

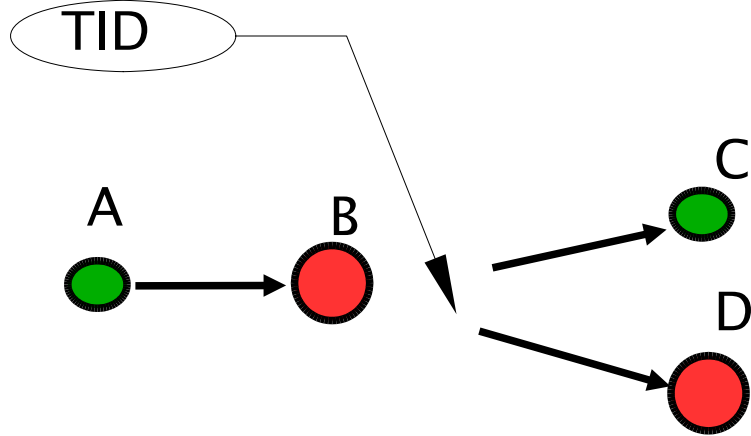
Föreläsning 5

Reaktionslära, fission, fusion

- Reaktionslära MP 12.1
- Tvärsnitt MP 12.1
- Fission MP 12.2
- Fusion MP 12.2

Se även: <http://library.thinkquest.org/17940/texts/star/star.html>

Reaktionslära



- **Två kroppsreaktion**



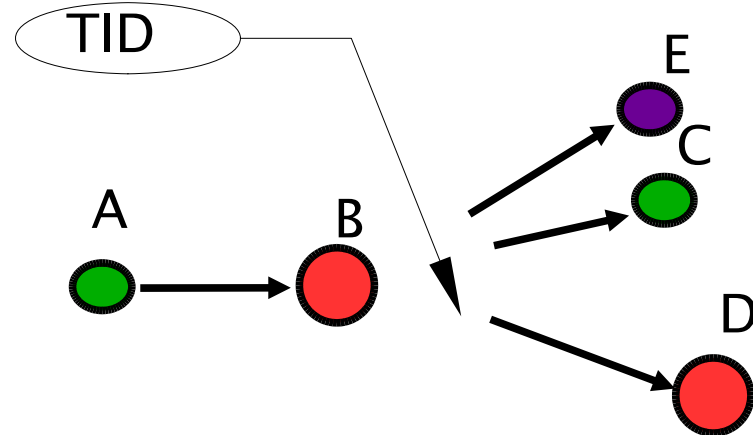
Om $A=C$ och $B=D$, Elastisk reaktion (spridning)



Om $A \neq C$ och $B \neq D$, Inelastisk reaktion (spridning)



Fusion



- **Tre kroppsreaktion** är alltid inelastisk.



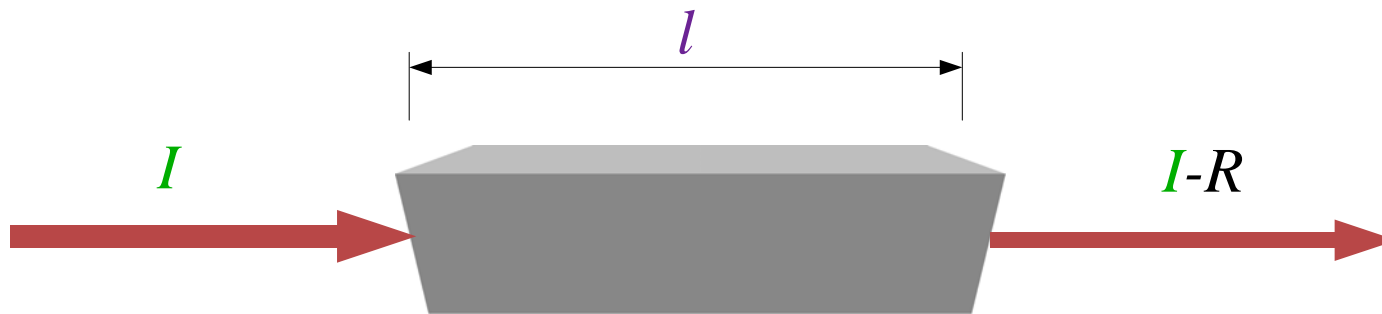
- **Fler kroppsreaktion** (inelastisk)



Fission

Tvärsnitt (Cross section)

- Tvärsnittet σ mäts i **barn** : 1 barn = 1 b = 10^{-24} cm² och är den tänkta yta en målkärna (targetkärna) har för en inkommande projektil. Sannolikheten för träff, dvs för att en reaktion skall ske kan beräknas genom att anta I projektiler infaller mot en "låda" 1 cm² i tvärsnitt och l cm lång innehållande N atomkärnor (se räkneövning 12).



- Antalet skott (laserfotoner, elektroner, protoner....) betecknas I och antalet träffar R . Uppenbarligen har $I-R$ passerat utan att reagera. Sannolikheten att ett skott träffar är $N\sigma$.

- Antalet träffar R med I skott

$$R = I N \sigma$$

$$\sigma = \frac{R}{I N}$$

Ex: koltarget (grafit)

$$l = 2 \text{ cm} , \rho = 2.26 \text{ g/cm}^3$$

Avogadros konstant

$$N = \frac{\rho V N_a}{M} = \frac{2.26 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{12} = 2.26 \cdot 10^{23}$$

Molvikt

Antag protoner är projektiler. Kärnorna ligger glest. Om kärnor antas vara solida klot kan σ beräknas.

$$\sigma = \pi(R_p + R_c) = \pi(10^{-13} + 2.5 \cdot 10^{-13}) = 40 \cdot 10^{-26} \text{ cm}^2$$

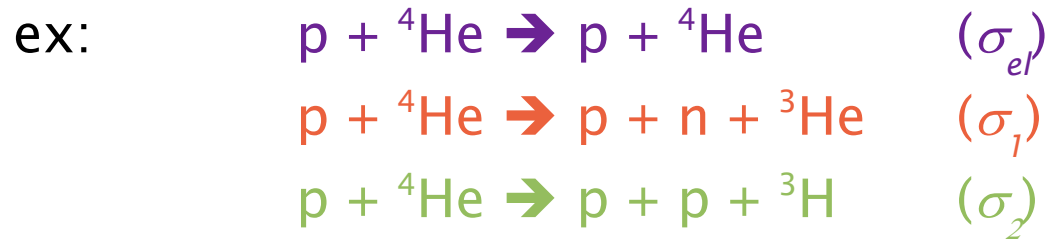
$$\sigma = 0.4b \quad (400 \text{ millibarn})$$

$$R = I N \sigma = I \cdot 2.26 \cdot 10^{23} \cdot 40 \cdot 10^{-26}$$

$$I = 1 \cdot R = 0.09$$

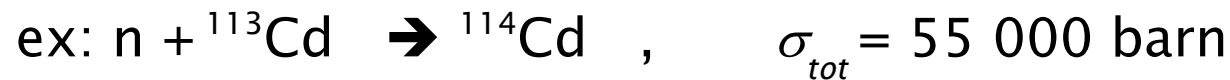
En proton har 9% chans att reagera.

