

Bohr-atomet i populær indbinding

Af Kristian Hvidtfelt Nielsen, Center for Videnskabsstudier, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Hvis man i dag googler ordet "atom" under kategorien billeder, vil langt størstedelen af illustrationerne vise atomet bestående af en atomkerne omkredset af elektroner i faste baner. Modellen bliver kaldt den planetariske atommodel, fordi den gengiver atomet som et lille planetsystem med en stjerne (atomkernen) i midten og en række planeter (elektronerne), der kredser omkring stjernen i faste baner. Modellen er i dag så udbredt på nettet og i lærebøger, at den bliver taget for givet. Selv om den siden udviklingen af kvantemekanikken fra 1926 og fremefter har vist sig at være et fejlagtigt billede af atomet, har den også vist sig at være særdeles levedygtig. Modellens populære levedygtighed overstiger langt dens videnskabelige anvendelighed.

Niels Bohr bidrog med sin kvanteteori fra 1913 til at etablere den planetariske model som en solid og meget frugtbar videnskabelig hypotese, indtil kvantemekanikken gjorde det svært, for ikke at sige umuligt at danne og fastholde entydige modeller af atomet baseret på den klassiske fysik. Bohr spillede dog kun en ubetydelig rolle for udbredelsen af planetmodellen til ikke-videnskabelige kredse. Her var det især populærvidenskabelige bøger, der gjorde arbejdet i forhold til at forplante billedet af atomet som et miniature-solsystem i den brede kultur.

Atommodeller før Bohr

Indtil slutningen af 1800-tallet forstod man atomet som en lille fast kugle. Med opdagelsen af radioaktivitet, røntgenstråler og – ikke mindst – elektronen kom kuglemodellen i en form for krise. Hvordan skulle man forene den homogene kuglemodel med de nye opdagelser, der viste, at atomet har en dynamisk indre struktur?



Figur 1. Niels Bohr og Ernest Rutherford til regatta i Cambridge i 1922, året efter Bohr modtog Nobelprisen for sit arbejde vedrørende atomers struktur og strålingsudsendelse. Bohrs atommodel byggede videre på Rutherfords model med sin kvantebeskrivelse af elektronbevægelserne (Bohrs bidrag) omkring den faste kerne (Rutherfords bidrag). Foto: Niels Bohr Arkivet, København

Det første forsøg på at beskrive atomets indre struktur kom fra den britiske fysiker J. J. Thomson, der i 1896 opdagede elektronen. Thomson introducerede allerede i 1899 en atommodel, hvor atomet blev beskrevet som en positivt ladet sfære, hvori elektronerne bevæger sig. Elektronernes gensidige frastødning opvejes af

sfærens positive ladning, som Thomson senere omtalte som en friktionsløs væske. I 1906 modificerede han atter sin model, så den beskrev elektronernes baner som cirkulære – og derfor er det egentlig forkert at betegne Thomsons model som en rosinkagemodel (plum pudding model), sådan som det ofte sker.

Ernest Rutherford lancerede i 1911 idéen om en indre atomkerne, der med sin positive ladning er i stand til at holde elektronerne fast. Ret beset var Rutherfords model dog kun en model for atomkernen og ikke for hele atomet. Han gav i modsætning til Thomson ingen indikation på, hvordan elektronerne ville være fordelt i atomet.

Samtidig med disse kendte videnskabelige udviklinger begyndte planetmodellen også at rumstere i andre publikationer af videnskabelig og populærvidenskabelig karakter: I 1901 skrev franske fysiker Jean Perrin om atomet som et planetsystem i det populærvidenskabelige magasin "Revue Scientifique"; i 1904 udgav den japanske fysiker Hantaro Nagaoka en videnskabelig artikel i "Zeitschrift der Mathematischen Gesellschaft", som var baseret på en analogi mellem atomet og Saturns ringe; og i 1904 viderebragte Max Wilhelm Meyer, astronom og videnskabsformidler, idéen om atomet som et solsystem i det nyoprettede tyske tidsskrift for videnskabsformidling, "Kosmos".

