

Opdagelsen af atomkernen: Et 100-årsjubilæum

Af Helge Kragh, Center for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet

Det engelske fysiktidsskrift *Philosophical Magazine* indeholdt i maj 1911 en artikel om spredning af alfa- og beta-partikler, hvori Rutherford argumenterede for en ny opfattelse af atomets struktur. Hans påvisning af atomkernen for 100 år siden er en milepæl i fysikkens historie, også selv om den ikke straks vakte interesse. Dette skyldtes især at elektronsystemet var uden for teoriens rækkevidde, hvorfor dens forklaringskraft var meget begrænset. Men i løbet af et par år blev der rådet bod herpå, nemlig da Rutherfords kerneatom blev til Bohr-Rutherford-atommodellen.

En revolutionær periode

Det teoretiske fundament for den moderne fysik går tilbage til starten af det 20. århundrede, især til Plancks formulering af kvantehypotesen i 1900 og Einsteins specielle relativitetsteori fra 1905. Hundredåret for disse to begivenheder blev da også behørigt fejret af fysikersamfundet. Man kan med rimelighed betegne årene 1911-1913 som en "anden revolution" i den nye fysik, idet nye opdagelser og teorier fra denne periode resulterede i et helt nyt billede af stoffets struktur. Den vigtigste begivenhed var nok opdagelsen af atomkernen i 1911, der også var året for Heike Kamerlingh Onnes' overraskende opdagelse af superledningen i kviksølv. Året efter opdagede Max Laue og München-fysikerne Walter Friedrich og Paul Knipping røntgenstrålers diffraktion i krystalgitre, der ikke blot afklarede disse strålers natur, men også blev grundlaget for en helt ny type krystallografiske studier med meget store konsekvenser inden for fysik, kemi, mineralogi og molekylærbiologi. Og endelig, i 1913, fulgte så atomnummeret, isotoper og en ny atomteori. Den hollandske amatørphysiker Antonius van den Broek foreslog, som den første, at det periodiske system var ordnet efter et "atomnummer" i stedet for grundstoffernes atomvægte. Samtidig indførtes ideen om isotoper, der bl.a. skyldtes den engelske radiokemiker Frederic Soddy. Den "anden revolution" kulminerede med Niels Bohrs atomteori, der ikke blot knyttede Rutherfords model om atomkernen sammen med kvanteteorien, men også indeholdt begreberne om atomnummer og isotopi.

Det er i denne forbindelse værd at nævne, at selv om kvanteteorien stammer fra 1900, var dens status og mening i lang tid usikker. Ti år senere var den endnu ikke en flyvefærdig teori. Det var netop for at afklare spørgsmålet om kvanteteorians betydning, at en udvalgt skare af ledende fysikere i november 1911 samledes til den første Solvaykongres i fysik i Bruxelles. Man blev enige om, at selv om kvanteverdenen var mærkelig, så var den formentlig sand og i det mindste værd at udforske nøjere. "Begyndelsen er gjort," konkluderede Planck, "og hypotesen om kvanter vil aldrig forsvinde fra verden" [1]. Solvaykongressen fra 1911 symboliserede kvanteteorians egentlige gennembrud i fysikken. Blandt deltagerne i Bruxelles var ikke blot Planck, Ein-

stein, Lorentz og Sommerfeld, der alle havde bidraget til den nye kvanteteori, men også Ernest Rutherford fra England. Rutherford var ikke interesseret i kvanter, men han havde til gengæld, et halvt år tidligere, foreslået et helt nyt billede af atomets struktur. I 1911 var der dog ingen, heller ikke Rutherford selv, der forestillede sig nogen sammenhæng mellem kvanteteorien og dette billede af atomet.

Atommodeller før Rutherford

Omkring 1910 var det almindelig anerkendt, at atomer er komplekse størrelser, der indeholder elektroner i en eller anden form for dynamisk ligevægt. Da atomer er elektrisk neutrale, må elektronernes negative ladning modsvares af en positiv ladning, men der var ingen enighed om dennes natur eller fordeling i atomet. Nogle fysikere foreslog, at atomet også indeholdt positive elektroner, mens andre forestillede sig en positiv ladning af atomare dimensioner, hvortil de negative elektroner var bundet, og hvori de bevægede sig. Der var såmænd også ideer om en slags positive kerner, hvorom elektronerne bevægede sig i cirkulære baner, omtrent som planeter bevæger sig omkring Solen. Vi kan i en lærebog fra 1908, skrevet af den danske kemiker Sophus M. Jørgensen, således læse, at atomet består af "en kerne af positiv elektricitet, hvorom negative elektroner roterer med store hastigheder i bestemte baner, som planeterne i solsystemet" [2]. Jørgensen henviste, med denne beskrivelse, formentlig til en atommodel foreslået af den japanske fysiker Hantaro Nagaoka i 1904.

