

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-64/24 (1964)

M. Ladu, M. Pelliccioni, E. Rotondi: MISURE DI NEUTRONI VELOCI  
CON UN CONTATORE PROPORZIONALE AL  $\text{BF}_3$  IN MODERATORE  
SFERICO CAVO DI PARAFFINA.

Estratto da: Energia Nucleare, 11, 181 (1964).

**ENERGIA  
NUCLEARE**

**VOLUME 11  
NUMERO 4  
A P R I L E  
1964**

# **Misure di neutroni veloci con un contatore proporzionale al $\text{BF}_3$ in moderatore sferico cavo di paraffina**

M. Ladu<sup>+</sup>, M. Pelliccioni<sup>o</sup>, E. Rotondi<sup>o</sup>,  
R. Siwicki

<sup>+</sup>Laboratori Nazionali del C.N.E.N. - Frascati (Roma)

<sup>o</sup>Laboratori di Dosimetria del C.N.E.N. - Frascati  
(Roma)

# Misure di neutroni veloci con un contatore proporzionale al $\text{BF}_3$ in moderatore sferico cavo di paraffina

M. Ladu<sup>o</sup>, M. Pelliccioni<sup>o</sup>, E. Rotondi<sup>o</sup>,  
R. Siwicki (\*)

<sup>+</sup>Laboratori Nazionali del C.N.E.N. - Frascati (Roma)

<sup>o</sup>Laboratorio di Dosimetria del C.N.E.N. - Frascati  
(Roma)

*Viene studiata la risposta ai neutroni veloci di un contatore proporzionale al  $\text{BF}_3$ , contenuto in un moderatore sferico cavo di paraffina.*

*Si trova che la sua risposta angolare è uniforme entro un massimo del 4% e che la sua efficienza è sensibilmente costante per i neutroni del Po-Be, del Ra-Be e per quelli della reazione D-T.*

*Esso si comporta inoltre come un rivelatore puntiforme, verificando la legge dell'inverso del quadrato della distanza.*

## INTRODUZIONE

Le misure di flusso di neutroni veloci a scopo dosimetrico sono di grande importanza a causa dell'alto valore del coefficiente di efficacia biologica relativa (E.B.R.) di tali particelle, il cui flusso massimo ammissibile, come è ben noto, è assai piccolo<sup>1</sup>.

Tali misure presentano serie difficoltà, soprattutto perchè la componente  $\gamma$ , quasi sempre presente con i neutroni, può disturbare sensibilmente le misure stesse.

Alcuni metodi di rivelazione consentono tuttavia di misurare con sufficiente approssimazione la dose biologica di primo urto per neutroni fra 0,1 e 14 MeV<sup>2</sup> e fra 0,025 e 10 MeV<sup>3</sup>.

Il contatore proporzionale al  $\text{BF}_3$ , generalmente contenuto in un moderatore cilindrico di paraffina, è uno dei rivelatori più usati per le misure di cui trattasi. Esso ha una discreta efficienza ed è allo stesso tempo insensibile ai  $\gamma$  per intensità di dose di alcune decine di  $\text{r.h}^{-1}$ .

Per energie dei neutroni fra 0,1 e 14 MeV, la sua efficienza varia di poco, purchè lo spessore del moderatore sia di circa 7 cm<sup>4</sup>.

(\*) Borsista dell'Agenzia Internazionale Energia Atomica. Attualmente presso l'Instytut Badan Jadrowych, Zakład XIX, Swierk k, Otwocka (Polonia).

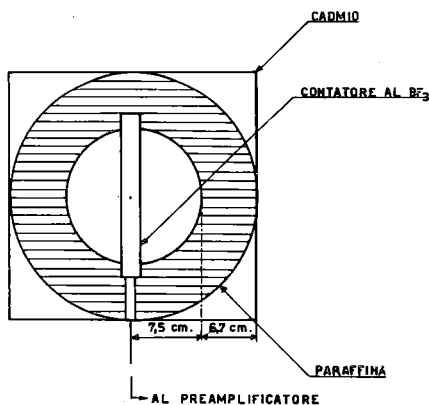


Fig. 1 - Sistema contatore-sfera cava.

Il più grande inconveniente nel suo impiego dipende dalla direzionalità: l'efficienza varia infatti di circa il 50%, a seconda che venga irradiato parallelamente o perpendicolarmente al suo asse <sup>5</sup>.

