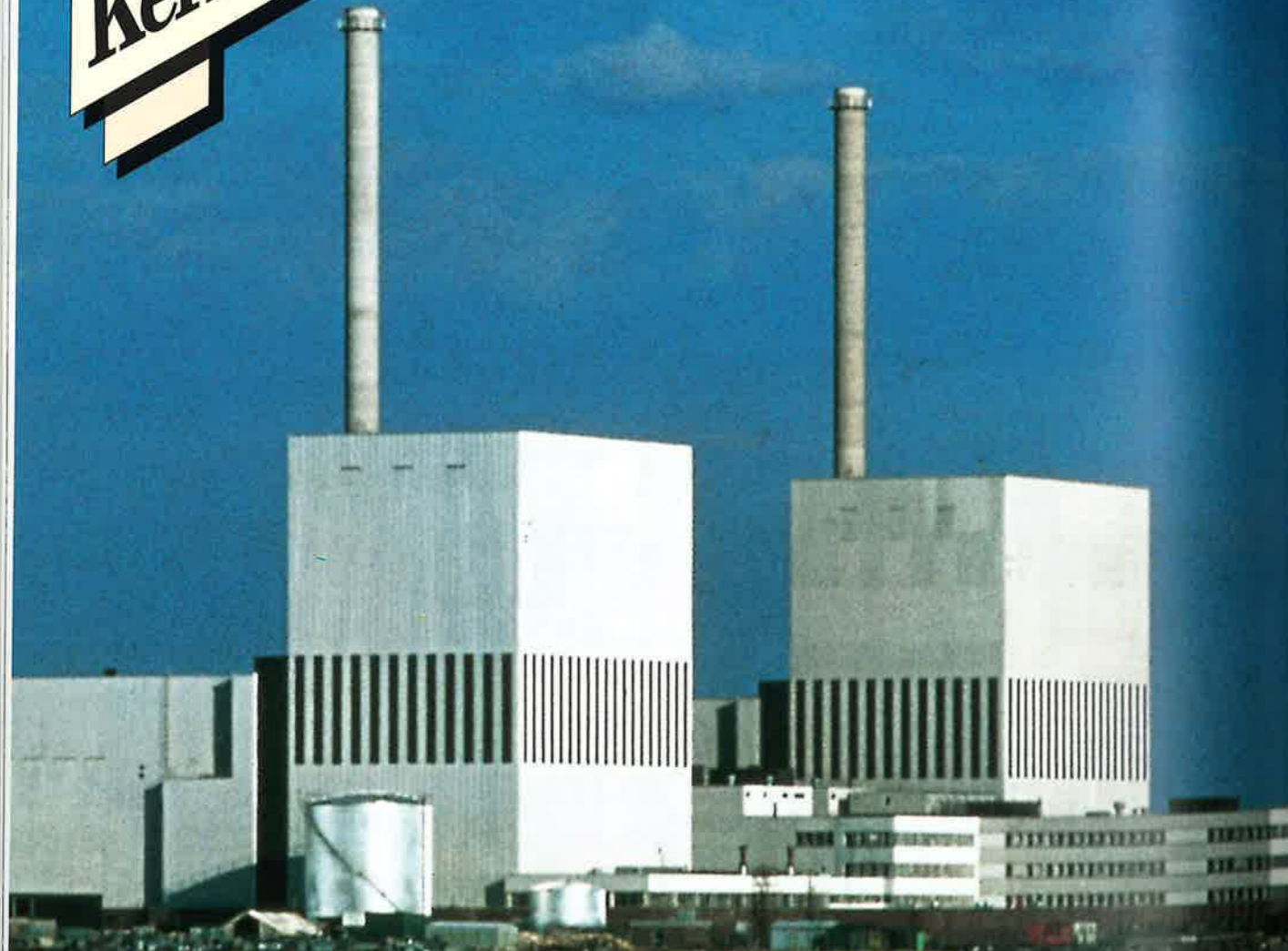


8 Kerneenergi



Ved at omdanne 1 kg uran-235 kan kernekraftværket Barsebäck i Sverige levere lige så meget el-energi, som der kan frembringes ved afbrænding af 2,5 millioner kg kul.

