## - Note CEA-N-2200 -

è

EP 2, 20 Premis

.

1.1

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

# DIFFUSION DE NEUTRONS PAR LES ISOTOPES <sup>206</sup>, <sup>207</sup>, <sup>208</sup>Pb et <sup>209</sup>Bi DANS LA GAMME D'ENERGIE 7,5 - 13,5 MeV

par

Gérard HAOUAT, Olivier BERSILLON, Jean LACHKAR, Yves PATIN, Christian LAGRANGE

-Avril 1981 -

1 11 11

I.

T

1 1

I.

CEA-N-2200 - G. HAOUAT, O. BERSILLON, J. LACHKAR, Y. PATIN, Ch. LAGRANGE

DIFFUSION DE NEUTRONS PAR LES ISOTOPES  $^{206,207}$   $^{230}{}_{P5}$  et  $^{209}{}_{Bi}$  dans la gamme d'energie 7,5-13,5 MeV.

<u>Sommaire</u> - Dars le but d'étudier l'intéraction neutron-noyau pour des noyaux de la région de masse voisine de A = 208, nous avons mesuré les sections efficaces de diffusion élastique et inélastique pour les isotopes  $^{206, 207, 208}$ Ph et  $^{209}$ Bi aux énergies de neutrons incidents de 7,5-9,5-11,5 et 13,5 MeV. Une analyse préliminaire des données a été entreprise. Les paramètres du potentiel optique sphérique ont été obtenus à partir des présentes données de diffusion élastique et des sections efficaces totales dans une gamme d'énergie étendue. Ces paramètres ont été ensuite utilisés pour calculer, à l'aide du formalisme de la DWBA, les sections efficaces de diffusion inélastique sur les états excités collectifs.

1981

15 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-2200 - G. HAOUAT, O. BERSILLON, J. LACHKAR, Y. PATIN, Ch. LAGRANGE NEUTRON SCATTERING FROM <sup>206</sup>, 207, 208 pb AND <sup>209</sup> Bi IN THE ENERGY RANGE 7.5-: .5 MeV.

Summary - In order to study the neutron-nucleus interaction for nuclei in the mass region around A = 208, neutron elastic and inelastic cross-sections of  $^{206,207}$ ,  $^{208}$ Pb and  $^{209}$ Bi have been measured at 7.5-9.5-11.5 and 13.5 MeV incident energies. A preliminary analysis of the data has been undertaken. Spherical optical potential

parameters have been deduced from both the present elastic scattering data and the energy variation of the total cross-section over a wide range. These parameters were then used for calculating inelastic scattering cross sections for collective excited states within the framework of the DWBA formalism.

1981

Commissariat à l'Energie Atomique - France.

15 p.

### Note CEA-N-2200

#### DESCRIPTION-MATIE ... E (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/IN/S)

## en français

#### en anglais

CIBLE PLOMB 208 CIBLE PLOMB 207 CIBLE PLOMB 208 CIBLE BISMUTH 209 REACTIONS PAR NEUTRONS DIFFUSION ELASTIQUE DIFFUSION INELASTIQUE SECTIONS EFFICACES DIFFERENTIELLES DISTRIBUTION ANGULAIRE DOMAINE 01 - 10 MEV LEAD 208 TARGET LEAD 207 TARGET LEAD 208 TARGET BISMUTH 209 TARGET NEUTRON REACTIONS ELASTIC SCATTERING INELASTIC SCATTERING DIFFERENTIAL CROSS SECTIONS ANGULAR DISTRIBUTION MEV RANGE 1 - 10 - Note CEA-N-2200 -

ł

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

# DIFFUSION DE NEUTRONS PAR LES ISOTOPES 206, 207, 208 pb et 209 Bi DANS LA GAMME D'ENERGIE 7,5 - 13,5 MeV

раг

Gérard HAOUAT, Olivier BERSILLON, Jean LACHKAR, Yves PATIN, Christian LAGRANGE

1

T H

## TABLE DES MATIERES

I - INTRODUCTION	1
II – METHODE EXPERIMENTALE	1
III - RESULTATS ET DISCUSSIONS	2
IV - CONCLUSION	4
REFERENCES	5
TABLEAU	7
FIGURES	8

---00000----

1.1

1

1

I I

I.

I.

нт

1

т т

I.

## I - INTRODUCTION -

La diffusion des neutrons rapides par des noyaux de la région de masse Z = 82, N = 126 permet d'étudier le comportement du potentiel optique neutron-noyau au voisinage d'une double couche fermée. Plusieurs auteurs ont montré, en effet, que le potentiel optique varie sensiblement d'un noyau à l'autre près des couches fermées en neutrons et (ou) en protons [1] : en particulier, le potentiel d'absorption diminue notablement lorsqu'on s'approche d'un noyau magique en raison des effets de fermeture des couches nucléaires [2,3]. La diffusion des neutrons permet d'obtenir aussi des informations précises sur les propriétés collectives de ces noyaux.

