Decadimento: $A \to b + c + d$

$$Q = m_A - m_b - m_c - m_d$$

Reazione nucleare

$$a + b \to c + d + Q$$

nuclidi:

Q-value $\quad Q =: m_a + m_b - m_c - m_d$

Decadimenti: $Q > 0$

Reazioni: $Q > 0$: reazione esotermica
massa m_a m_b si convertono in energia cinetica per c e d

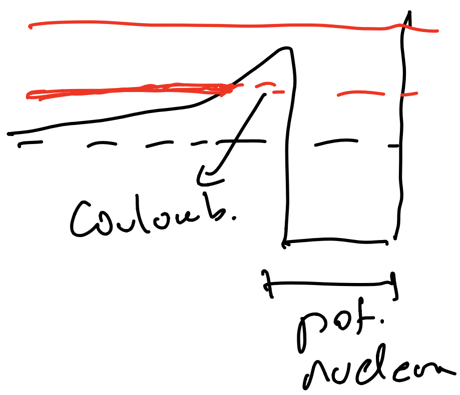
$Q < 0$: endotermica
K_a, K_b si convertono in m_c, m_d

Nella scoperta del protone di Rutherford

$$\alpha + {}^{14}_{7}N \to {}^{17}_{8}O + p \qquad Q = -1.19\ \text{MeV}$$

$K_\alpha \simeq 5$ MeV cinetica per far avvenire la reazione

$\alpha \to + b$



$r > R = R_0 A^{1/3}$
Coulomb.

Energia cinetica iniziale permette di scavalcare la barriera di Coulomb

$\Rightarrow$ serve accelerare α, p, n oggi: con gli acceleratori: a LHC Pb

particelle cariche $\Rightarrow$ campo elettrico per accelerare.

n (neutro elettricamente): come si fa ad accelerare?

$p + {}^{7}_{3}Li \rightarrow \alpha + \alpha \qquad Q = 17.5\ MeV$

K_p convertita in K_α

accelerazione indiretta di α

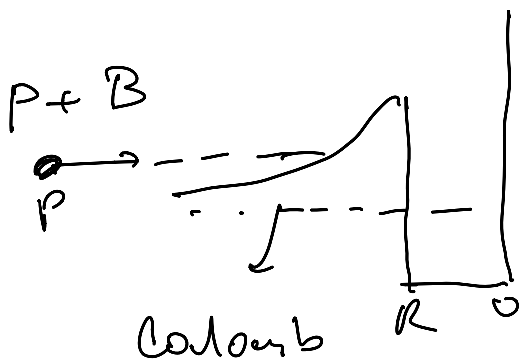
Chadwick nel 1932:

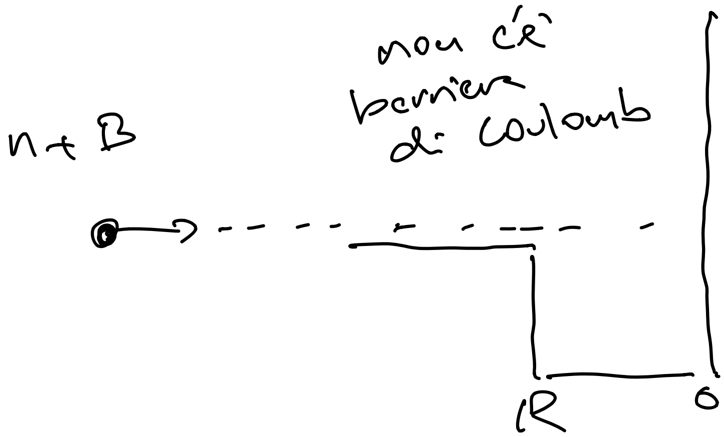
$\alpha + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{12}_{6}C + n \qquad Q = 5.71\ MeV$

Be, C sono fermi $\quad K_\alpha \rightarrow$ trasferita a K_n

accelerazione indiretta di neutroni partendo da p, poi α.

