

Kernepartiklerne (nukleoner)

Atomkerner består altså af protoner og neutroner.

Protonerne er de partikler, der giver kernen den elektriske ladning. Protonernes antal svarer til atomnummeret og afgør hvilket stof, der er tale om.

Neutronerne er elektrisk neutrale og virker som en slags "lim" mellem protonerne, der ellers ville splitte atomkernen ad, da de på grund af deres positive ladning frastøder hinanden.

Bortset fra hydrogenatomet indeholder alle atomers kerne et antal neutroner der for de fleste atomkerner ligger mellem ca. 1 og 1,5 gange antallet af protoner.

Når man kender atomkernes masse kan man udregne antallet af neutroner ved at subtrahere atomnummeret (=antallet af protoner) fra atommassen.

| |
|---|
| $\text{Antal neutroner} = \text{Atommasse} - \text{Atomnummer}$ |
|---|

Eksempel:

Uran har atommassen 238 og atomnummer 92.

Antal neutroner = 238 - 92 = 146

Isotoper

Atomkernerne er dog forskellige.

F.eks. indeholder cloratomet altid 17 protoner, men antallet af neutroner kan være forskelligt. I ca. 75% af cloratomer er der 18 neutroner, mens der i de resterende 25% er 20 neutroner.

Cloratomerne med 18 neutroner vejer $17u + 18u = 35u$ og kaldes derfor Cl 35, mens cloratomerne med 20 neutroner vejer $17u + 20u$ og derfor kaldes Cl 37.

Det er derfor at clors atommasse i dit periodiske system ikke er i nærheden af et helt tal, men nærmere 35,5 som fås ved at udregne gennemsnittet, som er 75% af $35u$ + 25% af $37u$.

Der er altså 2 slags cloratomer, og man siger at almindeligt clor er en blanding af to isotoper.

Alle grundstoffer er en blanding af forskellige isotoper.

Eksempler på isotoper:

| Nr. | Navn | Isotoper |
|-----|----------|------------------|
| 1 | Hydrogen | H 1, H 2, H 3 |
| 2 | Helium | He 3, He 4 |
| 6 | Kulstof | C 12, C 13, C 14 |
| 8 | Oxygen | O 16, O 17, O 18 |
| 92 | Uran | U 235, U 238 |

Udregn antallet af neutroner i de nævnte isotoper.

Naturligt Hydrogen består af 99,985% H 1 og 0,015% H 2. Derfor ligger gennemsnittet for atommassen tæt på 1.

Ioniserende stråling

En ustabil atomkerne vil før eller siden gå i stykker. Når den går i stykker udsendes der stråling fra kernen, og stof der indeholder ustabile atomkerner kaldes derfor radioaktivt.

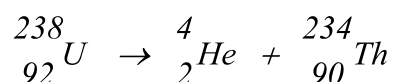
Radioaktivt stof kan udsende 3 forskellige strålingstyper, der kan kendes på deres afbøjning i et elektrisk eller et magnetisk felt.

Alfastråling α

Alfastråling består af partikler der indholder 2 protoner og 2 neutroner, altså en heliumkerne (He_4). Det er en forholdsvis tung partikel, der vejer 4 u og har en elektrisk ladning der svarer til to positive elementarladninger.

Når en atomkerne udsender en alfapartikel vil den miste 2 protoner og 2 neutroner, og derfor omdannes den til en atomkerne der vejer 4 u mindre og har et atomnummer der er to lavere.

U 238 er et eksempel på en atomkerne, der kan udsende en alfa-partikel under omdannelse til Th 234 ved følgende reaktion:

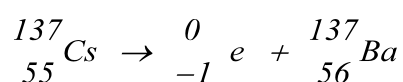


Betastråling β

Betastråling består af hurtige elektroner der kommer fra en atomkerne, hvor en neutron omdannes til en proton og en elektron.

Når en atomkerne udsender en betapartikel vil den derfor få en neutron mindre og en proton mere. Den masse der mistes, når elektronen forsvinder fra kernen er ubetydelig. Atomkernen går derfor et atomnummer op, men bevarer sin masse ved omdannelsen.

Cs 137 er et eksempel på en atomkerne, der kan udsende betapartikler under omdannelse til Ba 137 ved følgende reaktion:



Gammastråling γ

Gammastråling er elektromagnetisk stålning i familie med lys og røntgenstråling. Bølgelængden er blot meget mindre (Se hæftet "Farver og farveopfattelse"), og derfor er strålingen farligere.

