

9

Atom- og kernefysik



Fig. 218. Demokrit (ca. 460-360 f.Kr.).

For 2400 år siden fremsatte den græske filosof *Demokrit* den teori, at stof ikke kan deles i det uendelige. Til sidst ville man komme til en mindste del, som ikke yderligere kunne deles – disse mindste dele kaldte han *atomer* (betyder »udelelig« på græsk).

Demokrits tanke slog ikke an før for et par hundrede år siden, da *Dalton* fremsatte en teori om, at alt stof er sammensat af små kugleformede partikler – og han gav disse partikler det navn som også vi bruger i dag – *atomer*.

I løbet af det sidste hundrede år er det imidlertid lykkedes at vise, at de partikler vi kalder atomer ikke er udelelige – men vor tids fysikere hælder alligevel ligesom Demokrit til den opfattelse, at stof ikke lader sig dele i det uendelige.

Den mindste del, som ikke yderligere kan deles, er blot ikke det vi kalder atomer.

Atomalderen

Tiden efter anden verdenskrig er blevet kaldt *atom-alderen*. Vores hverdag er stærkt præget af den viden, der især i de sidste 50 år er opnået om atomerne og deres opbygning.

I de første årtier betragtede man atomkraften med udelte begejstring. Man mente, at man her havde en *energikilde*, der ikke kunne tømmes.

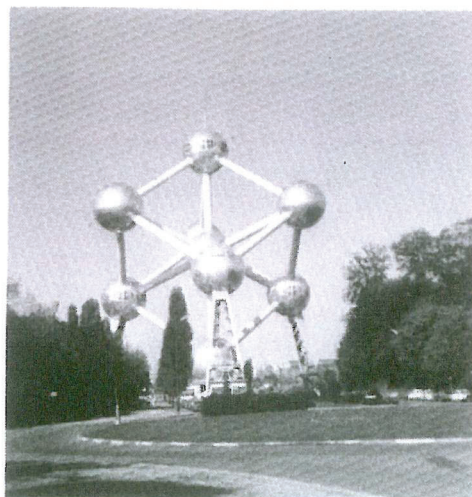


Fig. 219. Ved verdensudstillingen i 1958 i Bruxelles, var vartegnet denne atommodel. »Atomium« er 110 m høj og forestiller et metal-krystal. I kuglerne er der bl.a. restauranter.



Fig. 220. I mange lande er modstanden mod brug af atomkraft stor.

Nu ved vi, at atomkraften også kan medføre store farer. Vi har hørt om uheld på atomkraftværker og vi ved, at uheld med radioaktive stoffer kan være til fare for os alle.

For at kunne tage stilling for eller imod atomkraft, må man vide, hvad det er. – Spørgsmålene er jo:

- Skal Danmark have atomkraft?
- Skal vi opbevare radioaktivt affald i Danmarks undergrund?

I denne bog skal vi ikke tage stilling for eller imod atomkraft. Men vi vil her og i **Prisma 10** fortælle en del om de ting, der gør atomkraften god, og en del om de ting, der gør atomkraften farlig.

Atom-modeller

E
36

Atomer er så små, at man ikke kan se dem. Selv med de stærkeste mikroskoper er det umuligt. Men alligevel ved man meget om atomerne. Ved forskellige forsøg kan videnskabsmændene se og måle, hvorledes atomerne reagerer.

Som eksempel kan vi forestille os en skytte (fig. 221), som skyder mod en stor skive. Bag skiven er en genstand, som skytten ikke kan se, men han kan høre om genstanden bliver ramt af et skud.

