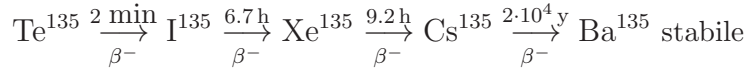


Appunti di Fisica del Reattore nucleare

Ing. Giorgio Bertucelli - (file scaricato da <http://www.extrabyte.info>)

1 Prodotti di fissione. Veleni

Esempio di decadimento di un prodotto di fissione:



Assumiamo come capostipite lo Iodio I^{135} , perché la mezza-vita del Tellurio Te^{135} è troppo piccola. L'indice 1 indicherà lo iodio, l'indice 2 lo xeno. Indichiamo con I = atomi di iodio/cm³s. L'equazione di bilancio è:

$$\frac{dI}{dt} = -\lambda_1 I - \Sigma_{a_1} \Phi + \Sigma_f \Phi \gamma_1 \tag{1}$$

dove $\Sigma_{a_1} = \sigma_{a_1} I$, γ_1 = atomi di I^{135} /fissione; $\sigma_{a_1} = 7$ barns, $\lambda_1 = 2.9 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $\sigma_{a_1} \Phi \simeq \lambda_1$. Pertanto possiamo scrivere:

$$\frac{dI}{dt} = -\lambda_1 I + \Sigma_f \Phi \gamma_1 \tag{2}$$

Integriamo la (2) dopo aver posto

$$I_0 = \frac{\Sigma_f \gamma_1 \Phi_0}{\lambda_1}$$

Quindi

$$I(t) = e^{-\lambda_1 t} \left(\Sigma_f \gamma_1 \int_0^t \Phi e^{\lambda_1 t'} dt' + I_0 \right) \tag{3}$$

I^{135} – **Start up** Supponiamo che il flusso Φ si porti a regime più rapidamente di I . Allora si potrà ritenere $\Phi \simeq$ costante, e posto $I_0 = I(t = +\infty) = I_\infty$ si ha:

$$I(t) = I_0 (1 - e^{-\lambda_1 t}) \tag{4}$$

I^{135} – **Shut down** Si ripropone la (3) con $I_0 = I(t = 0)$. Esaminiamo lo Xe^{135} . La sua equazione di bilancio è:

$$\frac{dXe}{dt} = \lambda_1 I + \gamma_2 \Sigma_f \Phi - \lambda_2 Xe - \sigma_{a_2} Xe \Phi \tag{5}$$

Posto

$$Xe_0 = \frac{\lambda_1 I + \gamma_2 \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_2 Xe + \sigma_{a_2} Xe \Phi_0} = \frac{(\gamma_1 + \gamma_2) \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_2 + \sigma_{a_2} \Phi_0} \tag{6}$$

Integrando si ottiene

$$Xe(t) = Xe_0 \left[1 + \frac{1}{\gamma_1 + \gamma_2} \left(\frac{\gamma_1 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1 + \sigma_{a_2} \Phi_0} - \gamma_2 \right) \right] \exp [- (\lambda_2 + \sigma_{a_2} \Phi_0) t] \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \text{avvelenamento} &= P_0 = \frac{\text{neutroni termici assorbiti dai veleni}}{\text{neutroni termici assorbiti dal combustibile}} \\ &= \frac{\Sigma_p}{\Sigma_u} = \frac{\sigma_{a_2} Xe_0}{\Sigma_u} = \frac{\sigma_{a_2} (\gamma_1 + \gamma_2) \Sigma_f \Phi_0}{(\lambda_2 + \sigma_{a_2} \Phi_0) \Sigma_u} \end{aligned}$$

$\sigma_{a2} = 3.5 \cdot 10^6$ barns, $\lambda_2 = 2.1 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $\gamma_1 + \gamma_2 = 0.059$, $\frac{\Sigma_f}{\Sigma_u} = 0.84$. Posto $\Phi_0 \simeq 10^{11}$ neutron $\text{Å/cm}^2 \text{ s}$ si ottiene

$$P_0 \simeq 8 \cdot 10^{-15} \Phi_0$$

Posto $\Phi_0 \simeq 10^{15}$ neutron $\text{Å/cm}^2 \text{ s}$ possiamo scrivere

$$P_{\text{lim}} = (\gamma_1 + \gamma_2) \frac{\Sigma_f}{\Sigma_u} = 0.05 \quad \text{disponendo di } U^{235}$$

Questo è il valore massimo per l'avvelenamento durante il funzionamento: circa il 5% dei neutroni termici sono assorbiti dal veleno. Riassumiamo nella seguente tabella

Φ_0	P_0
10^{12}	0.7/100
10^{13}	3/100
10^{14}	4.6/100
10^{15}	4.8/100

Il legame esistente tra avvelenamento calcolato e reattività ρ del reattore può essere derivato come segue. Dei quattro fattori componenti il K_∞ solo f può considerarsi variato a causa dei veleni. Quindi, se il leakage di neutroni non è influenzato dai veleni, K sarà proporzionale a f .

$$f = \frac{1}{1 + \Sigma_m/\Sigma_u} \quad \text{relativo a combustibile e moderatore}$$

$$f^* = \frac{1}{1 + \Sigma_m/\Sigma_u + P} \quad \text{relativo anche ai veleni}$$

e dunque

$$\frac{K_{eff}^* - K_{eff}}{K_{eff}^*} = \frac{f^* - f}{f^*} = - \frac{P}{1 + \Sigma_m/\Sigma_u}$$

Se il reattore è critico senza veleni ($K_{eff} = 1$) allora l'ultima relazione diventa equivalente alla reattività ρ senza veleni:

$$\rho = - \frac{P}{1 + \Sigma_m/\Sigma_u}$$

Xe¹³⁵ – Shut down

Dopo lo shut down del reattore il decadimento dello Iodio prosegue aumentando così la concentrazione di Xe¹³⁵. La figura 1, richiamando un impianto idraulico, spiega intuitivamente gli eventi.

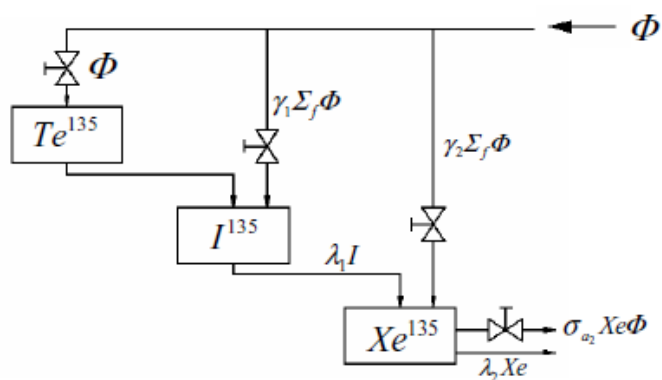


Figura 1: Shut down di Xe^{135} .