Når en atomkerne omdannes ved udsendelse af alfastråling eller betastråling efterlades den tit med et overskud af energi, som samtidig eller senere udløses ved udsendelse af gammastråling. Der sker derfor ingen stofomdannelse ved udsendelse af gammastråling. Gamma-stråling udsendes i større mængder sammen med betastråling og i mindre grad sammen med alfastråling.

Radioaktive kilder

På skolen har vi tre svage radioaktive kilder, der udsender henholdsvis alfa-, beta- og gammastråling.

Måleenheder

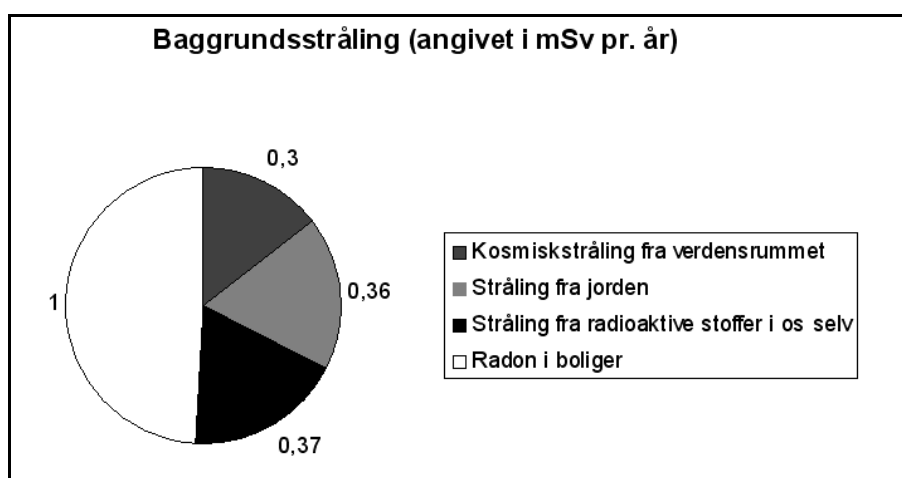
Radioaktive kilders styrke måles i Becquerel. (Bq). Skolens alfakilde har en styrke på ca. 37000 Bq, og det betyder, at den udsendes ca. 37000 α -partikler pr. sekund.

De forskellige strålingstyper gør forskellig skade på levende væv, der rammes. For at sammenligne den modtagne dosis bruger man enheden sievert (Sv).

Den dosis, man udsættes for, akkumuleres i kroppen. Der er derfor fastsat grænser for, hvor stor dosis folk, der dagligt er beskæftiget med ioniserende stråling, må udsættes for. Denne grænse er 20 mSv pr. år.

Baggrundsstråling

Vi er hele tiden udsat for en svag stråling, der kommer fra flere kilder, som du kan se i diagrammet herunder.



Kosmisk stråling

Jorden bestråles af partikler, der stammer fra radioaktive processer i verdensrummet, bl.a. fra Solen. Denne stråling er større, når du f.eks. flyver i 12 km højde.

Stråling fra jorden

Jorden indeholder radioaktive atomer, bl.a. uran, thorium og kalium, som er årsag til strålingen herfra. I Danmark er strålingen fra jorden størst på Bornholm, da granitten, der er i undergrunden her, indeholder større mængder uran og thorium.

Radon i boliger

I den kæde af stoffer, der dannes, når uran henfalder dannes der bl.a. det radioaktive radon, som siver op til jordoverfladen og ind i vores huse, hvor den kan forårsage forhøjet stråling.

Stråling fra radioaktive stoffer i os selv

Du får en del radioaktive stoffer i din egen krop bl.a. K 40, gennem den føde, du spiser og den luft, du indånder.

Røntgen

Udover den ioniserende stråling, der skyldes radioaktive stoffer, udsættes du også for ioniserende stråling, når der tages røntgenbilleder hos tandlægen eller på hospitalet.

Halveringstid

Når en radioaktiv atomkerne udsender alfa- eller betastråling omdannes den til et nyt grundstof, f.eks. omdannes U 238 ved udsendelse af en α -partikel til Th 234

Ethvert radioaktivt stof har en bestemt *halveringstid*, som er den tid der går før halvdelen af stoffet er omdannet til et andet stof.

Halveringstiden for U 238 er $4,468 \cdot 10^9$ år, og derfor vil der i en klump U238 gå næsten 4 500 000 000 år, før halvdelen af kernerne er omdannet til Th 234.

