i Grunden ved vi end ikke, om den er til i denne Tid, eller om den maaske opløser sig i Æteren for at gendannes i den nye stationære Tilstand. Men selv om vi vil se bort fra saadanne paradoksale Antagelser, maa det erkendes, at vi hverken ved, hvad Vej Elektronen følger mellem de to stationære Baner, eller hvor lang Tid Overgangen tager. Man betegner ofte — som det ogsaa er gjort i det foregaaende — Overgangen som et „Spring“, og mange er tilbøjelige til at tænke sig, at Elektronen under sin hele Rejse fra en fjern ydre Bane til den allerinderste opholder sig den meste Tid i de stationære Baner, medens hver Overgang kun tager en forsvindende ringe Tid; men dette følger i og for sig ikke af Teorien, og det ligger heller ikke i Udtrykket „de stationære Tilstande“. De kan betegnes som en Slags Stationer; men om Elektronen dvæler længe her, eller om det blot er Steder, hvor der saa at sige skiftes Heste, d. v. s. foregaar en saadan Forandring i Rejsemaaden, at Straalingens Svingningstal forandres, det er et Spørgsmaal for sig, og vi kan ikke her gaa ind paa de Betragtninger, der kan anstilles om denne Sag.

Lad os for at faa Øje for nogle af de Vanskeligheder, man vil møde ved Forsøg paa at danne sig bestemte Forestillinger om Processernes Natur, atter betragte den før omtalte Analogi mellem Bohrs Brintatom og et Musikinstrument af særlig Art, hvor Tonerne frembringes ved en Kugles Fald mellem Skiver i forskellig Højde (S. 80). Det vilde her ligge nærmest at tænke sig Tonen fremkaldt ved Kuglens Slag mod den ramte Skive, som saa skulde give des højere Tone, jo stærkere Slaget var — svarende til at Tonhøjden bestemtes af den ved Faldet frigjorte Energi. En Forestilling af denne Art vilde vi dog



slet ikke kunne overføre paa Atommodellen; her er en stationær Bane ikke noget materielt, Elektronen kan slaa imod, og det vilde være urimeligt at tænke sig, at Straalingen først blev udsendt i det Øjeblik, da Overgangen var endt, og Elektronen ankom til sin nye stationære Bane. Man maa tvertimod antage, at Udstraalingen foregaar under hele Overgangen, hvad enten denne nu tager kortere eller længere Tid. Hvis det nu var saaledes, at Overgangen altid kun fandt Sted fra en stationær Bane til den nærmest følgende, saa var der endda Mulighed for at bruge Musikinstrumentet til Anskueliggørelse af Sagen. Lad os betegne Skiverne nedenfra opad med Numrene 1, 2, 3... svarende til de stationære Baner 1, 2, 3... og foreløbig betragte et Fald f. Eks. fra Skive 6 til Skive 5. Vi kunde nu tænke os, at Faldrummet mellem disse to Skiver paa en eller anden Maade var stemt for en vis Tone, f. Eks. derved at der mellem Skiverne var anbragt en Række Papirblade i saadanne Mellemrum, at Kuglerne under Faldet traf deres Rande med nøjagtigt samme Tidsmellemrum, lad os f. Eks. sige  $\frac{1}{100}$  Sekund; ved den herved opstaaede periodiske Luftforstyrrelse vilde der da fremkomme en Tone med Svingningstal 100 i Sekundet. Dersom Højdeforskellen mellem Skiverne 5 og 4 var den dobbelte af den mellem 6 og 5, saa skulde Kuglen ved Faldet 5—4 miste dobbelt saa megen Energi som ved Faldet 6—5 og derfor give en Tone med det dobbelte Svingningstal; Papirbladene mellem 5—4 maatte da være anbragt dobbelt saa tæt som mellem 6—5 (i alt Fald paa den første Del af Faldvejen); og saaledes skulde hver Faldstrækning mellem to Skiver have sin særlige Inddeling eller „Stemning“. I Analogi hermed kunde man tænke sig Rummet om en Brintkerne i en ejendommelig Tilstand, saaledes at det ved de stationære Baner var delt i Partier med forskellig „Stemning“. Men selv bortset fra det besynderlige i saadanne Forestillinger og de særlige Vanskeligheder, der vilde voldes af de senere omtalte mere indviklede Forhold, vil allerede den Omstændighed, at Elektronen ved Overgangen fra en stationær Bane til en anden kan springe en eller flere Banenumre over, umuliggøre en saadan Forestilling. Dersom Kuglen i Musikinstrumentet f. Eks. faldt fra Skive 6 til Skive 4, skulde den jo under hele Faldet give en højere Tone end ved Faldet 6—5; men dette kunde ikke ske, naar Faldrummet 6—5, som den maatte passere paa Vejen, var stemt for en dybere, og den samme Betragtning kan vi overføre paa Brintatomet. Naturligvis kunde man gaa endnu videre i sine Forsøg paa at anskueliggøre Sagen, idet man f. Eks. tænkte sig bestemte Render med forskellig „Stemning“ mellem de forskellige Skiver; men Forholdene bliver derved mere og mere indviklede i Stedet for mere simple.

Det er i det hele taget yderst vanskeligt at forstaa, at et Brintatom, hvor Elektronen foretager Overgang fra Bane 6 til Bane 4, under



hele Overgangen kan udsende en Straaling med andet Svingningstal end et, hvor Elektronen gaar over fra Bane 6 til Bane 5. Skønt det synes som om de to Elektroner i den første Tid under Overgangen befinder sig under ganske ens Forhold, udsender den, der skal naa til Bane 4, ikke des mindre fra først af en anden Slags Straaling end den, der skal naa til Bane 5. Elektronen synes altsaa fra først af at indrette sin Opførsel, efter hvad Bevægelsen skal ende med, altsaa efter en fremtidig Begivenhed. Men noget saadant plejer ellers at være et Privilegium for tænkende Væsener, der kan forudse visse Begivenheder. Fysikkens livløse Ting skulde gerne paa mere direkte Maade følge Aarsagsloven, d. v. s. lade deres Opførsel bestemme af den forudgaaende Tilstand og de samtidige Paavirkninger.

En Vanskelighed af lignende Art ligger allerede deri, at nogle Elektroner ud fra samme stationære Tilstand gør Enkeltspring, andre Dobbeltspring eller Tredobbeltspring. Man kan ofte ud fra visse Betragtninger opstille Love for Sandsynligheden for de forskellige „Spring“, saa at man for en stor Mængde Atomer kan udregne Forholdet mellem Antallet af Overgange af forskellig Art og dermed Forholdet mellem de tilsvarende Liniers Styrke (Intensitet). Men „Aarsagen“ til, at en bestemt Elektron i et vist Øjeblik „beslutter sig til“ at gøre Dobbeltspring, medens en vis anden „finder paa“ at gøre Enkeltspring eller slet ikke springer, kan man lige saa lidt angive, som man kan sige, hvorfor en bestemt Radiumkerne blandt Millioner netop eksploderer i et givet Øjeblik. (Smkn. S. 71).

Det skal hermed paa ingen Maade være sagt, at Aarsagsloven ikke gælder for Atomprocesserne; vi kan jo slet ikke se til Bunds i disse; men de Antydninger, her er givet, kan give et Begreb om, hvor vanskeligt det vil være at naa til en Forstaaelse — i sædvanlig Forstand — af disse Processer og følgelig i det hele taget af de fysiske Processer. Meget kunde tyde paa, at det overhovedet er umuligt at naa til en sammenhængende Beskrivelse i Rum og Tid ved Hjælp af Kerners og Elektroners Bevægelser og Ændringer i Æterens Tilstand og under Anvendelse af saadanne fysiske „Grundbegreber“ som Masse, elektrisk Ladning og Energi.

Selv om dette er Tilfældet, følger ikke heraf, at en sammenhængende Beskrivelse i Rum og Tid af de fysiske Processer er principielt umulig; men Haabet om at naa til en saadan Beskrivelse maa da knyttes til Forestillingen om „fysiske Individuer“ eller Stofdele af endnu lavere Størrelsesorden end de kendte mindste Dele — Elektroner og Brintkerner — og til Begreber af mere elementær Art end de nævnte, og vi er herved udenfor vor hidtidige Erfaringskreds.

Man kunde nu let af alt dette faa det Indtryk, at Bohrs Atomteori, samtidig med at den aabner os Indblik i Dybder, som vi før næppe har anet, fører os ud i et Mørke, hvor det er umuligt at finde Vej.



Dette er dog saare langt fra at være Tilfældet. Tvertimod har den kastet nyt Lys over en Vrimmel af forskelligartede fysiske Forhold, saaledes at de fremtræder i en Sammenhæng, man tidligere slet ikke havde kunnet faa Øje paa, og at dette Lys ikke er en skuffende Lygte-mand, fremgaar deraf, at Teorien, som den efterhaanden er udviklet af Bohr selv og talrige andre Forskere, har muliggjort det at forud-sige og gøre Rede for en Mængde Fænomener med overordentlig stor Nøjagtighed og i fuldstændig Overensstemmelse med, hvad Iagttagelserne lærer.

De faste Holdepunkter herved er dels de stationære Tilstande, hvor den sædvanlige Mekanik kan anvendes (omend med visse Begrænsninger), dels „Kvantereglen“ for Overgange mellem dem. Men for at komme ud over de første Begyndelser har man i mange Henseender maattet famle sig frem i Mørke, ledet dels af Iagttagelsesresultater, dels af forskellige ofte ret vilkaarlige Antagelser.

For Bohr selv har den vigtigste Ledestjerne været det saakaldte *Korrespondensprincip*, som er et Udtryk for den tidligere omtalte Tilknytning til den klassiske Elektrodynamik. Det er vanskeligt at forklare, hvori det bestaar, fordi det ikke lader sig udtrykke i nøjagtige kvantitative Love, og det er af samme Grund vanskeligt at anvende; men i Bohrs Hænder har det været overordentlig frugtbart paa de forskelligste Omraader, medens andre mere bestemte og lettere haandterlige Lederegler vel har givet store Resultater paa enkelte Omraader, men vist deres Begrænsning ved at svigte paa andre. Vi kan her kun antyde, hvad det drejer sig om.

Som nævnt (S. 86) fandt man ved den Grænse (tilstrækkelig lave Svingningstal), hvor Bohrs Teori og den klassiske Elektrodynamik i det ydre smeltede sammen, at en Række Svingningstal  $\nu_1, \nu_2, \nu_3$  for monokromatisk Straaling, udsendte af *forskellige* Atomer ved Enkelt-spring, Dobbelt-spring o. s. v. af Elektronen, var lig Svingningstallene  $\omega, 2\omega, 3\omega \dots$ , der efter Elektrodynamikkens Love for *hvert* af disse Atomer var indeholdt som henholdsvis Grundtone og første, anden .... Overtone i Elektronens Omløb. Naar man fjerner sig fra Grænsen, bliver de to Sæt Svingningstal ikke mere lige store, men saa længe man endnu er nogenlunde nær ved Grænsen, vil man dog af det foregaaende let forstaa, hvad der menes med, at f. Eks. Straalingen med 3-Springs Svingningstallet  $\nu_3$  korresponderer med den anden Overtone  $3\omega$  i en vis Elektrons Omløb. Denne Korrespondens er det, Bohr forfølger tilbage til de Omraader, hvor der er stor Forskel paa to paa hinanden følgende stationære Baner, og det ved Overgang mellem disse frembragte Svingningstal ogsaa er meget forskelligt fra Omløbstillene i de to Baner eller deres Overtoner.

For at forstaa, hvorledes denne tilsyneladende saa ubestemte „Korrespondens“ lader sig bruge til at drage vigtige Slutninger, vil vi gøre



et Tankeeksperiment. Lad os antage, at den mekaniske Teori for Elektronomløbet hos Brintatomet havde givet det Resultat, at Elektronernes Baner altid maatte være Cirkler. Efter Elektrodynamikkens Love vilde Elektronbevægelsen da aldrig give nogen Overtone, og efter Korrespondensprincippet kunde der da ikke blandt de fra Brint udsendte Svingninger optræde saadanne, som korresponderede med Overtoner, d. v. s. der vilde slet ikke forekomme Dobbeltsspring, Tredobbeltsspring o. s. v., men kun Overgange mellem paa hinanden følgende stationære Baner. Spektralundersøgelser viser imidlertid, at der ligesaa vel kan forekomme flerdobbelte Spring som Enkeltsspring, og dette kan da anses som Bevis for, at Banerne i Brintatomet i Almindelighed ikke er Cirkler. — Lad os dernæst antage, at man i Stedet var kommet til det Resultat, at Elektronernes Baner altid var Ellipser af en vis ganske bestemt „Aflanghed“ eller „Ekscentricitet“, der svarede til visse bestemte Styrkeforhold mellem Overtoner og Grundtone, f. Eks. at første Overtones Intensitet altid var Halvdelen, andens altid Trediedelen o. s. v. af Grundtonen, saa skulde den virkelig udsendte Straaling efter Korrespondensprincippet være saaledes, at Intensiteterne af de til Dobbelt- og Tredobbeltsspring svarende Spektrallinier vilde være henholdsvis  $\frac{1}{2}$  og  $\frac{1}{3}$  af deres, som svarede til Enkeltsspring. Dette er saaledes at forstaa, at blandt en stor Mængde Atomer med Elektronen i en vis stationær Tilstand, vilde Forholdet mellem Antallene af dem, der gjorde Enkeltsspring, Dobbeltsspring og Tredobbeltsspring gennemsnitlig være henholdsvis som 1 til  $\frac{1}{2}$  til  $\frac{1}{3}$ , hvorved der da ved et tilstrækkeligt stort Antal Atomer vilde fremkomme den nævnte Intensitetsfordeling i Spektret; (smlgn. S. 86).

Gennem de opstillede Tankeeksperimentet kan man faa et Begreb om, at Korrespondensprincippet i visse Tilfælde kan fortælle noget, baade om hvilke Spektrallinier man slet ikke kan vente, skønt de vilde dannes ved en vis Overgang, og om Intensitetsfordelingen af dem, der virkelig optræder. Men de valgte Tankeeksperimentet har forøvrigt ikke meget at gøre med de virkelige Forhold, og der kan tilmed indvendes meget imod den grove Maade, hvorpaa de er behandlet. Korrespondensprincippet har sit særlige Virkefelt overfor mere udviklede Elektronbevægelser end dem, der forekommer i det uforstyrrede Brintatom — Bevægelser, der ikke som den simple Ellipsebevægelse repræsenterer en Række harmoniske Svingninger ( $\omega$ ,  $2\omega$ ,  $3\omega$ ....), men kan betragtes som sammensatte af Svingninger, hvis Svingningstal har andre Forhold. Korrespondensprincippet har i saadanne Tilfælde givet Anledning til vigtige Opdagelser og Forudsigelser, der stemmede fuldstændig med Iagttagelserne.

Vi har dvælet saa længe ved det vanskelig forstaaelige Korrespondensprincip, fordi det er en af Bohrs „Kongstanker“. Den har be-



virket, at han i det store og hele har bevaret Ledelsen i Teoriens Udvikling, skønt andre betydelige Forskere en Tid er løbet ham forbi i dens Udformning paa et eller andet Omraade. Men vi vil nu fra disse lange almindelige Betragtninger gaa over til mere specielle Sider af Sagen og foreløbig betragte en af de første store Triumfer, hvorved Teorien viste sin Evne til at lede paa ret Vej, hvor man før var paa Vildspor.

*Det falske Brintspektrum.* Den amerikanske Astronom *Pickering* havde i 1897 i Spektret for en Stjerne foruden de sædvanlige Linier af Balmer-Serien fundet en Række Linier, der hver laa omtrent midt imellem to Linier af Balmer-Seriens, og hvis Svingningstal kunde fremstilles ved en Formel, der meget lignede Balmers; blot skulde man i Stedet for at sætte  $n = 3, 4, 5$  o. s. v. i Formlen S. 46 sætte  $n = 3\frac{1}{2}, 4\frac{1}{2}, 5\frac{1}{2}$  o. s. v. Senere viste det sig, at der i mange Stjerner ogsaa var iagttaget en Linie svarende til  $n'' = \frac{3}{2}$  og  $n' = 2$  i den almindelige Balmer-Ritz-Formel. Man ansaa det for givet, at disse Linier skyldtes Brint, og at dette Stofs Spektralformel egentlig skulde skrives

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

hvor  $n''$  og  $n'$  da kan antage hele Værdier; thi man kunde ikke tænke sig, at forskellige Grundstoffers Spektralformler kunde ligne hinanden saa meget. Denne Opfattelse bestyrkedes yderligere, da *Fowler* i 1912 iagttog de *Pickeringske* Linier i Lys fra et Udladningsrør, der indeholdt en Blanding af Brint og Helium. Man kunde ganske vist ikke forstaa, hvorfor de nye Linier i Almindelighed ikke optraadte i Brintspektret.

Efter Bohrs Teori for Brintspektret kunde man imidlertid umuligt — hvis man ikke vilde opgive den S. 85 omtalte Overensstemmelse med Elektrodynamikken ved høje Banenumre — tilskrive Brintatomerne Udsendelsen af Linier, svarende til en Formel, hvor de hele Tal saaledes var halverede. Den ovenfor angivne Formel kunde imidlertid ogsaa skrives saaledes:

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

Hvis de tidligere Regninger havde været udført i lidt større Almindelighed, idet man i Stedet for at sætte Kernens Ladning lig 1 elektrisk Elementarkvantum  $e$ , som den er hos Brint, havde sat den lig  $Ne$ , hvor  $N$  er et helt Tal, vilde man imidlertid have faaet, at Svingningstallet skulde være bestemt ved

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



Denne Formel falder aabenbart sammen med den foregaaende, naar  $N$  er lig 2. Nu ved vi jo, at Helium har Atomnummeret og følgelig Kerneladningen 2 (S. 64); et normalt, neutralt Heliumatom har ganske vist ogsaa 2 Elektroner og er derfor meget forskelligt fra et Brintatom; men dersom et Heliumatom har mistet 1 Elektron og derved er blevet til en positiv Ion med 1 Ladning, er det ligesom Brintatomet et System med kun en enkelt Elektron kredsende om Kernen, og det skiller sig derfor i sine „ydre“ Egenskaber blot fra Brintatomet ved at have dobbelt saa stor Kerneladning, d. v. s. dets Spektralformel skal netop være angivet ovenfor med  $N=2$ , altsaa  $N^2=4$ . Formlen for de ejendommelige „Brintlinier“ vilde følgelig netop passe for et Heliumatom, der havde mistet en Elektron. Dette indsaa Bohr straks, og han hævdede derfor, at de paagældende Linier slet ikke skyldtes Brint, men derimod Helium.

Bohr havde først alle Autoriteter paa Spektroskopiens Omraade imod sig; men de flestes Tvivl fortog sig, da *Evans* paaviste, at Linierne kunde frembringes i et Udladningsrør, hvor der ikke var Spor af Brint, men kun Helium.

I et Brev til det engelske Tidsskrift „Nature“ i September 1913 gjorde Fowler imidlertid den Indvending mod Bohrs Teori, at de omstridte Liniers Formel dog ikke svarede nøjagtigt til Formlen med 4  $K$ , men at der var en lille Uoverensstemmelse. Bohrs Svar kom omgaaende. Han gjorde opmærksom paa, at han ved sine Beregninger — fordi han foreløbig blot havde tilstræbt en første Tilnærmelse — havde regnet Elektronens Masse for forsvindende i Sammenligning med Kernens, saa at man kunde tænke sig denne nøjagtigt i Brændpunktet af den af Elektronen beskrevne Ellipse. I Virkeligheden maatte man antage, at Kerne og Elektron bevægede sig om deres fælles Tyngdepunkt, ligesom man ved Bevægelsen i Solsystemet maa antage, at ikke Solens Centrum, men hele Systemets Tyngdepunkt ligger fast. Denne „Medbevægelse af Kernen“ fører til, at der i Udtrykket for Konstanten  $K$  skulde indføres en Faktor af Formen  $\frac{M}{M+m}$ , hvor  $M$  betyder Kernens Masse,  $m$  Elektronens, der ved Brint er  $\frac{1}{1835}$  af Kernens. Ved Helium er  $M$  4 Gange saa stor som ved Brint, saa at det nævnte Forhold her faar en lidt anden Værdi. Forskellen er 0,04 %, og dette stemmer netop med den iagttagne Afvigelse.

Den Indvending, Fowler rejste mod Teorien, blev saaledes af Bohr vendt om til et smukt og kraftigt Argument for den.

*Flere Kvantetal.* De første Aar efter 1913 var Bohr saa godt som ene om at udarbejde sin den Gang endnu omstridte Teori og at vise dens Anvendelighed paa mange Problemer. I 1916 begyndte imidlertid Teoretikerne i Udlandet med den bekendte Münchener Profes-



sor *Sommerfeld* i Spidsen at give sig i Lag med den Bohrske Teori, og deres Undersøgelser gav Anledning til flere væsentlige Fremskridt. Her skal omtales et af de vigtigste af disse.

