

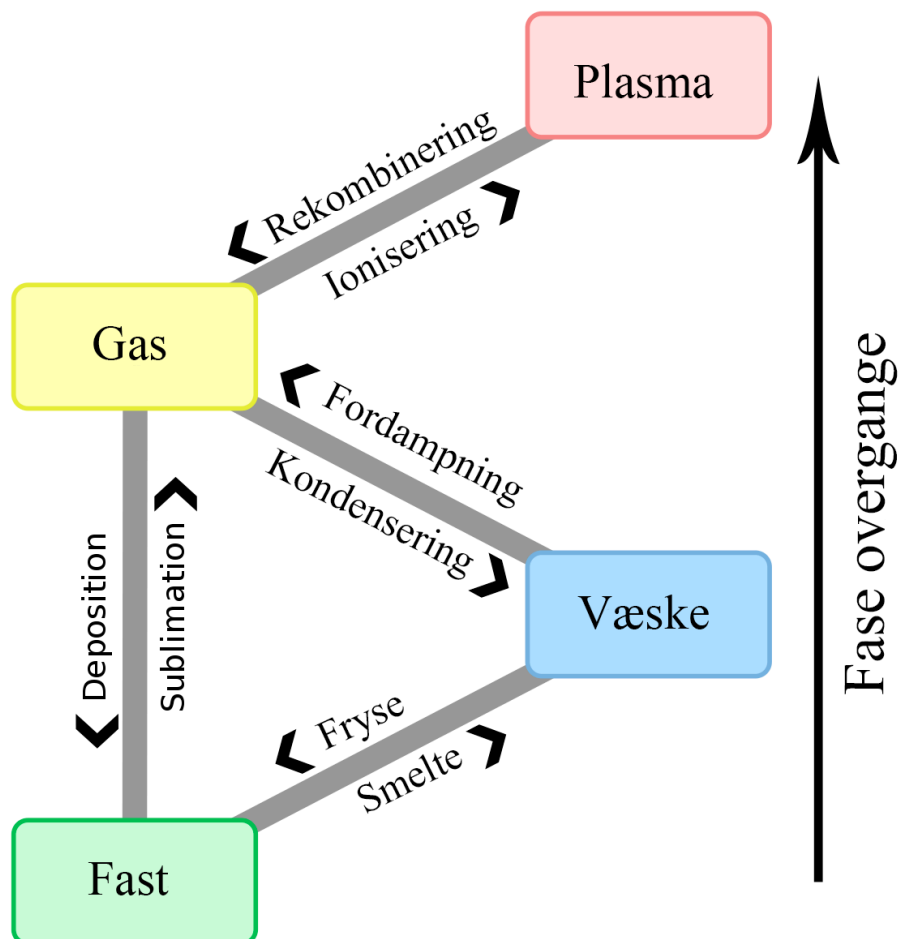
Hvad er stof?

Frem til det 20. århundrede mente man, at stof og energi var to helt forskellige ting. Dette blev modbevist af Albert Einstein, der med sin specielle relativitetsteori viste at masse (en egenskab ved stof) og energi kan udveksles.

Det stof vi kan observere antager normalt form af kemiske forbindelser (f.eks. vand, lattergas, eller køkkensalt), polymerer (f.eks. plastic), legeringer (f.eks. messing og bronze) eller rene grundstoffer (f.eks. guld og sølv).

Afhængig af ydre påvirkninger som eksempelvis temperatur og tryk, kan stof eksistere i forskellige faser. De mest almindelige er fast stof, væske og gas. Mere specielle tilstande er plasma, superflydende og Bose-Einstein kondensat. Når stof ændres fra en fase til en anden, undergår det en faseovergang (f.eks. smeltning, fordampning).

Antistof er stof der består af atomer opbygget af antipartikler. Antistof og stof kan ikke eksistere frit side ved side, da de øjeblikkeligt ville udslette hinanden og omdannes fuldstændig til energi i form af højenergisk elektromagnetisk stråling.

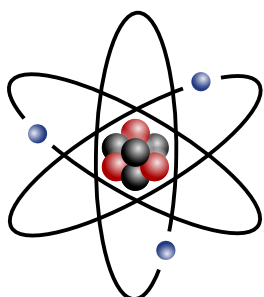


Vi ved, at alt normalt stof – fra Solen over et klippestykke til luften vi indånder – er opbygget af atomer, og at der er 98 forskellige typer af atomer, som forekommer naturligt på Jorden (mennesker har formået at bygge endnu 20 forskellige typer).