Halveringstiden varierer meget for de forskellige radioaktive atomkerner.

Halveringstiden for de forskellige atomkerner kan aflæses på nuklidkortet.

Udfyld tabellen herunder.

| | | | | | |
|---------------|-------|--------|--------|------|--------|
| Isotop | U 235 | Ra 226 | Rn 222 | C 14 | Am 241 |
| Halveringstid | | | | | |

Naturlig grundstofforvandling (U238-rækken)

Uran er et ustabil grundstof, men på grund af den lange halveringstid indeholder Jordens overflade stadig store mængder uran, der har eksisteret lige så længe som Jorden.

I Danmark er der ca. 2 g uran for hver tons jord. Heraf er 99,3 % U 238, der henfalder på følgende måde:

| | Halveringstid |
|--------------------------------------|-----------------------|
| U 238 $\rightarrow \alpha$ + Th 234 | $4,468 \cdot 10^9$ år |
| Th 234 $\rightarrow \beta$ + Pa 234 | 24,1 dage |
| Pa 234 $\rightarrow \beta$ + U 234 | 6,7 timer |
| U 234 $\rightarrow \alpha$ + Th 230 | $2,446 \cdot 10^5$ år |
| Th 230 $\rightarrow \alpha$ + Ra 226 | $7,54 \cdot 10^4$ år |
| Ra 226 $\rightarrow \alpha$ + Rn 222 | 1600 år |
| Rn 222 $\rightarrow \alpha$ + Po 218 | 3,825 dage |
| Po 218 $\rightarrow \alpha$ + Pb 214 | 3,05 minutter |
| Pb 214 $\rightarrow \beta$ + Bi 214 | 26,8 minutter |
| Bi 214 $\rightarrow \beta$ + Po 214 | 19,9 minutter |
| Po 214 $\rightarrow \alpha$ + Pb 210 | 0,000164 sekunder |
| Pb 210 $\rightarrow \beta$ + Bi 210 | 22,3 år |
| Bi 210 $\rightarrow \beta$ + Po 210 | 5,013 dage |
| Po 210 $\rightarrow \alpha$ + Pb 206 | 138,38 dage |
| Pb 206 | stabilt |

Ioniserende strålings virkning på levende organismer

Et menneske består af ca. 100 000 milliarder celler, der allesammen er dannet ud fra én eneste befrugtet ægcelle. Der findes celler med mange forskellige specialiserede funktioner - hjerneceller, muskelceller, hudceller, kønsceller etc.

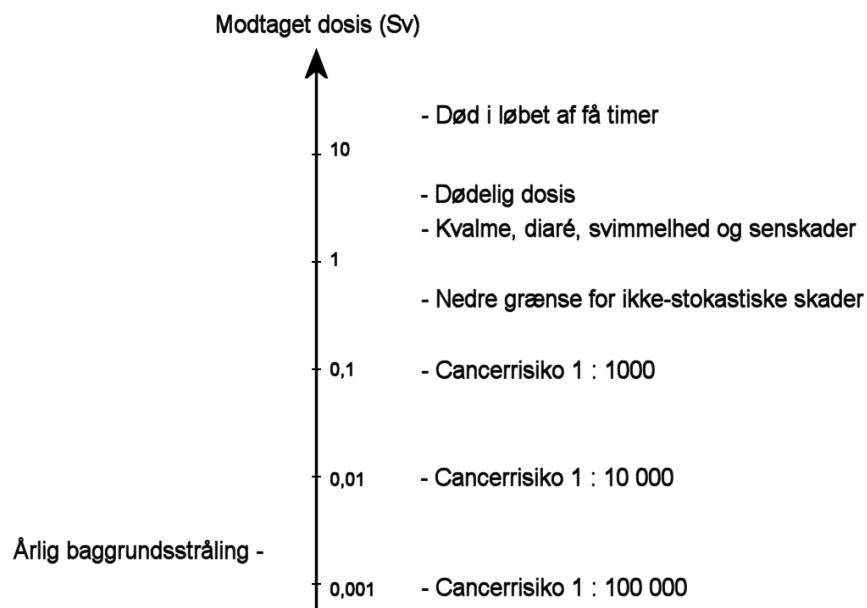
Alle cellerne i kroppen virker i et kompliceret samspil, hvor de enkelte cellers forskellige processer foregår i en hårfin balance med hinanden. Når en celle rammes af ioniserende stråling, sker der en ionisering af et eller flere molekyler i cellen, og derved bringes der forstyrrelser i cellens processer.

