

POLITECNICO DI TORINO  
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE  
ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

I SESSIONE - ANNO 2007

Ramo: Ingegneria Nucleare

Tema N.1

Alcune indagini su un dispositivo sperimentale sottocritico, a due regioni moltiplicanti, non riflesso ed attivabile mediante una sorgente neutronica impressa.

## 1 Premessa e ipotesi di base.

Un dispositivo moltiplicante a fissione, da installarsi presso il Laboratorio Sperimentale di un Istituto di Ricerca, può essere schematizzato, al fine di alcune valutazioni preliminari, come l'insieme di due lastre piane indefinite (slabs), costituite da due differenti materiali moltiplicanti omogenei. Nel dispositivo assemblato, oggetto della presente analisi, i due slabs sono interfacciati e messi l'uno a stretto contatto con l'altro, attraverso il piano che chiameremo  $x = 0$ . Il primo slab, di spessore  $a$  [cm], risulterà così compreso tra i piani  $x = -a$  e  $x = 0$ , mentre il secondo, di spessore  $b$  [cm], si estenderà tra i piani  $x = 0$  e  $x = b$ . Per ciascuno dei due mezzi moltiplicanti, costituenti questo reattore, sono noti ed assegnati i valori di tutti i parametri materiali, necessari per caratterizzare il mezzo stesso nell'ambito di una *teoria diffusiva a due gruppi energetici*. In tale contesto teorico dovrà essere svolta la nostra analisi.

Al fine di poter valutare, almeno in linea di massima, e, se del caso, ottimizzare le prestazioni del dispositivo, partendo da un *calcolo di riferimento affidabile*, preliminarmente all'installazione dell'attrezzatura nel proprio laboratorio, il Direttore della Divisione Sperimentale aveva richiesto ad altra Divisione dell'Istituto, quella Teorica, di determinare, *in forma esclusivamente analitica e nell'ambito di una teoria a due gruppi*, l'equazione critica per i dispositivi del tipo di quello preso in considerazione.

La risposta della Divisione Teorica è ripotata in sintesi qui appresso.

### 1.1 L'equazione critica dedotta dai Teorici

La Divisione Teorica comunica che, nella deduzione analitica e nella presentazione dell'eq. critica richiesta:

i) è stata usata la classica nomenclatura della fisica dei reattori a fissione;

ii) si è convenuto, inoltre, di caratterizzare con un indice meno (-) apposto in alto, tutte le grandezze fisiche e le varie funzioni che si riferiscono allo slab con le  $x$  negative e con un indice più (+) quelle relative allo slab con le  $x$  positive;

iii) nella determinazione degli integrali generali dei due sistemi di eqq. della diffusione si è fatto ricorso, in ciascuna regione omogenea, alla tecnica di disaccoppiamento formale detta degli "**pseudo-potenziali**". Tale tecnica, e la particolare nomenclatura che vi si riferisce, è considerata ben nota, non solo ai Teorici, ma anche agli Sperimentatori del laboratorio ;

iv) come pseudo-potenziali  $f_j^-(x)$  e  $f_j^+(x)$ , ( $j = 1, 2$ ), sono state introdotte, per  $x \in [-a, 0[$  e per  $x \in ]0, b]$ , rispettivamente, le 4 funzioni

$$f_1^-(x) = A_1^- \sin(\mu^-(x+a)); \quad f_1^+(x) = A_1^+ \sin(\mu^+(x-b));$$

$$f_2^-(x) = A_2^- \sinh(\nu^-(x+a)); \quad f_2^+(x) = A_2^+ \sinh(\nu^+(x-b)),$$

le 4 residue costanti d'integrazione  $A_j^\mp$ , ( $j = 1, 2$ ), o meglio, *i rapporti di tre di esse ad una scelta ad arbitrio*, risultando determinabili in base alle condizioni di saldatura dei flussi neutronici e delle correnti attraverso il piano  $x = 0$ .

v) Sono state sfruttate, per ciascuna regione omogenea, le ben note dipendenze funzionali dei flussi, veloce (pedice  $F = \text{fast}$ ) e termico (pedice  $T = \text{thermal}$ ), dagli pseudo-potenziali. Per completezza esse vengono qui richiamate:

$$\Phi_F^{\mp}(x) = f_1^{\mp}(x) + f_2^{\mp}(x);$$

$$\Phi_T^{\mp}(x) = \psi_1^{(2)\mp} \cdot f_1^{\mp}(x) + \psi_2^{(2)\mp} \cdot f_2^{\mp}(x).$$