Disse atomer er alle opført i det periodiske system, som du finder på <http://pibau.dk/periodisk/index.html>.

Den mest almindeligt forekommende type af atom er brint; over 90 procent af atomerne i Solen er brint (resten er næsten udelukkende helium).

På Jorden er fordelingen af atomer mere varieret. Havene består hovedsageligt af brint og ilt, mens de mest udbredte atomer i jordskorpen er ilt og silicium. I atmosfæren er det kvælstof og ilt, mens Jordens kerne overvejende er lavet af jern.



Vi ved, at hvert atom har en central kerne, som indeholder næsten hele atomets masse, kernen er omgivet af en 'sværm' af bitte små elektroner (bitte små i sammenligning med kernen).

Kernen er typisk kun få femtometre i tværsnit (en femtometer er en milliontedel af en milliardtedel af en meter.), og elektronerne svæver omkring den: Uendeligt små prikker i afstande på få tiendedele af en nanometer i tværsnit.

For at give en idé om, hvad det betyder: hvis vi forstørrede atomet, sådan at kernen var på størrelse med en ært, ville elektronerne være som bitte små sandkorn, der svævede rundt en kilometer væk.

Med andre ord er et atom næsten udelukkende tomt rum.

Men disse bitte små elektroner, som svæver rundt på stor afstand af kernen, er alt andet end flygtige. For det er deres bevægelser, beskrevet af kvantemekanikkens regler, som bestemmer den måde, hvorpå grupper af atomer kommunikerer med hinanden; det er med andre ord elektronerne, som afgør atomernes kemi.

Hvad angår kemien er kernen en inaktiv genstand, og den fungerer kun som en tung kilde til positiv elektrisk ladning, som er ansvarlig for at holde de negativt elektrisk ladede elektroner i en form for kredsløb omkring den. I det daglige liv er det elektronerne, der gør det hårde arbejde med at forhandle om hvordan atomerne og molekylerne opfører sig, mens kernen sidder inaktivt i atomets center.

I det periodiske system er atomerne ordnet efter antallet af protoner i deres kerne, hvilket er identisk med antallet af elektroner, der omgiver den: Det kaldes 'atomnummeret'.

Hvert atoms masse er også opgivet i systemet, i enheder hvor massen af en proton og en neutron er omtrent lig 1, her bruger vi det engelske ord for enhed: unit, og der for siger vi at en proton eller et neutron vejer 1u. Dette betyder, at vi normalt kan regne ud, hvor mange neutroner der er i et atom. Antallet af neutroner, som gerne skulle være et helt tal, skal være omtrent lig med

atommassen minus antallet af protoner.

Guld har en atommasse på 196,97 og indeholder 79 protoner; et guldatom må derfor nødvendigvis indeholde 118 neutroner.

Der er dog nogle særheder. Se på klor (atomnummer 17, i det periodiske system). Det har en atommasse på 35,45, hvilket er halvvejs mellem 35 og 36, så det lader til, at klor skulle indeholde 18,5 neutroner, hvilket ikke giver mening, da der kun kan være et helt antal af neutroner.

Grunden til denne særhed er, at klor primært findes i to typer: Den ene type indeholder 18 neutroner, og den anden indeholder 20 neutroner. Den lettere variant står for 76 procent af massen i naturligt forekommende klor; den tungere står for de resterende 24 procent.

Massen der står i det periodiske system er gennemsnittet af de to, dvs. $76 \text{ procent} \times 35 + 24 \text{ procent} \times 37 = 35.5$.

Vi har allerede brugt massetallet senere i teksten, for eksempel at americium-241 er opbygget af i alt 241 protoner og neutroner. Forskellige typer af det samme atom med forskelligt antal af neutroner kaldes isotoper.

Vi siger, at naturligt forekommende klor mest består af to isotoper: Klor-35 (ofte skrevet ^{35}Cl) og klor-37 (^{37}Cl). Hvad angår kemien, opfører to isotoper af samme grundstof sig identisk, eftersom kemien udelukkende handler om elektronerne.