Bohr-atomet som et planetsystem

Da Niels Bohr i 1913 udgav sine tre banebrydende artikler om kvanteatomet, fik planetmodellen yderligere moment. I modsætning til Thomsons og Rutherfords atommodeller beskrev Bohrs model elektronernes bevægelse i cirkulære, stationære baner omkring atomkernen. Han postulerede, at banerne svarede til atomets energitilstande, som ydermere kun kunne antage bestemte værdier.

Forestillingen om elektronerne svævende omkring kernen i faste baner var nem at forene med idéen om atomet som et planetsystem. Og det var også det billede, der blev flittigst anvendt, når Bohr-atomet skulle formidles til andre videnskabsfolk og til den oplyste og videbegærlige offentlighed.

Bohrs 1913-artikler gav anledning til en række videnskabelige videreudviklinger af kvanteteorien,

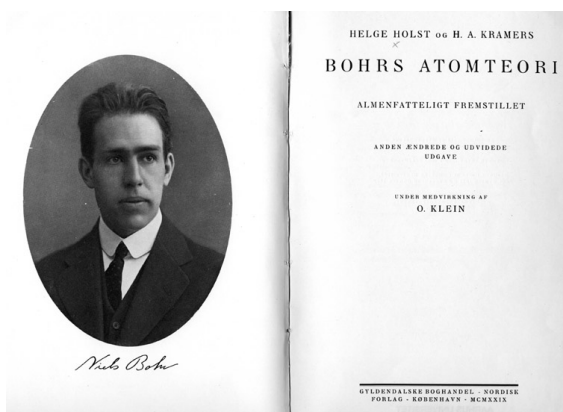
hvoraf Arnold Sommerfelds bidrag med de elliptiske elektronbaner nok var det vigtigste, inden kvantemekanikken tog over. Bohrs arbejde var også en af de centrale kilder til en række populærvidenskabelige skrifter om atomets opbygning, der blev udgivet i årene fra 1918 og frem.

Sommerfelds bog om atomets opbygning fra 1919 var en af de første omfattende beskrivelser af den nye kvanteteori. Selvom Sommerfeld skrev i forordet, at bogen var henvendt til lægfolk, var det en udførlig og svært tilgængelig bog, der med sine 550 sider nok snarere fandt anvendelse som egentlig lærebog.

Sommerfeld sammenlignede de diskrete baner, som planeterne i solsystemet følger, med elektronbanerne i atomet. Indførelsen af elliptiske elektronbaner var med til at forstærke analogien, som dog også havde sine begrænsninger:

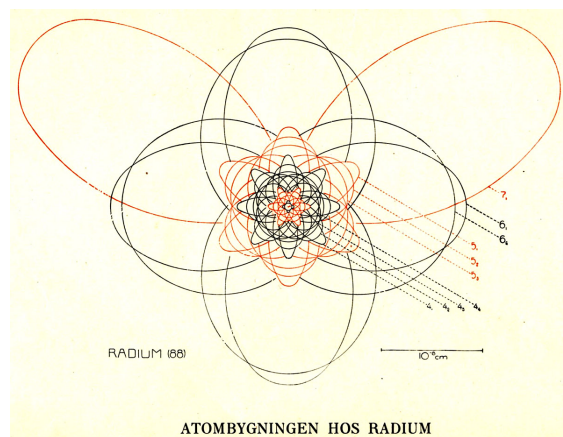
Som det er tilfældet i solsystemet, antager elektronernes generelle bevægelse omkring atomkernen en ellipse, men disse "Kepler-ellipser" er kun mulige i et begrænset omfang og kan på basis af kvanteteoretiske beregninger karakteriseres ved bestemte excentriciteter og hovedakser [1].

