

Moderazione dei neutroni

In un reattore nucleare, quando l'isotopo $^{235}_{92}\text{U}$ subisce la fissione, si producono neutroni. Questi neutroni hanno velocita' tipiche di 10^7 m/s e devono essere rallentati fino a 10^3 m/s, perche' solo i neutroni lenti hanno una grande probabilita' di produrre altri eventi di fissione dell'Uranio, dando luogo ad una reazione a catena. I neutroni veloci possono essere rallentati facendoli passare attraverso una sostanza chiamata "moderatore", in cui i neutroni subiscono urti elastici. Si dimostra che un neutrone puo' perdere la maggior parte della sua energia cinetica se urta elasticamente con nuclei leggeri, quali ad es. deuterio e carbonio. La sostanza moderatrice e' quindi o acqua pesante (D_2O) o grafite (che contiene nuclei di carbonio).

STUDIO DELL'ENERGIA CINETICA

Assumiamo che il nucleo moderatore abbia massa m_2 e sia inizialmente in quiete e che il neutrone con massa m_1 abbia velocita' iniziale v_{1i} . Possiamo applicare le eq. della conservazione dell'en. cinetica e della quantita' di moto (supponiamo che l'urto sia centrale).

L'energia cinetica iniziale del neutrone e'

$$K_i = 1/2 * m_1 * v_{1i}^2. \quad (1)$$

Dopo l'urto, il neutrone ha un'energia cinetica K_f data da $= 1/2 * m_1 * v_{1f}^2$, dove v_{1f} e' la velocita' dopo l'urto.

$$v_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)v_{1i} \quad (2)$$

$$K_f = 1/2 * m_1 * v_{1f}^2 = \frac{m_1}{2} \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 v_{1i}^2. \quad (3)$$

La frazione dell'en. cinetica totale posseduta dal neutrone dopo l'urto e' quindi:

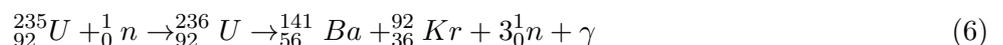
$$f_1 = \frac{K_f}{K_i} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2. \quad (4)$$

Da questo risultato si vede che l'energia finale del neutrone e' piccola quando $m_2 \sim m_1$ ed e' nulla quando $m_2 = m_1$. L'energia nucleare del nucleo moderatore sara' in frazione:

$$f_2 = 1 - f_1 = \frac{K_2}{K_i} = \left(\frac{4m_1m_2}{(m_1 + m_2)^2}\right). \quad (5)$$

Supponiamo ora di usare acqua pesante come moderatore. L'urto dei neutroni con i nuclei di deuterio D_2O ($m_2 \sim 2m_1$) da' $f_1 = 1/9$ e $f_2 = 8/9$, cioe' l'89% dell'en. cinetica dei neutroni viene trasferita ai nuclei di deuterio. In pratica l'efficienza e' minore (urto non centrale!).

Eq. fissione



I 3 neutroni sono neutroni veloci e γ e' energia (~ 211 MeV).

$$1\text{eV}=1,602 \text{ erg}=1,602*10^{-19} \text{ J.}$$

Quindi 1 atomo fornisce $211 * 1,6 * 10^{-19} * 10^6$ J cioe' $\sim 3 * 10^{-11}$ J.

1 grammo di ${}_{92}^{235}\text{U}$, che ha peso atomico $\sim 2 * 10^2$, fornisce $\sim \frac{6*10^{23}}{2*10^2} * 3 * 10^{-11}$ J $\sim 80 * 10^9$ J, che equivale a 3000 kg di antracite!!!