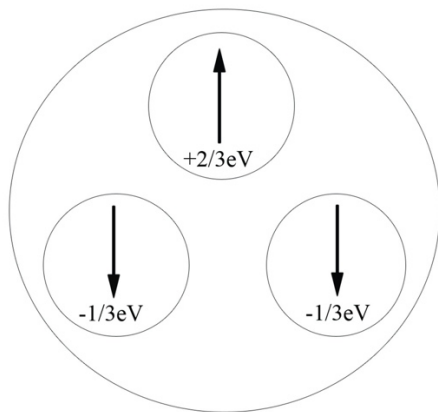
Til gengæld kan forskellige isotopers kerne egenskaber være meget forskellige: Fluor-18 er en positron-kilde, mens fluor-19 er stabil og derfor ubrugelig i PET-skannere.

Det periodiske system er mest af interesse for kemikere, hvilket er årsagen til, at informationer om isotoperne ikke er så grundige. Du kan se mere om isotoper her: <http://pibau.dk/isoptavle.htm>

Atomkernerne er dog langt fra kedelige. At spalte tunge kerner (fission) eller smelte lette kerner sammen (fusion) kan bruges til at skabe enorme mængder af energi.

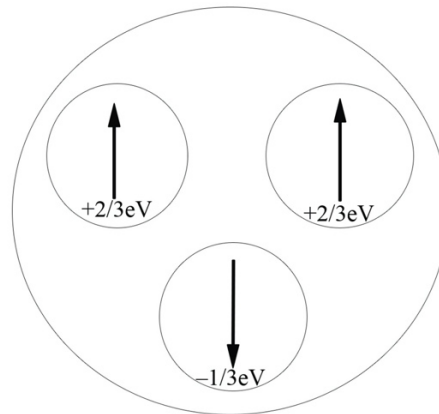
Fission er grundlaget for de atomreaktorer, der bruges verden over i dag, mens fusionsreaktorer giver et løfte om at levere en ren og praktisk talt uendelig forsyning af energi. At kigge ind i atomets kerne er et resultat af vores naturlige menneskelige nysgerrighed – vi vil gerne vide, hvad den består af.

Indtil videre ved vi, at atomkerner består af protoner og neutroner, og at de igen er opbygget af kvarker og gluoner. Hele historien synes at stoppe ved kvarker, gluoner og elektroner, fordi partikelfysikkens standardmodel beskriver disse objekter uden noget behov for yderligere underinddeling. Med andre ord giver det muligvis ikke nogen mening at spørge 'Hvad sker der, hvis jeg hakker en elektron midt over?' eller 'Hvad er en elektron lavet af?' At følgen af 'Hvad sker der, hvis jeg skærer denne ting midt over' til sidst slutter, er noget, som er rimeligt i kvantefysikken, ikke mindst fordi jo mere vi forsøger at stedfæste meget, meget små objekter, jo mere undviger de. Så mens kvantefysikken ikke udelukker muligheden for, at partikler som elektroner og kvarker består af mindre dele, kræver den det heller ikke.



Neutron

Som det fremgår af billedet, består en neutron af 1 "opkvark" med en elektrisk ladning på $+2/3eV$ og 2 "nedkvarker" på hver $-1/3eV$. Et hurtigt regnestykke viser at de modsatte ladninger udligner hinanden, og et neutron fremstår som værende neutralt ladet.



Proton

En proton består af 2 "opkvarker" og 1 "nedkvark". Som det fremgår af billedet har en "opkvark" en elektrisk ladning på $+2/3eV$, og en "nedkvark" $-1/3eV$. Hvis man regner det sammen vil resultatet blive $+1eV$, og det er derfor vi siger at en Proton er positivt ladet.

Atomkerner er også interessante, fordi de kan udføre et meget specielt trick. Det skal forstås sådan, at nogle atomkerner spontant kan forvandle sig til en kerne af en anden type. Her snakker vi om et fænomen der kaldes "Henfald", det betyder i praksis, at et bestemt stof over tid forvandler sig til et andet stof. Denne stof forvandling foregår ved hjælp af 2 forskellige typer henfald, Alfa og Beta. Ved alfa-henfald udsender kernen en 'alfa-partikel', som faktisk er magen til kernen i et heliumatom.

Det er bestemte atomkerner der har en tilbøjelighed til at udsende alfapartikler: Grundstofferne Uran og Thorium producerer det meste af Jordens helium på denne måde.