Der kan nu typisk ske tre forskellige ting med cellen:

1. Cellen er i stand til at reparere sig selv og fungere videre som en normal celle.
2. Forstyrrelserne er så store, at cellen ikke er i stand til at reparere sig selv eller der foregår en fejlreparation, og cellen fortsætter med at fungere forkert - der er dannet en mutant celle.
3. Skaden er så stor, at cellen dør.

Af en mutant celle kan der ved en senere celledeling opstå en ukontrolleret voksende cancercelle. Latenstiden kan være op til 30 år. Hvis der er tale om en kønscelle, kan der opstå arvelige skader.

Risikoen for, hvad der kan ske afhænger af den modtagne dosis.

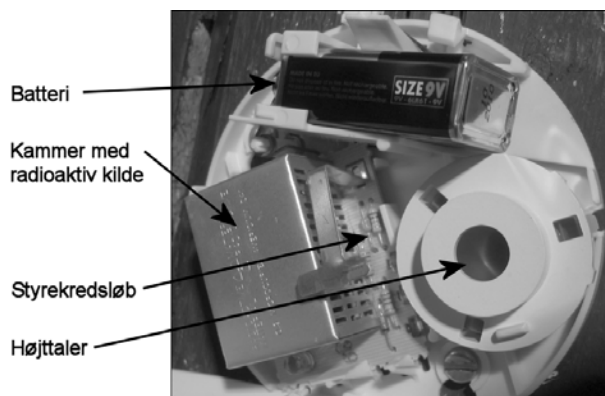


Anvendelse af ioniserende stråling

Radioaktive stoffer bruges forskellige steder, både i virksomheder og i hjemmet. Herunder nævnes et par eksempler.

Røgalarm

Røgalarmen indeholder den radioaktive isotop Am 241, der er anbragt i et lille metalkammer.



Inde i kammeret er der også to elektroder, der er forbundet til et batteri. Da alfapartiklerne fra den radioaktive isotop ioniserer luften, går der en svag strøm mellem elektroderne.

Der er huller i siderne af metalkammeret, så røg fra en brand kan komme ind.

Når der kommer røg ind i kammeret, vil røgparklerne absorbere alfapartiklerne og strømstyrken falder. Dette fald i strømstyrken får det elektroniske styrekredsløb til at starte alarmen.

Materialekontrol

Ved samling af rør til naturgasledninger kontrolleres svejsningerne ved hjælp af radioaktive isotoper. En radioaktiv kilde anbringes inde i røret ved svejsningerne og udvendigt lægges en bane fotografisk film omkring samlingen. På den fremkaldte film, kan man kontrollere svejsningen.

På samme måde kontrollerer flyvemaskineværksteder metaldele i f.eks. vinger for tegn på svagheder.

Kontrol og styring

Radioaktive isotoper kan endvidere bruges til kontrol af materialetykkelse. Det benyttes f.eks. ved produktion af papir, metalplader, tæpper. Der anbringes her en radioaktiv kilde på den ene side, mens en GM-tæller på den anden side sender signaler til den automatiske styring af valserne, der bestemmer tykkelsen på materialet.

På hospitaler

På hospitaler bruges radioaktive isotoper til både behandling og undersøgelser.

Kraftig gammastråling fra Co 60 bruges til behandling af kræft.

Patienten anbringes under en strålekanon, hvor strålingen fra Co 60-isotopen kommer ud som en tynd stråle. Kanonen roteres således at man rammer kræftknuden fra forskellige vinkler, mens det omgivende, raske væv bestråles så lidt som muligt.

Ved undersøgelse af f.eks. lungfunktion kan man lade patienten indånde små mængder af radioaktive luftarter med kort halveringstid, f.eks. Kr 81 eller Xe 133. Man bruger inaktive luftarter, som ikke optages i blodet, og derfor hurtigt forsvinder fra lungerne igen. Mens den radioaktive luftart er i lungerne, kan man tage billeder af lungerne, hvor den radioaktive luftart vil vise, hvor godt luften fordeles i lungerne.

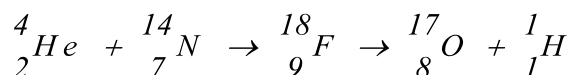
Ved undersøgelse af andre organer kan man indsprøjte små mængder radioaktive isotoper, som man ved finder vej til disse organer. Igen bruges isotoper med kort halveringstid og isotoper, man ved udskilles hurtigt.

