

FR 8002832

CENBG 7933

I N 2 P 3

CENTRE D'ÉTUDES NUCLÉAIRES
DE BORDEAUX-GRADIGNAN

LE HAUT-VIGNEAU
33170 GRADIGNAN

- RAPPORT INTERNE -

MESURE DES DISTRIBUTIONS ANGULAIRES DES
FRAGMENTS DE FISSION DANS LA REACTION

$^{230}\text{Th}(n, f)$ de 0,860 MeV à $E_n = 5$ MeV.

B. Bruneau, A. Sicre, M.F. Fraigneau, T. Benfoughal
F. Castucoli, T.P. Doan et B. Leroux.
(Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan)

et

J. Trochon et Y. Pranal
(Service Physique Nucléaire, Bruyères-le-Châtel)

CENBG 7933

- RAPPORT INTERNE -

MESURE DES DISTRIBUTIONS ANGULAIRES DES
FRAGMENTS DE FISSION DANS LA REACTION
 $^{230}\text{Th}(n,f)$ de 0,860 MeV à $E_n = 5$ MeV.

B. Bruneau, A. Sicre, M.F. Fraigneau, T. Benfoughal
F. Caiucoli, T.P. Doan et B. Leroux.
(Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan)

et

J. Trochon et Y. Pranal
(Service Physique Nucléaire, Bruyères-le-Châtel)

I. Introduction -

L'aspect dynamique du mécanisme de fission nucléaire est encore assez mal connu. En particulier lorsque le noyau fissionnant évolue du point selle au point de scission, la question se pose de savoir comment l'énergie potentielle disponible se répartit entre les différents degrés de liberté du système. Les modèles qui tentent de décrire la manière dont s'effectue cette répartition font intervenir le concept de viscosité nucléaire. La seule variable dynamique dont la connaissance permettrait de trancher entre les différentes hypothèses est la vitesse de séparation des fragments de fission à la scission ; or cette grandeur n'est pas directement accessible à l'expérience, ce sont donc les propriétés finales des fragments (énergie cinétique, masse, charge, énergie d'excitation) qui sont utilisées pour préciser le mécanisme en jeu.

En particulier la mesure de la corrélation entre l'énergie d'excitation du noyau fissionnant et l'énergie cinétique finale E_{CT} des fragments est un moyen d'obtenir des informations sur la viscosité nucléaire. Les variations relatives de E_{CT} auxquelles on s'attend, étant de l'ordre de 1%, les mesures doivent être très précises. Il faut en particulier tenir compte des pertes d'énergie successives des fragments dans le dépôt fissionnant, dans le support et dans les fenêtres des détecteurs. Les différentes épaisseurs traversées dépendent des angles d'émission des fragments. Si on possède des données expérimentales sur la variation de la distribution angulaire des fragments de fission en fonction de l'énergie d'excitation, il est possible d'effectuer une correction comme cela a été fait dans l'étude de la réaction $^{232}\text{Th}(n, f)$ [1]. Une expérience étant en cours concernant l'étude de la réaction $^{230}\text{Th}(n, f)$, nous avons donc entrepris la mesure des distributions angulaires des fragments de fission dans le cas de cette réaction.

II. Méthodes expérimentales -

II.1 - Production des neutrons.

Les distributions angulaires des fragments de fission ont été mesurées pour des énergies des neutrons variant de $E_n = 860 \text{ keV}$ à $E_n = 5 \text{ MeV}$. Pour produire des neutrons dans cette gamme d'énergie au moyen de l'accélérateur Van de Graaff de 4 MV du CENBG, nous avons utilisé successivement les trois réactions $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$, $\text{T}(p, n)^3\text{He}$ et $\text{D}(d, n)^3\text{He}$. Compte tenu des sections