I den i det foregaaende fremsatte Teori for Brintspektret var det antaget, at vi kun havde at gøre med en enkelt Række af stationære Baner, karakteriserede ved hver sit Nummer eller *Kvantetal*, som man i Almindelighed kalder det. Men ifølge de nævnte Forskeres Resultater skulde hver af de stationære Baner i Almindelighed ikke være kendetegnede ved et enkelt, men ved flere Kvantetal.

Dette hænger sammen med, at Elektronens Bevægelse ikke er saa

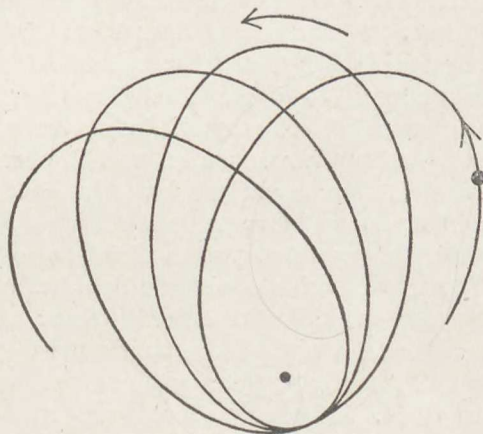


Fig. 24. En sammensat Elektronbevægelse fremkommet ved, at en Ellipsebane roterer ret hurtigt.

enkel som hidtil antaget. Vi er gaaet ud fra, at Elektronen bevæger sig om Kernen, ligesom en Planet bevæger sig om Solen efter Keplers Love i en Ellipse med Solen i det ene Brændpunkt, idet Elektronen paavirkes af en Tiltrækning omvendt proportional med Afstandens Kvadrat, ligesom Planeten, der tiltrækkes af Solen efter Newtons Lov. Nu maa man imidlertid erindre, at det drejer sig om en elektrisk Tiltrækning, som — foruden ved Afstanden — er bestemt ikke ved Massen, men ved de elektriske Ladninger. Dersom disse forbliver uforandrede, medens Elektronens Masse forandrer sig, vil Bevægelsen derved ændres, fordi samme Kraft har mindre Virkning paa en større Masse. Efter Einsteins Relativitetsprincip vil Elektronens Masse nu ikke være konstant, men virkelig i nogen Grad afhænge af dens Hastighed, som vil forandre sig fra Sted til Sted, naar Banen er en Ellipse. Som Følge deraf bliver Bevægelsen en „Centralbevægelse“ af mere almen Art end en „Keplerellipse“. Idet den omtalte Indflydelse af Massens Ændringer er meget lille, kan man dog stadig betragte Banen som en fast Keplerellipse; men dennes Storakse vil ganske langsomt dreje sig rundt i Baneplanen. I Virkeligheden vil Banen da ikke være lukket, men have den Karakter, som er vist i



Fig. 24; denne svarer dog til en mange Gange hurtigere Drejning af Storaksen end den, der finder Sted ved Brintatomet.

Dersom Elektronen bevægede sig i en fast Keplerellipse, vilde Atomets Energiindhold som nævnt alene være bestemt ved Ellipsens Storakse. Er denne for de stationære Tilstande med Nummer eller Kvantetal 1, 2, 3 .... henholdsvis  $2a_1$ ,  $2a_2$ ,  $2a_3$  ...., vilde Svingningstallet ved Overgang f. Eks. fra Nr. 3 til Nr. 2 følgelig — da det jo er bestemt ved Energitabet — blive det samme, hvad enten Banerne var Cirkler eller langstrakte Ellipser. Bevæger Elektronen sig derimod i en Ellipse, der selv roterer, vil Energiindholdet som en matematisk Beregning lærer derimod afhænge ikke alene af Ellipsens Storakse, men ogsaa af dens Ekscentricitet eller med andre Ord ogsaa af dens Lilleakse (d. v. s. mindste Diameter). Vi vilde derfor ved Overgangen 3—2 faa forskelligt Energitab og følgelig forskelligt Svingningstal, eftersom Ellipsen var mere eller mindre langstrakt. Hvis det nu var saaledes, at Ellipsernes Ekscentricitet for et vist Kvantetal kunde variere jævnt fra det ene Atom til det andet, vilde man ogsaa ved Overgang mellem to Numre faa Svingningstal, der varierede jævnt, d. v. s. en Brintmasse med dens store Mængder af Atomere vilde give udviskede Spektrallinier.

Dette er imidlertid ikke Tilfældet; men allerede længe før Fremkomsten af Bohrs Teori havde man opdaget, at Brintlinierne, som vi hidtil har betragtet som enkelte, besidder hvad man kalder „Finstruktur“. Ved særlig stærkt opløsende Spektralapparater kunde de adskilles i to meget tæt liggende Linier. Denne Finstruktur lod sig nu forklare derved, at for en stationær Tilstand med Kvantetal f. Eks. 3 og Banens Storakse lig  $2a_3$ , havde Banens Ekscentricitet hverken en enkelt bestemt Værdi eller alle mulige Værdier, men derimod flere forskellige af ganske bestemte Størrelser, hvortil da vilde svare lidt forskellige Værdier af Atomets Energiindhold. Man kunde da betegne den Række af stationære Baner, der havde Storaksen  $2a_3$  med „Hovedkvantetallet“ 3, ved vedføjede mindre Tal, som angav Numrene eller „Bikvantetallene“ for stationære Baner, svarende til de forskellige Ekscentriciteter, altsaa  $3_1$ ,  $3_2$ ,  $3_3$ . I Stedet for en enkelt Linie svarende til Overgangen 3—2 vilde man da faa flere Linier svarende til Overgange mellem f. Eks.  $3_3$ — $2_1$ ,  $3_2$ — $2_2$  o. s. v. Gennem teoretiske Betragtninger, til hvis Forstaaelse der kræves betydelige matematiske Forudsætninger, men som var af væsentlig samme formelle Natur som dem, Bohr oprindeligt havde anvendt til Bestemmelse af de stationære Baner (S. 84), førtes Sommerfeldt til „Heltalsregler“, hvorved man kunde bestemme stationære Baner svarende til et saadant dobbelt Sæt af Kvantetal, og de Resultater han kom til, viste sig at stemme med Iagttagelserne.

Sommerfeldts Metoder har vist sig meget frugtbare ogsaa anvendt



paa andre Stoffers Spektre. De er dog af ret formel og vilkaarlig Art, og det har derfor sin store Betydning, at det senere er lykkedes *Ehrenfest* og *Bohr* at behandle Sagen ud fra dyberegaende Synspunkter, den sidste under Anvendelse af det før omtalte omfattende Korrespondensprincip. Det skal her blot antydningssvis nævnes, at han herved benytter sig af, at Elektronens Bevægelse er „sammensat periodisk“. Vi ser simplest dette, idet vi betænker, at Elektronens Omløbstal i Ellipsebanen repræsenterer een Periode, og Omløbstallet for Ellipsens Storakse repræsenterer en anden Periode.

Fig. 25 fremstiller et Antal af de mulige stationære Baner i Brint-

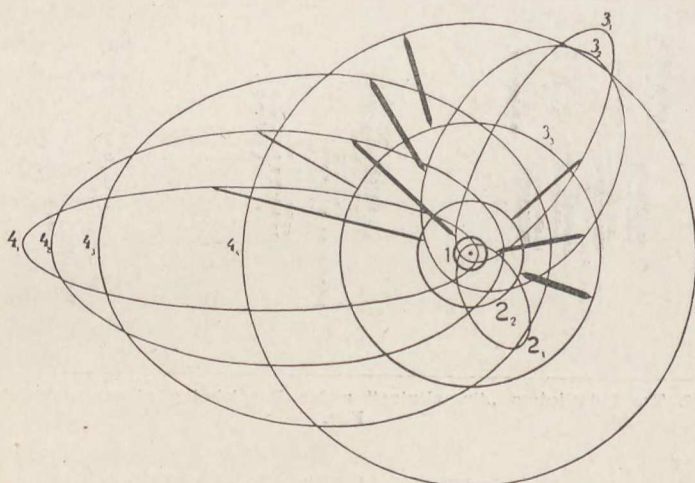


Fig. 25. Brintatommodel med stationære Baner svarende til Hoved- og Bikvantetal.

atomet efter Sommerfelds Teori, idet de dog for Simpelheds Skyld er tegnede som helt lukkede Ellipser. Betragter vi f. Eks. Banerne med Hovedkvantetal 4, saa har vi her tre mere eller mindre langstrakte Ellipser,  $4_1$ ,  $4_2$  og  $4_3$  og en Cirkel  $4_4$ ; i dem alle har Storaksen samme Længde, og Længden af Lilleaksen forholder sig til Længden af Storaksen som Bikvantetallet til Hovedkvantetallet (for Cirklen  $4:4=1$ ). I det hele taget svarer der til et Hovedkvantetal  $n$  Bikvantetallene  $1, 2, \dots, n$ , og den Bane, for hvilken Bikvantetallet er lig Hovedkvantetallet, er en Cirkel. Vi ser, at der i denne mere sammensatte Brintatommodel er Mulighed for et langt større Antal forskellige Overgange end i den simple Model Fig. 24 S. 80. Nogle af Overgangene er antydede ved tykke sorte Linier. Da Atomets Energiindhold er næsten ens for Baner med samme Hovedkvantetal og forskellige Bikvantetal, vil tre Overgange som  $3_3-2_2$ ,  $3_2-2_1$  og  $3_1-2_2$  give omtrent samme Svingningstal og derfor Spek-



trallinier, der ligger overordentlig tæt. Ved en Overgang som  $4_4-4_3$  vil det afgivne Energikvantum,  $h \cdot \nu$ , og derfor ogsaa  $\nu$  være yderst lille, saa at det vilde svare til en Linie saa langt ude i det ultrarøde, at der slet ikke kan være Tale om at finde den.

*Indflydelsen af magnetiske og elektriske Felter.*

Som tidligere omtalt (S. 57), vilde Spektrallinier opspaltes i 3 Komponenter, naar de lysudsendende Atomer blev udsat for magnetiske Kræfter, og den Overensstemmelse, man her fandt, mellem Iagttagelserne og Lorentz' Elektronteori, blev anset for et meget kraftigt

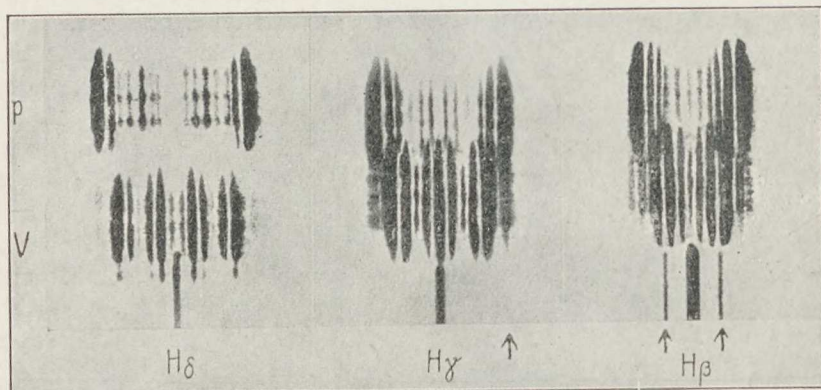


Fig. 26. Tre Brintliniers „Opsplntning“ under Paavirkning af et stærkt elektrisk Felt.

Vidnesbyrd om dennes Rigtighed. Efter Bohrs Teori maa det Billede, hvorpaa denne Forklaring hviler, helt opgives; men det har heldigvis vist sig, at Bohrs Teori fører til ganske de samme Resultater, og Bohr har tillige ved Hjælp af Korrespondensprincippet kunnet klarlægge den dybere Grund til denne Overensstemmelse.

At Brintlinier ogsaa opspaltedes af elektriske Kraftfelter blev vist i 1912 af Tyskeren Stark. Af Fig. 26 fremgaar det, at dette Fænomen er højst indviklet, og her kunde den klassiske Elektronteori ikke forklare, hvad der skete. Ogsaa for dette Fænomen har den udvidede Bohrske Teori (med flere Kvantetal) kunnet gøre Rede, og ogsaa her har Korrespondensprincippet vist sin Overlegenhed, idet man ved dette endog fik Mulighed for en tilnærmende Bestemmelse af Forholdet mellem Intensiteterne af de forskellige Linier. Ved en af H. A. Kramers udført Beregning har det vist sig, at Teorien gav saa god Overensstemmelse med Iagttagelserne, som det kunde ventes.

Først naar man betænker, hvor overordentlig fine de Maalingsresultater er, man kan faa gennem Spektralundersøgelser, kan man rigtig vurdere Betydningen af de i det foregaaende omtalte — saa vel



som talrige andre — Overensstemmelser mellem Teorien og Iagttagelser i Spektret. Tillige maa man holde sig for Øje, hvor fuldkommen hjælpeløs man tidligere stod overfor de besynderlige Gaader, som selv det simpleste af alle Spektre, Brintspektret, frembød.

## VI. FORSKELLIGE ANVENDELSER AF BOHRS ATOMTEORI

Vi har i det foregaaende dvælet saa længe ved Teorien for Brintspektret, fordi det særlig var ved dette forholdsvis simple Spektrum, at Bohrs Teori for Atomprocesserne allerede i sit første Stadium viste sin Frugtbarhed, og tillige fordi man lettest gennem Betragtning af Forholdene ved Brintatomet med dets ene Elektron kunde vinde et Indblik i den Bohrske Atomteoris Grundtanker og dens revolutionære Karakter. Bohrs Teori er dog naturligvis — som det i høj Grad fremgik allerede af hans første Afhandling — hverken begrænset til Brintatomet eller til Spektralfænomenerne; dens Omraade spænder langt videre; som allerede tidligere antydet, er det dens Opgave at gøre Rede for alle Stoffers samtlige fysiske og kemiske Egenskaber med Undtagelse af dem, der S. 66 er betegnet som Kerneegenskaber. Denne omfattende Opgave kan naturligvis selv i sine Hovedtræk kun løses gradvis og ved mange Forskeres Samvirken, og det vilde være ganske umuligt at gaa nærmere ind paa det store Arbejde, som allerede er udført, og de Vanskeligheder, Bohr og andre efterhaanden har faaet Bugt med. Hvor store Vanskeligheder der er at kæmpe med, derom kan man faa et Begreb, af hvad der i Slutningen af forrige Afsnit er fortalt om de yderst sammensatte Forhold, der optræder allerede ved Brintspektret, naar man betragter de finere Enkeltheder. Vi maa nøjes med at fremdrage særlig betydningsfulde eller oplysende Træk.

*Forskellige Emissions- eller Udstraalingsspektre.* Medens det neutrale Brintatom bestaar blot af en positiv Kerne og en enkelt kredsende Elektron, har de andre Grundstoffer jo i neutral Tilstand fra 2 op til 92 Elektroner i det om Kernen kredsende Elektronsystem. Allerede 2 Elektroner, som i Heliumatomet, vil gøre Forholdene langt mere sammensatte, idet vi her har et System af 3 Legemer, som indbyrdes tiltrækker eller frastøder hinanden; vi staar overfor det, der i Astronomien betegnes som Trelegemerproblemet, og som af alle Matematikere nævnes med Ærefrygt paa Grund af dets Vanskelighed. I Astronomien indskrænkes Vanskelighederne dog overmaade stærkt, naar det ene Legemes Masse er mange Gange større end de andres, som det er Tilfældet med Solens Masse i Forhold til Pla-



neternes; da har man forholdsvis simple Metoder til at beregne Bevægelserne med stor Tilnærmelse, selv naar der ikke er to, men mange Planeter.

Man kunde nu fristes til at tro, at vi ved Atomerne havde at gøre med saadanne forholdsvis simple Systemer — Solsystemer i det smaa — da Kernens Masse jo er mange Gange større end Elektronens. Men selv om den antydede Sammenligning kan tjene til at illustrere Kernens Stilling som Systemets „Centrallegeme“, der ved sin Tiltrækning holder Elektronerne sammen, er Sammenligningen i andre Henseender vildledende. Medens Planetbanerne i Solsystemet kan have en hvilken-somhelst Afstand fra Solen, og Planetbevægelsen overalt er behersket af Mekanikkens Love, skulde Atomprocesserne jo efter Bohrs Teori være karakteriserede ved visse stationære Baner, og kun i disse kan der være Tale om at anvende Mekanikkens Love. Men desuden er de Kræfter mellem Kerne og Elektroner, vi her skal regne med, slet ikke bestemt ved deres Masser, men derimod ved deres elektriske Ladninger. I Heliumatomet er Kernens Ladning kun det dobbelte af en Elektrons, og Kernens Tiltrækning paa en Elektron vil derfor kun være dobbelt saa stor som Frastødningen mellem to Elektroner i samme Afstand; denne Frastødning vilde altsaa under disse Forhold i høj Grad være medbestemmende for Bevægelsen. Ved Grundstoffer med højere Atomnummer har Kerneladningen ganske vist større Overvægt over Elektronladningerne; men til Gengæld er her flere Elektroner. Forholdene bliver i hvert Fald ganske anderledes indviklede end ved Brintatomet.

Ikke des mindre viser dog de almindeligt forekommende Linienspektre, hvor Linierne ligesom i Brintspektret er ordnede i Serier, om end paa mere sammensat Maade, at der i alt Fald i visse Tilfælde er stor Lighed mellem Udstraalingen fra Brintatomet og fra de mere sammensatte Atom.

For det første kan man ved andre Stoffers Linienspektre ligesom ved Brintens udtrykke Svingningstallet  $\nu$  som en Differens mellem to Led, hvori der indgaar visse hele Tal, der kan gennemløbe en Række Værdier, og gennem de herved fremkomne Kombinationer af Leddene to og to, udlede de til de forskellige Spektrallinier svarende Talværdier af  $\nu$ . Dette af Ritz opstillede saakaldte *Kombinationsprincip* kan aabenbart i fuld Almindelighed fortolkes paa Grundlag af Bohrs Postulater, idet de forskellige Kombinationer antages at svare til bestemte Atomprocesser, hvorved der sker en Overgang mellem to stationære Tilstande.

Desuden kan Leddene som nævnt S. 47 ofte med Tilnærmelse bringes paa den saakaldte Rydbergske Form

$$\frac{K}{(n + \alpha)^2}$$



hvor  $K$  har omtrent samme Værdi som ved Brinten, og  $\alpha$  kan gennemløbe en Række Værdier  $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_k$ . Idet vi saaledes faar de forskellige Linier bestemt ved i hvert Led at tillægge to hele Tal  $n$  og  $k$  hver sin bestemte Værdi, har vi i denne Henseende noget fælles med Forholdene ved Brintspektrrets Finstruktur, hvor Linierne bestemmes ved Hovedkvantetal og Bikvantetal. De Spektre, her er Tale om, og for hvilke Leddene har den ovenfor angivne Form, betegnes ofte som „Buespektre“, fordi de særlig dannes ved Lys fra den elektriske Lysbue eller fra Udladningsrør. Til den Lighed, der saaledes i Spektralliniernes Fordelingslov er til Stede mellem Brint og andre Stoffer, maa man vente, at der svarer en Lighed i Atomprocesserne.

Brintatomet udsendte jo Straaling svarende til de forskellige Spektrallinier, idet Elektronen fra en ydre stationær Bane i større eller mindre „Spring“ gik over til Baner med lavere Numre og tilsidst havnede i den inderste Bane i en Hviletilstand, hvor Atomets Energi var saa lille som muligt. I Lighed hermed maa man antage, at Elektroner i andre Atomer under Straalingsprocesser begiver sig ind mod Kernen, indtil de er samlet saa tæt som muligt om Kernen, svarende til Atomets Normaltilstand, hvor dets Energiindhold er saa ringe som muligt. Det Omraade, som i Normaltilstanden omfatter hele Elektronsystemet, maa antages at være af samme Størrelsesorden som de Atom- og Molekylstørrelser, som udledes af Luftarternes Bevægelsesteori. Man kunde ogsaa betegne Normaltilstanden som en Søvn tilstand, idet Atomet ikke kan udsende nogen Straaling, før det er blevet „vækket“ ved Tilførsel af Energi udefra. Denne Vækningsproces bestaar deri, at en Elektron (eller flere) paa en eller anden Maade rives ud af sin Hviletilstand og føres ud til en stationær Bane længere borte fra Kernen eller fjernes helt fra Atomet. Det er nu ikke alle Elektroner, som er lige lette at rive ud af Søvn. I et Atom med et Elektronsystem bestaaende af mange Elektroner maa man tænke sig, at i Normaltilstanden er nogles Baner nærmere, andres fjernere fra Kernen. De foran omtalte „Buespektre“ fremkommer nu netop derved, at en af de alleryderste „løsest bundne“ Elektroner slaas ud i en Bane endnu længere fra Kernen og derfra atter søger indad. Er Elektronen blevet slaaget helt bort, vil Resten af Atomet, som ved Tabet af den negative Elektron er blevet en positiv elektrisk Ion, let indfange en anden Elektron, som under Straaleudsendelse kan nærme sig til Kernen igen.