Kunstig grundstofforvandling

Når videnskabsfolk ved eksperimenter forstyrrer forholdet mellem protoner og neutroner i en atomkerne, kan den forvandle sig og blive til et andet grundstof.

I 1919 foretog englænderen Ernest Rutherford som den første sådan et eksperiment.

Han anbragte et radioaktivt stof inde i en beholder med nitrogen, således at nogle af nitrogenatomerne blev ramt af alfapartiklerne. Bagefter kunne han påvise, at der blev dannet en lille smule oxygen, idet der skete følgende reaktion:



Denne opdagelse medførte, at flere forskere forsøgte at lave andre grundstofforvandlinger ved bestråling af andre atomer.

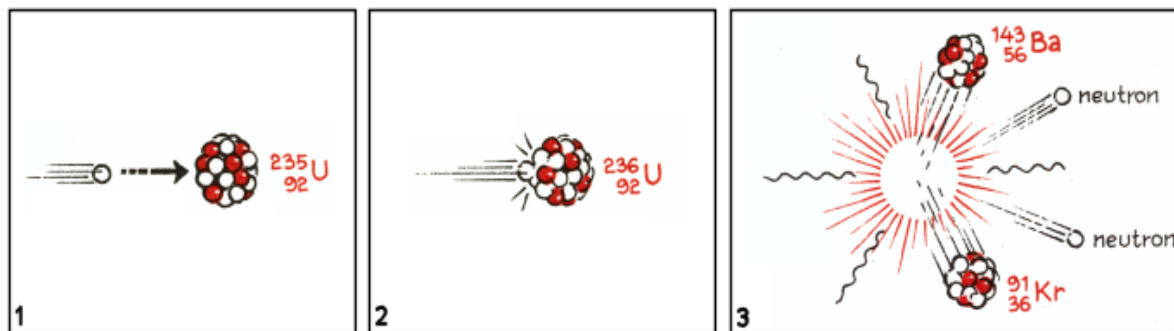
I 1932 opdagede englænderen James Chadwick, at grundstoffet beryllium ved bestråling med alfa-partikler udsendte frie neutroner.

Neutronerne var meget velegnede til at fremkalde grundstofforvandlinger, da de er neutrale og derfor ikke frastødes af atomkernerne.

Atomkernespløtning (fission)

I 1939 opdagede to tyske fysikere Otto Hahn og Fritz Strassmann, at uranisotopen U 235 opførte sig anderledes end ventet, når den blev ramt af en neutron.

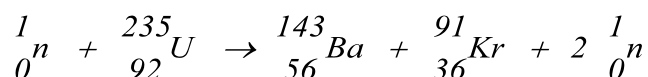
I stedet for at få en tungere atomkerne, blev urankernen splattet i to næsten lige store dele, der blev slynget til hver sin side, og samtidig blev der udsendt 2 eller 3 neutroner og gammastråling. Man fandt også senere ud af, at der samtidigt blev dannet en enorm mængde energi, set i forhold til størrelsen af atomkernens størrelse. Den energi, der frigøres, er den energi, som



En neutron farer mod en urankerne.

Den rammer og trænger ind i den.

Urankernen spaltes, og der frigøres 2 neutroner.



indtil spaltningen har bundet dem sammen i urankernen.

Hahn og Strassmann lavede deres forsøg med en meget lille mængde uran. Men tænk dig, hvad der ville ske, hvis de 2 frigjorte neutroner ramte ind i 2 andre urankerner, der spaltes og frigører i alt 4 neutroner, som rammer 4 urankerner, der spaltes og

Der kunne være startet en kædereaktion, som kunne frigøre en mængde energi i løbet af kort tid. Det er det, der sker i atombomber.

Kædereaktion

Nu er kædereaktionen som beskrevet i det foregående ikke så let at få i gang.

1. De neutroner, der frigøres ved spaltningen af U 235 kernen har alt for meget fart, og derfor skal hastigheden nedsættes (modereres), før de kan trænge ind og spalte en anden U 235-kerne.
2. I en lille mængde uran, vil de fleste neutroner undvige. For at for mange neutroner ikke skal undvige skal der være en vis mængde, kaldet den kritiske mængde uran.
3. Naturlig uran indeholder ca. 99,3% U 238 og kun 0,7% U 235. Det er kun U235, der kan spaltes. Det er derfor nødvendigt at berige uranen, ved at fjerne en stor del af U 238, så koncentrationen af U 235 øges.