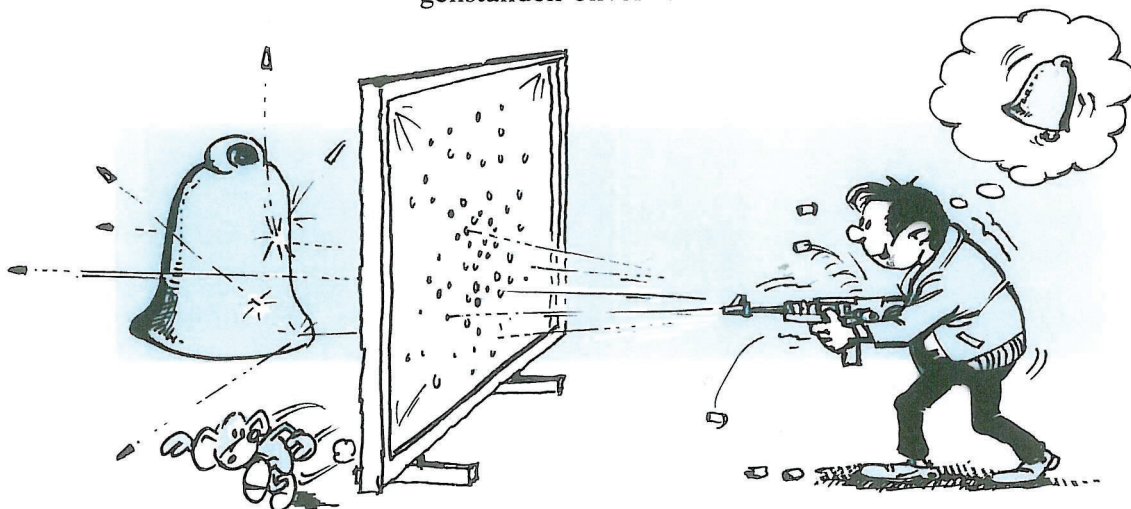


Fig. 221. Skytten kan høre, om han rammer genstanden bag skiven.

Skyder han tilstrækkeligt mange skud, kan han få en god fornemmelse af, hvor stor genstanden er, og af, hvilken form den har. Ved hjælp af lyden kan han også gætte på,

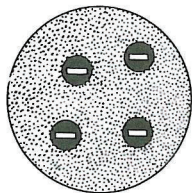


Fig. 222. Denne model brugte man omkring år 1900. Man sagde om atomet på figuren, at det bestod af fire negative partikler, som lå inde i en substans af positivt stof.

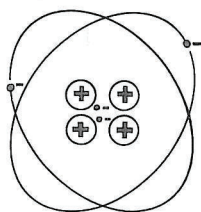


Fig. 223. Denne atommodel brugte man 20-30 år senere. Man sagde nu om det samme atom som i fig. 222, at det bestod af to negative partikler, som »fløj« rundt om en kerne, der bestod af fire positive og to negative partikler. Også denne model er man gået bort fra.

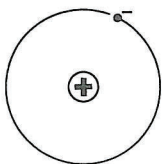


Fig. 224. Bohrs første model af et hydrogen-atom.



Fig. 225. Tætheden af prikker viser, hvor der er størst sandsynlighed for at elektronen er.

hvilket stof den er af. Skytten kan altså opstille en *model* af den genstand, han ikke kan se.

Gennem tiderne har videnskabsmænd ved hjælp af forsøg arbejdet på at skabe gode modeller af atomerne.

Jo flere kendsgerninger en model stemmer med, jo bedre er den.

Efterhånden som man lærte mere om atomerne, måtte man flere gange ændre på den model, man havde – når nye kendsgerninger ikke stemte med modellen.

Den atom-model, vi vil arbejde med, er en forholdsvis simpel model, men den kan bruges til at forklare nogle af atomernes egenskaber.

Atomets opbygning

Det mest simple atom, vi kender, er *hydrogen-atomet* (brint-atomet). I 1913 opstillede den danske fysiker *Niels Bohr* (1885-1962) en model, der fremstillede hydrogen-atomet som vist på fig. 224.

Bohr forestillede sig, at atomet bestod af en positiv kerne (+) hvorumkring der kredsede en negativ partikel (-), som kaldes en *elektron*.

I dag regner man ikke med, at elektronen bevæger sig i en bestemt bane – den kan befinde sig alle vegne omkring kernen. Men der er et område, hvor elektronen *oftest* befinder sig – i dette område er der altså *størst sandsynlighed* for at træffe elektronen.

På fig. 225 viser priktætheden, hvor der er størst sandsynlighed for at træffe elektronen, men for nemheds skyld vil vi alligevel tegne elektronens bane som en *cirkel*. Den cirkelformede bane kaldes en *elektron-skal*.

