

Historisk bakgrund: Atomer

Introduktion

Atombegreppet är grundläggande för vår moderna vetenskapliga uppfattning av världen. Den framstående fysikern Richard P. Feynman skrev i inledningen till den första av sina föreläsningar i fysik (The Feynman Lectures on Physics) att "om all vetenskaplig kunskap skulle förstöras i en naturkatastrof och bara en enda mening kunde föras vidare till nästa generation, vilket påstående skulle då innehålla mest information med minsta möjliga antal ord? Jag tror att det är den atomistiska hypotesen (eller det atomistiska faktumet, eller vad man nu vill kalla det) att allt är gjort av atomer – små partiklar som är i ständig rörelse, som på nära avstånd dras till varandra men som stöter bort varandra när de pressas samman" (Feynman m.fl. 1963, I-3). Påståendet är relevant för atomens historiska bakgrund därför att Feynman tydligt poängterar att föreställningen om att materien har atomstruktur är viktig för den moderna vetenskapen. Här antyder han också en annan fråga som har ett nära samband med föreställningens uppkomst. När Feynman nämner "den atomistiska hypotesen (eller det atomistiska faktumet, eller vad man nu vill kalla det)" både urskiljer och ignorerar han en avgörande detalj, nämligen huruvida atomen existerar som hypotes eller som faktum och vilken del av beskrivningen som är vilken. Feynman ignorerar frågan genom att överlåta beslutet om vad man ska kalla "det" åt läsaren – ett skenbart grovt slags relativism som möjligen kan förklaras med publiceringen i början av 1960-talet. Med tanke på tidsperioden är det tveksamt om man kunde förvänta sig en annan inställning ur antingen kunskapsteoretiskt eller naturvetenskapligt perspektiv. Från dagens standpunkt är ett sådant påstående en smula irriterande, men det visar ändå hur mycket kunskapen om naturvetenskap har utvecklats under senare årtionden.

För att kunna lära ut atombegreppet är det nödvändigt att känna till ännu en viktig aspekt i dess historiska utveckling, nämligen att begreppet om ett kemiskt grundämne är en förutsättning för att formulera atommodellen. Detta framgår vid en historisk analys av såväl den grekiska antiken som av den moderna tiden. Det kan också spåras i den pedagogiska begreppsbyggnaden. Den historiska utvecklingen av begreppet grundämne behandlas inte i detta bakgrundsmaterial.

Antikens uppfattningar om materiens uppbyggnad

Frågan om den fysiska världens uppbyggnad diskuterades redan under den grekiska antiken, och dessa kunskaper fördes i viss utsträckning vidare till den tidigmoderna perioden i Europa.¹ I detta avseende är det relevant med ett tema om ett grundläggande element som bildar alla andra ämnen, men naturligtvis inte synonymt med ett simplistiskt atombegrepp eftersom detta grundläggande element kan existera utan att vara uppbyggt av partiklar. Filosofer som Thales från Miletos, Anaximenes, Herakleitos och Empedokles var några av de forskare som framförde egna uppfattningar. Omkring 450 f.Kr. framlade två filosofer, Demokritos och Leukippos, tankar som är tillämpliga på introduktionen av atombegreppet. Båda hävdade att den fysiska världen består av myck-

et små partiklar som inte kan delas upp i mindre delar och som kan skiljas från varandra genom sin form och utseende. Enligt Demokritos rör sig dessa atomer i ett tomrum och kolliderar med varandra. Genom att skapa olika kombinationer av atomer bildas olika ämnen. Kombinationerna är inte permanenta och atomerna kan separera igen. Men Leukippos och Demokritos begrepp godtogs inte av deras samtida därför att

två faktorer talade emot att den klassiska versionen av atomism skulle bli allmänt erkänd. Den första faktorn var denna läras orubbliga materialism. Genom att förklara sinnesförnimmelser och till och med tankar med hjälp av atomernas rörelser utmanade atomisterna människans förståelse av sig själv. Atomismen verkade inte lämna något utrymme åt andlighet. Värden som vänskap, mod och andakt kan väl ändå inte reduceras till myllrande atomer? Dessutom lämnade atomisterna ingen plats i naturvetenskapen

åt ändamålsenlighet, vare sig naturlig eller gudomlig. Den andra faktorn var atomisternas ad hoc-förklaringar. (Losee 2001, 25)

Det fanns också en konkurrerande idé om de fyra elementen, som föreföll överlägsen därför att den förklarade beteendet hos all existerande materia såväl som dess egenskaper med hjälp av elementen vatten, luft, eld och jord.²