Eliminando tale inconveniente, il suo uso in dosimetria potrebbe tornare vantaggioso, perchè sarebbero così eliminate laboriose tarature e conseguenti correzioni dei risultati.

Per eliminare la direzionalità del contatore senza diminuirne l'efficienza, dopo una serie di prove orientative, abbiamo usato con successo, come moderatore, una sfera cava di paraffina.

#### SISTEMA SFERA CAVA-CONTATORE

Il sistema realizzato (fig. 1) di cui abbiamo brevemente riferito in una precedente nota <sup>6</sup>, è costituito da una sfera cava di paraffina col raggio esterno di 14,2 cm e il raggio interno di 7,5 cm. Lo spessore di paraffina, di 6,7 cm, può dunque assicurare un'ottima efficienza per i neutroni di energia fra 0,1 e 14 MeV <sup>4</sup>.

La lunghezza attiva del contatore (\*), di 12 cm, è interamente contenuta nella zona cava. Il preamplificatore è posto fuori della sfera, in modo da

(\*) Il contatore usato era un 12EB40 della 20<sup>th</sup> Century Electronics.

ridurre al minimo ogni possibile variazione di flusso dei neutroni termalizzati. La sfera è infine contenuta entro un cubo di cadmio, con pareti di circa 1 mm di spessore, per l'assorbimento dei neutroni termici dell'ambiente.

#### RISULTATI DELLE MISURE

La risposta angolare è stata studiata per i neutroni del Po-Be, del Ra-Be e per quelli provenienti dalla reazione *D-T*, provocata bombardando una targhetta di H<sup>3</sup> con deutoni accelerati a circa 100 keV in un acceleratore Cockcroft-Walton.

Per le prime due sorgenti, come è stato già riferito <sup>6</sup>, la risposta angolare del rivelatore è stata trovata uniforme entro il 2% circa.

Per i neutroni della reazione *D-T*, l'angolo di incidenza  $\theta$  dei neutroni sul rivelatore (fig. 2), veniva stabilito facendo ruotare il sistema contatore-sfera cava intorno all'asse passante per O, perpendicolare all'asse X del contatore nel piano della figura. Essendo infatti la sorgente S fissa, questo era il modo più semplice per effettuare le misure a diversi valori di  $\theta$ .

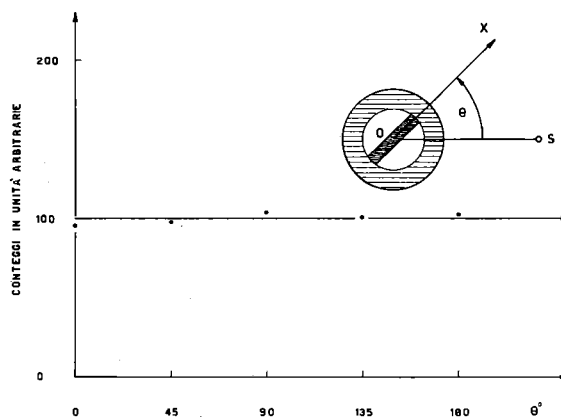


Fig. 2 - Risposta angolare del rivelatore ai neutroni della reazione *D-T*.

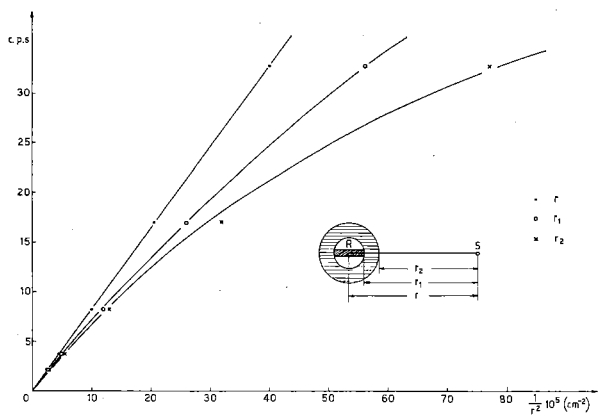


Fig. 3 - Variazione dei c.p.s. con la distanza sorgente-rivelatore. La legge dell'inverso del quadrato della distanza è verificata considerando il rivelatore puntiforme in R. (Sorgente di Po-Be).

Come si può rilevare dalla fig. 2, in cui sono riportati i risultati delle misure effettuate per la distanza di 2 m fra sorgente e centro del rivelatore, gli scarti dal valor medio calcolato sui risultati relativi ai diversi valori di  $\theta$ , sono contenuti entro un massimo del 4%, indicando anche in questo caso un'ottima uniformità nella risposta angolare.

