

CEA-N-2197

FR8100904

- Note CEA-N-2197 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

**SECTIONS EFFICACES DE DIFFUSION DE NEUTRONS RAPIDES PAR
LES NOYAUX DE LA REGION DES ACTINIDES ENTRE 0,6 ET 3,4 MeV**

par

Gérard HAOUAT, Jean LACHKAR, Yves PATIN, Jean SIGAUD

- Avril 1981 -

CEA-N-2197 - Gérard HAOUAT, Jean LACHKAR, Yves PATIN, Jean SIGAUD

SECTIONS EFFICACES DE DIFFUSION DE NEUTRONS RAPIDES PAR LES NOYAUX DE LA REGION DES ACTINIDES ENTRE 0,6 ET 3,4 MeV

Sommaire. - Les sections efficaces différentielles de diffusion de neutrons par les noyaux ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu et ^{242}Pu , ont été mesurées dans la gamme d'énergie des neutrons incidents allant de 0,6 à 3,4 MeV. Des désaccords importants apparaissent entre les résultats obtenus et les évaluations les plus récentes. Les présentes données ont été analysées dans le cadre des formalismes de l'interaction directe et du noyau composé. Les paramètres du potentiel optique et les déformations nucléaires déduits des calculs sont discutés.

1981

13 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-2197 - Gérard HAOUAT, Jean LACHKAR, Yves PATIN, Jean SIGAUD

FAST NEUTRON SCATTERING CROSS-SECTIONS FOR ACTINIDE NUCLEI IN THE ENERGY RANGE 0.6 - 3.4 MeV

Summary. - Differential cross sections for neutron elastic and inelastic scattering from ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu and ^{242}Pu have been measured at incident energies ranging from 0.6 to 3.4 MeV. Comparison of these results with the latest available evaluations show large discrepancies. The present data have been analysed in the framework of the direct-interaction and compound-nucleus formalisms. Optical potential parameters and nuclear deformation parameters deduced from the calculations are discussed.

1981

13 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

Note CEA-N-2197

DESCRIPTION-MATIERE (*mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS*)

en français

en anglais

REACTIONS PAR NEUTRONS
DIFFUSION ELASTIQUE
DIFFUSION INELASTIQUE
SECTIONS EFFICACES
CIBLE THORIUM 232
CIBLE URANIUM 233
CIBLE URANIUM 235
CIBLE URANIUM 238
CIBLE PLUTONIUM 239
CIBLE PLUTONIUM 242
DOMAINE 01 - 10 MEV
DOMAINE 100 - 1000 KEV
POTENTIEL NUCLEAIRE
DONNEES EXPERIMENTALES

NEUTRON REACTIONS
ELASTIC SCATTERING
INELASTIC SCATTERING
CROSS SECTIONS
THORIUM 232 TARGET
URANIUM 233 TARGET
URANIUM 235 TARGET
URANIUM 238 TARGET
PLUTONIUM 239 TARGET
PLUTONIUM 242 TARGET
MEV RANGE 01 - 10
KEV RANGE 100 - 1000
NUCLEAR POTENTIAL
EXPERIMENTAL DATA

- Note CEA-N-2197 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

**SECTIONS EFFICACES DE DIFFUSION DE NEUTRONS RAPIDES PAR
LES NOYAUX DE LA REGION DES ACTINIDES ENTRE 0,6 ET 3,4 MeV**

par

Gérard HAOUAT, Jean LACHKAR, Yves PATIN, Jean SIGAUD

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
RESULTATS EXPERIMENTAUX	1
CONCLUSION	4
REFERENCES	5
TABLEAU	6
FIGURES	7

---oo0oo---

INTRODUCTION

Les calculs d'optimisation des réacteurs à neutrons rapides nécessitent une connaissance précise et détaillée des données de sections efficaces d'interaction des neutrons avec les noyaux de la région des actinides dans la gamme d'énergie des neutrons rapides [1]. En particulier, il est important de connaître les données de diffusion élastique et inélastique pour pouvoir déterminer le taux de ralentissement des neutrons dans ces réacteurs [2] ; les besoins couvrent la gamme d'énergie s'étendant de quelques centaines de keV à plusieurs MeV dans laquelle est concentrée le spectre des neutrons des réacteurs.