- Totala tvärsnittet är summan av olika processer som kan hända



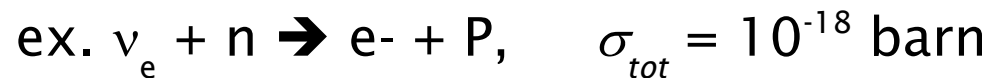
$$\sigma_{tot} = \sigma_{el} + \sigma_1 + \sigma_2$$

Tvärsnittet kan vara stora:



10^4 ggr cadmiums geometriska tvärsnitt. Cd används i kontrollstavar i kärnreaktorer för att suga upp neutroner.

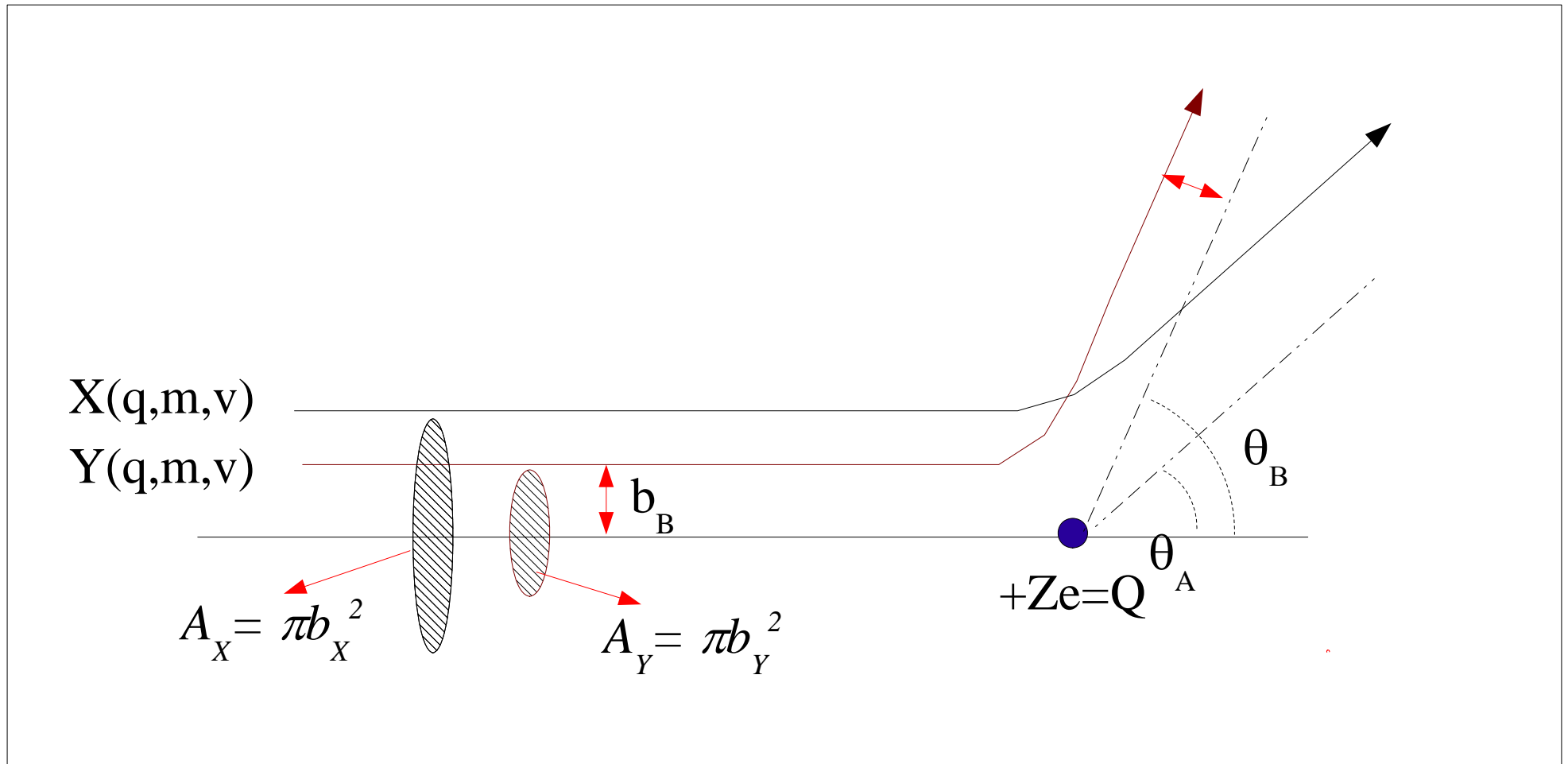
Tvärsnitt kan vara små:



för solneutriner med energin 1 MeV. Neutriner har så liten sannolikhet att reagera att de flesta går rakt genom jorden utan att reagera.

Spridningstvårsnitt (Rutherford Spridning)

I ett spridnings experiment skjuts inte projektilerna en och en, och definitivt inte med någon precision i förhållande till enskilda kärnor. Projektilerna skickas i en stråle, de är i stort sett monoenergetiska och har parallella banor.



$$(\pi b^2 = \text{kärnans tvärsnitt, } \sigma)$$

(1)

Tvärsnittet ges av infallsparametern (impact parameter) b , vilket är träffytans storlek

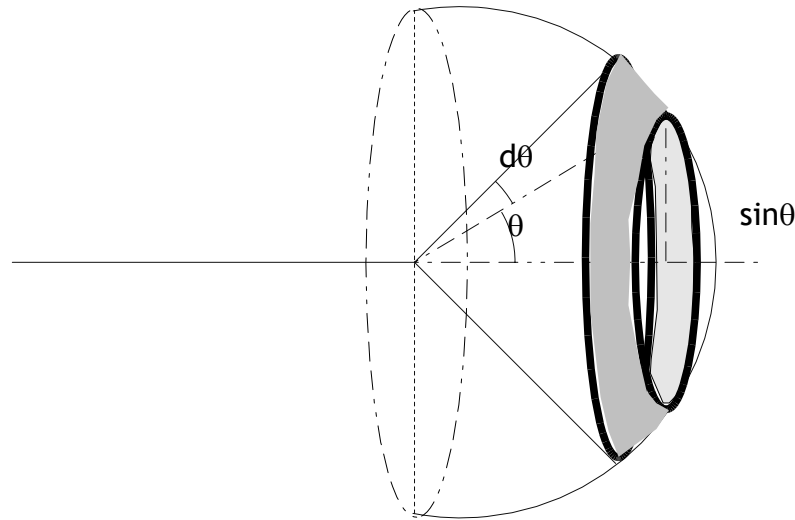
Stålmålet består av ett stort antal kärnor och för att bestämma tvärsnittet för en kärna måste vi beakta detta.

Projektilen kommer att avböjas i målkärnans fält så att bana följer en hyperbel. Om ingen energi överförs till målkärnan (rekylén försummas) så kommer den kinetiska energin och rörelsemängden hos projektilen att bevaras men riktningen att förändras. Rörelsemängdsmomentet bevaras och därför kommer spridningsvinkeln att bero enbart av infallsparametern, som

$$b = \frac{kqQ}{mv^2} \cot \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

, där k är Coulombs konstant

Absolut vanligast är att man anger tvärsnitt för rymdvinkeln $d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$.