Den mest anerkendte hypotese om atomets struktur, i perioden ca. 1903-1910, var dog J. J. Thomsons model, der antog eksistensen af et stort antal elektroner bevægende sig i cirkulære baner i en friktionsløs positiv "væske" af samme størrelse som atomet. Modellen, som Thomson udarbejdede i matematiske detaljer, var på mange måder tilfredsstillende, idet den kvalitativt kunne redegøre for mange fysiske og kemiske fænomener, fx Zeemaneffekten, det periodiske system og radioaktivitet. Allerede omkring 1908 var modellen dog i vanskeligheder. Ikke blot kunne den ikke forklare linjespektre, den syntes også at være i

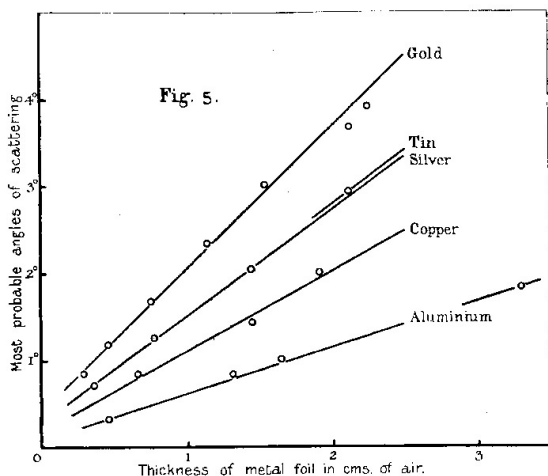
modstrid med atomernes fundamentale stabilitet. Det viste sig, at antallet af elektroner ikke var meget stort – fx 1000 i et brintatom – men blot omtrent det samme som atomvægten, hvilket førte til problemer med den strålmæssige stabilitet. På trods af disse og andre problemer levede Thomson-modellen dog videre, ikke fordi den var særlig god, men snarere fordi der ikke var noget bedre alternativ.

Spredning af alfapartikler

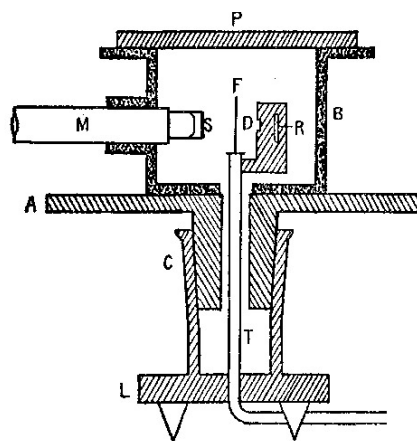
Rutherford var en autoritet på radioaktivitetens område, og hans vigtige bidrag hertil blev i 1908 belønnet med en Nobelpris – omend i kemi og ikke i fysik. Derimod var han på denne tid endnu ikke interesseret i atomets struktur, hvilket emne han først tog op i 1910. Blandt inspirationskilderne til kernemodellen var hans opfattelse af alfapartiklen, som han havde vist, var en dobbeltladet heliumion (He^{2+}). Mens Thomson mente, at alfapartiklen havde samme størrelse som et atom og indeholdt 6-10 elektroner, var den ifølge Rutherford en punktpartikel af samme slags som elektronen. Han opererede således implicit med en kernemodell for heliumatomet.



Figur 1. Ernest Rutherford (1871-1937).



Figur 2. Data fra et af Geigers eksperimenter fra 1910, der viser hvordan spredningsvinklen afhænger af metalfoliets tykkelse og atomvægt (eller atomnummer).