En central person – kanske den mest centrala – som förkastade atomteorin var Aristoteles, som förespråkade teorin om de fyra elementen och lade till ett femte, etern, som fyllde rymden mellan himlakropparna. Enligt Aristoteles kunde tomrum inte finnas på grund av horror vacui, dvs. naturens "rädsla" för det tomma. Han ansåg att allt i naturen är avsiktligt och att där inte finns några onödiga skeenden. Dessutom har varje föremål ett naturligt läge, och om det rubbas strävar föremålet efter att återgå till samma läge. Med ledning av sina principer kunde Aristoteles förklara observerbara processer. Atomisterna var inte bara oförmögna att lägga fram en bättre förklaring, utan förutsatte också att det fanns osynliga partiklar. Detta var Aristoteles främsta kritik mot den atomistiska teorin, förutom att den inte godtog tanken om tomrum, vilket motsade hans teori. Han menade också att idén om kroppar i ständig rörelse var orimlig. Han var motståndare till atombegreppet i sin helhet eftersom det stred mot hans viktigaste tankar. Trots detta är Aristoteles fortfarande betydelsefull för den moderna utvecklingen av atomistisk teori eftersom skrifterna av Leukippos och Demokritos gått förlorade och vi bara känner till dem genom Aristoteles kritik.

Aristoteles verk bevarades och utökades i den islamska kulturen, och tack vare denna kultur kom skrifterna och tankarna tillbaka till Europa och den kristna kulturen. Under skolastiken blev den aristoteliska uppfattningen gängse, framför allt som den ansågs stämma överens med bibeln. Så småningom utvecklade astronomer och senare även naturfilosofer en annan uppfattning om naturens skeenden. Följaktligen ifrågasattes Aristoteles auktoritet allt oftare under 1600- och 1700-talen, och mot

slutet av denna period var det i stället den experimentellaste, upplyste naturfilosofen som ansågs kunna avslöja naturens lagar och väsen. Nu utvecklades experiment och tankegångar som verkade styrka antikens atomistiska hypotes. Särskild viktigt var att kunna påvisa att vakuum existerade. Ett annat argument som användes var att om en liten bit rökelse bränns kan lukten kännas i hela rummet. Eftersom rummet är betydligt större än utrymmet som rökelsen från början tog i anspråk, måste den ursprungliga biten vara delad i över 750 000 000 delar. Beräkningen skulle visa hur små de partiklar var som utgjorde den lilla biten rökelse (se Beer & Pricha 1997). Sådana resonemang var dock inget annat än enkla kalkyler, och ingen tog ställning till atomernas existens eller deras väsen. Uppfattningar av det senare slaget utvecklades först i början av 1800-talet.

Materiens struktur: Dalton

När den moderna naturvetenskapen föddes var troligen den första forskaren som utvecklade den atomistiska teorin John Dalton, en brittisk kemist som anslöt sig till Lavoisiers nya, kvantitativa förhållningssätt till kemi. Att använda en våg för att analysera kemiska reaktioner var ett stort framsteg i Lavoisiers nya system, vilket gav kemister nya perspektiv på kemiska reaktioner. Upprepade gånger påtalade Lavoisier själv skillnaden mellan klassisk kemi och hans nya metod, till exempel: "Lavoisier skrev i *Opuscules physiques et chimiques* (1774) att han 'på kemin tillämpade inte bara den experimentella fysikens apparatur och metoder, utan också den anda av precision och beräkningar som utmärker denna vetenskap'" (Nye 1993, 35). Men det var inte enbart metodologiska anstalter eller begreppsliga förändringar som skilde Lavoisiers kemi från den tidigare uppfattningen. Två viktiga inslag var den annorlunda synen på kemiska reaktioner som hjälpte honom att använda den kvantitativa beskrivningen samt insikten att "enkla substanser" kan tolkas som element som inte kan sönderdelas ytterligare. På den punkten var Lavoisier tydlig:

Därför ska jag bara tillägga, att om vi med termen element avser att beteckna de enkla och odelbara atomer av vilken materien är sammansatt, är det ytterst troligt att vi inte vet

något alls om dem. Men om vi använder termen element, eller kroppars principer, för att uttrycka vår föreställning om den yttersta punkt dit analysen kan sträcka sig, måste vi till elementen hänföra alla de substanser till vilka vi kan reducera kroppar genom sönderdelning. (Lavoisier 1794, xxiii)

Värt att notera är att Lavoisier redan använde termen "atom" trots att han inte använde sig av en atomistisk teori. Begreppet element i Lavoisiers uttalande är ett påfallande inslag i den atomistiska teorins utveckling.