Inizio degli studi di reazioni nucleari con i neutroni:





neutroni termici: materiale ricco di n a temperatura T

$\rightarrow \quad kT \rightarrow \langle K_n \rangle$

alcuni neutroni fuggono dal nucleo

$\Rightarrow$ neutroni termici

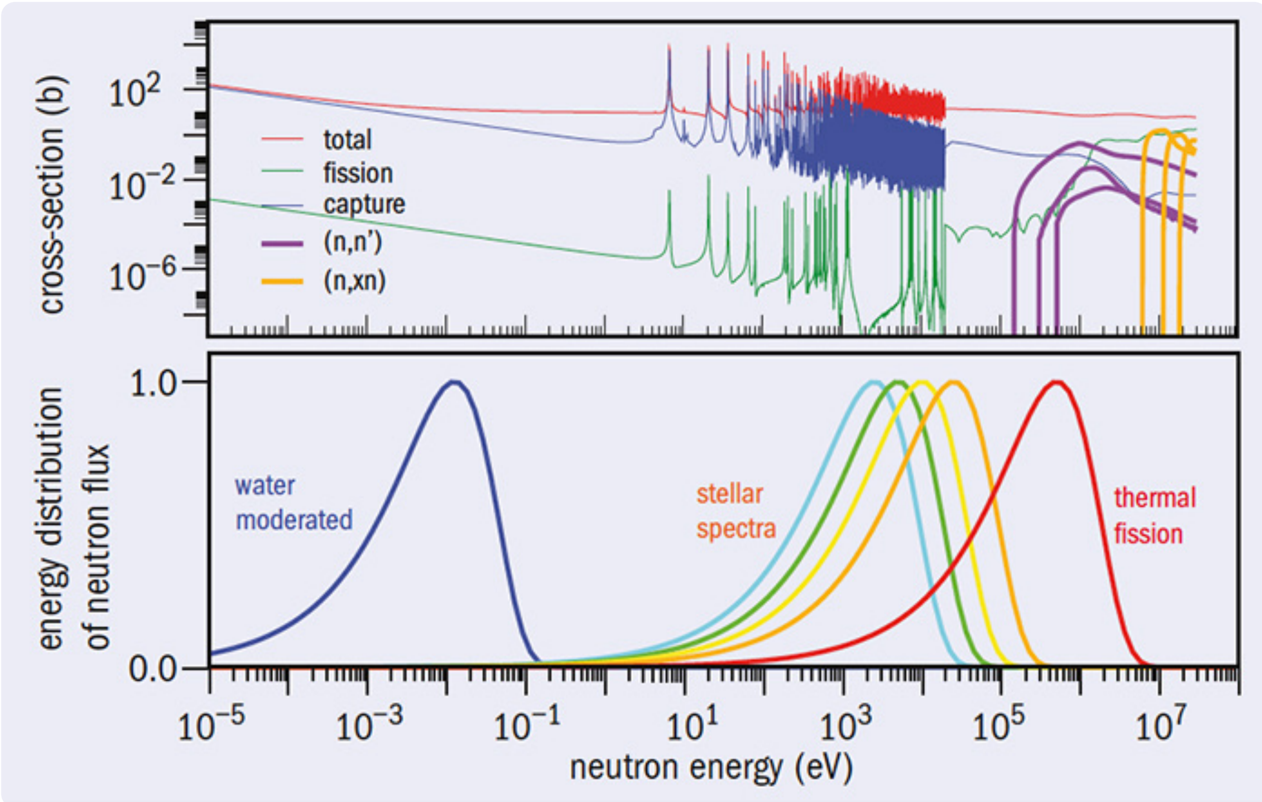
$n + {}^{A}_{Z}X$

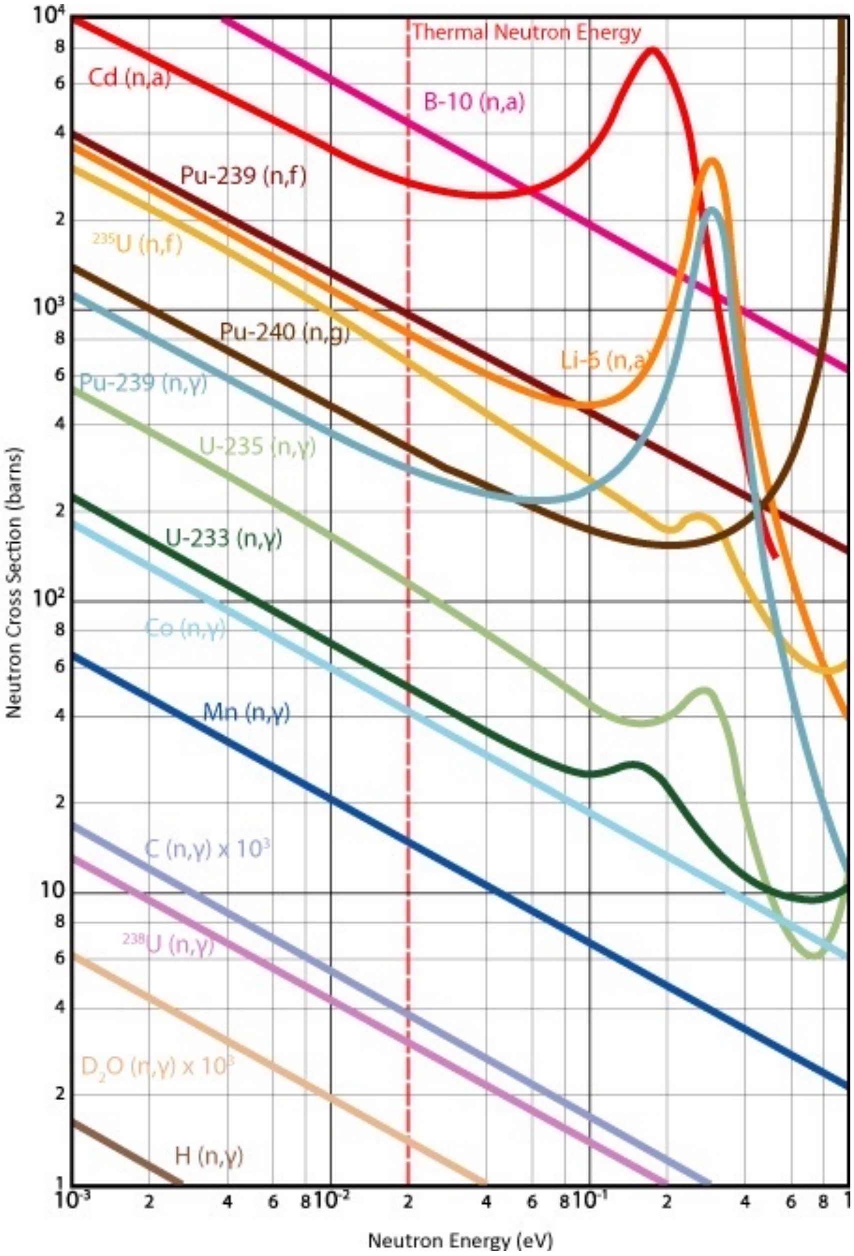
Diffusione elastica

Cattura del neutrone ${}^{A+1}_{Z}X^{*}$

${}^{A+1}_{Z}Y$

Fissione indotta di ${}^{A}_{Z}X$





$\sigma(U) \propto 10^2\, U(H)$

1938 Hahn - Strassman

$$n + {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{137}_{56}Ba + {}^{84}_{36}Kr + 17n$$

nucleoni = # nucleoni

Nuclei più pesanti hanno eccesso di neutroni per la stabilità

Rilascio di neutroni in questo tipo di reazione.

1939 Meitner - Frisch

Fissione spontanea $\;{}^{Z}_{A}N \longrightarrow {}^{A-A_2}_{Z-Z_2}X + {}^{A_2}_{Z_2}Y + Q$

Se $Q>0$ perché non avviene spontaneamente?

per $A>60$ $\quad \dfrac{\partial \bar{B}}{\partial A} < 0$ in teoria dovrebbe favorire la fissione spontanea

Nel caso dell'uranio.

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{137}_{56}Ba + {}^{84}_{36}Kr$$

$$\bar{B}(A\approx 240) = 7.6\ \text{MeV}$$
$$\bar{B}(A\approx 120) = 8.5\ \text{MeV}$$
$$\bar{B}(A=84) \approx 8.7\ \text{MeV}$$

$$B(^{238}U) - B(^{137}Ba) - B(^{84}Kr) \simeq$$
$$\simeq 137 \times 0.9 + 84 \times 1.1\ \text{MeV}$$
$$\simeq 216\ \text{MeV}$$

