POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

II SESSIONE - ANNO 2000

Ramo: Ingegneria **Nucleare** **Tema N.1**

Dimensionamento preliminare e sicurezza di dispositivi per esperimenti di neutronica.

Obbiettivi di questo tema sono rispettivamente:

1) l'individuazione del valore ottimale del tempo di ritardo tra le emissioni di due particolari sorgenti neutroniche pulsate, al fine di migliorare l'efficienza complessiva di misure che richiedono irraggiamenti di campioni con elevati picchi di flusso;

2) la valutazione di alcuni transitori e/o di livelli asintotici di potenza, indotti da sorgenti neutroniche esterne in strutture moltiplicanti critiche o sottocritiche;

3) una descrizione di massima degli apparati indispensabili e dei vincoli operativi richiesti per poter condurre in sicurezza degli esperimenti analoghi a quelli cui s'è fatto sopra riferimento.

Premessa teorica.

È opportuno richiamare qui un risultato classico di neutronica applicata, relativo alla diffusione monocinetica dipendente dal tempo, entro un moderatore omogeneo, infinitamente esteso.

Se sul piano $x = x_S$, immerso in tale moderatore infinito, si fa operare, all'istante $t = t_S$ una sorgente neutronica piana, infinitamente estesa, impulsiva rispetto al tempo e di intensità superficiale $1[\mathbf{n}\, cm^{-2}]$, cioè una S esprimibile con la formula (il simbolo δ indica delle distribuzioni di Dirac):

$$S(x,t) = 1 \cdot \delta(x - x_S) \cdot \delta(t - t_S), \tag{0.1}$$

è noto che il flusso o traffico neutronico di risposta a tale sorgente, nell'approssimazione di teoria della diffusione monocinetica, indicandosi rispettivamente con v la velocità media dei neutroni, con D il loro coefficiente di diffusione e con Σ_a la sezione d'urto macroscopica d'assorbimento, sarà espresso, $\forall x \in [-\infty, \infty]$, e $t \neq 0$, dalla seguente formula:

$$G(x_S \to x, t_S \to t) \begin{cases} = \mathrm{v} e^{-\mathrm{v}\,\Sigma_a\,(t-t_S)} \cdot \dfrac{1}{\sqrt{4\pi \mathrm{v} D(t-t_S)}} \cdot e^{-\frac{(x-x_S)^2}{4\mathrm{v}D(t-t_S)}}, & \forall t > t_S; \\ = 0\,, & \forall t < t_S. \end{cases} \tag{0.2}$$

La G rappresenta la cosidetta *funzione di Green* della diffusione temporale unidimensionale. Essa è di poco più complicata dell'analoga funzione di Green dell'equazione unidimensionale del calore dipendente dal tempo, riferentesi a conduttori solidi, omogenei ed infinitamente estesi.

Formulazione dei problemi.

La configurazione geometrica del dispositivo da prendere inizialmente in esame è quella di un **volume semiinfinito di moderatore** omogeneo, estendentesi per $x < 0$, essendo il semispazio $x > 0$ vuoto.

Nel caso che sul piano $x = -x_S$, parallelo all'interfaccia moderatore-vuoto, sia stata attivata, all'istante $t = 0$, una sorgente impulsiva, di intensità areica S [n cm^{-2}], cioè del tipo

$$S(x,t) = S \cdot \delta(x + x_S) \cdot \delta(t), \tag{0.3}$$

è evidente che, a causa della finitezza spaziale del mezzo, si genererà, per valori di $t > 0$, una corrente neutronica netta mai negativa, attraverso il piano $x = 0$, che andrà dal moderatore verso il vuoto. Naturalmente il piano $x = 0$, contorno (estrapolato) del mezzo, dovrà essere luogo di azzeramento del flusso neutronico.

È richiesto preliminarmente di:

D1) *dimostrare (ricorrendo, ad es., al metodo della sorgente immagine) che la corrente netta attraverso il piano $x = 0$, conseguente all'inserzione nel mezzo semiinfinito dell'impulso (0.3), dovrà essere uguale, $\forall\, t \in]0, \infty[$, al* ***doppio*** *della corrente che si instaurerebbe alla stessa distanza x_S da un piano sorgente di pari intensità, quand'esso si trovasse immerso in un volume infinito dello stesso moderatore qui considerato.*

Il primo apparato sperimentale che si dovrà ora studiare è schematizzabile con buona approssimazione nel modo seguente. Su ciascuno dei due piani $x = -x_1$ e $x = -x_2$, immersi, parallelamente all'interfaccia, nel semispazio moderante di cui sopra, sono indotte reazioni nucleari, che causano **emissioni istantanee** di neutroni già praticamente termalizzati, con intensità areica, rispettivamente di S_1 ed S_2 [n cm^{-2}]. La sorgente in $-x_1$ emette l'impulso all'istante $t = 0$, mentre l'altra, collocata più vicino all'interfaccia, lo emette con un ritardo di τ [s]. È evidente quindi che la *funzione "sorgente complessiva"* risulterà ora del tipo:

$$S(x,t) = S_1 \cdot \delta(x + x_1) \cdot \delta(t) \; + \; S_2 \cdot \delta(x + x_2) \cdot \delta(t - \tau) \tag{0.4}$$

ove $-x_1 < -x_2 < 0$ e $\tau > 0$.

