

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

ANNO 2010. PRIMA SESSIONE

Ramo: Ingegneria Nucleare.

Tema N.1

Oggetto del tema: *Studio preliminare di fattibilità di una attrezzatura sperimentale, idonea a valutare l'emissività media di precursori di neutroni ritardati di un dato combustibile nucleare, costituito da una miscela di U^{235} e Pu^{209} , presenti con concentrazioni non note, quando non siano possibili analisi chimiche o di altro tipo.*

1 Premessa.

In un Laboratorio di Ricerca sulla *Fisica dei Reattori a Fissione* viene intrapresa un'indagine preliminare circa un dispositivo moltiplicante sperimentale, che dovrebbe servire a determinare l'emissività media di precursori di neutroni ritardati di un dato combustibile, nel quale l'ignoto rapporto tra le concentrazioni di U^{235} e Pu^{239} non sia altrimenti determinabile, utilizzando la tecnica degli *esperimenti pulsati*. E' ben noto che la capacità di emettere neutroni ritardati di fissione di questi due isotopi fissili è assai diversa.

Viene deciso di iniziare lo studio di fattibilità di questo progetto limitandosi, in prima battuta, a considerare mezzi moltiplicanti ben moderati, e adottando un dispositivo sperimentale assai semplice. Per la correlazione delle misure verrà adottato un modello matematico assai elementare e si faranno ipotesi di massima semplificazione, anche se poco realistiche. Si può presumere tuttavia che, nonostante queste limitazioni, lo studio preliminare possa già fornire informazioni utili, almeno di tipo qualitativo.

Ecco, in particolare, la proposta schematizzazione:

- a) verrà considerato un *cilindro nudo*, di raggio estrapolato R e di altezza estrapolata H (con l'origine delle coordinate cilindriche posta a metà dell'asse) contenente il materiale moltiplicante *omogeneo* da esaminare;
- b) si supporrà che su tale cilindro si possa operare, a seconda degli esperimenti, o in uno stato di lieve sottocriticità, oppure di lieve sopracriticità. In esso dovranno essere iniettati degli impulsi istantanei di neutroni, tutti già ben *termalizzati* e distribuiti secondo l'*armonica fondamentale* del problema di Helmholtz nella geometria considerata;
- c) per il calcolo dei transitori di potenza, susseguenti agli impulsi, verrà adottata la semplice teoria della *diffusione monocinetica*, ammettendo, per di più, che nelle fissioni, per entrambi i fissili, si generi *una sola famiglia di precursori* di ritardati, e che questa sia caratterizzata da un'unica costante media di decadimento λ ;
- d) si supporrà, infine, che, in conseguenza dei diversi rapporti di concentrazione tra U^{235} e Pu^{239} presenti nei materiali fissili da esaminare, tali materiali

differiscano tra loro essenzialmente: (i) per dei diversi valori dello "yield" β di ritardati dell'unica famiglia che qui si considera, nonché (ii) per il valore del k_{∞} : al quale, in un ristretto intorno di quello che caratterizza lo stato critico della struttura sperimentale sotto esame, si ammetterà di poter apportare piccole modifiche, indipendentemente dai valori di tutte le altre grandezze. Inoltre, per tutte le grandezze nucleari, si presume che (previe eventuali aggiunte o sottrazioni di nuclidi), si possano conservare, in ogni esperimento, i valori che ad esse saranno stati inizialmente assegnati.

Obiettivo dello studio di fattibilità sarà quello di stabilire *se, con quali modalità e cautele, ed entro quali limiti*, sia possibile risalire al valor medio dello yield β di una miscela di fissili, a partire dall'osservazione di transitori di potenza, *sia convergenti che lievemente divergenti*, che in essa verranno innescati a seguito degli impulsi. Di conseguenza il primo problema da affrontare sarà quello di esplicitare tali transitori. A tal fine sarà possibile avvalersi di classiche formule da manuale di cinetica neutronica lineare, quali, ad es., quelle riportate in appendice al presente testo.

E' previsto che le misure necessarie per rilevare i transitori di potenza consistano in successive determinazioni *istantanee* (cioè di durata inferiore a 0.25 s, da ripetersi ogni 5 s), le quali riguarderanno, rispettivamente: (i) i valori istantanei della corrente neutronica totale, uscente da una delle basi del cilindro, nei casi in cui vengono esaminati sistemi sottocritici, oppure (ii) i valori istantanei del flusso neutronico in posizione centrale, cioè in ($r = 0; z = 0$), nell'esame di sistemi sopracritici.

2 Posiz. del problema e domande ai candidati.

Si consideri inizialmente un dispositivo identificato dai seguenti valori:

- Raggio: $R = 47.00 \text{ cm}$; Altezza: $H = 104.546 \text{ cm}$.
- Area di diffusione: $L^2 = 27.00 \text{ cm}^2$.
- Coefficiente di diffusione: $D = 0.500 \text{ cm}$.
- Coefficiente di moltiplicazione del mezzo infinito:
 - primo caso: $k_{\infty} = 1.093684$;
 - secondo caso: $k_{\infty} = 1.096711$;
- Costante di decadimento dei precursori: $\lambda = 0.0770 \text{ s}^{-1}$.
- Quanto ai valori del β medio, se ne considererà la variazione nell'intervallo $[0.002 - 0.008]$, che ricopre l'intero range di interesse fisico, cioè [tutto Pu^{239} - tutto U^{235}].

