POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

II SESSIONE - ANNO 1996

Ramo: Ingegneria Nucleare — Tema N. 1

Su un'analisi di fattibilità per Sistemi Sottocritici di Potenza

Premessa. È di grande attualità lo sviluppo delle tecnologie dei sistemi a fissione sottocritici, attivati da sorgenti neutroniche impresse, destinati sia alla produzione di energia che alla trasmutazione nucleare di attinidi e/o scorie a vita lunga.

Gli studi preliminari su questi dispositivi devono fondarsi su una corretta valutazione degli effetti statici e dinamici che derivano dall'azione, entro un mezzo moltiplicante assegnato, di opportune sorgenti neutroniche impresse.

Oggetto di questo tema è appunto uno studio preliminare e molto settoriale in questo campo di ricerca, effettuato con *il massimo di ipotesi semplificatrici.*

* * *

Si consideri una struttura moltiplicante omogenea, sferica (di raggio estrapolato R = 150 cm), della quale sono assegnati (in nomenclatura standard) i seguenti valori per le costanti diffusive a due gruppi energetici (F = Gruppo Veloce; T = Gruppo Termico):

Tabella 1

$\nu_F = \nu_T \equiv \nu = 2.418$; $\nu\Sigma_{f,F} = 0.00\ \text{cm}^{-1}$; $\nu\Sigma_{f,T} = 1.9281 \cdot 10^{-3}\ \text{cm}^{-1}$; $\Sigma_{F\to T} = 0.00970\ \text{cm}^{-1}$;

$\Sigma_{r,F} \equiv \Sigma_{F\to T} + \Sigma_{c,F}$; $\Sigma_{c,F} = 0.00$; $\Sigma_{a,T} \equiv \Sigma_{f,T} + \Sigma_{c,T} = 1.433656 \cdot 10^{-3}\ \text{cm}^{-1}$; $D_F = 1.31$ cm;

$D_T = 0.966$ cm; $\chi_F = 1$; $\chi_T = 0$. (È un core ad alto flusso, per trasm. di scorie).

Su tale struttura agisce una sorgente neutronica impressa, stazionaria, a spettro di emissione fissato, spazialmente disposta secondo l'armonica fondamentale del problema di Helmholtz nella sfera. Essa avrà dunque la forma seguente:

$$|S(r)\rangle = \left| \begin{matrix} \dfrac{-S_F}{D_F} \cdot \dfrac{sin(\frac{\pi}{R} \cdot r)}{r} \\ \dfrac{-S_T}{D_T} \cdot \dfrac{sin(\frac{\pi}{R} \cdot r)}{r} \end{matrix} \right\rangle ,$$

ove le S_F ed S_T, costanti non negative e note, rappresentano le effettive densità di sorgente di gruppo. Le proiezioni $s_k(r)$ di questo vettore di sorgente impressa su ciascuno degli autovettori $\langle \psi_k |$, aggiunti agli autovettori $|\psi_k\rangle$, $(k = 1, 2)$, costituenti la *base biortogonale completa* associata alla matrice delle costanti materiali del mezzo, saranno di conseguenza:

$$s_k(r) \equiv \langle \psi_k | S(r) \rangle = \langle \psi_k^{+(1)}, \psi_k^{+(2)} | \cdot \left| \begin{matrix} \dfrac{-S_F}{D_F} \\ \dfrac{-S_T}{D_T} \end{matrix} \right\rangle \cdot \frac{sin(\frac{\pi}{R} \cdot r)}{r} = s^*_k \cdot \frac{sin(\frac{\pi}{R} \cdot r)}{r} .$$

In generale *entrambe* le $s_k(r)$ saranno diverse da zero.

* * *

È richiesto di:

- **D1)** Calcolare il k_{eff} della struttura di cui alla tabella 1, ed accertarsi che essa risulti *sottocritica.*

- **D2)** Verificare che il "vettore flusso" (a componenti veloce e termica) in risposta stazionaria alla sopracitata sorgente dovrà necessariamente avere la forma seguente (μ^2 e $-\nu^2$ sono i due buckling materiali della teoria a due gruppi e si è scelto convenzionalmente $\psi_k^{(1)} \equiv 1, \quad \forall k$):

$$|\Phi(r)\rangle \equiv \left| \begin{matrix} \Phi_F(r) \\ \Phi_T(r) \end{matrix} \right\rangle = \left| \begin{matrix} \left[\dfrac{s^*_1}{\mu^2 - (\frac{\pi}{R})^2} - \dfrac{s^*_2}{\nu^2 + (\frac{\pi}{R})^2} \right] \\ \left[\psi_1^{(2)} \cdot \dfrac{s^*_1}{\mu^2 - (\frac{\pi}{R})^2} - \psi_2^{(2)} \cdot \dfrac{s^*_2}{\nu^2 + (\frac{\pi}{R})^2} \right] \end{matrix} \right\rangle \cdot \frac{sin(\frac{\pi}{R} \cdot r)}{r} .$$

Si osservi che anche la soluzione risulta disposta secondo l'autofunzione fondamentale, nonché, ovviamente, a variabili spazio-energetiche "*separate*", come c'era da attendersi.