efficaces de production des neutrons qui sont rappelés dans la figure 1, nous avons utilisé la réaction ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ de $E_n = 860$ keV à $E_n = 1240$ keV, la réaction $\text{T}(p,n){}^3\text{He}$ de $E_n = 1300$ keV à $E_n = 2750$ keV, enfin la réaction $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$ pour $E_n = 4$ MeV et $E_n = 5$ MeV. Dans ces domaines d'énergie, les neutrons produits par ces deux dernières réactions sont monocinétiques. En ce qui concerne la réaction ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$, il existe un deuxième groupe de neutrons provenant de la réaction secondaire ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}^*$; cependant la perturbation apportée dans nos mesures par les neutrons de ce deuxième groupe est très faible car leur section efficace de production $\frac{d\sigma^n}{d\Omega}$ est très faible et leurs énergies correspondent d'autre part à des zones où la section efficace σ'_f de la réaction ${}^{230}\text{Th}(n,f)$ est aussi très faible.

Le rapport $R = \frac{d\sigma^{n'}}{d\Omega} \cdot \sigma'_f(E_{n'}) / \frac{d\sigma^n}{d\Omega} \cdot \sigma'_f(E_n)$ reste inférieur à 1/400.

Les cibles productrices de neutrons sont refroidies par pulvérisation d'eau; elles peuvent ainsi supporter des intensités du faisceau incident de 10 à $30 \mu\text{A}$ sans détérioration notable pendant une irradiation de 24 heures. Les caractéristiques des cibles utilisées ainsi que les valeurs calculées des flux de neutrons sont indiquées dans la table I.

	E_n (keV)	Epaisseur	I (μA)	$\Phi_{n/s.cm^2}$ à 10 cm
LiF	860	$210 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	30	$6,3 \cdot 10^5$
TiT	1300	$345 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Ti $0,12 \text{ cm}^3$ T	17	$3,8 \cdot 10^5$
TiD	4000	$304 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Ti $0,11 \text{ cm}^3$ D	10	$6,8 \cdot 10^5$

Table I.

II.2 - Calibration en énergie.

Le faisceau de protons ou de deutons est calibré en énergie en utilisant le fait que l'énergie des particules est reliée à la fréquence de résonance de la

sonde à résonance magnétique nucléaire placée dans l'entrefer de l'aimant d'analyse, par la relation :

$$E_P = \frac{\sqrt{2}}{K}$$

Il s'agit donc de déterminer le coefficient K . Nous utilisons pour cela le fait que la réaction ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ présente un seuil situé à l'énergie $E_p^s = 1,8806 \text{ MeV}$.

Nous mesurons en valeur relative la section efficace différentielle de production de neutrons, au voisinage du seuil de la réaction, en utilisant une cible mince de LiF . Les neutrons sont détectés au moyen d'un compteur du type BF3 placé à 1 m de la cible productrice de neutrons, dans l'axe du faisceau de protons incidents. Comme l'indique la figure 2, cette mesure permet de déterminer \sqrt{s} correspondant au seuil de la réaction. On peut alors en déduire la valeur de K . Une vérification a posteriori de la calibration en énergie des neutrons a été effectuée en mesurant le pic d'absorption des neutrons par le ${}^{32}\text{S}$ à $E_n = 587,3 \pm 0,4 \text{ keV}$ de largeur à mi-hauteur: $\Gamma = 1,4 \pm 0,5 \text{ keV}$ [3]. La dispersion totale en énergie des neutrons émis par la cible de LiF est évaluée à 1,9 keV, ce qui correspond à un décalage moyen en énergie de 1 keV environ. Or on observe expérimentalement une résonance d'absorption ayant une largeur de 4,5 keV et dont la position est décalée de 1,8 keV vers les hautes énergies (Fig. 3). La variation en énergie du faisceau de protons restant inférieure à 1 keV, ces résultats pourraient s'expliquer par une sous-évaluation de l'épaisseur du dépôt de LiF .

II.3 - Dépôts de ${}^{230}\text{Th}$.

