[redacted]

INDC(EUR)-0013

NEANDC (E) - 212 « U »
Volume IV - FRANCE

RAPPORT DES ACTIVITES DE RECHERCHE DANS LE DOMAINE DES DONNEES NUCLEAIRES EN FRANCE POUR LA PERIODE DU 1-1-1978 AU 31-12-1979

Edité par
le Département des Réacteurs à Neutrons Rapides
Section de Physique des Neutrons Rapides

Compilé par E. FORT

NDS LIBRARY COPY

NEANDC (E) - 212 « U »
Volume IV - FRANCE

RAPPORT DES ACTIVITES DE RECHERCHE DANS LE DOMAINE DES DONNEES NUCLEAIRES EN FRANCE POUR LA PERIODE DU 1-1-1978 AU 31-12-1979

Edité par
le Département des Réacteurs à Neutrons Rapides
Section de Physique des Neutrons Rapides

Compilé par E. FORT

AVANT PROPOS

Par suite de certaines circonstances, qui n'ont pas facilité la tache de la personne chargée de la compilation, il n'a pas été possible de publier dans des délais raisonnables le compte rendu des travaux effectués en France en 1978 dans le domaine des données nucléaires. Ce retard qui illustre un non respect des règles éditées par le NEANDC, n'a pas eu dans l'ensemble de conséquences dommageables, puisque de nombreuses unités diffusent elles-mêmes annuellement leur propre compte rendu. C'est la raison pour laquelle, en accord avec le Secrétariat de l'AEN les activités pour les années 1978 et 1979 sont publiées dans un seul et même document. Dans ces conditions, pour conserver au document un volume raisonnable il a paru nécessaire de représenter par un très bref résumé les activités des unités ayant par ailleurs leur propre publication.

- SOMMAIRE -

		Pages
A	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	
I -	DEPARTEMENT DE PHYSIQUE NUCLEAIRE C.E.N. SACLAY	1
II -	DEPARTEMENT DE RECHERCHE FONDAMENTALE C.E.N. GRENOBLE	32
III -	SERVICE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE C.E.N. BRUYERES LE CHATEL	33
IV -	DEPARTEMENT DES REACTEURS A NEUTRONS RAPIDES C.E.N. CADARACHE	34
V -	DEPARTEMENT DES REACTEURS A EAU C.E.N. SACLAY	42
B	UNIVERSITE DE BORDEAUX I - LE HAUT VIGNEAU Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan	46

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

****

I - DEPARTEMENT DE PHYSIQUE NUCLEAIRE

SERVICE DE LA METROLOGIE ET DE LA PHYSIQUE NEUTRONIQUES FONDAMENTALES

M. R. JOLY

Année 1978

Les travaux dont il est fait état dans le présent rapport ont pour objet d'améliorer notre compréhension du phénomène de fission ; ils concernent, d'une part, le franchissement de la barrière de fission (paramètres des barrières ; états du noyau dans les puits successifs) et, d'autre part, la dynamique du processus vers la scission. Ils constituent une partie des activités du Service présentées dans le "Compte Rendu d'Activité du Département de Physique Nucléaire" pour la période 1er octobre 1977/30 septembre 1978 (à paraître).

I - ETUDE DES BARRIERES DE FISSION

La section efficace de fission de ^{232}Th induite par neutrons avait été étudiée en 1975/1976 auprès de l'Accélérateur Linéaire de 60 MeV de Saclay. Deux séries de mesures [1] [2] avaient été réalisées par la méthode du temps de vol avec une résolution de 0,12 ns/m ; elles avaient permis d'obtenir la fonction d'excitation dans la gamme d'énergie neutronique de 1 à 9 MeV ainsi que l'anisotropie angulaire d'émission des fragments. L'analyse de ces données avait montré la présence de bandes de rotation, notamment aux environs de 1,6 MeV (K = 3/2) et de 1,7 MeV (K = 1/2). Une explication pouvait en être fournie par l'existence d'un troisième puits peu profond dans la barrière de fission. Toutefois les calculs effectués ne pouvaient pas rendre compte des différentes composantes des bandes de rotation sans faire appel à un mélange de parité. C'est pourquoi, il a paru intéressant de reprendre ces mesures dans de meilleures conditions de résolution, avec l'espoir de séparer les doublets de parité. Cette expérience a été effectuée auprès de l'Accélérateur Linéaire du B.C.M.N. (Geel), en collaboration avec ce laboratoire.