Ett viktigt steg i utvecklingen kom från de kvantitativa observationerna i slutet av 1700-talet, nämligen att kemiska föreningar är resultatet av proportionella reaktioner i massan hos elementen eller grundämnena som bildar föreningen. Regeln blev känd som lagen om konstanta proportioner. Trots att lagen verkade gälla kemiska reaktioner som hade analyserats kvantitativt, fanns det en annan påfallande aspekt som först beskrevs av Dalton. Han insåg att det fanns vissa kemiska reaktioner i vilka olika föreningar bildades genom en kombination av samma grundämne. (Till exempel kan två olika föreningar uppstå när koppar reagerar med syre; samma sak med kol och syre, och så vidare.) Produkten bestämdes av mängden av de båda reaktanterna. Dalton lade märke till ännu en regelmässighet, nämligen att det fanns ett proportionellt förhållande som kunde uttryckas i små heltal mellan massan hos grundämne A som reagerade med samma mängd grundämne B och bildade två olika föreningar. På grund av denna insikt formulerade Dalton en annan lag: Lagen om multipla proportioner. Denna lag säger att om två grundämnena reagerar med fler än en förening, då är massan hos grundämne A som reagerar med samma mängd B små heltalsmultiplar. De båda lagarna var inledningen till det stökiometriska förhållningssättet inom kemin.

Lagen om multipla proportioner byggde på empirisk evidens, men den var inte den enda slutsats som Dalton drog av sina experiment. I en föreläsning vid Royal Institution of Great Britain lade han fram följande idéer, som utgör den moderna atomteoriens grund:

All materia består av atomer

Atomer kan inte tillverkas eller förstöras
Alla atomer av samma grundämne är identiska
Olika grundämnena har olika slags atomer
Kemiska reaktioner uppstår när atomer flyttas
Föreningar bildas av atomer i de ingående grundämnena

Uppenbarligen använde Dalton "atom" på ett annat sätt än Lavoisier. Daltons uppfattning av atomer kännetecknas bland annat av att de ska vara möjliga att räkna och att de ska ha en viss vikt, medan enligt Lavoisier deras kemiska egenskaper är mer relevanta och det till och med är osäkert om atomen verkligen är en partikel.

Med dessa antaganden kunde Dalton ge en förklaring till de stökiometriska lagar som han och andra hade formulerat. Enligt denna uppfattning är lagen om konstanta proportioner ett resultat både av insikten att alla atomer av samma grundämne är identiska och att kemiska reaktioner är ett resultat av omflyttning av atomerna. Lagen om multipla proportioner kan då tolkas som resultatet av olika arrangemang av atomer som resulterar i olika föreningar. Vid tolkningen byggde kunskapen om kvantitativ kemisk analys på det första paradigmet, i Kuhns bemärkelse, vilket gjorde denna bedrift i stökiometrisk kemi till vetenskap. Men detta godtogs inte automatiskt. Visserligen antogs Daltons teori snart av många kemister, men andra förkastade den. Ett huvudproblem var antagandet att olika grundämnena bestod av olika slags atomer, vilket gjorde att man vid 1800-talets början hade identifierat omkring trettio olika atomer – och antalet ökade. I stället för att förenkla materiens struktur gjorde Daltons atomistiska teori således naturen mer komplex. Trots kritiken användes de stökiometriska lagarna av kemisterna, av vilka några använde bråk för att uttrycka massproportioner, vilket skulle innebära att det inte fanns någon odelbar partikel. Problemet gällde inte bara att den nya teorin var svår att acceptera inledningsvis, eftersom motstånd mot teorin fortfarande tog sig explicita uttryck hela sextio år senare. År 1869 hävdade Alexander William Williamson, ordförande för Chemical Society, i ett tal: "... att å ena sidan alla kemister använder den atomistiska teorin och att å den andra ett betydande antal av dem betraktar den med misstro, somliga rentav med avsky" (citerad i

Tilden & Glasstone 1926, 227). Några ryktbara kemister och fysiker förkastade den atomistiska teorin så sent som i början av 1900-talet. Särskilt för kemister blev dock atomen en entitet som de använde vid analys av kemiska reaktioner, men den ansågs inte vara verklig (vare sig i positivistisk mening eller som tillämpningsbar teoretisk beskrivning) utan bara en heuristisk metod för att beskriva kemiska reaktioner, utan att bidra till verklig förståelse av materia (Görs 1999).