Frigørelse af oplagret energi

I dag er der ca. 450 kernereaktorer i drift verden over. I disse reaktorer udnytter man den energi, der er oplagret i atomkerner, til fremstilling af elektricitet.

Vi kan få et indtryk af, hvordan oplagret energi kan frigøres, ved at lave et simpelt forsøg med to kraftige magneter.

FÆLLESFORSØG

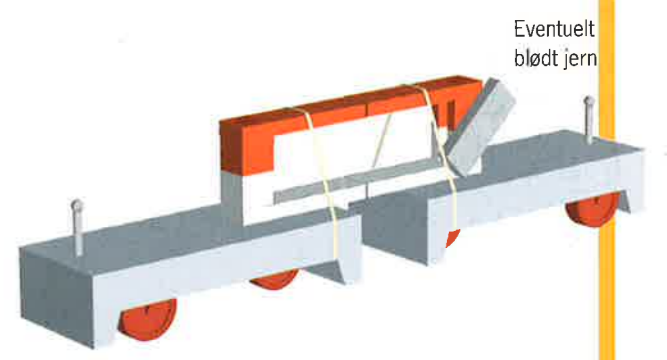
Energi oplagret i et magnetsystem

Vi anbringer to kraftige U-magneter på to ens letløbende vogne, som tegningen viser – således at magneterne frastøder hinanden. Skubber vi vognene tæt sammen, så magnetpolerne rører hinanden, kan vi alligevel få dem til at hænge sammen, fordi polerne er lavet af blødt jern.

Det skal være sådan, at magnetpolerne *kun lige netop kan hænge sammen*. (Om nødvendigt kan den ene magnet svækkes en smule ved at anbringe et stykke blødt jern på den – se lærervejledningen).

En lille rystelse, for eksempel fremkaldt ved at kaste en rulle tape mod en af vognene, er nok til at få dem til at fare fra hinanden.

At energien, der sætter vognene i bevægelse, ikke stammer fra taperullen, kan vises ved igen at kaste denne mod en af vognene. Nu bliver vognen stående.



Energien, som i forsøget skubbende vognene fra hinanden, stammer fra den energi, der var oplagret i de to magneter, som blev holdt sammen på trods af deres frastødning. Det var ligesom en spændt fjeder, der udløstes.

Med andre ord har vi ved at anvende en ganske lille mængde energi fået frigjort en langt større energimængde.

Energi oplagret i atomkerner

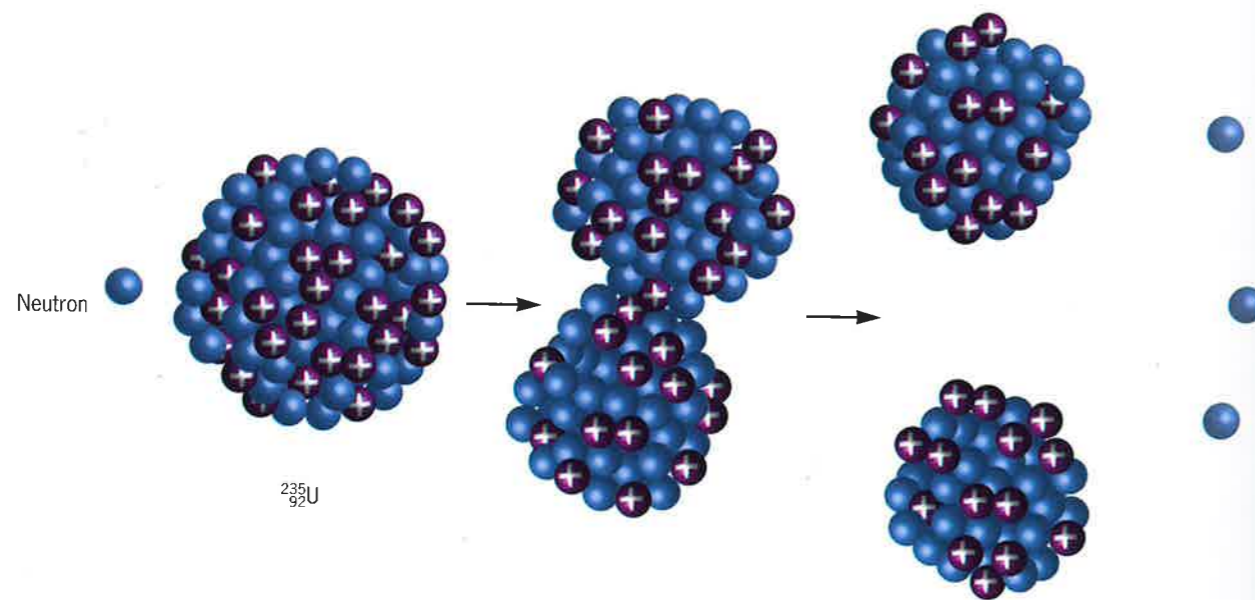
På tilsvarende måde som i de sammenholdte magnetvogne er der i atomkernerne oplagret energi, fordi protonerne frastøder hinanden. Når de alligevel holdes sammen, skyldes det, at der virker stærke tiltrækkende kræfter mellem nukleoner, som ligger klods op ad hinanden.

