

APPLICATION DES MÉTHODES IONOGRAPHIQUES A LA DOSIMÉTRIE DES NEUTRONS

A.M. CHAPUIS*

(manuscrit reçu le 20 avril 1967)

Dans un certain nombre d'isolants, les particules lourdes chargées produisent des défauts permanents le long de leur trajectoire. Différents procédés ont permis d'observer ces défauts qui apparaissent sous forme de traces continues. L'examen direct de ces traces, dont le diamètre est de l'ordre de 30 à 50 angströms, nécessite un microscope électronique; les échantillons étudiés doivent alors être très minces, de l'ordre de 300 Å, et seule une portion du parcours total des particules reste dans le champ du microscope. En raison des difficultés que représente l'emploi de cette méthode, on préfère examiner le matériau après agrandissement du diamètre des traces. On constate en effet que certains réactifs attaquent préférentiellement les régions endommagées laissant ainsi apparaître des trous, visibles au microscope optique. L'échantillon peut ainsi avoir une épaisseur quelconque, seules étant dénombrées les traces qui débouchent à la surface.

Ces matériaux parmi lesquels on trouve des minéraux naturels, des verres, des matières plastiques, n'ont pas tous la même sensibilité : la formation des traces est liée au type et à l'énergie de la particule chargée incidente. On peut caractériser chaque matériau par un taux de perte d'énergie minimum au-dessous duquel une particule ne peut plus laisser de traces visibles (tableau 1).

Actuellement, le matériau le plus sensible est le nitrate de cellulose qui permet de matérialiser le passage de particules α ayant une énergie comprise entre 0,5 et 3 MeV environ. Les particules de masse atomique inférieure à 4, telles que protons, tritons, électrons, ne peuvent pas encore être détectées. Le tableau 2 donne les réactifs correspondants à quelques matériaux usuels.

PROPRIÉTÉS

Le matériau détecteur est en général léger, de petites dimensions, insensible aux chocs et aux champs électrique et magnétique. Il est totalement insensible aux protons, tritons, électrons et au rayonnement électromagnétique. Les défauts créés sont très stables : on ne note pas d'altération de la région endommagée par l'humidité ni par les températures inférieures à 100 °C. Il n'y a donc pas d'effacement des traces dans les conditions normales de stockage; l'attaque chimique et la lecture peuvent se faire sans inconvénient plusieurs mois après l'irradiation.

* Service Technique d'Etudes de Protection, Centre d'études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, B.P. n° 6, 92-Fontenay-aux-Roses.

TABLEAU 1
SENSIBILITÉ D'ENREGISTREMENT DES TRACES DE PARTICULES
POUR DIFFÉRENTS MATÉRIAUX (1-2)

Matériau	Ion le plus léger détectable	Taux critique de perte d'énergie MeV.mg ⁻¹ .cm ²
Pyroxène Olivine Hypersthène	Ca	~ 20
Zircon Laboradorite Plagioclase		~ 19
Verre au phosphate Verre à la chaux sodée Orthoclase Quartz	S	~ 15
Mica	Si	~ 13
Mylar	O	~ 4
Lexan	C	~ 4
Téréphtalate isophtalique (HB pa IT)	B	~ 3
Butyrate acétate et nitrate cellulose	He	~ 2

TABLEAU 2
MATÉRIAUX DÉTECTEURS ET RÉACTIFS USUELS

Matériau détecteur	Réactif
Mica muscovite	HF 48 % - 20 °C - 30 minutes
Mica synthétique	HF 48 % - 20 °C - 2 minutes
Mica phlogopite	HF 48 % - 20 °C - 1 minute
Mica biotite	HF 48 % - 20 °C - 10 secondes
Verre au phosphate	HF 48 % - 20 °C - 30 minutes
	ou
	NaOH 28 % - 60 °C - 10 minutes
Polycarbonate (Macrofol)	NaOH 6,25 N - 60 °C - 30 minutes
Polyméthacrylate de méthyle (Plexiglas)	Eau régale + HF
Carbonate de biphénol acétone (Lexan)	NaOH 6,25 N - 55 °C - 50 minutes
Polytéréphtalate d'éthylène (Mylar - Terphane)	KOH 300 g/l - 60 °C - 30 minutes
Nitrate de cellulose	NaOH 6,25 N - 55 °C - 50 minutes

PRINCIPE DE DÉTECTION DES NEUTRONS (1 à 12)

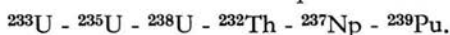
Les neutrons sont détectés par l'intermédiaire des particules chargées émises lors d'une réaction de fission ou d'une réaction (n, α) . Le convertisseur est habituellement accolé au détecteur mais peut, dans certains cas, lui être incorporé.

DÉTECTION DES NEUTRONS THERMIQUES

On utilise les réactions (n, α) sur le bore 10 ou le lithium 6 ou la réaction (n, f) sur l'uranium 235. Pour éliminer l'influence des neutrons épithermiques et rapides, pour lesquels les sections efficaces de ces réactions ne sont pas nulles, il est nécessaire de soustraire les informations fournies par deux détecteurs identiques dont l'un est protégé par un boîtier de cadmium.

DÉTECTION DES NEUTRONS RAPIDES

On utilise la réaction de fission sur les isotopes suivants :



En choisissant deux ou plusieurs réactions dont les courbes de section efficace en fonction de l'énergie des neutrons sont très différentes, on obtient une information sur la forme du spectre de neutrons incidents. Les difficultés d'interprétation des résultats sont exactement les mêmes que celles rencontrées avec les détecteurs par activation.

