

ERIK RÜDINGER

Det store gennembrud i atomfysikken
1913

Som det er antydnet i titlen på denne række foredrag – der nu er blevet til en række kapitler – har det været tanken at mindes Niels Bohr i 100-året for hans fødsel. Det var imidlertid ikke hensigten, at det skulle handle så meget om Niels Bohr som person, men at vi i stedet først og fremmest skulle fortælle om den udvikling af atomfysikken, som han stod i centrum af, og om den vældige udvidelse af vor forståelse af vilkårene for naturbeskrivelsen, som den førte med sig. Alligevel synes jeg, at det er naturligt at indlede foredragsrækken med at prøve at sætte Niels Bohrs indsats i et historisk perspektiv. Jeg vil gøre det ved at citere et lille stykke af en nekrolog over Bohr, skrevet af den franske fysiker Francis Perrin, der om Bohr og den »fysikerskole«, han skabte i København, siger:

Det er fremfor alt hans filosofiske tænkning, der har fornyet vor opfattelse af den objektive virkelighed. Denne tænkning – der ledede ham i hans opdagelser, samtidig med at den udviklede sig – har gjort ham til den uovertrufne mester blandt de store reformatorer, som har grundlagt og opbygget kvantemekanikken ved at revolutionere de grundlæggende principper og begreber i fysikken. Denne mesterens store indflydelse på sine elever udviklede sig i årene efter 1. verdenskrig inden for rammerne af Institutet for teoretisk Fysik i København. Her syntes det under, som det af Platon grundlagte og besjælede Akademi var, at blive vakt til live på ny efter 25 århundreders forløb. Dette institut i København påvirkede udviklingen af en hel tidsalders videnskabelige tænkning; det var her, at tankerne hos Heisenberg, Pauli, Dirac og mange andre elever udviklede sig under Niels Bohrs inspiration gennem endeløse diskussioner mage til dialogerne ved Platons Akademi.

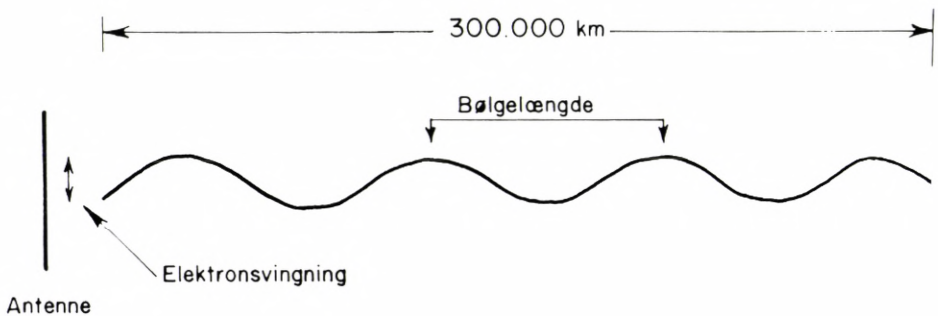
Vi skal i dag beskæftige os med Bohrs atomteori fra 1913, der med Perrins ord har »revolutioneret de grundlæggende principper og begreber i fysikken«, og som derfor med rette kan betegnes som det store gennembrud i atomfysikken. Men for til fulde at kunne påskønne et gennembrud og forstå hvor revolutionerende det var, er det vigtigt at leve sig ind i de tanker og forestillinger, der gik forud. Jeg vil derfor ret udførligt dels beskrive den baggrund, som vi i dag kalder den »klassiske« teori, dels antyde de »nøgler«, Bohr skulle bruge til opstillingen af sin teori.

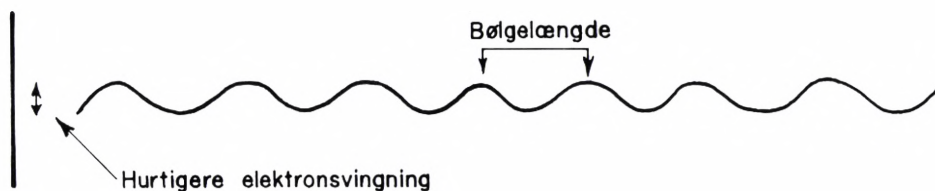
1. Den »klassiske« teori

Kort før år 1900 opdagede den engelske fysiker J.J. Thomson, at der eksisterede en mikroskopisk partikel med negativ elektrisk ladning, som han kaldte en *elektron*. Det blev snart klart, at alle stoffer indeholder sådanne partikler, som derfor må betragtes som en fundamental bestanddel af alt stof.