Om man differentierar (1) och (2) får man det differentiella tvärsnittet, (Rutherfordtvärsnittet) som anger sannolikheten för att en partikel skall spridas i vinkel $\theta + d\theta$

$$(3) \quad \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{kqQ}{2mv^2}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$$

Observera att (3) beaktar endast EM växelverka. Partiklar som når kärnan och således känner av den starka kraften kommer att avvika från Rutherford tvärsnittet speciellt vid stora spridningsvinklar

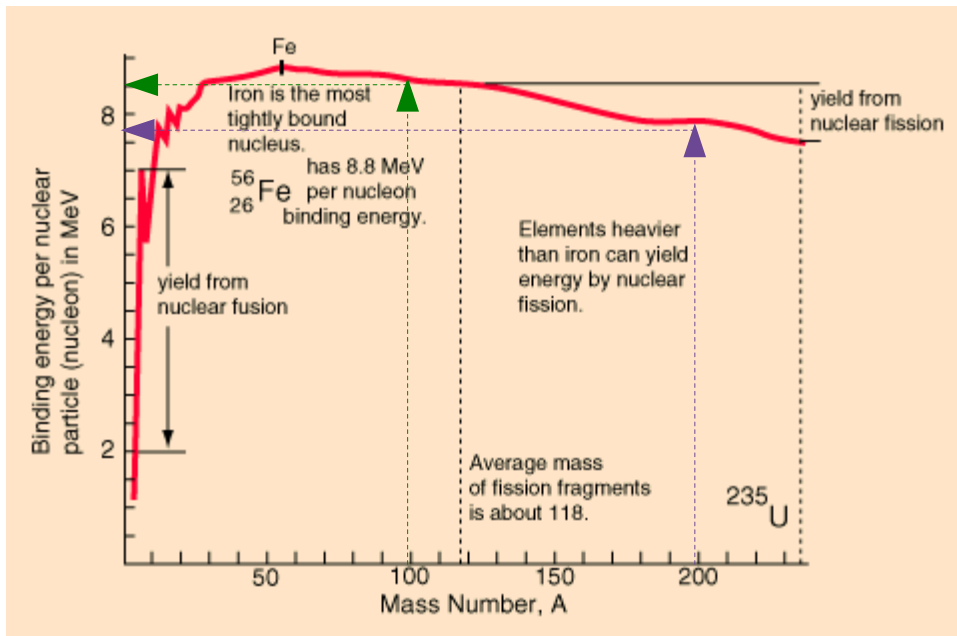
Fission



- Lise Meitner (1878-1968)
- Samarbetade med Otto Hahn i över 30år med att studera radioaktiva sönderfall.
- 1938 Gjorde Hahn och Fritz Strassmann experiment med Uran (som de trodde var Radium men upptäckte att var Barium!)
- 1939 förklarade Lise Meitner och Otto Frisch detta baserat på Niels Bohr vätskedropp modell och myntade uttrycket fission
- Dessvärre förstod inte Nobelpriskommittén hur upptäckten gått till och gav nobelpriset i Kemi 1944 till Hahn.

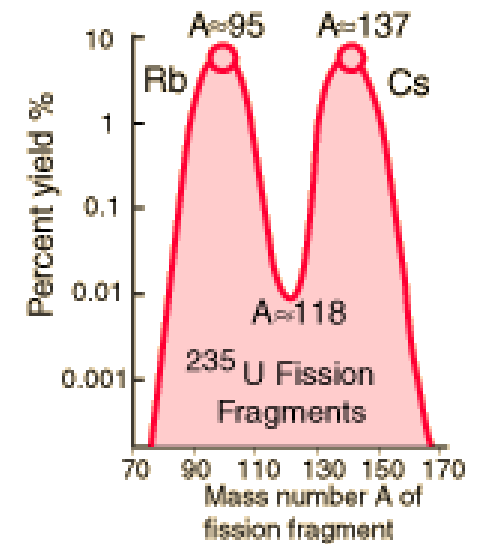
Fission

- Då en tung kärna delas i två fragment Y och Z frigörs energi .
Antag att en kärna med masstal delas i två lika fragment.



$$\text{BE}/A ({}^{200}\text{X}) = 7.9 \text{ MeV (PH T-6.1)}$$

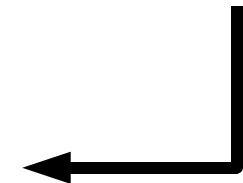
$$\text{BE}/A ({}^{100}\text{Y}) = 8.6 \text{ MeV (PH T-6.1)}$$



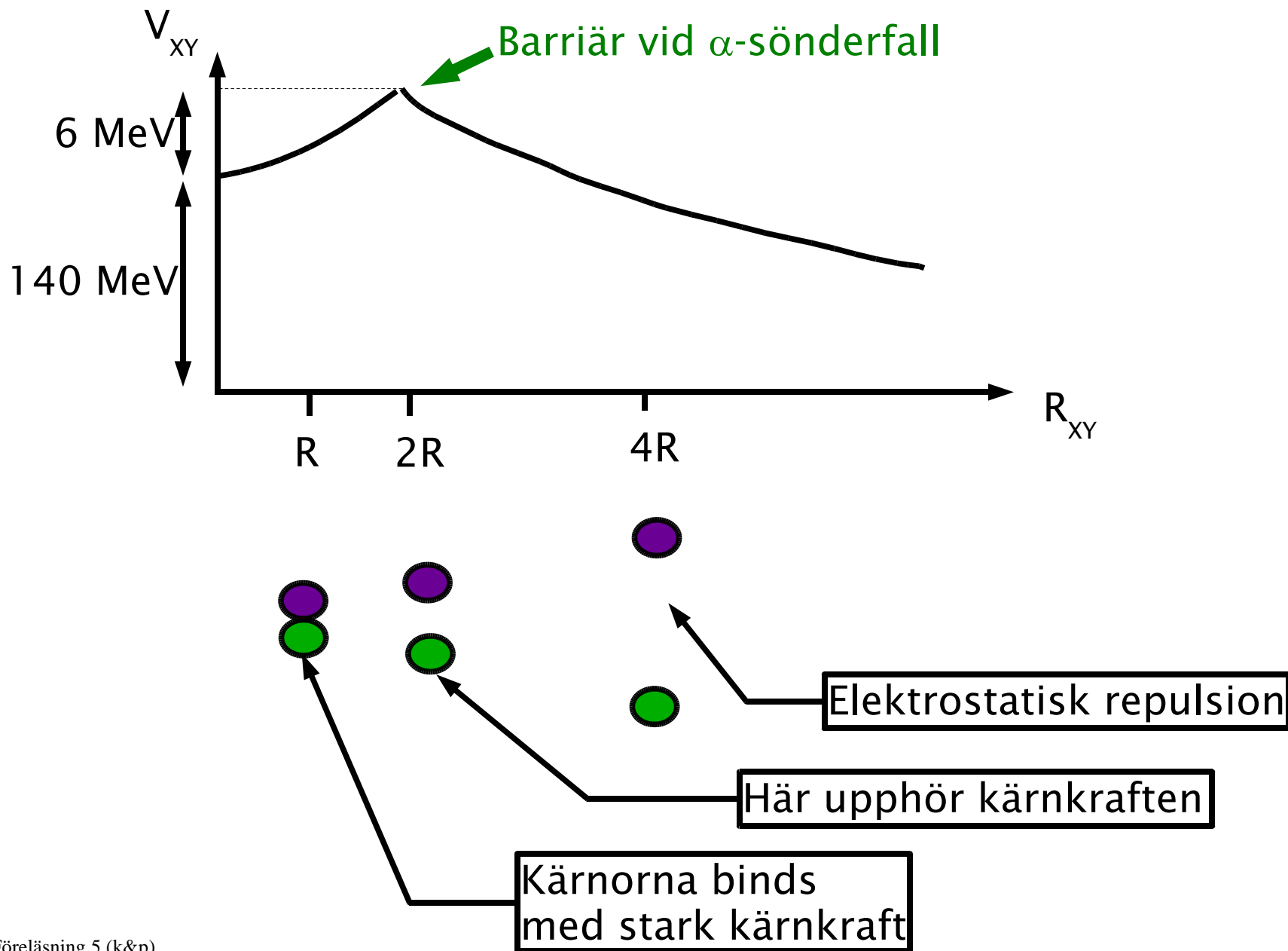
Frigjord energi Q:

$$(100+100) \cdot 8.6 - 200 \cdot 7.9 = 140 \text{ MeV}$$

Q för reaktionen " ${}^{235}\text{U} \rightarrow {}^{137}\text{Cs} + {}^{95}\text{Rb} + 3\text{n}$ " är 191 MeV

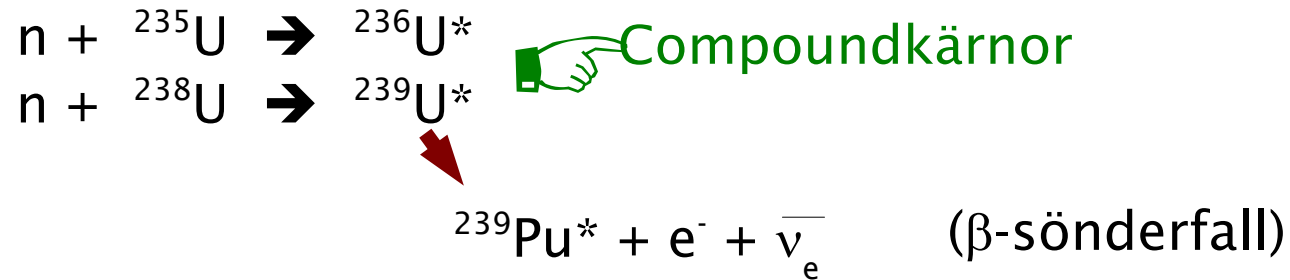


För att förstå delningsmekanismen använder man samma resonemang som vid α -sönderfall.



Mekanism för fission

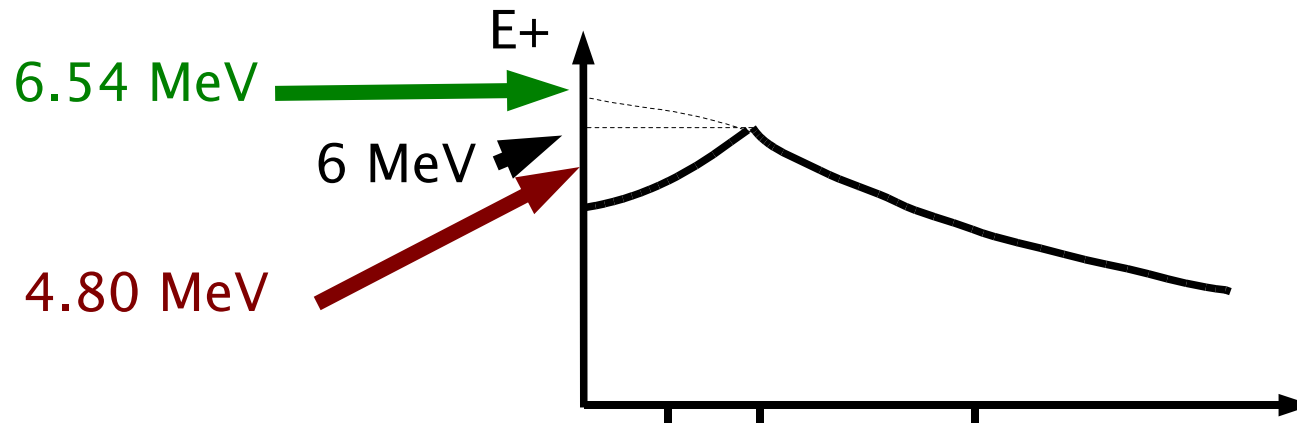
Långsamma neutroner fångas in $E_n \approx 0.1 \text{ MeV}$



Både ${}^{236}\text{U}^*$ och ${}^{239}\text{Pu}^*$ har överskottsenergi i förhållande till sina grundtillstånd.

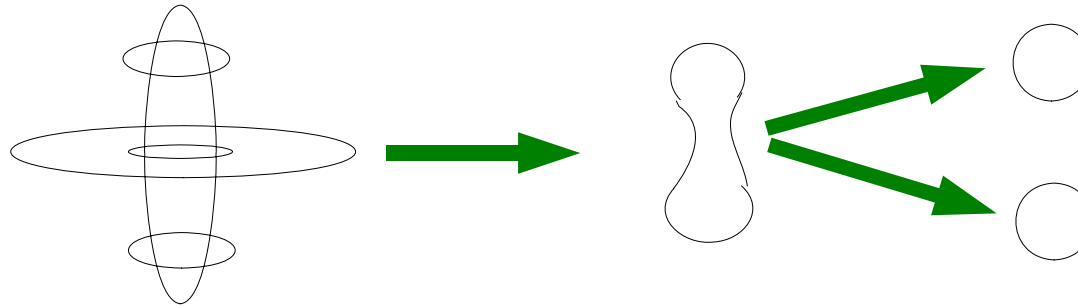
$$[m(n) + m({}^{235}\text{U}) - m({}^{236}\text{U})] c^2 = \mathbf{6,54 \text{ MeV}}$$

$$[m(n) + m({}^{238}\text{U}) - m({}^{239}\text{Pu})] c^2 = \mathbf{4,80 \text{ MeV}}$$