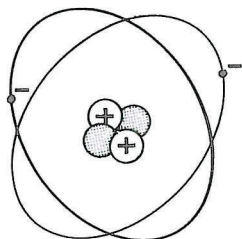


Fig. 226. Helium-atom. Kernen har to positive protoner og to neutroner. (Sammenlign med fig. 222 og 223).

Det næste grundstof, *helium*, består af atomer, der er lidt mere sammensatte (fig. 226).

Omkring kernen kredser *to* elektroner. Selve kernen består af fire partikler: 2 partikler, der er elektrisk *positive* (+) og 2 partikler, der er elektrisk *neutrale*.

De positive partikler kaldes **protoner**.

De neutrale partikler kaldes **neutroner**.

Et atom består altså af både negative partikler (elektroner) og positive partikler (protoner) – samt måske et antal neutroner. Men som *helhed* er et sådant atom ikke elektrisk *udadtil*: de positive ladninger og de negative ladninger udligner hinanden.

Inden for atomet spiller de elektriske kræfter en stor rolle: det er tiltrækningen mellem den positive kerne og de negative elektroner, der fastholder elektronerne i deres bane omkring kernen.

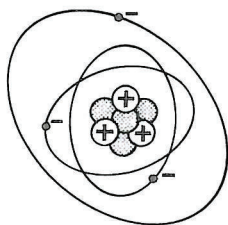


Fig. 227. Lithium-atom. Der er to elektroner i den inderste skal. Den tredje elektron kredser i en elektronskal længere ude. Kernen indeholder tre protoner og fire neutroner.

Det er antallet af protoner i kernen, der bestemmer et atoms nummer.

Grundstof nummer 3 er *lithium*. I en lithium-kerne er der tre protoner og fire neutroner (fig. 227).

I den inderste elektronskal er der kun plads til to elektroner. Den tredje elektron i lithium-atomet kredser i en bane, der ligger længere ude: elektronskal nummer to.

I den anden skal er der plads til ialt 8 elektroner.

Modellen af de næste atomer ser således ud (fig. 228 og 229).

Fig. 228. Beryllium:

antal protoner:	4
antal neutroner:	5
Antal kernepartikler:	9
Antal elektroner:	4

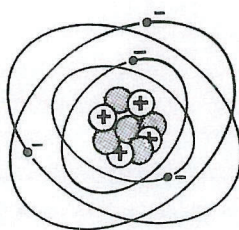
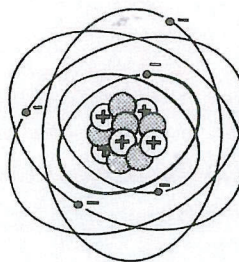


Fig. 229. Bor:

antal protoner:	5
antal neutroner:	6
Antal kernepartikler:	11
Antal elektroner:	5



Først ved grundstof nummer 11, natrium, kommer der elektroner i den tredje skal. Fig. 230 viser elektron-fordelingen i de første 18 grundstoffer.

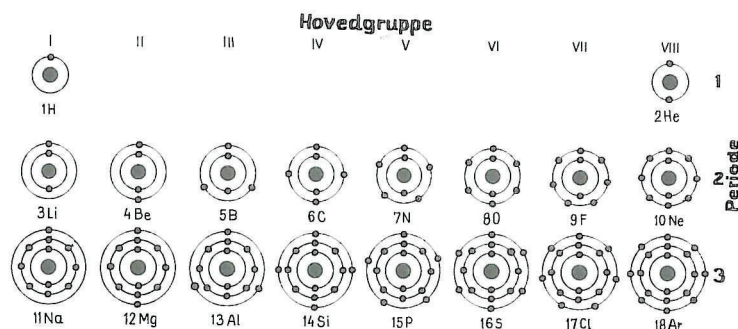


Fig. 230. Elektron-fordelingen i de første 18 grundstoffer.

Atomfysisk skrivemåde

E
37

I atomfysikken er det ikke praktisk kun at angive den kemiske betegnelse for et atom – f.eks. Li for lithium. Man skriver også *atomets nummer* (= antal protoner) og *antal kernepartikler*. Antallet af kernepartikler kaldes *atomets massetal*.