Ca. 30 år forinden havde en skotsk fysiker James Clerk Maxwell fremsat sin grundlæggende teori for elektriske og magnetiske fænomener, den teori, vi i dag betegner som »den klassiske elektrodynamik«. Det fremgik heraf, at en elektrisk ladet partikel, som f.eks. blev bevæget op og ned, skulle udsende vekslende elektriske og magnetiske felter, der bevægede sig ud i rummet med den næsten ufattelige hastighed af 300.000 km i sekundet. Ca. 20 år senere frembragte og påviste den tyske fysiker Heinrich Hertz disse såkaldte *elektromagnetiske bølger*, der indledte en vældig udvikling, og som vi nu skal se lidt nærmere på.

Lad os prøve at tænke på noget konkret som f.eks. en radio- eller





fjernsynsantenne på en sendestation. Heri har man elektroner, der som på figuren her svinger op og ned.

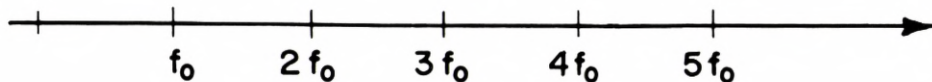
For hver svingning op og ned frembringer elektronerne én bølge, og selv om det, som man vil forstå, er en helt anden slags bølger end f.eks. bølger på vand, kan man ligesom for disse definere en *bølgelængde* som afstanden fra en bølgetop til den næste. Vi bemærker igen, at i løbet af ét sekund har bølgen bevæget sig 300.000 km væk fra antennen.

Lad os nu tænke os, at elektronerne begynder at svinge hurtigere. Da hver svingning giver anledning til én bølge, og bølgen stadig skal udbrede sig 300.000 km på ét sekund, ser man, at bølgelængden må blive lige så mange gange mindre, som antallet af svingninger pr. sekund bliver større. Med andre ord: hvis elektronerne svinger 10 gange hurtigere, bliver bølgelængden 10 gange mindre, fordi der skal være plads til 10 gange så mange bølger på den samme længde.

At man således kan regulere bølgelængden ved hjælp af elektronernes svingninger, er meget vigtigt i praksis; det er jo på den måde, at de forskellige radiostationer skilles fra hinanden. Hvert program sendes på sin karakteristiske bølgelængde, der er markeret på skalaen på radiomodtageren. Bølgelængderne for almindelige radioudsendelser ligger fra nogle få meter op til et par kilometer.

I fysikken foretrækker vi ofte i stedet for bølgelængden at angive antallet af svingninger af elektronerne – eller bølgerne – pr. sekund, som vi kalder *frekvensen*. Enheden er opkaldt efter Hertz, og da bølgelængden er bestemt ud fra frekvensen og omvendt, kan man på radiomodtageren lige så godt inddele skalaen i den ene enhed som i den anden.

Vi har faktisk indtil nu stiltiende tænkt på det tilfælde, hvor elektronerne svinger ganske regelmæssigt op og ned. Hvad sker der, hvis de svinger på en uregelmæssig måde? Så bliver bølgen også uregelmæssig, men det viser sig, at man altid kan opfatte den, som om den er sammensat af en del, der svinger med samme frekvens som elektronerne, en der svinger med den dobbelte frekvens, en der svinger med den tredobbelte frekvens o.s.v. Med andre ord, hvis vi kalder elektronens frekvens for f_0 , vil bølgen indeholde dele, der svinger med frekvenserne f_0 , $2f_0$, $3f_0$, ...



Frekvenser ifølge klassisk teori.

o.s.v. Hvis vi laver en analogi til lydbølger, svarer den første til grundtonen, medens de andre svarer til de forskellige overtoner.

Lad os, inden vi slutter denne del, spørge: »Hvad med energien?« Radiosignalet kan jo opfanges på en radiomodtager og afgiver altså *energi* til denne. Hvor kommer den energi fra? Den kommer fra bølgen og altså til syvende og sidst fra elektronens bevægelse. Vi må derfor stadig tilføre elektronerne i antennen ny energi, ellers vil deres svingninger blive mindre og mindre og til sidst helt gå i stå.

2. Forestillinger om atomerne

Vi synes måske nu at være kommet meget langt væk fra atomerne, som jo var vort egentlige emne. Men det er vi faktisk slet ikke, som vi skal se om et øjeblik. Hvis det er rigtigt, at alt stof er opbygget af *atomer*, og at alt stof indeholder *elektroner*, ja så er der jo ikke langt til den tanke, at elektronerne er bestanddele af atomerne. Spørgsmålet er da, *på hvilken måde* elektronerne indgår i atomerne af de forskellige grundstoffer. Atomerne er i almindelighed elektrisk neutrale, men det må betyde, at et atom må indeholde en *positiv* elektricitetsmængde, der er lige så stor som den samlede negative elektricitetsmængde af de elektroner, det indeholder.