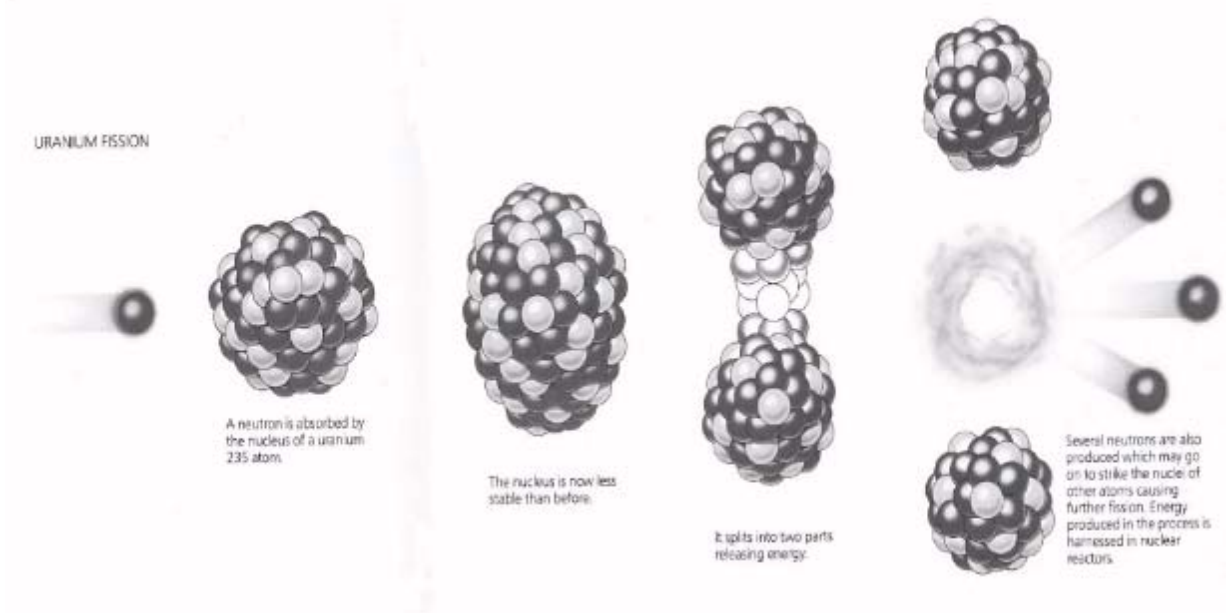


$^{236}\text{U}^*$ har energi ovanför columb-barriären och faller sönder direkt
 $^{239}\text{Pu}^*$ kommer inte över barriären ← Aktinid

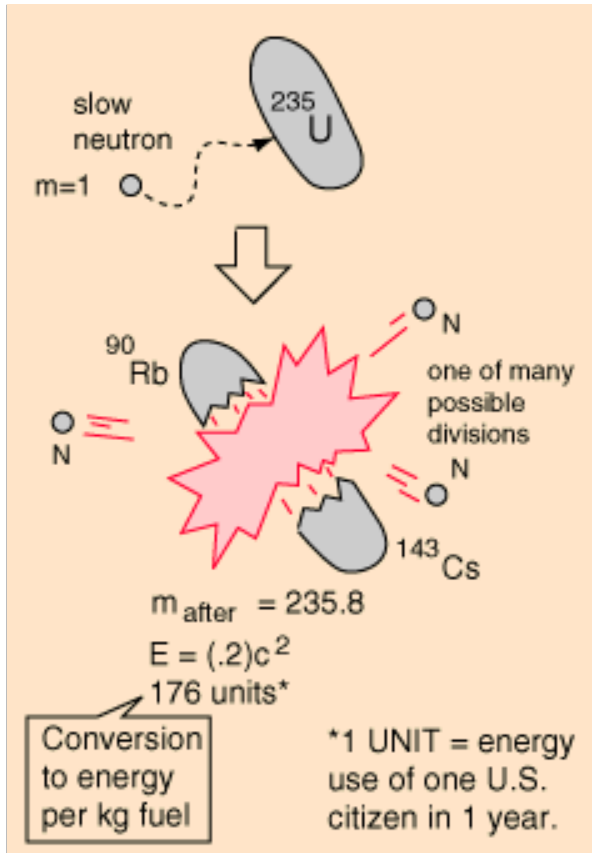
Överskottsenergin gör att kärnan börjar oscillera mellan "cigarr" och "diskus" form



^{235}U



Neutronekonomi



- I fissionsreaktorer ("Atomkraftverk") klyver man oftast ^{235}U



(I genomsnitt 2.5n per reaktion, oftast 2 eller 3)

K = reproduktionstal som anger hur många neutroner det i genomsnitt per reaktion producerade n som leder till nya fissionsreaktioner

- $K \approx 1$ Kontrollerad kedje reaktion i reaktor
- $K > 1$ Överkritisk reaktion → **BOMB**
- $K < 1$ Reaktionen dör ut.

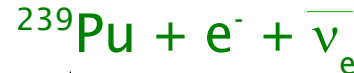
• **Moderator** (H_2O eller C i reaktor bromsar neutronerna från MeV till eV genom en serie elastiska stötar så att sannolikheten för processen $n + {}^{235}U \rightarrow {}^{236}U$ blir stor.

Neutroner förloras:

- i moderatormaterialet ($n + {}^1H \rightarrow {}^2H + \gamma$)
- sugas upp i kontrollstavar ($n + Cd$)
- förloras till omgivningen
- genom kärnreaktioner andra än fission



