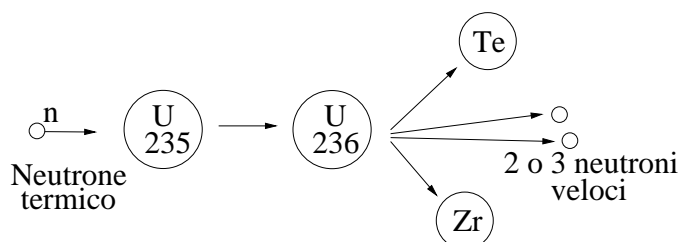


# La moderazione dei neutroni veloci

Giuseppe Dalba

In questi appunti vogliamo mostrare come è possibile moderare la velocità dei neutroni in una reazione nucleare e perchè questo è importante. Cominciamo col dire che, affinché i neutroni prodotti in un processo di fissione possano costituire proiettili utili per indurre un nuovo processo di fissione, è necessario che essi vengano rallentati.

La probabilità con cui un neutrone urtante un nucleo fissile può indurre la fissione dipende infatti marcatamente dalla velocità del neutrone. I neutroni “lenti” sono più efficaci di quelli “veloci”. Un neutrone prodotto in un reazione nucleare può avere velocità dell’ordine di  $10^4$ Km/sec, mentre un neutrone lento o “termico” ha velocità dell’ordine di 1Km/sec.



I moderatori in un reattore nucleare (essi vengono usati nei reattori ad uranio minerale e non in quelli ad uranio arricchito) hanno la funzione di rallentare i neutroni veloci. Un buon moderatore deve ovviamente rallentare i neutroni senza assorbirli. Esistono diversi tipi di moderatori: quelli ad acqua sono alquanto assorbenti, mentre quelli ad “acqua pesante” ( $D_2O$ , dove gli atomi di idrogeno sono sostituiti da atomi di deuterio) sono i migliori perchè hanno un basso assorbimento. Esistono anche moderatori a grafite ( $C_{12}$ ) in cui, dopo circa 20 urti i neutroni vengono rallentati alla giusta velocità; occorre però una massa di grafite molto grande per ottenere lo stesso effetto dell’acqua pesante. In questo caso il combustibile viene inserito direttamente nei moderatori.

Analizziamo ora come un neutrone perde la sua energia cinetica per collisione elastica con gli atomi del moderatore. Consideriamo un neutrone di massa  $m$  contro un nucleo atomico di massa  $M$ , inizialmente fermo ed indichiamo con  $T$  e  $T'$  l’energia cinetica di  $m$  prima e dopo l’urto:

$$T = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{e} \quad T' = \frac{1}{2}mv'^2$$

Quantifichiamo la perdita di energia attraverso la frazione  $f = (T - T')/T$ ; calcolare la velocità finale del neutrone è un semplice problema di meccanica (le velocità si invertono nel riferimento del centro di massa quindi  $v' = -v + 2v_{CM}$ ), pertanto otteniamo, in funzione del rapporto delle masse  $R = M/m$ :

$$f = \frac{T - T'}{T} = 1 - \left(\frac{v'}{v}\right)^2 = 1 - \left(\frac{m-M}{m+M}\right)^2 = \frac{4mM}{(m+M)^2} = \frac{4R}{(1+R)^2}$$

Vediamo dunque che la perdita di energia dipende fortemente dal rapporto fra le masse  $m$  ed  $M$ . I neutroni sono poco rallentati da una lastra di piombo ( $R \sim 200$ ) spessa 50cm, mentre sono completamente assorbiti da uno strato di paraffina, cioè da materiale idrogenato ( $R \sim 1$ ) spesso 20cm. Nel caso dell’acqua pesante abbiamo infine  $R \sim 2$ :

$$f_{\text{piombo}} \sim \frac{800}{200^2} \sim 2\% \quad \text{e} \quad f_{\text{idrogeno}} \sim \frac{4}{2^2} \sim 100\% \quad \text{e} \quad f_{\text{deuterio}} \sim \frac{8}{3^2} \sim 89\%$$