Les dépôts de ${}^{230}\text{Th}$ nous ont été prêtés par J. D. JAMES de HARWELL. Il s'agit de 4 dépôts identiques de 2 mg d'oxyde de Thorium évaporé sur un support de Platine de 0,13 mm d'épaisseur et de 18 mm de diamètre. La composition isotopique du dépôt est de 98,9% ${}^{230}\text{Th}$ et 1,1% ${}^{232}\text{Th}$. Les dépôts sont disposés sur 4 faces d'un cube de 2 cm. de côté, dont le centre est situé à 10 cm des cibles productrices de neutrons.

II.4 - Mesure des distributions angulaires.

Le dispositif expérimental utilisé est celui que nous avons mis au point pour étudier les distributions angulaires de corps fortement émetteurs α comme ${}^{231}\text{Pa}$. Ce dispositif [4] utilise une feuille de détecteur plastique de

traces (Makrofol) pour enregistrer les fragments de fission. Les traces des fragments sont révélées au moyen d'un bain de soude puis visualisées par la méthode des étincelles. Le comptage des traces au moyen d'une grille représentant les zones équiangles permet d'obtenir directement :

$$N^{\text{exp}}(\theta) = \frac{dn}{d\Omega}(\theta).$$

III. Résultats expérimentaux -

Les distributions angulaires des fragments de fission de la réaction $^{230}\text{Th}(n, f)$ ont été mesurées pour 27 énergies de neutrons s'étendant de $E_n = 0,860$ MeV à $E_n = 5$ MeV. La figure 4 représente la variation de la quantité $N^{\text{exp}}(5^\circ) / N^{\text{exp}}(85^\circ)$ en fonction de l'énergie moyenne des neutrons incidents. Les erreurs indiquées correspondent seulement aux erreurs statistiques.

Pour chaque énergie, les valeurs expérimentales $N^{\text{exp}}(\theta)$ ont été lissées par une somme de puissances paires croissantes de cosinus :

$$N(\theta) = a_0 + a_2 \cos^2 \theta + a_4 \cos^4 \theta$$

les coefficients a_0, a_2, a_4 étant déterminés en minimisant la quantité :

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^9 \left[\frac{N^{\text{exp}}(\theta) - \sum_{n=0}^2 a_{2n} \cos^{2n}(\theta)}{dN^{\text{exp}}(\theta)} \right]^2$$

Les différentes distributions angulaires sont normalisées entre elles en calculant les quantités :

$$W(\theta) = N(\theta)/N(90^\circ) = \frac{1}{a_0} N(\theta) = 1 + \alpha_2 \cos^2 \theta + \alpha_4 \cos^4 \theta.$$

Les valeurs expérimentales $W^{\text{exp}}(\theta)$ correspondent donc au rapport du nombre de fragments par stéradian détectés à l'angle θ au nombre de fragments donnés pour $\theta = 90^\circ$ par le lissage de l'ensemble de la distribution. Les quantités W^{exp} et $W(\theta)$ sont représentées sur les figures 5 pour les différentes énergies.

Des mesures des distributions angulaires des fragments de fission de la réaction $^{230}\text{Th}(n, f)$ avaient déjà été réalisées dans le domaine d'énergie que nous avons étudié. Une première mesure a été réalisée en 1960 par SIMMONS et HENKEL [5] pour des énergies de neutrons de 1 MeV à 5 MeV ; la résolution en énergie variait entre (± 50 keV) et (± 200 keV) . En 1967, VOROTNIKOV et coll. [6] ont effectué des mesures pour des énergies de neutrons entre 858 et 1230 keV ; la résolution en énergie utilisée était de (± 30 keV) et la résolution angulaire de 12° environ. Les résultats de ces deux mesures ont été analysés par MUIR [7] qui a effectué un lissage des points expérimentaux de la forme :

$$W(\theta) = 1 + \alpha_2 \cos^2 \theta + \alpha_4 \cos^4 \theta .$$

Dans le domaine d'énergie étudié ici, il existe aussi une mesure de YUEN et coll. [8] de 1971, pour $E_n = 1000 \pm 20$ keV .