Lad os nu først antage, at den straalende Elektron bevæger sig i saa lang Afstand fra Kernen og de øvrige Elektroner, at hele dette indre System kan betragtes som et Punkt, saa er Forholdet ganske, som om vi havde med et Brintatom at gøre. Er Atomnummeret saa højt som f. Eks. 29 (Kobber), saa vil Kerneladningen være 29 posi-



tive Elementarkvanter; men da der er 28 Elektroner tilbage i det indre System, repræsenterer dette udadtil kun 1 positivt Elementarkvantum ligesom en Brintkerne. Den fjerne Elektron kan ikke mærke nogen Forskel, og de Spektrallinier, den udsender, ved Spring mellem Baner ude i det fjerne, vil praktisk talt være Brintlinier. Men da der ved Spring mellem disse fjerne Baner kun afgives meget smaa Energikvanter, bliver Svingningstallene meget smaa, Bølgelængderne meget store, d.v.s. de paagældende Linier ligger langt ude i det ultrarøde.

Naar Elektronen er kommet saa nær ind mod Kernen, at Afstandene i det indre System ikke kan anses for ringe i Forhold til den ydre Elektrons Afstand fra Kernen, stiller Sagen sig anderledes. Den Kraft, der virker paa den fra Kernen og de indre Elektroner tilsammen, vil da afvige kendeligt fra en med Afstandens Kvadrat omvendt proportional Tiltrækning fra en punktformet Ladning. Følgen heraf bliver, at Storaksen i Elektronens Ellipse roterer langsomt som beskrevet S. 95, og selv om Aarsagen er en anden, bliver Resultatet dog et lignende, nemlig at vi foruden et Hovedkvantetal  $n$  faar et Bikvantetal  $k$  og en dertil svarende Liniefordeling ved Overgange. Kommer Elektronen endnu nærmere, bliver dens Bevægelse endnu mere sammensat; naar Elektronen under sit Omløb er Kernen nærmest, vil den kunne naa helt ind imellem de indre Elektroner, og vi kan da faa saadanne Bevægelser som i Fig 27 er fremstillet for en af Natriums 11 Elektroner. Den indre punkterede Cirkel antyder Grænsen for det indre System, der dannes af Kernen og de 10 Elektroner, som hviler trygt i „Søvntilstanden“ — dog lidt forstyrrede af den urolige Nr. 11. Paa Figuren vil man kunne se større eller mindre Partier af Nr. 11's forskellige, stationære Baner med Hovedkvantetal 3 og 4. Vi skal ikke gøre nærmere Rede for de forskellige Baner og de ved Overgange mellem dem frembragte Spektrallinier; det skal blot nævnes, at den fremtrædende gule Natriumlinie, der svarer til den Fraunhoferske D-Linie (S. 41) fremkommer ved Overgangen  $3_2-3_1$ , altsaa mellem to Baner med samme Hovedkvantetal. Man vil af Tegningen i nogen Grad faa et Indtryk af, hvor fyldigt man allerede kan gøre Rede for mange Enkeltheder ved Atomprocesserne. Teorien kan endogsaa give en naturlig Forklaring af, at D-Linien er en Dobbeltlinie.

Vi har her holdt os til det Tilfælde, at kun en enkelt Elektron var revet ud fra Normaltilstanden. Det kunde imidlertid ogsaa ske, at to Elektroner blev revet bort fra Atomet, saa at dette blev til en positiv Ion med to Ladninger. Naar saa en indfanget Elektron fra det fjerne nærmede sig til denne dobbelt ladede Ion, vilde den langt borte ikke kunne mærke andet, end at det var en Heliumkerne, der jo har to positive Ladninger. Forholdet vilde med andre Ord være



som ved det S. 93 omtalte falske Brintspektrum, hvor Konstanten  $K$  i Brintens Spektralformel er erstattet med en anden, der er meget nær  $4K$ . Men hvis det ikke er et Heliumatom, men et Atom med højere Atomnummer, faar vi ogsaa her længere inde et mere indviklet Spektrum, svarende til at Leddene i Spektralformlen i Stedet for den simple Form  $4K:n^2$  faar den mere sammensatte Form

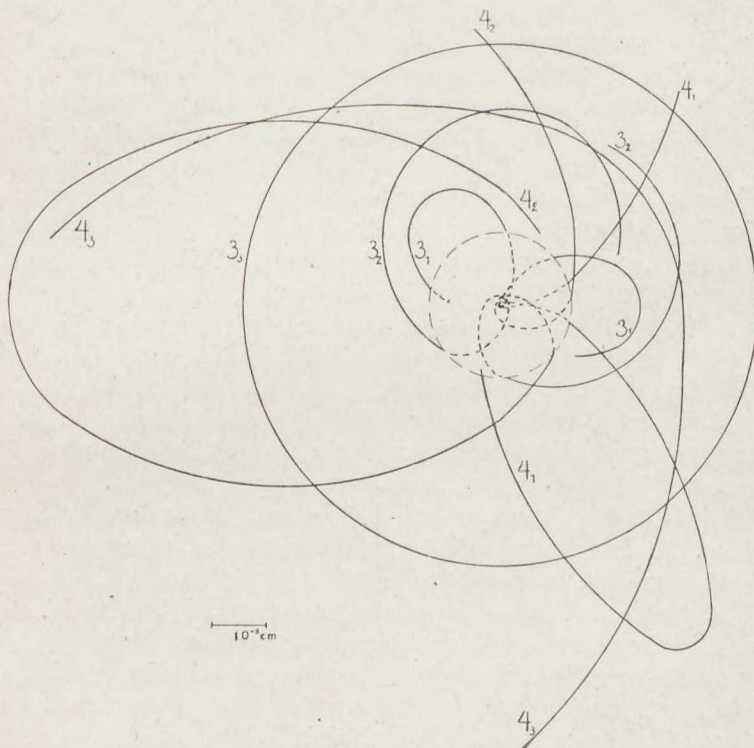


Fig. 27. Forskellige af de stationære Baner, som Natriums yderste (11.) Elektron kan beskrive.

$4K:(n+\alpha)^2$ . Spektre af denne Art betegnes ofte som *Gnistspektre*; de fremtræder vel ogsaa i Lys fra Udladningsrør, men særlig, naar der i Strømkredsen et Sted er indskudt en „Gnistbane“, som gør Udladningen i Røret stødvis.

Paa en meget kraftigere Maade kan et Atom med mange Elektroner vækkes op af sin Søvn ved, at en Elektron dybt inde i Atomet rives ud af det f. Eks. af en fremmed Elektron (en Katodestraalepartikel eller en  $\beta$ -Partikel fra Radium), der farer gennem Atomet. En saadan Overlast frembringer en alvorlig Forstyrrelse af Elektron-systemets gode Orden, og der foregaar nu en Rekonstruktion, hvorved en af de ydre løsere bundne Elektroner tager den indres Plads. Ved



de Overgange, hvorved dette finder Sted, afgives der forholdsvis meget store Energikvanter; den derved udsendte Straaling har derfor et meget højt Svingningstal, d. v. s. det er monokromatiske *Røntgenstraaler*, der udsendes paa denne Maade. Da disse saaledes har deres Udspring i Processer, der foregaar dybt inde i Atomet, kan man forstaa, at de forskellige Grundstoffer har forskellige karakteristiske Røntgenspektre, som kan give meget værdifulde Oplysninger om Elektronsystemets Bygning.

Mellem disse Røntgenspektre og de foran omtalte Seriespektre ligger som Forbindelsesled saadanne Spektre, som udsendes, naar man slaar Elektroner ud af en Gruppe i Atomet, som ikke hører til de inderste Grupper, men som heller ikke ligger alleryderst i det normale Atom. Om disse Spektre ved man eksperimentelt endnu meget lidt, fordi det her drejer sig om Spektrallinier, hvis Bølgelængde ligger mellem ca.  $1,5 \mu$  og  $100 \mu$ . Straaler med disse Bølgelængder absorberes uhyre let i alle mulige Stoffer; de virker ogsaa meget lidt paa fotografiske Plader, hvor de absorberes i Gelatinelaget, inden de faar Lejlighed til at paavirke de lysfølsomme Molekyler. Der kan dog næppe være Tvivl om, at i Løbet af faa Aar vil Eksperimenterkunsten være naaet saa vidt, at ogsaa dette for Atomteorien saa vigtige Spektralomraade bliver tilgængeligt for vore Forsøg. I enkelte Tilfælde er man allerede naaet ned til  $20 \mu$ .

Af en helt anden Karakter end de her omtalte Spektre er *Baandspektrene*. De fremkommer bl. a. ved elektriske Udladninger gennem Luft, som ikke er meget fortyndet (se S. 44), og de skyldes ikke rene Atomprocesser, men kan betegnes som „Molekylspektre; de faar nemlig deres særlige Karakter ved Bevægelser i Molekylet, ikke alene ved Elektronernes Bevægelse, men ogsaa ved Kerners Svingen mod og fra hinanden og Rotation om hinanden, eller rettere ved Ændringer i disse Bevægelser. Vi skal ikke her gaa ind paa disse Forhold; de omtales i det følgende lidt nærmere under Absorption af Straaling.

Medens Baandspektrene ved stærkt opløsende Spektroskoper mere eller mindre fuldstændigt lader sig opløse i Linier, er dette slet ikke Tilfældet med *de kontinuerte Spektre*. Disse udsendes ikke alene af glødende faste Legemer som tidligere omtalt (S. 44); ogsaa mange luftformede Stoffer udsender, naar de er udsat for elektriske Udladninger, foruden Linie- og Baandspektre, kontinuerte Spektre, som i visse Omraader af Spektret danner Baggrund for eventuelle Linier, der fremtræder stærkere lysende. Mange kunde maaske være tilbøjelige til at mene, at dette ikke kunde forliges med Bohrs Atomteori; men i Virkeligheden kræver den ikke, at et Spektrum altid skal bestaa af skarpe Linier. Dette kan bl. a. indses ved Korrespondensprincippet. Dersom Bevægelsen i de stationære Tilstande,



man har at gøre med, er af en saadan Beskaffenhed, at den kan tænkes opløst i to eller flere Bevægelser med hver sin bestemte Periode (f. Eks. en Elektrons Omløb i en roterende Ellipse; se S. 95), saa skal der efter Korrespondensprincippet ved Overgang mellem to saadanne stationære Tilstande fremkomme skarpe Spektrallinier, hvis Svingningstal „korresponderer med“ Bevægelsens Perioder; men det er paa ingen Maade alle Bevægelser, der saaledes kan opløses i et endeligt Antal bestemte Perioder, og hvis dette ikke er Tilfældet, saa kan Overgange mellem saadanne „aperiodiske“ stationære Tilstande ikke ventes at give Straaling, der kan opløses i skarpe Linier.

Et enkelt Eksempel, hvor det er mere umiddelbart forstaaeligt, at Bohrs Teori ikke vil føre til skarpe Linier, kan endog hentes fra meget simple Forhold ved Brintatomet. Lad os betragte de til Balmer-Serien hørende Linier, som jo fremkommer ved, at Elektronen gaar over til Bane Nr. 2 fra en Bane med højere Banenummer, alt-saa længere fra Kernen. Vi faar her som tidligere nævnt en øvre Grænse for Svingningstallet, svarende til, at den ydre Banes Nummer er „uendeligt“, hvilket i Virkeligheden vil sige, at Elektronen — i et „Spring“ — gaar ind fra en Afstand saa stor, at Kernens Tiltrækning her er forsvindende ringe. Den herved frigjorte Energi er den samme som den „Løsrivelsesenergi“  $A_2$ , der kræves til at bringe Elektronen fra Bane Nr. 2 „helt bort“ fra Kernen. Det er imidlertid herved forudsat, at Elektronen ude i det fjerne var i Hvile; dersom den indfangede Elektron forud har en vis Hastighed, vil den ogsaa have en dertil svarende Bevægelsesenergi  $A$ , og naar den nu i et Spring fra det fjerne gaar ind til Bane Nr. 2, vil den Energi, Elektronen mister, og som udsendes i Form af Straaling, være Summen af Løsrivelsesenergien  $A_2$  og Elektronens oprindelige Bevægelsesenergi  $A$ ; men Svingningstallet  $\nu$  vil da blive større end det, der svarer til  $A_2$ , og idet Elektronens Hastighed ikke er bundet til at have visse bestemte Værdier, er  $\nu$  det heller ikke. Straalingen fra en stor Mængde Brintatomer, som indfanger Elektroner paa denne Maade, vil derfor i Spektret ikke blive samlet i visse Linier, men fordelt over et Parti, som ligger udenfor den ved Balmers Formel udregnede Grænse i det ultraviolette, men dog i en vis Forstand hører med til Balmer-serien. I Spektret fra visse Stjerner har man virkelig iagttaget en kontinuert Strækning, der laa hinsides Grænsen for Balmer-serien og saa at sige fortsatte denne. — Ogsaa de Røntgenstråler, som almindeligt bruges i Lægekunsten, har jævnt varierende Svingningstal; de fremkommer nemlig derved, at enkelte af de Elektroner, som i et Røntgenrør rammer Antikatodens Atomer og med stor Fart gaar dybt ind i disse, mister Størstedelen af eller al deres Hastighed uden at slaa nogen indre Elektron ud. Den tabte Bevægelsesenergi bliver da til Straaling.



Disse Bemærkninger maa være tilstrækkelige til at gøre det forstaaeligt, at Straalingen f. Eks. fra et fast Legeme, hvor Atomernes og Molekylernes Sammenspil er af meget sammensat Natur, kan give et kontinuert Spektrum.

*Elektronstød.* Den S. 101 omtalte „Vækning“ af Atomer i Normaltilstanden, hvorved en af de yderste Elektroner rives fra Hviletilstanden ud til en ydre stationær Bane, kan frembringes af en fremmed Elektron, der rammer Atomet. En Undersøgelse af Sammenstød mellem Atomer og frie Elektroner er derfor af største Betydning for Opklaring af Forholdene ved Seriespektrenes Dannelse.

Saadanne Undersøgelser kan udføres, idet man giver frie Elektroner bestemte Hastigheder ved at lade dem passere gennem et elektrisk Felt, hvor man kender „Spændingsfaldet“ paa den af Elektronen gennemløbne Strækning. Har man f. Eks. to Metalplader, hvis elektriske Spændingsforskel eller „Potentialforskel“, udtrykt i den baade i Elektroteknik og Videnskab almindeligt brugte Enhed 1 Volt, er f. Eks. 100 Volt, og er deres Afstand 10 cm., saa vil Spændingsfaldet mellem dem være 10 Volt pr. cm. Naar en Elektron gennemløber en Strækning med Spændingsfald 1 Volt under Paavirkning af de elektriske Kræfter, vil den derved faa sin Bevægelsesenergi forøget med en ganske bestemt Størrelse; dersom dens Hastighed til at begynde med var Nul, vilde den ved det nævnte Spændingsfald blive 600 km. i Sekundet. For Kortheds Skyld kan vi bruge det Udtryk, at en Elektrons Bevægelsesenergi er f. Eks. „15 Volt“, idet vi dermed mener, at den har saa stor en Bevægelsesenergi, som et Spændingsfald af 15 Volt vilde give den.

I 1913 begyndte Tyskeren Franck en Række Forsøg ved nye Metoder, som gjorde det muligt nøjagtigt at regulere Elektroners Hastighed og maale denne og dermed deres Bevægelsesenergi før og efter deres Sammenstød med Atomer. Han anvendte først og fremmest disse Metoder paa Kviksølv damp, hvor Forholdene er særlig simple, bl. a. fordi Kviksølvdampens Molekyler kun bestaar af 1 Atom. Franck bombarderede nu Kviksølv damp med Elektroner, der alle havde samme Hastighed. Det viste sig da, at dersom Elektronernes Bevægelsesenergi var under „4,9 Volt“, var deres Sammenstød med Kviksølvatomerne fuldkommen elastiske, d. v. s. Elektronernes Bevægelsesretning kunde nok ændres ved Stødene, men deres Hastighed var uforandret; Atomerne kunde altsaa ikke optage Energi fra Elektronerne. Forøgedes Hastigheden saa meget, at Elektronernes Energi laa lige over 4,9 Volt, indtraadte der en brat Forandring i Forholdene, idet mange af Sammenstødene var fuldkommen uelastiske, d. v. s. de stødende Elektroner mistede hele deres Hastighed og havde altsaa afgivet hele deres Bevægelsesenergi til Atomet. Gjorde man Begyn-



delseshastigheden endnu større, saa at de stødende Elektrons Bevægelsesenergi var f. Eks. 6, vilde det vise sig, at naar der fandt Sammenstød Sted, vilde der altid tabes en Bevægelsesenergi af 4,9 Volt, idet Elektronerne enten vilde bevare deres Bevægelsesenergi eller faa den nedsat til 1,1 Volt; (smlgn. Fig. 28).

Disse mærkelige Forhold kan forstaas udfra Bohrs Teori, idet man antager, at der til at slaa den løsest bundne Elektron i Kviksølvatomet ud til den nærmeste ydre stationære Bane netop kræves en Energi af 4,9 Volt, og at en Energi mindre end denne Størrelse slet ikke kan

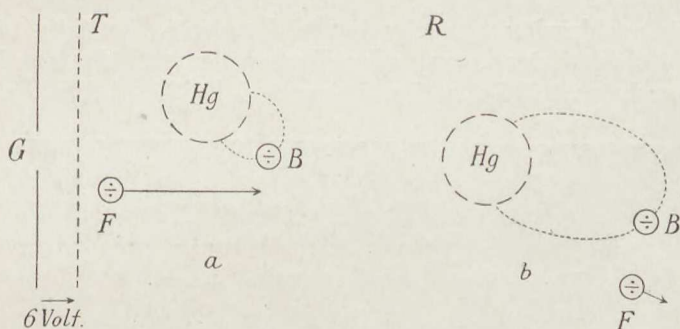


Fig. 28. Skematisk Tegning af Francks Forsøg med Elektronstød. G er en glødende Metaltraad, som afgiver Elektroner. Idet der mellem G og Traadnettet T holdes en Spændingsforskel af 6 Volt, vil Elektronerne med stor Hastighed fare gennem Nettet Masker ud i Rummet R, hvor der er Kviksølv damp. a antyder en fri Elektron F og et Kviksølvatom Hg før og b de samme efter et Sammenstød; ved dette har F mistet en Bevægelsesenergi svarende til 4,9 Volt; samtidig er en bunden Elektron B i Atomet gaaet over til en større stationær Bane.

optages af Atomet. Med „Forstaaelsen“ har det dog en egen Art; thi hvis de Kræfter, der virkede paa den frie Elektron, idet den trængte ind i Kviksølvatomet's Elektronsystem, ikke var andet end den sædvanlige Frastødning fra dets Elektroner samt Tiltrækning fra Kernen, vilde den stødende Elektrons Opførsel aldeles ikke kunne forklares ud fra Mekanikkens Love. Men det, der sker, staar i Overensstemmelse med de stationære Tilstandes ejendommelige Stabilitet, og Bohr havde forudsagt, at det vilde gaa saaledes. Morsomt nok havde Franck troet at hans tidligere Forsøg stred imod Bohrs Teori, fordi han fejlagtig troede, at det der skete var en Ionisering.

Ved Francks Forsøg viste det sig nu tillige, at Kviksølv dampen, saa snart de uelastiske Forsøg indtraadte, begyndte at udsende ultraviolet Lys af en bestemt Bølgelængde, nemlig  $253,7 \mu$ . Naar Svingningstallet  $\nu$  af dette Lys ganges med Plancks Konstant  $h$ , faar man nu netop et Energikvantum, der svarer til 4,9 Volt; men dette stemmer ogsaa med, hvad man efter Bohrs Teori maatte vente om den Straaling, den udrevne Elektron udsender, idet den vender



tilbage til Hviletilstanden: thi den Energi, den henholdsvis optager og afgiver ved de to Overgange, skal jo være  $h \cdot \nu$ .