✓) Nel processo di deduzione dell'eq. critica sono state espresse, innanzitutto, le due costanti  $A_j^{\pm}$ , ( $j = 1, 2$ ), come funzioni lineari delle altre due  $A_i^{\pm}$ , ( $i = 1, 2$ ), sfruttando le saldature dei flussi all'interfaccia. Successivamente, dopo che sono state imposte anche le saldature delle correnti, è stata esplicitata la *condizione di simultanea determinabilità delle  $A_i^{\pm}$* , ( $i = 1, 2$ ) stesse (dalla quale si potrà però dedurre *esclusivamente* il valore del rapporto  $A_1^{\pm}/A_2^{\pm}$ ). E' proprio con quest'ultima condizione che si identifica l'eq. critica del dispositivo.

✓i) Al fine di semplificare la scrittura, sono state introdotte preliminarmente le segg. definizioni:

$$\alpha_{11} = \frac{[\psi_1^{(2)+} - \psi_2^{(2)-}] \sin(\mu^+ b)}{[\psi_2^{(2)-} - \psi_1^{(2)-}] \sin(\mu^- a)}; \quad \alpha_{12} = \frac{[\psi_2^{(2)+} - \psi_2^{(2)-}] \sinh(\nu^+ b)}{[\psi_2^{(2)-} - \psi_1^{(2)-}] \sin(\mu^- a)};$$

$$\alpha_{21} = \frac{[\psi_1^{(2)-} - \psi_1^{(2)+}] \sin(\mu^+ b)}{[\psi_2^{(2)-} - \psi_1^{(2)-}] \sinh(\nu^- a)}; \quad \alpha_{22} = \frac{[\psi_1^{(2)-} - \psi_2^{(2)+}] \sinh(\nu^+ b)}{[\psi_2^{(2)-} - \psi_1^{(2)-}] \sinh(\nu^- a)},$$

che entreranno nella formula dell' eq. critica.

**L'equazione critica dei reattori a doppio slab**, ricavata in accordo con le premesse e le definizioni di cui sopra, si presenta sotto la forma di un determinante  $\Delta_{2 \times 2}$ , eguagliato a zero. Gli elementi di matrice  $\delta_{ij}$ , ( $i, j = 1, 2$ ) del determinante stesso sono riportati qui sotto.

$$\delta_{11} = \alpha_{11} \mu^- \cos(\mu^- a) + \alpha_{21} \nu^- \cosh(\nu^- a) - \frac{D_F^+}{D_F} \mu^+ \cos(\mu^+ b);$$

$$\delta_{12} = \alpha_{12} \mu^- \cos(\mu^- a) + \alpha_{22} \nu^- \cosh(\nu^- a) - \frac{D_F^+}{D_F} \nu^+ \cosh(\nu^+ b);$$

$$\delta_{21} = \alpha_{11} \psi_1^{(2)-} \mu^- \cos(\mu^- a) + \alpha_{21} \psi_2^{(2)-} \nu^- \cosh(\nu^- a) - \frac{D_T^+}{D_T} \psi_1^{(2)+} \mu^+ \cos(\mu^+ b);$$

$$\delta_{22} = \alpha_{12} \psi_1^{(2)-} \mu^- \cos(\mu^- a) + \alpha_{22} \psi_2^{(2)-} \nu^- \cosh(\nu^- a) - \frac{D_T^+}{D_T} \psi_2^{(2)+} \nu^+ \cosh(\nu^+ b).$$

Con l'apparentemente semplice formula:

$$\boxed{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21} = 0,}$$

la quale rappresenta, in realtà, un legame assai intricato tra grandezze nucleari e dimensioni geometriche dei due slabs, si conclude la prestazione dei Teorici.

Sia a causa della modesta fiducia che gli Sperimentatori ripongono nei Teorici (e viceversa!), sia per approfondire ulteriori questioni relative al dispositivo in esame e alla sua sicurezza, il Direttore della Divisione Sperimentale ha formulato ai suoi collaboratori una serie di quesiti. Proprio la risposta a tali quesiti costituirà il principale oggetto del presente tema d'esame.

## 2 Quesiti ai Candidati

I quesiti sono i seguenti:

**D1** La scelta dei quattro pseudo-potenziali effettuata dai Teorici è da ritenersi adeguata o no? Come la si può giustificare, posto che negli integrali generali dei flussi delle due regioni sarebbe stato ragionevole attendersi la comparsa di ben otto costanti arbitrarie?