Alfa-kilden plutonium-238 bruges som strømkilde i pacemakere, og americium-241 (som laves i atomreaktorer) bruges i røgalarmer. Americiummet producerer alfapartikler, der støder sammen med luftmolekyler, under dette sammenstød slås elektroner fri og skaber en elektrisk strøm.

Strømmen mindskes, hvis der kommer røgpartikler ind i røgalarmen og forhindrer alfapartiklerne i at ionisere luften, hvilket igen sætter alarmen i gang.

Alfastråling var et komplet mysterium inden kvantemekanikken blev beskrevet – mest fordi det svarer til at kaste en tennisbold mod en murstensvæg og en gang imellem se den passere igennem væggen. Hermed mener jeg, at alfapartiklen formår at slippe fri fra atomkernens indre, selvom den burde være fanget inden i den, ligesom tennisbolden burde være fanget på den ene side af murstensvæggen. Dette specielle fænomen kaldes kvantemekanisk tunnelering.

Det er også et gådefuldt faktum, at ingen kan forudsige, præcis hvornår et bestemt atom vil gennemgå et radioaktivt henfald, selvom vi ved, hvor lang tid det gennemsnitligt vil tage.

Vi ved for eksempel, at der er en 50 procent chance for, at et atom omdannes indenfor en bestemt tidsperiode, kaldet halveringstiden.

Cæsium-137 henfalder til barium-137, når en af dets neutroner omdannes til en proton med den samtidige udsendelse af en elektron (nedkvark) og en antielektronneutrino. Denne type henfald er kendt som beta-henfald og skyldes den svage kernekraft.

Ud af en hypotetisk prøve der indeholder 1.000 atomer til at begynde med, vil der være 474 tilbage efter 30 år; 60 år senere vil antallet groft regnet være halveret igen til 250 atomer, og efter

90 år vil antallet af atomer, der er tilbage, være 108. Dette atom har derfor en halveringstid på 30 år. Det radioaktive henfalds tilfældighed er meget specielt. Vi kunne for eksempel forvente, at en nylig dannet kerne ville have en tendens til at holde længere end en ældre. Men det er ikke tilfældet – en kernes henfald er fuldstændigt tilfældigt og afhænger ikke af, hvordan kernen blev dannet eller dens historie. Vi forstår nu, at denne tilfældighed er en fundamental egenskab ved universet: Det er et grundlæggende træk ved kvantefysikken.

Ligesom alfa-henfald udnyttes beta-henfald også i hverdagslivet, for eksempel i PET-skannere, hvor antistof udnyttes til at afbilde den menneskelige krop.

Fluor-18 er ustabil og tilbøjeligt til beta-henfald, hvilket betyder, at det har en tendens til at omdannes til ilt-18 med en halveringstid på lige under to timer. I dette tilfælde involverer processen omdannelsen af en proton indeni fluor-kernen til en neutron med den samtidige udsendelse af en antielektron (også kendt som en positron) og en elektronneutrino.

Positroner (opkvark) er identiske med elektroner med den ene forskel, at de har en positiv elektrisk ladning. Under PET-skanning udslettes de begge, når en positron støder ind i en elektron, og der dannes istedet to fotoner (lyspartikler). Fotonerne har meget mere momentum end den oprindelige elektron og positron, og bevæger sig derfor væk fra hinanden i modsat retning. Ved at omgive patienten med en fotondetektor er det muligt at opfange de individuelle fotoner og klarlægge, hvor i kroppen de blev produceret (dette gøres med specifik software).

Fluor-18 er specielt brugbar til at kortlægge hjernefunktioner eller lokalisere glukosehungrende kræftceller, fordi den kan optages i glukosemolekyler. Andre positron-kilder kan sættes ind i en række forskellige molekyler, sådan at man kan danne et billede af forskellige biologisk aktive dele af kroppen. Måden, disse radioaktive stoffer, som fluor-18, produceres på, er et interessant eksempel på, hvordan teoretisk forskning ofte får betydning for vores hverdagsliv.

Helt konkret produceres fluor-18 ved hjælp af partikelacceleratorer på størrelse med et værelse ved at bombardere ilt-18 med protoner, der er blevet accelereret op i hastighed ved hjælp af en spænding på et par millioner volt.