Hvordan kan nu opbygningen af et sådant atom tage sig ud? En af de tidlige forestillinger herom stammer fra den samme *J.J. Thomson*, som opdagede elektronen. Thomson kom på den i og for sig meget rimelige idé, at den positive elektricitet kunne være tværet ud over hele atomet, og at de negative elektroner så kunne befinde sig på bestemte pladser rundt om i atomet, hvorom de kunne sidde og svinge. Denne model af et atom har man spøgende kaldt »rosinbollemodellen«.

Nu er den store styrke ved naturvidenskaben, at forkerte ideer kun kan overleve i en begrænset tid, idet de før eller siden kommer i modstrid med *eksperimenterne*. Det var netop hvad der skete med Thomsons »rosinbollemodel«.

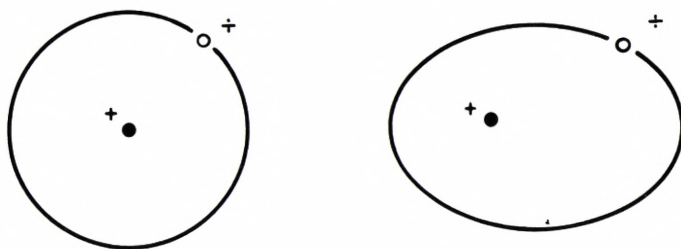


Thomsons atommodel.

I 1907 var en New Zealandsk fysiker *Ernest Rutherford* blevet professor ved fysiklaboratoriet i Manchester. Rutherford var – ligesom senere Bohr – en mester i at give sine elever gode ideer. I 1909 foreslog han to af sine yngre medarbejdere og elever, englænderen *Ernest Marsden* og tyskeren *Hans Geiger* – hvis navn jo senere blev udødeliggjort ved den tæller, han opfandt – at undersøge hvad der skete, hvis man skød nogle positivt ladede partikler, som vi kalder α -partikler, ind mod et meget tyndt metalfolie. Resultatet var aldeles overraskende, idet det viste sig, at nogle af α -partiklerne vendte tilbage fra samme side af metalfoliet, som man havde skudt dem ind mod. Man har sammenlignet udfaldet af dette eksperiment med den overraskelse, man ville få, hvis man skød nogle projektiler ind mod et ark papir, og det så viste sig, at nogle af dem blev kastet tilbage fra papiret.

Det er vel næsten indlysende, at dette betød dødsstødet for Thomsons atommodel, men Rutherford fandt snart forklaringen. Den positive elektricitet er slet ikke tværet ud over atomet, men befinder sig tvært-

Brintatom efter Rutherfords atommodel.



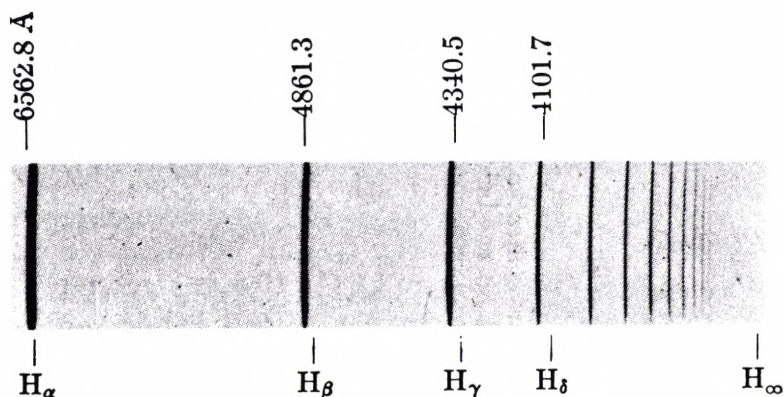
imod i en meget lille og tung *kerne*, hvorom elektronerne kredser ligesom planeterne om solen, og som de tilbagekastede α -partikler måtte være stødt imod. Ud fra den brøkdelt af α -partiklerne, der blev kastet tilbage, kunne Rutherford regne ud, at kernen måtte være næsten forsvindende lille i forhold til afstanden ud til elektronerne, altså til hele atomets størrelse; det meste måtte være tomt rum. Bohr har selv engang på en film, hvor han sidder med en pibe i hånden, givet denne sammenligning: »Hvis kernen var på størrelse med denne pibe, så ville elektronerne befinde sig i et område som hele Storkøbenhavn«. Denne model af atomet kalder vi *Rutherfords atommodel*.

3. Problemer med Rutherfords atommodel

Opdagelsen af Rutherfords atommodel fandt sted i årene 1909-11, og netop i efteråret 1911 kom Bohr til England, men ganske vist til laboratoriet i Cambridge, hvor J.J. Thomson var professor. Dette besøg blev imidlertid en stor skuffelse for Bohr, og han besluttede sig til i stedet i foråret 1912 at tage til Rutherford i Manchester. Han knyttede her et varmt venskab med den næsten 15 år ældre Rutherford, som varede lige til Rutherfords død 25 år senere. I Manchester blev Bohr naturligvis meget interesseret i Rutherfords forestillinger om atomet, og det stod ham snart klart, at der var meget store problemer forbundet med denne atommodel. I det følgende skal jeg fortælle om disse problemer, hvorved jeg ikke vil holde mig strengt til en historisk fremstilling, men prøve at fremstille det på en måde, som med den bagklogskab vi har i dag måske er lidt klarere.