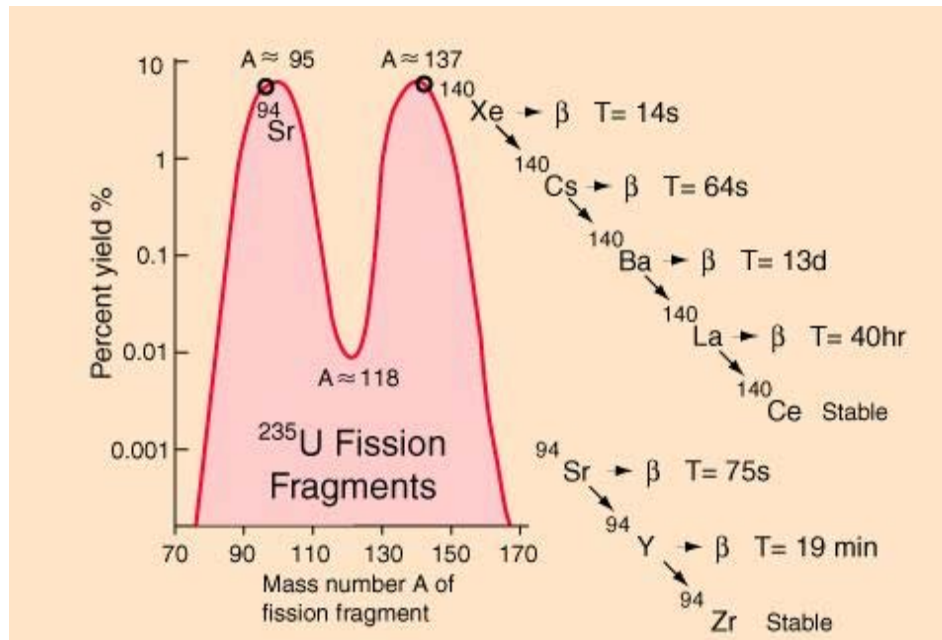
"Vanlig" Uran



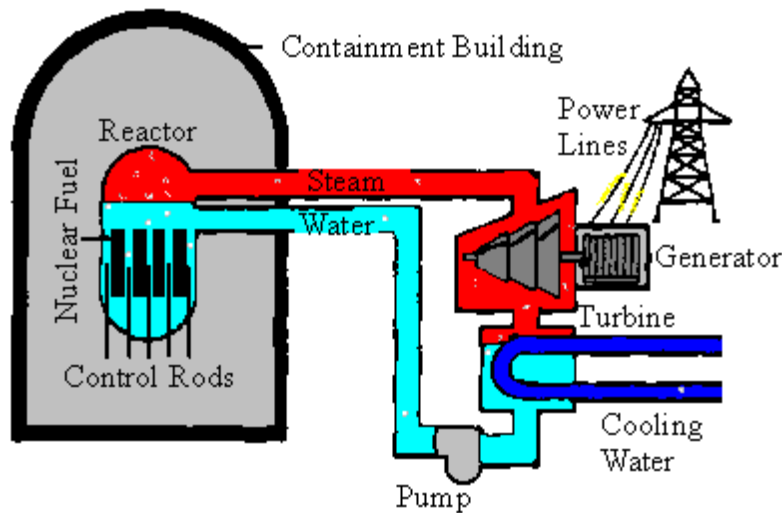
Kärnavfall $t_{1/2} = 24000$ år

Avfallets långlivade radionuklider:

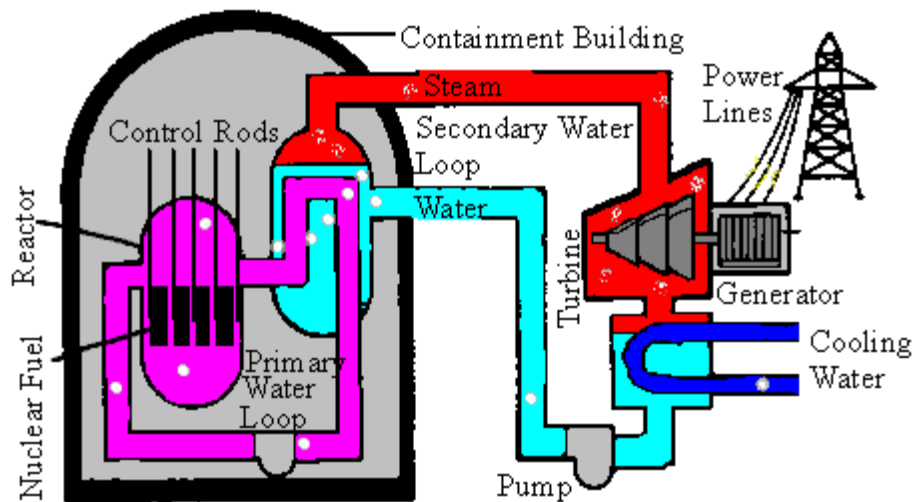
Ämne	$\tau_{1/2}$	Sönderfall
^{144}Nd	2.0E+5	α
^{99}Tc	2.2E+5	β
^{98}Tc	4.2E+6	β
^{129}I	1.0E+6	β
^{137}Cs	3.0E+1	β
^{90}Sr	3.0E+1	β
^{239}Pu	2.4E+4	α



Kokvatten reaktor (Alla svenska reaktorer förutom Ringhals 2-4)



Tryckvatten reaktor (70% av alla reaktorer i världen, Ringhals 2-4)



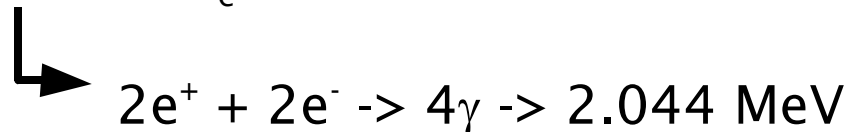
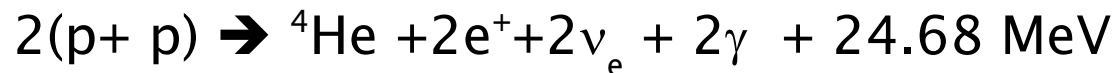
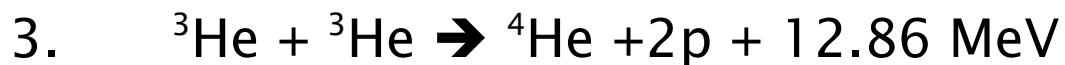
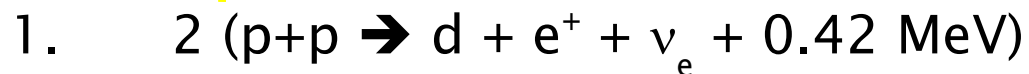
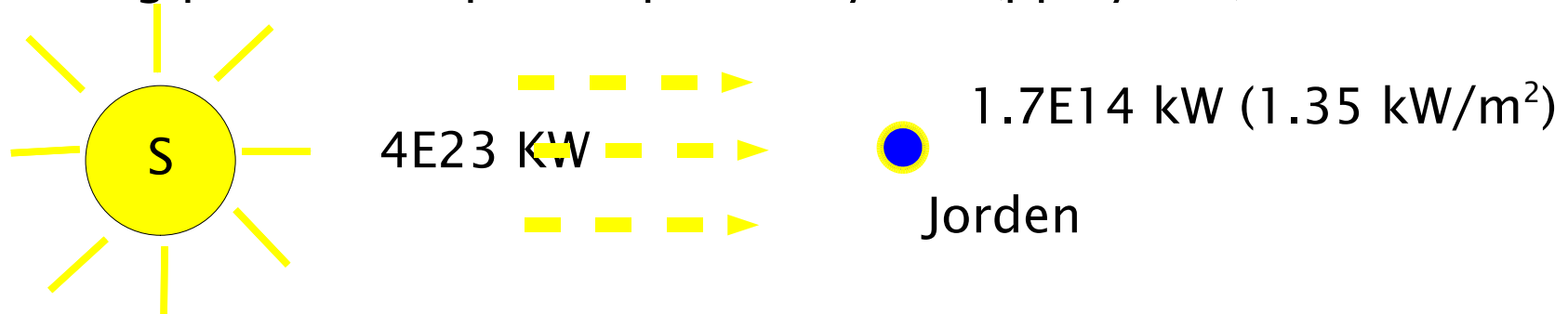
Halten $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$

Naturligt	0.7%
Vanlig reaktor	3-5%
Brid reaktor	20%
Bomb	>60%

Grafitreaktor (Används enbart i öst, Tjernobyl...)

Fusion

- Tre fusionsreaktioner i sekvens svarar för huvuddelen av solens energiproduktion proton proton cykeln (pp-cykeln)



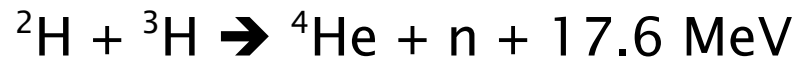
TOTALT: 26.72 MeV

Processen sker i solens centrum. Det blir allt mer He i centrum, nu ca. 65%. Det tar ca. 100 000 år för energin att nå solytan. Neutrinerna går rakt genom solen och ut i rymden.

