

**Tommy Gjõe
Lis Jespersen
Ole Keller
Jan Møller
Jens Vaaben**

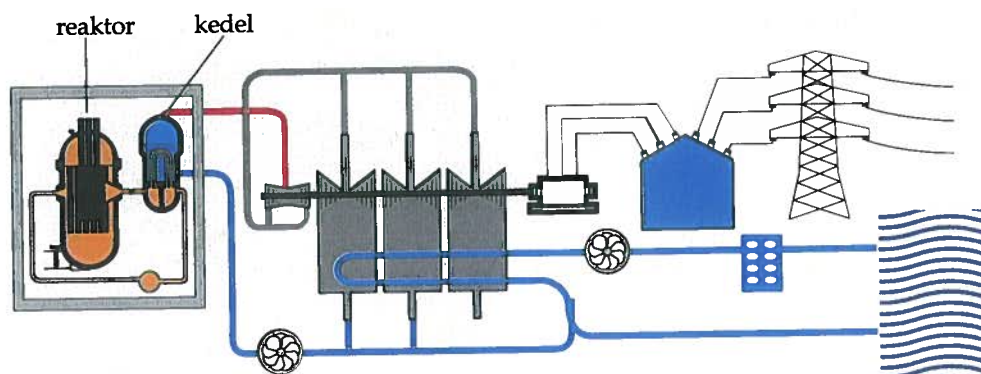
Systeme

Kernekraftværker

En stor del af verdens samlede produktion af elektrisk energi foregår med brug af kernekraftværker.

Mens Danmark har besluttet ikke at anvende kernekraftværker, får f.eks. vores naboland Sverige halvdelen af deres elektriske energi på denne måde. Vandkraftværker bidrager med den anden halvdel.

I princippet er opbygningen af et kernekraftværk den samme som i et kul- eller oliefyret kraftværk. Der produceres nemlig damp i en kedel, og denne damp driver værkets turbiner. Dampen afkøles og kondenseres i en kondensator ved hjælp af kølevand. Forskellen på de to kraftværkstyper er det anvendte brændsel. Frigjort energi ved afbrænding erstattes i kernekraftværket af frigjort energi ved kernereaktioner.

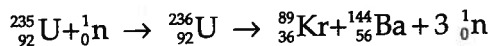


I et kernekraftværk sker produktionen af damp ved hjælp af en reaktor.

Fission

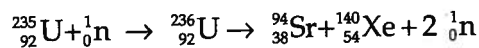
Det har vist sig, at kerner af visse tunge grundstoffer kan spaltes i mindre dele, hvorved der frigøres energi. En sådan kernespaltning kaldes *fission*. Det er først og fremmest uranisotopen U-235, der er velegnet til fission i en kernereaktor.

Hvis en U-235-kerne rammes af en neutron, er der stor sandsynlighed for, at denne neutron optages i kernen, og at der dannes en såkaldt *compoundkerne*, som viser sig at være meget ustabil. Den lever kun i meget kort tid, hvorefter den af sig selv spaltes til omtrent to halvdele på f.eks. følgende måde:



Urankernen er her spaltet til en kryptonkerne og en bariumkerne samtidig med, at der er frigjort 3 neutroner.

Spaltningen af uran-235 kernen kan imidlertid foregå på flere måder, og en anden mulig reaktion er:



Ved begge reaktioner er der dannet to nye kerner, de såkaldte *fissionsprodukter*, og et antal neutroner.

Energiudviklingen skyldes, at den samlede masse af de to fissionsprodukter og de dannede neutroner er mindre end massen af urankernen og den ene neutron. Der er altså forsvundet masse under reaktionen og det betyder, at der frigøres energi. Vi ved, at den frigjorte energi kan beregnes af Einsteins ligning:

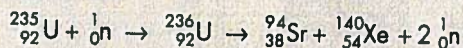
$$\Delta E = -\Delta m \cdot c^2.$$

CD803
FILM

Minustegnet skyldes, at massen aftager, når der frigøres energi. Beregninger viser, at den energi, der frigøres ved spaltningen, altid er omkring 200 MeV.

