

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-61/70 (1961)

M. Ladu: SICUREZZA E DOSIMETRIA INTORNO AGLI ACCELERATORI
DI ALTA ENERGIA A FLUSSO PULSATO.

Estratto dalla: Minerva Nucleare, 5, 184 (1961)

MINERVA NUCLEARE

ORGANO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI BIOLOGIA E MEDICINA NUCLEARE
E DELLA ASSOCIAZIONE ITALIANA DI FISICA SANITARIA
INTERNATIONAL REVIEW OF NUCLEAR BIOLOGY AND MEDICINE

DIRETTORI

P. BASTAI

L. ANTOGNETTI - E. BENASSI - G. FOA'

G. MONASTERIO - A. ROSSI-FANELLI

Casella Postale 491 - C.C.P. 2/40912 - Corso Bramante, 83-85 - Telef. 69.46.82-3-4 — TORINO

Laboratori Nazionali del C.N.E.N. - Frascati
Laboratorio di Dosimetria
Standardizzazione e Strumentazione Nucleare Applicata
Sezione di Frascati

MARIO LADU

LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI
LNF- 61 / 70 -

Sicurezza e dosimetria intorno agli acceleratori di alta energia a flusso pulsato

Estratto da MINERVA NUCLEARE
Vol. 5 - N. 8 - Pag. 184-186 (Agosto 1961)

EDIZIONI MINERVA MEDICA

Introduzione. — La protezione dalle radiazioni intorno agli acceleratori di alta energia a flusso pulsato, pone notevoli problemi sia di schermatura, che di rivelazione e valutazione delle componenti dei complessi campi di radiazione che vengono generati¹.

La schermatura costituisce di per sè un importante capitolo, non certo per il suo costo che pur rappresenta una percentuale non trascurabile del totale delle spese per gli impianti, ma per i problemi di spazio e di geometria che essa pone e che certamente non possono essere trascurati, se si vuole ridurre a limiti tollerabili l'intensità della radiazione diffusa², cosa che d'altronde è necessaria per la sicurezza personale.

Per quel che riguarda la rivelazione della radiazione diffusa e la valutazione della corrispondente E.B.R. si comprende facilmente come la radiazione pulsata e in più la natura e lo spettro di energia delle componenti complichino il problema, rendendo oltremodo difficile un'esatta determinazione della dose biologica.

Schermatura e norme generali di sicurezza

Il problema della schermatura si pone nell'istante stesso in cui una macchina viene progettata, tenendo conto nell'impostarlo dell'energia massima delle particelle che devono essere accelerate e della loro natura, nonchè dell'intensità che si può raggiungere nelle migliori condizioni di funzionamento della macchina stessa e di ogni altro fattore che possa comunque utilmente concorrere alla migliore soluzione del problema²⁻³⁻⁴.

Comunicazione svolta alla VI Riunione dell'Associazione Italiana di Fisica Sanitaria. - Frascati, 17-18 ottobre 1960.

In ogni caso il primo progetto di schermatura di una macchina non deve intendersi come definitivo, anche perchè, come insegna l'esperienza, le previsioni che si possono fare sulla distribuzione della radiazione diffusa non sempre risultano esatte. Il che d'altronde è ben comprensibile se si pensa alla complessità del fenomeno e al tipo di sorgente estesa con la quale si ha a che fare, cause queste che insieme rendono quasi impossibile ogni previsione che non sia di larga massima.

Tuttavia una prima schermatura, che potrebbe anche essere permanente, deve sempre essere realizzata tutto intorno agli acceleratori col preciso scopo di fare un primo e notevole taglio in intensità ed energia della radiazione che viene generata⁵⁻⁶⁻⁷.

Le opportune misure fatte successivamente diranno se e come la schermatura va completata, per ridurre il livello di radiazione a valori accettabili e perciò stesso contenuti entro i limiti indicati dalla I.C.R.P.⁷⁻⁸.

Un controllo della radiazione diffusa oltre le schermature, e in tutte le zone comunque accessibili, periodicamente consigliabile in ogni caso, deve ritenersi necessario o addirittura indispensabile tutte le volte che cambiano l'intensità e la direzione del fascio utilizzato, nonchè la natura della targhetta usata dagli sperimentatori, in modo da avere una mappa delle radiazioni, quanto più possibile completa.

A macchina funzionante, ogni possibilità di accesso a qualunque zona particolarmente soggetta ad irradiazione e quindi pericolosa, deve essere preclusa mediante adeguati sistemi di sicurezza, mentre il fascio utilizzato deve essere estinto in opportuni pozzi, così da non costituire più nessun pericolo.

L'entrata in funzione dell'acceleratore deve essere sempre preceduta da segnalazioni acustiche e accompagnata da segnalazioni ottiche, mentre nelle zone di libero accesso è opportuno installare apparecchi di rivelazione che segnalino ogni eventuale livello di radiazione che possa costituire pericolo per le persone.