Atomen blir erkänd

Samtidigt som några kemister accepterade atomen som en användbar hypotes, började fysiker använda atomen som en verklig entitet och som giltig förklaringsmodell. Särskilt den i utveckling stadda termodynamiska vetenskapen spelade stor roll för att etablera den fysiska atomen, något som är helt avgörande för kinetisk teori eftersom atomer i rörelse svarar för värme. Inte desto mindre utsattes den realistiska tolkningen för stark kritik, särskilt av det tyskspråkiga vetenskapssamfundet, bland annat av framstående forskare som Ernst Mach, Wilhelm Ostwald och Georg Helm. Striden mellan dessa ledande forskare, särskilt Ostwald (som fick nobelpriset i kemi 1909) och Mach, och dem som förespråkade en statistisk tolkning, främst Boltzmann, handlade inte bara om fysiska frågor utan om djupa, filosofiska spörsmål. En avgörande fråga gällde huruvida enskilda atomer var synliga och om det fanns några belegg för att enskilda atomer existerade.

I början av 1900-talet verkade det som om atomismen höll på att kullkastas, och Boltzmanns uppfattning ansågs vara en rest från det förra århundradet. Men läget ändrades snabbt när Plancks strålningsteori blev erkänd och Einstein och Smoluchowski publicerade sin tolkning av brownsk rörelse. Fenomenet hade beskrivits av flera iakttagare under 1700-talet men tillskrevs biologen Robert Brown, som i början av 1800-talet lade märke till att små pollen- och dammpartiklar som flöt på en vattenyta rörde sig i oberäkneliga mönster. Det märkliga med rörelsen hos de livlösa partiklarna var att den aldrig verkade upphöra. I cirka ett halvt århundrade var tolkningen av rörelsen en öppen fråga. Trots att några fors-

kare vid slutet av 1800-talet föreslog lösningar som låg i linje med dagens tolkning, dröjde det till 1905 och 1906 innan Albert Einstein och Marian Smoluchowski oberoende av varandra lade fram sin matematiska analys av brownsk rörelse. Faktum är att Einsteins artikel var en av de tre berömda uppsatserna i hans annus mirabilis, i vilket de två andra handlade om den fotoelektriska effekten respektive den speciella relativitetsteorin. Båda forskarna förklarade att brownsk rörelse kunde orsakas av vattenpartiklarnas rörelseenergi. Förklaringen verkade vara den första makroskopiska effekt som gjorde antagandet om små partiklar nödvändigt, och bildade därmed empirisk evidens för den kinetiska teorin och därför också för den atomistiska teorin. Ostwald sägs ha blivit övertygad om att den atomistiska teorin var giltig därför att beskrivningen av denna stämde överens med empiriska data. Ungefär vid samma tid gav ett annat exempel belegg för den atomistiska teorins giltighet, vilket sägs ha övertygat Mach: När radioaktiva partiklar placerades intill en fluorescerande skärm syntes små ljusblixtar, vilket tolkades som effekten av enstaka α -partiklar. Den tidigare nästan helt förkastade atomismen hade inom några få år blivit så gott som helt accepterad. Boltzmann, den atomistiska teorins främsta förespråkare, fick däremot aldrig uppleva att teorin som han hade kämpat för blev allmänt accepterad eftersom han tog livet av sig i september 1906.

Atomen får en grundstruktur

Innan Einsteins och Smoluchowskis arbeten bidrog till att skapa konsensus kring den atomistiska beskrivningen av materia hade några forskare lagt fram empiriska resultat som faktiskt motsade den ursprungliga åsikten om att atomen var odelbar. Redan Faradays forskning om elektrolys på 1830-talet kunde ha väckt frågor om atomens grundläggande och odelbara natur så som Dalton formulerade den. Enligt Faradays undersökning frigjorde en viss mängd elektricitet under en elektrolytisk process en viss mängd av ett grundämne, men detta empiriska resultat väckte inga frågor om materiens atomära uppbyggnad. Tvärtom förblev det oklart långt in på 1900-talet om elektricitet hade atomär struktur eller om förhållandet mellan elektrisk laddning och frigjord

materia var medelvärde av flera reaktioner som inträffade samtidigt. Först när Millikans mätningar av elementarladdningen erkändes genom att han fick nobelpriset i fysik 1923 var saken avgjord, åtminstone för majoriteten av forskare (se Holton 1978).

