

JENS PAASKE

KVARKER, LEPTONER OG DEN OVERFLØDIGE SAMLING

Jagten på en teori for alting – og ingenting

Fra Baguio City i det nordlige Filippinerne når man efter 12 timers busrejse provinsen Kalinga, hvorfra yderligere otte timers hasarderet rejse i jeep bringer én til en af bano-stammens større landsbyer, Balbalasang. Denne landsby, hvis smede indtil anden verdenskrig var berømte for fremstillingen af Kalingas bedste hovedjægerøkser, består i dag af 88 huse beliggende tæt sammen mellem bananpalmer og kaffetræer på Saltan flodens sydlige bred. Landsbyen har sin egen skole, opført af amerikanske missionærer i 1923, hvor størstedelen af byens børn og unge i dag uddannes til og med „high school“.

For ganske nylig fandt jeg mig selv ved tavlen i denne skole, hvor jeg havde den fornøjelse at vikariere for den lokale fysiklærer foran cirka 30 elever på de to sidste klassetrin. På en god times tid nåede vi fra brintatomet til superledere ad en rute, som på glimrende vis tillader et kig ind i kvantemekanikkens forunderlige verden, og som jeg tænkte ville kunne anspore til yderligere nysgerrighed hos mine opmærksomme tilhørere. En særlig dramatisk passage på denne ekskursion møder man ved Niels Bohrs overraskende forklaring på atomets stabilitet, og det var midt i denne udredning, at jeg hørte et par piger på forreste række hviske sammen om *kvantetal*. Jeg havde det pludselig som Joakim von And, der, just ankommet til den glemte dal *Tralala*, erfarer, at al handel foregår med betaling i sodavandskapsler, og herfra gik resten af mine kvantemekaniske udredninger glat. Elevernes kendskab til kvantetal, fik jeg siden opklaret, måtte tilskrives kemitimerne, i hvilke de havde lært om grundstofferne og om, hvorfor kun visse af disse reagerer med hinanden. Ganske vist beklagede kemilæreren sig over, at skolens ringe samling af rene grundstoffer ikke tillod dem at udføre alle de centrale eksperimenter, men de havde dog været i stand til at demonstrere systematikken i det periodiske system og forklare, hvordan denne kan forstås via Niels Bohrs skalmodel for atomet og de dertil hørende kvantetal.

Nærværende artikel vil på ingen måde opholde sig ved det unægteligt interessante forhold, at ypperlige hovedjægere slap hovedøkserne og fattede interesse for det periodiske system, og denne fortælling tjener således hovedsageligt til at illustrere den kulturuafhængige reproducerbarhed og universelle gyldighed af en af naturvidenskabens største landvindinger. Med udgangspunkt i denne periodisk systematiserede *samling* af de kendte grundstoffer diskuteres i stedet nogle af de centrale organiserende principper i fysikken og disses nyligere anvendelse i den moderne elementarpartikelfysik, som har ledt til den såkaldte *standardmodel* for alt observerbart stof og dets indbyrdes vekselvirk-

ning; altså for universet i al sin enkelhed!

Jagten på stoffets elementære bestanddele er et forsøg på at overflødiggøre en egentlig samling af alverdens materialer fra nær og fjern. En sådan samling ville rimeligvis være aldeles uoverskuelig, og det er således oplagt at forsøge at erstatte den med en mindre samling af repræsentative „grundstoffer“, ud fra hvilke alle materialer i princippet kan rekonstrueres i en mangfoldighed af forskellige kombinationer. Forekommer den re-sulterende samling imidlertid stadig for uoverskuelig, kan man passende forsøge at gentage succesen, og således arbejder man sig videre ned til en stadigt mindre samling af stadigt mindre bestanddele i en bevægelse fra det partikulære til det generelle. Kunsten ved en sådan sortering består i at identificere den rette fællesnævner, og til dette formål har det i fysikken ofte vist sig muligt at drage stor nytte af symmetribetragtninger. Hvordan sådanne betragtninger mere konkret er bragt til nytte i fysikkens sortering af „grundstofferne“ vil forsøges illustreret ved en gennemgang af et udvalg af de store landvin-dinger i partikelfysikkens historie. Efter et kort historisk rids af den tidlige atomisme diskuteres i større detalje, hvorledes opdagelsen af „den periodiske systematik“ ledte til en forståelse af kemi i termer af atomer. Herfra zoomes der yderligere ind på atomet og på atomkernerne og endelig helt ind til de mindste bestanddele, vi kender i dag. Den detaljerede forståelse vi i dag har af universets stofflige beskaffenhed beror på en gentagen sortering og udtynding i vores oprindelige samling af atomer, molekyler og kemiske forbindelser; en udtynding der, som vi skal se, er godt på vej til helt at overflødiggøre den samling, vi i sin tid satte os for at forstå.