11 e

Vi kan beregne den frigjorte energi ved reaktionen



Masserne kan findes i en databog:

U-235:	234,9934 u
Sr-34:	93,8945 u
Xe-140:	139,8920 u
neutron	1,00867 u

Vi beregner massen før:

U		234,9934 u
n	+	<u>1,0087 u</u>
masse før =		<u>236,0021 u</u>

og massen efter:

Sr		93,8945 u
Xe	+	139,8920 u
2·n	+	<u>2,0173 u</u>
masse efter =		<u>235,8038 u</u>

massetab:

$$236,0021 \text{ u} - 235,8038 \text{ u} = 0,1983 \text{ u} \\ = 3,291 \cdot 10^{-28} \text{ kg.}$$

Frigjort energi:

$$E = 3,291 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \cdot (3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 \\ = 2,96 \cdot 10^{-11} \text{ J.}$$

Omregnet til elektronvolt

$$(1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}) \text{ giver det: } \underline{185 \text{ MeV.}}$$

Beregn massetabet og den frigjorte energi ved fissionsprocessen

Ø32



Følgende masser er givet

U-235:	234,9934 u
Kr-89	88,8978 u
Ba-144	143,8921 u
neutron	1,00867 u

Beregn den samlede frigjorte energi, hvis 1 kg uran-235 spaltes 100% ved reaktionen i eksempel 11.

Ø33

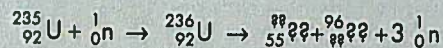
Naturligt forekommende uran indeholder kun 0,7% uran-235. Det resterende er uran-238, som ikke spaltes.

Ø34

Beregn hvor meget naturligt forekommende uran der skal til for at få samme frigjorte energi som fra 1 kg rent uran-235?

Ingeniør Jönsson er ved at skrive en ansøgning til miljøministeriet. Desværre har han glemt den reaktion, som skal omtales i ansøgningen.

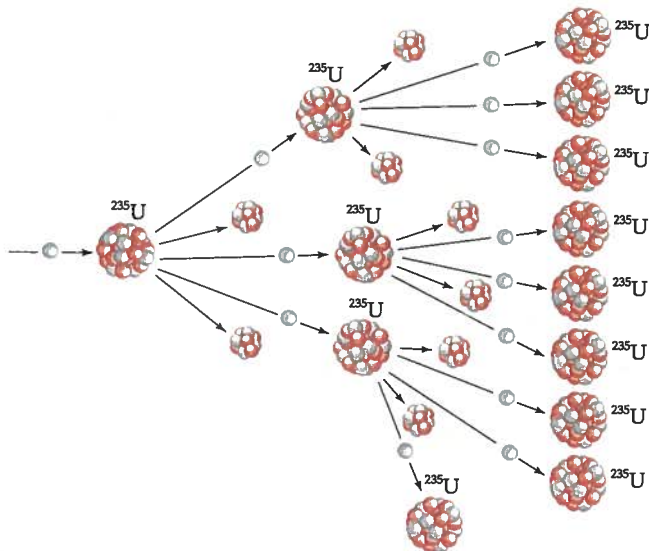
Ø35



Hjælp ham!

Kædereaktionen

Ved hver spaltning af en ^{235}U -kerne frigives 2-3 neutroner. Hvis mængden af uran er tilstrækkelig stor kan hver af de frigivne neutroner blive indfanget i andre ^{235}U -kerner og derved skabe nye kernespaltninger. Når processerne først er sat i gang, kan der på denne måde dannes en *kædereaktion* af fissionsprocesser. Resultatet vil blive, at antallet af spaltninger vokser eksplosivt.



Forudsætningen for en kædereaktion er, at uranmængden er så stor, at kun en lille brøkdel af neutroner kan undslippe uden at blive indfanget i en ^{235}U -kerne. Massen af den mindste mængde uran, hvori en kædereaktion vil kunne finde sted, kaldes den *kritiske masse*. For uran-235 er den omkring 5 kg.