Der er en meget fundamental forskel på Rutherfords atommodel og planetsystemet, nemlig at elektronerne er elektrisk ladede, og derfor minder atomet i en vis forstand meget mere om en lille radioantenne. Lad os for nemheds skyld betragte et brintatom, hvor vi bare har en enkelt elektron kredsende om den positive kerne. Det minder måske ikke ret meget om den svingende bevægelse i radioantennen, men set fra et fysisk synspunkt er der faktisk ikke så stor forskel – tænk Dem f.eks. at De ser banen fra kanten. Efter teorien skal elektronerne derfor, hvis de kredser i en cirkelbevægelse, udsende en elektromagnetisk bølge med én bølgelængde for hver omdrejning, d.v.s. med en frekvens, der er lig det antal gange, elektronen kredser om kernen pr. sekund.

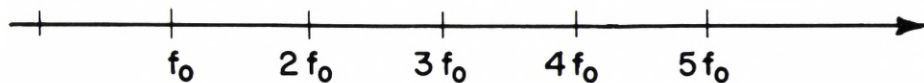
Hvordan skal vi nu kunne studere denne mikroskopiske bevægelse?



Balmer-serien.

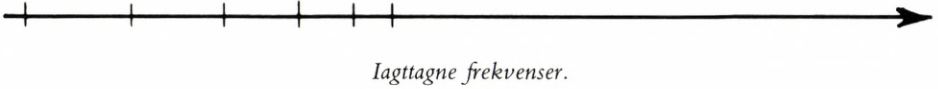
Naturligvis ved hjælp af den udsendte bølge, men hvad skal vi bruge som radiomodtager? Det er faktisk i mange tilfælde meget simple end med radiobølgerne, for frekvenserne er så store og bølgelængderne så små, at nogle af dem kommer inden for det område på nogle titusindedele af en millimeter, for hvilket vi så at sige har en indbygget modtager, nemlig *øjet!* Med andre ord, det, atomerne udsender, er *lys*, og den eneste forskel fra radiobølgerne er den meget mindre bølgelængde. Øjet er endda så fint indrettet, at det automatisk kan skelne mellem de forskellige bølgelængder, idet disse udgør de forskellige *farver*. Til et nøjere studium af det lys, der udsendes af atomerne, må man naturligvis have apparatur til bedre at skille de forskellige farver ad; det er siden *Newtons* tid velkendt, at f.eks. et prisme er i stand til dette. Ved således at studere det lys, der udsendes af forskellige stoffers atomer, skulle man altså kunne få oplysning om omløbstiderne – eller frekvenserne – af elektronerne i de forskellige stoffers atomer.

Og så viste det sig, at det hele slet ikke kunne passe! Hvis vi f.eks. forestiller os, at elektronen i brintatomet kredser noget uregelmæssigt om kernen – f.eks. i en ellipsebane som planeterne om solen – så har vi set, at vi skulle vente at få en bølge sammensat af disse frekvenser:



Frekvenser ifølge klassisk teori.

I stedet får vi noget som her, hvor mellemrummene bliver mindre og mindre og nærmer sig en bestemt grænse! Dette er faktisk teoretisk set



totalt uforståeligt, men det var alligevel allerede året før Bohrs fødsel lykkedes en schweizisk matematiker *Balmer* at finde en formel for en sådan serie linier i brint, som til ære for ham kaldes *Balmer-formlen*. Jeg skal ellers ikke belemre Dem med matematiske formler, som heller ikke er nødvendige for de følgende ræsonnementer, men jeg vil dog lige anføre Balmer-formlen for de i denne serie udsendte frekvenser f :

$$f = Rc \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots$$

hvor R betegner en konstant (*Rydberg-konstanten*) og c betegner lyshastigheden.

Til gengæld var der ingen *fysisk teori*, der kunne forklare, hvorfor denne formel var den rigtige. Om dens rigtighed var Balmer selv så overbevist, at han udtrykte den mening, at den måtte rumme en vigtig nøgle til forståelsen af materiens struktur – i sandhed profetiske ord!

Det er jo i sig selv galt nok, at der ingen teoretisk begrundelse kan gives for Balmers formel, som snarere er i modstrid med hvad man skulle vente ud fra enhver »fornuftig« teori; men det bliver værre endnu! Hvad med energien? Elektronen skulle jo hele tiden miste energi ved det lys, den udsender, og den skulle derfor »falde« ind mod kernen i en hurtigere og hurtigere spiralbevægelse, hvorved den i løbet af en brøkdelen af et sekund ville blive opslugt af kernen, således at atomet ville falde sammen.