Den atomare hypotese

Den tidlige atomisme kan henføres til det antikke Grækenland, hvor allerede filosofen Thales (ca. 600 f.Kr.) forsøgte at reducere „fænomenernes mangfoldighed“ til en enhed ved blandt andet at antage eksistensen af en *primær materie*, formodentlig vand, af hvilken alt stof i universet mentes at være opbygget. Heraklit og Parmenides (ca. 450 f.Kr.) videreudviklede og modificerede disse ideer, men først med Demokrit (ca. 400 f.Kr.) introduceredes hypotesen om stoffets opbygning fra elementære byggesten, nemlig permanente og udelelige *atomer*. Hånd i hånd med denne hypotese antog Demokrit tillige eksistensen af det tomme rum, som tilsammen med atomerne skulle udgøre al væren, og med utroligt forsyn var de uendeligt mange atomer tænkt at bestå af den samme primær-materie, men at antage forskellige størrelser, former og vægt.

Demokrits ideer udgjorde siden en hjørnesten i Epikurs materialistiske filosofi, der søgte at udrydde irrational frygt og overtro ved at påvise, at naturen er rationel og udfolder sig efter egentlige naturlove. Denne filosofi blev siden importeret til Rom, hvor den øvede stærk indflydelse på blandt andre den romerske digter Titus Lucretius Carus (ca. 95-55 f.Kr.). Lucretius' poetiske hovedværk *De Rerum Natura* forblev uafsluttet ved hans død,¹ men hvad der allerede fandtes deri, skulle vise sig at blive rørpøsten fra Demokrit og Epikur til eftertidens naturfilosoffer, der små 17 århundreder senere gik i kast med at genopbygge fysikken som en eksperimentel videnskab.

I sin *Principia Philosophiae* vender Descartes (1596-1650) sig mod Demokrits ideer og argumenterer via Guds almægtighed for at intet kan være udeleligt:

For selvom Gud havde skabt en partikel så lille, at intet væsen kunne dele den, kunne han ikke fratage sig selv sin magt til at dele, da det er absolut umuligt, at Han skulle mindske sin egen almagt... (Descartes 1955 [1644]:262-302).

Unægteligt et noget vagt argument, som ikke desto mindre reflekterer en til dato eksisterende skepsis over for, hvorvidt jagten på egentlig elementære partikler nogensinde vil tage en ende. Tillige argumenterer han for, at Demokrits tomrum ikke kan findes, for, som han skriver, er det „...ganske enkelt umuligt at forestille sig at *intet* skulle have rumlig udstrækning” (ibid.). Descartes indfører siden en første, anden og tredje materie, af hvilke universet var foreslået at bestå. De tre materier var tænkt at udgøre henholdsvis stjernerne, himlene og planeterne organiseret på sindrig vis, således at planeternes bevægelse omkring solen kunne forklares ved en hvirvel i anden-materien, der bærer planeterne rundt om dens centrum i solen som vragester i en malstrøm. Hvorvidt dette arrangement var lettere at forestille sig end det tomme rum kan debatteres, men ikke desto mindre var teorien ganske populær blandt astronomer selv et godt stykke tid efter, at Newton havde fremlagt sin teori om en fjernvirkende gravitationskraft.

Newton (1642-1727) studerede Descartes' værker nøje men lod sig heldigvis hovedsagelig inspirere af hans geometri. Hvad angår stoffets opbygning synes Newton derimod at lade sig inspirere direkte af Demokrit og giver i værket *Opticks* følgende opsummering af sine synspunkter:

Det forekommer mig sandsynligt, at Gud i begyndelsen skabte stoffet i faste, massive, hårde, uigennemtrængelige, bevægelige partikler af størrelser og former og med sådanne egenskaber og i sådanne proportioner i forhold til rummet, at de bedst kunne tjene det formål, til hvilket Han skabte dem; og at disse primitive partikler i deres fasthed er uden sammenligning hårdere end noget porøst legeme sammensat af dem; sågar så hårde, at de aldrig slides eller går i stykker; thi ingen ordinær kraft kan splitte, hvad Gud selv i skabelsen gjorde til én (Newton 1952 [1704]: 400).

I sommeren 1687 udkom Newtons hovedværk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, som på mange måder udgjorde en reformation af fysikken. Heri bevises det blandt andet, at en gas bestående af indbyrdes frastødende partikler, for hvilke den fra-stødende kraft er omvendt proportional med afstanden mellem atomerne, vil udvise et tryk proportionalt med gassens tæthed og vice versa. Proportionaliteten mellem tryk og tæthed, i dag kendt som Boyles lov, var blevet etableret eksperimentelt af Robert Boyle tidligere i århundredet, og her formulerede Newton nu en teori for disse gasser i termer af partikler med visse egenskaber. På dette tidspunkt manglede der stadig en mikroskopisk beskrivelse af gasser, væsker og faste stoffer, og Newton var sig meget bevidst, at dette kun var en matematisk model og tilføjede derfor følgende forbehold:

Men hvorvidt elastiske fluider virkelig består af således indbyrdes frastødende partikler, er et fysisk spørgsmål. Her har vi blot matematisk demonstreret egenskaben af fluider bestående af sådanne partikler, således at filosoffer nu kan diskutere dette spørgsmål (Newton 1947 [1687]:300).

Heldigvis tog de fleste af Principias læsere ikke dette forbehold så tungt, og denne model blev gerne opfattet som Newtons syn på gassernes konstitution.