Nous avons entrepris, dans ce but, l'étude expérimentale de la diffusion de neutrons de 7,5 - 9,5 - 11,5 et 13,5 MeV sur les isotopes <sup>206,207,208</sup>Pb et <sup>209</sup>Bi. Nous présentons dans cette communication les données de sections efficaces différentielles de diffusion élastique et inélastique pour les niveaux excités collectifs les plus bas de ces noyaux, ainsi qu'une analyse préliminaire des données à l'aide du modèle optique sphérique pour la diffusion élastique et du formalisme de la DWBA pour la diffusion inélastique.

#### II - METHODE EXPERIMENTALE -

Les sections efficaces différentielles de diffusion élastique et inélastique de neutrons ont été mesurées en utilisant un ensemble de spectrométrie des neutrons par temps de vol composé de quatre chaînes de détection et installé auprès de l'accélérateur tandem Van de Graaff du Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel [4]. Les neutrons incidents étaient produits à l'aide de la réaction  ${}^{2}H(d,n){}^{3}He$  en cible gazeuse. Le faisceau de deutérons incidents était pulsé à la fréquence de 2,5 MHz et regroupé en des impulsions de ~! ns de largeur à mi-hauteur.

Les échantillons de 206,207,208 Pb et 209 Bi étaient placés à environ 11 cm du centre de la cible gazeuse. Ils étaient sous forme de cylindres pleins de ~ 0,3 mole. L'enrichissement isotopique était > 997 pour 206,207 Pb et <sup>209</sup>Bi et 86,57 pour <sup>208</sup>Pb. La détection des neutrons était assurée par quatre détecteurs constitués de scintillateurs liquides NE 213, de 12,5 cm de diamètre x 5 cm d'épaisseur, couplés à des photomultiplicateurs XP 1040. Les détecteurs étaient placés à 8 m de l'échantillon. La résolution totale en énergie de l'ensemble de mesure était < 300 keV, ce qui permettait de séparer expérimentalement les groupes de neutrons de diffusion élastique et de diffusion inélastique pour les isotopes pairs. La valeur absolue des sections efficaces différentielles a été obtenue par comparaison avec la section efficace étalon n-p, en utilisant un télescope à protons de recul. Un détecteur de neutrons auxiliaire assurait la mesure relative du flux de neutrons durant l'acquisition des données. Les données expérimentales brutes ont ensuite été corrigées de l'atténuation du flux dans l'échantillon, des effets de diffusion multiple ainsi que des effets géométriques en utilisant une méthode de correction analytique.

## III - RESULTATS ET DISCUSSIONS -

Les sections efficaces différentielles de diffusion de neutrons sur les isotopes  $^{206,207,208}$ Pb et  $^{209}$ Bi ont été mesurées aux énergies de neutrons incidents de 7,5 - 9,5 - 11,5 et 13,5 MeV entre 20° et 160° par pas de 5°. Nous avons excrait des mesures les distributions angulaires de diffusion élastique ainsi que les distributions angulaires de diffusion inélastique correspondant aux niveaux ou groupes de niveaux  $[2^+(0,803 \text{ MeV})]$ ;  $[3^-(2,647 \text{ MeV})]$ ;  $[5^-(2,782 \text{ MeV})]$ ;  $[2^+(4,112 \text{ MeV})]$  et  $[4^+(4,360 \text{ MeV})]$ ;  $[6^+(4,380 \text{ MeV})]$  de  $^{206}$ Pb, et  $[3^-(2,614 \text{ MeV})]$ ;  $[5^-(3,198 \text{ MeV})]$ ;  $[2^+(4,076 \text{ MeV})]$ et  $[4^+(4,323 \text{ MeV})]$ ;  $[6^+(4,435 \text{ MeV})]$  de  $^{208}$ Pb. Pour les noyaux impairs, les sections efficaces ont été déterminées pour les groupes de niveaux excités  $(5/2^+; 7/2^+)$  de  $^{207}$ Pb centrés autour de 2,640 MeV et  $(3/2^+, 5/2^+, 7/2^+,9/2^+,$  $11/2^+)$  de  $^{209}$ Bi centrés autour de 2,600 MeV ; ces états semblent résulter, pour les deux noyaux, du couplage de la particule ou du trou célibataire à l'état collectif octupolaire 3<sup>-</sup> du coeur  $^{208}$ Pb. Une interprétation théorique des données a été entreprise ; nous présentons ici les résultats préliminaires. Pour le noyau <sup>208</sup>Pb, les données de diffusion élastique ont été analysées simultanément avec des données récentes de sections efficaces totales entre 1,4 et 14 MeV [5] à l'aide du formalisme du modèle optique sphérique. Les calculs ont été effectués en supposant un potentiel optique local dépendant de l'énergie et contenant les termes d'absorption de surface et de volume. Les paramètres obtenus sont présentés dans le tableau l et les distributions angulaires calculées sont montrées dans la figure l avec les données expérimentales de diffusion élastique. Les mêmes paramètres ont été ensuite utilisés pour calculer les sections efficaces de diffusion élastique sur <sup>206</sup>Pb ; la figure l montre que les valeurs calculées et mesurées sont en bon accord.