I Danmark var bibliotekar og forfatter Helge Holst ophavsmænd til bogen "Bohrs Atomteori, Almentfatteligt Fremstillet" (1922), skrevet sammen med Bohrs nære kollega H. A. Kramers. Bogen blev senere oversat til engelsk (1923), tysk (1925), spansk (1925) og hollandsk (1927) [2].



Figur 2. Første opslag i Holst og Kramers bog, der ikke levnedde nogen tvivl om, at den nye atomfysik primært var Bohrs fortjeneste. Fysikeren Max Dresden skrev i sin bog om Kramers fra 1987, at Holst og Kramers bog var et "sandt missionsforetagende med det formål at sprede Bohrs budskab" [3].

Holst og Kramers bragte en række illustrationer af kvanteatomet, som også blev anvendt til undervisning på Bohrs institut. Tegneren er ukendt, men de flotte tegninger hører til blandt de fineste eksempler på den planetariske atommodel, hvor elektronbanerne omkredser kernen som velformede ellipser.



Figur 3. Radiums struktur med 88 elliptiske elektronbaner ifølge Bohr-Sommerfelds atomteori, ca. 1921. Banerne er fremstillet som lukkede for overskuelighedens skyld, formodes det, men skulle ifølge teorien egentlig være åbne, da det var kendt, at de langsomt drejer rundt om atomkernen.

Andre analogier for Bohr-atomet

Planetmodellen var dog ikke den eneste analogi, der blev brugt til at gøre Bohr-atomet mere anskueligt. Holst og Kramers bad også deres læsere om at tænke på Bohr-atomet som et hypotetisk musikinstrument. Instrumentet bestod af et antal runde skiver, der var placeret over hinanden efter størrelse, den mindste øverst. En kugle kunne bevæge sig uden friktion på hvilken-som-helst af skiverne, svarende til en af atomets energitilstande. Hvis kuglen faldt fra en skive til en anden, ville den miste en bestemt mængde energi, som ville blive udsendt som lyd. Fra den største (nederste) skive kunne kuglen ikke falde længere, og det var instrumentets (atomets) grundtilstand.

Andre forfattere som den engelske fysiker Oliver Lodge brugte også akustiske analogier til at forklare forholdet mellem strålingsabsorption og kvantetilstande [4]. Lodge skrev, at atomet var at ligne med en samling stemmegafler forbundet til en frit bevægelig kugle. Hvis denne samling af stemmegafler blev udsat for lyd, der ikke svarede til deres resonansfrekvenser, ville der ikke ske noget. Men hvis den indkomne lyd havde bestemte frekvenser, ville stemmegaflerne begynde at vibrere, og den forbundne kugle ville blive stødt væk af bevægelserne.

Lodge brugte en anden model til at forklare atomets opbygning, den såkaldte trappemodel: Tænk på en kugle, der ruller ned en vindeltrappe. Når kuglen kommer til et trin, vil den falde ned og dermed vinde i bevægelsesenergi. Når kuglen rammer næste trin, vil den miste noget af denne energi, og der vil komme en lyd. Trappemodellen skulle illustrere atomets "trinvis" opbygning og sammenhængen mellem energiskift og udsendelse af strålingsenergi.

Bertrand Russell, den kendte matematiker og filosof, der i 1920'erne ernærede sig som videnskabsformidler, skrev bogen "The ABC of Atoms", der udkom i 1923 [5]. For at gøre atomteorien forståelig personificerede Russells atomet. Han skrev for eksempel om elektronen som en hidsig person. Hvis man fornærmede ham,

kunne han lytte på fornærmelserne i nogen tid for så pludselig at fare op. Atomkernen var at sammenligne med en familie, forklarede Russell:

Kernen i alle atomer undtagen brint er et tæt knyttet system, som kan sammenlignes med en familie bestående af energiske personer, der altid skændes. Det sker i radioaktivitet, at nogle medlemmer forlader familien, og man kan se, at den energi, som blev brugt på de evige familieskænderier, er tilstrækkelig til at herske over et helt imperium. Hvis denne energikilde kan bruges kommercielt, vil den sandsynligvis udkonkurrere alle andre [5].