Dette var allenfalds tilfældet for John Dalton (1766-1844), der omtrent hundrede år senere udførte en række eksperimentelle studier af kemiske reaktioner ved sammen-

blanding af forskellige gasser. Dalton gjorde den observation, at to forskellige gasser, som for eksempel ilt og kvælstof, kun reagerer i specifikke heltallige forhold, og stærkt inspireret af Newtons partikel-model konkluderede han heraf, at gasser måtte bestå af atomer, hvorved en kemisk reaktion ville kunne forstås som en simpel kombination af atomerne fra den ene gas med atomerne fra den anden – den såkaldte *atomare hypotese*. Simpelt som det lyder i dag, var dette intet mindre end en revolution for kemien, der nu kunne reduceres til en mangfoldig kombinatorik af atomer, og selvom mange af datidens kemikere ikke accepterede eksistensen af egentlige atomer, vandt Daltons atomteori hurtigt popularitet som et nyttigt værktøj i systematiseringen af kemiske reaktioner. Dalton fortsatte sine studier og udviklede blandt andet en metode til at bestemme de relative atomare masser i en reaktion, på hvilke han siden baserede en første primitiv klassifikation af nogle af grundstofferne.

Det periodiske system og atomteorien

„Afhold dig fra illusioner, insistér på arbejde og ikke på ord, og søg tålmodigt guddommeligt og videnskabeligt sandhed“ (Mendeléev 1910:17-20).

Dette kontante råd fik Dmitri Ivanovich fra sin døende mor, og de fleste af os har på et eller andet tidspunkt stiftet bekendtskab med frugten af hans insisterende søgen. D. I. Mendeléev (1834-1907) var født og opvokset i byen Tobolsk i Sibirien og blev som 15-årig sendt til Moskva for at studere. Siden fortsatte han studierne i Skt. Petersborg, hvor han i 1866 blev tildelt et professorat i generel kemi. I datidens kemi var alle sejl sat til for at bestemme de atomare masser så nøjagtigt som muligt for derved forhåbentlig at bringe sig i stand til at sortere grundstofferne. Der fandtes allerede visse klassifikationssystemer, hvor masserne, det vil sige vægten og dermed formodentlig størrelsen af de enkelte atomer, relateredes til de kemiske egenskaber, men alle var mangelfulde og ikke fleksible nok til at rumme flere grundstoffer, end de allerede kendte. I 1869 kunne Mendeléev imidlertid indsende en artikel til *Zeitschrift für Chemie*, som i al væsentlighed indeholdt den forunderlige periodiske klassifikation, som vi kender i dag.

Det var ham klart, at grundstofferne skulle sorteres efter deres masser, eftersom denne størrelse udgjorde en oplagt invariant, som ikke afhang af, om grundstoffet var på gas, flydende eller fast form, og som tillige var bevaret i enhver kemisk reaktion.

Alle forstår, at noget forbliver uændret under forandringer i et grundstofs egenskaber samt, at når et grundstof indgår i en kemisk forbindelse, vil dette materielle noget repræsentere de fælles karakteristika ved de forbindelser, som det givne grundstof kan indgå i. I denne henseende er kun en numerisk værdi kendt, nemlig grundstoffets atomare vægt. Ifølge begrebets egentlige, essentielle natur er den atomare vægt en størrelse, som ikke refererer til en midlertidig tilstand af grundstoffet, men som tilhører en materiel del af grundstoffet, som det har til fælles med det frie grundstof og med alle dets kemiske forbindelser (Mendeléev 1947:824-36).

Han sorterede nu de letteste grundstoffer efter deres atomare vægt og bemærkede, at „... der fremstod en periodicitet i grundstoffernes egenskaber, samt at de efterfulgte hinanden i en aritmetisk følge, selv med hensyn til deres valens“ (ibid.). Et par genstridige grundstoffer ville ikke passe ind i denne periodiske systematik, og i fuld tillid til sin ny-

opdagede taksonomi fremsatte Mendeléev derfor den dristige hypotese, at den atomare masse for disse måtte være målt forkert. Ydermere var der her og der tomme pladser i systemet, hvilket ledte ham til forudsigelsen af nye hidtil uopdagede grundstoffer med givne masser og egenskaber. Begge forudsigelser var inden længe bekræftet eksperimentelt, hvilket vakte umiddelbar tillid til den periodiske systematik,² men en egentlig forståelse af *hvorfor*, naturen udviser denne periodicitet, måtte vente omtrent et halvt århundrede, indtil Niels Bohr i 1913 forsynede os med en kvanteteori for atomerne.

Kort fortalt fremstilledes atomet i denne teori som en tung kerne af positiv elektrisk ladning omkredset af et modsvarende antal negativt ladede elektroner svarende til det billede af atomet, som Ernest Rutherfords berømmelige eksperimenter havde givet kort forinden i 1911. Med den atomare masse stiger antallet af elektroner som omkredser kerne, og det på en sådan måde, at såkaldte *skaller* fyldes succesivt. Disse skaller kan maksimalt rumme et vist antal elektroner, og således viser det sig, at hver periode i Mendeléevs system svarer til opfyldningen af en ny skal. I en given skal organiserer elektronerne sig ydermere i forskellige *orbitaler*, og dette faktum viser sig at forklare den udviste periodicitet i atomernes såkaldte valens, som igen bestemmer deres kemiske egenskaber.