Une analyse des données de  $^{209}$ Bi a été effectuée séparément. Ces données comprenaient outre les présentes sections efficaces de diffusion élastique, les sections efficaces totales et les distributions angulaires de diffusion élastique disponible entre 120 keV et 24 MeV. Les paramètres du modèle optique obtenus pour ce noyau sont rassemblés dans le tableau 1. Il faut remarquer que ces paramètres sont très voisins de ceux obtenus pour  $^{208}$ Pb. La présence d'un terme d'absorption de volume pour  $^{209}$ Bi comme pour  $^{208}$ Pb est nécessaire pour ajuster la section efficace totale autour de 100 MeV, mais son importance est faible aux énergies des présentes mesures. Dans la figure 2a sont comparées les distributions angulaires calculées et mesurées ; la figure 2b présente la comparaison, entre 7 et 15 MeV, des valeurs de la section efficace totale calculées, expérimentales [7,8] et évaluées par A.B. SMITH et al. [9]. L'accord global très satisfaisant ainsi obtenu s'étend d'ailleurs à plus basse énergie pour les fonctions de force  $S_0$  et S<sub>1</sub> et pour le rayon de diffusion potentielle.

Les paramètres du modèle optiquo sphérique ont été ensuite utilisés pour le calcul, dans le cadre de l'approximation de BORN en ondes distordues (DWBA), des sections efficaces de diffusion inélastique sur les niveaux excités collectifs. Nous présentons dans la figure 3, à titre d'illustration les valeurs expérimentales et calculées à 7,5 - 9,5 - 11,5 et 13,5 MeV pour la

- 3 -

diffusion inélastique sur l'état excité 3 (2,614 MeV) de <sup>208</sup>Pb. L'accord est excellent à 9,5 et 11,5 MeV ; à 7,5 et 13,5 MeV, la forme des distributions angulaires est assez bien reproduite, mais l'amplitude des sections efficaces calculées semble trop faible à 7,5 MeV et trop forte à 13,5 MeV. La valeur du paramètre de déformation octupolaire déduite des calculs est  $\beta_2$  = 0,115. BAINUM et al. ont effectué des mesures de diffusion de neutrons sur <sup>208</sup>Pb aux énergies de 11,0 et 27,5 MeV [10]. La comparaison de leurs mesures à 11,0 MeV avec nos données à 11,5 MeV est présentée dans la figure 4. De leur analyse en DWBA, ils ont obtenu pour le paramètre  $\beta_{3}$ les valeurs suivantes : 0,129 ± 0,007 à 11,0 MeV et 0,114 ± 0,007 à 25,7 MeV. Ces auteurs ainsi que WAGNER et al. [11], dans une étude de diffusion inélastique de protons semblent discerner une décroissance significative de la valeur de  $\beta_3$  avec l'énergie du projectile incident, ce que semble aussi indiquer la figure 3. Sachant que les paramètres de déformation sont des grandeurs intrinsèques du noyau, on devrait conclure que soit le formalisme de la DWBA n'est pas justifié dans toute la gamme d'énergie, soit que la dépendance avec l'énergie des paramètres du potentiel optique est mal ajustée, soit enfin que la déformation du potentiel nucléon-noyau dépend de l'énergie du projectile incident.

#### CONCLUSION -

Nous avons mesuré les sections efficaces différentielles de neutrons diffusés élastiquement par les noyaux <sup>206,207,208</sup>Pb et <sup>209</sup>Bi aux énergies de 7,5 - 9,5 - 11,5 et 13,5 MeV dans le but d'analyser l'influence des effets de fermeture des couches nucléaires dans cette région de masse et d'étudier les propriétés collectives de ces noyaux. Il serait intéressant par la suite, de confronter la paramétrisation phénoménologique du potentiel optique, obtenue dans de travail, à celles déduites de méthodes matricielles dans lesquelles les potentiels peuvent être du type "folding" ou Hartree-Fock [12], ou aux prévisions issues de calculs théoriques du type JEUKENNE et al. [13].