Enfin, JAMES et coll. [9] en 1972 ont obtenu des résultats pour $E_n = 950$ keV en utilisant une résolution en énergie de 18 keV environ. Dans la table II, nous donnons les valeurs des coefficients α_2 et α_4 ainsi que de la quantité $W(0^\circ)/W(90^\circ)$ pour ces différentes mesures et pour nos propres résultats.

Sur la figure 6 , nous avons représenté la variation de la quantité $A = W(0^\circ)/W(90^\circ)$ en fonction de l'énergie moyenne des neutrons incidents.

Références.

- 1 - J. TROCHON, H. ABOU YEHA, F. BRISARD et Y. PRANAL,
Nucl. Phys., A 318, 63 (1979).
- 2 - M. SOLEILHAC,
Note CEA - N - 1812 (1975).
- 3 - Neutron Cross Sections, BNL 325, Vol. I, Third Edition, p.16-03.
- 4 - A. SICRE, F. CATTUCOLI, G. BARREAU, T. BENFOUGHAL,
B. BRUNEAU, T. P. DOAN et B. LEROUX,
10^e Congrès Int. sur les Détecteurs solides de Traces nucléaires,
Lyon (1979).
- 5 - J.E. SIMMONS et R. L. HENKEL,
Phys. Rev. 120, 198 (1960).
- 6 - P.E. VOROTNIKOV, S. M. DUBROVINA, G. A. OTROSHCHENKO et
V. A. SHIGIN,
Sov. J. Nucl. Phys. 5, 207 (1967).
- 7 - D. W. MUIR,
Rapport Los Alamos Scientific Laboratory : LA-4648-MS (1971).
- 8 - G. YUEN, G. T. RIZZO, A. N. BEHKAMI et J. R. HUIZENGA,
Nucl. Phys. A 171, 614 (1971).
- 9 - G. D. JAMES, J. E. LYNN et L. G. EARWAKER,
Nucl. Phys. A 189, 225 (1972).

Energy (MeV)	Ref.	a_2	a_4	$W(0^\circ)/W(90^\circ)_{FIT}$
0,858 ± 0,030	6	- 0,414	0,789	1,375
0,848 ± 0,012	N	- 0,567	1,253	1,685
0,911 ± 0,010	6	0,072	0,046	1,026
0,925 ± 0,030	6	- 0,036	- 0,083	0,881
0,950 ± 0,011	9	0,274	- 0,435	0,833
0,964 ± 0,030	6	0,340	- 0,569	0,771
1,000 ± 0,020	8	- 0,454	0,2665	0,812
1,000 ± 0,140	5	- 0,796	1,164	1,368
1,015 ± 0,030	6	0,294	- 0,384	0,930
1,013 ± 0,012	N	- 0,102	0,533	1,431
1,066 ± 0,030	6	0,347	0,202	1,549
1,078 ± 0,012	N	- 0,533	1,690	2,166
1,122 ± 0,030	6	0,515	0,062	1,577
1,123 ± 0,012	N	- 0,888	1,980	2,075
1,148 ± 0,012	N	- 0,528	1,250	1,726
1,176 ± 0,030	6	0,338	0,116	1,454
1,200 ± 0,030	6	0,460	- 0,075	1,385
1,230 ± 0,030	6	0,023	0,382	1,405
1,228 ± 0,012	N	- 0,647	1,710	2,067
1,250 ± 0,12	5	- 0,014	0,440	1,426
1,284 ± 0,016	N	- 0,691	1,570	1,886
1,344 ± 0,016	N	- 0,406	1,09	1,684
1,376 ± 0,016	N	0,0423	0,371	1,363
1,404 ± 0,016	N	- 0,140	0,239	1,099
1,484 ± 0,016	N	0,287	- 0,103	1,184
1,500 ± 0,12	5	0,280	- 0,386	0,894
1,529 ± 0,016	N	- 0,269	0,381	1,111
1,559 ± 0,016	N	0,070	0,205	1,276
1,584 ± 0,016	N	- 0,225	0,487	1,262
1,609 ± 0,016	N	- 0,251	0,584	1,334
1,664 ± 0,016	N	- 0,231	0,854	1,623
1,704 ± 0,016	N	- 0,417	1,370	1,931
1,734 ± 0,016	N	- 0,736	1,480	1,744
1,750 ± 0,11	5	0,124	0,146	1,270
1,784 ± 0,016	N	- 0,548	1,380	1,836
1,834 ± 0,016	N	- 0,331	1,168	1,837
1,864 ± 0,016	N	- 0,586	1,548	1,962
1,904 ± 0,016	N	- 0,836	2,972	2,136
1,984 ± 0,016	N	- 0,802	1,667	1,864
2,000 ± 0,10	5	- 0,195	0,594	1,399
2,100 ± 0,10	5	0,237	0,395	1,632
2,234 ± 0,016	N	- 0,357	0,913	1,555
2,500 ± 0,09	5	0,279	- 0,038	1,241
2,734 ± 0,016	N	- 0,568	1,287	1,719
3,000 ± 0,09	5	0,149	0,087	1,236
3,978 ± 0,022	N	- 0,292	0,975	1,684
4,000 ± 0,05	5	- 0,292	0,357	1,0653
4,978 ± 0,022	N	- 0,106	0,325	1,218
5,000 ± 0,06	5	- 0,645	0,555	0,9096