Hormis l'intérêt concernant le domaine appliqué, la diffusion des neutrons rapides par les actinides permet d'étudier les mécanismes d'interaction neutron-noyau et d'obtenir des informations sur les déformations nucléaires dans cette région de masse.

Nous avons donc entrepris une série de mesures de diffusion élastique et inélastique de neutrons sur les isotopes ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu et ^{242}Pu à plusieurs énergies situées entre 0,6 et 3,4 MeV. Nous présentons ici les résultats expérimentaux dont certains ont fait l'objet de rapports et communications [3-6]. Nous présentons également une analyse des données s'appuyant sur les formalismes de l'interaction directe et du noyau composé. Les paramètres du potentiel optique et les déformations nucléaires obtenues dans le présent travail sont discutés.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les sections efficaces différentielles de diffusion élastique et inélastique de neutrons ont été mesurées avec le spectromètre de neutrons par temps de vol composé de quatre puis de cinq chaînes de détection et installé auprès des accélérateurs VAN DE GRAAFF tandem EN ou 4 MV du Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel. Les conditions expérimentales ont été choisies de façon à avoir une résolution totale du spectromètre suffisante pour permettre une séparation facile des groupes de neutrons de diffusion élastique et inélastique pour les isotopes ^{232}Th , ^{233}U , ^{238}U et ^{242}Pu ;

en effet, la résolution en énergie variait entre 10 keV à 0,6 MeV et 28 keV à 3,4 MeV. Une description détaillée de la méthode expérimentale est donnée dans la référence 6.

Les sections efficaces différentielles de neutrons diffusés par les noyaux ^{232}Th et ^{238}U ont été mesurées aux énergies des neutrons incidents de 0,7 - 1,5 - 2,5 et 3,4 MeV entre 20° et 160° . Les distributions angulaires ont été obtenues pour la diffusion élastique et pour la diffusion inélastique sur les premiers états excités 2^+ et 4^+ de ces noyaux. Les données de ^{238}U sont présentées dans la figure 1. Les mesures 1,5 et 2,5 MeV récemment publiées par Guenther et al. [7] et celles de 2,5 de Beghian et al. [8], qui ne sont pas représentées sur cette figure, sont en bon accord avec ces données.

Les mesures sur ^{233}U ont été faites à 0,7 et 1,5 MeV entre 20° et 160° . Nous en avons extrait les sections efficaces de diffusion élastique ($5/2^+$) et de diffusion inélastique sur les premiers états excités $7/2^+$ (40 keV) et $9/2^+$ (92 keV).

Pour l'isotope ^{235}U , les sections efficaces ont été mesurées à 0,7 et 3,4 MeV entre 20° et 160° . Du fait de la complexité du schéma de niveaux de ^{235}U , nous n'avons pu séparer expérimentalement tous les groupes de neutrons diffusés. Nous avons extrait les sections efficaces correspondant à la somme des contributions des états ($7/2^-, 0$; $1/2^+, 75$ eV; $3/2^+, 13$ keV) et ($9/2^-, 46$ keV; $5/2^+, 52$ keV) aux deux énergies et les sections efficaces pour l'état $11/2^-$ (103 keV) à l'énergie de 3,4 MeV. Toutefois, à 0,7 MeV comme à 3,4 MeV, les spectres de temps de vol semblent indiquer que les états de la bande rotationnelle construite sur l'état de particule $1/2^+$ (75 eV) sont très faiblement excités.

Les sections efficaces de ^{239}Pu ont été mesurées à 0,7 et 3,4 MeV. A cette dernière énergie nous avons obtenu les distributions angulaires des groupes de niveaux suivants : ($1/2^+, 0$; $3/2^+, 7,9$ keV), ($5/2^+, 52$ keV; $7/2^+, 76$ keV) et ($9/2^+, 163$ keV; $11/2^+, 173$ keV). Par contre à 0,7 MeV, nous avons pu séparer les contributions des différents niveaux et les distributions angulaires ont été extraites pour l'état fondamental, $1/2^+$ et

les états excités $3/2^+$, $5/2^+$, $7/2^+$. les données sont présentées dans la figure 2.

Les sections efficaces de ^{242}Pu ont été mesurées aux énergies de neutrons de 0,6 - 1,0 - 1,5 - 2,0 et 2,5 MeV entre 15° et 160° . L'extraction des données pour ce noyau était rendue difficile par la présence de l'oxygène dans l'échantillon de $^{242}\text{Pu O}_2$. La figure 3 montre les données à 2,5 MeV pour la diffusion élastique et la diffusion inélastique sur le premier état excité 2^+ (44,5 keV).