Bohr havde sin teori for den periodiske systematik færdig omkring 1922 og dristede sig på dette grundlag til at forudsige eksistensen af et hidtil uopdaget atom med 72 elektroner, som stik mod kemikernes formodning skulle have omtrent samme kemiske egenskaber som „Zirkonium“ med kun 40 elektroner. Denne forudsigelse blev eksperimentelt bekræftet i København inden for samme år og bærer i dag retfærdigvis navnet „Hafnium“. Figuren næste side viser det periodiske system, som det så ud i Bohrs oprindelige afhandling. Tallene angiver antallet af elektroner i det givne atom, og stregerne mellem de forskellige perioder forbinder grundstoffer med beslægtede kemiske egenskaber. Således er nr. 40 og nr. 72 forbundet og nr. 72 dengang stadig uanerkendt.

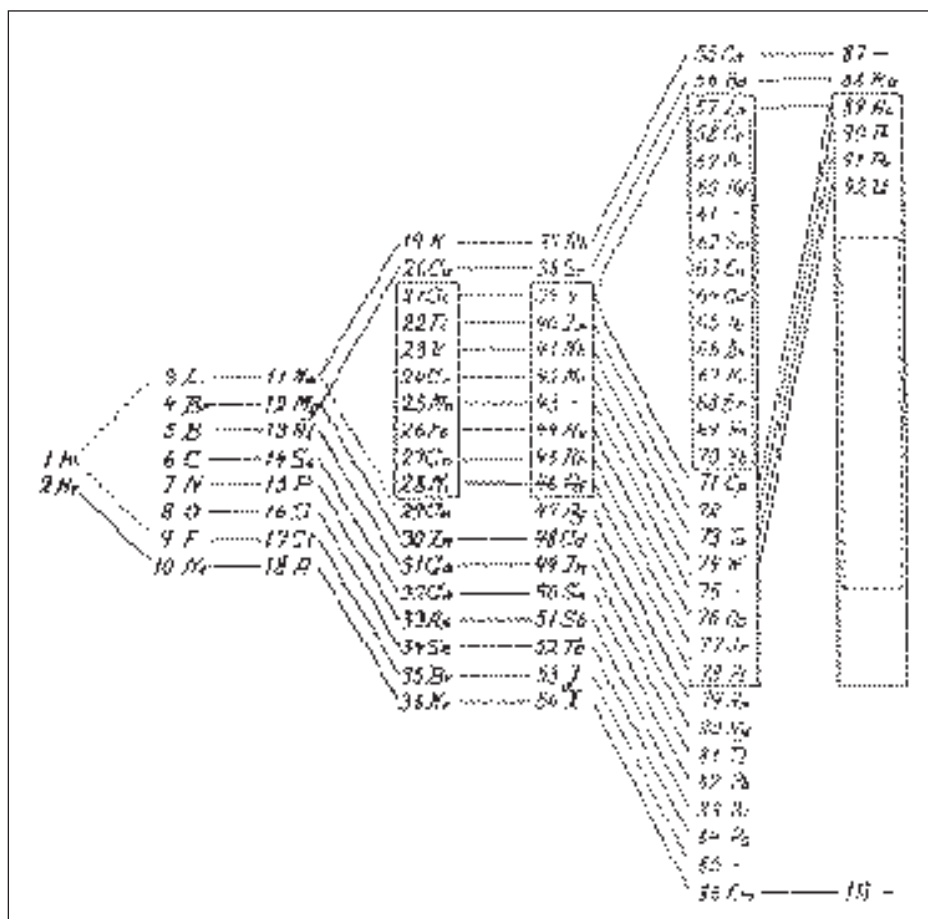
Invarianter, symmetrier og kvantetal

I den oprindelige sortering af grundstofferne viste det sig fordelagtigt at hæfte sig ved en *invariant* kvalitet. Mendeléev skriver selv:

I min klassifikation af grundstofferne var jeg nødt til at bestemme mig for et system for ikke at blive ledt af tilfældige eller instinktive indfald, men snarere af et eksakt og veldefineret princip [...] ethvert system, som er baseret på eksakte observerede tal, er selvfølgelig at foretrække frem for andre systemer, som ikke er baserede på tal, eftersom der da kun vil være en lille margin for tilfældigheder [...] Egenskaber såsom de optiske, og selv de elektriske eller magnetiske, kan naturligvis ikke benyttes som grundlag for et system, eftersom ét og samme stof kan udvise enorme forskelle i disse egenskaber, alt efter hvilken fase stoffet tilfældigvis befinder sig i på det givne tidspunkt. Med hensyn til dette faktum så er det tilstrækkeligt at huske på grafit og diamant, almindelig eller rød fosfor (ibid.).