Misure in regime pulsato

La misura della radiazione diffusa, come è stato accennato in precedenza, non si presenta in termini semplici, sia perchè essa è prodotta ad impulsi, sia perchè è usualmente costituita da componenti di

diversa natura, ognuna delle quali porta alla dose biologica un contributo che dipende in modo sostanziale dalla propria E.B.R.

Tenuto conto della frequenza e della durata degli impulsi, nonché dell'energia delle particelle che vengono accelerate, si può dire che ogni acceleratore presenta un suo particolare problema di dosimetria⁹⁻¹⁰⁻¹¹.

Si possono intanto ricondurre sostanzialmente a due i tipi di acceleratori che funzionano in regime pulsato: quelli ad alta frequenza di ripetizione con breve durata degli impulsi (per es. fino a qualche centinaio di impulsi al secondo, ognuno dei quali dura pochi msec) e quelli a bassa frequenza di ripetizione con impulsi di durata molto maggiore dei precedenti (per esempio un impulso ogni pochi secondi, lungo fino a qualche decina di msec)¹⁰⁻¹².

Quantunque siano già molte le ricerche inerenti ai problemi di dosimetria posti dalle grandi macchine acceleratrici, molto ancora in questo campo rimane da fare.

Intanto diversi strumenti di uso comune come camere di ionizzazione, contatori a scintillazione e contatori proporzionali vengono ormai regolarmente utilizzati per la dosimetria ambientale, previa neutralizzazione delle influenze di campo magnetico e di RF ed eventuale adattamento delle loro caratteristiche a quelle particolari esigenze che devono essere soddisfatte per renderne vantaggioso l'impiego¹⁰⁻¹¹.

La misura dei γ con camere di ionizzazione ad esempio, non presenta in genere grandi difficoltà, quantunque in regime pulsato l'intensità di dose istantanea raggiunga valori anche alcune migliaia di volte più alti dei valori medi. E' sufficiente infatti, se la camera è normalmente destinata a misure in flusso continuo, aumentare a 500-1000 volts la tensione di raccolta per avere una risposta non influenzata in misura sensibile dalla ricombinazione degli ioni¹².

Assai più complesse sono le misure dei neutroni, anche se per queste particelle si dispone di ottimi rivelatori, come ad es. contatori proporzionali e a scintillazione, rivelatori di soglia, camere di ionizzazione speciali, nonché metodi di attivazione ed emulsioni nucleari, queste ultime particolarmente indicate per la dosimetria personale.

Limitando la trattazione ai soli neutroni veloci che per il notevole danno biologico che possono provocare

costituiscono la componente più importante per la dosimetria intorno agli acceleratori, val la pena di ricordare il lavoro dei fisici sanitari di Saclay¹² che si sono occupati della corretta utilizzazione dei contatori al BF_3 e degli scintillatori, intorno agli acceleratori ad alta frequenza di ripetizione e impulso breve (pochi μsec) e intorno a quelli a frequenza lenta e impulso lungo (dell'ordine dei msec) nonché dei rivelatori a fogli d'indio e di quelli a soglia¹³.

Nella dosimetria dei neutroni veloci trovano sempre più largo impiego i contatori a protoni di rinculo, in versioni più o meno simili, ma tutte tendenti ad avere una risposta non direzionale e proporzionale alla dose indipendentemente dall'energia entro un ampio intervallo. Così accanto ai primi di Hurst e Coll.¹⁴ si ha oggi quello di Dennis e Loosemore¹⁵, costituito da una serie di piccoli cilindri di polietilene, riempiti di argon e metano, il quale dà circa 1cps per 1 m.p.l. in un flusso di neutroni di energia fra 0,1 e 15 MeV.

L'uso del contatore lungo di Hanson¹⁸, quantunque la sua sensibilità non vari più del 10% per neutroni tra 0,01 e 3 MeV, non è molto vantaggioso per la sua direzionalità.

Come è stato già detto, ogni acceleratore presenta in sostanza un suo particolare problema di dosimetria, legato oltretutto alla natura e all'energia delle particelle accelerate, anche alla frequenza e alla durata degli impulsi. Perciò quantunque esista una serie di rivelatori standard che generalmente si possono utilizzare, la dosimetria intorno agli acceleratori richiede che la loro scelta sia fatta con cura e, come dimostra la letteratura sull'argomento⁹⁻¹²⁻¹⁹⁻²⁰⁻²¹⁻²²⁻²³⁻²⁴ essi vanno tal volta opportunamente adattati per fornire una risposta il più possibile corretta.

