

POLITECNICO DI TORINO
ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE
ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
I SESSIONE - ANNO 2003

Ramo: Ingegneria Nucleare

Tema N.1

Analisi di un dispositivo sperimentale per l'amplificazione neutronica

1 Premessa

In un laboratorio per lo sviluppo di tecnologie energetico-nucleari e biomediche è installato un dispositivo moltiplicante cilindrico, omogeneo, non riflesso, progettato per la messa a punto di apparati di amplificazione neutronica.

Precedenti misurazioni effettuate sul materiale del dispositivo hanno permesso di determinare dei valori medi di β (frazione di secondari di fissione emessi con ritardo) e di λ (costante di decadimento media dei nuclidi precursori dei ritardati), che sono tali da garantire una ragionevole accuratezza alle correlazioni di misure dinamiche effettuate sul dispositivo, anche nel caso di adozione di una teoria cinetica elementare: ad es., equazione di diffusione monoenergetica per i neutroni, associata all'ipotesi di una sola famiglia di precursori di ritardati.

Nello svolgimento del presente tema sarà quindi consentito operare in un ambito teorico così semplificato.

Presso lo stesso laboratorio, inoltre, sono state messe a punto delle sofisticate tecniche sperimentali, che permettono di misurare la corrente neutronica uscente attraverso qualsiasi porzione esposta al vuoto del contorno di dispositivi diffondenti e/o moltiplicanti.

2 Esperimenti effettuati sul dispositivo

Nel sottocritico di cui sopra, che ha raggio estrapolato R e altezza $H = 1.80R$, viene inviato, a $t = 0$, un impulso istantaneo di A neutroni, distribuiti spazialmente secondo l'armonica fondamentale del problema di Helmholtz per la geometria cilindrica. Tale impulso è ben rappresentato dalla seguente formula (origine degli assi posta al centro di simmetria del cilindro):

$$S(r, z, t) = A \frac{J_0\left(\frac{2.4048}{R}r\right) \cos\left(\frac{\pi}{H}z\right)}{\int_0^R J_0\left(\frac{2.4048}{R}r'\right) 2\pi r' dr' \int_{-H/2}^{+H/2} \cos\left(\frac{\pi}{H}z'\right) dz'} \delta(t).$$

I tecnici del laboratorio misurano, inviando sul dispositivo una successione di impulsi ben distanziati tra loro ed effettuati in identiche condizioni sperimentali, la corrente neutronica che esce attraverso una delle basi del cilindro nel corso di ciascuno dei transitori di spegnimento innescati con un impulso.

Si trova sperimentalmente che il numero medio di neutroni che esce globalmente da una base del cilindro a seguito di un impulso vale $12.00 A$.

3 Quesiti al Candidato

E' richiesto al Candidato di:

D1 spiegare intuitivamente come possa accadere che, pur essendo iniettati in tutto il sistema soltanto A neutroni durante un impulso, possa poi fuoriuscire, nel corso del susseguente transitorio, (e da una sola delle

basi!), una quantità di neutroni ben 12 volte maggiore di quella iniettata. E ciò nonostante l'accertato stato di sottocriticità del dispositivo;

D2 descrivere una **procedura teorica**, mediante la quale sia possibile risalire dal risultato dell'esperimento sopra citato alla reattività ρ del sottocritico in esame. (Si noti che non è qui richiesta l'esplicitazione di un calcolo numerico, ma soltanto la messa a punto teorica di una procedura: anche introducendo, eventualmente, l'ulteriore ipotesi semplificativa che, essendo note per il materiale moltiplicante le grandezze D [cm], L^2 [cm²] e v [cm/s], esse vengano mantenute invariate, con opportuni accorgimenti, quando si modifica il k_∞ del materiale stesso).

Presso il laboratorio viene poi effettuata la valutazione numerica della reattività del sottocritico. Preso atto del valore effettivo della ρ , il Direttore della ricerca considera che tale valore sia troppo elevato e, quindi, fonte di potenziale pericolo per lo svolgimento della campagna sperimentale in programma.