Idet en Elektron ikke blot kan slaas ud til den nærmeste stationære Bane, men ogsaa til fjernere (eller helt løsrives), og derefter kan gaa tilbage i et eller flere Spring, kan der aabenbart indtræde mere sammensatte Forhold, hvorom de Franckske Forsøg, der nu er udført med mange andre Stoffer end Kviksølv damp, aabenbart kan give overordentlig værdifulde Oplysninger. Ved Kviksølv fandtes den Energi, en fri Elektron skal have for at løsrive en Elektron helt fra Atomet og omdanne dette til en positiv Ion, at svare til Spændingsfaldet 10,8 Volt, en Værdi som Bohr havde forudsagt. Samtidig med at Francks Forsøg i denne og andre Henseender paa den smukkeste Maade har bekræftet Bohrs Teori, har de i høj Grad fremmet dens



Fig. 29. Lysets Lagdeling i et Udladningsrør.

Udvikling; ja, man kan sige, at de danner et af de mægtigste Hjælpe-midler for Atomforskningen. Selv om Spektroskopien har endnu større Betydning, gør Undersøgelser over Elektronstød Realiteterne i Bohrs Teori tilgængelige for Iagttagelsen paa en nok saa direkte og saa at sige haandgribelig Maade.

Allersmukkest og mest aabenlyst træder de skildrede Ejendommeligheder ved Elektronstødene forøvrigt frem i et gammelt velkendt Lysfænomen, nemlig „Lagdelingen“ af Lyset i et Udladningsrør (Fig. 29). Denne Lagdeling, som tidligere syntes saa ubegribelig, hænger netop nøje sammen med den i Atomteorien saa fundamentale Kendsgerning, at en fri Elektron ikke kan meddele et Atom Energi under et vist Kvantum. Man kan forestille sig, at i de ikkelysende Mellemrum imellem de lysende Lag, optager Elektronerne hver Gang under det ydre elektriske Felts Virkning den Mængde af kinetisk Energi, der skal til for at bringe Atomerne til at lyse.

Som nævnt (S. 103) kunde Elektronstød ogsaa foraarsage Røntgenstråling; men til at frembringe denne kræves der som allerede antydnet meget større Energi. Derfor maa de Elektroner, som skal frembringe denne Virkning, have Lejlighed til frit at gennemløbe en vis Strækning under Paavirkning af et forholdsvis stærkt elektrisk Felt (fra 1000 til 100 000 Volts Spændingsfald); dette kan de ogsaa faa Lejlighed til i stærkt udpumpede „Røntgenrør“, hvor Elektronerne ved stærk Spænding drives fra Katoden mod Antikatoden, i hvis Atomer de trænger dybt ind.



*Absorption.* I det foregaaende omtaltes Forsøg, hvorved Elektronstød tilførte den Energi, der kræves til at „vække“ Atomerne d.v.s. bringe dem fra Normaltilstanden over i en stationær Tilstand med større Energi. „Vækningsenergien“ kan imidlertid ogsaa tilføres Atomet i Form af Straaleenergi, og vi vil nu lidt nærmere betragte disse Forhold.

Lad os antage, at der til at overføre et Atom fra Normaltilstanden til en vis stationær Tilstand eller med andre Ord at overføre en af Elektronerne til en ydre stationær Bane kræves en vis Energimængde  $E$ , saa vil, som vi ved, den Straaling, Atomet udsender, naar det vender tilbage til Normaltilstanden, have et Svingningstal  $\nu$  bestemt ved  $E = h \cdot \nu$  eller  $\nu = E : h$ , hvor  $h$  som sædvanlig betyder Plancks Konstant. Men ligesom Atomet ved Overgangen fra den omtalte stationære Tilstand til Normaltilstanden kun kan udsende Straaling med dette ganske bestemte Svingningstal  $\nu$ , vil det ved den modsatte Overgang kun kunne optage Straaling med dette Svingningstal, og naar dette sker, vil den optagne eller absorberede „Straaleenergi“ netop have Størrelsen  $E = h \cdot \nu$ . Denne Overgang vil altsaa slet ikke kunne finde Sted ved Absorption af Straaleenergi, hvis der ikke i Æteren omkring Atomet — „Straalingsfeltet“ kunde vi kalde det — findes Straaling af netop dette Svingningstal  $\nu$ , eller med andre Ord elektromagnetiske Bølger med den til  $\nu$  svarende Bølgelængde.

Dette Forhold, som umiddelbart ligger i Bohrs Postulater, stemmer med, hvad der S. 42 blev sagt om Sammenhængen mellem Linierne i et Stofs Liniespektrum og de mørke Absorptionslinier — f. Eks. de Fraunhoferske Linier i Solspektret — som hører til dette Stof. Lad os f. Eks. betragte den gule Natriumlinie (D-Linien). Lys med det til denne svarende Svingningstal, 526 Billioner i 1 Sekund, udsendes som nævnt af et Natriumatom, ved at en Elektron gaar over fra en stationær Bane med Kvantetal  $3_2$  til Banen  $3_1$ , der hører til Natriumatomet's Normaltilstand. Den modsatte Overgang  $3_1-3_2$  kan kun finde Sted under Straaleabsorption, naar der i det Lys fra en eller anden Lyskilde, som passerer forbi Natriumatomerne, findes Straaler med Svingningstal 526 Billioner. Selv om der tillige er Masser af Straaleenergi med andre Svingningstal, bryder Natriumatomerne sig ikke om denne; de tager kun til sig af Straalerne med det anførte Svingningstal, og hver Gang et Atom optager Energi fra dem, er det altid et Energikvantum af Størrelsen  $h \cdot \nu$ , d.v.s. ca.  $6,54 \cdot 10^{-27} \times 526 \cdot 10^{12} = 3,44 \cdot 10^{-12}$  erg (idet 1 erg er den ved Bestemmelsen af  $h$  anvendte Energienhed). Naar der er et stort Antal Natriumatomer til Stede (som f. Eks. i den tidligere omtalte Kog-saltflamme), kan Overgangen  $3_1-3_2$  finde Sted i nogle, Overgangen  $3_2-3_1$  i andre, saa at der samtidig foregaar Absorption og Udstraaling af det paagældende Lys; om Absorptionen eller Udstraalin-



gen paa et vist Tidspunkt har Overtaget, beror paa de nærmere Forhold.

Vi har her for Simpelheds Skyld tænkt os, at der kun kunde være Tale om den ene bestemte Overgang (i begge Retninger), svarende til at Natriumspektret ikke havde andre Linier end D-Linien. I Virkeligheden er dette jo ikke Tilfældet, og der kan altsaa ogsaa under dertil egnede Forhold foregaa Absorption af Straaler med andre Svingningstal, naar blot dette svarer til en eller anden mulig Overgang i Natriumatomet.

Forholdene bliver ogsaa mere udviklede af den Grund, at „Springene“ mellem Atomets stationære Tilstande snart, som vi ved, kan foregaa i „Enkeltspring“ snart i „Dobbelt-“ eller „Flerdobbeltspring“, saaledes at mellemliggende stationære Tilstande overspringes. Der er da aabenbart Mulighed for, at Absorptionen f. Eks. kan foregaa ved et Dobbeltspring af en Elektron, men at den vender tilbage til den oprindelige stationære Bane i to Enkeltspring. Den absorberede Straaleenergi vil da komme frem i Udstraaling med to Svingningstal, der er ganske forskellige fra Svingningstallet for de absorberede Straaler (dette vil i dette Tilfælde være Summen af de to andre); naar et Stof bestraales med en vis Slags Straaler, kan det med andre Ord „som Svar derpaa“ udsende Straaler af anden Art. Saadanne Ændringer af Svingningstal kendes ogsaa fra Iagttagelserne, og de indeholder i Princippet en Forklaring paa de ejendommelige Fænomener, som man kalder *Fluorescens* og *Fosforescens*.

Er Natriumdampens Temperatur forholdsvis lav, i hvilket Tilfælde næsten alle Atomerne befinder sig i Normaltilstanden, vil der aabenbart ved Absorptionen kun fremkomme saadanne Linier, som (ved Emission) svarer til Overgange til Normaltilstanden. Man faar saaledes en Forklaring paa de tidligere gaadefulde Forhold, at ikke alle Spektrallinier, som kan forekomme ved Emission, ogsaa vil iagttages ved Absorption; samtidig faar man nu ved Absorptionsforsøg værdifulde Oplysninger om Atomets Bygning udover dem, som Iagttagelser i Emissionsspektre var i Stand til at give.

Vi skal nu ikke fordybe os i disse Ting, men derimod dvæle lidt ved det ejendommelige Absorptionsfænomen, der betegnes som den lyseelektriske Virkning eller *den fotoelektriske Effekt*. Den bestaar som nævnt S. 78 deri, at en Metalplade ved Bestraaling med „ultraviolet Lys“ bringes til at udsende Elektroner med en Hastighed, der er uafhængig af Belysningens Styrke, men derimod retter sig efter Straalernes Svingningstal. Hvad der herved sker er, at nogle af de Elektroner i Metallet, som ellers besørger Ledningen af den elektriske Strøm, ved at absorbere Straaleenergi river sig løs fra Metallet og forlader det med en vis Hastighed. Grunden til, at Straalerne skal være ultraviolette, d. v. s. have et højt Svingningstal og følgelig



et forholdsvis stort Energikvantum, beror paa, at det Energikvantum, Elektronen optager, maa være stort nok til at udføre Løsrivelsesarbejdet. Men naar Straalernes Svingningstal (og dermed deres Energikvantum) blot ikke er mindre, end hvad der er fornødent til Løsrivelsen, behøver det ikke at have visse bestemte Værdier. Dersom det Energikvantum  $h \cdot \nu$ , Straalerne kan afgive, er større end det fornødne Løsrivelsesarbejde, bliver det overskydende blot til Bevægelsesenergi hos Elektronen, som saaledes faar en Hastighed, der er des større, jo større Svingningstallet  $\nu$  er. Hvad her foregaar, er aabenbart noget der kan anses som den omvendte Proces af den, der fører til Dannelsen af det S. 105 omtalte kontinuerte Brintspektrum; her blev Elektroner med forskellig Hastighed bundne af Brintatomerne, som saa udsendte Straaler, hvis Svingningstal rettede sig efter denne Hastighed, medens ved den fotoelektriske Effekt omvendt Straaler med forskelligt Svingningstal løsriver Elektroner og giver dem en Hastighed, der retter sig efter Svingningstallet.

Det maa erkendes, at der er noget højst besynderligt ved denne Virkning. Naar de elektromagnetiske Bølger, som man maa antage, er jævnt udbredte over Straalingsfeltet, er det ikke let at forstaa, hvorfor dette afgiver Energi til enkelte Atomer og ikke til andre, og hvorfor disse udvalgte altid — ved et bestemt Svingningstal — faar et ganske bestemt Energikvantum uafhængigt af, om Straalefeltets Intensitet (Belysningsstyrken) er større eller mindre; i sidste Tilfælde maa Atomet for at faa det rette Kvantum „suge Energi til sig“ fra et større Parti af Straalingsfeltet (eller samle sammen i længere Tid) end i første. Naar Atomerne optager Energi ved Elektronstød, synes Sagen lettere at forstaa; thi her fører de stødende Elektroner dog deres Bevægelsesenergi til bestemte Atomer, nemlig dem de rammer.

*Einstein* har derfor i sin Tid (1905), da der endnu ikke var Tale om Kerneatom eller Bohrs Teori, opstillet den saakaldte *Lyskvanteteori*, ifølge hvilken Straaleenergien ikke blot udsendes og optages af Atomerne i visse Kvanter, hvis Størrelse er bestemt ved Svingningstallet  $\nu$ , men at den ogsaa er til Stede i Straalingsfeltet i saadanne Kvanter. Naar et Atom udstraaler et Energikvantum  $h \cdot \nu$ , skulde denne Energi ikke udbrede sig som Bølger til alle Sider, men fare af Sted i en bestemt Retning — som en lille Energiklump kunde man sige. Disse „Lyskvanter“, som de kaldes, kunde da ligesom Elektronerne ramme bestemte Atomer.

Men selv om man ved denne Teori, i alt Fald tilsyneladende, kommer over den nævnte Vanskelighed, føres man rigtignok ind i langt større Vanskeligheder; ja, man kan sige, at hele Bølgeteorien hylles i et dybt Mørke. Selve Tallet  $\nu$ , der karakteriserer de forskellige Slags Straaler, taber sin Betydning som et Svingningstal, og Interferensfæ-



nomenerne, hvorved f. Eks. Gitterspektre og for Resten ogsaa Prismespektrene, ja endog Øjets Virkemaade og i det hele taget Brydning og Tilbagekastning fremkommer, og som udgør Kernen i vor Viden om Lyset, svinder hen i Mystik.

For overhovedet at forstaa, at der kan dannes Gitterspektre, maa vi tænke os en Samvirken af Lyset fra alle Gitterets Spalter eller Ridser (smlgn. Fig. 9, S. 40), og denne Samvirken kunde ikke komme i Stånd, hvis ikke alle Spalterne i et givet Øjeblik fik Lys, der var udsendt fra samme straalende Atom. I et Straalebundt, der kommer vinkelret ind paa et Spaltegitter, maa vi nemlig for at forklare Interferensen gaa ud fra, at Svingningstilstanden i et vist Øjeblik er ens i alle Spalterne, at der f. Eks. i dem alle samtidig er „Bølgebjerg“, (idet vi bruger et Billede fra Vandbølger); ellers kunde der ikke gaa Gitteret paa visse bestemte Steder, for hvilke Forskellene i Lysbølgenes Vejlængder fra de forskellige Spalter er et helt Antal Bølgelængder, stadig komme Bølgebjerg fra dem alle i et vist Øjeblik og Bølgedal fra dem alle i et andet Øjeblik, og dette er netop Betingelsen for, at der ved Interferensen kommer Lys paa det paagældende Sted. Tænker vi os, at nogle Spalter fik Lys fra et Atom, andre fra et andet, vilde det imidlertid være et rent Tilfælde, om der blev Bølgebjerg samtidig i alle Spalterne; de forskellige Atomer i en Lysgiver vil jo nemlig udsende Lys paa forskellige ganske tilfældige Tidspunkter.

Men tænker vi os i Stedet for Lysbølger, der breder sig fra Atomerne, Lyskvanter af atomistisk Størrelse udsendte af hver sit Atom, vilde Gitterets forskellige Spalter faa Energi fra forskellige Atomer, og dermed er det reale Grundlag, hvorpaa den iagttagne Samvirken skulde bygge, svundet bort. Lyskvanteteorien har saaledes en vis Lighed med den Medicin, der vel bragte Feberen til at forsvinde, men slog Patienten ihjel. Naar Einstein, som rent bortset fra denne Teori har indlagt sig saa stor Fortjeneste netop paa det her omtalte Omraade, har forfægtet disse mærkelige Forestillinger om Energiudbredelsen, er det dog naturligvis ikke, fordi han har været blind for de nævnte dybtgaaende Vanskeligheder; hvor klar han har været over den Mystik, der kom over Interferensfænomenerne, fremgaar bl. a. af, at han i sine Betragtninger har indført noget, han kalder „et Spøgelse-Straalefelt“, som Hjælp ved Redegørelsen for det, der iagttages. Men han har aabenbart villet følge det paradoksale, der ligger i Straalingsfænomenerne ud til de yderste Grænser i Haab om derved at naa til et værdifuldt Fremskridt i vor Erkendelse.

Naar denne Sag her er fremdraget, er det, fordi de Einsteinske Lyskvanter har spillet en betydelig Rolle i Diskussioner om Kvanteteorien, og en Del af Læserne maaske har hørt noget derom uden at have Klarhed over Lyskvantelærens Stilling. Der kan da være Grund til at

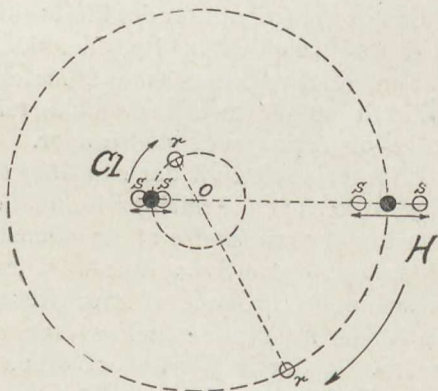


fremhæve, at denne Lære paa ingen Maade er udsprunget af Bohrs Teori, endside er en nødvendig Følge af denne.

I Bohrs Teori maa Absorption og Udstraaling siges at være fuldstændig reciproke Processer, d. v. s. Processer af væsentlig samme Art, men forløbende i modsatte Retninger. Det kan i og for sig ikke siges at være mere uforstaaeligt, at et Atom suger Energi til sig fra et Straalingsfelt i Overensstemmelse med Bohrs Postulater end, at det sender Energi ud i Feltet; men i begge Tilfælde møder vi naturligvis de dybtgaaende Vanskeligheder, som er omtalt i Afsnit V.

Vi har i det foregaaende holdt os til rene Atomprocesser. Men ligesom vi ved Straaleudsendelsen træffer Spektre, som faar deres Karakter ved *Molekylprocesser* (Baandspektre; se S. 104), har vi ogsaa

Fig. 30. Skematisk Fremstilling af Bevægelsesmuligheder i et Klorbrintemolekyl. O er Molekylets Tyngdepunkt. De sorte Cirkler angiver Kernernes Ligevægtstilstand, Cirklerne s deres Yderstillinger under Svingningerne og Cirklerne r en Stilling under Kernernes Rotation.



„Absorptionsspektre“, hvis Ejendommeligheder væsentlig hidrører fra Ændringer i Molekyler. Et særligt interessant og lærerigt Eksempel af denne Art møder vi i Spektrets ultrarøde Parti i visse brede Absorptionslinier eller Absorptionsbaand, som skyldes Luftarter med fleratomige Molekyler. For Klorbrintens Vedkommende findes der paa det Sted af Spektret, som svarer til en Bølgelængde af omkring  $3,5 \mu$  et saadant Absorptionsbaand, som ved nøjere Undersøgelse har vist sig at bestaa af et stort Antal Absorptionslinier.

Forklaringen paa denne Liniesamling maa søges i de Bevægelser, Brintkernen og Klorkernen udfører, idet de dels svinger frem og tilbage mod hinanden, dels roterer om deres fælles Tyngdepunkt. Ligesom for Elektronernes Bevægelser i Atomets eksisterer for disse Kernebevægelser visse stationære Tilstande; naar Molekylet optager Straaleenergi, vil det derved gaa over fra en af disse Tilstande til en anden, hvor dets Energiindhold er større, og denne Energiabsorption foregaar efter Kvantereglen, d. v. s. Produktet af Plancks Konstant,  $h$ , og Svingningstallet  $\nu$  for den absorberede Straaling skal være lig Energi-



forskellen mellem de to stationære Tilstande; kun de Straaler, hvis Svingningstal kan opfylde denne Betingelse, kan absorberes.

I Klorbrinte ved almindelig Temperatur vil langt de fleste Molekyler være i Rotation (sml. Bemærkning paa S. 27), altsaa befinde sig i en af de stationære Rotationstilstande, medens Kernerne derimod maa antages i Almindelighed at være i Hvile i Forhold til hinanden, d. v. s. at bevare deres indbyrdes Afstand; i Fig. 30 betegner H og Cl de Cirkler, som de to Kerner beskriver om Tyngdepunktet, hvorved det dog maa bemærkes, at Brintens Cirkel er tegnet for stor i Forhold til Klorets. Sendes der nu Varmestraaler med alle mulige Bølgelængder omkring Værdien  $3,5 \mu$  gennem Klorbrinten, vil der optages Straaleenergi, som dels kan sætte Kernerne i Svingninger, dels ændre Rotationstilstanden.

Lad os antage, at kun det første skete. Der vilde da optages Straaler med Bølgelængden  $3,46 \mu$ , idet disses Svingningstal svarer til den stationære Svingningstilstand, Molekylet gaar over i. Forøvrigt vil Svingningstallet for disse Svingninger være meget nær lig Svingningstallet for de paagældende Straaler.

I Virkeligheden vil der samtidig med, at Kernerne sættes i Svingning, altid ske en Ændring i Rotationstilstanden — enten en Forøgelse eller en Formindskelse af Rotationshastigheden; den optagne Energi og dermed ogsaa Svingningstallet for den absorberede Straaling ændres derved lidt, saa at vi i Spektret af de gennemsendte Straaler ikke vil faa en Absorptionslinie svarende til  $3,46 \mu$ , men en Linie noget derfra. Da der imidlertid er mange stationære Rotationstilstande at vælge imellem, og der i nogle Molekyler sker een Overgang, i andre en anden, faar vi en hel Mængde Absorptionslinier paa begge Sider af  $3,46 \mu$ .

Allerede før Bohr fremsatte sin Teori, altsaa paa et Tidspunkt, da Kvanteteorien endnu ikke havde faaet en afklaret Form, havde den danske Kemiker *Niels Bjerrum* gennem skarpsindige Ræsonnementer forudsagt, at de ultrarøde Absorptionslinier maatte have en saadan Struktur. Denne maa nu ganske vist fortolkes paa noget anden Maade, end det blev gjort af Bjerrum, men hans Forudsigelse bekræftedes i det væsentlige ved Undersøgelser, og den var en af de allerbetydeligste Indsatser i Kvanteteoriens Udvikling før 1913.