Table II

Légende des figures.

- Fig. 1 : Sections efficaces différentielles de production de neutrons à 0° pour les réactions ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$, $\text{T}(p,n){}^3\text{He}$ et $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$. Les chiffres portés sur les courbes indiquent l'énergie en MeV des particules incidentes (d'après [1]).
- Fig. 2 : Détermination de la constante K de calibration en énergie des protons de l'accélérateur Van de Graaff. On utilise la mesure près du seuil de la fonction d'excitation de la réaction ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ avec une cible mince de LiF.
- Fig. 3 : Mesure de la résonance d'absorption dans la réaction $(n, {}^{32}\text{S})$ à $E_n = 587,3 \text{ keV}$.
- Fig. 4 : Variation de la quantité $N^{\text{exp}}(5^\circ)/N^{\text{exp}}(85^\circ)$ en fonction de l'énergie moyenne des neutrons incidents.
- Fig. 5 abc : Distributions angulaires des fragments de fission de la réaction ${}^{230}\text{Th}(n, f)$. Les courbes correspondent à un lissage des points expérimentaux de la forme : $W(\theta) = 1 + \alpha_2 \cos^2 \theta + \alpha_4 \cos^4 \theta$.
- Fig. 6 : Variation en fonction de l'énergie moyenne des neutrons incidents de la quantité $W(0^\circ)/W(90^\circ)$ pour la présente mesure et pour des mesures antérieures dans le même domaine d'énergie.
-