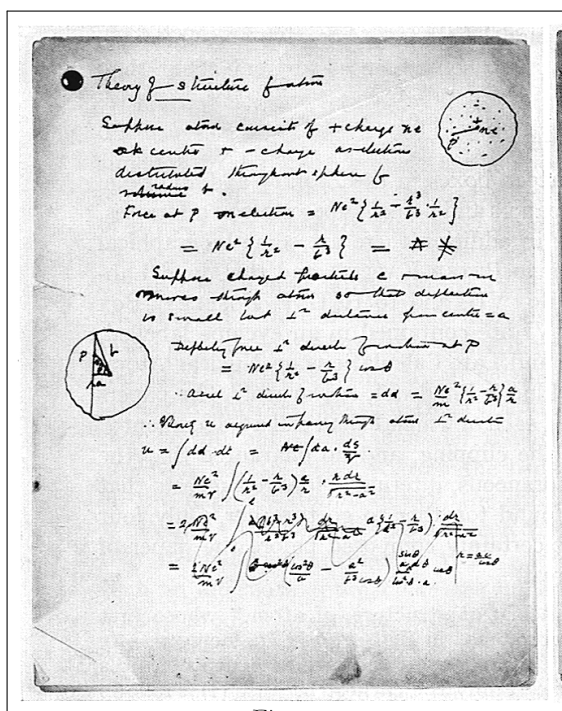
Figur 3. Geiger og Marsdens apparat til påvisning af vinkelfordelingen af spredte alfapartikler. I kassen B er en alfakilde (R) og et metalfolie (F). Mikroskopet M er forsynet med en skærm af zinksulfid, der virker som detektor. B og M kan drejes om en akse, mens R og F forbliver i deres position. Som alfakilde blev benyttet radon, eller hvad dengang blev betegnet "radium emanation".

En anden vigtig inspirationskilde var de eksperimenter, hans tyske assistent, Hans Geiger foretog, i laboratoriet i Manchester, med spredning af alfapartikler på tynde metalfolier. Geiger startede sine eksperimenter i 1908 og fortsatte dem to år senere med sin 21-årige medarbejder Ernest Marsden. I disse eksperimenter fandt de to unge fysikere, at når alfastråler blev spredt på et guldfolie af tykkelse $4 \cdot 10^{-5}$ cm, ville omkring 1 ud af hver 2.000 partikler blive reflekteret, dvs. afbøjet med en spredningsvinkel større end 90° . Et sådant resultat var svært at forene med Thomsons atommodel og den dertil hørende spredningsteori, ifølge hvilken den iagttagne spredning var resultatet af multiple spredninger på de atomare elektroner. Sandsynligheden for refleksion af alfapartikler, ville efter Thomsons teori, være forsvindende lille. Rutherford fortalte senere om sin reaktion på Geigers og Marsdens resultater [3]:

Det var afgjort den mest utrolige hændelse, jeg nogen sinde har været udsat for. Det var næsten så utroligt, som hvis du skød en 15-tommer granat mod et stykke silkepapir, og den kom tilbage og ramte dig. Efter at have overvejet det, indså jeg, at denne baglæns spredning måtte være resultatet af en enkelt kollision. Mine beregninger viste mig, at det var umuligt at opnå noget af denne størrelsesorden, med mindre man antog et system, hvori det meste af atomets masse var koncentreret i en lillebitte kerne. Da var det, jeg fik ideen om et atom med en ganske lille central del, der var massiv og elektrisk ladet.

Det bør dog bemærkes, at denne dramatiske beskrivelse stammer fra 1936 og i høj grad er en rekonstruktion. Den gengiver ikke hvordan Rutherford faktisk tænkte i 1910. Under alle omstændigheder, senest i

december 1910, var Rutherford på sporet af en ny model for den positive ladning i atomet. "Jeg tror jeg kan udtænke et atom, der er langt bedre end J.J.'s, når det gælder forklaringen af α - og β -partikler og opbremsningen af disse," skrev han i et brev. "Samtidig tror jeg det vil passe usædvanligt godt med de eksperimentelle data" [4]. Den atommodel Rutherford præsenterede i sin epokegørende artikel i *Philosophical Magazine* fra maj 1911, og som han indsendte til tidsskriftet måneden før, var først og fremmest en spredningsteori baseret på Geigers og Marsdens eksperimenter med spredning af alfapartikler på tunge grundstoffer [5].