Vi ser her en figur, Bohr selv har lavet, hvor han viser denne situation og udregner forandringen i banen. Atter siger de eksperimentelle kendsgerninger noget helt andet: Atomerne er noget af det mest stabile, man har; faktisk er de meget mere stabile end planetsystemet. F.eks. fremhævede Bohr ofte, at medens en fremmed stor komet, som pludselig kom ind i vort solsystem, kunne lave en frygtelig ravage i planeternes baner, kan atomerne støde sammen et næsten ufatteligt antal gange, uden at deres egenskaber ændres.

Lad os inden vi går videre opsummere: Rutherford's atommodel, som

$$d\frac{1}{2}mv^2 = d\frac{e^2}{h} - \frac{v^4}{c^2} \frac{2e^2}{3c^3}, \quad 1^{st} \text{ Approximation}$$

$$mv^2 = \frac{e^2}{h} = \frac{e^2}{h} \left(1 + \frac{1}{h} \frac{dh}{d\omega^2}\right),$$

$$d(mv^2) = d\frac{e^2}{h} + e^2 \frac{d\frac{1}{h}}{d\omega^2}$$

$$\frac{1}{2} d\frac{e^2}{h} - e^2 \frac{d\frac{1}{h}}{d\omega^2} = \frac{v^4}{c^2} \frac{2e^2}{3c^3} dt, \quad \frac{d\omega}{dt} = \omega$$

~~$$\frac{d\omega}{dt} = \omega$$~~

$$-\frac{dh}{dt} = \frac{v^3}{c^2} \frac{4}{3} \omega$$

$$\frac{d^2h}{dt^2} = \frac{4}{3} \frac{v^3}{c^2} \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{dh}{d\omega^2} = \frac{v^3}{c^2} \frac{4}{3}$$

$$h \frac{d\omega}{dt} =$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \omega$$

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{m\omega^2} \frac{d\omega}{dt} = -\frac{2e^2}{3mh^2} \frac{v^3}{c^2}$$



$$m\omega^2 = \frac{e^2}{mh^2}$$

$$-\frac{dh}{dt} = \frac{v^3}{c^2} \frac{4}{3} \omega$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{3}{2} \frac{e^2}{m\omega^2} \frac{4}{3} \frac{v^3}{c^2} = -2 \frac{m^3}{c^3} \frac{e^2}{m}$$

the quantum theory tends not only to the mechanics

but the mechanics tend to the quantum theory

(mechanics look for "transitions" and for "stationary states")

$$\frac{d\omega}{dt} = 2 \frac{\omega^3}{c^2} \frac{v^2 e^2}{m}$$

$$d\omega = \frac{A}{m^2} - \frac{A}{m^2} \omega = \frac{3A}{m^2} = 2 \frac{A^2}{m^2 c^3} t$$

$$N = \omega t = \frac{m^2}{2A} =$$



TA hu

er den eneste, der er forenelig med Geiger og Marsdens forsøg, har ifølge den klassiske teori to grundlæggende skavanker: den kan hverken forklare systemet i spektrallinierne eller atomernes stabilitet, og det var netop disse to fundamentale punkter, Bohr slog ned på.

4. Bohrs atomteori

Det er på den baggrund, der her er skitseret, at vi skal se Bohrs indsats. Om den situation, der her var opstået i fysikken, sagde *Einstein* mange år senere:

... det var, som om gulvet var trukket væk under én, uden at der nogetsteds var en fast grund, man kunne bygge på.

Til at løse sit problem skulle Bohr nu bruge forskellige »nøgler«, og vi har allerede omtalt to af dem, nemlig *Rutherfords atommodel* og *Balmerformlen*. Men Bohr skulle faktisk bruge to mere, som jeg nu skal omtale ganske kort. For det første havde den tyske fysiker *Max Planck* lige efter århundredskiftet fundet ud af, at en svingende elektron – som den i antennen – ikke kan optage eller afgive energi i vilkårligt små mængder, men kun i bundter, som man kaldte »kvanter«. Disse kvanters størrelse er produktet af elektronens svingningsfrekvens og en ny naturkonstant, som vi kalder *Plancks konstant* og betegner med h .

For det andet viste en anden tysk fysiker, *Albert Einstein*, der dengang var ung og ukendt, nogle få år senere, at selve strålingen på en eller anden mystisk måde – i hvert fald under visse omstændigheder – måtte opfattes som bestående af sådanne energibundter eller kvanter. Men det var unægteligt ikke mange, der forestillede sig, at sådanne ting havde noget med atomernes bygning at gøre!