Man kunde spørge om, hvad der vil blive af den Energi, som Klorbrintemolekylerne saaledes absorberer; om den nødvendigvis efter kortere eller længere Tid atter maatte afgives ved Straaling. Dette er dog ikke Tilfældet. Ved Sammenstød mellem Molekyler kan utvivlsomt Energi, som et Molekyl (eller Atom) har optaget ved Straaling, overføres til et andet Molekyl, som derved faar forøget Hastighed. Nødvendigheden af, at saadanne Sammenstød optraadte, blev første Gang klart paavist i et betydningsfuldt Arbejde af to af Bohrs Ele-



ver, Svenskeren *Klein* og Nordmanden *Rosseland*. Uden Sammenstød af denne Art vilde absorberet Straaleenergi ikke kunne omsættes til Varmeenergi. Vi berører her et meget stort og vigtigt Omraade, som har den nøjeste Tilknytning til Teorien for de kemiske Processer, og til hvis nærmere Opklaring nyere Forsøg af *Franck* og hans Medarbejdere har ydet vigtige Bidrag.

## VII. ATOMBYGNINGEN OG STOFFERNES KEMISKE EGENSKABER

Vi har hidtil i Hovedsagen holdt os til de Anvendelser af Bohrs Teori, som direkte har med Straalingsprocesser at gøre. Hvor frugtbar Teorien end har vist sig, hvor mange hidtil ganske gaadefulde Forhold den end har kunnet gøre Rede for, og hvor mangfoldige og nøjagtige Sammenfald mellem Iagttagelse og Teori den end har at opvise paa disse omfattende Omraader, maa det dog endnu kræves af Teorien, at den tillige vil vise sig i Stand til at gøre Rede for de forskellige Grundstoffers kemiske Forhold. Allerede i 1913 havde Bohr da ogsaa samtidig med sine Undersøgelser over Spektralforholdene taget denne Sag op og peget paa interessante Muligheder.

*Atomers Forening til Molekyler.* Bohr havde bl. a. i denne Afhandling opstillet en Hypotese om Brintmolekylets Bygning, som her skal anføres, fordi den gennem et særlig simpelt Eksempel illustrerer Muligheden af at danne sig et Billede af to neutrale Atomers Forening til et Molekyl (smlg. S. 20). I Fig 31 a betegner  $K_1E_1$  og  $K_2E_2$  to neutrale Brintatomer, der nærmer sig til hinanden med de to Elektronbaner parallelle. Kernen  $K_1$  og Elektronen  $E_2$  vil da tiltrække hinanden og ligeledes Kernen  $K_2$  og Elektronen  $E_1$ . Ganske vist vil de to Elektroner indbyrdes frastøde hinanden og ligesaa de to Kerner; men naar Elektronerne, som antydtes paa Tegningen, befinder sig i modsatte Stillinger under Omløbet, vil Tiltrækningen mellem de to Atomer være den overvejende. Beregningerne viser, at det vil gaa som vist i Fig. 31 b, hvor Banerne er kommet hinanden nærmere end Kernerne. Tilsidst vil de to Baner være smeltet sammen til en enkelt Bane, der — som vist i Fig. 31 c er lidt større end hver af de oprindelige Baner; de to Brintatomer har da forenet sig til et Molekyl; i dette kan vi sige, at de to i samme Cirkel kredsende Elektroner ved deres Tiltrækning paa Kernerne holder disse sammen mod deres gensidige Frastødning. — Det maa dog nu af Grunde, vi ikke skal komme ind paa, antages, at Brintmolekylet er bygget noget anderledes; sandsynligvis vil Elektronbanerne indstille sig under en vis Vinkel med hinanden.



Dannelsen af et Brintmolekyl kunde imidlertid ogsaa tænkes at foregaa derved, at en positiv Brintion, d. v. s. en Brintkerne, og en negativ Brintion, d. v. s. en Brintkerne, der omkredsnes af to Elektroner, førtes mod hinanden af deres gensidige Tiltrækning. Denne vilde da være betydelig stærkere end i det forrige Tilfælde, og deres Forening til et neutralt Atom vilde ikke kunne foregaa paa den samme jævne Maade; der vil ogsaa blive frigjort mere Energi.

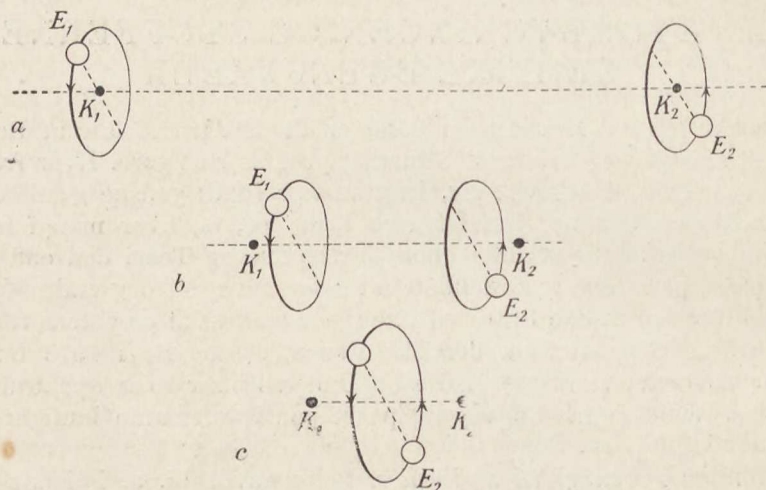


Fig. 31. Tidligere Forestilling om et Brintmolekyls Dannelse (Bohr 1913).

Ligesom Brintmolekylets Dannelse kan andre Molekylers Dannelse af Atomere tilhørende samme eller forskellige Grundstoffer tænkes at foregaa paa vidt forskellig Maade, eftersom det drejer sig om en Forening af neutrale Molekyler i Normaltilstanden eller en Forening af positive og negative Ioner. Omvendt kan et Molekyl ved en kemisk Sønderdeling tænkes at blive adskilt snart i neutrale Dele, snart i Ioner.

Med disse to Slags Forenings- eller Adskillelsesmaader er Mulighederne imidlertid langt fra udtømt. Et Atom kan ikke blot eksistere i Normaltilstanden, hvor det har sit fulde Antal Elektroner samlet saa tæt som muligt om Kernen, og i ioniseret Tilstand, d. v. s. med 1 eller flere Elektroner for meget eller for lidt. I et neutralt Atom kan jo ogsaa 1 eller flere af de „yderste“ Elektroner befinde sig i en stationær Bane i større Afstand fra Kernen end den, der svarer til Normaltilstanden. Det er let forstaaeligt, at et Atom i en saadan „vaagen“ eller, som man i Kemien plejer at kalde det, „aktiveret“ Tilstand ofte vil have lettere ved at træde i Samvirken med andre Atomere, end naar det er i Normaltilstanden, hvor det i højere Grad virker udadtil som en lille kompakt neutral Stoffklump.



Det vil i alt Fald heraf forstaas, at den Vekselvirkning mellem Atomerne, som giver sig Udtryk i kemiske Processer eller de kemiske „Reaktioner“ mellem forskellige Stoffer frembyder en overordentlig Rigdom af Muligheder, hvori Bohrs Teori vil kunne give os dybere Indblik, end de tidligere kemiske Teorier er i Stand til. Der er netop i den allersidste Tid sket meget betydelige og lovende Fremskridt i Studiet af disse indviklede Forhold, bl. a. gennem teoretiske Undersøgelser af Danskeren, *J. A. Christiansen*. Her skal ogsaa nævnes, at det har været muligt at kaste Lys over de mærkelige, tidligere ganske dunkle Forhold dels ved *Lysets kemiske Virkninger*, f. Eks. paa en fotografisk Plade, dels ved den saakaldte *Katalyse*, som bestaar deri, at den kemiske Forening af to Stoffer fremmes ved Tilstedeværelsen af et tredie Stof, som slet ikke indgaar i den dannede Forbindelse og ofte kun findes i ganske smaa Mængder.

*Det periodiske System.* I Stedet for at fordybe os i, hvorledes de kemiske Processer i Enkelthederne kan tænkes at forløbe, vil vi nu betragte den Sammenhæng mellem de forskellige Grundstoffers kemiske Egenskaber og deres Atomnummer, som har fundet sit erfaringsmæssige Udtryk i det periodiske System. Opklaringen af dette Systems Gaader maa vel siges at være et af de skønneste Resultater Bohr hidtil har naaet ved sin Forskning, og maaske det kraftigste Vidnesbyrd om, hvad hans Teori formaar.

Det er ikke nogen ny Tanke at sætte Grundstoffernes Ordning i det periodiske System i Forbindelse med en Ordning af hvilende eller kredsende Atomdele i regelmæssige Systemer, hvis Karakter ændres periodisk med deres voksende Antal. Ved *Lord Kelvins* og *J. J. Thomsons* tidligere (S. 62) omtalte Atommodel med den positive Elektrizitet fordelt over hele Atomets Rum, søgte den sidstnævnte at forklare visse Hovedtræk af det periodiske System, idet han tænkte sig Elektronerne ordnede i flere Ringe om Atomets Centrum. Hvor mange Elektroner der kunde være i den ydre Ring, uden at Systemet blev ustabilt, afhang af, hvor mange Elektroner der fandtes indenfor. Thomson mente at kunne godtgøre, at en ydre Ring af 20 Elektroner kun kunde eksistere naar der var mindst 59 Elektroner i Atomet. Var der netop dette Antal, vilde Yderringens Stabilitet være meget ringe. En Forstyrrelse vilde meget let bevirke, at en Elektron gik bort, saa at man fik en mere stabil Ring bestaaende af kun 19 Elektroner; Atomet vilde derved blive til en positiv Ion, og paa Grund af denne stærke Tilbøjelighed hos Atomerne til at danne positive Ioner med en enkelt Ladning vilde det paagældende Grundstof have en stærk elektropositiv Karakter og være monovalent (en-gyldigt). Havde det neutrale Atom 60 Elektroner, vilde den ydre Ring paa 20 være mere stabil, men der kunde dog nogenlunde let fjernes



2 Elektroner, idet der da opstod en positiv Ion med dobbelt Ladning og med 58 Elektroner, hvoraf de 19 i Yderringen. En saadan Elektronordning skulde være særlig stabil, hvorfor et Grundstof, hvis neutrale Atom havde 58 Elektroner, vilde være kemisk uvirksomt. Var Elektrontallet kun 57 med en Yderring paa 19, vilde Atomet kunne gaa over til en mere stabil Ordning ved Optagelsen af en Elektron, hvorved det blev til en negativ Ion med 1 Ladning; man vilde saaledes have et elektronegativt monovalent Grundstof. Gik man op til 68 Elektroner i det neutrale Atom, vilde dette kunne faa en Yderring paa 21; her vilde da begynde en ny Periode i Grundstofrækken.

Gennem Betragtninger af denne Art kunde J. J. Thomson saaledes opstille en Række smukke Analogier til Forholdene i det periodiske System; men selv bortset fra, hvad der forøvrigt kunde indvendes mod hans Betragtninger og Beregninger, var Tilknytningen til Systemet kun af ganske løs og almindelig Art, og Grunden blev taget helt bort under Thomsons Teori, da hans Atommodel maatte vige for Rutherfords. Og gennem Bohrs Teori fremtræder bl. a. Kravene til stabile Elektronsystemer i et helt nyt Lys.

Allerede i sin Afhandling fra 1913 søgte Bohr at danne sig foreløbige Forestillinger om forskellige Atomers Bygning, idet han tænkte sig *Elektronerne* ~~Atomerne~~ ordnede i et større eller mindre Antal Ringe om Kernen. Den Tanke, at Elektronbanerne ikke just behøvede at ligge i en Plan, eller (som i visse af Bohrs Modeller) at være parallelle, men at de kunde være ordnede i forskellige Retninger i Rummet, var dog naturligvis ikke Bohr fremmed.

I den følgende Tid er der dels med, dels uden Tilknytning til Bohrs Teori anstillet mange Betragtninger over Atombygningen, hvorved Elektronerne tænktes ordnede i forskellige rumlige Grupper eller „Skaller“ uden om hinanden. Man støttede sig herved dels til, hvad man vidste om Grundstoffernes kemiske Egenskaber og om det periodiske Systems Inddelinger, dels til de Oplysninger, man kunde faa gennem Spektralundersøgelser; en særlig Rolle spillede herved Spektre af de Røntgenstraaler, der har deres Udspring i Processer dybt inde i Atomerne (S. 104) og derfor kan røbe nogle af Atombygningens Hemmeligheder. Ad disse Veje kom man til adskillige Resultater, der i visse Træk stemmer med det Billede af Atomernes „Arkitektur“, vi nu er naaet til gennem Bohrs egen Forskning; men denne loddede langt dybere i Problemet. I Stedet for, af hvad man vidste om visse Grundstoffer eller Grundstofgrupper, at drage Slutninger om deres Elektronsystemers Bygning, eftersporede Bohr Metoder til Løsning af en langt mere dybtgaaende Opgave, nemlig den, ud fra almene Love, der gælder for Vekselvirkningen mellem Delene i ethvert Atom, at udlæde, hvorledes Elektronbanernes



Indretning og Ordning maa antages at afhænge af Atomnummeret, d. v. s. Antallet af Elektroner, og dermed ogsaa hvilke Egenskaber man kunde vente af et Grundstof med et bestemt Atomnummer. Kendetegnet paa, at Opgaven var rigtig løst, maatte da være, at de Egenskaber, man maatte vente efter Teorien, stemmede med dem, som fremgik af Iagttagelser.

Det maa siges, at Løsningen af denne Opgave, maaske den største man kunde stille Atomteorien, i sine store Træk er lykkedes for Bohr. Paa mange Punkter har han vel for at afgøre Tivlsspørgsmaal maattet tage Erfaringer angaaende bestemte Grundstoffer til Hjælp, og de finere Enkeltheder staar endnu tilbage; men ud fra almene Udgangspunkter har han i Omrids kunnet beskrive Arkitekturen af selv de mest udviklede Atombygninger og derved gøre Rede ikke blot for de aabenbare Lovmæssigheder, men ogsaa for de tilsyneladende Ulov-mæssigheder i det periodiske System. Hans Teori havde staaet sin Prøve paa disse haarde Prøvestene.

Den Metode, Bohr benyttede under sit Forsøg paa at løse Problemet, bestaar kort udtrykt deri, at han undersøger *hvorledes et neutralt normalt Atom efterhaanden kan dannes ved Indfangning og Binding af de enkelte Elektroner* i det Kraftfelt, som omgiver Atomkernen. Han tænker sig til at begynde med, at han har en „nøgen“ Kerne med en positiv Ladning af en vis Størrelse. Paa denne Kerne slipper man nu Elektroner løs, den ene efter den anden, indtil Kerne har indfanget det Antal, som skal til for at neutralisere Kerneladningen. Hver enkelt af Elektronerne vil herunder gennemgaa en „Bindingsproces“, d. v. s. den vil kunne bevæge sig i forskellige mulige stationære Baner omkring Kernen og de tidligere bundne Elektroner; under Udsendelse af Straaling vil den kunne gaa over fra stationære Tilstande med større Energi til saadanne med mindre Energi for til Slut at falde til Ro i den Bane, der svarer til den mindst mulige Energi; vi kan betegne dette som Normaltilstanden af Systemet, der imidlertid foreløbig, saalænge alle de til Neutralisering af Kerneladningen fornødne Elektroner endnu ikke er indfangede, kun er en positiv Atomion.

Hvad det nu herved særlig kommer an paa, er at undersøge hvad Slags Bane Elektronen ved hver Bindingsproces kommer til at beskrive i Normaltilstanden; thi dette er af væsentlig Betydning for Arten af den Bindingsproces, den næste Elektron vil gennemløbe. Ved Behandlingen af denne Række af Problemer benytter Bohr sig naturligvis af sine Postulater og af den almindelige Teori for de stationære Tilstande (Læren om Kvantetallenes Betydning m. m.). Men tillige har hans Ledestjerne her som overalt været Korrespondensprincippet, som knytter Overgangsmuligheder sammen med Elektronernes mulige Bevægelsestilstande; uden dette Princip havde



han ikke kunnet komme frem. Paa Teoriens nuværende Standpunkt er det dog, som allerede antydnet, ogsaa ofte nødvendigt at gøre Brug af de eksperimentelle kemiske og fysiske Kendsgerninger for at føre Betragtningerne igennem. — I det følgende kan vi imidlertid ikke gøre Rede for, hvorledes Bohr begrunder de Resultater, han naaer til; vi maa i alt Fald nøjes med nogle Antydninger hist og her og forøvrigt indskrænke os til at meddele visse Hovedtræk af Resultaterne.

Inden vi gaar videre, skal her erindres om, hvad der tidligere er sagt om Kvantetallene. Ved Brintatomet kunde de stationære Baner jo indefra nummereres med Hovedkvantetallene  $1, 2, 3 \dots n$ ; men til hvert Hovedkvantetal svarer ikke een, men flere Baner nummererede med hver sit Bikvantetal  $1, 2, 3 \dots k$ , idet  $k$  højst er lig Hovedkvantetallet; enhver Bane kan saaledes betegnes med to Kvantetal, f. Eks. er  $3_2$  Banen den, der har Hovedkvantetal 3 og Bikvantetal 2. Men medens Hovedkvantetallet  $n$  ved Brintatomets stationære Baner, der næsten er Ellipser, bestemmes paa meget simpel Maade alene ved Længden af Ellipsens Storakse, og  $k:n$  er Forholdet mellem Lilleakse og Storakse, kan man ved de andre Atomers med sammensat Elektronsystem ikke angive Kvantetallenes Betydning paa saa simpel Maade; vi maa nøjes med at sige, at der kan gives en bestemt Definition af deres Betydning, men kun ud fra fysiske-matematiske Betragtninger, som vi ikke kan gaa ind paa. Dog kan det anføres, at hvis vi holder os til et bestemt Atom, vil det stadig gælde, at blandt en Række Baner med samme Bikvantetal, men forskellige Hovedkvantetal, vil den, hvori Elektronen naaer ud til større Afstand fra Kernen, have højere Nummer. Ligeledes gælder stadig den Regel, at en Bane, hvis Bikvantetal er lille i Forhold til Hovedkvantetallet som f. Eks. Banen  $4_1$ , vil være meget langstrakt med meget stor Forskel mellem Elektronens største og mindste Afstand fra Kernen, medens den vil være en Cirkel, naar de to Kvantetal er lige store som for Banerne  $1_1, 2_2, 3_3$ . — Skønt hver Bane har to Kvantetal, taler man ofte ligefrem om  $1-, 2-, 3- \dots n$ -kvantede Baner, idet man hermed mener Baner med Hovedkvantetal  $1, 2, 3 \dots n$ .

Brintatomets ene Elektron vil under Indfangningen, først finde Hvile, naar den har naaet den  $1$ -kvantede  $1_1$ -Bane, og man kunde maaske paa Forhaand vente, at ogsaa ved Atomers med større Kerneladning skulde Elektronerne i Normaltilstanden være naaet ind til enkvantede Baner  $1_1$ , fordi hertil svarer den mindste Energi. Hvis dette var Tilfældet, vilde de jo allesammen beskrive Cirkler i samme Afstand fra Kernen. I Virkeligheden kan dette dog ikke lade sig gøre. Betragtninger, som her ikke kan gøres Rede for, fører til, at de Elektroner, som allerede er samlede om Kernen, kun til en vis Grænse



kan gøre Plads for nye, men holder de derefter ankomne i passende Afstand, d. v. s. hindrer dem i f. Eks. at gaa fra en 3-kvantet Bane ind til en 2-kvantet; naar det tidligere er sagt, at en indfanget Elektron ender i den stationære Bane, som svarer til den mindste Energi, maa man da herved tænke ikke paa den enkvantede Bane, men paa den „inderste“, som er mulig under de forhaandenværende Forhold.

At de allerede samlede Elektroner holder de ny tilkommende i passende Afstand, maa ogsaa forstaas med Forbehold; en ny Elektron, som bevæger sig i en langstrakt Bane, kan godt faa Lov at trænge ind i det allerede besatte Omraade, ja maaske endog at komme Kernen langt nærmere end nogen af de inderste Elektron-grupper; men det drejer sig da om en ganske kort Visit, hvorunder Elektronen farer om Kernen i Lighed med en Komet, der en Gang under sit langstrakte Omløb trænger ind mellem Planeterne og farer om Solen maaske nærmere end den allerinderste Planet, men som forøvrigt i langt den overvejende Del af sin Omløbstid færdes i fjerne Regioner, udenfor Planetsystemets Grænser. Det er netop en meget vigtig Ejendommelighed ved den Bohrske Atomarkitektur, at ydre Elektroner saaledes trænger dybt ind i Atomets Indre og derved saa at sige kæder det hele System sammen.