La comparaison des présentes données avec les évaluations les plus récentes, montre des désaccords importants tant en ce qui concerne la diffusion élastique que la diffusion inélastique principalement au delà de 1 MeV [4,6]. L'ensemble de ces mesures doit permettre d'améliorer les évaluations.

Une analyse théorique des données a été entreprise pour les isotopes ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U et ^{239}Pu . Le calcul des sections efficaces comprend les contributions du mécanisme d'interaction directe et du processus de noyau composé. Le modèle des équations couplées a été utilisé pour évaluer la contribution de l'interaction directe et le formalisme de Wolfenstein - Hauser - Feshbach, avec correction des fluctuations des largeurs de niveaux pour estimer la contribution du noyau composé. Les paramètres du potentiel optique et les paramètres de déformation déduits des calculs sont rassemblés dans le tableau I. Les valeurs des paramètres du potentiel optique sont très voisines pour les quatre isotopes ; les légères différences existant entre les profondeurs des potentiels peuvent être attribuées à un effet de l'isospin. En ce qui concerne les déformations nucléaires, la comparaison des paramètres de déformation quadrupolaire suggère que les noyaux de masse impaire ^{235}U et ^{239}Pu possèdent une déformation d'équilibre nettement plus grande que les noyaux pair-pair voisins (Tableau I).

Pour l'isotope ^{242}Pu , les données à 2,5 MeV sont comparées dans la figure 3 à des calculs utilisant les paramètres du potentiel déformé donnés par Lagrange et Jary dans leur évaluation des sections efficaces de ^{240}Pu et ^{242}Pu [9] ; ces paramètres sont donnés dans le tableau I. L'accord

entre calculs et mesures est assez satisfaisant bien qu'un meilleur ajustement des données mesurées devrait fournir des valeurs plus réalistes des paramètres de déformation.

CONCLUSION

Nous avons entrepris des mesures de diffusion élastique et inélastique de neutrons sur les noyaux ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu et ^{242}Pu dans la gamme d'énergie 0,6 - 3,4 MeV afin d'étudier le mécanisme d'interaction neutron-noyau dans la région des actinides. Les sections efficaces reflètent les effets de déformation de ces noyaux. Les paramètres du potentiel optique, déduits de l'analyse des données, ont des valeurs très voisines pour tous les noyaux, les différences existant entre les sections efficaces étant attribuables aux déformations nucléaires.

- REFERENCES -

- [1] - R.M. LESSLER (Editeur) "World Request List for Nuclear Data", *WRENDA* 76/77 - INDC (SEC) - 55/URSF Août 1976 ;
- J.L. ROWLANDS, *Proc. of an Int. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data (Harwell U.K. 1978)* p. 7.
- [2] - T. CHOONG and E. KUJAWSKI, *Nucl. Sci. Eng.* 60, 326 (1976).
- [3] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, B. DUCHEMIN et Y. PATIN, *Proc. of the Int. Conf. on the Interactions of Neutrons With Nuclei, Lowell Conf. 760715 P2 (1976)* 1330 ; *Rapport NEANDC (E) 180 "L" (1977)*.
- [4] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD et R. SHAMU, *Rapport NEANDC (E) 196 "L" (1978)*.
- [5] - J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, M. CATES, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. JARY, S. FERGUSON et R. SHAMU, *Proc. of an Int. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data (Harwell U.K. 1978)* p. 508.
- [6] - G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, J. LACHKAR, J. JARY, Y. PATIN et J. SIGAUD, *Conf. on Nucl. Cross Sections for Techn. Knoxville USA 22/26 Oct. 1979*.
- [7] - P.T. GUENTHER, D.G. HAVEL et A.B. SMITH, *Nucl. Sci. Eng.* 65, 174 (1978).
- [8] - L.E. BEGHIAN, G. KEGEL, T. MARCELLA, B. BARNES, G. COUCHELL, J. EGAN, A. MITTLER, D. PULLEN et W. SCHIER, *Nucl. Sci. Eng.* 69, 191 (1979).
- [9] - Ch. LAGRANGE et J. JARY, *Rapport NEANDC (E) 198 "L" (1978)*.