Atombomben (ukontrolleret kædereaktion)

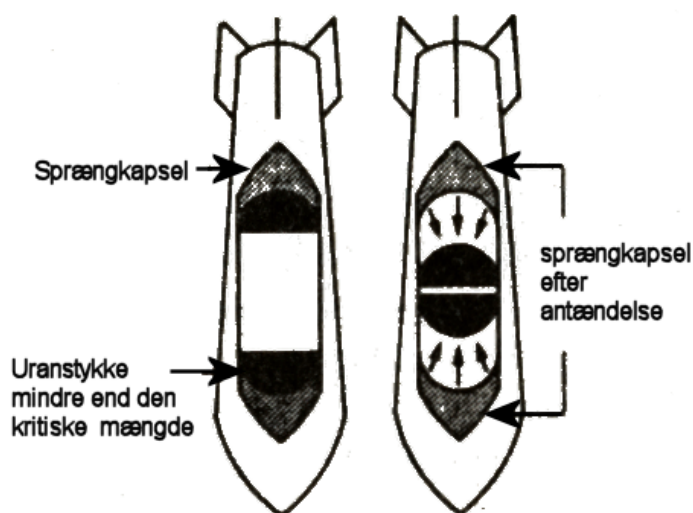
I 1942 havde forskerne overvundet de tekniske problemer, og det lykkedes i største hemmelighed at starte den første kontrollerede kædereaktion med spaltning af U 235 i en reaktor i kælderen under Chicagos universitet.

I juli 1945 sprængtes den første atombombe i New Mexicos ørken. Her lykkedes det ved en ukontrolleret kædereaktion at frigøre de enorme energimængder, der er bundet i atomkernerne. Et kæmpe lysglimt efterfulgtes af en trykbølge, der bredte sig i en radius af 80 km, mens en paddehattesky af støv og smeltet sand rejste sig over ørkenen.

Knap en måned senere nedkastede amerikanerne de to atombomber, der afsluttede 2. verdenskrig. Bomberne blev bragt til sprængning i luften over de to japanske byer Hiroshima og Nagasaki, som lagdes i ruiner, og der dræbtes totalt 114 000 mennesker.

Atombomberne havde hver en sprængkraft svarende til 20 000 tons konventionelt sprængstof.

I atombomben startes en ukontrolleret kædereaktion, og i løbet af brøkdele af et sekund er alle U 235 kerner i bombens sprængladning spaltet.



Her ses en principskitse for en atombombe (Hiroshimabomben). To uranstykker, der hver er under den kritiske mængde. Trykkes sammen ved sprængning af en konventionel sprængladning og kædereaktionen startes.

Uranstykkerne er indeholder uran, der er beriget til så U 235-indholdet er 7-8%. Uranen er blandet med grafit, der kan bremse de hurtige neutroner.

Den første neutron kommer fra en indbygget neutronkilde, som kan være en blanding af radium og beryllium.

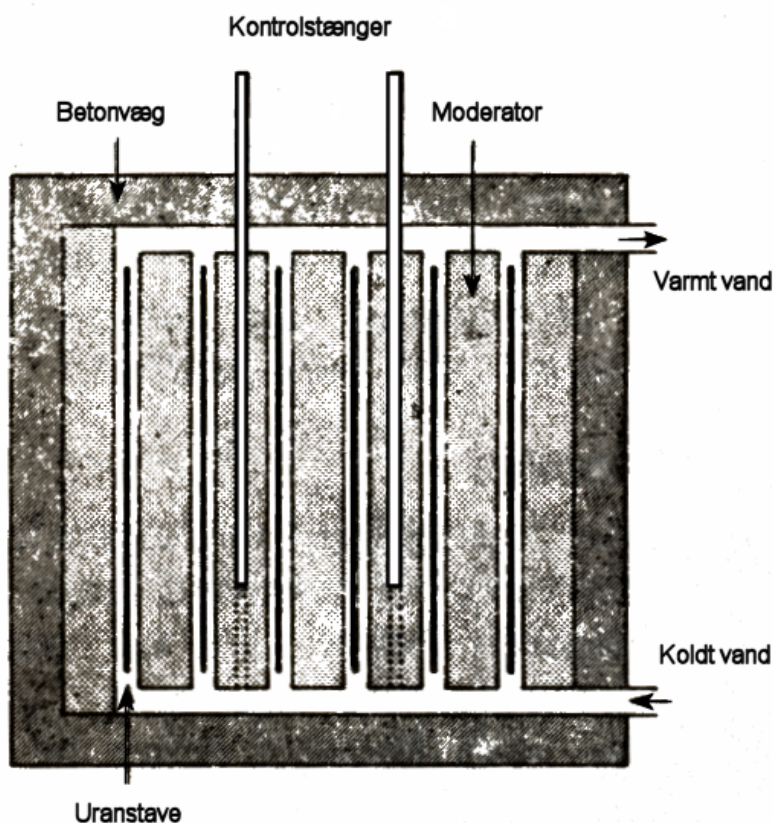
Når atombomben bringes til sprængning, dannes et kraftigt lysglimt, der efter følges af en kraftig varme- og trykbølge samt gammastråling. Spaltningsprodukterne er stærkt radioaktive, og den kraftige neutronstråling fra bomben vil frembringe en stor mængde radioaktive isotoper som bevirker en kraftig stråling i lang tid efter sprængningen. Disse radioaktive stoffer er koncentreret ved sprængningsstedet, men vil også spredes over et større område, da jord og støv suges højt op i luften ved eksplosionen.