Lithium-atomet på figur 227 skrives da således:



hvor 3 viser at der er 3 protoner i kernen (elektrisk ladning: +3), og 7 viser at der er ialt 7 kernepartikler. Antal neutroner findes som forskellen på de to tal: $7 - 3 = 4$ *neutroner*.

Antal kernepartikler
(massetal)

Antal protoner
(atomnummer)



Fig. 231

Partiklerne i kernen kan skrives på samme måde:

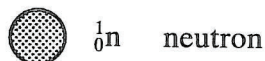


Fig. 232

Atomers størrelse og masse

E
38

Atomerne er ufatteligt små – og alligevel er det meste af et atom tomrum. Hele atomet fylder omkring en billion (1 000 000 000 000) gange mere end selve kernen.

Hvis man kunne forstørre et atom, så kernen var på størrelse med en tennisbold, ville den nærmeste elektron sandsynligvis være en halv kilometer væk!



Fig. 233

Hvis man forestillede sig en klump atomkerner på størrelse med et knappenålshoved, så ville den veje mere end 100 000 tons!

Netop fordi atomerne er så små, er det ikke praktisk at måle deres masse f.eks. i gram. Tallene ville være upraktiske at arbejde med. En proton har en masse på:

0,000 000 000 000 000 000 000 001 7 gram

Man har derfor valgt at bruge en meget lille masse-enhed, kaldet **u**, som er en forkortelse af unit (enhed):

$$1 \text{ u} \approx 1,7 \cdot 10^{-24} \text{ gram}$$

Både en proton og en neutron har en masse på cirka 1 u. Derimod er en elektrons masse 1836 gange mindre end en protons masse, så elektronernes masse regner man sædvanligvis ikke med.

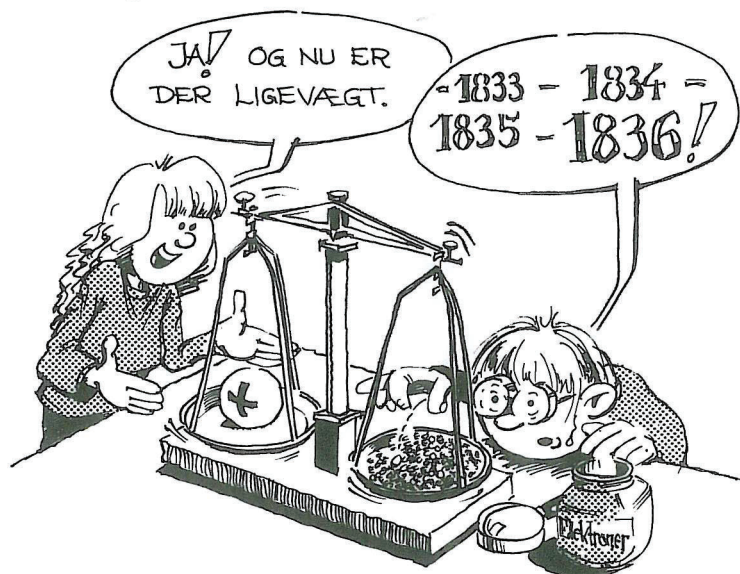


Fig. 234

Da en kernepartikels masse er ca. 1 u, kan man opfatte et atoms *massetal* (= antallet af kernepartikler) som en afrundet angivelse af atomets *masse*:

	NAVN	SYMBOL	MASSETAL
Atom	hydrogen	${}^1_1\text{H}$	1
	helium	${}^4_2\text{He}$	4
	lithium	${}^7_3\text{Li}$	7
Elementarpartikel	proton	${}^1_1\text{p}$	1
	neutron	${}^1_0\text{n}$	1
	elektron	${}^0_{-1}\text{e}$	0

Det periodiske system

E I kemibogen stiftede vi bekendtskab med det *periodiske system*. Det samme periodiske system er her gengivet med to tilføjelser:

39

- Atomernes masser er nu med.
- Det er med en stjerne (*) angivet, hvilke stoffer der er radioaktive.