Nogle af de store atomkerner – for eksempel uranisotopen $^{235}_{92}\text{U}$ – er sådan opbygget, at de er lige på nippet til at gå i stykker.

Hvis man tilføjer en sådan kerne en lille smule energi – for eksempel ved at få en neutron til at ramme den – vil den ofte spaltes i to dele, mens der samtidig frigøres to eller tre nye neutroner.

De to nydannede kerner farer fra hinanden med stor fart på grund af den elektriske frastødning. Når de bremses ned ved sammenstød med omgivelsernes atomer og molekyler, får disse mere fart på, så omgivelsernes temperatur stiger lidt.

De frigjorte neutroner forlader også spaltningstedet med stor fart.



Uran-235 kernen rammes af en neutron, hvorved den spaltes i 2 nye kerner. Samtidig frigøres der 3 neutroner.

Laboratorieopgave 6

En model af en kernespløtning

Hvorfor der ofte vil frigøres neutroner, når en tung atomkerne spaltes i to lettere kerner, kan du få et indtryk af ved at udføre denne laboratorieopgave.

Du skal bygge en model af en atomkerne ved hjælp af runde magneter og jernskiver – og derefter "spalte" kernen.



En kædereaktion

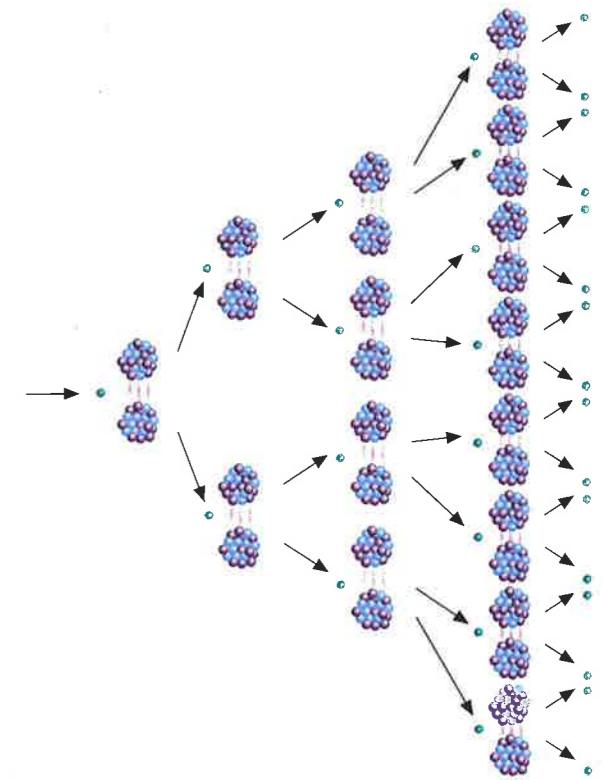
Hvis der kun frembringes én kernespløtning, er den frigjorte energimængde så lille, at der skal meget fintmærkede instrumenter til at registrere den.

Men hvis de frigjorte neutroner får lejlighed til at ramme andre uran-235 kerner og fremkalde nye spaltninger, som så igen fremkalder endnu flere spaltninger, er der mulighed for at starte en kædeproces, hvorved mange atomer bliver spaltet, således at der frigøres enorme energimængder.