Havde han valgt at sortere grundstofferne efter en vilkårlig anden af deres kvaliteter end den atomare masse, var det næppe lykkedes ham at afdække systematikken i deres opbygning. Det turde være oplagt, at man ikke står sig ved at sortere sine objekter efter en kvalitet eller egenskab, som ændrer sig i tiden, men som Mendeléev ydermere understreger, skal denne kvalitet tillige referere til grundstoffet per se, snarere end til det

faste stof, den væske eller den gas bestående af cirka 10.000.000.000.000.000.000.000.000.000 atomer, som datidens kemikere nødvendigvis var begrænsede til at studere. Fra atomernes indbyrdes samspil i kemiske reaktioner måtte man deducere sig frem til egenskaberne ved de enkelte atomer, og således var atomernes eksistens endnu ikke tvingende nødvendig, men blot en usædvanligt velfungerende model, som tillod en yderst rationel sortering af samlingen af alt stof.



nummerering direkte til elektronernes pladser i skaller og orbitaler, og ganske som et bio-grafpublikum sidder på nummererede sæder i rækker af en vis længde, som igen kan findes i blokke af et vist antal rækker, fremkommer perioderne nu helt automatisk, når skaller og orbitaler kun kan huse så og så mange elektroner.

I den klassiske fysik ville dette arrangement med elektronerne som satellitter være helt umuligt, idet disse elektrisk ladede partikler ville afgive deres energi ved udsendelse af lys og falde ind mod kernen. Derfor krævede denne relativt uskyldige skalmodel, at man var villig til at godtage et helt nyt „kvantemekanisk“ grundlag for fysikken. I en så-dan kvantefysisk verden befinder elektronerne sig i kvantetilstande, nummererede som ovenfor, snarere end at bevæge sig langs klassiske baner som planeterne om solen, og overraskende nok følger grupperingen i skaller og orbitaler af den rigtige størrelse nu helt automatisk fra en simpel antagelse af, at atomerne tager sig ens ud fra alle retninger! Fra denne antagelse om *rotationssymmetri* følger en bevarelseslov, der kræver, at elektronernes såkaldte *impulsmoment*³ forbliver konstant i tid. Man taler derfor om dette impulsmoment som et *godt kvantetal* og katalogiserer elektronernes fysiske tilstande efter impulsmomentets størrelse, hvilket i kvantemekanikken kun kan antage heltallige værdier som 1,2,3,... etc. Det er grupperingen af disse heltallige værdier, som manifesterer sig som perioderne i Mendeléevs aritmetiske følge af grundstoffer, og på denne måde vil rotationssymmetriske kvantemekaniske atomer helt naturligt indrette sig i et periodisk system. Man kan sige, at en rumlig symmetri leder os direkte til den rette taksonomi.

Naturligvis kan det ikke på forhånd udelukkes, at antagelsen om en anden symmetri ville have fungeret lige så godt og ledt til den samme heltalssystematik, men her, som så mange andre steder i fysikken, viser det sig nyttigt at benytte *Ochams rasekniv*, og har man ingen a priori viden om systemet, da står man sig bedst ved at antage så lidt som muligt om det. Således svarer antagelsen om rotationssymmetri netop til den simpleste antagelse, at atomet ser ens ud fra alle retninger, eller udtrykt mere præcist: Vælger man en vilkårlig retning i rummet, da vil man ikke kunne se forskel på atomet før og efter en rotation om en akse langs denne retning.

Jagten på det elementære....

Med atomteorien og kvantemekanikken kunne man ryste kemiens tilsyneladende kabalisme af sig, men samtidig meldte sig nye problemer. Atomets var jo åbenbart ikke elementært som det objekt, Demokrit oprindeligt havde reserveret ordet til, men i stedet sammensat af elektroner og atomkerner, og måske ville også disse enkelte bestanddele udvise finstruktur? Undersøgelsen af muligheden for en sådan yderligere struktur i atomet viste sig at åbne en regulær „can of worms“, og fra omkring 1920 til i dag har jagten på Demokrits „permanente og udelelige atomer“ udfoldet sig som en slags 1001 nats eventyr.

Som nævnt tidligere forbliver impulsmomentet konstant i et rotationssymmetrisk system, og ligeledes gælder det, at impulsen langs en given retning er bevaret i et system, som er translationssymmetrisk, altså som tager sig ens ud før og efter en flytning langs denne retning. Analogt hermed er energien bevaret i et system, som er tidsforskydnings-symmetrisk, altså uændret under en forskydning i tiden, og således er der altså visse oplagte bevarelseslove for rumligt symmetriske systemer. Disse rumlige symmetrier

er alle til stede, når man taler om reaktioner mellem forskellige partikler, og derfor må de tilsvarende fysiske størrelser som impuls og energi altså forventes at være bevarede.