Misure in campo misto e valutazione della dose biologica

Problema comune alla dosimetria intorno a tutti gli acceleratori di alta energia è quello della misura in campi misti, generalmente γ e neutroni, ma anche mesoni e altre particelle pesanti, come nel caso dei grandi acceleratori per protoni.

La separazione delle componenti, per il contributo che ciascuna di esse porta alla dose biologica è, come già si è detto, oltremodo importante.

La camera di ionizzazione tessuto equivalente che risponde alle radiazioni in modo simile a quello con cui risponde il tessuto umano e le cui caratteristiche sono ben note²⁵⁻²⁶ è oltremodo utile per misure del genere.

Esposta infatti in un campo misto di γ e neutroni, insieme con un'altra o altre due camere che rispondano a una sola delle componenti, essendo la sua risposta in tale campo rappresentata da

$$R = K \gamma + g\Phi$$

con γ espresso in mrad/h e Φ in n/cm² · sec, la conoscenza delle costanti K e g e la misura di una delle componenti, consente di conoscere il valore dell'altra. I valori di K e g dipendono dall'energia delle radiazioni in questione e dalla sensibilità della camera ad esse, il che impone, per la maggiore esattezza delle misure, che lo spettro di taratura e quello della radiazione diffusa, siano fra loro comparabili. Esempi di misure di questo genere non mancano nella letteratura²⁷⁻²⁸.

Ancora per la dosimetria in campo misto di γ e neutroni, possono essere opportunamente usati i contatori proporzionali al BF₃ nella versione di Hanson¹⁸ per la possibilità che offrono di un'ottima discriminazione fra gli impulsi dovuti ai neutroni e quelli dovuti agli elettroni; rispondono però meglio i contatori polietilene-etilene del tipo Hurst la cui sensibilità ai γ è alcune centinaia di volte minore di quella a un equivalente flusso di neutroni²⁹. In ogni caso si tratta sempre di misurare una delle componenti, ottenendo l'altra per differenza dalla dose complessiva data per esempio in rads, come nel caso delle camere tessuto equivalente.

L'esatta determinazione della dose biologica che può essere assorbita in un campo misto, nel caso dei neutroni non può prescindere dal loro spettro di energia, a causa della notevole variazione della E.B.R. con l'energia stessa³⁰.

I rivelatori per neutroni, la cui risposta è proporzionale alla dose, permettono di fare delle misure sufficientemente approssimate, ma solo entro determinati intervalli di energia; in questi casi il valore attribuito alla E.B.R. è un valore medio che per ragioni di sicurezza, può essere, e forse è bene che lo sia, sopravvalutato.

Le misure fatte per questa via, eseguite naturalmente fuori delle schermature, non tengono conto del contributo dei neutroni con energia minore di 100-200 KeV e maggiore di 10-15 MeV. Il contributo alla dose di questi ultimi, è presumibilmente quasi trascurabile. Ugualmente trascurabile dovrebbe essere il contributo dei neutroni con energia fra 1-2 e 10-15 MeV. Infatti i neutroni prodotti dagli acceleratori di alta energia sono in gran parte neutroni di evaporazione, ai quali si aggiungono quelli generati direttamente sulle targhette colpite dal fascio, che possono raggiungere un'energia massima, pari a quella delle particelle accelerate; lo spettro degli uni e degli altri viene alterato dalle schermature e l'energia media attenuata, in modo tale che al di là delle schermature stesse si ha uno spettro con energia media intorno a 1 MeV, ciò che del resto è confermato da misure fatte con diversi metodi²³⁻³¹.

Per poter escludere la presenza fuori delle schermature di neutroni di alta energia in quantità significativa per la dose biologica, è consigliabile fare delle misure con opportuni rivelatori di soglia.

Per la misura dei neutroni di energia minore di 100-200 KeV il cui contributo alla dose totale è da presumere che per le ragioni dette non sia trascurabile, i rivelatori a fogli d'indio si prestano bene allo scopo.

In conclusione sembra opportuno sottolineare la complessità del problema della dosimetria dei neutroni veloci, la cui soluzione completa richiede ancora, certamente, notevole lavoro ed impegno.

Dosimetria personale

Per la dosimetria personale il sistema indubbiamente più efficiente è quello dei film-badges³²⁻³³⁻³⁴⁻³⁵, perchè come è noto, permette di ottenere il valore della dose assorbita in un certo tempo, anche quando le intensità di dose istantanee sono molto alte. Esso è perciò oltremodo conveniente per la dosimetria personale intorno agli acceleratori a flusso pulsato, ove oltre tutto non è possibile predire o calcolare una dose in una certa area, avendo fatto solo misure di intensità, perchè questa può variare, e in genere varia, da un istante all'altro e anche da un punto all'altro. In un campo misto di γ e neutroni, l'uso contemporaneo di film-badges per i due tipi di radia-

zione permette di ricavare la dose biologica, previa opportuna taratura.