Atomreaktoren (kontrolleret kædereaktion)

Den første kædereaktion i 1942 var en kontrolleret kædereaktion, men den fredelige udnyttelse af atomenergien kom i slutningen af 2. verdenskrig stil at stå i skyggen af våbenudviklingen. Denne udvikling fortsatte efter krigen, og da det også lykkedes for russerne at konstruere atombomber startede et våbenkapløb, hvor der konstrueredes kraftigere og kraftigere bomber.

Efter krigen skete der dog også en intensivering af forskningen i den fredelige udnyttelse af atomenergien. Lande og byer skulle genopbygges, og der skulle bruges elenergi. Der blev bygget atomkraftværker, hvor atomenergien frigøres i en atomreaktor.

Herunder ses en skitse af en atomreaktor.



Den berigede uran, som her indeholder 2-3% U 235, er indkapslet i metalstave. Moderatoren, der bremser de hurtige neutroner er her af grafit, men i vesten er det mest almindeligt med vand eller tungt vand.

For at kædereaktionen kan styres, så den ikke løber løbsk bruges nogle kontrolstænger. Kontrolstængerne indeholder f.eks. grundstofferne bor, cadmium eller hafnium, der alle har den egenskab, at de kan "opsuge" neutroner. Kontrolstængerne kan skubbes mere eller mindre ind i reaktoren, og derved kan man styre, spaltningprocessen. Når kontrolstængerne skubbes helt ind i reaktoren standses kædereaktionen helt, da alle frie neutroner indfanges.