Hvis en sådan kædeproces forløber hurtigt og uhindret, får vi en meget kraftig eksplosion – en atombombe.

Hvis man derimod styrer processen, så den foregår i et langsommere tempo, kan man udnytte energien på en fornuftig måde. Det gør man i en kernereaktor.

Hvordan en kædeproces kan foregå både ukontrolleret og kontrolleret, kan vi illustrere ved et simpelt forsøg med tændstikker.



Hvis 2 neutroner fra hver kernespløtning fremkalder to nye spaltninger, vil antallet af eksploderende kerner vokse lynhurtigt.

FÆLLESFORSØG

Ukontrolleret kædeproces

I alle hullerne i en rund metalplade som den viste (se lærervejledningen) anbringer vi tændstikker, så kun tændstikhovederne stikker op på den glatte side af pladen.

Pladen opspændes let på skrå, så alle i klassen kan se den. Med en jerntråd, der gøres glødende i en gasflamme, berører vi nu den midterste tændstik, så den bryder i brand – en brand, som med eksplosionsagtig fart breder sig til alle tændstikhovederne.



For at frembringe en kontrolleret kædeproces med tændstikker, skal vi anvende den anden side af metalpladen. Hullerne er her omgivet af metalvægge, som hindrer ilden i at brede sig til alle sider.

FÆLLESFORSØG

Kontrolleret kædeproces

Vi fylder tændstikker i metalpladens huller fra den modsatte side af før, så tændstikhovederne stikker op imellem metalvæggene.

Vi erstatter nogle af tændstikkerne med metalstifter som vist på billedet.

Når vi nu antænder den midterste tændstik, vil kædeprocessen forløbe stille og roligt, idet kun 1-2 tændstikhoveder brænder ad gangen.

Vi gentager atter forsøget, idet vi nu anbringer metalstifterne som vist på dette billede. Vi ser, at kædeprocessen nu forløber lidt hurtigere, idet der vil være flere tændstikker, der brænder samtidig.

Til sidst kan vi eventuelt undersøge, hvad der ske, hvis vi slet ikke erstatter nogle af tændstikkerne med metalstifter.

Vi ser, at kædeprocessen med tændstikker kan styres således, at processen forløber langsommere eller hurtigere.

På tilsvarende måde kan man styre den kædeproces, der foregår i en kernereaktor, så energiudviklingen foregår i et passende tempo.



En kædeproces af kernespløtninger

Det lyder meget enkelt, at en kædeproces af kernespløtninger kan holde sig selv i gang – men i praksis er det ikke så ligetil at få det til at lykkes.

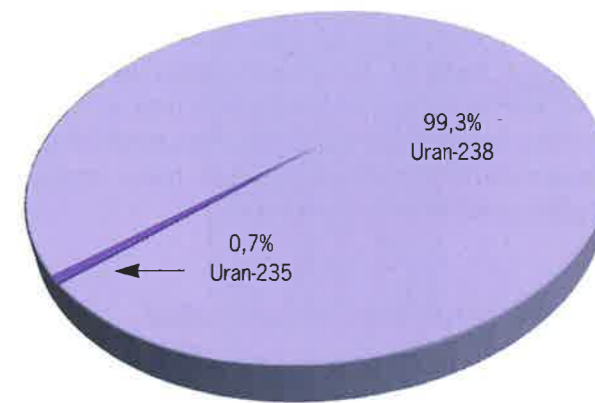
En uran-235 kerne kan spaltes. Men tager man en portion uran, som den forekommer i naturen, vil kun 0,7% af atomerne være uran-235. Resten består hovedsageligt af isotopen uran-238.

De neutroner, der bliver frigjort ved en spaltning, har derfor langt større chancer for at ramme en uran-238 kerne end en uran-235 kerne. Og en uran-238 kerne spaltes ikke – men den kan let indfange en hurtigt neutron og blive til uran-239.

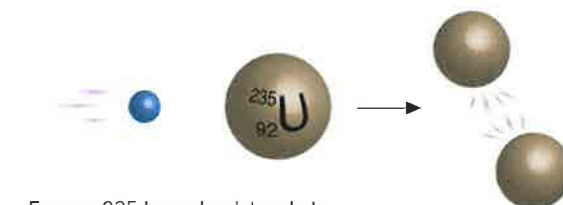
Et andet problem er, at de frigjorte neutroner er alt for hurtige til at kunne fastholdes af uran-235 kernerne. De må først bremses ned. Derved optages de lettere i uran-235 kernerne, mens de har sværere ved at optages i uran-238 kernerne.