Fissione di U ha $Q \simeq 210$ MeV

↪ arriva dalla biologia

sperimentalmente avviene solo $A \gtrsim 300$

- aumenta la superficie
- aumenta distanza media tra nucleoni

$$a = R(1+\varepsilon)$$
$$b = \frac{R}{(1+\varepsilon)^{1/2}}$$

Bethe - Weizsäcker: termine di volume $\propto A$ non cambia

- superficie cambia
- Coulomb cambia
- energia cinetica non cambia

$$\Delta B \propto -a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3}$$

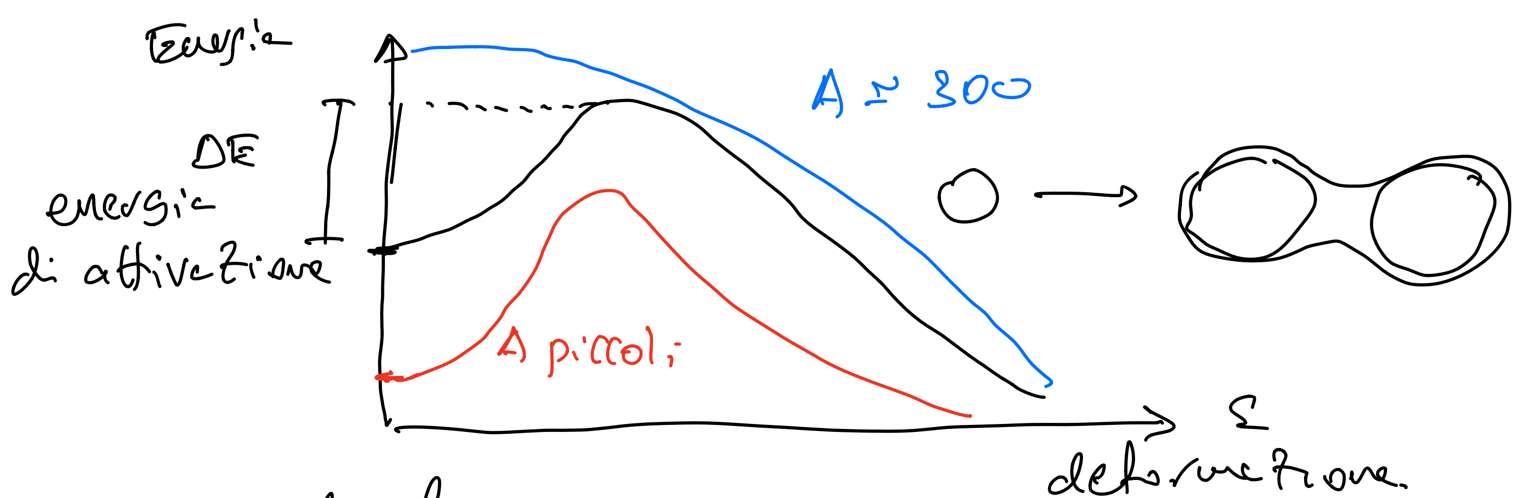
$$V_{iniz}: \frac{4\pi}{3} R^3 = V_{def} = \frac{4\pi}{3} a b^2$$

$$a = R(1+\varepsilon).$$

$$a b^2 = R^3 \Rightarrow b = \frac{R}{(1+\varepsilon)^{1/2}}$$

$$\Delta B = -a_s A^{2/3}\left(\frac{2}{5}\varepsilon^2\right) - a_c Z^2 A^{-1/3}\left(-\frac{1}{5}\varepsilon^2\right)$$

variazione di energia di legame per deformaz.



Per avere la fissione:

- bombardamento con neutroni: forniscono l'energia necessaria per superare ΔB.