När en tillräcklig mängd alfa-partiklar bildats sker nukleosyntes där ^{12}C bildas genom sammanslagning av 3 alfa-partiklar, detta sker senare under solens livstid. För detta krävs en hetare sol (10^8 K) Solens radie kommer då att öka medan luminositeten förblir oförändrad.
Då bränslet är slut för heliumcykeln så förbränner solen kol.

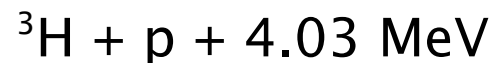
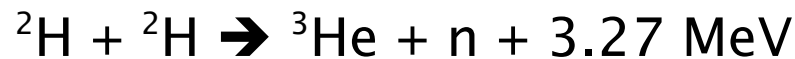
Fusionsreaktor

- dt-fusion



Det krävs ca. 100 milj grader för att en reaktor skall fungera

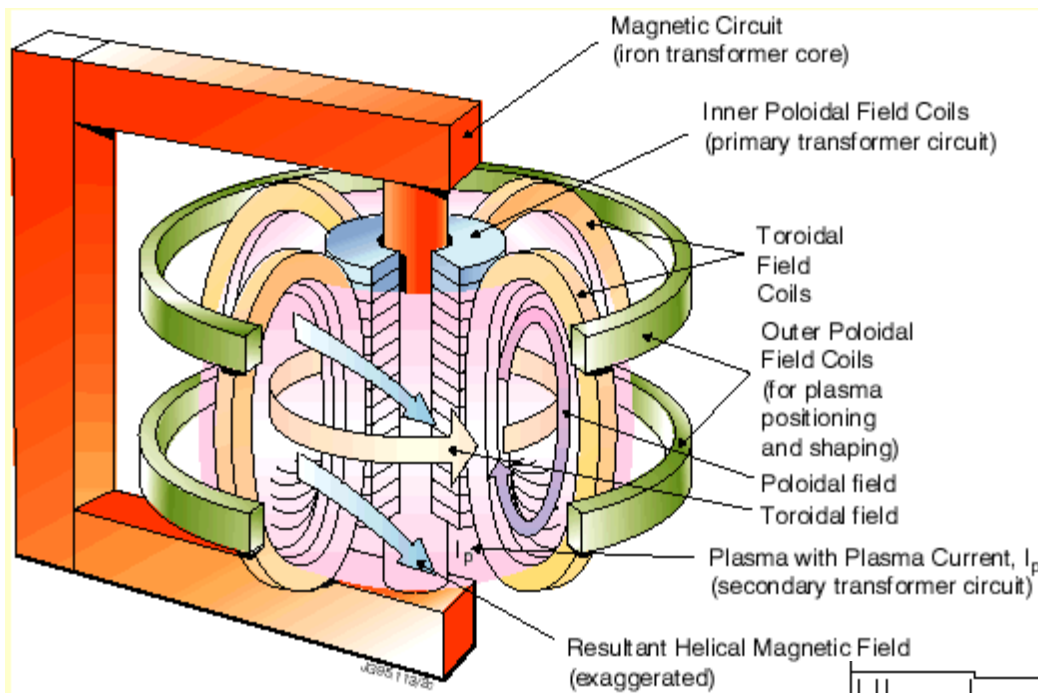
- dd-fusion



Kräver ännu högre temperatur fördelen är dock att ${}^2\text{H}$ är stabilt och kan utvinnas ur havsvatten

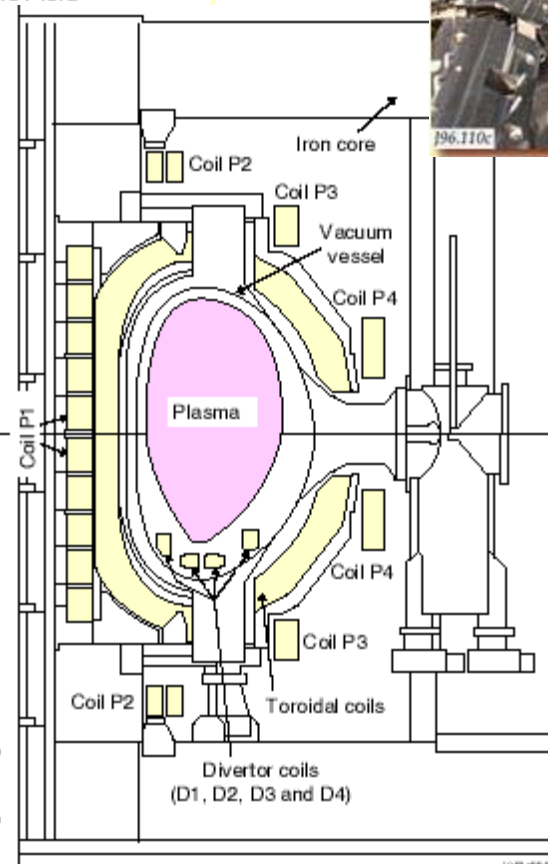
$${}^2\text{H}/{}^1\text{H} \approx 1/6000$$

1 liter H_2O motsvarar 300 liter olja. (Om man lyckas konstruera en fungerande fusionsreaktor räcker bränslet på jorden längre än solen lyser)



JET (Joint European Torus)
<http://www.jet.efda.org/>
 i Culhamn, UK 1971 -

ITER (which means "the way" in Latin)
<http://www.iter.org/>
 Beslut om placering i Cadarache (Frankrike)
 undertecknat 21 november 2005 (EU, Ryssland, Kina, USA, Indien, Korea, Japan)





JOINT EUROPEAN TORUS



PRESS RELEASE

JET Announces World Records in Fusion Performance

JET is the flagship of the Community Fusion Programme based at Abingdon (UK). It is now the only experiment worldwide able to operate with the fuel mixture of a future fusion power station.

Today *Dr. Martin Keilhacker*, the Director of JET, addressed a Press Conference at the Royal Society in London. He described the recent JET results with a deuterium-tritium (D-T) fuel mixture.

In the last few weeks, JET has conducted a broad-based campaign to address issues of fusion power production and the physics of high performance plasma confinement in the geometry and operating conditions foreseen for the International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER, currently in an advanced design state.

The key points are:-

- JET has set three new world records in recent high power fusion experiments: 14MJ of fusion energy, 13MW of peak fusion power and a fusion Q (the ratio of fusion power produced to the net input power) of 60%.
- JET has demonstrated that in D-T there is a 25% reduction in the power needed to maintain high confinement during high fusion power operation - a very significant result for ITER.
- JET has tested the first large scale plant of the type needed to supply and process tritium in a future fusion power station.

Transmutation

- Vid vanliga fissions reaktorer skapas långlivat avfall dels från att neutroner infångas av kärnor utan att reaktioner sker (aktinider). Flera av dessa har lång halveringsd tid ^{239}Pu 24000 år.