Man må derfor blande uran med et stof, som kan nedbremse neutronerne. Om det skal være et stof med tunge eller med lette atomkerner, kan et simpelt forsøg fortælle os.

Naturligt forekommende uran



En uran-238 kerne har let ved at optage hurtige neutroner.



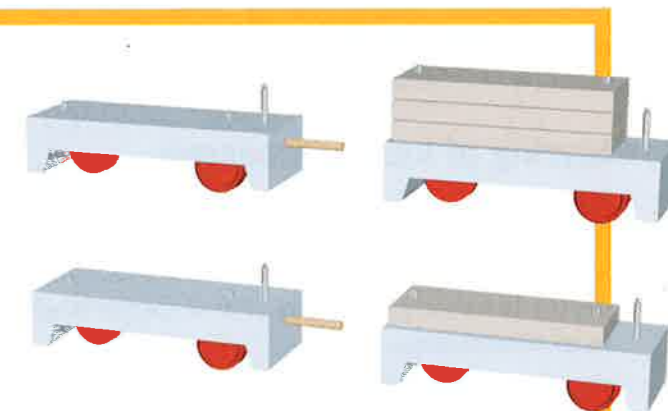
En uran-235 kerne har let ved at spaltes af langsomme neutroner.

FÆLLESFORSØG

Nedbremsning ved sammenstød

Vi skubber en rulleskøjte vogn på 2 kg med en indbygget kraftig fjeder mod en vogn på 8 kg. Vi ser, at 2 kg vognen bliver slået tilbage med næsten samme fart.

Vi gentager forsøget flere gange, idet vi efterhånden tager plader af den tunge vogn. Vi ser, hvordan den bedre og bedre bliver i stand til at nedbremse 2 kg vognen, idet den overtager mere og mere af dennes fart.



Hvis de to vogne er lige tunge, ser vi, at den første vogn bremses så meget, at den står helt stille.

Forsøget med rulleskøjtevognen tyder på, at neutroner bedst nedbremses ved sammenstød med atomkerner, som ikke er for tunge i forhold til neutronerne selv. Et stof, der er egnet til nedbremsning af neutroner, kalder man et *moderatorstof*. Som moderatorstof skal man altså helst bruge stoffer med lette atomkerner.

Tungt vand som moderator

Det har vist sig, at tungt vand er særdeles velegnet som moderator. Her er det især de tunge hydrogenatomer (der jo kun er dobbelt så tunge som neutronerne), der bremser neutronerne ned.

Almindeligt vand ville være endnu bedre, da hydrogenatomerne her er lettere. Desværre er der dog en risiko for, at hydrogenatomerne i stedet for at nedbremse neutronerne indfanger dem og herved omdannes til tungt hydrogen ^2_1H .

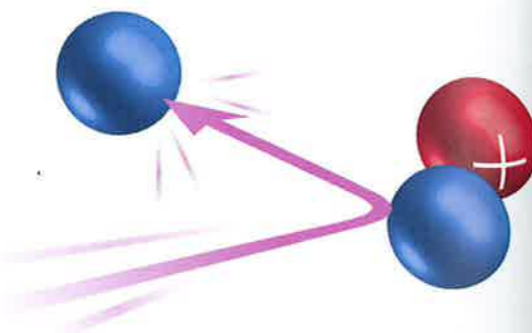
I mange kernereaktorer bruger man netop tungt vand som moderator, idet man nedsænker stave af uran i en stærk beholder med tungt vand.

Det tunge vand kan da bremse neutronerne så meget, at de let indfanges af uran-235 atomerne, mens ikke ret mange af neutronerne indfanges af uran-238 atomerne.