Deviazioni dello stesso ordine di grandezza sono state ottenute per tutte le distanze fra la sorgente e il centro del rivelatore, alle quali le misure sono state effettuate.

Alcune serie di misure fatte col contatore disposto entro una sfera piena, anch'essa di paraffina e di diametro uguale al diametro esterno della precedente, hanno dimostrato che, con le diverse sorgenti, l'uniformità della risposta angolare non viene alterata in misura apprezzabile.

Con le tre sorgenti usate, è stato constatato che l'insieme sfera cava-contatore si comporta come un rivelatore puntiforme situato nel centro geometrico dell'insieme stesso.

Come si può infatti vedere in fig. 3, i risultati verificano la legge dell'inverso del quadrato della distanza, purchè essa sia presa fra la sorgente S e il

centro R del sistema, che coincide col centro del rivelatore. Il contatore può naturalmente essere orientato comunque, grazie all'uniformità della risposta angolare.

Nella stessa fig. 3 si può osservare come per le distanze  $r_1$  ed  $r_2$ , fra la sorgente da una parte e le superfici rispettivamente interna ed esterna del moderatore dall'altra, la legge può ritenersi verificata solo per valori di  $r_2$  — e quindi di  $r_1$  — superiori ad 1 m.

I risultati della figura, in cui in ascisse è dato l'inverso del quadrato della distanza in  $\text{cm}^{-2}$  e in ordinate il numero degli impulsi per secondo, si riferiscono ai neutroni del Po-Be.

La legge in questione è stata verificata per distanze da 1 m a 4 m, con i neutroni della reazione D-T. I risultati sono riportati in fig. 4, dove in ascisse è data la distanza fra la sorgente, considerata puntiforme, e il centro del rivelatore, e in ordinate l'inverso della radice quadrata del numero degli impulsi per minuto, corretto del fondo.

L'efficienza del rivelatore è stata ricavata facendo il rapporto tra il flusso dei neutroni veloci, calcolato sulla distanza sorgente-centro del rivelatore, e il

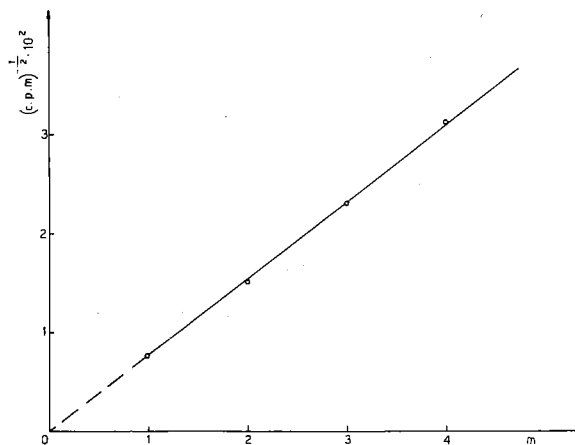


Fig. 4 - Verifica della legge dell'inverso del quadrato della distanza con la sorgente D-T.

numero degli impulsi registrati per unità di tempo. Si è così trovato, con la sfera cava, un'efficienza di  $2,4 \pm 0,1$  c./n.cm<sup>-2</sup> per i neutroni del Po-Be e del Ra-Be e di  $2,2 \pm 0,2$  c./n.cm<sup>-2</sup> per quelli della reazione D-T.

Con la sfera piena l'efficienza è diminuita di circa il 25%, evidentemente perchè il maggiore spessore di paraffina è anche causa di assorbimento dei neutroni termalizzati.

Alcune misure effettuate allo scopo di vedere quale spessore di paraffina assicurasse la migliore efficienza, ci hanno permesso di constatare che, almeno con le sorgenti usate, essa si ottiene con uno spessore di circa 7 cm, confermando con ciò precedenti risultati<sup>4</sup> e dimostrando che nel corso delle misure si è lavorato in condizioni di efficienza che si possono ritenere buone.

#### CONCLUSIONI

In base ai risultati esposti, l'insieme sfera cava-contatore sembra idoneo, previa opportuna taratura, a misure relative di flusso e di intensità di sorgenti di neutroni veloci. E poichè i risultati ottenuti indicano che l'efficienza del rivelatore può ritenersi costante almeno entro i limiti di energia imposti dai neutroni delle sorgenti usate, è logico che tali misure avrebbero senso per qualunque sorgente di neutroni aventi energia entro gli stessi limiti.