Bohr-atomet som kulturelt ikon

Selvom der var mange analogier for atomet i omløb, da den tidlige kvanteteori fik sit populære gennembrud, har det været planetmodellen, der har vist sig mest levedygtig. Den har endda langt overlevet sit videnskabelige "sammenbrud", som kom med kvantemekanikken i 1926. I dag er Bohr-atomet som et lille planetsystem et kulturelt ikon, der lever sit eget liv helt uafhængigt af kvantefysikken.



Figur 4. Den amerikanske atomenergikommissions logo fra 1946 med atomet som et planetsystem. Kommissionen eksisterede fra 1946-1975 og var den amerikanske regerings forsøg på at anvende atomkraften til civile og fredelige formål. I 1953 lancerede den amerikanske præsident Dwight D. Eisenhower det verdensomspændende program Atoms for Peace, som også benyttede et tilsvarende planet-symbol som logo.



Figur 5. Frimærke med "Atoms for peace".



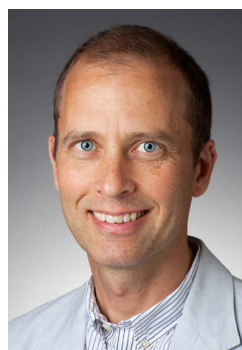
Figur 6. En af de fire videnskabsmønter, der udkom på Niels Bohrs fødselsdag den 7. oktober 2013, viser hans atommodel (Den Kongelige Mønt).

Planetmodellen er visuelt tiltrækkende og giver en intuitiv fornemmelse for atomets struktur og dynamik. Den kan ydermere være med til at give en (falsk) sikkerhed for, at der hersker en vis orden i universet, når den samme beskrivelse kan bruges til såvel atom- som planetsystemer. Endelig rummer planetmodellen en implicit (og igen falsk) forvisning om, at videnskabs-historien gentager sig: Ligesom Kepler og Newton i sin tid skabte harmoni mellem dynamikken på Jorden og i himmelrummet, således har også atomfysikken bragt overensstemmelse mellem Universets største og mindste byggesten.

Det er sikkert disse fordele ved planetmodellen, der har betydet, at den har kunnet leve videre, selvom den længe har været videnskabeligt død. I dag er det svært at se, at den nogensinde vil forsvinde helt. Det betyder, at vi i en rum tid endnu må leve med den pædagogiske udfordring i at forklare forskellene mellem planetmodellen og det rigtige kvanteatom.

Litteratur

- [1] Arnold Sommerfeld (1919), *Atombau und Spektrallinien*. Braunschweig: Vieweg und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn. Citat fra side 68 (egen oversættelse).
- [2] Den danske udgave er: Helge Holst og Hendrik A. Kramers (1922). *Bohrs Atomteori, almenfatteligt fremstillet* (København: Gyldendal). For en analyse af Holst og Kramers bog, se: Helge Kragh og Kristian H. Nielsen (2013) *Spreading the Gospel: A Popular Book on the Bohr Atom in its Historical Context*. *Annals of Science* 70(2): 257-283.
- [3] Max Dresden (1987), *H. A. Kramers: Between Tradition and Revolution*. Berlin: Springer. Citat side 134 (egen oversættelse).
- [4] Oliver Lodge (1924), *Atoms and Rays: An Introduction to Modern Views on Atomic Structure and Radiation*. London: Ernest Benn Ltd.
- [5] Bertrand Russell (1923), *The ABC of Atoms*. London: Kegan Paul & Co. Citat fra side 14 (egen oversættelse).



Kristian Hvidtfelt Nielsen er lektor ved Center for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet. Han interesserer sig for det 20. århundredes videnskabs- og teknologihistorie, herunder videnskabens kulturelle rolle.