Viene deciso quindi di ridurre la reattività di un $\Delta\rho$ di circa 400 pcm (parti per centomila).

Il Direttore propone di provvedere a tale riduzione, nell'ordine, coi seguenti tre metodi:

a) aumento di $\Delta\Sigma_c$ della sezione d'urto macroscopica di cattura parassita all'interno di un cilindretto, coassiale col sottocritico e di raggio $r_c = 0.1R$ e altezza H ;

b) aumento, spazialmente uniforme, di ΔD del coefficiente di diffusione in tutto il volume del sottocritico.

c) riduzione delle dimensioni del dispositivo, mantenendo invariato il rapporto R/H .

E' richiesto al candidato di:

D3 esplicitare due formule perturbative, in base alle quali si possano derivare, almeno in prima approssimazione, i valori di $\Delta\Sigma_c$ e di ΔD di cui sopra e indicare, inoltre, una formula che permetta di calcolare rigorosamente l'entità della riduzione di volume da apportare al dispositivo quando si adotta il metodo c).

D4 Illustrare fisicamente le ragioni che giustificano la prassi di "pesare una perturbazione di sezione d'urto macroscopica sul quadrato del flusso e una perturbazione di coefficiente di diffusione sul quadrato del gradiente spaziale del flusso stesso", ogni qual volta sia necessario valutare, in prima approssimazione, l'effetto di piccole perturbazioni dei parametri nucleari sulla reattività.

Dispositivi del tipo qui considerato sono studiati al fine di perfezionare le prestazioni di amplificatori neutronici che possano poi essere impiegati o come **preamplificatori** di una debole sorgente primaria, per attivare dei reattori sottocritici di potenza, oppure come **sorgenti neutroniche secondarie**, per applicazioni biomedicali. Rimarchevole, ad es., la pratica della cosiddetta "Boron Neutron Capture Therapy" per la cura dei tumori.

In quest'ottica, e nell'ipotesi che si disponga di una sorgente **stazionaria**, distribuita secondo l'armonica fondamentale, che immetta A neutroni la secondo, è richiesto al Candidato di:

D5 definire, per sottocritici di questo tipo, cilindrici o sferici, un opportuno parametro, che potremmo chiamare **fattore di amplificazione** F_A , idoneo a caratterizzarne le prestazioni dal punto di vista operativo. E accennare, anche sommariamente, alle **principali prescrizioni di sicurezza** cui ci si deve attenere nell'esercizio di un laboratorio del tipo di quello descritto nell'introduzione.

4 Collaborazione con la Pubblica Amministrazione

Si suppone ora che Il Candidato sia stato chiamato a far parte di una Commissione Consultiva per i Problemi Energetici, istituita presso un fantomatico "Ministero delle Attività Innovative". Viene richiesto al Candidato, in tutta fretta e, come al solito, senza dargli tempo per documentarsi, di

D6 redigere per l'On Ministro un sintetico promemoria (non più di una cartella!), che illustri i **vantaggi economici, ecologici, occupazionali, di sviluppo tecnologico e di diversificazione delle fonti** primarie, associati all'eventuale ritorno dell'Italia all'energetica da fissione per la generazione elettrica. Andrà evidenziata anche la maggiore accettazione sociale di cui potrebbero godere i sistemi sottocritici di potenza, attivati da acceleratore, rispetto alle centrali convenzionali. E dovrà essere posto nella giusta prospettiva il problema della trasmutazione e/o del condizionamento delle scorie radioattive a vita lunga.

Nota I Sigg. Candidati sono invitati a fornire **ordinatamente** le risposte **R1, R2, ..., R6**, ai quesiti **D1, D2, ..., D6**, esprimendole nella forma tipica di una relazione professionale a carattere tecnico-scientifico.

Eventuali minute non potranno essere prese in considerazione dalla Commissione.