Manuscrit reçu le 15 janvier 1981

paramètres géométriques Noyau	V_R : Potentiel réel	W_D : Potentiel imaginaire de surface	V_{SO} : Potentiel spin-orbite	Déformation quadrupolaire (β_2)	Déformation hexadécapolaire (β_4)
	$R_R^0 = 1,26 a_R = 0,63$	$R_D^0 = 1,26 a_D = 0,52$	$R_{SO}^0 = 1,12 a_{SO} = 0,47$		
$^{232}_{Th}$	$46,6(\pm 0,2) - 0,3E$	$3,6(\pm 0,2) + 0,4E$	$6,2 \pm 0,3$	$0,190 \pm 0,010$	$0,071 \pm 0,007$
$^{235}_U$	$46,4(\pm 0,2) - 0,3E$	$3,3(\pm 0,2) + 0,4E$	$6,2 \pm 0,3$	$0,220 \pm 0,011$	$0,080 \pm 0,008$
$^{238}_U$	$46,2(\pm 0,2) - 0,3E$	$3,6(\pm 0,2) + 0,4E$	$6,2 \pm 0,3$	$0,198 \pm 0,010$	$0,057 \pm 0,006$
$^{239}_{Pu}$	$46,2(\pm 0,2) - 0,3E$	$3,6(\pm 0,2) + 0,4E$	$6,2 \pm 0,3$	$0,220 \pm 0,011$	$0,070 \pm 0,007$
$^{242}_{Pu}$	$46,0(\pm 0,2) - 0,3E$	$3,5(\pm 0,2) + 0,4E$	$6,2 \pm 0,3$	$0,204 \pm 0,010$	$0,051 \pm 0,005$

TABLEAU I

Paramètres du potentiel optique pour les noyaux $^{232}_{Th}$, $^{235}_U$, $^{238}_U$, $^{239}_{Pu}$ et $^{242}_{Pu}$. Rayons et diffusivités sont donnés en fm. Profondeurs des potentiels et énergie (E) des neutrons incidents sont donnés en MeV. Les paramètres de déformation quadrupolaire et hexadécapolaire sont aussi présentés.