I det periodiske system er grundstofferne ordnet efter deres egenskaber: stoffer i samme hovedgruppe har kemiske

Det periodiske system

146

HOVEDGRUPPE																		HOVEDGRUPPE					Periode		
																		III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1.008 H Hydrogen	6.941 Li Lithium	9.012 Be Beryllium	24.305 B Bor	22.990 Na Natrium	28.086 Mg Magnesium	40.08 Ca Kalcium	44.956 Sc Scandium	47.90 Ti Titan	50.94 V Vanadium	51.996 Cr Chrom	55.847 Mn Mangan	58.933 Fe Jern	58.933 Co Cobalt	58.933 Ni Nikkel	58.933 Cu Kobber	58.933 Zn Zink	58.933 Ga Gallium	58.933 Ge Germanium	58.933 As Arsen	58.933 Se Selen	58.933 Br Brom	58.933 Kr Krypton	58.933 Rb Rubidium	58.933 Sr Strontium	58.933 Y Yttrium
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1.008 H Hydrogen	6.941 Li Lithium	9.012 Be Beryllium	24.305 B Bor	22.990 Na Natrium	28.086 Mg Magnesium	40.08 Ca Kalcium	44.956 Sc Scandium	47.90 Ti Titan	50.94 V Vanadium	51.996 Cr Chrom	55.847 Mn Mangan	58.933 Fe Jern	58.933 Co Cobalt	58.933 Ni Nikkel	58.933 Cu Kobber	58.933 Zn Zink	58.933 Ga Gallium	58.933 Ge Germanium	58.933 As Arsen	58.933 Se Selen	58.933 Br Brom	58.933 Kr Krypton	58.933 Rb Rubidium	58.933 Sr Strontium	58.933 Y Yttrium
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1.008 H Hydrogen	6.941 Li Lithium	9.012 Be Beryllium	24.305 B Bor	22.990 Na Natrium	28.086 Mg Magnesium	40.08 Ca Kalcium	44.956 Sc Scandium	47.90 Ti Titan	50.94 V Vanadium	51.996 Cr Chrom	55.847 Mn Mangan	58.933 Fe Jern	58.933 Co Cobalt	58.933 Ni Nikkel	58.933 Cu Kobber	58.933 Zn Zink	58.933 Ga Gallium	58.933 Ge Germanium	58.933 As Arsen	58.933 Se Selen	58.933 Br Brom	58.933 Kr Krypton	58.933 Rb Rubidium	58.933 Sr Strontium	58.933 Y Yttrium

140.12 Ce Cerium	140.91 Pr Praseodym	144.24 Nd Neodym	145 Pm Promethium	150.4 Sm Samarium	151.96 Eu Europium	157.25 Gd Gadolinium	158.91 Tb Terbium	162.50 Dy Dysprosium	164.93 Ho Holmium	167.26 Er Erbium	168.93 Tm Thulium	173.04 Yb Ytterbium	174.97 Lu Lutetium	223 * Fr Francium	226 * Ra Radium	227 * Ac Actinium	228 * Th Thorium	232.04 * Pa Protactinium	237 * U Uran	238.03 * Np Neptunium	241 * Pu Plutonium	244 * Am Americium	247 * Cm Curium	250 * Bk Berkelium	254 * Cf Californium	257 * Es Einsteinium	261 * Fm Fermium	265 * Md Mendelevium	269 * No Nobelium	271 * Lr Lawrencium	285 103
140.12 Ce Cerium	140.91 Pr Praseodym	144.24 Nd Neodym	145 Pm Promethium	150.4 Sm Samarium	151.96 Eu Europium	157.25 Gd Gadolinium	158.91 Tb Terbium	162.50 Dy Dysprosium	164.93 Ho Holmium	167.26 Er Erbium	168.93 Tm Thulium	173.04 Yb Ytterbium	174.97 Lu Lutetium	223 * Fr Francium	226 * Ra Radium	227 * Ac Actinium	228 * Th Thorium	232.04 * Pa Protactinium	237 * U Uran	238.03 * Np Neptunium	241 * Pu Plutonium	244 * Am Americium	247 * Cm Curium	250 * Bk Berkelium	254 * Cf Californium	257 * Es Einsteinium	261 * Fm Fermium	265 * Md Mendelevium	269 * No Nobelium	271 * Lr Lawrencium	285 103
140.12 Ce Cerium	140.91 Pr Praseodym	144.24 Nd Neodym	145 Pm Promethium	150.4 Sm Samarium	151.96 Eu Europium	157.25 Gd Gadolinium	158.91 Tb Terbium	162.50 Dy Dysprosium	164.93 Ho Holmium	167.26 Er Erbium	168.93 Tm Thulium	173.04 Yb Ytterbium	174.97 Lu Lutetium	223 * Fr Francium	226 * Ra Radium	227 * Ac Actinium	228 * Th Thorium	232.04 * Pa Protactinium	237 * U Uran	238.03 * Np Neptunium	241 * Pu Plutonium	244 * Am Americium	247 * Cm Curium	250 * Bk Berkelium	254 * Cf Californium	257 * Es Einsteinium	261 * Fm Fermium	265 * Md Mendelevium	269 * No Nobelium	271 * Lr Lawrencium	285 103