Par ailleurs, toujours dans le cadre de cette collaboration, la fonction d'excitation de la réaction ^{230}Th (n, f) a été étudiée ; pour ce noyau, on s'attend, en effet, à des résultats d'une interprétation plus aisée.

.../...

I.1. Réaction ^{230}Th (n,f) :

La mesure couvre la gamme de 0,4 à 5 MeV avec une résolution nominale de 84 ps/m, soit 1,7 keV (FWHM) à l'énergie neutronique de 720 keV où des mesures antérieures [3] avaient mis en évidence une résonance isolée, interprêtée comme résultant de l'existence d'un état de vibration pur dans le second puits de la barrière de fission. Le détecteur était un scintillateur gazeux composé de 6 cellules indépendantes : dans cinq d'entre elles étaient répartis les 600 mg de ^{230}Th dont nous disposions tandis que la sixième contenait un dépôt de ^{237}Np afin de mesurer la forme du spectre des neutrons incidents.

La figure 1 représente les résultats expérimentaux au voisinage de 120 keV : huit résonances fines sont apparentes. La courbe en trait plein, tracée sur cette même figure, résulte d'un ajustement par moindres carrés de la section efficace expérimentale en une somme de huit courbes de Breit et Wigner. Le nombre et les espacements des différentes composantes ne peuvent être compris que par l'existence de deux bandes de rotation ayant les propriétés suivantes :

- elles ont la même valeur du nombre quantique K : cette valeur ($K = 1/2$) est déduite de mesures de distributions angulaires effectuées dans un autre laboratoire [4] ;

- elles correspondent à la même valeur du paramètre d'inertie : $\hbar^2/2\mathcal{J} = (1,90 \pm 0,06)$ keV et à la même valeur du paramètre de découplage $a = -2,28 \pm 0,10$. Le moment d'inertie est donc trois fois plus grand que dans l'état fondamental.

La largeur des niveaux constituant ces deux bandes de rotation (environ 7 keV) est trop faible pour correspondre à des états collectifs du second puits de la barrière de fission auquel les calculs et la systématique assignent une profondeur de l'ordre de 4 MeV. L'existence d'un troisième puits peu profond permet de rendre compte à la fois de la faible largeur des niveaux, de la valeur élevée du moment d'inertie ; elle explique aussi la présence des doublets de parité : dans le troisième puits, le noyau prend en effet une forme qui viole la symétrie par réflexion d'espace [5].

I.2. Réaction ^{232}Th (n,f) :

La mesure couvre la gamme d'énergie de 1,1 à 5 MeV. La quantité importante de ^{232}Th (environ 6,6 g) contenue dans le détecteur a permis d'effectuer cette mesure sur une distance de vol de 100 m ; la largeur des impulsions délivrées par l'accélérateur étant de 4 ns, la résolution était d'environ 2 keV (FWHM) pour des neutrons incidents d'énergie 1,6 MeV. Le détecteur, du type scintillateur gazeux, comportait une cellule indépendante contenant 1,2 g de ^{237}Np afin de mesurer le spectre des neutrons.

Une analyse préliminaire des résultats est en bon accord avec ceux que nous avions précédemment obtenus [1] [2] : en particulier, elle confirme l'existence de deux bandes de rotation, l'une vers 1,6 MeV avec K = 3/2, l'autre vers 1,7 MeV avec K = 1/2.

