



Det såkaldte Hubble-flow betegner galaksernes bevægelse væk fra hinanden. Det skyldes universets evige ekspansion, der begyndte med det berømte Big Bang. Der findes ikke noget centrum, og alle ting bevæger sig væk fra hinanden, ligesom på overfladen af en voksende ballon. Her et kig ind i det dybeste univers, lidt nord for Karlsvognen, observeret af Hubble Space Telescope i december 1995.

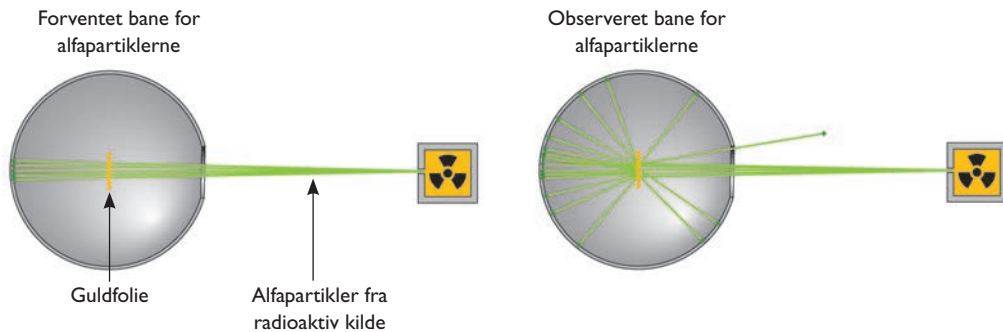
sig nemlig væk fra hinanden i en stor symmetrisk strøm, kaldet det store "Hubble-flow".

De galakser, som er længst borte fra os, vil bevæge sig væk med størst hastighed, ligesom de galakser, der er tættere på, vil be-

væge sig væk, blot langsommere. Det er konsekvensen af et ekspanderende univers, og det vil gælde for alle udsigtspositioner i universet. Horisonten af det synlige univers kan derfor defineres af de galakser, som bevæger sig væk fra os med lysets hastighed. Omvendt vil en beboer på en planet i en sådan galakse selvfølgelig se vores Mælkevej som den yderste kant af sit eget synlige univers. Dette kosmologiske princip siger, at alle udsigtspositioner principielt er lige gode. Der findes ikke noget unikt centrum. Alle punkter i universet, inklusive vores Mælkevej, tog del i Big Bang og bliver nu båret med det kosmiske Hubble-flow, efterhånden som universet udvider sig ligesom overfladen på en stadig større ballon.

Atomets struktur

Den engelske fysiker Ernest Rutherford (1871-1937) gennemførte omkring 1910 en række forsøg, der gav genlyd i hele fysikkens verden. Rutherford sagde om dem, at deres resultat var ligeså utroligt, som hvis man havde skudt nogle store granater ind mod et stykke tyndt papir, og de så var blevet reflekteret tilbage og havde ramt én selv. Han sendte stråler bestående af partikler imod en tynd metal-folie, og hans resultater tydede på, at atomer ikke i sig selv var partikler, men at de igen bestod af andre partikler og var organiseret med en ekstremt lille kerne af positiv ladning med elektroner rundt omkring, fordelt i sfæriske baner.

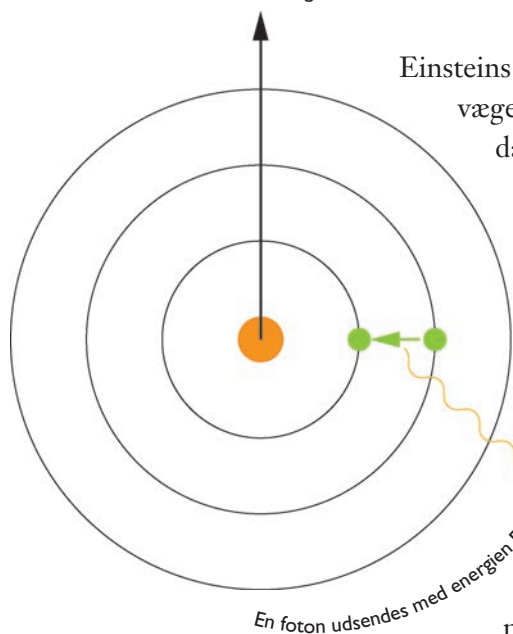


På baggrund af Rutherford's arbejde og andre studier af atomare fænomener, specielt det spektrum, der knyttede sig til grundstoffet brint, fremlagde danskeren Niels Bohr (1885-1962) en model af atomet, der på flere afgørende punkter brød radikalt med den klassiske fysik. Bohr forestillede sig atomet som et lille planetsystem. Elektronerne cirklede om atomkernen. Som henholdsvis positivt og negativt ladede tiltrak de hinanden, og i systemet var "lagret" en vis mængde energi. Elektronen kunne ifølge Bohr befinde sig i forskellige baner omkring kernen, og hvis den "sprang" fra en større til en mindre bane – dvs. kom tættere på kernen – blev der energi frigjort i form af stråling. Bohr præciserede på denne måde Rutherford's opfattelse af atomet, men han gjorde mere end det. Han inddrog også Plancks ide om, at energi kunne forefindes i bestemte størrelser, idet han viste, at der kunne være en sammenhæng imellem elektronens baner og den stråling, dvs. energi, der udsendtes fra atomet. Brints spektrum indeholdt en række træk, som hidtil havde været svære at forklare, og Bohr viste nu til stor overraskelse for alle, og sikkert ikke mindst for ham selv, at hans model kunne forklare disse fænomener.