Limitatamente ai neutroni vi è anche in questo caso da osservare che i neutroni di energia minore di 0,5 MeV non vengono rivelati, perchè i corrispondenti protoni di rinculo, quando vi sono, non lasciano che assai raramente traccia visibile. Quelli di alta energia danno invece luogo a stelle di disintegrazione. Dall'inconveniente si può comunque tener conto nella taratura, per sopravvalutare i valori di dose in modo da stare sempre dalla parte della maggior sicurezza.

RIASSUNTO

M. Ladu: Sicurezza e dosimetria intorno agli acceleratori di alta energia a flusso pulsato. - Vengono esposti e discussi i problemi di sicurezza e dosimetria posti dai grandi acceleratori a flusso pulsato. In particolare sono trattati i problemi di schermatura, di rivelazione in campo misto e di valutazione della dose biologica.

SUMMARY

M. Ladu: Protection and dosimetry near high energy accelerators. - The problems of radioprotection and dosimetry near high energy accelerators are illustrated and discussed, especially those connected with shielding, mixed-field detection and evaluation of the biological dose.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Solon L. R. Risø Symposium, pag. 301, 1959.
- 2) U.S.A.E.C. Conference of Shielding of High-Energy Accelerators, New York, 1957.
- 3) Williams R. W. CEA 10, Harvard University, Cambridge, 1956.
- 4) Livingston M. S. CEA 27, Harvard University, Cambridge, 1957.
- 5) Livingston M. S. CEA TM-8, Harvard University, Cambridge, 1957.
- 6) Wilson R. CEA TM-40, Harvard University, Cambridge, 1958.
- 7) Wilson R. CEA TM-73, Harvard University, Cambridge, 1959.
- 8) Raccomandazioni della I.C.R.P. Trad. di L. Forti e C. Polvani, 1958.
- 9) Handloser J. S. BNL 3519, 1959; Health Phys., 2, 165, 1959.
- 10) U.S.A.E.C. NYO, 4699, 1956.
- 11) U.S.A.E.C. NYO, 4699, suppl. 1, 1958.

- 12) Candès P. S.C.R.G.R. PA/59-082/PC/sk. Symposium Franco-Italien de Grenoble, 1959.
- 13) Lasseur C., Stirling A. V. S.C.R.G.R., PA/59-084/AS/cg. Symposium Franco-Italien de Grenoble, 1959.
- 14) Hurst G. S., Ritchie R. H., Wilson H. N. Rev. Sci. Instr., 22, 981, 1951.
- 15) Skjoldbrand R. J. Nucl. Energy, 1, 299, 1955.
- 16) Dennis S., Loosemore W. R. AERE, 3302, 1960.
- 17) Anderson I. O. AIEA: Colloque sur certains aspects de la dosimetrie des rayonnements, RD/21, 1960.
- 18) Hanson A. O., Mckibben J. L. Phys. Rev., 72, 673, 1947.
- 19) Wallace R. AIEA: Colloque sur certains aspects de la dosimetrie des rayonnements GR/54.
- 20) Wheatley B. M. AIEA: Colloque certains aspects de la dosimetrie des rayonnements RD/22.
- 21) Wheatley B. M. CERN 59-32, 1959. Symposium de Risø, pag. 285, 1959.
- 22) Joffre H., Stirling A., Candès P. Symposium de Risø, pag. 271, 1959.
- 23) Wallace R., Andloser I. S., Moyer B. J., Patterson H. W., Phillips L., Smith A. R., Second Int. Conf. on the Peace Uses of Atom. Energy, 15/P/1882, 1958.
- 24) Brodsky A. Nucleonics, 10, 12, 1952.
- 25) Rossi H. H., Failla G. Nucleonics, 2, 32, 1956.
- 26) Humbel F., Stebler A. AIEA, Colloque sur certains aspects de la dosimetrie des rayonnements, RD/24.
- 27) Rossi H. H., Hurst G. S., Mills W. A., Hungerford H. E. Nucleonics, 4, 46, 1955.
- 28) Brien K. O., McLaughlin J. E. Nucleonics, 1, 64, 1957.
- 29) Hurst G. S., Wagner E. B. AIEA, Colloque sur certains aspects de la dosimetrie des rayonnements RD/53, 1960.
- 30) N. B. S. Handbook, 63, pag. 15.
- 31) Peterson V. Z. Radiation Levels at C.I.T. Synchrotron, 1958.
- 32) Amadesi P., Grimellini N., Guenzi G., Rimondi O. Minerva Nucleare, 2, 44, 1959.
- 33) Cheka J. S. Phys. Rev., 90, 353, 1953.
- 34) Cheka J. S. Nucleonics, 6, 40, 1954.
- 35) Cook J. E. AERE, HP R 2744, 1958.