De plus, l'amélioration de la résolution fait apparaître un dédoublement des résonances ; ce dédoublement peut être expliqué, comme dans le cas du ^{230}Th, par la forme asymétrique du noyau dans le troisième puits de la barrière, qui a pour conséquence l'existence de deux états de parité différente pour chacun des états composant une même bande de rotation. Cependant l'analyse des résultats de la réaction ^{232}Th (n,f) est plus délicate que celle de la réaction ^{230}Th (n,f), du fait de la présence d'autres voies de fission ouvertes ou partiellement ouvertes.

(J. Blons, C. Mazur, D. Paya, M. Ribrag, H. Weigmann[+])

+ B.C.M.N., Geel (Belgique).

I.3. Coefficient de transmission d'une barrière de potentiel présentant trois maxima :

Les résultats expérimentaux précédents, prouvant l'existence d'une barrière de fission à trois maxima, ont amené à développer un code de calcul donnant le coefficient de transmission à travers une telle barrière. Le calcul exact est possible comme l'ont montré Sharma et coll. [6] pourvu que la barrière soit constituée par cinq arcs de paraboles dont les concavités sont

dirigées alternativement vers le bas et vers le haut. Les solutions de l'équation de Schrödinger sont alors des fonctions de Weber. Le coefficient de transmission s'obtient en résolvant un système de huit équations linéaires qui exprime la continuité des fonctions d'onde et de leurs dérivées aux quatre points de raccordement. Les paramètres de la barrière étant lus sur cartes perforées, le programme TRIBOSSE calcule le coefficient de transmission en fonction de l'énergie. Le programme BIBOSSE effectue le même travail dans le cas d'une barrière à deux bosses. Il apparaît dans la variation du coefficient de transmission des résonances qui correspondent à des états métastables dans le (ou les puits) intermédiaire (s), la largeur propre de ces résonances étant d'autant plus grande qu'elles se trouvent plus près du bord du puits. Cependant dans le cas d'une barrière à trois bosses comportant deux puits identiques, on assiste à un dédoublement de résonances qui semble être le résultat d'une interférence destructive entre les états de même énergie dans chacun des deux puits. La figure 2 montre un exemple de ce comportement. Les éléments du doublet sont seulement séparés de 0,05 keV à 5,25 MeV où les résonances sont très fines et ils ne sont pas apparents à l'échelle de la figure ; leur écart passe à 70 keV à 6,5 MeV où les résonances sont beaucoup plus larges.

(D. Paya).

II. ETUDE DE L'EMISSION DES NEUTRONS PROMPTS LORS DE LA FISSION SPONTANEE DU ^{252}Cf :

Les données publiées sur l'émission des neutrons prompts lors de la fission nous paraissent sujettes à caution, du fait des difficiles problèmes que posent l'évaluation correcte du bruit de fond (neutrons diffusés, γ de capture, etc...) du détecteur de neutrons ainsi que la mesure de l'efficacité de ce détecteur. Nous avons donc repris cette étude dans des conditions expérimentales permettant de mieux cerner ces problèmes [7] .

Jusqu'ici, deux résultats ont été obtenus, à partir de l'analyse de 9.10^4 évènements fission :

- le premier concerne la variation du nombre moyen $\bar{\nu}$ des neutrons émis en fonction de la masse du fragment émetteur ; nos résultats (fig. 3) sont comparés à ceux qui étaient considérés jusqu'ici comme les plus précis [8] ; des désaccords, dont la cause n'est pas encore clairement comprise, sont

observés.