Il dispositivo dovrà provvedere in primo luogo all'irraggiamento di campioni sperimentali, di dimensioni trascurabili, posizionati nello spazio vuoto, in vicinanza del piano $x = 0$. Tale irraggiamento verrà effettuato proprio mediante i neutroni che fuoriescono attraverso l'interfaccia $x = 0$. Inoltre, dovendosi studiare anche materiali nei quali si creeranno isotopi a vita media molto breve, è del tutto evidente che sarà possibile effettuare su di essi misurazioni fisicamente significative, ad es. di composizione isotopica, se e soltanto se il campo neutronico sui campioni raggiungerà, a parità di dose, un'**intensità di picco** la **più alta possibile**. Si tenga in conto che la geometria del dispositivo ed il rapporto (S_1/S_2) sono assegnati e non mutabili. Sarà invece in potere dello sperimentatore far variare il tempo di ritardo τ tra i due impulsi.

Preso atto che la corrente neutronica uscente dall'interfaccia $x = 0$ del semispazio, in conseguenza di ogni singolo impulso di sorgente ammette, com'è facile verificare, un **unico massimo temporale** e dovendo il dispositivo provvedere per l'esperimento una intensità di corrente neutronica di picco che sia la massima possibile, è richiesto di:

D2) *stabilire una procedura per determinare il valore del parametro di ritardo τ in corrispondenza del quale si ottiene, per $t > \tau$,* ***il massimo valore della corrente di picco*** *che esce dal piano $x = 0$ in conseguenza dell'eccitazione (0.4). Sono assegnati i seguenti valori dei parametri:* $x_1 = 1.5 \cdot L$ ($L[cm] \triangleq$ lunghezza di diffusione nel moderatore); $x_2 = 0.75 \cdot L$; $v = 2200\ m/s$; $D = 0.80\ cm$; $\Sigma_a = 8.0 \cdot 10^{-3}\ cm^{-1}$; $S_2 = S_1/4$.

Un secondo tipo di misurazioni sperimentali da prendere in considerazione prevede l'impiego di un dispositivo del tipo sopra descritto per iniettare neutroni in strutture critiche o sottocritiche, aventi geometria sferica radialsimmetrica, anch'esse posizionate nel semispazio $x > 0$. Si assumerà in questi esperimenti per S_1 il valore 10^6 [n cm^{-2}] e per S_2 il valore 0. È stato verificato con precedenti misure che, nella configurazione geometrica che si dovrà ora considerare,

cioè una **struttura moltiplicante** omogenea, critica,nuda, di forma sferica, avente raggio $R = 30$ cm, il 50% del totale dei neutroni che emergeranno dopo l'impulso da un m^2 del piano $x = 0$ potrà essere convogliato, con distribuzione secondo l'armonica fondamentale del problema di Helmholtz, all'interno della struttura. È in facoltà del Candidato scegliere per la sfera critica un insieme *coerente* di parametri nucleari, ivi compresi un β e un λ , caratterizzanti i precursori di ritardati di una sola famiglia.

È richiesto di:

D3) *determinare (sarà sufficiente adottare il modello diffusivo monocinetico, con una sola famiglia di precursori) il transitorio di flusso neutronico che si innesca nella sfera critica di cui sopra, nell'ipotesi addizionale che i neutroni di sorgente siano tutti inseriti allo stesso istante (da assumersi ai presenti scopi come iniziale) e che si parta da uno stato di reattore spento. Giustificare fisicamente il fatto che il transitorio ha una fase iniziale rapidamente decrescente, nonostante la criticità della struttura;*

D4) *stabilire il livello asintotico di potenza che si instaurerà stazionariamente alla fine del transitorio nel reattore critico in esame;*

D5) *verificare che, alla fine del transitorio, la somma dei neutroni presenti e dei nuclidi di precursori che verranno a trovarsi in equilibrio con essi sarà* ***esattamente uguale*** *al numero totale dei neutroni con cui il transitorio è stato inizializzato. Commentare questo interessante risultato.*

Si supponga ora di poter ridurre il k_∞ della sfera critica di cui sopra dello 0.3%, senza alterare apprezzabilmete gli altri parametri e di inserire in essa, sempre secondo l'armonica fondamentale, una sorgente **costante** nel tempo, capace di immettere, in ogni secondo, un numero di neutroni pari a quello immesso globalmente dalla precedente sorgente impulsiva. È richiesto di:

D6) *determinare il livello stazionario di potenza a cui si porterà questa* ***sfera sottocritica*** *per azione della sorgente costante sopra definita e di fornire una stima dell'intervallo di tempo che dovrà trascorrere, dopo lo spegnimento istantaneo della sorgente stessa, prima che la potenza si riduca ad un millesimo.*

Si tenga ora in conto che dispositivi sperimentali quali quelli sopra esaminati implicano generazione e manipolazione di **particelle e radiazioni ionizzanti**, potenzialmente **pericolose**. È richiesto di:

D7) *descrivere sommariamente le principali* ***misure di sicurezza*** *da adottare, nonché i più stringenti vincoli operativi cui ottemperare, con particolare riguardo al caso in cui si debbano trattare strutture moltiplicanti critiche o sottocritiche.*

NOTA. Il Candidato è invitato a rispondere ordinatamente ai quesiti **D1**), **D2**), ... **D7**), dando alle risposte **R1**), **R2**), ... **R7**) la forma di una **relazione tecnica professionale,** nella quale i calcoli siano chiaramente preceduti dalla deduzione o citazione delle formule da impiegare.
Eventuali minute non saranno tenute in considerazione dalla Commissione.