Kernreaktionen

$$a + X \rightarrow Y + b$$

X(a;b)Y allgemeine Reaktionsgleichung

inelastische Streuung

$$a(E) + X \to X^* + a(E - \Delta E)$$
$$X^* \to X + \gamma$$

reaktive Streuung

$$p+{}_{3}^{7}Li \rightarrow {}_{4}^{7}Be+n$$
$$\rightarrow {}_{2}^{4}He+{}_{1}^{3}H+p$$

Compound-Kern

stoßinduzierte Spaltung

n(E)
$$+\frac{238}{92}$$
 U $\rightarrow \frac{239}{92}$ U $\stackrel{*}{\longrightarrow} \frac{A_1}{Z_1}$ Y₁ $+\frac{A_2}{Z_2}$ Y₂ + ν n

 $A_1 + A_2 + \nu = 239$
 $Z_1 + Z_2 = 92$

$$M_a + M_X = M_Y + M_b + Q/c^2$$

Energiebilanz

Q: "Wärmetönung"

Q>0: exotherm (Energie wird frei)

Q<0: endotherm

Kernreaktionen

$$\dot{N} = \sigma n_X V \phi_{\rm in}$$
 σ Reaktionsquerschnitt

Bei Kernreaktionen sind erhalten:

- Nukleonenzahl
- elektrische Ladung
- Drehimpuls
- Parität (Spiegelung der Koordinaten am Ursprung)
- +weitere

Kernumwandlung



Rutherford

$$\alpha + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{17}_{8}O + p$$

$$\longrightarrow$$
 (α ,p)-Reaktion

$$\alpha + {}_{4}^{9}\text{Be} \rightarrow {}_{6}^{13}\text{C}^* \rightarrow {}_{6}^{12}\text{C} + \text{n}$$

 \longrightarrow (α ,n)-Reaktion

Stoßinduzierte Radioaktivität

$$\alpha + {}_{5}^{10}B \rightarrow {}_{7}^{14}N^* \rightarrow {}_{7}^{13}N + n$$

$${}_{7}^{13}N \rightarrow {}_{6}^{13}C + \beta^+ + \nu \qquad \tau = 9.96 \text{ min}$$

"Künstliche Radiaktivität"

$$^{59}_{27}\text{Co} + \text{n} \rightarrow ^{60}_{27}\text{Co}^* \xrightarrow{\beta^-, \gamma_1} ^{60}_{28}\text{Ni}^* + \gamma_1 + \gamma_2$$

bei Bestrahlung in der Krebstherapie

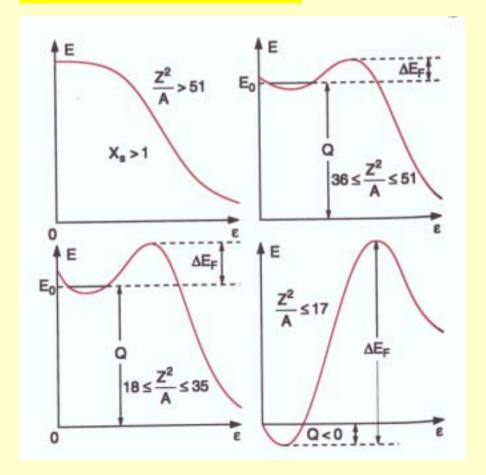
a) eingeschnürt gespalten sphärisch elliptisch E angeregter Zustand Spaltbarriere ΔEF E₀ Grundzustand $E_{pot}(\epsilon)$ Deformation & b) E spontane Spaltung EF direkte Spaltung Tunneleffekt Spaltung Isomer des Isomers ϵ_2 E1

