POLITECNICO DI TORINO

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE
ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

II SESSIONE - ANNO 2007

Ramo: Ingegneria Nucleare Tema N.1

Oggetto del tema: studio preliminare di un dispositivo sperimentale sottocritico, attivato da una sorgente neutronica impressa e destinato all'irraggiamento neutronico di campioni.

1 Descrizione dell'apparecchiatura e ipotesi di base.

Un dispositivo moltiplicante a fissione, omogeneo e non riflesso, ha una forma cilindrica, le cui dimensioni estrapolate, uniche nei confronti dei neutroni di qualsiasi energia, sono, per il raggio, $R[cm]$ e, per l'altezza, $H = 6R[cm]$. Ne è previsto l'impiego come attrezzatura di laboratorio, finalizzata all'irraggiamento neutronico, in un campo a spettro energetico predeterminabile, di piccoli campioni, moderanti e/o moltiplicanti.

Vengono qui esaminate alcune fasi della messa a punto del dispositivo.

Per il materiale moltiplicante di base, con cui verrà costituito il dispositivo, sono note tutte le costanti materiali, che lo caratterizzano nell'ambito del classico modello diffusivo a due gruppi energetici (F = fast; T = thermal). All'interno di tale modello si opererà in tutto il seguito. E' noto poi che l'elevato potere moderante del mezzo preclude che in esso possano aver luogo fissioni indotte da neutroni del gruppo veloce. E' stato verificato inoltre che, con $R = 40.0\ cm$ e $H = 6R = 240.0\ cm$, il materiale moltiplicante di base raggiunge la criticità. Tali dimensioni verranno mantenute nel seguito.

Per rendere sottocritico il dispositivo, adattandolo così alle esigenze sperimentali, verrà inserito, uniformemente in tutto il suo volume, un veleno per neutroni termici, la cui sezione macroscopica di cattura parassita verrà indicata con Σ_{pT}, (p =poison). Essa andrà ad aggiungersi, in ciascun punto, alla sezione d'assorbimento termica di base, che vale $\Sigma_{aT} = \Sigma_{fT} + \Sigma_{cT}$. La presenza di questo veleno influenzerà sia il valore del k_∞ che quello dell'area di diffusione L_T^2 dei neutroni termici. Tutte le altre grandezze nucleari possono essere considerate insensibili all'introduzione del veleno.

2 Quesiti ai Candidati

E' richiesto ai Candidati di:

D1. verificare che il k_{eff} del cilindro è una funzione monotona decrescente di Σ_{pT}, la quale, ovviamente, parte dal valore $k_{eff} = 1$, che si riscontra, per quanto sopra detto, in corrispondenza di $\Sigma_{pT} = 0$;

D2. richiamare la forma spaziale dei flussi neutronici nel dispositivo critico e stazionario, nonché il valore dello spettro energetico, da intendersi, nel presente modello, come semplice rapporto $\Phi_F(r,z)/\Phi_T(r,z)$. Verificare che lo spettro risulti, come deve, indipendente dal posto;

D3. descrivere una procedura che, tenendo conto di almeno una famiglia di precursori di neutroni ritardati, (per la quale sono assegnati dei valori caratteristici di β e di λ , già opportunamente mediati), sia idonea a determinare il valore Σ_{pT}^* che dovrà assumere la Σ_{pT} , se si vuole che l'introduzione del veleno nel reattore produca uno stato di sottocriticità caratterizzato dall'avere un periodo stabile o asintotico $T_{as} = 25.0$ s , cui corrisponde il valore 0.04 s^{-1} per l'autovalore temporale fondamentale $\alpha_{fond} = 1/T_{as}$. Si indichi inoltre come si possano determinare i valori dei rapporti asintotici (C^{as} = concentrazione dei precursori):

$$\Phi_F^{as}(r,z,t) : \Phi_T^{as}(r,z,t) : C^{as}(r,z,t)$$

che si instaurano nella fase di spegnimento, e si verifichi che essi risultano indipendenti dal posto e dal tempo.

A questo punto, operando sul reattore, già reso sottocritico con l'inserimento della Σ_{pT}^* di cui sopra, si trasferisca omogeneamente tutta la sezione d'urto del veleno presente nel semicilindro (l'origine delle coordinate

cilindriche $r - z$ è posta a metà dell'asse) con $z > 0$ a quello con $z < 0$. Con ciò si realizza una situazione di avvelenamento asimmetrica, di intensità $2\Sigma^*_{pT}$ nella sola parte inferiore e nulla in quella superiore. Al fine di attivare il risultante sistema sottocritico, si inserisce poi, sul piano $z = 0$, una sorgente impressa, di spessore trascurabile e persistente nel tempo, che emette solo neutroni veloci ed è rappresentabile con la formula:

$$S_F(r,z) = S_0 \cdot \frac{J_0(\frac{j_{01}}{R}r)}{\left[2\pi \int_0^R J_0(\frac{j_{01}}{R}r')r'dr'\right]} \cdot \delta(z).$$

D4. Preso atto che i flussi neutronici stazionari, intrattenuti in regime sottocritico da una sorgente come quella di cui sopra, saranno certamente fattorizzabili, secondo le formule:

$$\begin{aligned} \Phi^{\pm}_F(r,z) &= J_0(\frac{j_{01}}{R}r) \cdot Z^{\pm}_F(z); \\ \Phi^{\pm}_T(r,z) &= J_0(\frac{j_{01}}{R}r) \cdot Z^{\pm}_T(z), \end{aligned}$$

ove il segno + si riferisce al semicilindro superiore, con $z \in]0, H/2]$ e il segno - a quello inferiore, con $z \in [-H/2, 0[$, si determinino i due flussi intrattenuti, in regime sottocritico e stazionario, dalla sorgente, all'interno di tutta la struttura.

Evidenziato poi che lo spettro energetico all'interno del reattore iniettato non può non essere funzione del posto,

D5. si indichi una procedura atta ad individuare il piano o i piani z = cost, sui quali lo spettro energetico nel reattore iniettato risulta identico a quello che si aveva ovunque nel reattore critico, non avvelenato, di cui all'inizio. Si valuti inoltre quanti neutroni termici sfuggono, attraverso la faccia superiore del cilindro avvelenato asimmetricamente, per ogni neutrone veloce emesso dalla sorgente.

3 Collaborazione con la Pubblica Amministrazione

D6. Ora che i 100$/barile non sono più una nefasta profezia della lobby nucleare ma una triste realtà, viene richiesto al Candidato, nella sua qualità di esperto in questioni energetiche e nucleari, di sintetizzare, in non più di due cartelle, ad uso del Ministro delle Attività Produttive, i *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, ..., R6, ai quesiti D1, D2, ..., D6, esprimendole nella forma tipica di una relazione professionale a carattere scientifico. Eventuali minute non potranno essere prese in considerazione dalla Commissione esaminatrice.