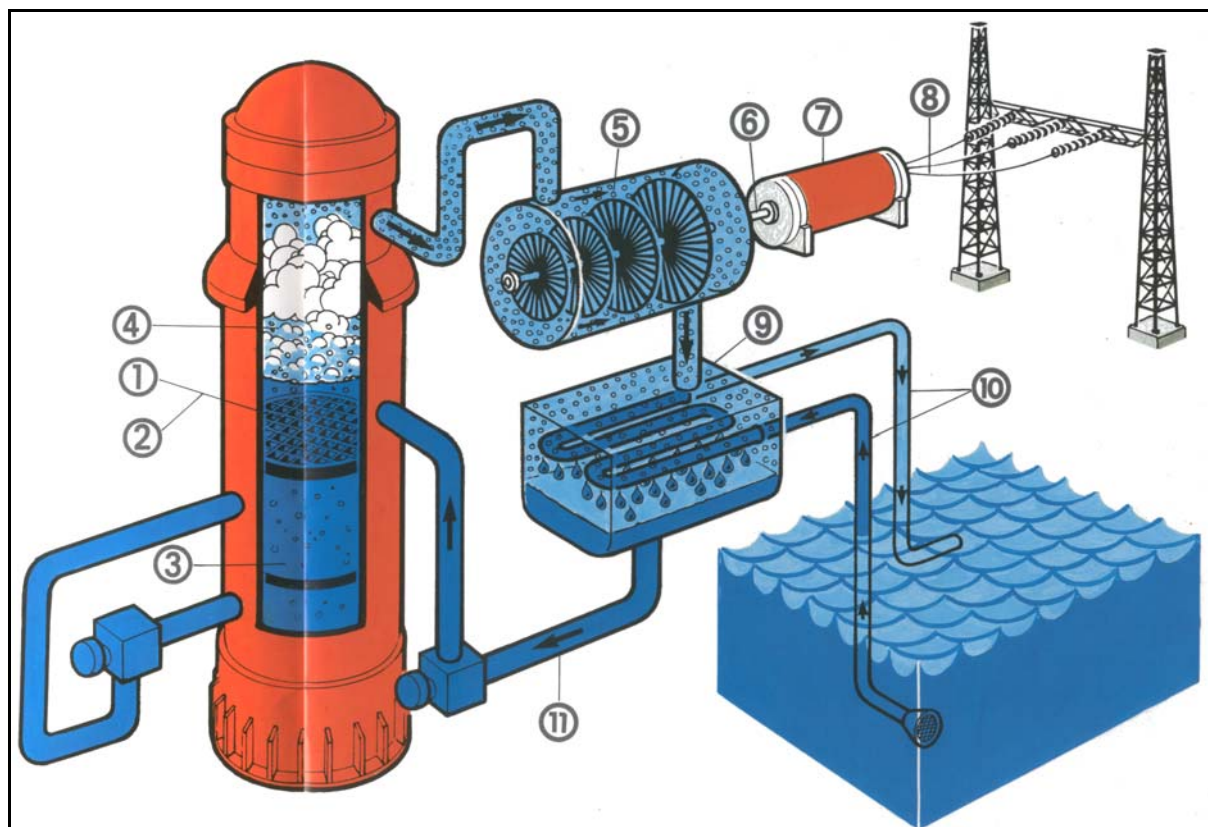
Den energi, der dannes ved spaltningen, opvarmer kølevandet, som kan bruges til fremstilling af damp, og denne damp kan drive en elgenerator.

Et atomkraftværk minder om et varmekraftværk, som vi har mange af i Danmark. Den eneste forskel er, at vandet opvarmes af energien fra atomreaktoren i stedet for ved afbrænding af kul, olie eller andre brændsler i en kedel.

Atomenergien er meget meget mere "koncentreret".

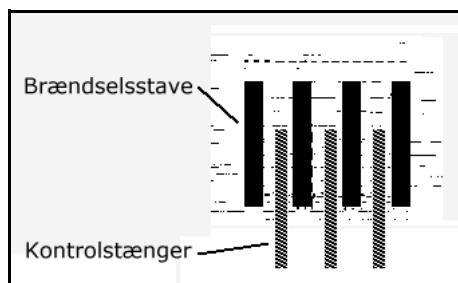
For at fremstille 1 kWh elenergi på et atomkraftværk, skal der spaltes af 0,0001 g U 235, mens det kræver afbrænding af 400 g kul i et kulfyret kraftværk.

Atomkraftværk



I Sverige er der tre atomkraftværker, Ringhals, Oskarshamn og Forsmark. Et fjerde atomkraftværk; Barsebäck, blev nedlagt i 2005.

På tegningen ses en principskitse for et atomkraftværk af en type, som de fleste svenske.



I reaktoren (3) er der brændselsstave, hvor kernespløtningen finder sted. Kølevandet bruges som moderator til at bremse de hurtige neutroner. Kontrolstavene, som kan bruges til at regulere kernespløtningens intensitet ved at opfange neutroner, indeholder grundstoffet Bor (ses på lille tegning). Kernespløtningen opvarmer det omgivende vand, og der dannes damp (4) ved højt tryk.

Dampen driver turbinen (5), som trækker generatoren (7), og der dannes vekselstrøm, som sendes ud på højspændingsnettet (8).

Når dampen forlader turbinen, fortættes den til vand i kondensatoren (9) og pumpes tilbage til reaktoren, hvor det igen opvarmes. Kondensatoren afkøles af havvand (10).

På grund af radioaktivitet, skal reaktortanken afskærmes bag ca. 3 m tykke betonmure, mens turbinen, der under drift indeholder radioaktivt vand, også skal afskærmes noget, men ikke fuldstændigt, da strålingen her ikke er så kraftig og halveringstiden er omkring 14 sekunder. Der skal tages særlige forholdsregler, når brændslet i reaktoren skal udskiftes, og de brugte stave skal fjernes og transporteres til deponering.

I Danmark har vi aldrig haft atomkraftværker. Der har været tre mindre atomreaktorer på Risø ved Roskilde. De har alle været anvendt til forskningsformål.