- Le second est relatif à l'énergie moyenne $\bar{\eta}$ (dans le centre de masse) des neutrons émis en fonction de la masse du fragment émetteur ; la figure 4 présente nos résultats et les compare aux prédictions théoriques les plus récentes [9] qui utilisent les valeurs des densités de niveaux obtenus à partir du modèle de Nilsson, incluant les corrections d'appariement. L'accord est qualitativement excellent, en particulier dans la région des couches fermées autour de la masse 135 où un pic très marqué apparaît tant dans les résultats expérimentaux que dans les valeurs calculées. Cette comparaison permet de conclure à la possibilité de décrire la désexcitation des fragments de fission sur la base de nos connaissances de la structure nucléaire.

(C. Signarbieux, B. Lucas).

REFERENCES

[1] J. Blons et al. , Phys. Rev. Lett, 35, 1749 (1975).

[2] J. Blons et al., La Toussuire (1977), LYCEN 7702, tome II, S I.

[3] G.D. James et al., Nucl. Phys., A 189, 225 (1972).

[4] G. Yuen et al., Nucl. Phys., A 171, 614 (1971).

[5] J. Blons et al., Phys. Rev. Lett., à paraître.

[6] R. C. Sharma et al., Phys. Rev.,C 14, 2340 (1976).

[7] B. Lucas et al., Note CEA N-1959, 96 (1976).

[8] H.R. Bowman et al., Phys. Rev., 129, 2133 (1963).

[9] E. Nardi et al., Phys. Lett. 42 B, 259 (1973).

LEGENDES DES FIGURES :

Figure 1 : Section efficace de fission de la réaction ^{230}Th (n,f). La courbe en trait plein résulte d'un ajustement par moindres carrés des points expérimentaux en une somme de huit courbes de Breit et Wigner.

Figure 2 : Coefficients de transmission d'une barrière de potentiel à 2 bosses (en tirets) et à 3 bosses (en trait plein) dans le cas où les bosses successives ont une même hauteur.

Figure 3 : Nombre moyen $\bar{\nu}$ de neutrons émis lors de la fission spontanée de ^{252}Cf, en fonction de la masse du fragment émetteur.

Figure 4 : Energie moyenne $\bar{\eta}$ des neutrons émis lors de la fission spontanée de ^{252}Cf en fonction de la masse du fragment émetteur. Les points correspondent aux valeurs mesurées, les triangles aux valeurs calculées (référence 9).