- $\Delta B \simeq$

Effetto tunnel

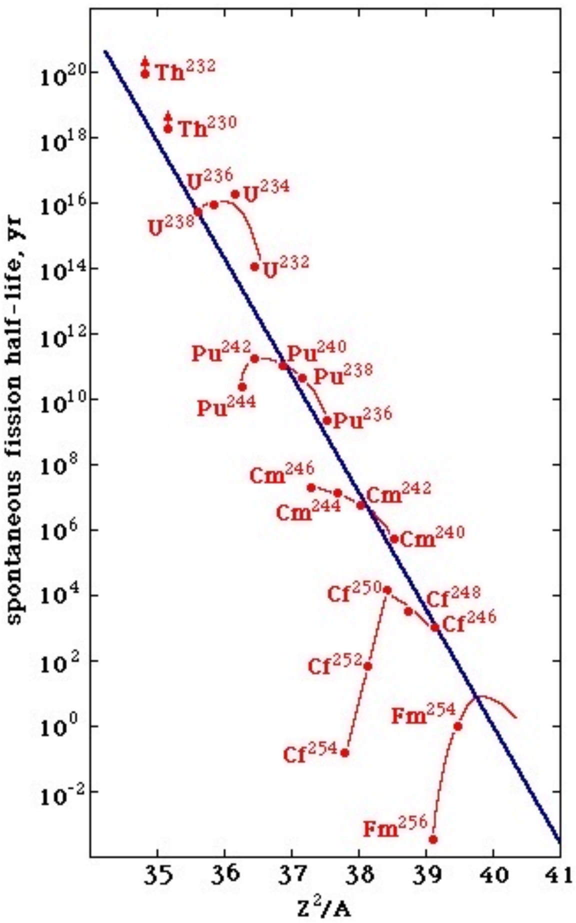
$\Delta B \simeq 0 \Rightarrow \frac{Z^2}{A} \simeq 50 \Rightarrow A \simeq 200$

Invece per $A \geq 300$ $\Delta B \simeq 0$ trascurabile
avviene fissione spontanea

$A \simeq 300$ $\quad Q - E_a > 0$ $\quad$ fissione spontanea

$A \simeq 240$ $\quad E_a - Q \simeq 6$ MeV
effetto tunnel per avere fissione
oppure bombardamento neutroni

$A \simeq 100$ $\quad E_a - Q \simeq 60$ MeV
non avviene la fissione



Fissione Uranio

$^{238}_{92}U$ 99.3% abbond. nat.