- **D3)** Stabilire che, ove si scegliessero, per particolarizzare uno "*spettro di sorgente impressa*", $S_F > 0$ ed $S_T \equiv 0$, si instaurerebbe nel mezzo iniettato uno *spettro energetico dei neutroni*, naturalmente ancora indipendente dal posto, ma "*più duro*" rispetto a quello che caratterizzerebbe stazionariamente il materiale della struttura nel caso che ad esso venissero date dimensioni critiche.

- **D4)** Verificare che, se si imponesse invece $S_F \equiv 0$ ed $S_T > 0$, ne risulterebbe uno spettro neutronico "*più molle*" che nel corrispondente stato di reattore critico.

- **D5)** Dimostrare che, a prescindere dallo spettro di sorgente adottato (e, quindi, anche nei casi estremi, quali quelli di cui ai due punti precedenti), quando il sottocritico si avvicina alla criticità, lo spettro energetico del flusso in esso intrattenuto stazionariamente deve tendere *comunque* ad assumere quelle stesse caratteristiche che esso avrebbe nel materiale moltiplicante considerato, ove il materiale stesso si trovasse ad operare in condizioni critiche. Verificare inoltre che, nel caso si realizzasse, con qualsiasi modifica arbitraria del sistema, una situazione di avvicinamento alla criticità, la potenza stazionaria di risposta a una generica *sorgente limitata* dovrebbe necessariamente *divergere*.

- **D6)** Fissato ora un particolare spettro di sorgente col porre $S_F = 1$ ed $S_T = 0$, *si descriva* il procedimento con cui sarebbe possibile, nell'ipotesi di poter *non* modificare gli altri parametri, *determinare* un nuovo valore di $\nu\Sigma_{f,T}$, per il quale il numero di neutroni termici che sfuggono stazionariamente dal contorno risulti 10^3 volte maggiore di quello dei neutroni globalmente immessi dalla sorgente. Si indichi poi come calcolare, in questa nuova situazione, la *potenza totale stazionaria* del sistema sottocritico. E' opzionale ora la esecuzione esplicita dei calcoli di cui sopra.

* * *

Si supponga ora che il sottocritico in esame abbia funzionato, fino all'istante $t = 0$, alla potenza in esso intrattenuta dalla particolare sorgente sotto riportata:

$$S_o(r) = 10^{10} \cdot \left| \begin{matrix} 1 \\ \psi_1^{(2)} \end{matrix} \right\rangle \cdot \frac{sin(\frac{\pi}{R} r)}{(\frac{\pi}{R} r)} [n \cdot cm^{-3} \cdot s^{-1}] \ .$$

All' istante $t = 0$ tale sorgente verrà azzerata istantaneamente.

- **D7) Si determini** il *transitorio di spegnimento* del sottocritico, evidenziando, tramite il modello matematico, le ragioni fisiche per cui nemmeno un reattore iniettato potra' mai essere spento di colpo, neppure se si procedesse alla *disattivazione* istantanea della sorgente.

[Si potrà qui assumere, al fine di facilitare i calcoli, che dalle costanti di Tabella 1 a due gruppi venga dedotto un "ragionevole" set equivalente di costanti ad un gruppo (ad es. con $D = \frac{1}{2} \cdot (D_F + D_T)$; $L^2 = L_F^2 + L_T^2$; $k_\infty = ...$), facendo in modo, naturalmente, che il corrispondente k_{eff} ad un gruppo risulti uguale a quello che caratterizzava il sottocritico per $t < 0$. Si semplifichi poi il modello dinamico ad un gruppo introducendo ulteriormente *una sola famiglia di precursori*, avente $\lambda = 0.077 \ s^{-1}$ e $\beta = 0.0065$. Si assuma inoltre come flusso iniziale $\Phi_0(r)$ ad un gruppo lo stesso $\Phi_T(r)$ intrattenuto dalla sorgente per $t < 0$, mentre il valore di $C_0(r)$ dovrà essere ovviamente coerente con lo stato del sistema per $t < 0$. Alternativamente sarà ammesso di calcolare la sola *parte asintotica* del transitorio di spegnimento, usando però la teoria dinamica a due gruppi neutronici, con precursori. Si faccia riferimento, anche in questo caso, all'unica famiglia di cui sopra.]

Note. Prima di dare risposte numeriche si abbia sempre cura di sviluppare e riportare le formule analitiche da cui i valori numerici andranno dedotti.

La mancata valutazione di un risultato non è così grave come l'adozione di una formula errata.

Alle domande D1, D2, ..., D7 si diano ordinatamente le risposte R1, R2, ..., R7, curando che la forma dell'elaborato abbia la chiarezza e la precisione richieste in una *relazione tecnica professionale*.

Le minute non saranno prese in considerazione dalla Commissione Esaminatrice.