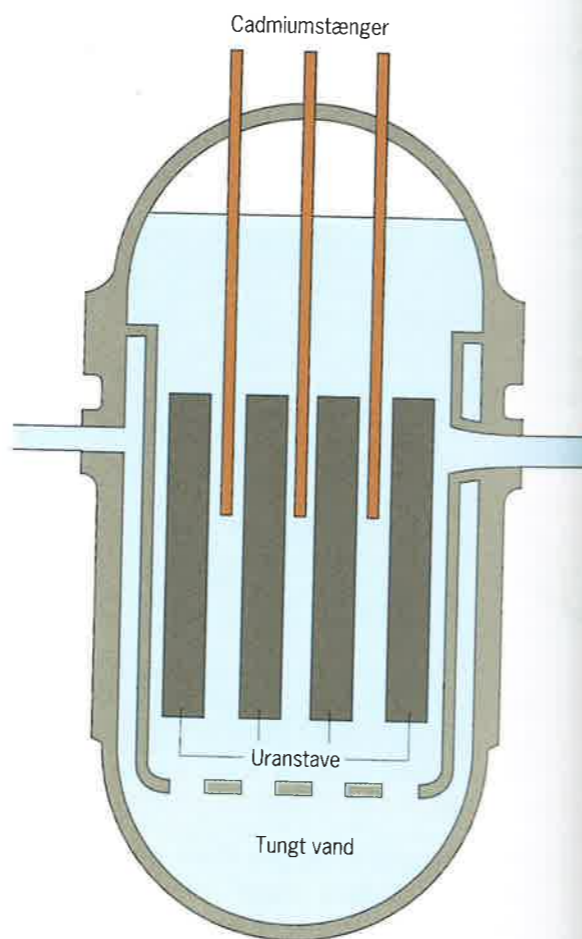
Styring af kædeprocessen

Hvis mange af de frigjorte neutroner får lov til at fremkalde nye spaltninger, vil kædeprocessen hurtigt tage fart. Man kan derfor bremse processen ved at fjerne nogle af neutronerne.

Her har metallet cadmium vist sig at være velegnet, idet cadmium let indfanger neutroner. Man nedsænker simpelthen stænger af cadmium i reaktoren. Derved indfanges en del af neutronerne, og kædeprocessen går langsommere eller standser helt.



Kernen i et tungt hydrogenatom er kun dobbelt så tung som en neutron – og er derfor særdeles velegnet til at nedbremse en neutron ved et sammenstød.



Princippet i en tungtvandsreaktor. Uranstavene er nedsænket i tungt vand, som skal nedbremse neutronernes fart. Cadmiumstængerne kan hejses højere op eller sænkes længere ned, alt efter om kædeprocessen skal gå hurtigere eller langsommere.

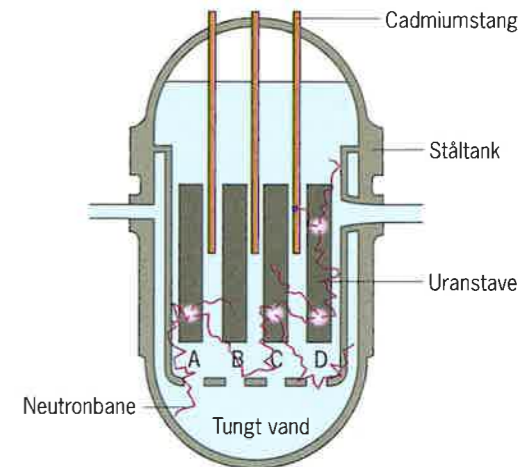
Tungtvandsreaktoren

På denne tegning kan vi følge en del af kædereaktionen i en tungtvandsreaktor.

Her kommer en neutron nedefra og fremkalder en spaltning af en uran-235 kerne i uranstav A, hvorved der frigøres 2 neutroner. Den ene neutron når ikke at blive bremset tilstrækkeligt ned, inden den rammer uranstav B, hvor den indfanges af et uran-238 atom. Den anden neutrons fart nedsættes tilstrækkeligt, inden den når uranstav C. Den fremkalder derfor en spaltning af et uran-235 atom under udsendelse af to nye neutroner. Prøv selv på tegningen at følge, hvad der videre sker.