Til nr. 57 slutter sig nr. 58-71 (de 14 lanthanoider):

Til nr. 89 slutter sig nr. 90-103 (de 14 actinoider):

gasarter

egenskaber, der er beslægtet med hinanden.

Det er russeren *Mendelejev* (1834-1907), der har fået æren for at have opstillet systemet. Han arbejdede ud fra den antagelse, at der måtte være en sammenhæng mellem grundstoffernes atomvægt og deres kemiske egenskaber. I 1869 opstillede han for første gang systemet, der i den sidste del af århundredet blev almindeligt accepteret.

I det periodiske system er grundstofferne skrevet i rækkefølge efter deres *atomnummer* – der jo angiver antallet af protoner i kernen.

Allerede i 1880'erne mente nogle videnskabsmænd imidlertid, at der kunne være flere forskellige atomer af samme grundstof. Først i 1932, da man opdagede *neutronen* kunne man forklare dette.

Isotoper

I fig. 224 så vi modellen af et *almindeligt hydrogen-atom*. Det har imidlertid vist sig, at der eksisterer to andre slags hydrogen-atomer (fig. 235)

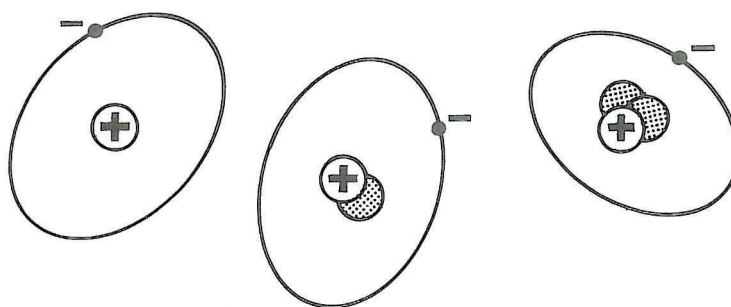


Fig. 235. Tre slags hydrogen.

Kernen i et almindeligt hydrogen-atom består kun af én proton. De to andre hydrogen-atomer indeholder henholdsvis 1 og 2 *neutroner* foruden protonen. Men alle tre atomer opfører sig helt ens i kemisk henseende! De er alle tre samme grundstof og skal ind på samme plads i det periodiske system.

De tre slags hydrogen kaldes *isotoper* (græsk: *isos*: samme; *topos*: sted).

Atomer med samme proton-tal men forskellige neutron-tal, kaldes isotoper.

Isotoper af samme grundstof har ens kemiske egenskaber.

Naturligt forekommende *lithium* består af to isotoper: ${}^6_3\text{Li}$ og ${}^7_3\text{Li}$ (fig. 236).

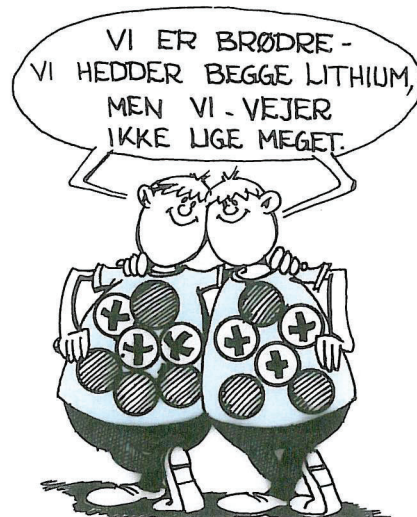


Fig. 236

De to lithium-isotoper findes ikke i lige store mængder i naturen. Cirka 7 % af atomerne er ${}^6_3\text{Li}$ og cirka 93 % er ${}^7_3\text{Li}$.

