

POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

I SESSIONE - ANNO 1998

Ramo: Ingegneria Nucleare

Tema N. 1

Valutazione delle prestazioni neutroniche e del livello di sicurezza di un dispositivo moltiplicante per applicazioni biomediche e/o energetiche.

Entro un dispositivo moltiplicante sperimentale, assimilabile ad uno slab omogeneo di spessore estrapolato H , $\left(x \in \left[-\frac{H}{2}, \frac{H}{2}\right]\right)$, sottocritico, agisce una sorgente neutronica impressa, simmetrica rispetto al piano $x = 0$, che, in una modellizzazione a due gruppi energetici, può essere scritta come segue:

$$\begin{aligned} |S(x)\rangle &\doteq \left\langle \begin{array}{c} -\frac{S_F(x)}{D_F} \\ -\frac{S_T(x)}{D_T} \end{array} \right\rangle = \left\langle \begin{array}{c} -\frac{\bar{S}_F}{D_F} \cdot A(\xi) \cdot [\varphi_0(x) + \xi \cdot \varphi_1(x)] \\ -\frac{\bar{S}_T}{D_T} \cdot A(\xi) \cdot [\varphi_0(x) + \xi \cdot \varphi_1(x)] \end{array} \right\rangle \equiv \\ &\equiv \left\langle \begin{array}{c} -\frac{\bar{S}_F}{D_F} \\ -\frac{\bar{S}_T}{D_T} \end{array} \right\rangle A(\xi) \cdot [\varphi_0(x) + \xi \cdot \varphi_1(x)] \doteq |\bar{S}\rangle A(\xi) \cdot [\varphi_0(x) + \xi \cdot \varphi_1(x)], \end{aligned} \quad (1)$$

essendo \bar{S}_F e \bar{S}_T due costanti reali positive e le

$$\varphi_n(x) \doteq \sqrt{\frac{2}{H}} \cdot \cos\left(\frac{2n+1}{H}\pi x\right), \quad (n = 0, 1, 2, \dots, \infty), \quad (2)$$

le successive autofunzioni normalizzate e pari del problema di Helmholtz nello slab. Esse sono associate agli autovalori $B_n^2 = -(2n + 1)^2 \cdot \left(\frac{\pi}{H}\right)^2$.

Il parametro reale ξ è variabile nell'intervallo $\left[-1, \frac{1}{3}\right]$. Inoltre

$$A(\xi) \doteq \frac{1}{\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} [\varphi_0(x') + \xi \cdot \varphi_1(x')] dx'} \doteq \frac{1}{H(\hat{\varphi}_0 + \xi \cdot \hat{\varphi}_1)}, \quad (3)$$

dove con " ^ " si sono contrassegnati i valori medi spaziali delle autofunzioni..

Dalle precedenti definizioni si deduce che:

1. la sorgente immette complessivamente nel sistema, in ogni secondo, \bar{S}_F neutroni veloci e \bar{S}_T neutroni termici, con identico profilo spaziale e con *spettro di sorgente*, definito dal rapporto $\frac{\bar{S}_F}{\bar{S}_T}$, per ora arbitrario;

2. al variare di ξ in $\left[-1, \frac{1}{3}\right]$ i due massimi spaziali dell'immissione neutronica primaria si spostano dalla periferia verso il centro, dove confluiscono per $\xi = \frac{1}{3}$.

Si introduca poi un *fattore di amplificazione neutronica* $K(\xi)$ per lo slab, mediante la definizione:

$$K(\xi) \doteq \frac{2 \left[J_F\left(\frac{H}{2}\right) + J_T\left(\frac{H}{2}\right) \right]}{\bar{S}_F + \bar{S}_T} \quad (4)$$

essendo J_F e J_T le correnti neutroniche nette.

È richiesto di:

D1. Valutare i flussi neutronici, termico e veloce, intrattenuti dalla sorgente 1 nello slab.

D2. Calcolare $K(\xi)$ e verificare che

$$\lim_{\mu^2 \rightarrow (B_0^2)^-} K(\xi) = +\infty, \quad \forall \xi \in \left[-1, \frac{1}{3}\right].$$

Dare una spiegazione intuitiva di questo risultato.

D3. Dimostrare che, ove venisse fissato un particolare spettro di sorgente mediante la proporzione

$$\frac{\bar{S}_F}{D_F} : \frac{\bar{S}_T}{D_T} = 1 : \psi_1^{(2)},$$

il conseguente *spettro neutronico* locale $\frac{\Phi_F(x)}{\Phi_T(x)}$, intrattenuto nello slab, risulterebbe indipendente dal posto, per qualsiasi valore di ξ .

D4. Paragonare lo *spettro neutronico* sopra trovato con quello che si instaurerebbe, a prescindere dalla geometria, in un reattore critico, nudo, realizzato con lo stesso mezzo moltiplicante.

D5. Verificare, a conferma di quanto trovato in D2, che, fissata la sorgente 1 , i flussi neutronici, in tutti i punti interni allo slab, tenderebbero a divergere a seguito di una modifica della moltiplicatività del mezzo, che lo facesse avvicinare allo stato critico. E ciò indipendentemente dalla scelta dello spettro della sorgente impressa e dalla sua forma, ossia dal valore di ξ .

Quali forme spaziali assumerebbero i flussi persistenti avvicinandosi alla criticità e quale sarebbe il valore limite dello spettro?

Si supponga ora di dover impiegare i neutroni uscenti dallo slab come *sorgente secondaria* per particolari tecniche radioterapiche, da praticarsi ad una certa distanza dai piani $x = \pm(H/2)$ e previa interposizione di opportune guide neutroniche.

Nell'ipotesi che lo spettro dei neutroni emergenti dallo slab risultasse troppo molle, nonostante che per la sorgente primaria fosse già stato scelto il massimo valore ammissibile per il rapporto $\frac{\bar{S}_F}{\bar{S}_T}$, si richiede di :

D6. discutere a quali ulteriori tecniche e/o dispositivi si potrebbe ancora ricorrere per indurire, fino al valore richiesto per la terapia, lo spettro neutronico emergente.

D7. Per ragioni di *sicurezza* nell'operazione di **strutture sottocritiche** e' usualmente imposto di non superare un prescritto valore del loro $k_{eff} < 1$. Si descriva sommariamente qualche esperimento *dinamico*, da effettuarsi sullo slab in esame, mediante il quale sia possibile documentare il rispetto della normativa circa il livello di sottocriticita'.

Nota

Si diano ordinatamente le risposte R1, R2,R7 alle domande D1, D2,D7, dando alla trattazione la veste di una *relazione tecnica*. Le minute non potranno essere prese in considerazione dalla Commissione.