E' richiesto ai Candidati/e di:

D1) verificare che, con i dati di cui sopra, il sistema risulta *sottocritico* col primo k_{∞} e *sopracritico* col secondo;

D2) nell'ipotesi che l'iniezione istantanea di un impulso neutronico a $t = 0$ equivalga alla creazione di uno stato iniziale di soli neutroni, tutti secondo l'armonica fondamentale, ed avendo assegnato, a titolo esemplificativo, allo "yield medio" il valore $\beta = 0.005$, *determinare*, per i due k_{∞} sopra riportati,

i transitori di flusso nella struttura moltiplicante e riportare in grafico i valori di $\Phi(r=0, z=0, 0 < t \leq 200 \text{ s})$;

D3) calcolare, nel corso di ciascun transitorio, il valore istantaneo dell'*integrale superficiale della corrente neutronica uscente*, esteso ad una delle basi del cilindro;

D4) individuare, previa analisi dei grafici di cui in D2) e con considerazioni fisiche elementari circa il raggiungimento della fase asintotica di ciascun transitorio, il sottointervallo temporale di $[0 - 200 \text{ s}]$, all'interno del quale appare opportuno effettuare le misure. E' ovvio che, per ogni misurazione, si considererà particolarmente utile poter selezionare fin dall'inizio dei set di risultati per i quali il logaritmo della funzione temporale che li interpola risulti una funzione lineare di t .

D5) descrivere una procedura con la quale sia possibile desumere il valore dell'incognito β di un combustibile che si dovrà esaminare, partendo dai risultati di misure effettuate in lieve sottocriticità o sopracriticità .

3 Considerazioni sulla sicurezza.

Il dispositivo sopra descritto non è dotato di sistema di raffreddamento. Ad esso sarà concesso di operare con *potenze massime non superiori a qualche centinaio di W*, anche nei transitori sopracritici. Ciò che potrebbe implicare di dover *limitare* la loro durata.

Come apparato di sicurezza da considerare ai nostri fini, è previsto che su tutto il piano $z=0$ possa venire inserita una sottile lamina di cadmio, in sostituzione di una di alluminio ad essa collegata, con un procedimento automatizzato di trascinamento, che, in totale, dura meno di due secondi. L'inserimento della lamina di cadmio, dal punto di vista neutronico, dimezza praticamente la struttura moltiplicante.

Si ricordi però che non potrà essere questo l'unico dispositivo di controllo richiesto per soddisfare alle normative protezionistiche in esperimenti del tipo qui descritto!

E' richiesto ai Candidati/e di:

D6) descrivere brevemente una procedura operativa, a seguito della quale sia possibile comandare l'inserimento del cadmio nei transitori sopracritici, al fine di evitare il raggiungimento di livelli di potenza non ammissibili.

D7) elencare sommariamente le *principali difficoltà* che potrebbero rendere problematica la messa a punto e/o l'esercizio di una tecnica sperimentale quale quella qui descritta.

4 Collaborazione con la pubb. Amministrazione

Si fa qui riferimento all'anno 2012.

Nella prospettiva di un ritorno dell'Italia allo sfruttamento dell'energia da fissione, il neoistituto "*Ministero delle Attività Innovative*" (è il famoso MAI,

detto anche "ministero in pectore") ha emesso un bando di concorso internazionale tra esperti in energetica, finalizzato a fornire rassicurazione e corretta informazione alle popolazioni, I concorrenti dovranno sintetizzare, in *non più di due pagine*, i motivi per cui "le centrali nucleari della generazione ora in costruzione sono da ritenersi non solo sicure, ma necessarie per uno sviluppo ambientalmente compatibile dell'economia mondiale". I dieci migliori elaborati verranno premiati al Quirinale dal Presidente della *Terza Repubblica*, entro sei mesi dalla scadenza del bando.

E' richiesto ai Candidati/e di:

D8) approntare una bozza per la partecipazione al concorso di cui sopra, nella quale si faccia riferimento anche alla particolare anomalia energetica del caso Italia.

Nota. I Sigg. Candidati/o 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.

4.1 Appendice

Vengono qui richiamate alcune formule, espresse in nomenclatura standard, che sono utili per il calcolo dei transitori di cui al tema assegnato.

$$k_{eff}^{(n)} \doteq \frac{k_{\infty}}{1 + L^2 B_n^2}, \quad l^{(n)} \doteq \frac{1}{v \Sigma_a (1 + L^2 B_n^2)},$$

$$\rho^{(n)} \doteq \frac{k_{eff}^{(n)} - 1}{k_{eff}^{(n)}} = 1 - \frac{1}{k_{eff}^{(n)}} \Rightarrow k_{eff}^{(n)} = \frac{1}{1 - \rho^{(n)}},$$

Inflow equation $\left\{ p^2 + \left[\lambda - \frac{\rho^{(n)} - \beta}{l^{(n)}(1 - \rho^{(n)})} \right] p - \frac{\lambda \rho^{(n)}}{l^{(n)}(1 - \rho^{(n)})} \right\} = 0$

$$\Phi(\vec{r}, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \sum_{j=1}^2 \left[[(\Phi_0, \varphi_n) (\lambda + p_{(j)}^{(n)}) + v \lambda (C_0, \varphi_n)] \frac{e^{p_{(j)}^{(n)} t}}{(p_{(j)}^{(n)} - p_{(k \neq j)}^{(n)})} + \frac{v(\lambda + p_{(j)}^{(n)})}{(p_{(j)}^{(n)} - p_{(k \neq j)}^{(n)})} \int_0^t (S(\vec{r}', t'), \varphi_n(\vec{r}')) \cdot e^{p_{(j)}^{(n)}(t-t')} dt' \right] \right\} \varphi_n(\vec{r})$$