En saadan „Kometelektron“ har dog en Bevægelse af en helt anden Art end en Komet i Solsystemet. Lad os tænke os, at Kerneladningen f. Eks. var 55 (Cæsium), og at der var samlet 54 Elektroner tæt om Kernen, medens Nr. 55 i en langstrakt Bane naaede langt ud, men ogsaa paa et vist Tidspunkt tæt ind om Kernen, saa vilde denne Elektron i første Tilfælde og i det hele taget paa den allerstørste Del af Banen kun være udsat for en Tiltrækning af 1 enkelt Ladning som fra en Brintkerne; men naar den kom indenfor alle de 54, vilde den paavirkes af den fulde Kerneladning 55. Dette i Forening med Kernens store Nærhed vilde bevirke, at den her fik en uhyre Fart og tillige gik i en helt anden Slags Bane end i de ydre Partier. Tillige kan det nævnes, at Elektronens store Hastighed under dens kortvarige Kernevisit er i høj Grad bestemmende for dens Hovedkvantetal; dette vil være meget højere end, hvad man skulde vente efter Dimensionerne af de ydre Banepartier, naar man troede, at Bevægelsen foregik om en Brintkerne. (Smlgn. Fig. 27 og 25.)

Efter disse almindelige Bemærkninger skal vi nu prøve i ganske faa Linier at skitsere Bohrs Opbygning af Atomsystemerne fra det enkleste til de mest sammensatte. Vi vil dog ikke gennemvandre hele det periodiske System med dets 92 Stoffer, men gøre lange Spring og blot hist og her fremdrage et eller andet Træk, der kan tjene til at belyse Sagen, — delvis i Tilslutning til de skematiske Tegninger paa Atomtavlen bag i Bogen.



*Om disse Tegninger skal her bemærkes følgende:*

De tegnede Kurver betyder Elektronbanerne for de forskellige Grundstoffer. Banerne ligger i Virkeligheden ikke i samme Plan, men er orienterede paa forskellige Maader i Rummet; det vilde have været ugørligt at lade dette træde tydeligt frem paa Figuren. Dertil kommer, at der endnu hersker en Del Usikkerhed om, hvorledes Baneplanerne er stillet i Forhold til hinanden. Paa Grund heraf har vi nøjedes med at anbringe Undergrupper af Baner, som er kendetegnet ved samme Kvantetal, paa en symmetrisk og let overskuelig Maade i Tegningens Plan. For Grupper af cirkulære Baner, er der dog fulgt den Regel kun at tegne en af dem som en Cirkel, medens de øvrige hos de mere enkle Atomter er tegnet i Projektion som Ellipser indenfor denne Cirkel og hos de mere sammensatte Atomter endog er helt udeladte; Heliumatomets to cirkulære Baner er dog begge tegnet i Projektion som Ellipser. Det vilde ogsaa have været ugørligt nærmere at angive, hvorledes de Elektroner, der bevæger sig i ikke cirkulære Baner, paa deres Vej trænger ind i Atomets indre Regioner; kun hos Lithium og Kulstof er dette antydnet ved punkterede Linier. Fremstillingen maa derfor nærmest opfattes symbolsk, omend den kan være egnet til at give et Begreb om vigtige Træk af Arkitekturen.

For at gøre det muligt at holde Banegrupper med forskellige Hovedkvantetal ude fra hinanden er der anvendt to Farver, rødt og sort, saaledes at rødt betegner Baner med ulige Kvantetal, altsaa inde fra udad 1-, 3-, 5-kvantede, sort derimod Baner med lige Kvantetal, altsaa 2-, 4-, 6-kvantede. Hvor der har været Mulighed for at vise Kernen, er denne en sort Prik; men i Tegningerne af Atomter med højere Atomnummer smelter allerede de 1-kvantede Baner sammen til et lille Kryds. — Endvidere skal det bemærkes, at Radiumatomet er tegnet i dobbelt saa stor Maalestok som de øvrige Atomter. Det er tillige paa Tavlen anbragt længst til venstre, for at man ved Udfoldningen af Tavlen kan faa alle de andre for Øje under Læsningen.

Det skal endnu en Gang fremhæves, at de Forestillinger om Atombygningen, som det gennem disse for første Gang offentliggjorte Tegninger er forsøgt at anskueliggøre, i mange Henseender har en foreløbig Karakter, og dette maa ogsaa holdes for Øje i det følgende.

Vi vil nu begynde med Indfangningen af *den første Elektron*. Er Kernen en Brintkerne, er hele *Brintatomet* færdigt, naar denne Elektron er kommet ind til Banen 1., en Cirkel med Diameter ca.  $10^{-8}$  cm. (Se Tvl.). Hvis den indfangende Kerne havde haft større Kerneladning, vilde det dog gaa Elektron Nr. 1 paa samme Maade, blot bliver Bannens Radius mindre i samme Forhold som Kerneladningen er større. For en Blykerne, hvis Ladning (Atomnummer) er 82, bliver den saaledes 82 Gange saa lille som for Brinten. Idet Atomter med højt Atom-



nummer saaledes samler Elektronerne tættere om sig, bliver det forstaaeligt, at de til Trods for deres høje Elektrontal dog kan blive af lignende Størrelsesorden som de enklere Atomere.

Lad os nu betragte *Heliumatomet*. Den første Elektron, som dets Kerne (Ladning 2) indfanger, bevæger sig som angivet i en Cirkel ( $1_1$ ), men med mindre Radius end ved Brintatomet. *Elektron Nr. 2* kan imidlertid indfanges paa forskellige Maader, og det nærmere Studium af de her raadende Forhold, som endnu er forholdsvis enkle paa Grund af det ringe Antal Elektroner, har været af største Betydning for hele Teoriens videre Udvikling. Det vilde dog føre for vidt at gaa nærmere ind herpaa; vi maa nøjes med at anføre, at det stabile Enderesultat af den anden Elektrons Binding bestaar deri, at de to Elektroner bevæger sig i lige store cirkulære 1-kvantede Baner, hvis Planer danner en Vinkel af omtrent  $120^\circ$  mod hinanden. (Se Tvl.). Denne Tilstand har en overmaade stabil Karakter, og Heliumatomet er derfor højst utilbøjeligt til at vekselvirke med andre Atomere saavel egne som fremmede; Helium er derfor en enatomig og kemisk uvirksom Luftart.

Ogsaa i alle Atomkerner med højere Ladning end Heliumkernen vil de to første Baner bindes i to 1-kvantede Cirkelbaner med en Vinkel  $120^\circ$ ; denne Gruppe kan ikke optage nogen ny Elektron som ligestillet med de to forrige; den bliver imidlertid selv ved at bestaa og danner saaledes den inderste Atomgruppe i alle Atomere med højere Nummer end 2.

*Elektron Nr. 3* vil altsaa ikke blive optaget som ligestillet med 1 og 2. Den maa nøjes med en 2-kvantet Bane, nemlig  $2_1$ , der er langstrakt og nærmest Kernen kommer i de 1-kvantede Baners Omraade. Den er kun løst bunden, og *Lithiumatomet*, som kun har 3 Elektroner, kan derfor let faa Nr. 3 slaaet løs, saa at det bliver til en positiv Ion. Lithium er derfor et stærkt elektropositivt monovalent Metal. — Stofferne Beryllium (Nr. 4) og Bor (Nr. 5) vil antagelig have henholdsvis 2 og 3 Elektroner i Baner  $2_1$ ; de kan derfor optræde henholdsvis di- og trivalente; men under Elektronernes korte Visit hos Kernen bliver de paa Grund af den større Kerneladning bundet fastere end ved Lithium, og Stoffernes elektropositive Karakter er derfor mindre udpræget.

Noget væsentlig nyt har vi ved *Kulstofatomet* (Nr. 6); her er de 4 Elektroner Nr. 3—6 optagne i 4 Baner  $2_1$ , der indtager en meget symmetrisk Stilling i Rummet; trækker man fra Kernen fire Linier vinkelrette paa de 4 Baneplaner, vil de antagelig omtrent være rettede mod Hjørnerne af et regulært Tetraeder; den gamle Forestilling om Kulstofatomet som et Tetraeder finder her saa at sige sin anskuelige Grund. Tegningen paa Tavlen kan kun give et svagt Begreb om den smukke Rumsymmetri. Det maa erindres, at hvad her er Tale



om, er Banernes Symmetri. Med selve Elektronernes Stillinger er Forholdet helt anderledes; de vil ikke, som man tidligere har formodet, i hvert Øjeblik indtage symmetriske Stillinger og bevæge sig samtidigt hen imod og samtidigt bort fra Kernen; man maa tværtimod antage, at de vil komme nærmest Kernen til forskellige Tidspunkter med lige Tidsmellemrum. Med denne Vekslen i Atomet hænger det antageligt ogsaa sammen, at det, skønt det ikke har Tilbøjelighed til at afgive eller optage Elektroner og saaledes blive til en positiv eller negativ Ion, dog er meget tilbøjeligt til at indgaa kemiske Forbindelser.

Gaar vi nu videre til *Kvælstof* (7), saa kan de 4 sidste Elektroner i  $2_1$  Baner ikke optage Nr. 7 somigestillet; dens Bane vil blive Cirklen  $2_2$ . Idet vi gaar videre til *Ilt* (8), *Fluor* (9) og *Neon* (10), optages ialt 4 Elektroner i  $2_2$ -Baner. Samtidig vil  $2_1$ -Banerne aftage i Størrelse,

Tabel over Elektronernes Fordeling paa de forskellige Banetyper hos de ædle Luftarter.

|            | Atom-<br>nummer | Kvantetal      |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |   |  |  |  |
|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|--|--|--|
|            |                 | 1 <sub>1</sub> | 2 <sub>1</sub> | 2 <sub>2</sub> | 3 <sub>1</sub> | 3 <sub>2</sub> | 3 <sub>3</sub> | 4 <sub>1</sub> | 4 <sub>2</sub> | 4 <sub>3</sub> | 4 <sub>4</sub> | 5 <sub>1</sub> | 5 <sub>2</sub> | 5 <sub>3</sub> | 5 <sub>4</sub> | 5 <sub>5</sub> | 6 <sub>1</sub> | 6 <sub>2</sub> | 6 <sub>3</sub> | 6 <sub>4</sub> | 6 <sub>5</sub> | 6 <sub>6</sub> | 7 <sub>1</sub> | 7 <sub>2</sub> | 7 <sub>3</sub> |   |  |  |  |
| 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              | — |  |  |  |

og Elektronerne i dem vil faa en stærkere Binding, fordi de under deres korte Kernebesøg træffer en stærkere Kerneladning. Neonatomet (se Tvl.) faar herved en „ædel Arkitektur“, paa en Gang harmonisk (afsluttet og symmetrisk) og fast tømret. Man betragter ofte hele Rækken Helium (2), Neon (10), Argon (18), Krypton (36), Xenon (54) og Niton (86), altsaa den 0-te lodrette Række i det periodiske System efter Tavlen S. 25, som de ædle Grundstoffer eller de ædle Luftarter. De er alle enatomige og ganske utilbøjelige til at indgaa kemiske Forbindelser med andre Stoffer (skønt Argon udgør ca. 1 % af Luften om os, har det af denne Grund indtil 1895 kunnet undgaa Opdagelse). Denne fuldstændige kemiske Uvirksomhed finder sin Forklaring i, at Atomerne af alle disse Stoffer har en smukt afsluttet Arkitektur med meget fast Binding af alle Elektroner. De udgør saa at sige Milepælene i det periodiske System, og man kunde sige, at de er Idealser, mod hvilke andre Atomere stræber hen. — Høstaaende Tabel viser, hvorledes Elektronerne hos disse Luftarter er fordelt paa de til forskellige Kvantetal svarende Banetyper.



Grundstofferne Fluor, Ilt og Kvælstof kan opnaa den ideale Neon-Arkitektur ved at optage henholdsvis 1, 2, og 3 Elektroner. Naturligvis bliver de ikke derved til Neonatomer, men kun til negative Atomioner med enkelt, dobbelt og tredobbelt Ladning; men deres Tilbøjeligheder i denne Retning fremtræder i deres Karakter af henholdsvis monovalente, divalente og trivalente elektronegative Grundstoffer. Gaar vi tilbage til Kulstof, da kan dette vel ikke blive til en tetravalent negativ Ion ved Optagelse af 4 frie Elektroner; men i den typiske Kulstofforbindelse, Kulbrinten Metan ( $\text{CH}_4$ ) er Neon-idealet realiseret paa anden Maade. Det er i alt Fald rimeligt at antage, at de fire Brintatomers enkelte Elektroner i Forbindelse med Kulstofatomets 6 tilnærmelsesvis danner en Neonarkitektur; de 4 Brintkerner kan dog naturligvis ikke samles med Kulstofkernen; dennes Frastødning holder dem paa passende Afstand; de vil antagelig antage fuldt symmetriske Stillinger indenfor Elektronsystemet, som fastholder dem og samtidig selv faar en Slags „Buler“. Kvælstofatomet kan paa lignende Maade opnaa en Komplettering til et neutralt Molekyl med Neon-Arkitektur, idet det forener sig med 3 Brintatomer til Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ); men de 3 Brintkerner vil her ikke indtage saa symmetriske Stillinger og ikke ligge i samme Plan som Kvælstofkernen; det „elektriske Tyngdepunkt“ for de positive Kerner vil derfor ikke falde sammen med „Tyngdepunktet“ for det negative Elektronsystem; Molekylet faar saa at sige en positiv og en negativ Pol, og denne „dipolare“ Karakter vil træde frem i Ammoniakkens elektriske Forhold (dets „Dielektricitetskonstant“). Noget lignende gælder for Vandmolekylet, hvor der i en Neonarkitektur af Elektronerne foruden Iltkernen i Midten findes 2 Brintkerner, der ikke ligger paa Linie med Iltkernen.

Gaar vi nu fra Neon fremad i det periodiske System, kommer vi til *Natrium* (11). Naar Natriumkernen skal indfange Elektron Nr. 11, kan denne ikke finde Plads i den af de 10 foregaaende dannede Neon-Arkitektur, hverken blandt  $2_1$ - eller  $2_2$ -Banerne; den bindes i en langstrakt  $3_1$ -Bane; (se Tvl.). Atomet faar aabenbart en lignende Karakter som Lithiumatomet, og man forstaar umiddelbart det kemiske Slægtskab mellem de to Stoffer; de er begge monovalente elektropositive Metaller.

Vi vil nu ikke længere dvæle ved Atomrækkens enkelte Stoffer. Idet vi fra Neon over Natrium (11), Magnesium (12), Aluminium (13), Silicium (14), Fosfor (15), Svovl (16) og Klor (17) gaar til Argon (18), faar vi i det væsentlige en Gentagelse af Forholdene ved Rækken fra Lithium til Neon; vi faar først 4 Baner af  $3_1$ -Typen (i Silicium) og derefter 4 Baner af  $3_2$ -Typen, og disse 8 3-kvantede Baner vil sammen med de 8 Baner af den indre 2-kvantede Gruppe og de 2 af den inderste 1-kvantede Gruppe danne Argons harmoniske Arkitektur. (Se Tvl.)



Argonatomet's Arkitektur er i vis Forstand mindre fuldkommen afsluttet end Neonatomet's. I Argon havde vi jo 4 Baner af  $3_1$  og 4 af  $3_2$ -Typen, men den tredje Slags 3-kvantede Baner, nemlig de cirkelformede  $3_3$ -Baner savnes endnu. De melder sig heller ikke ved Overgangen til det næste Grundstof Kalium (19). Elektronen Nr. 19 foretrækker i Stedet for en  $3_3$ -Bane, den langstrakte  $4_1$ -Bane, der vil give fastere Binding, fordi den trænger ind blandt de tidligere bundne Elektroner, medens Cirklen  $3_3$  vilde ligge helt uden om den. Vi faar derved et Atom af lignende Type som Lithium- og Natriumatomerne. Men den oversprungne  $3_3$ -Type ligger saa at sige paa Lur for at erobre sig en Plads, og dette skal faa alvorlige Følger for den paafølgende Udvikling. Endnu med Calcium (20) gaar det godt; det tager, efter at de første 18 Elektroner er bundet i Argonarkitekturen og den 19. i en  $4_1$ -Bane, endnu en Elektron til sig i en saadan Bane, og det opfører sig i alle Henseender som Magnium.

Men idet den voksende Kerneladning bevirker, at den til Kvantetallene  $3_3$  svarende Banes Dimensioner for det 19. Elektrons Vedkommende formindskes, naas der nu et Punkt, hvor den kommer til at ligge indenfor Grænsen af, hvad man kunde betegne som Argonsystemet, d. v. s. den til de første 18 Elektroner svarende Arkitektur, og den repræsenterer nu en stærkere Binding end Typen  $4_1$ ; den kan da gøre sig gældende overfor denne. I Scandium (21) optræder  $3_3$ -Typen første Gang, og den vil nu ikke blot komme i Konkurrence med  $4_1$ -Typen, men ogsaa volde Forstyrrelse i den 3-kvantede Gruppe, som nu maa undergaa en Rekonstruktion. Saa længe denne staar paa, bliver Forholdene ret indviklede og usikre. Henimod Slutningen af Reorganisationen faar vi den Udvidsken af kemiske Forskelle, som særlig er kendt fra „Triaden“ *Jærn, Kobolt og Nikkel*; tillige kommer der en Vaklen i Stoffernes Valens; Jærn kan, som tidligere nævnt, optræde baade 2, 3 og 6-valent. Denne Vaklen i Valensen begynder forøvrigt allerede ved Titan.

Man kunde vente, at Rekonstruktionen havde været afsluttet, længe før man naaede til Nikkel (28); thi allerede med 22 Elektroner kunde vi jo faa 4 Baner af hver af de 3-kvantede Typer ( $3_1$ ,  $3_2$ ,  $3_3$ ); men det viser sig, at der kan blive Plads til 6 af hver Slags. Imidlertid skulde man dog saa vente Rekonstruktionen afsluttet med Nikkel, der jo har 18 Elektroner mere end Neon, hvor de 2-kvantede Typer afsluttedes. Man kunde med andre Ord vente, at Nikkel skulde være et ædelt Grundstof i Række med Helium, Neon og Argon, og i Stedet bliver det blot en Efterligner af Kobolt. Dette beror paa, at den 3-kvantede 18-Gruppe vel har en harmonisk Arkitektur, men er ret svagt tømret, hvis Kerneladningen ikke er tilstrækkelig stor. Dens Bindinger er for svage til, at den kan eksistere som Ydergruppen i et neutralt Atom. I Nikkel vil Elektronerne derfor ordne sig paa min-



dre harmonisk Maade antagelig med 17 3-kvantede og 1 4-kvantet Bane.

Den 3-kvantede 18-Gruppe bliver imidlertid stabil, naar der kommer 1 eller flere 4-kvantede Baner udenfor den, og ligesaa naar den kan danne Ydergruppen i en positiv elektrisk Atomion. Heri finder *Kobberatomets* Egenskaber sin Forklaring. Det neutrale Kobberatom har den 29. Elektron bundet i en langstrakt  $4_1$ -Bane (se Tvl.); denne Elektron kan ret let løsrives og efterlader da en negativ monovalent Kobberion med en harmonisk Arkitektur; men selv om denne vel under disse Omstændigheder har en vis Stabilitet er den dog ikke meget fast tømret. Der kan derfor ret let løsrives endnu en Elektron, saa at man faar en divalent Kobberion. Derved forstaas det, at Kobber kan optræde baade monovalent og divalent.

Naar vi kommer til *Zink* (30) er 18-Gruppen blevet en Del fastere bundet, og Zink er derfor et reelt divalent Metal, som i sine Egenskaber minder om Calcium og Magnium. Vi faar nu i det hele taget fra Zink (30) til *Krypton* (36) en Række Grundstoffer, der paa reel Maade slutter sig til Rækken Magnium (12) til Argon (18).

I Fig. 32 er fremstillet en af Bohr angivet Ordning af det periodiske System, hvorved den indre Sammenhæng, dette skulde give Udtryk for, fremtræder langt klarere end i den almindelige Opstilling (S. 25). Vi ser bl. a., at de „uregelmæssige Stoffer“ fra Scandium til Nikkel er sat i en Ramme, og at der ved Skraalinier, som gaar uden om dem tilvejebringes Forbindelser mellem Stoffer med virkeligt Slægtskab. Forøvrigt havde den danske Kemiker *Julius Thomsen* allerede før mer end tyve Aar siden foreslaaet en Ordning af lignende Art, der dog ikke var kendt af Bohr.