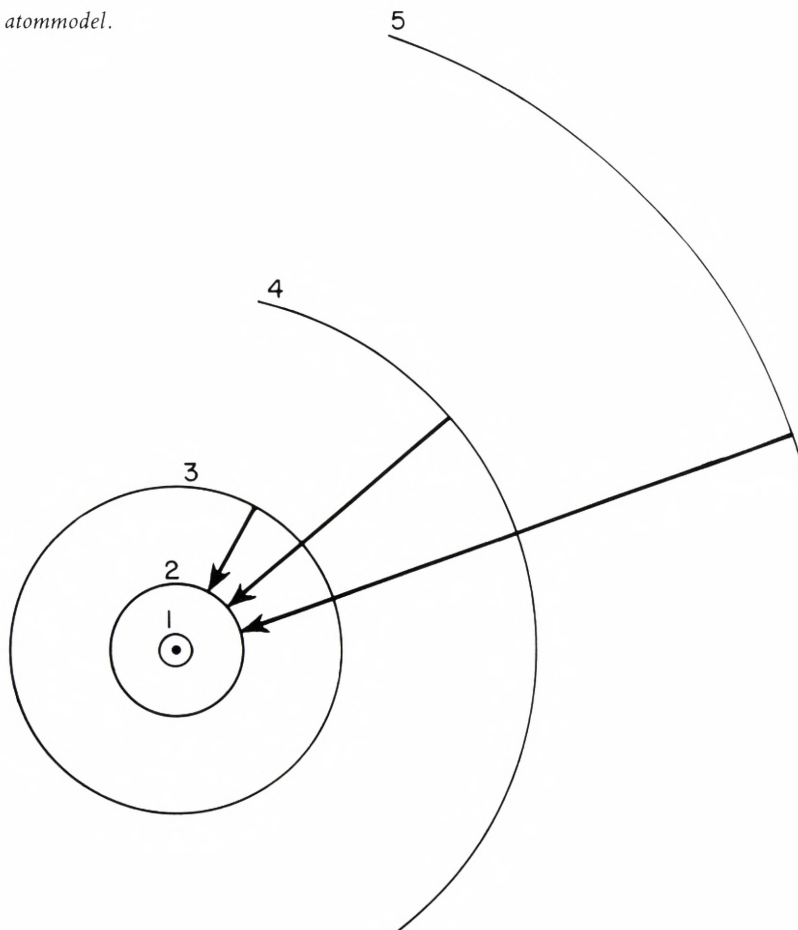
For Bohr – der iøvrigt også var ung og ukendt – var det første kritiske punkt *stabiliteten*. Det var jo ganske ubegribeligt, hvordan atomerne kunne være så stabile, og Bohr så nu, at man uden i første omgang at kunne give nogen egentlig forklaring simpelt hen måtte *postulere* – og derfor taler vi om Bohrs *postulater* – at elektronerne kunne bevæge sig i



en cirkel- eller ellipsebane omkring kernen *uden* at udsende nogen elektromagnetisk stråling, altså specielt ikke noget lys.

Men når elektronerne på en eller anden måde får tilført energi, så udsender de jo rent faktisk lys, nemlig de førømtalte spektrallinier. Hvordan går det så til? Her fik Bohr en helt utrolig idé: *til trods for succes'en* med radiobølgerne måtte mekanismen for lysudsendelsen fra atomerne være *en helt anden!* Ud over den bane, vi allerede har nævnt, som man kalder *grundtilstanden*, postulerede Bohr, at der findes en uendelig række af sådanne baner, i hvilke elektronen ikke stråler, og han kaldte dem *stationære tilstande*. For nemheds skyld betragtede han hovedsagelig cirkelbaner, og han kunne ud fra sin teori fastlægge radierne for disse stationære tilstande. Vi kalder radien i grundtilstanden af brintatomet, der er af størrelsesorden $1/10.000.000$ mm, for *Bohr-radius*, og de andre

Bohrs atommodel.



stationære tilstande skal da ifølge Bohrs beregninger have radier på $4 \times$ Bohr-radius, $9 \times$ Bohr-radius, $16 \times$ Bohr-radius o.s.v. Normalt befinder elektronen sig i grundtilstanden, men hvis den får tilført energi, f.eks. i et såkaldt udladningsrør, kan den løftes op til en af de højere stationære tilstande.