Med opdagelsen af radioaktivitet viste det sig, at visse atomkerner udsender elektroner i såkaldte *beta-stråler*, og målte man energien af kernen før og efter udsendelsen af denne stråling, fandt man overraskende nok, at den ikke passede med energien af den udsendte elektron. Dette tilsyneladende brud på energibevarelsen ledte i 1927 Wolfgang Pauli til at postulere eksistensen af *neutrinoen*, en ny elektrisk neutral partikel, der vekselvirker meget svagt med sine omgivelser og derfor kun dårligt kan detekteres, men som nødvendigvis må ledsage elektronen i denne beta-stråling for at få energiregnskabet til at gå op. Her var energien altså tilsyneladende ikke bevaret i reaktionen, men da dette indirekte brød med systemets symmetrier, var man nødsaget til at antage eksistensen af en „usynlig“ partikel, som kunne restituere energibevarelsen. Da energibevarelsen fulgte fra en oplagt symmetri af systemet, var tilliden til denne bevarelseslov stor nok til, at man følte sig overbevist om, at naturen måtte have sørget for en anden udvej, og ganske rigtigt er eksistensen af denne neutrino siden blevet bekræftet eksperimentelt. Altså endnu et eksempel på at den allerede afdækkede systematik tillægges så megen vægt, at man ledes til at postulere eksistensen af hidtil uopdagede partikler eller fænomener. Teorier, som aftvinger den slags ikke-trivielle udsigelser, er eksperimentelt falsificerbare, og er som sådan af allerhøjeste værdi for den teoretiske fysik.

Mysteriet om, hvordan atomkernen i det hele taget kunne udsende elektroner, blev først opklaret efter, at kernen var blevet fundet at bestå af såkaldte *nukleoner*, nemlig protoner med positiv elektrisk ladning samt elektrisk neutrale neutroner i omtrent lige stort antal. Antallet af protoner er det samme som antallet af elektroner, der omgiver kernen, og således er atomet som et hele elektrisk neutralt. Såvidt vides er protonen en stabil partikel, mens en fri neutron derimod i gennemsnit kun lever cirka 15 minutter, hvorefter den henfalder til en proton, en elektron og en (anti)neutrino, hvilket forklarer den observerede beta-radioaktivitet.

Denne henfaldsproces var, som alle andre fysiske processer, af æstetiske årsager tænkt at være symmetrisk under de såkaldte C, P og T operationer, under hvilke man forestiller sig henholdsvis at ombytte en partikel med dens antipartikel⁴ (C), at betragte processen i et spejl (P) eller at lade processen forløbe baglæns i tiden (T). Imidlertid viste det sig, til alles store forbløffelse, at man eksperimentelt kunne skelne beta-henfaldet af én koboltkerne fra henfaldet af en tilsvarende kerne arrangeret i en spejlningsomvendt opsætning, hvilket nødvendigvis måtte betyde, at noget i beta-henfaldsprocessen brød med paritetssymmetrien (P). Dette er i dag accepteret som en generel egenskab ved de svage vekselvirkninger, som dette henfald beror på, og man er generelt blevet mere ydmyg over for den slags „tilfældige eller instinktive indfald“, for nu at bruge Mendeléevs ord, som æstetik i denne henseende må siges sortere under.⁵

For at holde protoner og neutroner sammen i kerner manglede man en forklaring på den stærke tiltrækning mellem nukleonerne. Da kun modsatte elektriske ladninger tiltrækker hinanden, kunne man naturligvis udelukke den elektromagnetiske kraft, hvilken jo faktisk ville forårsage en indbyrdes frastødning protonerne imellem. Gravitationskraften kunne tænkes at virke, idet den er blind over for elektrisk ladning, men en simpel regning viser, at denne kraft er alt for svag til at holde protonerne sammen. For at løse dette problem foreslog Hideki Yukawa, at nukleonerne i stedet udveksler en slags budbringerpartikel, som medierer den stærke tiltrækning mellem nukleonerne, og 10 år

senere blev denne såkaldte *pion* detekteret eksperimentelt i tre versioner med henholdsvis negativ, positiv og ingen elektrisk ladning. I kernefysikken talte man således om nukleoner og pioner i henholdsvis to og tre afskygninger, hvilke man arrangerede som de forskellige medlemmer af en såkaldt *multiplet*, og på denne måde kunne de detekterede partikler ma-nifestere sig som forskellige sider af samme sag, som for eksempel protonen og neutronen som henholdsvis første og andet medlem af en nukleon-dublet og for eksempel den elektrisk neutrale pion som andet medlem af en pion-triplet.

Nu var partiklerne igen sorteret, og endnu ganske som for elektronerne i skaller og orbitaler kunne man nummerere disse ved nye kvantetal kaldet *isospin*, som refererer til deres plads i multipletterne. Disse kvantetal er analoge til dem, man finder for det tid-ligere omtalte impulsmoment, men her er taksonomien altså ikke længere fastlagt ved en egentlig rumlig symmetri, men blot ved en symmetri under ombytning af pladserne i en abstrakt multiplet. På denne måde viser det sig altså endnu engang muligt at sortere de elementære bestanddele efter en heltalssystematik, hvor kvantetallene denne gang reflekterer systemets *indre* symmetrier.