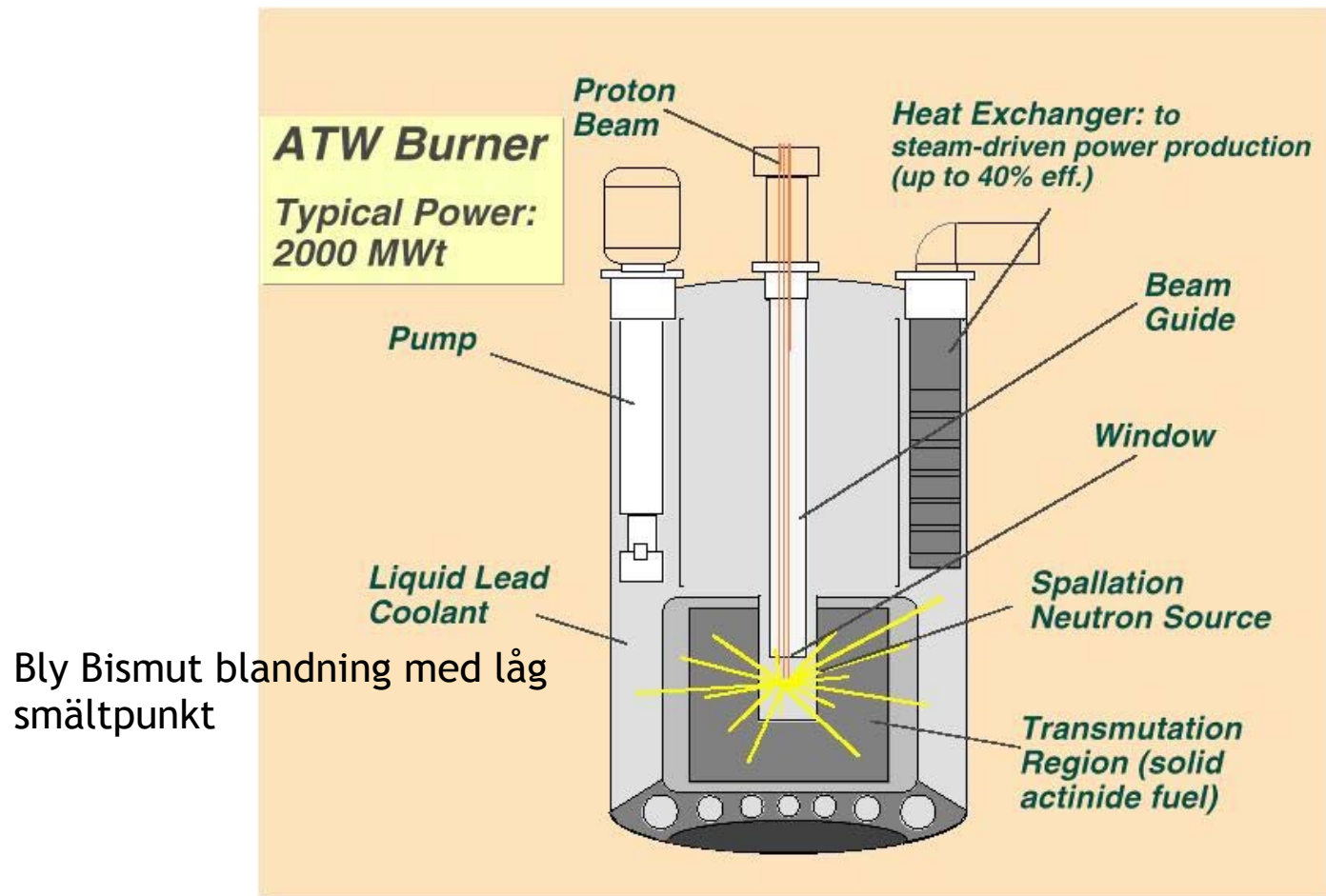


- Vi kärnklyvning bildas också fissionsprodukter som är radiotoxiska, ex. ^{99}Tc med halveringstid 240000 år.
- Vid **transmutation** omvandlas radiotoxiska långlivade kärnor till stabila ofarliga genom neutronbestrålning.



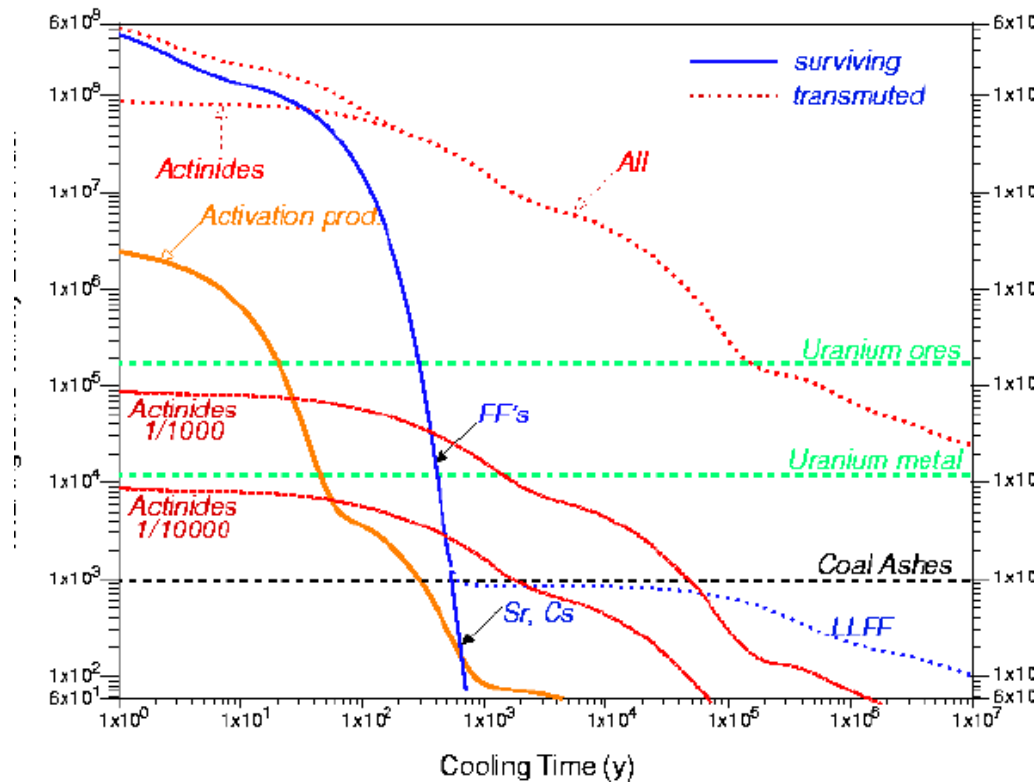
Transmutation sker redan i en vanlig reaktor men bristen på neutroner begränsar processen. I en vattenkyld reaktor klyvs ca: 20% av ^{239}Pu .

I en transmutationsanläggning tillförs neutroner genom en extern källa (accelerator) samt man använder tyngre kylmedel än vatten (tex. Pb) för att neutronerna inte skall stoppas upp (snabb reaktor).



En transmutionsanläggning förväntas omvandla ca. 99% av det långlivade avfallet

Surviving Ingestive radio-toxicity of 1 ton of LWR Waste



Transmutionsanläggningen skapar energi men bearbetningen av kärnbränslet och acceleratordriften kräver också energi. Grovt räknat kan försäljningen av el bekosta 50-80% av driften. Resten kan eventuellt täckas av minskade förvaringskostnader. <http://www.neutron.kth.se/>