QUELQUES DÉTECTEURS DE NEUTRONS THERMIQUES

Domaine de fluences $n \cdot \text{cm}^{-2}$	Matériau détecteur	Convertisseur	Référence
10^{16} à 10^{21}	Mica	^{235}U présent dans le mica sous forme d'impuretés	12
$\sim 10^{23}$	Muscovite Nitrate de cellulose	^{235}U	14
$5 \cdot 10^{14}$ à $5 \cdot 10^{18}$	Verre ordinaire		7
10^{13} à 10^{17}	Mica	aluminium à faible teneur en uranium	12
10^9 à 10^{13}	Nitrate de cellulose Mica	U naturel épaisseur 100 Å	12
$3 \cdot 10^3$ à 10^{11}	Lexan	^{235}U	4
$3 \cdot 10^4$ à $2 \cdot 10^8$	Verres au phosphate Radiophotoluminescent	Uranium enrichi (93,2 % ^{235}U) Épaisseur 30 μ	10
> 1	Nitrate de cellulose * Surface 0,093 m ²	Bore	11
10^3 à 10^9	Mylar *	U naturel et enrichi couche épaisse	12

* Pour les fluences les plus faibles les traces sont trop peu nombreuses pour être observées au microscope : on utilise alors comme matériau détecteur un plastique mince métallisé. L'attaque se fait du côté non métallisé. Le réactif traverse les canaux qu'il révèle et attaque rapidement le film métallique en donnant des taches visibles à l'œil nu.

QUELQUES DÉTECTEURS DE NEUTRONS RAPIDES

Fluence n.cm ⁻²	Energie MeV	Matériau détecteur	Convertisseur	Référence
> 10 ⁶	1 à 5	Lexan	²³⁷ NpO- incorporé dans un plastique	4
> 10 ⁷	3 à 6	Lexan	²³² Th	4
5.10 ¹⁰ à 10 ¹⁵		Mica	²³² Th épaisseur 100 Å	12
10 ⁸ à 10 ¹²		Mica	²³² Th couche épaisse	12
> 3.10 ⁵	2 à 6	Lexan	²³⁸ U	4
	2 à 20	Verre R.P.L.	²³⁸ U	10
> 3.10 ⁵	1	Lexan	²³⁵ U	4

ÉTALONNAGE

Le calcul du rendement de détection est difficile, il doit tenir compte de la composition et de l'épaisseur du convertisseur, du parcours des particules α ou des fragments de fission dans ce convertisseur, de la section efficace de la réaction qui est fonction de l'énergie des neutrons. En pratique, on procède à un étalonnage dans un champ de neutrons de fluence et de spectre connus.

Cette nouvelle technique de détection des particules par les isolants offre dès à présent des applications intéressantes pour la dosimétrie des neutrons. Parmi les études en cours, citons la recherche de matériaux détecteurs plus sensibles et l'amélioration des techniques de lecture. Ces deux voies pourraient offrir de nouvelles possibilités dans la rapidité et la précision des lectures, dans le domaine de fluences mesurées et dans la précision des résultats dosimétriques et spectrométriques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] FLEISCHER R.L., PRICE P.B., WALKER R.M. *J. Appl. Phys.* **36**, 11 (1965).
- [2] FLEISCHER R.L., PRICE P.B., WALKER R.M. Tracks of charged particles in solids. *Science* **149**, 383 (1965).
- [3] BAUMGARTNER W.V., BRACKENBUSH L.W. Neutron Dosimetry using the Fission Fragment Damage Principle, BNWL-SA-516 (1966).
- [4] UNRUH C.M., BAUMGARTNER W.V., KOCHER L.F., BRACKENBUSH L.W., ENDRES G.W.R. Personnel neutron dosimeter developments. BNWL-SA-537 (1966).
- [5] PRICE P.B., WALKER R.M. The use of mica as a convenient and simple dosimeter for both slow and fast neutrons. 63 - RL (3253 M), *General Electric Research Laboratory* (1963).
- [6] WALKER R.M., PRICE P.B., FLEISCHER R.L. A versatile, disposable dosimeter for slow and fast neutrons. *Applied Physics Letters* **3**, 28 (1963).
- [7] FLEISCHER R.L., PRICE P.B., WALKER R.M. Neutron flux measurement by fission tracks in solids. *Nuclear Science and Engineering* **22**, 153 (1965).

- [8] PREVO P.R., DAHL R.E., YOSHIKAWA H.H. Thermal and fast neutron detection by fission track production in mica. *Journal of Appl. Physics* 35 - 2638 (1964).
- [9] DEBEAUVAIS M., MAURETTE M., MORY J., WALKER R. Registration of fission fragment tracks in several substances and their use in neutron detection. *Int. Journal of Applied Rad. and Isotopes* 15, 289 (1964).
- [10] BECKER K. Nuclear track registration in dosimeter glasses for neutron dosimetry in mixed radiation fields. USNRDL - TR 904 (1965).
- [11] FLEISCHER R.L., PRICE P.B., WALKER R.M. Simple detectors for neutrons or heavy cosmic ray nuclei. *Rev. of Scient. instruments* 37, 4, 525 (1966).
- [12] MORY J. Sur quelques utilisations de l'enregistrement des fragments de fission dans les isolants. CEA R 2846 (1965).
- [13] KERR G.D., STRICKLER T.D. The application of solid-state nuclear track detectors to the Hurst Threshold Detector System. *Health Physics* 12, 1141 (1966).
- [14] SOMOGYI G. Fiz. Szemle 15, 392 (1964).
- [15] IZUI K, FUJITA F.E. *J. Phys. Soc. Japan* 18, Suppl. III, 210 (1963).