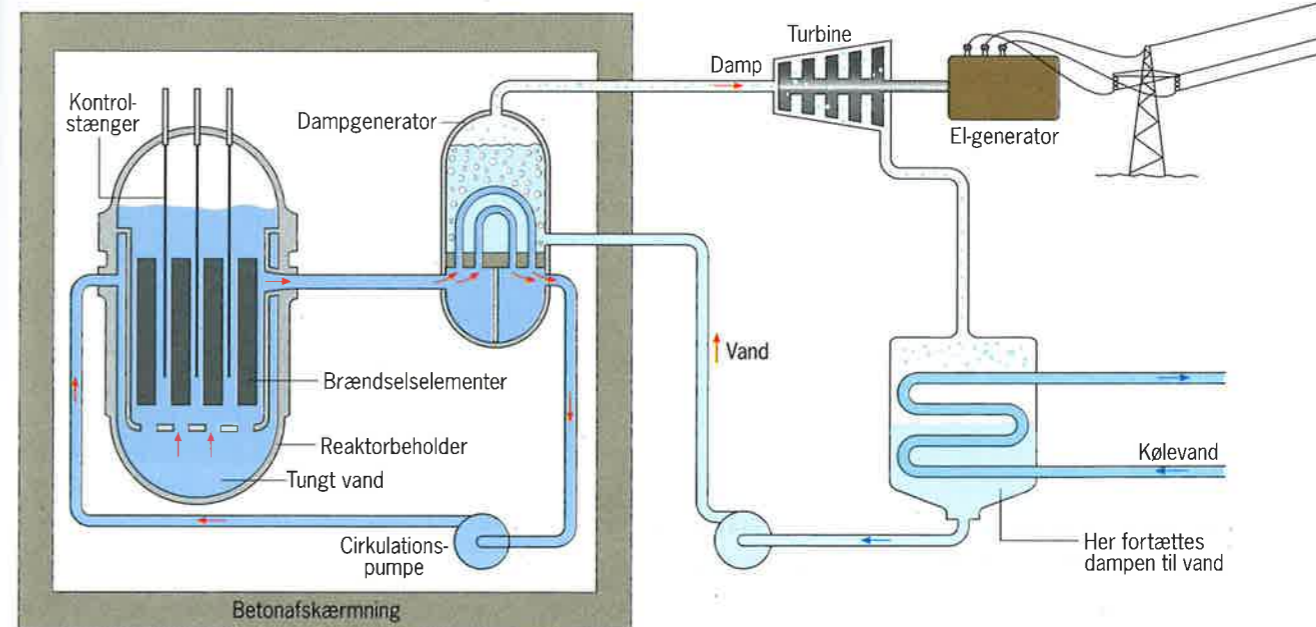
Hvis hver spaltning fremkalder mere end én ny spaltning, vil kædeprocessen hurtigt accelerere, og temperaturen vil stige for meget i reaktortanken. Ved at hejse cadmiimpladerne lidt op eller ned kan man regulere neutronmængden i reaktoren, så kædeprocessen foregår i et passende tempo.

Da reaktortanken er en lukket stærk beholder, vil vandet i den ikke fordampe, selv om temperaturen på grund af kernesplittings stiger til over 300°C.



På nedenstående tegning kan du se, hvordan man pumper det opvarmede tunge vand igennem et rørsystem i en dampkedel. Herved opvarmes vandet i dampkedlen, så det på sædvanlig måde kan levere damp til en dampturbine. Denne kan så trække en el-generator, som leverer el-energi til forbrugerne.

De atomkerner, der dannes ved spaltninger i reaktoren, er almindeligvis stærkt radioaktive, så under brugen opstår der en farlig stråling i reaktoren. Det er derfor uhyre vigtigt, at både reaktortanken og rørsystemet med det tunge vand er godt afskærmet.





Her kan man se direkte ned i en kernereaktor. Låget er fjernet, og en kran er ved at udskifte en af uranstavene. Læg mærke til vandets flotte blå farve, som skyldes strålingen i reaktoren.

Andre reaktortyper

Tungt vand er dyrt at fremstille og forøger en reaktors pris betydeligt.

Almindeligt vand kan imidlertid også bruges, hvis man forøger uranets indhold af uran-235 til 2-3% (såkaldt „beriget uran“). Der er da tilstrækkelig mange uran-235 atomer til stede til, at det ikke gør så meget, at en del af neutronerne indfanges af hydrogenatomerne i vandet.