I sit 2. *postulat* postulerer Bohr nu, at stålingen, der jo altså ikke, som man ifølge den klassiske teori skulle tro, bliver udsendt, medens elektronen kredser omkring kernen i de stationære tilstande, i stedet bliver udsendt ved en *fuldstændig anden mekanisme*, nemlig ved at elektronen foretager et *spring* eller en *overgang* fra en højere stationær tilstand til en af de lavere. Men hvad så med lysets frekvens? Frekvensen er jo i almindelighed forskellig for de to baner, idet elektronen skulle gå flere gange rundt pr. sekund i de indre end i de ydre baner, ganske som det i større målestok gælder for planetsystemet. Hvilken af de to frekvenser skulle elektronen så vælge? »Ingen af dem« er Bohrs overraskende svar! I stedet er frekvensen bestemt ud fra *Plancks formel* derved, at *hele* energiforskellen mellem de to baner udsendes som *ét* kvantum:

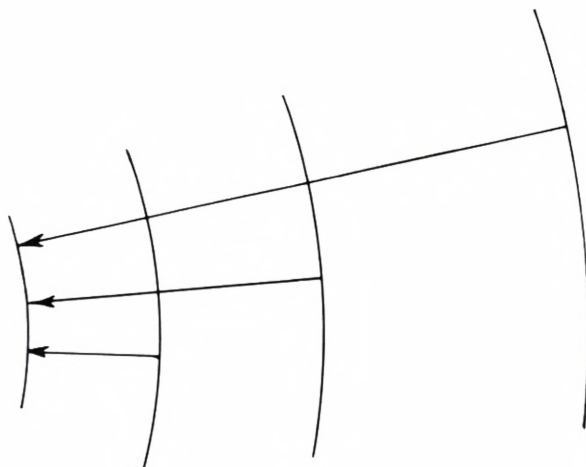
$$hf = E_1 - E_2,$$

hvis vi kalder energierne i de to stationære tilstande, som elektronen springer imellem, for E_1 og E_2 . Denne formel kalder vi *Bohrs frekvensbetingelse*. Ved at beregne lysets frekvens – eller bølgelængde – ud fra denne formel kunne Bohr vise, at der var perfekt overensstemmelse med Balmer's formel, og han kunne beregne den teoretiske værdi af konstanten R , *Rydberg-konstanten*. Det passede perfekt! Det er ikke uden ret, at vi her kan sige, at vi står over for det store gennembrud i atomfysikken.

5. »Korrespondens« med den klassiske fysik

Efter dette utrolige resultat kunne man måske tro, at Bohr kunne slå sig til tåls i denne omgang. Han var imidlertid fuldt på det rene med, at der manglede et meget vigtigt skridt endnu. For nu dukkede jo så at sige det »omvendte« problem op af det, han var startet med: hvordan kunne det nu være, at den klassiske teori fra før Bohr havde fungeret så *godt*, når men f.eks. havde med radioantenner at gøre? Også dette var Bohr i stand til at besvare, og her slår den »filosofiske« tænkemåde, der var så typisk og enestående for ham, stærkt igennem.

Lad os tænke os, at elektronen på en eller anden måde har fået tilført så meget energi, at den befinder sig langt ude i atomet, i en af de stationære



tilstande med et meget højt nummer. Vi nærmer os da mere og mere til vor dagligdags verden, som den vi har i antennen. Når Bohr nu betragtede et spring mellem to nabobaner, så kunne han vise, at den frekvens, man beregnede efter *hans* formel, nærmede sig mere og mere til *omløbsfrekvensen* i banen. Med andre ord: Selv om det i virkeligheden efter Bohrs teori er en helt anden *mekanisme* end den klassiske, der gør sig gældende, så nærmer det *resultat*, man beregner efter hans teori, sig mere og mere til det klassiske, jo nærmere man kommer de omstændigheder, under hvilke den klassiske teori havde fungeret godt. Bohr talte dengang selv om en »analogi« med den klassiske fysik, og det blev begyndelsen til det han senere kaldte »korrespondensprincippet«, som skulle vise sig at blive en fundamental nøgle til at finde den rigtige »atommekanik« eller »kvantemekanik«, hvortil Bohrs teori kun udgjorde et første, omend meget fundamentalt skridt. Jeg vil lige nævne, at analogien strakte sig videre: spring over *flere* baner giver frekvenser, der nærmer sig til overtonerne i den klassiske teori, som jeg tidligere har omtalt.

6. Modtagelsen af Bohrs teori

En vigtig forudsætning for anerkendelsen af en fysisk teori er i reglen, at den er i stand til at *forudsige* nye hidtil ukendte eller ikke observerede eksperimentelle resultater. Dette gjaldt også for Bohrs teori. Ikke mindst ved hjælp af sit korrespondensprincip kunne Bohr forudsige, at en serie

spektrallinier, som man hidtil havde troet hidrørte fra brint, i virkeligheden måtte stamme fra en anden luftart, nemlig helium. Eksperimenterne herover var ret vanskelige at udføre, og Bohr havde ikke selv mulighed for at gøre det, men de blev gjort i Rutherford's laboratorium i løbet af sommeren 1913 af en ung fysiker *E. J. Evans*, og de bekræftede på smukkeste måde Bohrs forudsigelser.