I slutet av 1800-talet dök det upp andra belägg som ifrågasatte atomens odelbara natur. Utgångspunkten utgjordes egentligen av forskning som så här i efterhand kunde tolkas som ytterligare belägg för den atomistiska teorin, även om den dåvarande tolkningen var en annan. På 1860-talet visade kemisten Bunsen tillsammans med fysikern Kirchhoff att ljuset som avgavs från ett ämne var unikt för varje material och att bara särskilda frekvenser (eller linjer vid spektralanalys) utstrålades eller absorberades. Detta var också en metod för att bestämma nya grundämnen, vilket ledde till att antalet grundämnen de närmast följande åren ökade kraftigt. Spektralanalys var en viktig fråga och utvidgades till analys av katodstrålar och deras interaktion med gaser i rör. Experimentella forskare hoppades därigenom kunna utveckla kunskapen om materiens sammansättning (Müller 2004). Särskilt lovande verkade analysen av katodstrålar. Bland forskarna inom detta fält fanns J. J. Thomson. När han analyserade katodstrålar fann han att de utgjordes av partiklar med en massa på cirka en tusendel av en väteatom. Han kunde också bestämma förhållandet mellan massa och laddning genom att avlänsa partiklarna i ett magnetfält. Desto viktigare var hans experiment med olika katodmaterial för att utsända de strålar som avgavs när katoden hettades upp och sedan accelererades i ett magnetfält. Thomson visade att alla partiklar i stort sett hade samma egenskaper, oavsett vilket katodmaterial som användes. Detta kunde betraktas som ett tecken på att partiklarna (eller korpusklarna, som han kallade dem) var en grundläggande beståndsdel av materien. Men det var problematiskt att föreställa sig en stabil atom som innehöll sådana lätta, elektriskt laddade partiklar. Thomson kom slutligen fram till en lösning: "Vi antar att atomen består av ett antal korpusklar som rör sig i en sfär av likformig positiv elektrifiering ..." (Thomson 1904, 255). Konsekvensen av denna hypotes var att atomen inte längre var odelbar och att atommodellen

behövde modifieras.

När forskarna vände uppmärksamheten mot radioaktivitet i början av 1900-talet blev ytterligare en förändring av atommodellen nödvändig. En av forskarna som gjorde sin vetenskapliga karriär genom att analysera radioaktivitet var nobelpristagaren Ernest Rutherford, fysiker från Nya Zeeland, som inledde sin forskarbana i Kanada och sedan flyttade till England. I Cavendish-laboratoriet utförde två av hans assistenter – Geiger och Marsden – experimentet med att sprida α -partiklar från en metallfolie (Geiger & Marsden 1909).

Rutherford hade redan anat att spridning är möjlig efter att ha observerat α -partiklar passera genom glimmer-skivor. Han gjorde om samma experiment och resultatet var synnerligen omskakande, om än inte helt oväntat. Under experimentet använde Geiger och Marsden guldfolie eftersom denna kunde göras ytterst tunn. De lade märke till att de flesta α -partiklar passerade igenom metallfolien, medan några spreds och ett fåtal studsade tillbaka. Heilbron noterar att:

i efterhand betraktat var Marsdens upptäckt "det otroligaste" som någonsin hade hänt honom [Rutherford, PH], nästan lika otroligt, sade han senare, som om en femtontumsgranat avfyrad mot en bit silkespapper hade studsats tillbaka och träffat artilleristen. Att det militära bildspråket och klotrogenheten är senare påhitt inser man lätt av en föreläsning som Rutherford höll sex månader efter upptäckten av den diffusa reflektionen. (1981, 264f)

Resultatet av experimentet var helt oväntat i forskarsamfundet, och Rutherford formulerade en lika oväntad förklaring: Med ledning av hur α -partiklarna uppförde sig räknade han ut att atomen hade en liten, positivt laddad kärna som innehöll nästan all dess massa, medan resten av atomen var tom, förutom elektronerna som rörde sig någonstans på insidan.

Atomer kan förändras

Samtidigt som Rutherford blev känd för sin forskning om radioaktivitet, var den förste som observerade radioaktivitet den franske fysikern Henri Becquerel. Man kan använda termen "upptäckt" för att beteckna hans första

observation eftersom den var helt oväntad, trots att man kände till effekter av strålning sedan Röntgens föreläsning av röntgenstrålar. Hans upptäckt öppnade ett nytt forskningsfält, som varken han eller andra forskare direkt gav sig ut på därför att strålningen från uransalter bara ansågs vara en kuriositet utan vetenskapligt värde. Det var den unga polska kemisten Marie Skłodowska som i samarbete med den franske fysikern Pierre Curie satte rampljuset på det nya fältet. Marie och Pierre Curie hävdade att det i ett flertal olika radioaktiva prover måste finnas andra grundämnen än uran, eftersom strålningen var starkare i de övriga proverna än den som rent uran gav ifrån sig. Genom lång och mödosam analys kunde de till sist preparera rena prover av grundämnena polonium och radium, vilka kunde identifieras genom sina spektrum. Särskilt radium kom att hamna i centrum för forskningen inom det nya fältet eftersom det är ganska aktivt och avger annan strålning än den från uran. Det stod klart att många andra grundämnen kunde avge sådan strålning. Flera andra häpnadsväckande fynd gjordes, bland annat när ett grundämne omvandlades till ett annat vid α - eller β -sönderfall, vilket återges i följande anekdot:

Bland annat upptäckte Rutherford och Soddy att radioaktivt torium sakta, atom för atom, förvandlade sig självt till radium. I samma ögonblick som han insåg det, utropade Soddy: "Rutherford, detta är transmutation!" "För guds skull, Soddy", replikerade hans kollega, "kalla det inte transmutation! De kommer att halshugga oss som alkemister." (Weart 1988, 5f)

Makarna Curies arbete hade redan upprättat en grundläggande idé: Strålningen från ett material hänger samman med vissa av grundämnets egenskaper. Uran gav ifrån sig strålning som skilde sig från polonium och radium. Dessutom insåg man under experimenten att aktiviteten hos ett prov avtar med tiden, vilket är uppenbart med tanke på att atomerna omvandlas till dem som ingår i ett annat grundämne. Ett problem i samband med den avtagande aktiviteten var att halveringstiden inte var ett värde som var tillämpbart på enskilda atomer. Först trodde man att detta visade att atomfysik bara behövde utvecklas, men till sist stod det klart att det helt enkelt inte är möjligt att förutsäga hur en enskild atom beter sig

och att sönderfall bara kan beskrivas statistiskt. Vid analys kunde man bestämma tre olika strålningstyper som snart beskrevs. Överraskande nog visade sig α -strålarna vara kärnor av helium, ett grundämne som fram till dess bara hade påvisats i solen med spektroskopiska metoder och som inte verkade finnas på jorden. Att α -strålar var positiva partiklar medan β -strålarna var negativt laddade elektroner innebar att inte bara negativ massa kunde avges från atomen, utan också en del av den positiva massan.

Fysiska atomer och kemiska atomer

En av de första uppgifter som de experimentella forskarna satte igång med så snart det stod klart att radioaktivitet skulle komma att bli ett betydelsefullt forskningsområde var att bestämma de olika strålarnas egenskaper. Bland annat bestämdes massa och laddning hos de partiklar som bildade strålarna. Detta gjordes med hjälp av ett väl definierat magnetfält vinkelrätt mot strålarnas riktning. Genom avböjningen kunde förhållandet mellan massa och laddning bestämmas. En motsvarande metod användes för att analysera atomer, vilket gav ytterligare insikt i deras struktur och löste ett av de återstående problemen. Genom arbeten av särskilt Francis Aston, som utvecklade metoden med mass/laddningsförhållande till en masspektrometer, insåg man att även om atomerna i ett grundämne var omöjliga att särskilja ur kemisk synvinkel var så inte fallet ur fysisk synvinkel. Aston visade att det för flera grundämnen fanns olika atomer som kunde särskiljas enbart genom sin massa. Detta bidrog till att förklara varför vissa grundämnen hade en atomvikt som inte var en heltalsmultipel av väteatomen. Av Astons data framgick tydligt att atomvikten var det viktade medelvärdet av massan av atomerna, vilket Soddy, Rutherfords kollega, redan hade förutsagt och benämnt isotoper. Beräkningen gjorde det uppenbart att atomvikten hos varje enskild isotop, inom felgränserna, var en heltalsmultipel av väteatomen.

Atomer kan omvandlas

De flesta experimenten med radioaktiva ämnen gick ut på att analysera strålningen, men några forskare försökte omvandla atomerna (artificiell transmutation). Först an-

vändes α -partiklar som avfyrades mot materia. Man lade märke till att några atomer kunde integrera α -partikeln i kärnan så att ett nytt grundämne bildades. Den första som genomförde experimentet var återigen Rutherford, som visade att när α -partiklar sändes genom kväve kunde väte och syre påvisas. Rutherfords tolkning var att kvävekärnan absorberade en α -partikel, varpå den nya kärnan omedelbart avgav en vätekärna. Detta var det första lyckade försöket att omvandla ett grundämne och att skapa ett nytt, vilket inom kort följdes av andra liknande experiment. Man bör dock vara medveten om att detta inte var fission (kärnklyvning) – något som fortfarande ansågs vara en omöjlighet.

Rutherford döpte vätekärnan till proton och postulerade att denna var en elementär komponent som ingick i alla atomkärnor. Fortfarande var det problematiskt att kärnans massa inte utgjorde heltal av protonens massa. Två återstående frågor var hur det kom sig att de positiva protonerna kunde bilda kärnan och hur β -sönderfall kunde förklaras. Rutherford antog att det också fanns elektroner i kärnan, att de bildade par med protonerna och att paren kunde hålla samman elementarpartiklarna i kärnan.

