Appunti di Fisica del Reattore nucleare

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

1 Attività temporale di un reattore termico spoglio

Si supporrà in prima approssimazione che tutti i neutroni emessi nei processi di fissione appaiano entro un tempo di 10^{-15} s, cioè considereremo solo *neutroni pronti.* Congiuntamente al problema della moltiplicazione neutronica è importante il tempo di generazione, definito come tempo medio tra due generazioni di fissione termica. Scriviamo

$$\text{tempo di rallentamento} + \text{tempo di diffusione} = \text{tempo di generazione}$$

Si assumerà trascurabile il primo rispetto al secondo. Ciò vale in un reattore grafite-U naturale, ma non per reattori in cui una parte apprezzabile di neutroni è generata da neutroni con energia maggiore di quella termica.

$$l_0 = \frac{\lambda_a}{v} = \frac{1}{\Sigma_a v} = \text{vita media in un mezzo infinito} \tag{1}$$
$$l = \frac{l_0}{1 + L^2 B^2} = \text{vita media in un mezzo finito}$$

La trattazione riguarderà un reattore termico, spoglio e omogeneo, sebbene molte delle conclusioni generali siamo estendibili a reattori con riflettori ed eterogenei. L'equazione di diffusione per lo stato non-stazionario è

$$D\nabla^2\Phi - \Sigma_a\Phi + S = \frac{1}{v}\frac{\partial\Phi}{\partial t} \tag{2}$$

Secondo la teoria dell'*età di Fermi* si ha:

$$S = q = pq^* = pQ\left(r,t\right)e^{-B^2\tau} = K_\infty \Sigma_a \Phi e^{-B^2\tau} \tag{3}$$

dove $K_\infty \Sigma_a \Phi$ =q.tà neutroni termici/cm^3 / s in un mezzo infinito senza perdite. $e^{-B^2\tau}$ =probabilità di non fuggire e dunque probabilità di pervenire all'età di Fermi. Scriveremo allora:

$$\nabla^2\Phi - \Sigma_a\Phi\left(K_\infty e^{-B^2\tau} - 1\right) = \frac{1}{v}\frac{\partial\Phi}{\partial t} \Longrightarrow L^2\nabla^2\Phi + \left(K_\infty e^{-B^2\tau} - 1\right)\Phi = \frac{1}{\Sigma_a v}\frac{\partial\Phi}{\partial t} \tag{4}$$
$$\Longrightarrow L^2\nabla^2\Phi + \left(K_\infty e^{-B^2\tau} - 1\right)\Phi = l_0\frac{\partial\Phi}{\partial t}$$

Supponiamo che $\Phi\left(r,t\right) = \Phi\left(r\right)T\left(t\right)$. Scriveremo

$$\frac{L^2\nabla^2\Phi}{\Phi\left(r\right)} + \left(K_\infty e^{-B^2\tau} - 1\right) = \frac{l_0}{T\left(t\right)}\frac{dT}{dt} \tag{5}$$

Si supponga che al tempo $t = 0$ il K subisca una brusca variazione e poi rimanga costante (funzione a scalino). Ricordando l'equazione d'onda

$$\nabla^2\Phi + B^2\Phi\left(r\right) = 0 \Longrightarrow -B^2 = \frac{\nabla^2\Phi}{\Phi\left(r\right)} \quad \text{e sostituendo} \tag{6}$$

$$\frac{K_\infty e^{-B^2\tau}}{1+L^2B^2}-1=\frac{l_0}{1+L^2B^2}\frac{1}{T\left(t\right)}\frac{dT}{dt} \tag{7}$$

dove

$$\frac{K_\infty e^{-B^2\tau}}{1+L^2B^2}=K_{eff} \tag{8}$$

$$K_{ecc}=K_{eff}-1=\text{fattore di moltiplicazione d'eccesso} \tag{9}$$

$$\Longrightarrow K_{ecc}=\frac{1}{T\left(t\right)}\frac{dT}{dt}\Longrightarrow T\left(t\right)=const\cdot\exp\left(\frac{K_{ecc}}{l}t\right)$$

Quindi

$$\Phi\left(r,t\right)=\Phi\left(r\right)const\cdot\exp\left(\frac{K_{ecc}}{l}t\right)\Longrightarrow\Phi\left(r,0\right)=\Phi\left(r\right)const=\Phi_0\left(r\right)$$

Cioè

$$\Phi\left(r,t\right)=\Phi_0\left(r\right)\exp\left(\frac{K_{ecc}}{l}t\right) \tag{10}$$

Il tempo richiesto per il flusso di cambiare di un fattore "e" è il **periodo del reattore**

$$T=\frac{1}{K_{ecc}} \tag{11}$$