**D2** L'equazione critica trovata è davvero corretta? Se no, come andrebbe modificata?

**D3** Un'ovvia condizione necessaria (ma non sufficiente!), affinché la eq. critica dedotta per un reattore a doppio slab sia corretta è la seguente: nel *caso particolare* in cui, per i due slabs, si assumano composizioni materiali identiche ed un identico spessore  $a$ , tale eq. deve ridursi, in teoria a due gruppi, alla condizione di criticità semplicissima,  $\mu^2 = (\pi/2a)^2$ , che caratterizza un singolo slab omogeneo, di spessore  $2a$ . Verificare, partendo dall'eq critica proposta dei Teorici, se ciò accade o meno.

**D4** Anche se l'eq. critica dei Teorici fosse del tutto corretta, essa, sia per "variabili composizioni", sia per "variabili dimensioni" dell'apparato sperimentale, ammetterebbe pur sempre *infinite radici*. Con quale criterio si potrà stabilire se una radice trovata è proprio quell'unica, che risulta fisicamente significativa ai fini della criticità?

**D5** Supposto di partire da uno stato critico effettivo del dispositivo a due slabs, come si potrebbe modificare la sua struttura geometrico-materiale, al fine di renderla *certamente* sottocritica?

**D6** Si consideri ora che, ai fini della *sicurezza di esercizio* di un dispositivo sottocritico, si potrebbe ragionevolmente assumere, quale indicatore della sua "distanza dallo stato di criticità", la grandezza del valor assoluto della sua *costante di tempo asintotica* (costante che sarà necessariamente reale e negativa).

E' richiesto di descrivere (anche senza svilupparla analiticamente nei dettagli) una procedura idonea a determinare la costante di tempo asintotica per il reattore sottocritico a doppio slab in esame, nell'ambito di un modello dinamico a due gruppi energetici, che tenga conto di almeno una famiglia di precursori di neutroni ritardati. Si giustifichi, inoltre, (o, se del caso, si contesti) l'asserzione iniziale del presente quesito.

**D7** Al fine di attivare, ai fini sperimentali, il dispositivo a doppio slab in esame, dopo di averlo reso opportunamente sottocritico, si dovrà necessariamente inserire in esso un'adeguata sorgente neutronica impressa.

E' richiesto di *descrivere (anche senza svilupparla nei dettagli) una procedura analitica*, idonea a determinare, all'interno di tutto il dispositivo, i due flussi neutronici, nel caso che venga scelta una sorgente volumica impressa che sia: (i) indipendente dal tempo; (ii) spazialmente costante in tutto lo slab  $x \in [-a, 0]$  e nulla altrove; e che (iii) sia caratterizzata da uno spettro di emissione  $S_F/S_T$  ricavabile dall'espressione seguente:

$$[S_F/D_F^-]/[S_T/D_T^-] = [1/\psi_1^{(2)-}],$$

mentre il valore della costante  $S_F$  può essere scelto ad arbitrio.

## 3 Collaborazione con la Pubblica Amministrazione

**D8** Preso atto delle gravi anomalie del sistema elettrico italiano, che consistono essenzialmente nell'estrema precarietà degli approvvigionamenti d'idrocarburi, nelle diseconomie dovute o all'alto costo (petrolio, metano) o al potenziale inquinamento locale (carbone) dei combustibili fossili usati, nonché all'elevato grado di inquinazione complessiva di gas serra, viene richiesto al Candidato, nella sua qualità di esperto in questioni energetiche e nucleari, di sintetizzare, in non più di due cartelle, indirizzate al Ministro delle Attività Produttive, il suo punto di vista relativo ai *vantaggi economici, tecnologici, ecologici, occupazionali e di sicurezza degli approvvigionamenti*, che un ritorno all'**opzione nucleare** potrebbe arrecare al Paese.

Sarà opportuno far riferimento anche ai più recenti progressi delle tecnologie impiantistiche nel settore della sicurezza e ai nuovi possibili metodi di trasmutazione nucleare delle scorie radioattive a vita lunga.

**Nota** I Candidati sono invitati a fornire *ordinatamente* le risposte **R1, R2, ..., R8**, ai quesiti **D1, D2, ..., D8**, esprimendole nella forma tipica di una relazione professionale a carattere scientifico. Eventuali minute non potranno essere prese in considerazione dalla Commissione esaminatrice.