Bland forskarna som försökte utforska kärnan och atomerna genom interaktion med α -partiklar fanns Irène Joliot-Curie (dotter till Marie Curie) och hennes make Frédéric. De gjorde om några experiment som tidigare gjorts i Berlin. När de bestrålade beryllium med α -partiklar lade de märke till höga strålningsnivåer, som de till en början antog var γ -strålar. Strålningens partiklar var inte laddade och verkade ha en mycket stor energimängd. Trots att de saknade laddning kunde partiklarna interagera med väte och avge elektroner. Paret Joliot-Curie hävdade att tolkningen av experimentens resultat var γ -strålar, medan James Chadwick, som arbetade tillsammans med Rutherford, valde en annan tolkning. Enligt honom kunde strålningen förklaras med en ny partikel som gav upphov till en helt ny strålningstyp. Ytterligare experiment visade att partiklarna hade en vilomassa nära protonens och kunde betraktas som den partikel som ersatte proton-elektronparet som Rutherford

hade antagit var förklaringen till kärnans relativa stabilitet.

Neutronen gjorde det möjligt att fortsätta experimenten med transmutation, eftersom frånvaron av en repulsiv elektrostatisk kraft undanröjde problemet med att försöka få in en α -partikel i kärnan och gjorde det möjligt att skapa nya radioaktiva isotoper och nya sönderfallsprodukter. Bland forskarna på detta fält fanns paret Joliot-Curie i Paris, Fermi i Italien och Hahn och Strassmann i Berlin. Alla var inriktade på att skjuta in en neutron i en urankärna, som vid den tiden var det tyngsta kända grundämnet. Målet var att framställa så kallade transuraner, grundämnena med högre atomnummer än uran, som verkade vara den enda möjligheten att få fram nya grundämnena eftersom det periodiska systemet ansågs vara fullständigt.

Av dessa forskare var kemisten Hahn mest missbelåten med resultatet: Det verkade som om uran hade omvandlats till barium, som hade avsevärt lägre atomvikt än uran. Hahn tog upp frågan i ett brev till sin tidigare, mångåriga medarbetare, fysikern Lise Meitner, som kort dessförinnan hade flyttat till Sverige efter att ha flytt från det hotfullt fascistiska Tyskland efter det så kallade Anschluss av Österrike. Meitner svarade först att ett sådant resultat inte verkade rimligt, men skrev i samma brev att radioaktivitetens historia rymde så många överraskningar att man knappast kunde säga att det eller det var omöjligt. Hahn insisterade på att han hade verifierat barium, och i ett annat brev som skrevs några dagar senare ansåg Meitner att fission kunde ha ägt rum, åtminstone vad beträffar energi. I ett samtal med sin brorson Otto Frisch, formulerade Meitner tanken på att modellen av atomerna kunde tänkas likna en droppe: Om ett föremål träffade droppen med tillräckligt mycket kraft skulle stöten dela den i två mindre droppar.

Tillsammans med Strassmann publicerade Hahn till sina rön och nämnde att han i egenskap av kemist måste nämna att de resulterande isotoperna betedde sig som barium, men likväl ansåg han att han ur fysikens synvinkel fortfarande inte var övertygad om att ett sådant

grundämne kunde ha bildats vid ett sådant experiment. Åsikterna om detta skiftade mycket snabbt, och forskarna påpekade genast att en sådan reaktion inte bara skulle frigöra mycket energi utan också neutroner, vilket möjliggjorde en kedjereaktion.

Tack

Jag står i skuld till D. Metz (University of Winnipeg) för hans omsorgsfulla granskning av innehållet och för kommentarer om tidigare versioner av detta dokument samt till Cathrine Froese Klassen och Stephen Klassen för deras noggranna redigering av texten.

Litteratur¹⁰

- Berr, F., & Pricha, W. (1997). *Atommodelle* (3. uppl.). München: Deutsches Museum.
- Blackmore, J. (1995). *Ludwig Boltzmann: His Later Life and Philosophy, 1900–1906. The Philosopher*. Dordrecht: Kluwer.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (1963). *The Feynman lectures on physics*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Geiger, H., & Marsden, E. (1909). "On a Diffuse Reflection of the α -Particles." *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 82(557), 495–500.
- Görs, B. (1999). *Chemischer Atomismus: Anwendung, Veränderung, Alternativen im deutschsprachigen Raum in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts*. Berlin: ERS.
- Heidelberger, M. (1993). *Die innere Seite der Natur: Gustav Theodor Fechners wissenschaftlich-philosophische Weltauffassung*. Frankfurt am Main: Klostermann.
- Heilbron, J. L. (1981). *Historical studies in the theory of atomic structure*. New York: Arno Press.
- Holton, G. J. (1978). *The scientific imagination: case studies*. Cambridge [Eng.]; New York: Cambridge University Press.
- Lavoisier, A. L. (1794). *Elements of Chemistry*. Övers. av Kerr, 4. uppl., Edinburgh: William Creech.