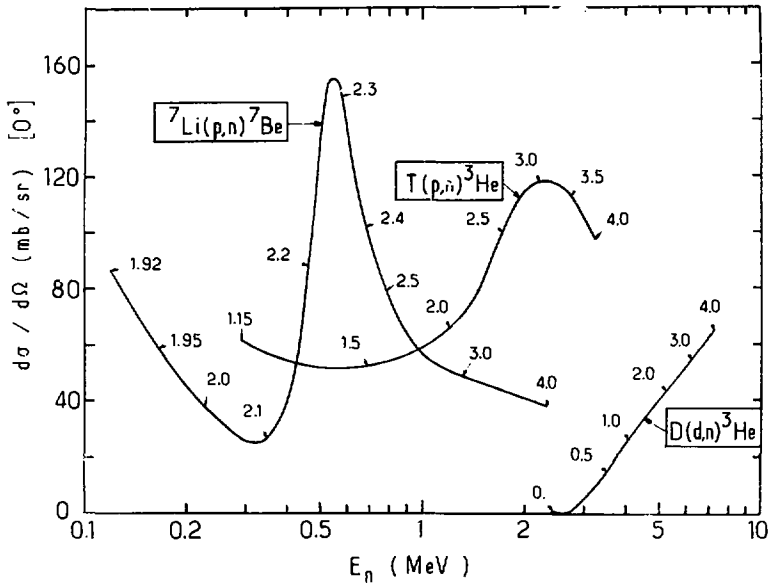


Fig. 1

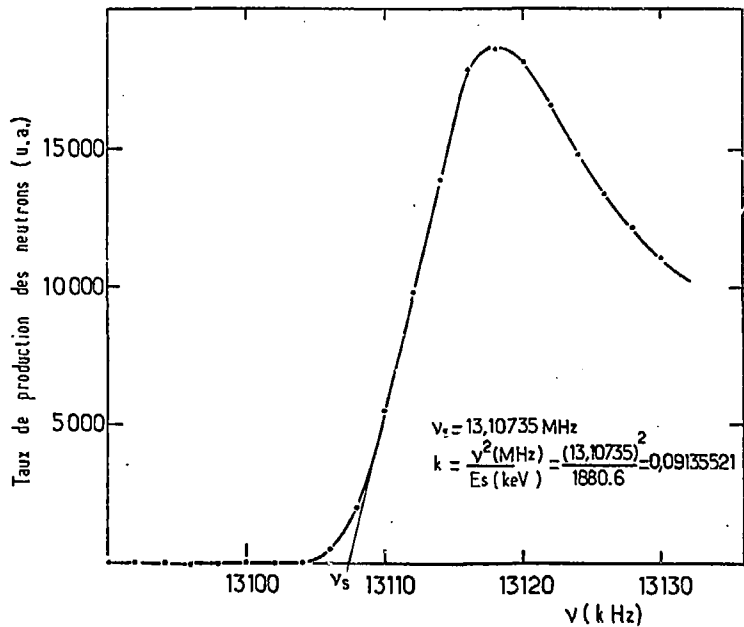


Fig. 2

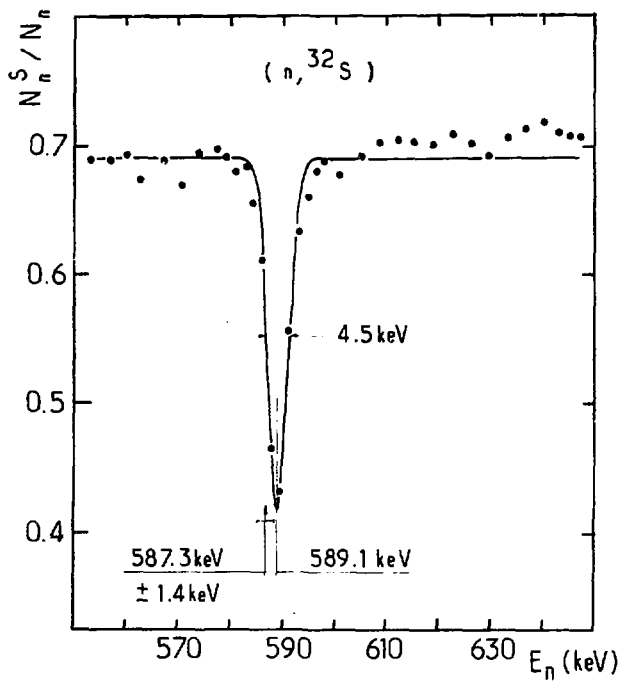