Kernspaltung

spontane Spaltung tritt auf, wenn

$$X_s = \frac{1}{2} \frac{E_0^C}{E_0^S} = \frac{a_C}{2a_S} \frac{Z^2}{A} > 1$$

$$\Rightarrow \frac{Z^2}{A} > 51$$

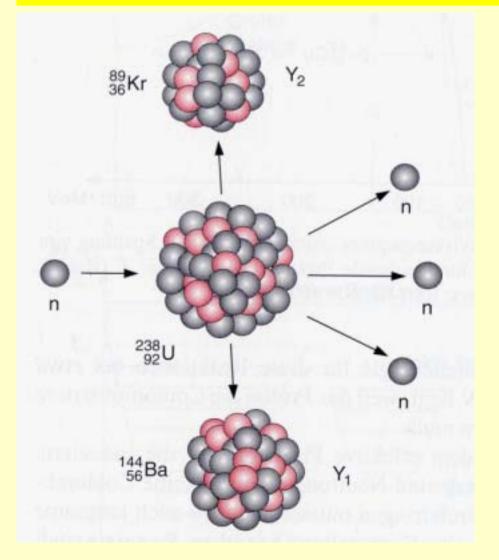


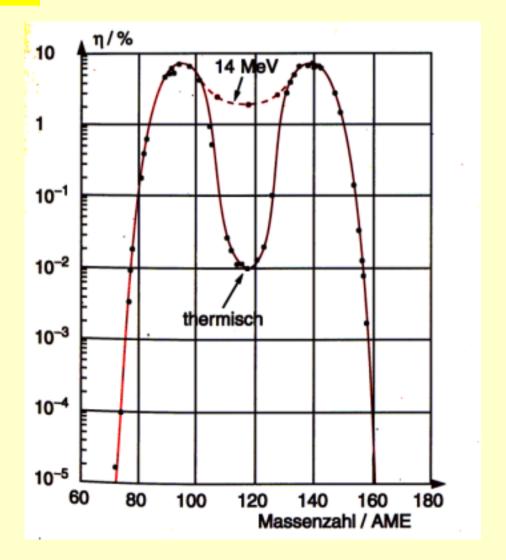
n(E)
$$+ {}^{238}_{92}$$
U $\rightarrow {}^{239}_{92}$ U * $\rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}$ Y₁ $+ {}^{A_2}_{Z_2}$ Y₂ + ν n
$$A_1 + A_2 + \nu = 239$$

$$Z_1 + Z_2 = 92$$

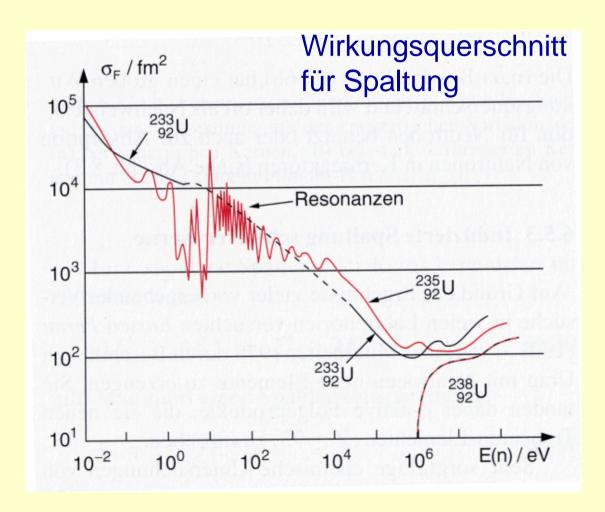
1938:

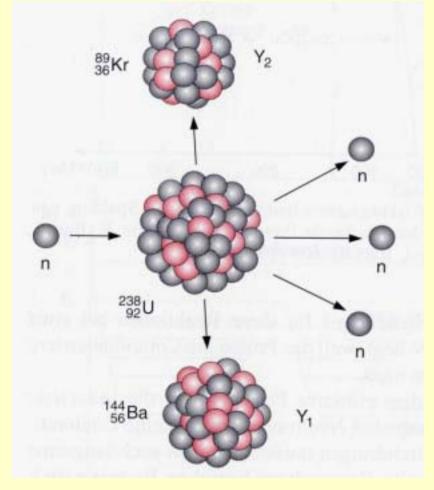
Otto Hahn und Fritz Straßmann Erklärung durch Lise Meitner





n(E)
$$+ {}^{238}_{92}$$
 U $\rightarrow {}^{239}_{92}$ U $^* \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}$ Y₁ $+ {}^{A_2}_{Z_2}$ Y₂ + ν n
n(E) $+ {}^{235}_{92}$ U $\rightarrow {}^{236}_{92}$ U $^* \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}$ Y₁ $+ {}^{A_2}_{Z_2}$ Y₂ + ν n





Uran-238 kann nur mit schnellen Neutronen gespalten werden, Uran-235 auch mit langsamen!

$$_{92}^{238}U + n \rightarrow_{92}^{239}U^{*}$$

Compound-Kern: g-u

Bindungsenergie relativ klein

 $E_b < \Delta E_F$

Spaltung nicht einfach möglich

$$^{235}_{92}$$
U + n $\rightarrow ^{236}_{92}$ U*

Compound-Kern: g-g

Bindungsenergie relativ groß

 $E_b > E_F$

Spaltung einfach möglich

freiwerdende Energie:

180 MeV

6 MeV kin. Energie Spaltprodukte

6 MeV kin. Energie Neutronen

7 MeV direkte Gamma-Strahlung

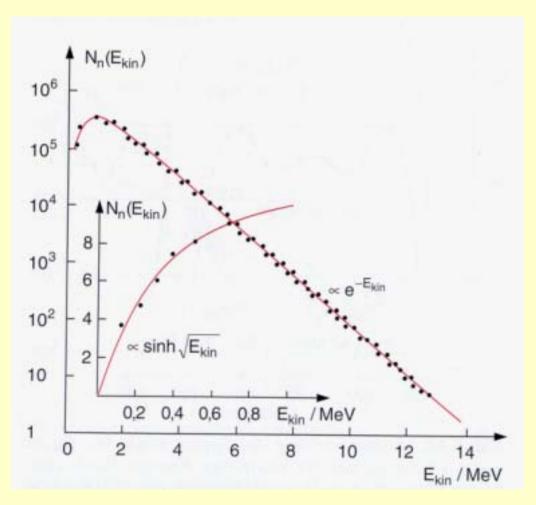
6 MeV Gamma-Strahlung

5 MeV Beta-Strahlung

10 MeV (Anti)-Neutrinos

sofortige Energieabgabe

verzögerte Energieabgabe der Spaltprodukte



Energieverteilung der freigewordenen Neutronen

Wichtig:

etwa 99% der Neutronen werden sofort frei etwa 1% wird verzögert in der Zeitspanne 0.05s < t < 60 s abgegeben

Regelung von Kernkraftwerken

Kernfusion

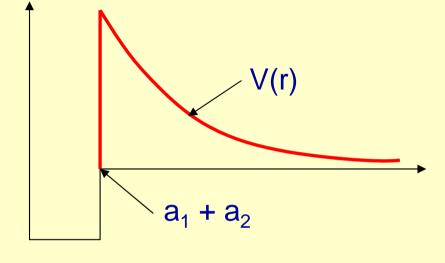
Problem: Überwindung der Coulombbarriere

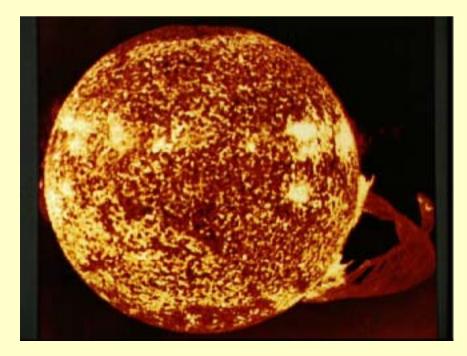
$$E_{\rm kin} \ge \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\varepsilon_0 (a_1 + a_2)}$$

a₁ und a₂ Reichweite der Kernkräfte

$$D + D \rightarrow T + p + 3 \text{ MeV}$$

 $E_{kin} > 0.5 \text{ MeV}$
 $\Rightarrow T > 6.10^9 \text{ K}$





$$p + p \rightarrow_{1}^{2}D + e^{+} + \nu_{e}$$

$${}_{1}^{2}D + {}_{1}^{2}D \rightarrow_{2}^{3}He + n + 3.25 \text{ MeV}}$$

$${}_{1}^{2}D + {}_{1}^{2}D \rightarrow_{1}^{3}T + p + 3.0 \text{ MeV}}$$

$${}_{1}^{2}D + {}_{1}^{3}T \rightarrow_{2}^{4}He + n + 17.6 \text{ MeV}}$$

$${}_{1}^{3}T + {}_{1}^{3}T \rightarrow_{2}^{4}He + 2n + 20.7 \text{ MeV}}$$

$${}_{1}^{6}Li + {}_{1}^{2}D \rightarrow_{2}^{4}He + {}_{2}^{4}He + 22.4 \text{ MeV}}$$

Erzeugung von Transuranen

bei Z>117 Stabilitätsinsel?

Alle Transurane radioaktiv

$$^{22}_{10}\text{Ne} + ^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{260}_{102}\text{No}^* \rightarrow ^{256}_{102}\text{No} + 4n$$

Erzeugung von Element 102: Nobelium