- Losee, J. (2001). *A historical introduction to the philosophy of science*. Oxford [Eng.]; New York: Oxford University Press
- Morgenweck-Lambrinos, V., & Trömel, M. (2001). "Wissenschaft und Legende: eine Nachbetrachtung zu Lise Meitner, Otto Hahn und die Kernspaltung: eine Legende aus unseren Tagen." *NTM*, 9, 29–40.
- Müller, F. (2004). *Gasentladungsforschung im 19. Jahrhundert*. Berlin: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik.
- Müller, I. (2008). "Ein Leben für die Thermodynamik. Vom Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zum Planckschen Wirkungsquantum." *I: Physik Journal* 7/3, 39–45.
- Nye, M. J. (1993). *From chemical philosophy to theoretical chemistry: dynamics of matter and dynamics of disciplines, 1800–1950*. Berkeley: Univ. of California Press.
- Rife, P. (1992). *Lise Meitner: Ein Leben für die Wissenschaft*. Hildesheim: Claasen.
- Shapin, S., & Schaffer, S. (1989). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton: University Press.
- Sichau, C. (2005). *Atomphysik: historische und fachliche Materialien zur Unterrichtsvorbereitung*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum (diz).
- Simonyi, K. (1995). *Kulturgeschichte der Physik: von den Anfängen bis 1990* (2. uppl.). Thun, Frankfurt/Main: Deutsch.
- Thomson, J. J. (1904). "On the structure of the atom: an investigation of the stability ...". *I: Philosophical Magazine* 6, 7(39), 237–265.
- Tilden, W. A., & Glasstone, S. (1926). *Chemical discovery and invention in the twentieth century*. London: Routledge.
- Weart, S. R. (1988). *Nuclear fear: a history of images*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Fotnoter

¹. Det finns belägg för att modeller av den fysiska världen förekom i såväl indisk som babylonisk kultur, men dokumentationen av begreppen är sparsam och de har inte spelat någon roll för introduktionen av atomteori i europeisk vetenskap. Därför behandlas de inte här.



- ². Dessa element var inte samma sak som vi menar med jord, eld, luft och vatten, utan de är elementära principer. (Se även bakgrunden till utvecklingen av periodiska systemet).
- ³. Några av kontroverserna kring existensen av vakuum och de därmed sammanhängande filosofiska implikationerna finns beskrivna i Shapin och Schaffer 1989.
- ⁴. Enligt Clarke (1803) hölls den första föreläsningen hos Manchester Philosophical Society.
- ⁵. <http://www.rsc.org/chemsoc/timeline/pages/1803.html>, senast läst 18 april 2012.
- ⁶. Av andra skäl kritiserade även Max Planck till en början atomismen så som han uppfattade den i Boltzmanns statistiska tolkning (se Müller 2008). Debatten var inte begränsad till det tyskspråkiga samfundet: Ett annat exempel på motståndare till atomismen var Henri Poincaré.
- ⁷. Även hans son George Paget Thomson fick nobelpris i fysik, den här gången för sitt arbete om elektrondiffraction. Även om det är alltför förenklat skulle man kunna säga att J. J. Thomson fick nobelpriset för att ha visat att elektroner är partiklar, medan sonen fick samma pris för att ha visat att elektroner inte är partiklar utan i stället har vågegenskaper.
- ⁸. Året innan hade den japanske fysikern Nagaoka formulerat en liknande lösning.
- ⁹. Innan experimenten utfördes hade begreppet nukleär fission så tidigt som 1934 formulerats av Ida Noddack när hon kritiserade Fermis resonemang i hans experiment med transuraner.
- ¹⁰. Ljudfiler med förgrundsgestalter som Thomson, Rutherford, Hahn m.fl. finns på <http://history.aip.org/history/exhibits/mod/fission/fission1/01.html>.

Historisk bakgrund: Atomer har skrivits av Peter Heering med stöd från EU-kommissionen (projekt 518094-LLP-1-2011-1-GR-COMENIUS-CMP) och Universität Flensburg, Tyskland. Texten är enbart ett uttryck för författarens åsikter, och kommissionen kan inte göras ansvarig för nyttjande som kan göras av informationen i denna.

De engelska och tyska versionerna finns på <https://www.uni-flensburg.de/en/project-storytelling/>. översättning fran engelska till svenska av Thomas Grundberg på uppdrag av Nationellt resurscentrum för fysik (NRCF).