Figur 4. Side fra Rutherfords notesbog ("Theory of the structure of the atom") med tidlige beregninger af alfapartiklers spredning [9]. Bemærk atommodellen øverst til højre, hvor elektronerne er afbildet som en sky omkring den positive kerne. Den første del af teksten er: "Suppose atom consists of +ve charge ne at centre & -ve charge as electrons distributed throughout sphere of radius b ."

Teorien om kerneatomet

Rutherfords klassiske analyse af alfaspredning ("Rutherford scattering") er stadig en fast bestanddel af lærebøger i fysik, hvorfor jeg kun kort skal fremhæve nogle af de væsentlige træk i artiklen fra 1911. Artiklen findes i øvrigt i en kommenteret dansk oversættelse fra 1973, hvor jeg i min ungdommelige naivitet mente, at den nok kunne bruges i gymnasieundervisningen i fysik [6].

Rutherford sluttede, at de iagttagne store afbøjninger af alfapartikler måtte skyldes en spredning på en koncentreret masse med høj ladning omgivet af en langt større sky af modsat ladning. Han beskrev sin antagelse således: "Betragt et atom, som indeholder en ladning $\pm Ne$ ved dets centrum, omgivet af en elektrisk kugle indeholdende en ladning på $\mp Ne$, som antages

at være fordelt jævnt gennem kuglen med radius R Vi vil antage, at for afstande mindre end 10^{-12} cm kan vi tillade os, at betragte den centrale ladning som værende koncentreret i et punkt." Som det fremgår, var Rutherfords spredningsteori uafhængig af fortegnet på kerneladningen, men i sine videre betragtninger indskrænkede han sig dog til at antage en positiv kerne (uden at ordet *nucleus* dog optræder i artiklen). Baseret på sin spredningsteori viste Rutherford nu, at den nævnte model var i stand til at redegøre for alle de resultater Geiger og Marsden havde opnået med spredning af alfapartikler. Han udelukkede dog ikke muligheden af, at "en lille del af den positive ladning bæres af satelliter i nogen afstand fra centret."

Efter at have diskuteret, hvorvidt kernen bestod af enkelte partikler, eller var usammensat og næsten punktførmig, fandt han det "lettest at antage, at atomet indeholder en central ladning som en helhed og ikke dens bestanddele." Denne antagelse om en usammensat kerne, og også antagelsen om at Coulombs lov er gyldig for alle afstande, var dog kun midlertidig og begrundet i dens simpelhed. Allerede året efter kom Rutherford på andre tanker. I sin bog *Radioactive Substances and their Radiations*, der var færdiggjort i efteråret 1912, argumenterede han, at den ganske lille kerne med en radius på mindre end 10^{-12} cm var et sammensat legeme: "Atomets positivt ladede centrum er utvivlsomt et kompliceret system i bevægelse, og det består hovedsageligt af ladede helium- og brintatomer. Det synes som om, at stoffets positive atomer [partikler] tiltrækker hinanden ved yderst små afstande, for ellers er det svært at se, hvordan bestanddelene ved centret kan holde sammen." Vi har her, i det mindste retrospektivt, den første erkendelse af kernekrafter, eller hvad der senere skulle blive til de stærke vekselvirkninger.

For Rutherford og hans samtidige var det vigtigt at vide, hvor mange elektroner der fandtes i neutrale atomer, eller hvilken relation der var mellem et grundstofs atomvægt A og atomets positive ladning N , uanset om denne var samlet i en kerne, eller var spredt ud over atomet. Det var på den tid almindeligt antaget, at N var af samme størrelsesorden som A , men nærmere kunne man ikke komme det. Rutherfords analyse af alfaspredningen på tunge metaller gav for guld (med $A = 197$) $N \cong 100$, og generelt antog han, at relationen mellem de to størrelser kunne skærpes til $A/2 < N < A$. En mere præcis bestemmelse fremkom først med Bohrs atomteori fra 1913.