....og det der er endnu mindre

Formuleret i termer af nukleoner og pioner var kernefysikken nu stort set komplet, og et væld af interessante fænomener kunne regnes igennem og verificeres eksperimentelt til stor præcision. Imidlertid slog fundamentet atter revner, da man omkring 1950 kiggede nærmere på tågekammerspor induceret af den såkaldte kosmiske indstråling fra rummet. Disse processer fandt sted ved så høje energier, at man pludselig så spor af partikler, som ikke kunne tilvejebringes kunstigt i datidens partikelacceleratorer, og disse nye partikler syntes at opføre sig meget sært. Deres gennemsnitlige levetid var omtrent 10.000 millarder gange længere, end hvad man skulle forvente af partikler, der, som disse, nødvendigvis måtte føle den stærke vekselvirkning, og denne levetid syntes snarere at passe med et henfald via den svage vekselvirkning. Som forklaring på denne gåde foreslog Abraham Pais, at disse nye mærkelige partikler bar et ekstra kvantetal, som de stærke og de elektromagnetiske vekselvirkninger bevarede, men som de svage vekselvirkninger ikke tog hensyn til. På denne måde kunne den lange levetid forklares ved, at de hurtige stærke og elektromagnetiske henfald ikke var tilladte i processer som de observerede, eftersom det-te kvantetal ikke var bevaret, og derfor kunne henfaldet til partikler uden dette kvantetal kun forløbe relativt sjældent via de svage vekselvirkninger. Dette nye kvantetal fik det betegnende navn *strangeness* og var altså fundet bevaret af to af de tre relevante vekselvirkninger.

I løbet af kort tid havde man fået detekteret en hel serie af sære partikler ved høje energier og indført i alt 5 kvantetal⁶ til at forklare forskellige begrænsninger på de observerede henfald. Som foreskrevet af Mendeléev havde man således en række talværdier, efter hvilke man kunne begynde at organisere denne nye samling af partikler, blot krævedes der denne gang tilsyneladende et femdimensionelt indeks, altså rækker, blokke af rækker, blokke af blokke af rækker etcetera for nu at vende tilbage til biografsæderne. Opdelte man imidlertid partiklerne i leptoner (lette), mesoner (halvtunge) og baryoner (tunge),⁶ åbenbares på ny en tilnærmelsesvis gruppering efter partikelmasse, hvilket pegede i retningen af en ny underliggende multipletstruktur. En ikke helt simpel ma-

tematisk analyse af denne ganske komplicerede struktur viste nu, at man kunne forstå hele denne samling af mere eller mindre mærkværdige halvtunge og tunge partikler som visse kombinationer af kun tre forskellige partikler! Disse elementære byggesten går i dag under navnet *kvarker*, og de bærer de såkaldte *flavour*-kvantetal *up*, *down* og *strange*. Hertil kommer yderligere tre kvarker med flavours *charm*, *bottom* og *top*, som viser sig at være meget tungere og derfor først manifesterede sig i senere generationer af partikel-acceleratorer.⁷ Alle seks kvarker er i dag detekteret i eksperimenter om end ad indirekte vej, eftersom kvarker tilsyneladende ikke forefindes i løs vægt, men kun som mesoner i kvark-antikvark par, eller som baryoner i grupper af tre kvarker.

Her altså igen et et godt eksempel på en struktur, som i symmetrihenseender syntes at ligge lige for, men som ikke desto mindre krævede eksistensen af endnu uobserverede partikler. Det kræver en god portion vovemod at insistere på en sådan *tilsyneladende* struktur, men til gengæld er det netop den slags konkrete falsificérbare udsigelser, som vækker tillid til teorierne, hvis de en dag lader sig bekræfte. Det er et helt generelt forhold, at man i bedste fald kan tale om at vække en vis tillid til en teori, idet den eneste form for sikker viden, man strengt taget kan tilegne sig om en given teori, er, at den helt sikkert er forkert, hvis den er i uoverensstemmelse med blot et enkelt eksperiment. Der er for eksempel stadig intet til hinder for, at såvel relativitetsteorien som kvantemekanikken kan være forkerte teorier, men indtil videre har de begge stemt overens med samtlige eks-perimenter gennem små hundrede år, hvilket må siges at være tillidsvækkende.

Hvad angår leptonerne, så har elektronen og dens tilhørende neutrino siden fået selskab af de langt tungere m- og t-leptoner, samt deres tilhørende m- og t -neutrinoer, og her stopper så indtil videre vores findeling af atomet. Alt i alt har man altså fundet, at alt stof, som endnu har ladet sig observere i universet, kan opbygges fra kvarker og leptoner, af hvilke der hver især forekommer 6 flavours organiseret i tre *familier* som

KVARKER	LEPTONER
(u, d) _{r,y,g}	(e ⁻ , ν _e)
(s, c) _{r,y,g}	(m ⁻ , ν _m)
(t, b) _{r,y,g}	(t ⁻ , ν _t)

Kvarkerne bærer desuden et såkaldt farvekvantetal *colour* og er således enten *red*, *yellow* eller *green*, som indikeret med det ekstra indeks. Interessant nok er det kun u og d kvarkerne samt e⁻, ν_e og m⁻ leptonerne, som i dag forekommer naturligt og endda kun de tre første, som indgår i opbygningen af atomerne, mens resten af partiklerne indtil videre kun har ladet sig kunstigt fremstille og formodentlig kun har eksisteret i naturen umiddelbart efter universets tilblivelse ved *Big Bang* for omtrent 10-15 milliarder år siden. Ikke desto mindre ville det ikke have været muligt at aflure naturen dens kvark- og leptonstruktur uden et smugkig til de tunge ustabile partikler.

antage eksistensen af endnu uopdagede partikler, som kunne udfylde de tomme pladser, og det er netop den slags forudsigelser, som har vakt tillid til vores nuværende forståelse af stoffets mikroskopiske beskaffenhed.