#### REFERENCES

- [1] P.T. GUENTHER, D.G. HAVEL et A.B. SMITH, Nucl. Sci. Eng. 65, 174 (1978).
- [2] A.M. LANE, J.E. LYNN, E. MELKONIAN, E.R. RAE, Phys. Rev. Lett. 2,424 (1959).
- [3] W.C. VONACH, A.B. SMITH et P.A. MOLDAUER, Phys. Lett. 11,331 (1964).
- [4] J. LACHKAR, G. HAOUAT, J. SICAUD, Y. PATIN, F. COÇU, C. HUMEAU et S. SEGUIN, Rapport CEA-R-4839 (1977).
- [5] S.M. FERGUSON et R.E. SHAMU, Bull. Am. Phys. Soc. 21, 985 (1976).
- [6] Ch. LAGRANGE, Communication privée.

Ì

- G. HAOUAT, J. LACHKAR, Y. PATIN, Ch. LAGRANGE, M. CATES, Rapport NEANDC (E) 194 "L", p. 29 (1978).
- [7] D.G. FOSTER et D.W. GLASGOW, Phys. Rev. C3, 576 (1971).
- [8] S. CIERJACKS et al., Rapport KFK-1000 (1968).
- [9] A.B. SMITH et al., Rapport ANL-NDM 51 (1980).
- [10] D.E. BAINUM, R.W. FINLAY, J. RAPAPORT, J.D. CARLSON et W.G. LOVE, Phys. Rev. C16, 1377 (1977).
  - J. RAPAPORT, T.S. CHEEMA, D.E. BAINUM, R.W. FINLAY et J.D. CARLSON, Nucl. Phys. A296, 95 (1977).

i.

- 5 -

- [11] W.T. WAGNER, G.M. CRAWLEY, G.R. HAMMERSTEIN et H. MEHANNUS, Phys. Rev. C12, 757 (1975).
- [12] J.M. DUFOUR et J. SALVY, Note CEA-N-1969, NEANDC (E) 181 "L", INDC (FR) 14/L, p. 149 (1977).
- [13] J.P. JEUKENNE, A. LEJEUNE et C. MAHAUX, Phys. Rev. C16, 80 (1977).

Manuscrit reçu le 26 janvier 1981

11

T

Isotope		206, 208 <sub>РЬ</sub>		209 <sub>Bi</sub>	
Potentiel réel	Profondeur V <sub>R</sub>	46,40 - 0,27E		45,45 - 0,22E	
	Rayon R <sub>R</sub>	1,26		1,26	
	Diffusivité a <sub>R</sub>	0,63		0,65	
Potentiel imaginaire de surface	Profondeur W <sub>c</sub>	E < 8 MeV	2,80 + 0,45E	E < 10 MeV	2,20 + 0,47E
	5	E ≥ 8 MeV	6,80 - 0,060E	$E \ge 10 \text{ MeV}$	6,90 - 0,045E
	Rayon R <sub>S</sub>	1,26		1,24	
	Diffusivité a <sub>S</sub>	0,47		0,50	
Potentiel imaginaire de volume	Profondeur W <sub>V</sub>	0,10E		0,08E	
	Rayon R <sub>V</sub>	1,26		1,24	
	Diffusivité a <sub>V</sub>	0,63		0,50	
Potentiel spin-orbite	Profondeur V <sub>SO</sub>	8,40		5,50	
	Rayon R <sub>SO</sub>	1,12		1,08	
	Diffusivité a <sub>SO</sub>	0,47		0,60	

## TABLEAU I

Paramètres du potentiel optique pour <sup>206,208</sup>Pb [6] et <sup>209</sup>Bi. Les potentiels et l'énergie E des neutrons sont exprimés en MeV, les rayons et diffusivités en fm.

ł



Sections efficances diffurnitielles de diffusion élastique d  $E_n = 7.5 - 9.5 - 11.5$  et 13.5 MeV pour <sup>206</sup> pb (a) et <sup>208</sup> pb (b). Les través vontinu sont le résultat du caloul de modèle optique decrit duns le certe.



## FIGURE 2a



Distributions angulaires de diffusion élastique à 7,5 - 9,5 - 11,5 et 13,5 MeV pour <sup>209</sup>Bi. Les tracés continus représentent les résultats de calculs décrits dans le texte.

Sections efficaces totales mesurées entre 7 et 15 MeV (x Réf. [7], o Ref. [8]). Le tracé continu est le résultat du calcul decrit dans le texte, le tracé discontinu représente l'évaluation de A. SMITH et al. [9].



FIGURE 3

Distributions angulaires pour le niveau  $3^{-}$  à 2,614 MeV de 208 Pb.



-- --



Comparaison des données de sections efficaces pour le niveau 3<sup>-</sup>(2,614 MeV) de <sup>208</sup>Pb à 11,5 MeV (§, le présent travail) et à 11,0 MeV (+, Réf. [10]).



×,

Edité par le Service de Documentation Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay 91191 GIF-sur-YVETTE C4dex (France)

1 I