Lad os da til sidst stille spørgsmålet: Hvordan modtog samtidens fysikere egentlig disse revolutionerende tanker? Ser vi på de breve, der er bevaret fra den tid, må vi konstatere, at de dækker hele spektret fra den dybeste skepsis til den største entusiasme! Lad os først se på et par af de skeptiske breve. F.eks. skrev den østrigsk-fødte fysiker, *Paul Ehrenfest*, der var professor i Holland, til sin gode ven og kollega *H. A. Lorentz*:

... hvis dette er vejen til at nå målet, må jeg opgive at lave fysik!

Det gjorde han nu heldigvis ikke, og han skulle i øvrigt snart blive en nær ven af Bohr såvel som en stor beundrer af hans teori.

Bohrs bror, matematikeren *Harald Bohr*, var på det tidspunkt i Göttingen, og han kunne også berette om skepsis:

Man er stadig overordentlig interesseret i dine Afhandlinger; men jeg har Indtryk af, at de fleste – dog undtagen Hilbert – og navnlig blandt de yngste, Born, Madelung o.s.v. ikke tør tro paa den objektive Rigtighed; de finder Antagelserne for 'dristige' og 'fantasifulde'. Hvis Spørgsmaalet om Brint-Helium-Spektret kunde blive endegyldigt afgjort, vilde det have en ganske overvældende Virkning; alle Dine Modstandere hænger sig i at der, som de siger, ikke er nogensomhelst Grund til at tro, at det ikke er Brintlinier.

Og dette til trods for Bohrs – i hvert fald for os i dag – aldeles overbevisende argumentation!

Det er vel ikke overraskende, at reaktionerne fra dem, der kendte Bohr godt og var forberedt på store ting fra hans hånd, er helt anderledes positive. *Rutherford* havde ganske vist, måske lidt uærbødigt, talt om

... blandingen af Plancks ideer med den gamle mekanik ...,

men det var faktisk også et ømt punkt, som Bohr naturligvis var fuldt på det rene med, og som skulle blive et hovedmotiv i udviklingen i de følgende år. Men Bohrs svenske ven *Oseen* skrev til ham:

Det jeg først ville sige Dig er, at jeg, som jo på forhånd kendte retningen af Din tankegang såvel som nogle af dens resultater, alligevel på ét punkt blev overrasket over skønheden i Dit resultat. Det var sammenhængen mellem h og den Balmer-Rydbergske konstant. Så vidt det kan ses, er Du på det punkt kommet over hypotesernes og teoriernes region til den faktiske sandheds. Højere kan ingen teoretiker komme, og jeg lykønsker Dig af hele mit hjerte.

Til sidst vil jeg gerne citere Bohrs ven fra Manchester-tiden, den ungarske fysiker og kemiker *George Hevesy*, som stod Bohr nær hele livet igennem, og som viser en nærmest rørende glæde over sin vens succes. Efter at have modtaget afhandlingen skriver han til Bohr om den dybe tilfredsstillelse, videnskabeligt arbejde kan give én, og så fortsætter han:

De vil nu forstå, hvorfor læsningen af Deres afhandlinger har været mig en kilde til glæde. Jeg ser med stor interesse frem til resultatet af Deres mere udførlige beregninger. Så vidt er alting så klart, opførslen af brint og helium, som den er beskrevet i teorien, så sand, at ingen kan undgå at blive slået af det ved at læse det.

Det skulle også blive Hevesy, i hvis lod det faldt at overbevise Einstein om rigtigheden af Bohrs teori, som han har beskrevet det i to breve til henholdsvis Bohr og Rutherford. Hevesy mødte nemlig Einstein på en kongres i Wien i efteråret 1913, og her fortalte han Einstein, at Evans' eksperimenter havde bekræftet Bohrs forudsigelser. Herom skriver Hevesy til Bohr på sit charmerende engelsk, som vi kun kan give et fattigt indtryk af i oversættelsen:

... så spurgte jeg ham (dvs. Einstein) om hans syn på Deres teori. Han sagde til mig, den er meget interessant, meget vigtig, hvis den er rigtig og så videre, og han havde meget lignende ideer for mange år siden, men havde ikke mod til at udvikle dem. Jeg fortalte ham, at det er godtgjort nu med sikkerhed, at Pickering-Fowler-spektret tilhører helium. Da han hørte dette, blev han overordentlig forbløffet og sagde til mig: 'Så afhænger lysets frekvens slet ikke at elektronens frekvens – (jeg forstod ham således??). Og dette er en *uhyre bedrift*. Så må Bohrs teori være rigtig.' Jeg kan næppe fortælle Dem, hvor glad jeg har været, og næsten intet andet kunne gøre mig en sådan glæde som denne spontane bedømmelse fra Einstein.

Lad mig da slutte med de smukke slutningslinier fra Hevesys brev til Rutherford:

Da jeg fortalte ham om Fowler-spektret, så Einsteins store øjne endnu større ud, og han sagde til mig: 'Så er det en af de største opdagelser.' Jeg følte mig meget lykkelig ved at høre Einstein sige dette.