I *Krypton* har vi atter en ædel Arkitektur med en Ydergruppe af 8 Elektroner, 4 i  $4_1$ -Baner og 4 i  $4_2$ -Baner. Der mangler jo imidlertid af de 4-kvantede Baner  $4_3$ - og  $4_4$ -Banerne. I det følgende sker der under lignende Fødselsveer som før en Komplettering af de 4-kvantede Baner til en 18-Gruppe, der heller ikke er tilstrækkelig fast tømret til at optræde som Ydergruppe i et neutralt Atom. Den er dog fastere tømret end 18-Gruppen af 3-kvantede Baner hos Grundstoffer, hvis Atomnummer er 18 mindre. Dette beror paa at alle Baner er aflange og derfor saa at sige forøjede i de indre Grupper, medens der hos de 3-kvantede var 6 cirkulære Baner. Hermed hænger det sammen, at Sølv i Modsætning til Kobber kun optræder monovalent.

Et ædelt Grundstof faar vi først paany i *Xenon*, hvor der udenom den 4-kvantede Gruppe har dannet sig en 5-kvantet 8-Gruppe af  $5_1$ - og  $5_2$ -Baner.

Her er imidlertid at bemærke, at den 4-kvantede 18-Gruppe endnu mangler de cirkulære  $4_4$ -Baner, og man maa derfor være forberedt paa en ny Komplettering. Denne skal imidlertid foregaa ret dybt



inde i Atomet, idet 18-Gruppen jo i Xenon allerede er dækket af en ydre 5-kvantet 8-Gruppe. Dette har til Følge, at man faar en hel Række Grundstoffer, hvis Atomer udadtil frembyder meget ringe Forskelle. Denne Række er „de sjældne Jordarter“, der paa en saa besynderlig Maade havde brudt Systemets Orden (se S. 25). Ogsaa denne Uregelmæssighed finder saaledes sin naturlige Forklaring gennem Bohrs Opbygning af Atomerne.

Efter den endelige Komplettering vil den 4-kvantede Gruppe bestaa af 32 Baner (8 for hvert Bikvantetal). Der skal dog (ligesom ved 18-Gruppen) efter Kompletteringen endnu tilbagelægges en vis Vej, inden vi naar til et nyt ædelt Grundstof, nemlig Luftarten *Niton*; bl. a. skal den 5-kvantede Gruppe, som før (ved Xenon) bestod af 4  $5_1$ -Baner og 4  $5_2$ -Baner, kompletteres til en 18-Gruppe med 6 Baner af hver af de 3 Typer  $5_1$ ,  $5_2$  og  $5_3$ ; under denne Komplettering fremkommer Platinfamilien.

Hos *Niton* træder Forskellen mellem Kerneegenskaberne og Elektronsystemets Egenskaber frem paa en særlig iøjnefaldende Maade; thi ligesaa solid Elektronsystemets Bygning er, ligesaa usolid er Kernens. *Niton* er nemlig et radioaktivt Stof — et af Radiums Nedbrydningsprodukter, den saakaldte Radiumemanation, og det har endda en meget kort Levetid; i Løbet af 4 Dage vil over Halvdelen af Kernerne i en vis Nitronmængde være eksploderet.

I Tavlen er som Eksempel paa et Atom med meget sammensat Bygning givet en skematisk Fremstilling af det berømte Grundstof *Radiums* Atom i en Maalestok dobbelt saa stor som den, der er anvendt ved de andre Atomer. Som det tydeligt nok fremgaar af det foregaaende har Bygningen af det fremstillede Elektronsystem intet med Radioaktiviteten at gøre. Det Værksted, hvorfra hele den mærkelige Straalevirksomhed udgaar, er jo selve Kernen, og den har der end ikke været Plads til at antyde paa Figuren, hvor allerede de 1-kvantede Baner kun udgør et ubetydeligt Kryds og man ved andre Grupper har maattet nøjes med summariske Antydninger. Elektronsystemet med dets 88 Elektroner er imidlertid i sig selv interessant ved en vis smuk Symmetri i Antallet af Elektroner i de forskellige Grupper; der findes i de forskellige Kvantegrupper fra 1 til 7 henholdsvis 2, 8, 18, 32, 18, 8, 2 Elektroner. Den sidste Gruppe er dog naturligvis af en ganske anden Art end den første; det er „Valenselektroner“, som kan afgive og efterlade en positiv Radiumion med ædel Arkitektur. Radium kommer derved i Slægt med de divalente Metaller Magnium, Calcium, Strontium og Barium.

Gaar vi fra Radium 4 Pladser frem kommer vi til Uran (92), og dermed er vi naaet til Vejs Ende, d. v. s. naar vi holder os til de Grundstoffer, som vides at eksistere. Bohr kan godt fortsætte Opbygningen længere og sige en hel Del om, hvorledes Grundstoffer



med højere Atomnummer maatte antages at være beskafne, hvis de kunde eksistere; at de ikke kan dette, er ikke Elektronsystemets Skyld, men derimod Kernernes, som antagelig bliver for sammensatte og for store til at være stabile. I Tavlen S. 25 vil man finde anført, hvorledes Atombygningen sandsynligvis vilde være hos det

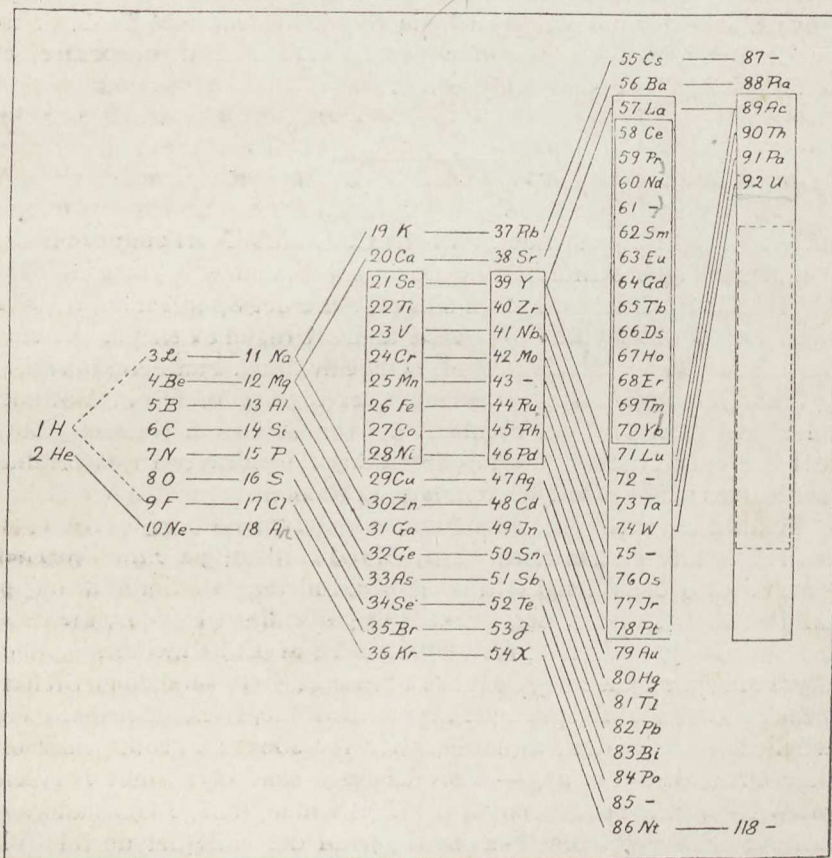


Fig. 32. Det periodiske System i Bohrs og Julius Thomsens Fremstilling. De Grundstoffer, hvor en indre Gruppe af Baner undergaar en Komplettering, er indrammede.

efter Niton følgende ædle Grundstof; det maa antages at have 118 Elektroner fordelt med henholdsvis 2, 8, 18, 32, 32, 18, og 8 paa Kvantegrupperne fra 1 til 7.

Som tidligere fremhævet har Bohr ved hele denne smukke Opbygning af Grundstofatomerne i mange Tilfælde maattet støtte de almindelige Betragtninger ved Oplysninger, iagttagelserne kunde give om de enkelte Grundstoffers Egenskaber. Men disse mere tilfældige Vejfindingsmidler, som er taget til Hjælp paa vanskelige Punkter,



kunde dog aldrig have strakt til paa den lange Vej, hvis Bohrs Kompas — Korrespondensprincippet — havde været vildledende.

Det kraftigste Vidnesbyrd om, at den Vej, Bohr har fulgt, har været den rette, har vi maaske deri, at de Atombilleder, han er naaet til, ikke blot stemmer med vore Erfaringer angaaende Grundstoffernes kemiske Forhold, men at de tillige paa den skønnest tænkelige Maade formaar at gøre Rede for de væsentligste Træk af de for de forskellige Grundstoffer karakteristiske Røntgenspektre, et Punkt, vi dog ikke skal uddybe her.

---

Vi har i det Foregaaende kun betragtet Bohrs Teori som et Middel til at vinde dybere Indsigt i de Love, der bestemmer Virksomheden i Stofverdenen. Men mange vil sikkert stille det Spørgsmaal, om den ogsaa kan „gøre Nytte“, eller med andre Ord, om den paa en eller anden Maade kan fremme Teknikkens Udvikling. Paa dette naturlige og ikke uberettigede Spørgsmaal kan der for det første i al Almindelighed gives det Svar, at Fremskridt i vor Viden om Naturens Love altid før eller senere, direkte eller indirekte bidrager til at fremme vort Herredømme over Naturen. Men Forbindelsen mellem Videnskab og Teknik kan være mer eller mindre iøjnefaldende, Vejen fra Teori til Praksis mer eller mindre banet. Hvad nu særlig Bohrs Teori angaar, da maa det vel siges, at den paa sit nuværende Stadium næppe har ført til Resultater, der direkte kan anvendes i Praksis; men idet den viser Vejen til en dybere Forstaaelse af Enkelthederne ved en uhyre Mængde fysiske og kemiske Processer, hvor forskellige Stoffers specielle Egenskaber spiller en afgørende Rolle, frembyder den i Virkeligheden en Rigdom af Muligheder for sikrere Forudsigelser om disse Processers Forløb — Forudsigelser som utvivlsomt i Tidens Løb vil komme Teknikken til Gode paa mangfoldige Omraader. Vi kan som Eksempel blot henvise til, hvad det vilde betyde for Teknikken, om Katalysen (se S. 117), der i vore Dage spiller en overordentlig stor Rolle i talrige kemiske Industrier, kunde blive saaledes opklaret, at man ikke mere behøvede at prøve sig frem i Blinde ved Valget af de gunstigste „Katalysatorer“. Det maa imidlertid blive Fremtidens Sag at vise, hvad Bohrs Teori kan komme til at betyde for Teknikken.

---





Bohrs Institut.

Fra Bohrs Teori straalder der Linier ud til alle Fysikkens og Kemiens Omraader, og i Laboratorier rundt om i Verden arbejder Videnskabsmænd efter disse Linier paa Teoriens Udvikling i Enkeltheder saa vel som i større Træk. Det er dog aabenbart af største Betydning, at der findes et Centrum for denne Forskning — ikke blot det rent aandelige Centrum, som repræsenteres af Bohrs Tankearbejde, men ogsaa noget mere haandgribeligt: et Sted, hvor Bohr og hans Medarbejdere i Forening kan udføre ikke alene teoretiske, men ogsaa eksperimentelle Undersøgelser, og hvorhen Forskere kan søge fra fremmede Lande for at høste Belæring og Impulser til deres Arbejde, samtidig med at de ogsaa selv kan stille deres Erfaringer i Bohrs Tjeneste.

Et saadant Midtpunkt for Atomforskningen blev skabt ved Oprettelsen af *Universitetets Institut for teoretisk Fysik* („Bohrs Institut“), der blev aabnet i Marts 1921.

Instituttet indeholder foruden Forelæsningsaal, Biblioteksværelse og Værelser for Lederen, videnskabelig Assistent m. m., 7 Arbejdsværelser, der er udstyret med moderne Hjælpemidler til fysiske og kemiske Forsøg. Blandt de Apparater, Instituttet ejer, maa særlig fremhæves Spektroskoper af forskellig Slags, Gittere, o. s. v. Af stor Betydning er en 7 m dyb Brønd, der findes i det største Arbejdsværelse i Kælderetagen, og paa hvis Bund der er anbragt en Konkavgitteropstilling; Arbejdet med de største Konkavgittere kræver nemlig, at man raader over store Afstande, og at Gitteret er godt beskyttet mod Temperaturændringer, og begge disse Krav er paa



ideel Maade opfyldt ved Opstillingen i en saadan Brønd. De Straaler, der skal undersøges, sendes saa ovenfra ned til Gitteret og fra dette atter op til fotografiske Plader. Blandt de Eksperimentalarbejder, som allerede er udført paa Instituttet, kan nævnes en omfattende Undersøgelse over elektriske og magnetiske Felters Indvirkning paa Kviksølvspektret af *H. M. Hansen*, *S. Werner* og Japanneren *Takamine*. — Endnu maa nævnes Instituttets rent tekniske Udstyr — dets Værksted, dets Maskinrum og dets elektriske Anlæg — i hvis Indretning Bohr selv har nedlagt et stort Arbejde.

---



Nedenfor er anført Betydningen af enkelte Betegnelser, som anvendes forskellige Steder i Bogen, og som ikke er umiddelbart forstaaelige for alle Læsere; endvidere er angivet Værdien af enkelte vigtige i Bogen forekommende fysiske Størrelser (fysiske Konstanter) m. m.

$$n^2 = n \times n = n \cdot n; n^3 = n \cdot n \cdot n; 10^8 = 100\,000\,000 \text{ o. s. v.}$$

$$10^{-5} = 1 : 10^5 = 0,00001.$$

$$1 \text{ m} = 1 \text{ Meter}; 1 \text{ cm} = 1 \text{ Centimeter}.$$

$$1 \mu = 1 \text{ Mikron} = 1 \text{ Tusindedel Millimeter} = 0,0001 \text{ cm} = 10^{-4} \text{ cm}.$$

$$1 \mu\mu = 1 \text{ Milliontedel Millimeter} = 10^{-7} \text{ cm}.$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ Kubikcentimeter}.$$

$$1 \text{ g} = 1 \text{ Gram}; 1 \text{ kg} = 1 \text{ Kilogram}.$$

$$1 \text{ kgm} = 1 \text{ Kilogrammeter (} \circ \text{: det Arbejde eller den Energi, der kræves til at løfte 1 kg 1 m)}.$$

$$1 \text{ erg} = 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ kgm}.$$

$\lambda$  betegner en Bølgelængde.

$\nu$  betegner et Svingningstal ( $\circ$ : Antal Svingninger i 1 Sek.).

$\omega$  betegner et Omløbstal ( $\circ$ : Antal Omløb i 1 Sek.).

$n$  betegner et helt Tal (særlig de Bohr'ske Kvantetal).

Lysets Hastighed er  $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm i 1 Sek.}$

Bølgelængden af gult „Natriumsls“ er  $0,589 \mu = 589 \mu\mu$ .

Svingningstallet for gult Natriumsls er  $526 \cdot 10^{12} \text{ i 1 Sek.}$

Antallet af Molekyler i  $1 \text{ cm}^3$  ved  $0^\circ \text{ C.}$  og atmosfærisk Tryk er ca.  $27 \cdot 10^{18}$ .

Antallet af Brintatomer i  $1 \text{ g}$  er ca.  $6 \cdot 10^{23}$ .

Et Brintatoms Masse (Vægt) er  $1,65 \cdot 10^{-24} \text{ g.}$

Et elektrisk Elementarkvantum er  $4,77 \cdot 10^{-10} \text{ „elektrostatisk Enheder“}.$

En Elektrons negativ elektriske Ladning er 1 Elementarkvantum („1 negativ Ladning“).

En Brintkernes positiv elektriske Ladning er 1 Elementarkvantum („1 positiv Ladning“).



En Elektrons Masse er  $\frac{1}{1836}$  af Brintatomets.

En Elektrons Diameter anslaaes til ca.  $3 \cdot 10^{-13}$  cm.

Atomkernernes Diameter er af Størrelseordenen  $10^{-13}$  à  $10^{-12}$  cm.

Et Brintatoms Diameter i Normaltilstanden (d: Diameteren af den første stationære Bane i Bohrs Model) er  $1,056 \cdot 10^{-8}$  cm.

Balmers Konstant  $K = 3,29 \cdot 10^{15}$ .

Plancks Konstant  $h = 6,54 \cdot 10^{-34} = 6,543 \cdot 10^{-27}$  erg sek.

Et Energikvantum er  $E = h \cdot \nu$ .

Balmer-Ritz' Formel for Svingningstallene af Brintens Spektrallinier er

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



## LITTERATURHENVISNING

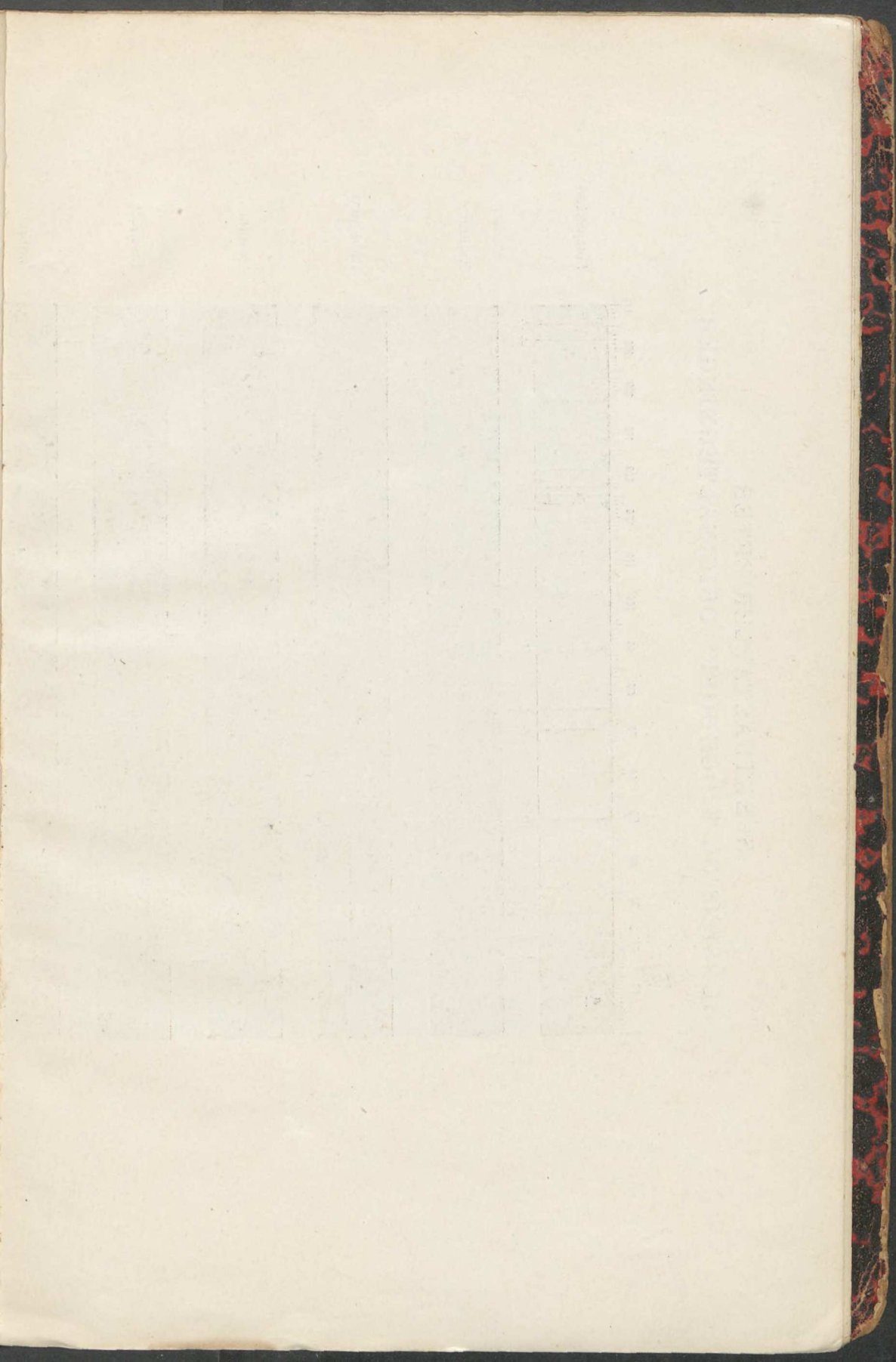
Af Bøger, der i fuldt almenfattelig Form behandler de før-Bohrske Opdagelser om Stoffets Natur, findes paa dansk *Kirstine Meyer: Radium og de radioaktive Stoffer* (1904). En nyere, mindre populær, men dog let tilgængelig Fremstilling af samme Emne er *Ellen Gleditsch og Eva Ramstedt: Radium og de radioaktive Processer* (Kria. 1917). Mere omfattende i sit Emne er *E. S. Johansen: Elektricitet og Stof* (1920), hvor ogsaa Bohrs Teori er omtalt. En ret let læselig tysk Bog er *L. Graetz: Die Atomtheorie* (3. Opl. 1921). Endvidere kan henvises til talrige Artikler i „Fysisk Tidsskrift“, deriblandt Artikler om Bohrs Teori af *Bohr* og af *Kramers*, samt til en Artikel af *Kramers* i „Nordisk astronomisk Tidsskrift“ (1922): Planetsystem og Atom.