Det er imidlertid kostbart at berige uran. Derfor er en letvandsreaktor omtrent lige så dyr at bygge og anvende som en tungtvandsreaktor. Begge typer reaktorer anvendes da også i dag. Men tungtvandsreaktoren er den almindeligste.

Endelig bruger man, især i Østeuropa, grafit som moderator. Grafit er rent kulstof. Det kan bruges til nedbremsning af neutroner, da et kulstofatom kun er ca. 12 gange så tungt som en neutron. Af samme grund er kulstof dog ikke nær så effektiv en moderator som tungt vand. Og der er også den ulempe ved at bruge grafit, at det er brændbart.

Udnyttelse af en kernereaktors frie neutroner

I en kernereaktor vil der hele tiden være en overskudsproduktion af neutroner, som skal fjernes, hvis kædereaktionen ikke skal løbe løbsk. Som vi har set, gør man det ved hjælp af cadmiumstænger, som sænkes mere eller mindre ned i reaktoren.

Man kan imidlertid også udnytte disse overskudsneutroner til at bombardere forskellige stoffer, som man anbringer i kanaler, der er ført igennem reaktoren. Det har man i mange år gjort på den danske forsøgsstation Risø, hvor man har bygget en lille reaktor, som ikke udvikler ret meget energi, men som er velegnet til neutronbestråling.



Billedet viser toppen af atomreaktoren DR3 på Risø. Reaktoren anvendes hovedsageligt til bestråling af forskellige stoffer. For eksempel fremstiller man her ca. en femtedel af al det neutronbestrålede silicium, som i hele verden anvendes til computerchips, m.m. Siliciumstængerne føres ind i reaktoren ved hjælp af det apparatur, som ses midt i billedet.



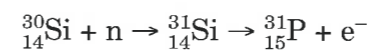
På fabrikken Topsil i Frederiksværk fremstiller man de stænger af rent silicium, som på forsøgsstation Risø skal udsættes for neutronbestråling for at kunne bruges til elektroniske komponenter. Stængerne er omkring 10 cm tykke og op til 60 cm lange.

Fremstilling af computermaterialer og andre stoffer på Risø

Risø's kernereaktor bruges først og fremmest til at producere stoffer med specielle egenskaber, som man har brug for i dagliglivet. For eksempel foretager man her en bestråling af silicium. Silicium er et af de grundstoffer, der bruges til fremstilling af blandt andet dioder, transistorer og processorer i computere og andet elektronisk udstyr.

For at silicium kan bruges til elektronik, må man først sørge for, at det bliver podet med en lille smule af nogle andre grundstofatomer, for eksempel fosforatomer. Det er vigtigt, at disse atomer bliver jævnt fordelt over det hele. Det opnår man ved at anbringe siliciumstænger et passende stykke tid i reaktoren.

Under neutronbombardementet i reaktoren bliver nogle af siliciumatomerne omdannet til fosforatomer. Det sker ved følgende proces, hvor n er betegnelsen for en neutron, og e^- er betegnelsen for en betapartikel:



Læg mærke til, at den dannede siliciumisotop ${}_{14}^{31}\text{Si}$ er radioaktiv. Den udsender straks en betapartikel, hvorved en neutron omdannes til en proton. Derved omdannes siliciumatomet til et fosforatom.

Ved bestråling af andre stoffer med neutroner, dannes der ofte radioaktive stoffer. Det er netop på denne måde de 3 radioaktive kilder, vi har brugt til vores forsøg, er blevet lavet.

På tilsvarende måde er mange grundstoffer med atomnumre over 92 fremstillet. For eksempel indeholder den alfakilde, vi anvendte ved vore forsøg, den kunstigt fremstillede americium-isotop ${}_{95}^{241}\text{Am}$, som har en halveringstid på 470 år.

Undervisningsprogram 5

Kerneenergi

Ved at løse teoriopgaverne i undervisningsprogram 5 i arbejdshæftet får du slået det fast, som du i kapitel 8 har lært om udnyttelse af kerneenergi.



Tip tretten 4

Du kan få et indtryk af, hvor meget du fik lært i kapitel 8 ved at udfylde tipskupon nr. 4 i arbejdshæftet. De tilhørende opgaver kan din lærer give dig.