Samlingen af alt stof har ladet sig reducere til i alt 12 objekter og er som sådan endnu ikke helt overflødig. I de sidste tre årtier har man arbejdet hårdt på at udtynde denne samling yderligere, men indtil videre altså uden held. Drømmen om at afdække en „teori for alting“ lurer stadig i baghovedet på de fleste, men samtidig har der imidlertid også været tid til eftertanke, og som påpeget af fysikeren Philip Anderson (1972:393) vil en sådan teori meget vel kunne siges at være en teori for så godt som ingenting. Skulle vi ende med at kende stoffets absolut mindste bestanddele, ville nysgerrigheden naturligvis være stillet og ikke mindst ordenssansen stillet skakmat, men *ikke engang i princippet* ville det herfra være muligt at rekonstruere den verden, vi lever i – en væsentlig pointe for fysikere, som det imidlertid næppe er nødvendigt at fremføre blandt antropologer.

Noter

1. Det siges, at Lucretius var blevet skør efter at have taget et elskovspulver og skrev *De Rerum Natura* i sine lyse øjeblikke, indtil han endelig begik selvmord som 44-årig.
2. Mendeléevs system er siden udbygget yderligere og indeholder i dag 109 grundstoffer, af hvilke nogle af de tungere stoffer er syntetisk fremstillet. Der er stadig ledige pladser!
3. Impulsmomentet er i klassisk mekanik defineret som en *rotationsmængde* og er i en cirkelbevægelse proportional med partiklens afstand fra centrum og dens impuls, hvor impulsen er defineret som en *bevægelsesmængde* givet ved partiklens masse gange dens hastighed.
4. Alle partikler har en såkaldt antipartikel, for hvilken den fysiske tilstand kan forstås som fraværet af en partikel. Således har anti-elektronen, den såkaldte positron, for eksempel positiv elektrisk ladning svarende til fraværet af elektronens negative ladning.
5. I 1956 havde Lee og Yang foreslået, at de svage vekselvirkninger brød paritets-symmetrien, hvilket de efter Wus eksperimentelle eftervisning i 1957 modtog Nobelprisen for. Efter sigende skulle en yngre fysiker, som arbejdede under den højt estimerede Wolfgang Pauli, have foreslået denne mulighed tidligere, men lagt den på hylden, efter at Pauli havde svaret ham, at han var velkommen til at bryde paritetssymmetrien, bare ikke på hans institut!
6. Ud over elektrisk ladning, isospin og strangeness havde man fået indført det såkaldte *baryontal*, hvilket tilskrives værdien +1 til partikler, som henfalder til, eller kan opbygges af, en eller flere nukleoner, -1 til disses antipartikler og 0 til resten. Herudover har alle partikler et vist *spin*, som vi endnu ikke har diskuteret. Dette kan enten antage halv- eller heltallige værdier, hvilket siges at opdele partiklerne i henholdsvis fermioner og bosoner. Ud over denne opdeling skelner man traditionelt partiklerne i lette og tunge partikler, benævnt, med lån fra græsk, henholdsvis *leptoner* og *hadroner*, hvor hadronerne igen opdeles i mel-lemtunge *mesoner* med baryontal nul og lidt tungere *baryoner* med baryontal forskelligt fra nul. Således er for eksempel elektronen og neutrinoen fermioniske (spin 1/2) leptoner, pionerne bosoniske (spin 1) mesoner og protonen og neutronen fermioniske (spin 1/2) baryoner.
7. Top-kvarken blev første gang tilvejebragt i en accelerator i 1995 og viste sig at have en masse på omtrent 36.000 gange massen af den letteste af kvarkerne, nemlig up-kvarken, hvis masse igen er ca. 10 gange så stor som elektronens. Top-kvarken kan siges at være punktformig ned til ca. 0.000000000000001 millimeter og er således mindst 100 millioner gange mindre og 9000 gange tungere end det mindste atom!

Litteratur

- Anderson, Philip W.
1972 More is Different. *Science* 177.
- Descartes, René
1955 [1644] *Principles of Philosophy. I:* E. S. Haldane & G. R. T. Ross (transl.): *The Philosophical Works of Descartes*. New York: Dover Publishing.
- Mendeléev, Dmitri I.
1910 *Obituary Notices of Fellows Deceased. Proceedings of the Royal Society of London*. Vol. A84.
1947 *The Relations of the Properties to the Atomic Weights of the Elements. Selected Readings in Natural Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Newton, Isaac
1947 [1687] *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Berkeley: University of California Press.
1952 [1704] *Opticks*. New York: Dover.