En model for kerneatomet, ikke en atommodel

Der er tradition for at tale om Rutherfords kerneatom som en *atommodel*, men strengt taget er dette uberettiget, da han ikke, i 1911, foreslog en egentlig model for atomets struktur. Der var tale om en velbegrundet hypotese om, at atomets positive ladning er samlet i en massiv atomkerne, og ikke andet. Med hensyn til elektronernes fordeling i atomet havde han, i modsætning til Thomson, intet bud, hvilket han var helt klar over. På en eller anden måde var elektronerne fordelt i atomet,

men hvordan kunne han intet sige om. "Spørgsmålet om det foreslåede atoms stabilitet behøver vi ikke betragte på nuværende trin," skrev han i artiklen fra 1911, "for det vil tydeligvis afhænge af atomets mere detaljerede struktur og af de ladede bestanddeles bevægelser." Det fulgte af denne ubestemthed, at Rutherfords atom var impotent, når det gjaldt så vigtige områder som spektralfysik og dispersion, og at det var lige så impotent på kemiske områder som valens og grundstoffernes periodicitet. Ej heller var der nogen forbindelse til fotoelektrisk effekt, varmfyldte eller andre kvantefænomener.

I sammenligning med Thomsons gamle model var Rutherfords atom faktisk ikke imponerende, og slet ikke når det gjaldt bredden af forklaringskraft. Denne situation ændrede sig ikke væsentligt, før Bohr omformede Rutherfords kerneatom til en fuldblods atommodel. I et brev fra 1914 beskrev Rutherford, noget nedladende, Thomsons model som "kun egnet til et museum for videnskabelige kuriositeter" [7], men det var vel at mærke, efter Bohrs teori havde ændret på situationen. I 1911 betragtede de færreste fysikere Rutherfords atom som mindre kuriøs end Thomsons atom.



Figur 5. Deltagerne i det første Solvaymøde i november 1911. Einstein er nummer to fra højre, og til venstre for ham står Kamerlingh Onnes og Rutherford. Foran tavlen, hvorpå er skrevet strålingsformlen for sorte legemer, står Planck.

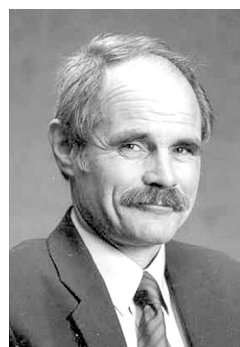
Givet den begrænsede forklaringskraft af Rutherfords kerneatom er det måske forståeligt, at teorien ikke umiddelbart vakte stor interesse. Den blev nærmest mødt med ligegyldighed og kun sjældent nævnt i fysiklitteraturen fra 1911-1912. Solvaykongressen fra 1911, hvori Rutherford som nævnt deltog, kunne være en lejlighed til at promovere kerneatomet, men faktisk blev det slet ikke nævnt. Ikke engang Rutherford selv

henviste til sin opdagelse [8], der også kun optræder sporadisk i hans korrespondance fra perioden. De få henvisninger, der trods alt var til teorien, var alle fra fysikere med tilknytning til laboratoriet i Manchester. En af dem var Charles G. Darwin (en sønnesøn af den "rigtige" Darwin), der i 1912 udbyggede Rutherfords spredningsteori og som den første eksplicit hævdede, at atomkernen var positivt ladet.

Den her givne fremstilling er blot en fødselsdagshilsen til atomkernen. Ønsker man nærmere oplysninger om Rutherfords vej til kernemodellen for atomet, må der henvises til den videnskabshistoriske litteratur herom [9, 10].

Litteratur

- [1] H. Kragh (1999). *Quantum Generations*, Princeton, s. 72.
- [2] S. M. Jørgensen (1908). *The Fundamental Conceptions of Chemistry*, London, s. 26.
- [3] J. Needham W. Pagel (1938). *Background to Modern Science*, Cambridge, s. 68.
- [4] L. Badash (1969). *Rutherford and Boltwood*, New Haven, s. 235.
- [5] E. Rutherford (1911). The scattering of α and β particles and the structure of the atom, *Philosophical Magazine* bind 21, 669-688.
- [6] H. Kragh (1973). *Atomteoriens historie belyst ved kildeskrifter*, København.
- [7] L. Badash (1969). *Rutherford and Boltwood*, New Haven, s. 272.
- [8] J. Mehra (1973). *The Solvay Conferences on Physics*, Dordrecht.
- [9] J. Heilbron (1968). The scattering of α and β particles and Rutherford's atom, *Archive for History of Exact Sciences* bind 4, 247-307.
- [10] D. Wilson (1983). *Rutherford: Simple Genius*, Cambridge, Mass.



Helge Kragh er professor i videnskabshistorie ved Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet, og arbejder især med de fysiske videnskabers nyere historie. Han har ledet udgivelsen af firebindsværket "Dansk Naturvidenskabs Historie".