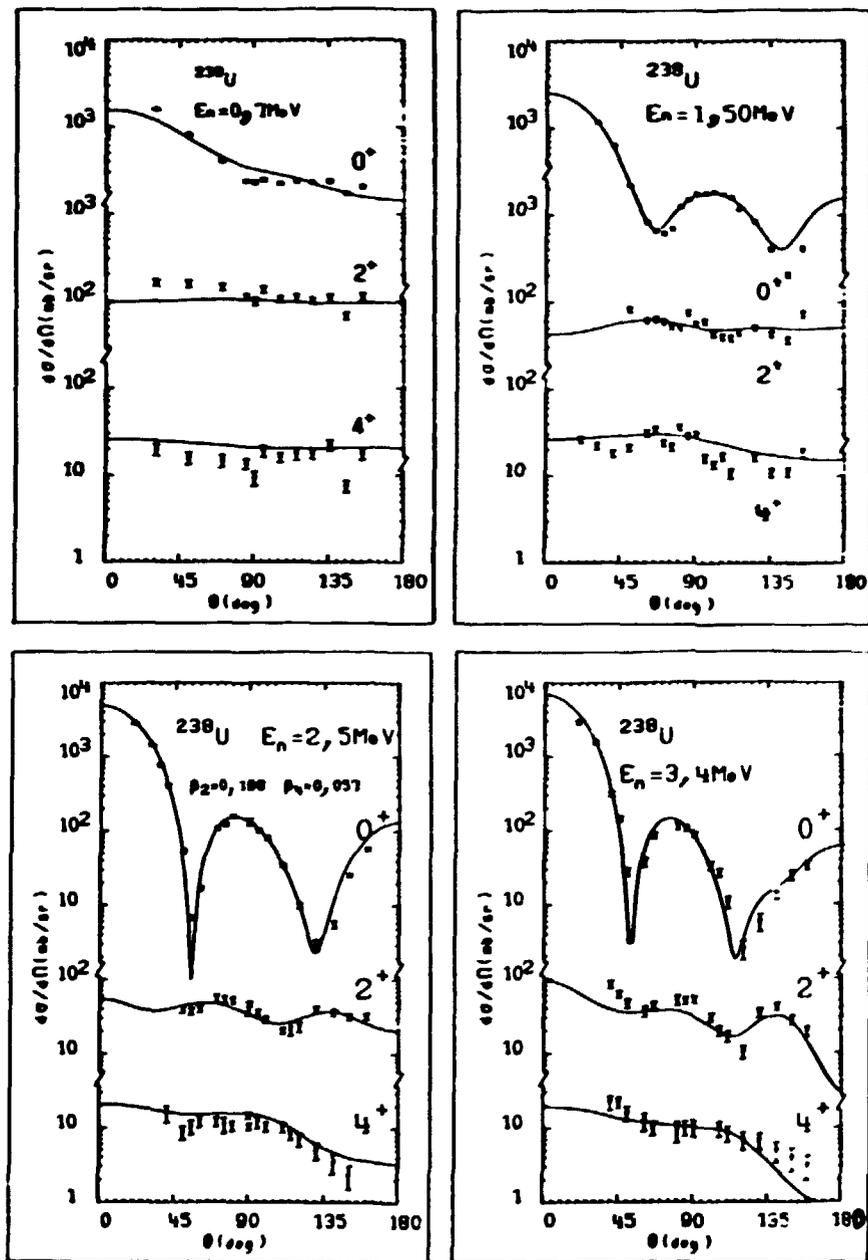


FIGURE 1

Sections efficaces de diffusion élastique et inélastique sur les états 2^+ (45 keV) et 4^+ (148 keV) de ^{238}U aux énergies de 0,7 - 1,5 - 2,5 et 3,4 MeV.