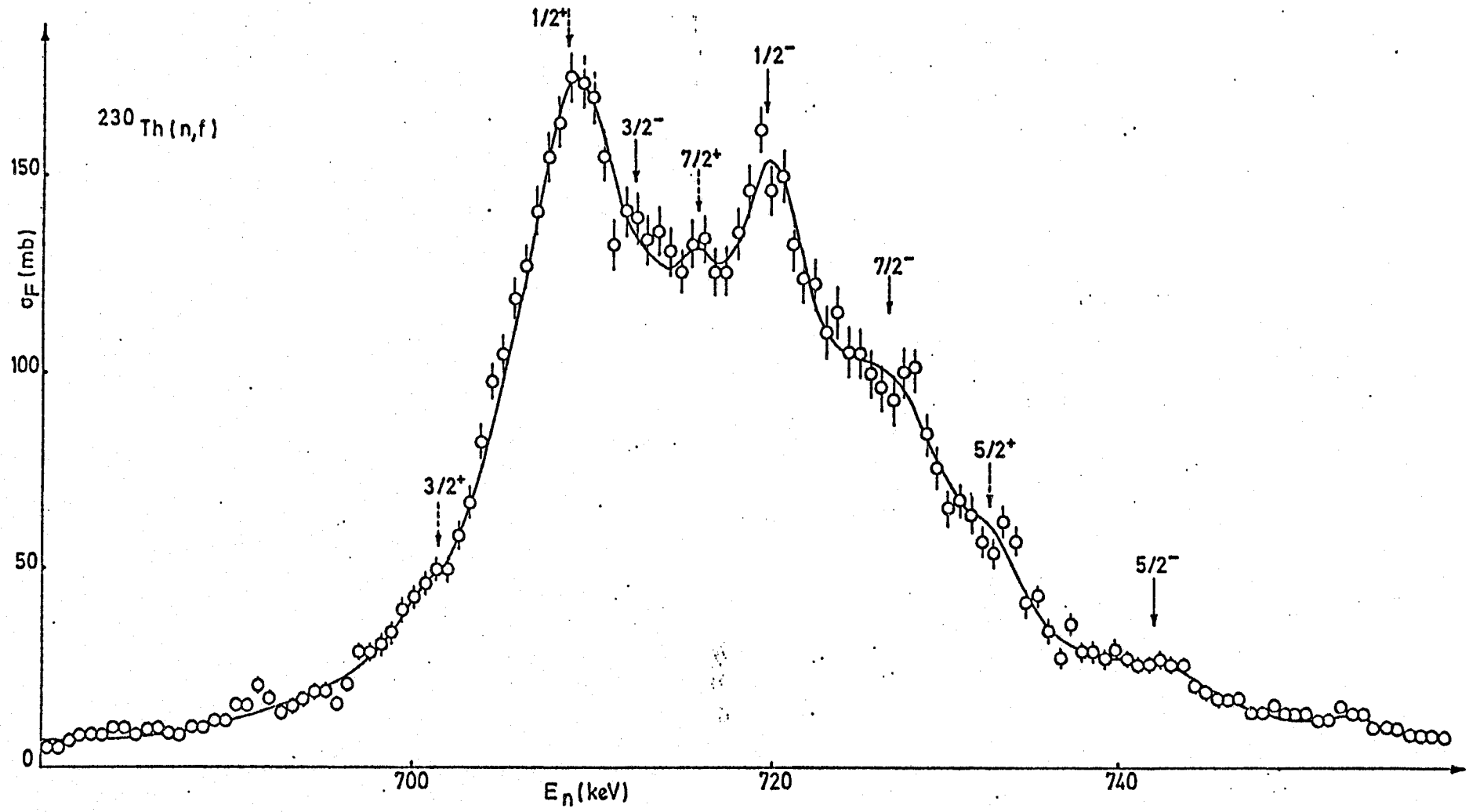

230 Th (n,f)
1/2+
1/2−
3/2−
7/2+
7/2−
5/2+
5/2−
3/2+
150
100
50
0
σF (mb)
700
720
740
En (keV)

FIG. 1