Af *Bohr* findes paa dansk en lille Bog: Atomernes Bygning og Stoffernes fysiske og kemiske Egenskaber (1921). Paa tysk er udkommet: *Abhandlungen über Atombau aus den Jahren 1913—1916*, hvori Bohrs Afhandling fra 1913 (s. S. 78) er gengivet, samt *Drei Aufsätze über Spektren und Atombau* (1922). I „Videnskabsnernes Selskabs Skrifter“ er udkommet *On the quantum theory of the line spectra* (1918). Forøvrigt er de fleste af Bohrs Arbejder fremkommet i engelske og tyske Tidsskrifter.



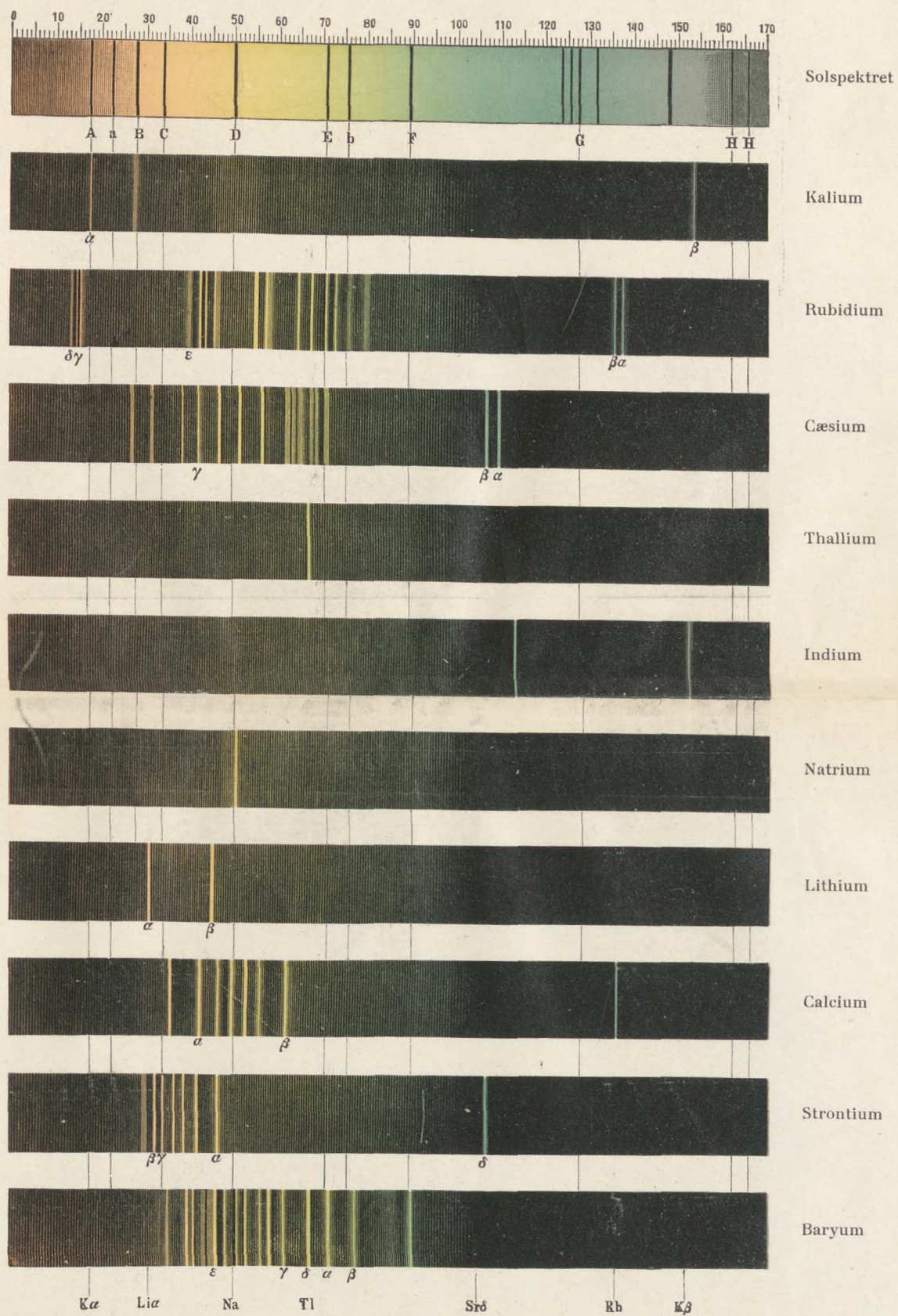








# SPEKTRALTAVLER EFTER BUNSENS OG KIRCHHOFFS ORIGINALTEGNINGER









ÆK AF

BYNDSTOEER

**BOGHALLEN**  
**ALFRED G. HASSING**  
**POLITIKEN'S HUS**  
RAADHUSPLADSEN  
TLF: 8297.

**DANSK BOGAFL.**

Skønlitteratur  
Faglitteratur  
Samlede Værker  
Gavebøger  
Stilfulde Indbindinger  
— Største Lager —  
Samtlige i Biblioteket indregis-  
trerede Bøger kan leveres.

**UDENLAND. BOGAFL.**

Stort Lager af:  
Engelsk — Fransk  
Tysk — Russisk  
Italiensk — Spansk  
Skønlitteratur  
Ordbøger og Lærebøger  
Daglig Forskrivning fra  
Udlandet.

**FOTO-AFL.**

Har De glemt at købe  
Film  
benyt da Filmautomaten  
Virker hele Døgnet  
Fotografiapparater i  
verdenskendte Fabrikater

**PAPIR-AFL.**

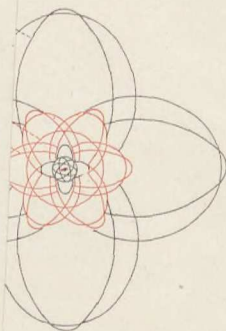
Æskepost  
Blokpost  
Fyldepenne  
Pencils  
Ringbøger  
Crêpe-Servietter  
med Monogram  
er lige saa smukke  
som Stof-Servietter

**KUNST-AFL.**

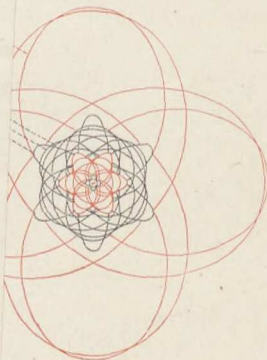
Haandsmedet Tin  
udført af Kunstneren  
Just Andersen  
Stort Udvalg i Nyttgenstande  
Malerier paa Ratebetaling  
Smykker — Keramik  
Broncer — Skrivegær-  
niturer — Signeter  
m. m.

**ANTIUVARIATET**

Gamle sjældne Bøger  
Original Udgaver  
Største Lager  
Paa Forlangende kan fremskaffes  
enhver Bog.  
Katalog udleveres.



CRYPTON (36)



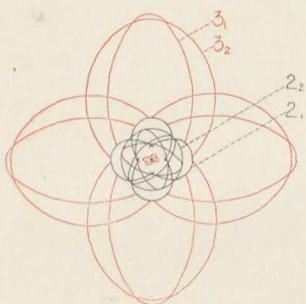
XENON (54)



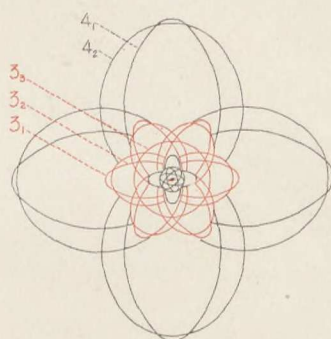




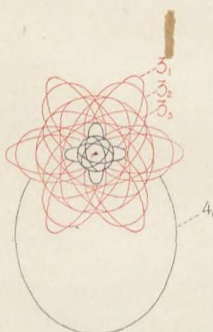
# ÆK AF GLE GRUNDSTOFFER



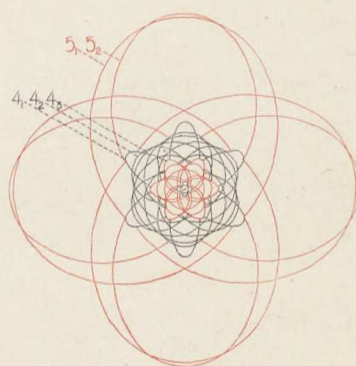
ARGON (18)



KRYPTON (36)



KOBBER (29)



XENON (54)



# HOGWALTEN ALFRED G. HASSING PORTHENT HUS RACHSUTADSEN 11. 1925

## FARMER

1. 1. 1925  
 2. 1. 1925  
 3. 1. 1925  
 4. 1. 1925  
 5. 1. 1925  
 6. 1. 1925  
 7. 1. 1925  
 8. 1. 1925  
 9. 1. 1925  
 10. 1. 1925

## FARMER

1. 1. 1925  
 2. 1. 1925  
 3. 1. 1925  
 4. 1. 1925  
 5. 1. 1925  
 6. 1. 1925  
 7. 1. 1925  
 8. 1. 1925  
 9. 1. 1925  
 10. 1. 1925

## FARMER

1. 1. 1925  
 2. 1. 1925  
 3. 1. 1925  
 4. 1. 1925  
 5. 1. 1925  
 6. 1. 1925  
 7. 1. 1925  
 8. 1. 1925  
 9. 1. 1925  
 10. 1. 1925

## FARMER

1. 1. 1925  
 2. 1. 1925  
 3. 1. 1925  
 4. 1. 1925  
 5. 1. 1925  
 6. 1. 1925  
 7. 1. 1925  
 8. 1. 1925  
 9. 1. 1925  
 10. 1. 1925

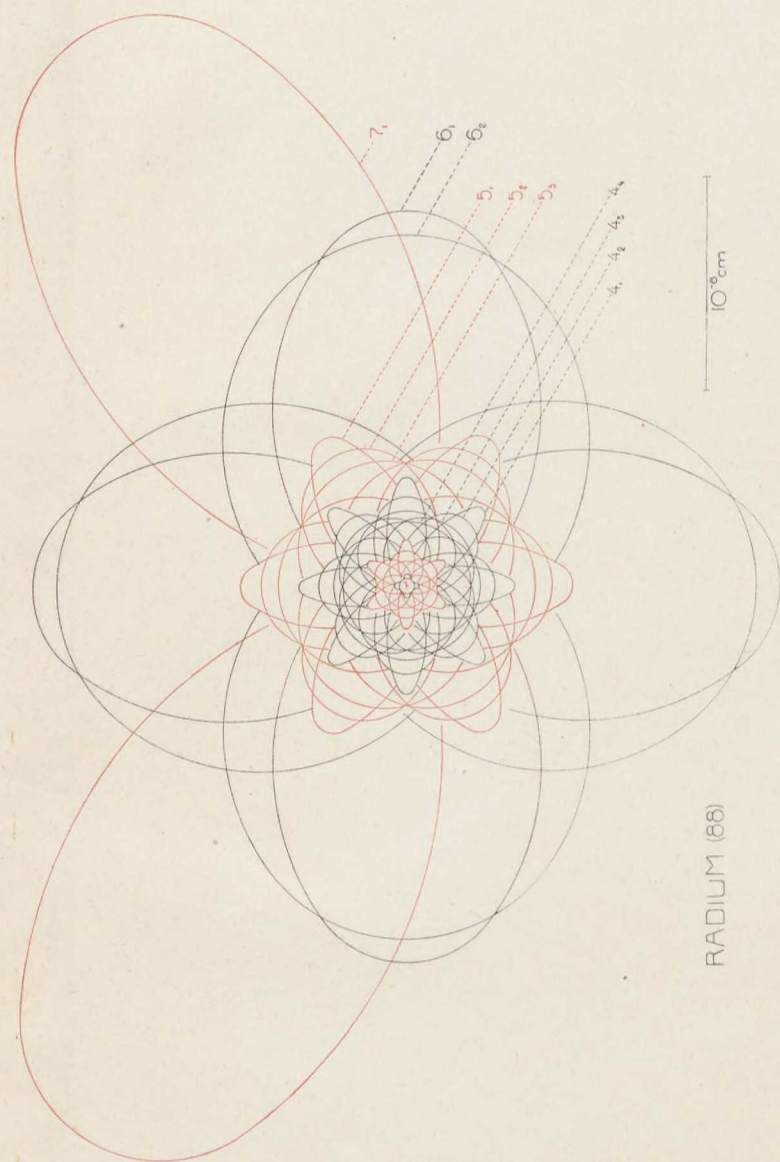
## FARMER

1. 1. 1925  
 2. 1. 1925  
 3. 1. 1925  
 4. 1. 1925  
 5. 1. 1925  
 6. 1. 1925  
 7. 1. 1925  
 8. 1. 1925  
 9. 1. 1925  
 10. 1. 1925

## FARMER

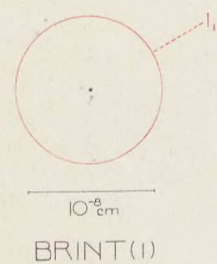
1. 1. 1925  
 2. 1. 1925  
 3. 1. 1925  
 4. 1. 1925  
 5. 1. 1925  
 6. 1. 1925  
 7. 1. 1925  
 8. 1. 1925  
 9. 1. 1925  
 10. 1. 1925



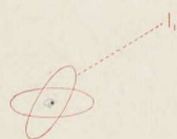


RADIUM (88)

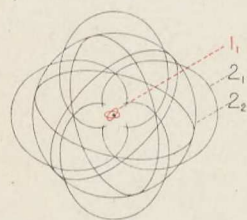
# ATOMBYGNINGEN HOS RADIUM



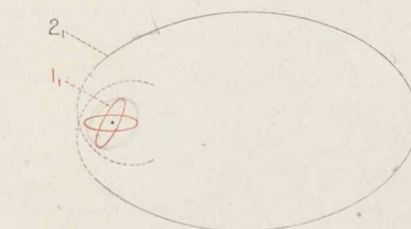
BRINT (1)



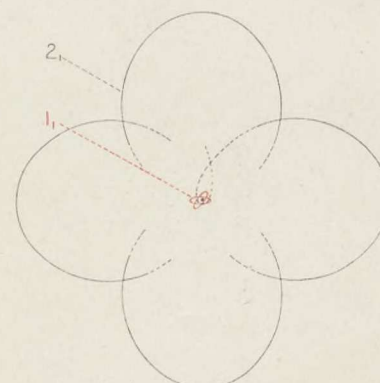
HELIUM (2)



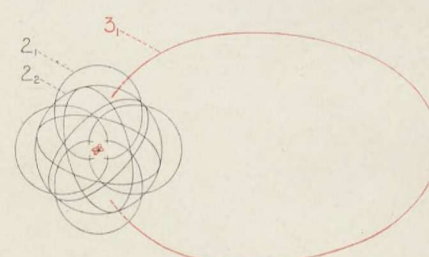
NEON (10)



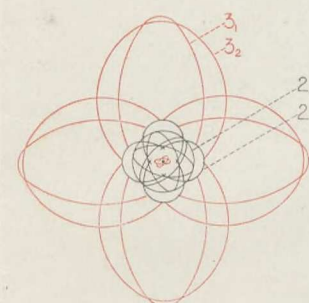
LITHIUM (3)



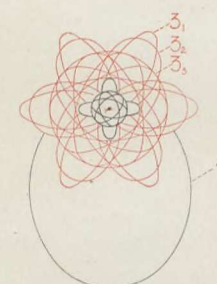
KULSTOF (6)



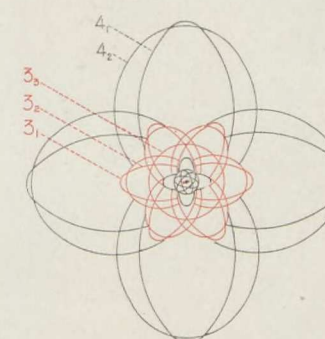
NATRIUM (11)



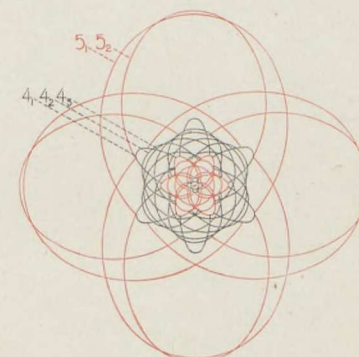
ARGON (18)



KOBBER (29)



KRYPTON (36)



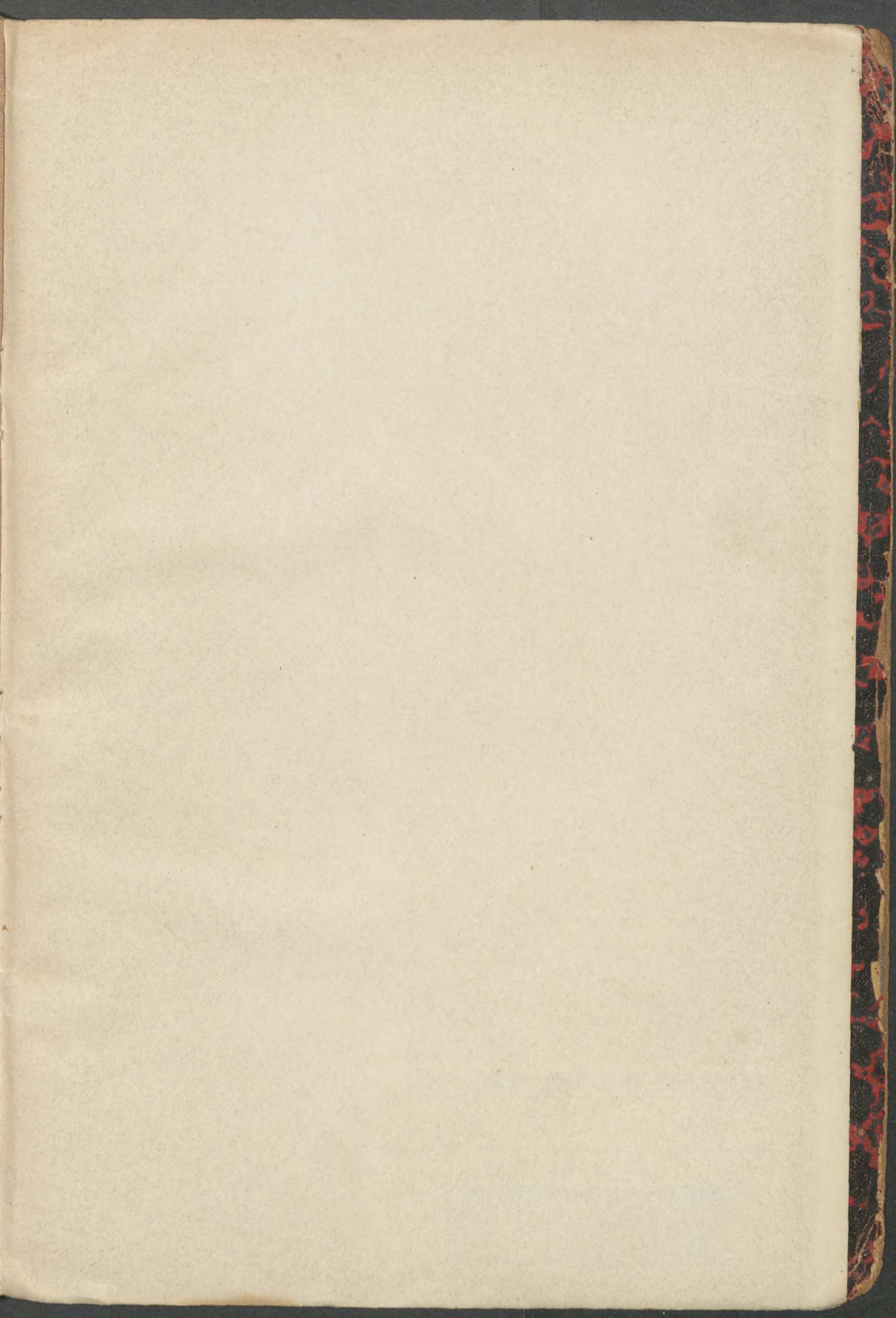
XENON (54)

## HOVEDTRÆK AF ATOMBYGNINGEN HOS NOGLE GRUNDSTOFFER















DANMARKS TEKNISKE BIBLIOTEK

M 00 7100 868

300004096936