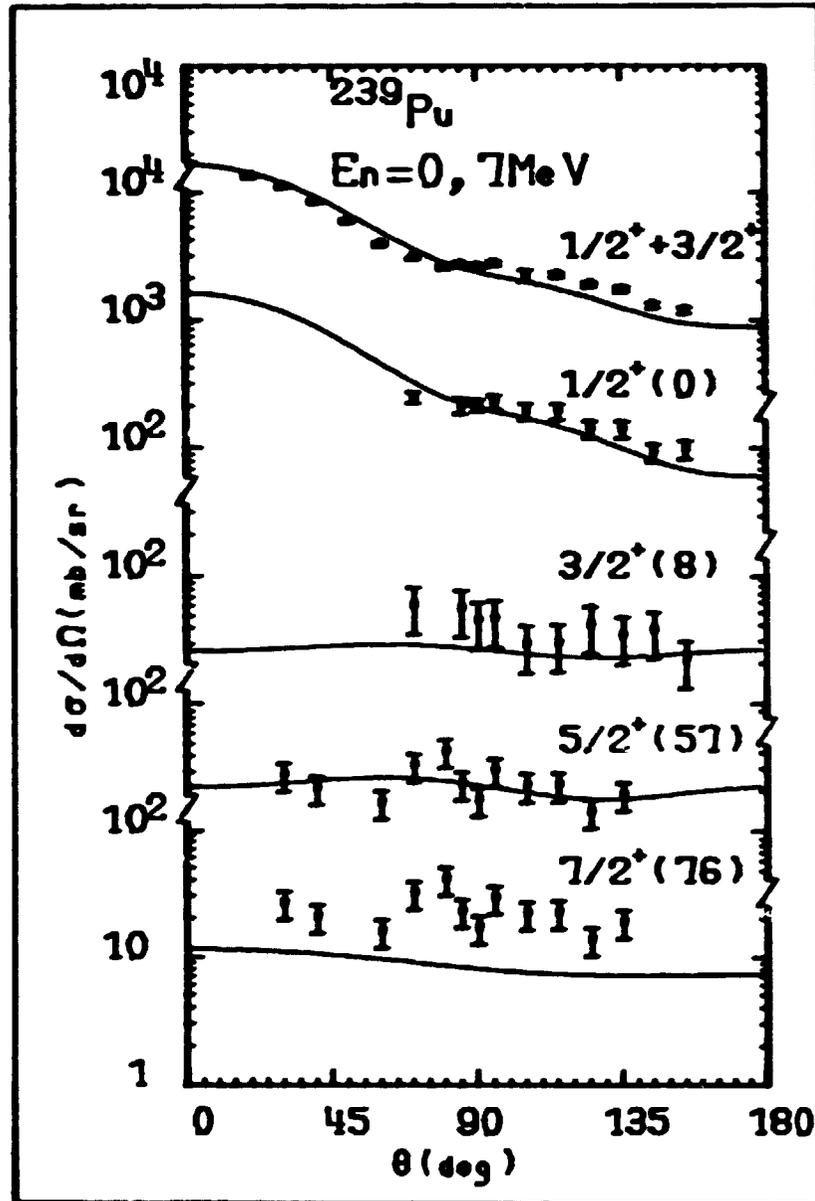


FIGURE 2

Sections efficaces de diffusion de neutrons de 0,7 MeV par ^{239}Pu . Les énergies des états excités sont données en keV.

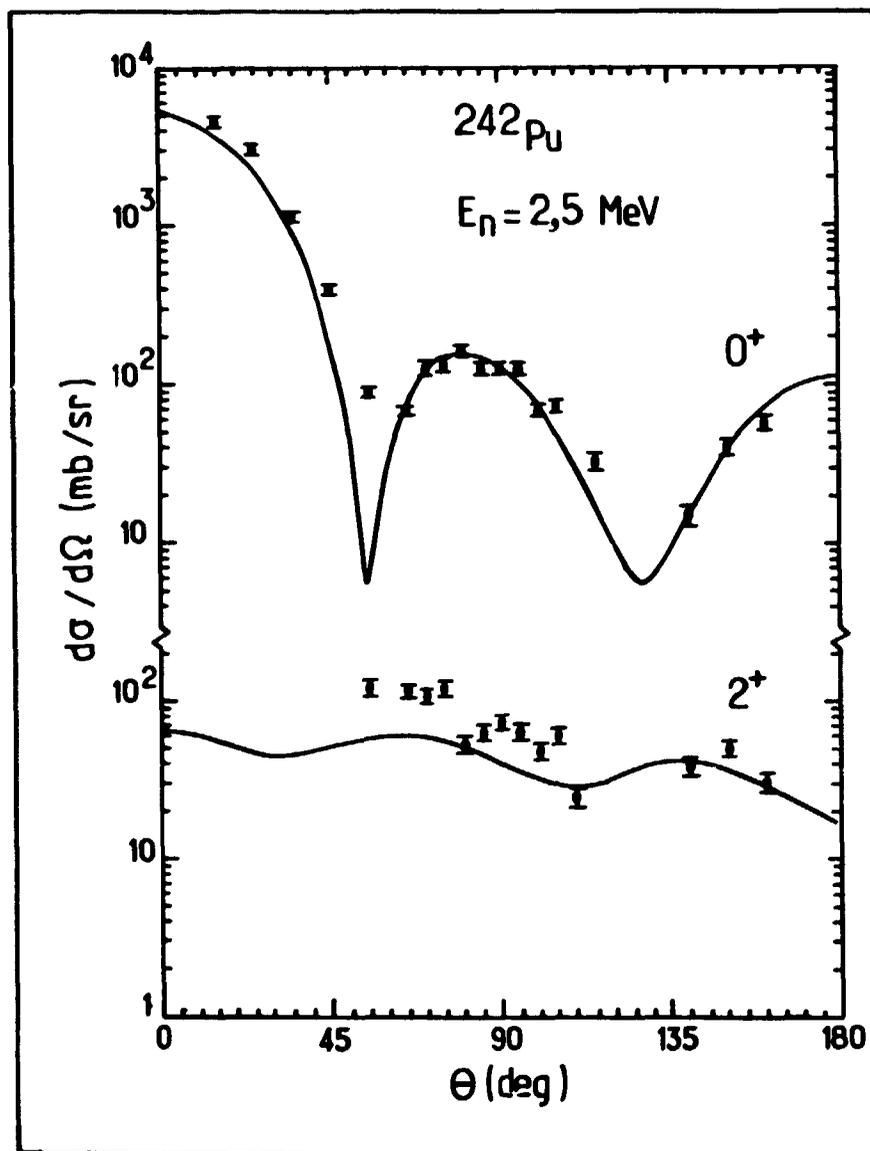


FIGURE 3

Sections efficaces de diffusion élastique (0⁺) et inélastique sur l'état 2⁺ (44,5 keV) de ²⁴²Pu à l'énergie de 2,5 MeV.



Edité par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
91191 GIF-sur-YVETTE Cédex (France)