$^{235}_{92}U$ 0.7%

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

$$Q = 6.5 \text{ MeV}$$

$$E_a = 6.2 \text{ MeV}$$

K_n non serve, basta solo neutroni bassissima energia

$$\sigma(n + ^{235}U \rightarrow ^{236}U^*) \simeq 580 \text{ b}$$

$$K_n \simeq 0.025 \text{ eV}$$

$\boxed{^{238}U}$

$$n + ^{238}U \rightarrow ^{239}U^*$$

$$Q = 4.8 \text{ MeV}$$

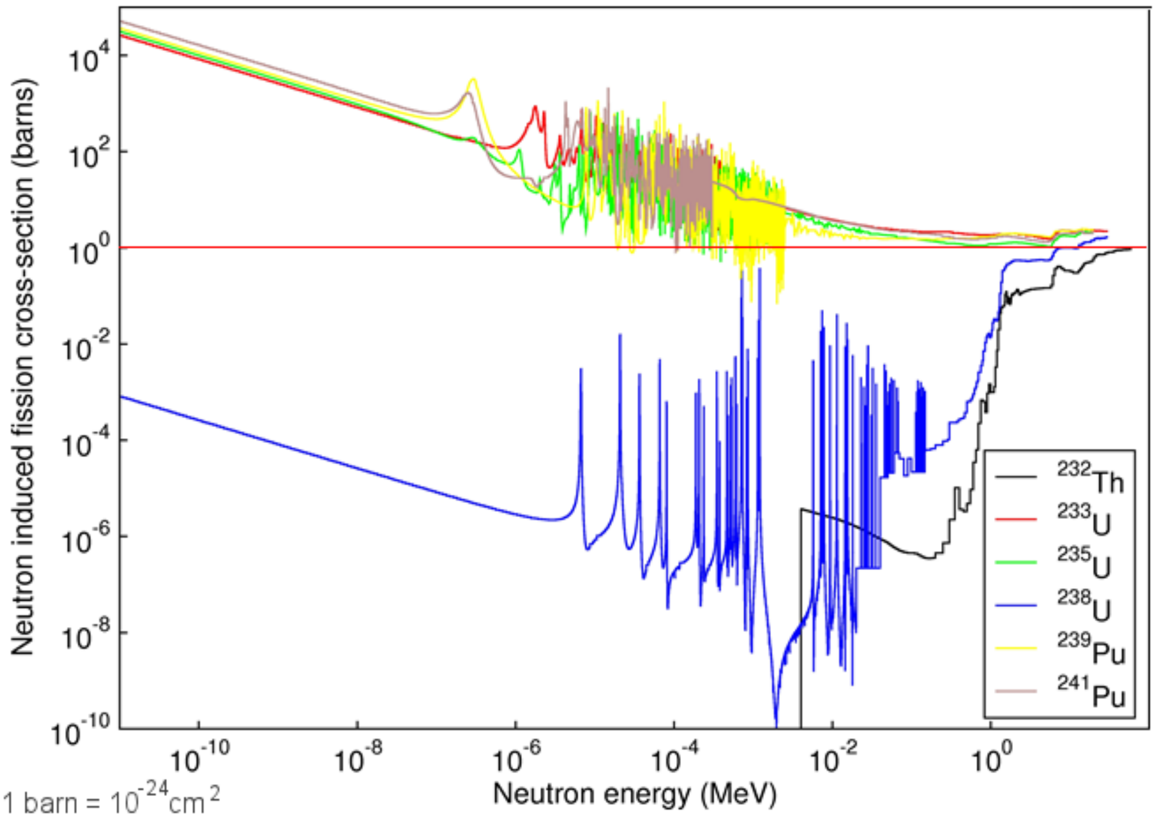
$$E_a = 6.6 \text{ MeV}$$

$$E_a - Q = 1.8 \text{ MeV}$$

$$K_n \simeq 1.8 \text{ MeV}$$

$$\sigma(n + ^{238}U \rightarrow ^{239}U) \simeq 0.5 \text{ b}$$

per gli stessi neutroni



$$n + {}^{235}U \longrightarrow A + B + \underset{2.5}{\langle n \rangle}$$

$Q = 200\ MeV$ per nucleo uranio.

Rendimento:

$$\eta = \frac{Q}{M} = \frac{200\ MeV}{220\ GeV} = 10^{-3}$$

1 g di Uranio.

$$Q = \frac{1g}{\underbrace{235}_{A}} \underbrace{6 \times 10^{23}}_{N_A} \times 200\ MeV$$

$$= 5 \times 10^{23}\ MeV \simeq 10^{11}\ J$$

Combustione 1T di Carbonio $\simeq \frac{1}{3}$ 1g uranio

Nel reattore a Uranio, ^{235}U poco abbond. in natura.

Abbondanza di $\sim 3\%$ ^{235}U

H_2O, D_2O $\quad {}^{2}_{1}H_2O$ $\quad$ acqua pesante.

${}^{2}_{1}H$ deuterio

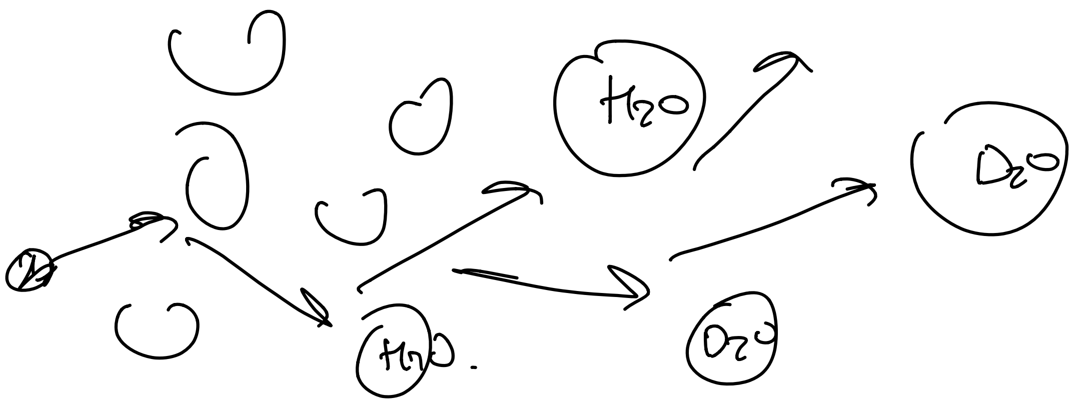
1 neutrone diffusione

$$n + B \to n' + B'$$

$\sigma(n+p)$, $\sigma(n+n)$ alte

perdita di energia grande

$m_n \simeq m_p$.



perdite di energia di neutroni per urto.

$\Rightarrow$ termalizzazione dei neutroni

n rallentati + $^{235}U \to$ Fissione + 2.5n.

$$n + {}^{2}_{1}H \to {}^{3}_{1}H \to {}^{3}_{2}He + \underbrace{e^- + \bar{\nu}_e}_{18\ \text{keV}} \qquad \beta^-$$

trizio radioattivo

$$n + {}^{2}_{1}H \to {}^{3}_{1}H^* \to {}^{3}_{1}H + \gamma$$