I en reaktor er det vigtigt, at denne kædereaktion kontrolleres fuldstændigt, så antallet af spaltninger pr. tid holdes konstant. Sker det ikke, vil kædereaktionen løbe løbsk, og der vil på kort tid udvikles så meget energi, at der er fare for eksplosion.

Reaktoren

I kernekraftværkets reaktor skal en kædereaktion af kernespaltninger holdes ved lige og begrænses, så der opnås en konstant energiproduktion. Der findes forskellige reaktortyper, hvori dette kan opnås. Som brændsel anvendes ofte stænger af såkaldt *beriget uran*, dvs. stænger hvor mængden af uran-235 er forøget til ca. 3% i forhold til naturligt forekommende uran, som kun indeholder ca. 0,75% uran-235. Resten er uran-238.

Størsteparten af den energi, der frigives ved fissionsprocesserne, findes som kinetisk energi af de neutroner, der udsendes med stor fart. Derfor er uranstængerne omgivet af vand. Når neutronerne støder sammen med vandmolekylerne,

afgiver
det før
ønsker
betinge
mer ne
grund
en såka

kontr

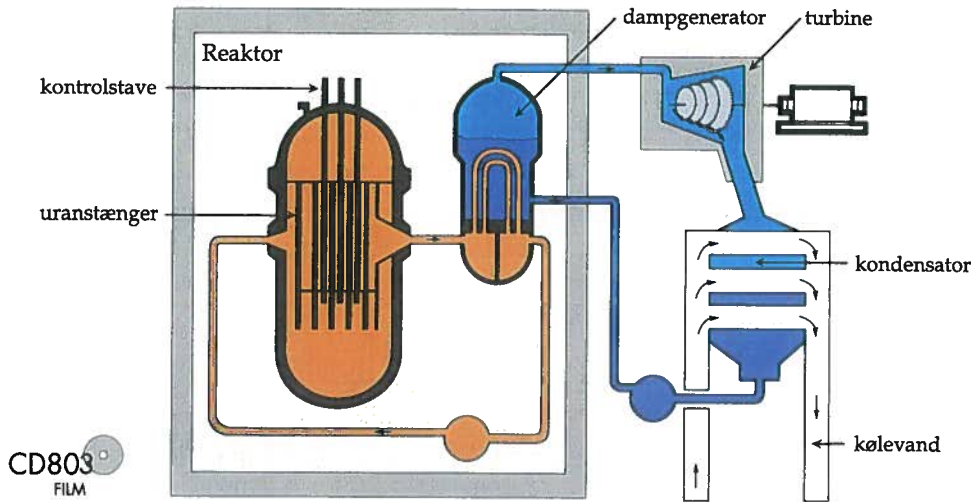
urane

CD805
FILM

Til at k
langsor
cadmiu
neutron
gerne,
antallet

Kernekraft
værk Gur
remminge
mellem A
burg og U
Tyskland.
to køletår
køler køle
det, inden
ledes ud i
nærligger
flod, Dom

afgiver de noget af deres kinetiske energi til disse. Herved opnår vi to ting. For det første omsættes energien til indre energi i vandet, og det er jo netop, hvad vi ønsker for at få en dampproduktion til turbinerne. For det andet skabes de rette betingelser for fortsatte spaltninger. Det er nemlig sådan, at kun meget langsomme neutroner kan blive indfanget i uran-235 og skabe fission, så også af denne grund skal neutronerne bremses ned i fart. Vi siger, at vandet også fungerer som en såkaldt *moderator*.



Til at kontrollere kædereaktionen, så den hverken løber for hurtigt eller for langsomt, anvendes såkaldte kontrolstave. De kan f.eks. være af borcarbid eller cadmium. Disse anbringes mellem uranstængerne og er i stand til at absorbere neutroner. Når man skubber kontrolstavene længere ind mellem uranstængerne, øges neutronabsorptionen, og kædereaktionen svækkes. Omvendt vil antallet af kædereaktioner forøges, når stavene trækkes lidt ud.

Kernekraftværk Gundremmingen, mellem Augsburg og Ulm i Tyskland. De to køletårne afkøler kølevandet, inden det ledes ud i den nærliggende flod, Donau.