Der var bare det ved modellen, at den på en række afgørende punkter var direkte i strid med, hvad man på det tidspunkt vidste om stoffets natur. For det første: hvis elektronen var elektrisk ladet og bevægede sig rundt om kernen i en sfærisk bane, så ville dens bevægelse være konstant accelereret, og dermed skulle den ifølge den klassiske elektromagnetiske teori konstant udsende stråling. Men det gjorde den netop efter Bohrs teori kun, når den "sprang" fra én bane til en anden. For det andet var disse "spring" ganske besynderlige. Elektronen bevægede sig fra én bane til en anden fra øjeblik til øjeblik og ikke via nogle punkter imellem de to baner. Ikke engang

Rutherford sendte alfa-partikler gennem et ekstremt tyndt stykke guldfolie (0,00004 cm). På baggrund af tidligere atommodeller regnede Rutherford med et resultat som til venstre. Det faktiske resultat (til højre) fik Rutherford til at antage eksistensen af en tung kerne, som måtte udgøre hovedbestanddelen af atomet. Det var disse tunge, positivt ladede kerner i guldfoliet, som strålingen undertiden kolliderede med. Derfor rikoletterede strålingen tilbage eller blev slået ud af kurs.

Voksende energiniveau



Einsteins teori tillod, at noget på den måde bevægede sig med uendelig stor hastighed, da lysets hastighed her var den største.

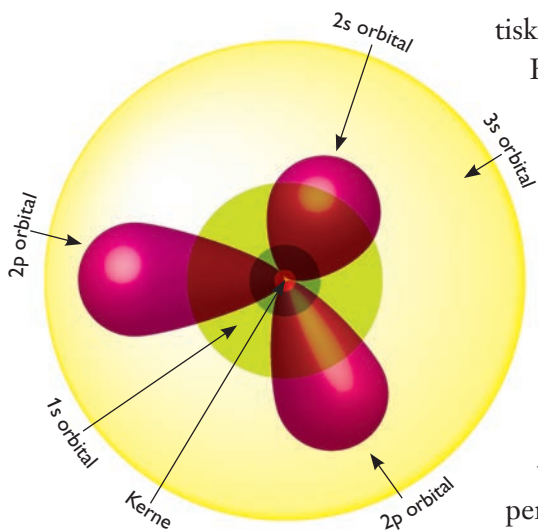
At noget momentant, altså i ét nu, skulle kunne bevæge sig fra et sted til et andet var uhørt. Yderligere problematisk var det, at hvis en negativt ladet elektron kredsede om en positivt ladet kerne, hvorved den burde udsende stråling, så ville den stadig skulle tabe energi og dermed bevæge sig ind imod kernen for endeligt at smelte sammen med denne. Atomet i Bohr-modellen burde være ustabil.

Men alle erfaringer viste, at stof faktisk er stabilt.

Bohr var fuldt ud klar over disse ting.

Men teoriens evne til at forklare og skabe orden var så stor, at den alligevel fik enorm indflydelse. Bohr selv anvendte den til at udvikle en teori om det periodiske system, der skabte stærkt forøget indsigt i kemiske fænomener og knyttede fundamentale fysiske og kemiske forhold teoretisk sammen. Der var således en meget lang række eksperimentelle og empiriske forhold, som fandt en naturlig forklaring ud fra Bohrs teorier, selvom teorierne forekom at indeholde helt afgørende problemer. Der måtte være tale om nye og hidtil uforståede processer.

Bohr arbejdede i årene mellem 1913 og 1924 med alle disse problemer. Han for-



Bohr fremsatte en atommodel, der ligner en planetmodel (øverst). Rundt om kernen kredser elektronerne i forskellige baner, alt efter hvilken energi de har. I den moderne kvantemekaniske repræsentation af atomet (nederst), udviklet af bl.a. Louis de Broglie og Erwin Schrödinger i 1920'erne, tegner man gerne elektronerne som energiskyer ("orbitaler") i forskellige udforminger, alt efter deres energi.

søgte både at udvikle teorien, så den kunne forklare flere og flere empirisk konstaterede fænomener, og at – måske allervigtigst – udlede forskellige logiske og erkendelsesteoretiske aspekter af den. Langsomt i årene 1918-22 formulerede han, hvad han på et tidspunkt kaldte “korrespondensprincipet”. Han formulerede det bl.a. sådan her: “Enhver beskrivelse af naturprocesser må basere sig på ideer, der er introduceret og defineret af den klassiske teori.” Ifølge Bohr må man beskrive de atomare fænomener ved hjælp af begreber, som giver mening, når de anvendes dem på “normale” genstande: sten, bolde, væsker, strøm i ledninger, lys osv. Men samtidig er der visse usædvanlige forhold, man må acceptere, f.eks. eksistensen af mindste størrelser af energi, dvs. Plancks energikvanter.