Fig. 3

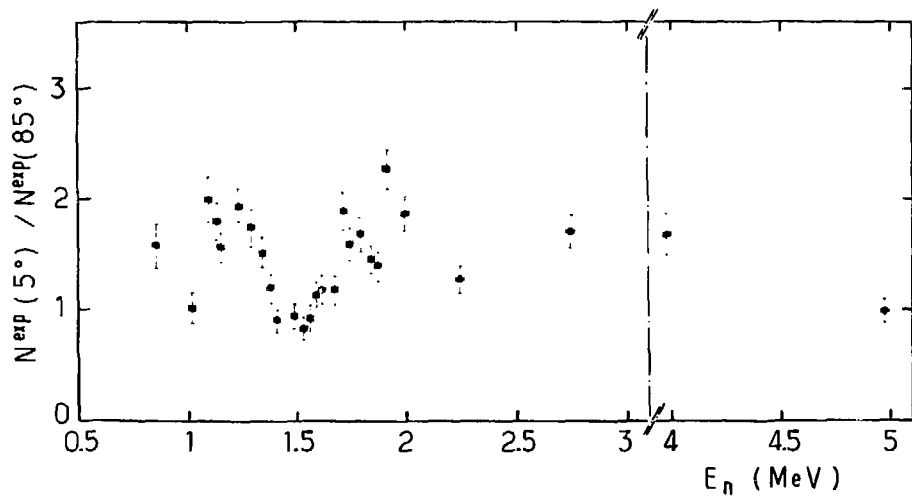


Fig. 4

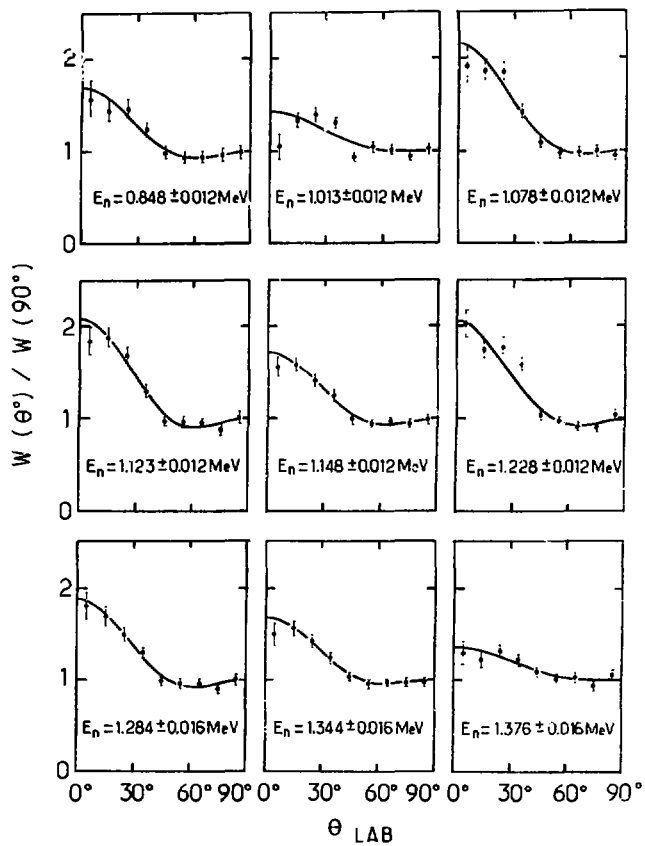


Fig. 5 a