In sostanza le caratteristiche del rivelatore descritto possono così riassumersi:

a) efficienza più elevata e più uniforme risposta angolare dei contatori proporzionali a protoni di rinculo, studiati per evitare la direzionalità della risposta e tarati, a scopo dosimetrico, in unità di livello massimo ammissibile<sup>7, 8</sup>;

b) ottima discriminazione contro i  $\gamma$ . Abbiamo infatti constatato, con una sorgente di Co<sup>60</sup>, che esso non risponde a un'intensità di circa 30 r.h<sup>-1</sup>. Ciò invece non si verifica nè con i contatori a protoni di rinculo, nè tanto meno con gli scintillatori studiati per misure di flusso di neutroni veloci<sup>9, 10, 11</sup>; entrambi rispondono infatti a intensità  $\gamma$  assai minori;

c) comportamento da rivelatore puntiforme, a differenza di consimili sistemi di rivelazione<sup>12, 13, 14</sup>.

Per le sue caratteristiche si comprende come con esso sia possibile effettuare, con la stessa efficienza,

misure di flusso di neutroni veloci con distribuzione isotropa o direzionale e con energia entro i limiti già detti, e in più di interpretarle direttamente, in unità di dose biologica, grazie al fatto che in tale intervallo di energia il coefficiente di E.B.R. dei neutroni varia di poco. ■

*Ringraziamenti.* Desideriamo esprimere la nostra più viva riconoscenza al prof. S. Petralia e al dr. M. Cevolani dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna, per aver messo a nostra disposizione l'acceleratore C.W. dell'Istituto e per l'assistenza dataci nel corso delle misure effettuate intorno ad esso.

Ricevuto il 25 ottobre 1963

#### bibliografia

- <sup>1</sup> N.B.S.: Handbook 63 (1957).
- <sup>2</sup> G. S. HURST: *Fast Neutron Physics*. Edited by J. B. Marion and J. L. Fowler, Interscience Publishers Inc., New York, 823 (1960).
- <sup>3</sup> I. O. ANDERSSON, J. BRAUN: *Neutron Dosimetry*. Vol. 2, I.A.E.A., 87 (1963).
- <sup>4</sup> R. WALLACE, B. J. MOYER, H. W. PATTERSON, A. R. SMITH, L. D. STEPHENS: *Selected Topics in Radiation Dosimetry*. I.A.E.A., Vienna, 579 (1961).
- <sup>5</sup> G. DARDENNE, S. C. R. ORSAY: Rapport LAL - 1016 (1961).
- <sup>6</sup> M. LADU, M. PELLICIONI, E. ROTONDI: *Nucl. Instr. and Methods*, 23, 173 (1963).
- <sup>7</sup> G. S. HURST, R. H. RITCHIE, H. N. WILSON: *Rev. Sci. Instr.*, 22, 981 (1951).
- <sup>8</sup> S. DENNIS, W. R. LOOSEMORE: *AERE*, 3302 (1960).
- <sup>9</sup> R. SKJÖLDEBRAND: *J. Nucl. Energy*, 1, 299 (1955).
- <sup>10</sup> W. F. HORNYAK: *Rev. Sci. Instr.*, 23, 264 (1952).
- <sup>11</sup> D. E. HANKINS: *Neutron Dosimetry*. Vol. 2, I.A.E.A., 123 (1963).
- <sup>12</sup> A. O. HANSON, J. L. MC KIBBEN: *Phys. Rev.*, 72, 673 (1947).
- <sup>13</sup> J. DE PANGHER: *Nucl. Instr. and Methods*, 5, 61 (1959).
- <sup>14</sup> S. BORRESEN, B. GRIMELAND, S. MESSELT: *Nucl. Instr. and Methods*, 16, 135 (1962).

#### summary

MEASUREMENTS OF FAST NEUTRONS BY A BF<sub>3</sub> COUNTER IN A PARAFFIN SPHERICAL-HOLLOW MODERATOR

The response to fast neutron of a BF<sub>3</sub> counter in a paraffin spherical-hollow moderator was studied.

His angular response is well uniform and his efficiency for the neutrons from Po-Be, Ra-Be and D-T sources is practically constant.

The detection system behaves as a point detector and the data obey the inverse square law.