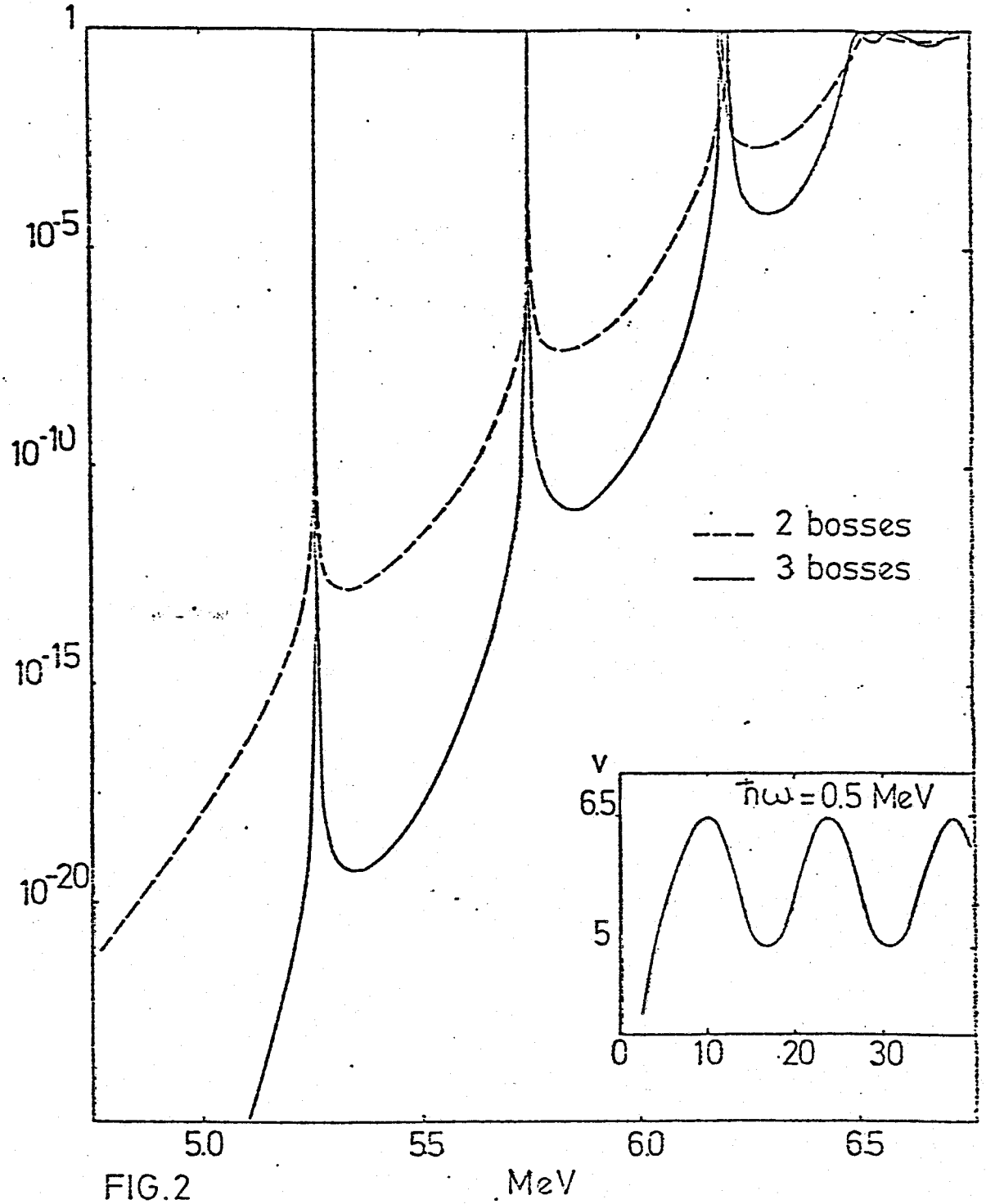

1
10^{-5}
10^{-10}
10^{-15}
10^{-20}
2 bosses
3 bosses
v
6.5
5
$\hbar\omega = 0.5$ MeV
0
10
20
30
5.0
5.5
6.0
6.5
MeV