Beskrivelsen af verden på det mikroskopiske niveau må således ske med begreber, der får deres mening fra erfaringer på det makroskopiske niveau. Alligevel er beskrivelsen af det mikroskopiske niveau på visse områder i modstrid med de makroskopiske erfaringer, men denne modstrid forsvinder, når tilpas store mængder mikroskopiske fænomener forekommer og danner den makroskopiske verden. Senere eksperimenter og teoridannelser skulle dog komme til at udfordre Bohrs erkendelsesteoretiske synspunkter på væsentlige punkter.

Omkring 1923-24 var det klart, at atomare fænomener ikke kun kunne forstås ud fra en model med mikroskopiske elektrisk ladede partikler, der opførte sig efter lovmæssigheder, og som var kvantiserede, men i øvrigt klassiske. Der forelå en række eksperimenter, der viste, at man med rimelighed kunne forstå materien som bestående af partikler – men også at partikler kunne forstås som et bølgefænomen. Et afgørende eksperiment var Arthur Comptons (1892-1962) undersøgelser af forholdet imellem røntgenstråling og elektroner i faste stoffer. Når de kolliderede, skete der en forøgelse af strålingens frekvens. Det viste, at samspillet imellem partikler og stråling var mere komplekst end hidtil antaget. Fænomener, der havde partikelkarakter, kunne udvise strålingsegenskaber, og derfor kunne de også antage bølgekarakter. Det blev for alvor bekræftet i 1927, da man ved eksperimenter fandt ud af, at elektroner kunne opføre sig på måder, der normalt havde med stråling og bølgefænomener at gøre.

Franskmanden Louis de Broglie (1892-1987) tolkede i 1923 Bohrs atommodel sådan, at elektronen i stedet for at være en partikel, der cirkulerede om en kerne, var en art stående bølge, en materie-bølge. Selvfølgelig

var der ingen, der havde *set*, om elektronen var en partikel eller en bølge – det drejede sig derimod om at fremlægge sandsynlige modeller for, hvordan stoffets mikroorganisation var, ud fra en lang række teoretiske antagelser og eksperimenter, som gensidigt understøttede hinanden. Hvis man antager, at energi ikke kan eksistere i mindre enheder end lyskvanter, og elektricitet ikke i mindre mængde end den, som en elektron besidder, så må al erkendelse i form af observation eller eksperimenter nødvendigvis ske ved hjælp af disse enheder. Vil man studere lyskvanter, kan det kun ske via lyskvanter. Der er ingen anden måde at få kendskab til disse fænomener end ved at studere dem via den samme type fænomener. Det er for så vidt samme situation, som findes på det makroskopiske niveau, hvor man ikke kan studere kosmiske sammenhænge ved hjælp af signaler med hastigheder over lysets. Vi er fundamentalt begrænsede i vores erkendemuligheder af de fænomener, vi ønsker at studere. Målinger – kernen i ethvert forsøg på at få viden om verden – er selv fysiske begivenheder og dermed underlagt den fysiske verdens lovmæssigheder og begrænsninger. En af fysikkens mere problematiske opgaver er også at vinde indsigt i disse begrænsninger.

Usikkerhedsprincippet

I årene 1924-25 fremkom den unge tyske fysiker Werner Heisenberg (1901-76) med en ny teori om de atomare fænomener, der skulle vise sig at få vidtrækkende betydning. Heisenberg forsøgte at fremlægge en teori for atomare fænomener, der startede med alene at gå ud fra de observerbare fænomener. Det var først og fremmest en række tal, der angav frekvenser for visse linjer i brints spektrum. Heisenberg fremlagde nu en matematisk model, i hvilken man kunne beregne alle disse tal. Som input i modellen skulle anvendes de forskellige energitilstande, som en elektron kunne være i, og som output fik man så en række tal, der beskrev, hvad der kunne observeres. De energitilstande, et atom kan befinde sig i, er afhængige af de bohrske “spring”, og de forekommer med en vis sandsynlighed. Derfor må beskrivelsen af de atomare fænomener basalt set indeholde en lang række sandsynligheder for, at bestemte energiforandringer sker. Det var muligt for Heisenberg at redegøre for de observerede fænomener, og sågar at forudsige nye – men det var svært at give den rent matematiske model fysisk mening.

For yderligere at komplicere situationen fremkom næsten samtidig