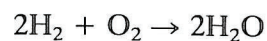
E Hvis man forestiller sig, at man har 100 lithium-atomer, vil 7 være ${}^6_3\text{Li}$ og 93 af dem vil være ${}^7_3\text{Li}$. Man kan så beregne den *gennemsnitlige* atommasse:

$$\frac{7 \cdot 6 \text{ u} + 93 \cdot 7 \text{ u}}{100} \approx 6,9 \text{ u}$$

I det periodiske system side 146 og i tabellen over atommasser bag i bogen er angivet den *gennemsnitlige atommasse*.

Lidt om deuterium (tung brint)

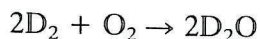
Når hydrogen forbinder sig med oxygen, dannes der vand:



Som vi har set, eksisterer der to andre hydrogen-isotoper: deuterium og tritium. Den sidste af dem er der så lidt af, at det ikke kan måles i naturligt forekommende hydrogen.

0,015 % af naturligt forekommende hydrogen er deuterium. Det er ikke meget, men nok til at det kan måles.

Når deuterium, D, forbinder sig med oxygen, dannes *tungt vand*:



Man kan ikke ved kemiske metoder adskille det tunge vand fra almindeligt vand, da de to stoffer jo har ens kemiske egenskaber. Derimod har tungt vand lidt andre *fysiske* egenskaber:

Vand		Tungt vand
$1,000 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	massefylde	$1,108 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
0°C	frysepunkt	$3,83^\circ\text{C}$
100°C	kogepunkt	$101,42^\circ\text{C}$

Det tunge vand blev opdaget i 1932 af den amerikanske forsker *Harold Urey*, som fik Nobelprisen for sin opdagelse. Han fandt ud af, at der i 5 kg rent vand er gennemsnitligt knap et gram tungt vand. Det lykkedes for ham at udskille en meget lille portion tungt vand.

Man kan udskille tungt vand fra almindeligt vand f.eks. ved *elektrolyse* eller ved *destillation*. Men begge metoder kræver adgang til meget vand og et meget stort energiforbrug.

Inden 2. verdenskrig var der kun ét sted i verden, hvor man fremstillede tungt vand i større mængder: ved *Rjukan* i Norge. Her udnyttede firmaet Norsk Hydro de enorme vandkraftreserver.

Under 2. verdenskrig blev den første *atom-reaktor* bygget, og også de første *atombomber*. Man havde beregnet, at netop tungt vand ville være velegnet i



Fig. 237. Norges største vandkraftanlæg, Rjukan. Anlagt i 1910. Producerede tungt vand. Vandets faldhøjde er 300 m.

atom-reaktorer, så en af kampene i verdenskrigen drejede sig om tungt vand.

Deuterium har en særlig egenskab, som gør den »interessant«. Hvis luftarten opvarmes til en temperatur, der ligger over 14 000 000 °C, sker der en sammensmeltning af dens atomkerner:

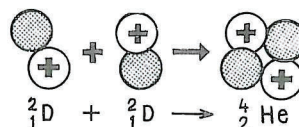


Fig. 238



Fig. 239. Menneskene har efterlignet Solen: den første brintbombe eksploderede i 1952.

Det er denne proces, der sker inde i Solen og som skaber den energi, som Solen sender ud i verdensrummet.

Her på Jorden har menneskene efterlignet processen i brintbomben!

Hvis det engang lykkes at styre denne proces til fredelige formål, kan vi regne med, at verdens energiproblemer kan løses – uden problemer med farligt affald.

Prøv din viden

1. Hvad er elementar-partikler?
2. Hvor mange elementar-partikler er der i en helium-kerne, der skrives ${}^4_2\text{He}$?
3. Nævn tre elementar-partikler. – Hvad er deres elektriske ladning? – Hvad er deres masse?
4. Hvilke oplysninger giver det os om et oxygenatom, at det betegnes således: ${}^{16}_8\text{O}$?
5. Hvilken forskel kan der være på massetal og atommasse?
6. Hvad er isotoper?