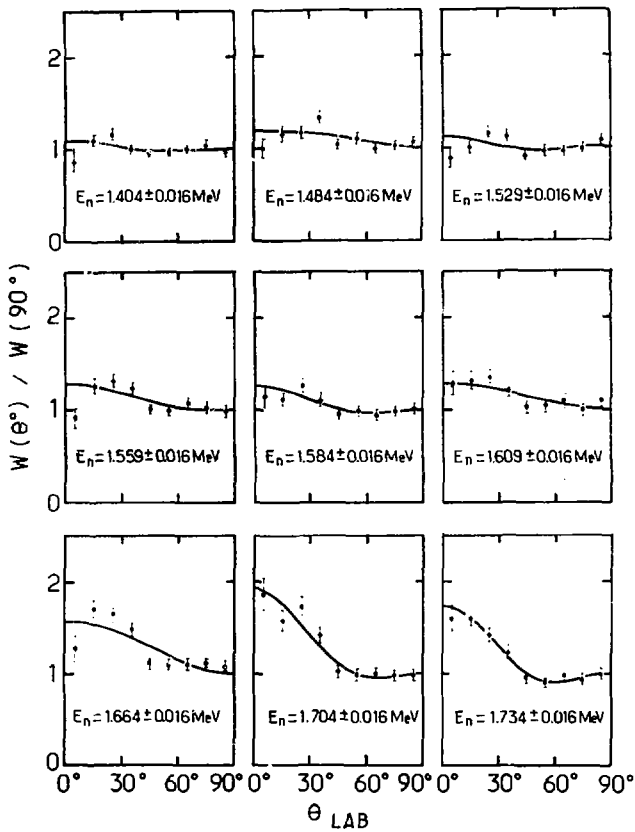


Fig. 5 b

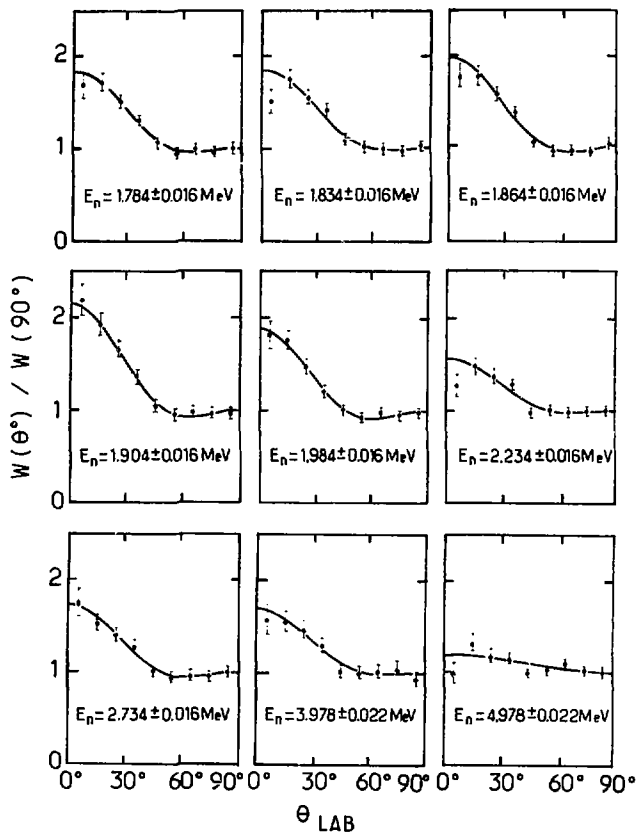


Fig. 5c

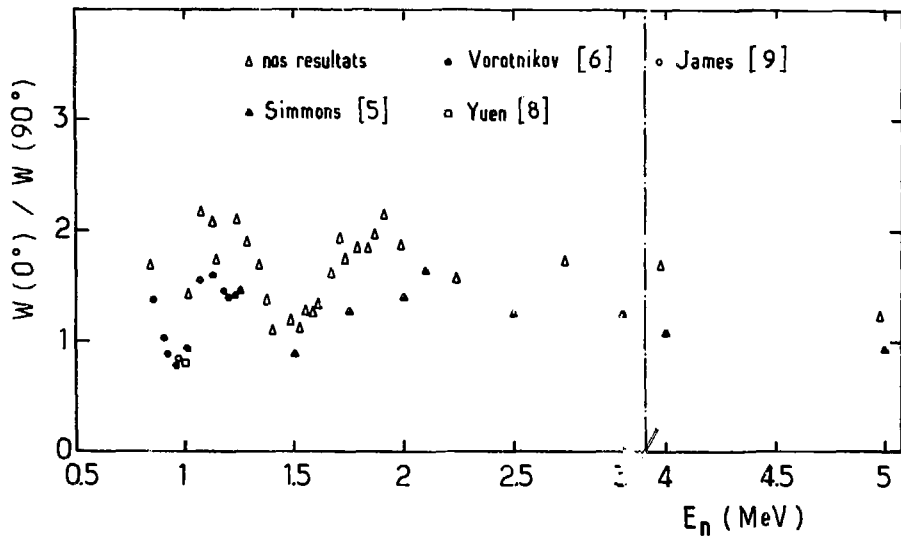


Fig. 6