FIG.2

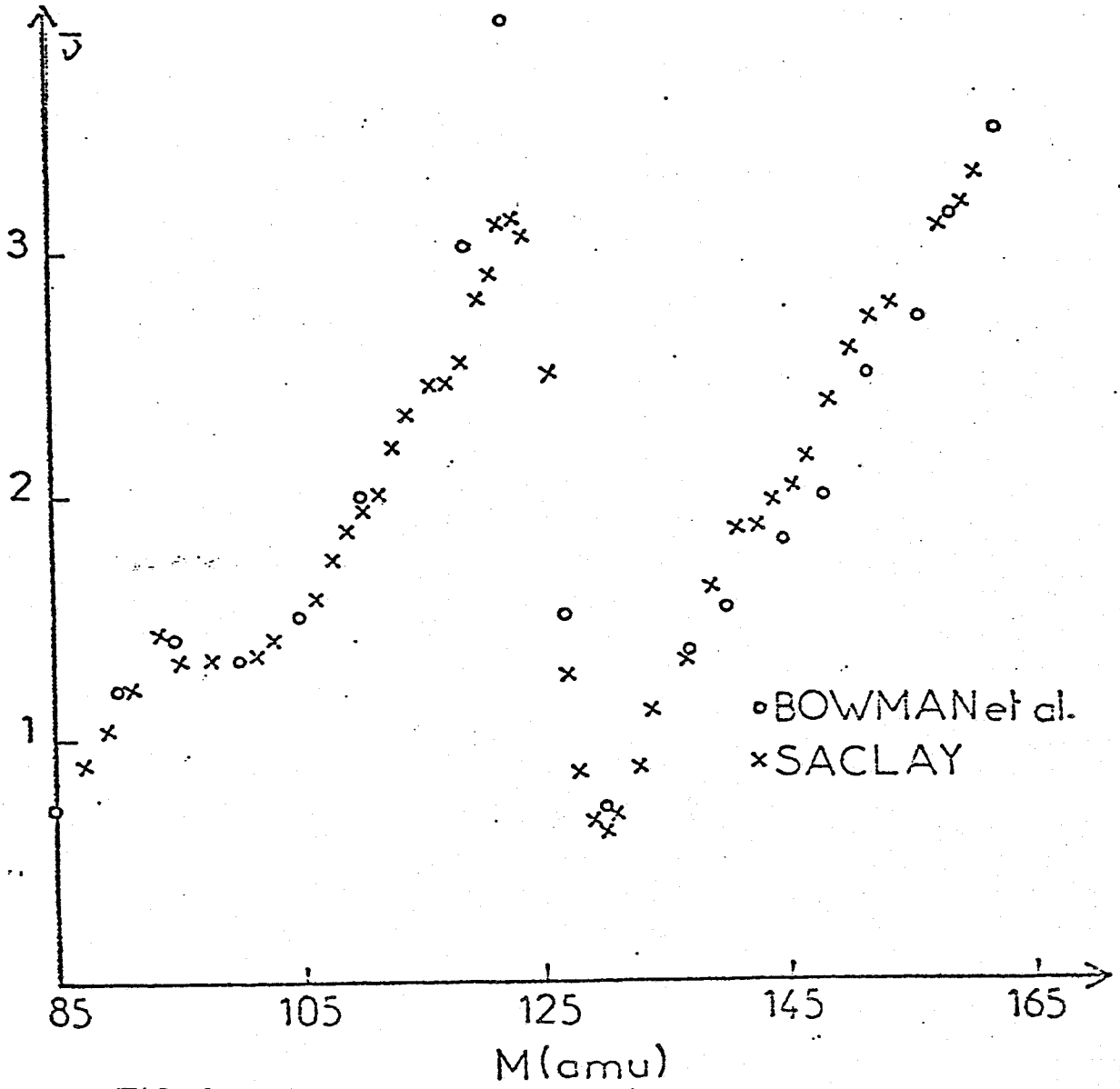


FIG. 3

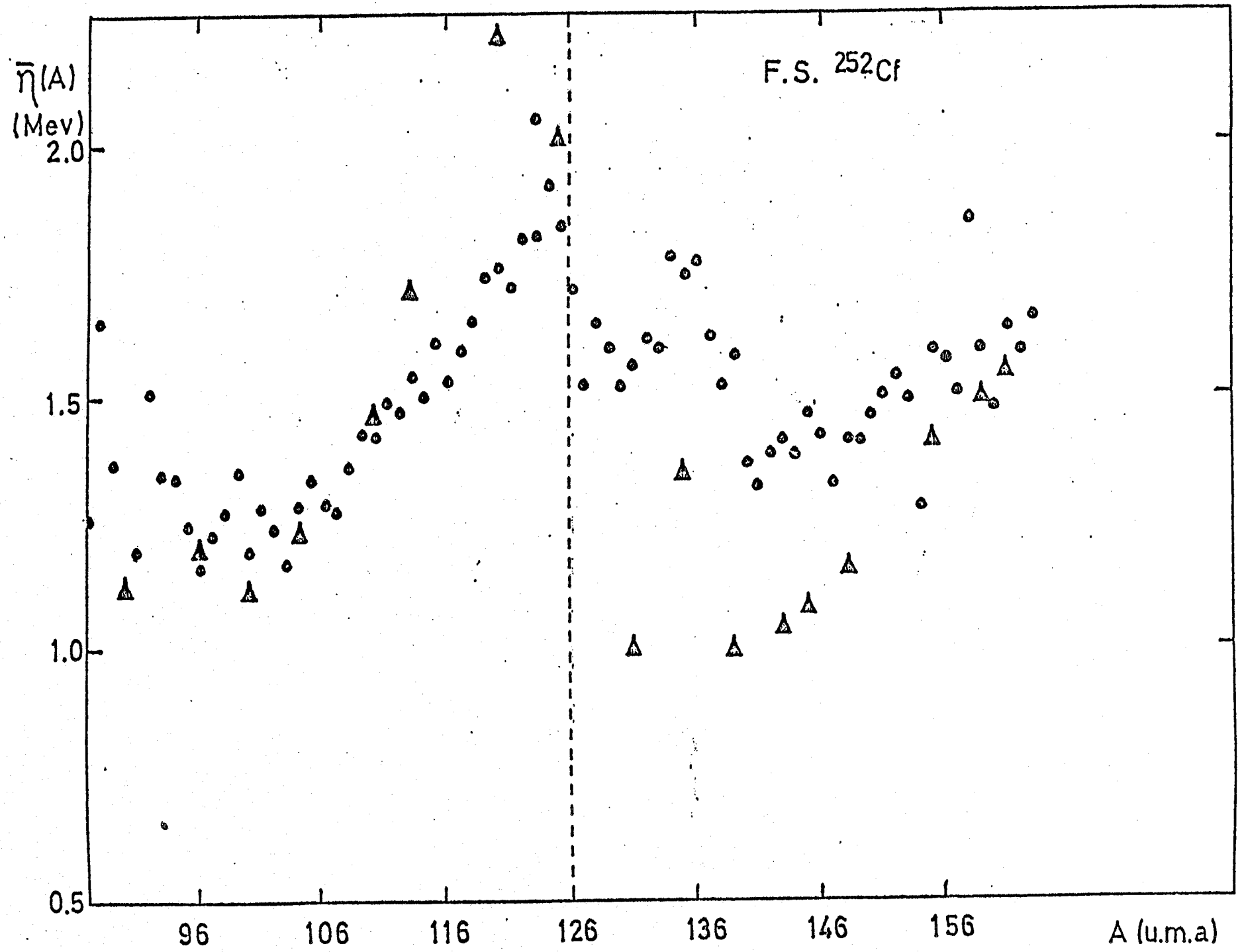


FIG. 4

Année 1979

Certains travaux effectués dans le Service ont pour objectif l'amélioration de nos connaissances du phénomène de fission. Ils concernent, d'une part, le franchissement de la barrière de fission (paramètres des barrières ; spectroscopie nucléaire dans les puits successifs) et d'autre part, l'évolution du noyau vers la scission. Ils constituent une partie des activités du Service, dont l'ensemble est présenté dans le "Compte Rendu d'Activité du Département de Physique Nulcéaire" pour la période 1er octobre 1978/30 septembre 1979 (à paraître).

I/. ETUDE DES BARRIERES DE FISSION :

Les résultats présentés concernent l'analyse des fonctions d'excitation suivantes mesurées auprès de l'accélérateur linéaire du B.C.M.N. à Geel et en collaboration avec des physiciens de ce laboratoire :

- réaction ^{230}Th (n,f) de 0,4 à 5 MeV, avec une résolution nominale de 84 ps/m ; la figure 1 montre nos résultats dans une partie de la gamme d'énergie;
- réaction ^{230}Th (n,f) de 100 keV à 10 MeV, avec une résolution nominale de 280 ps/m ;
- réaction ^{232}Th (n,f) de 1,1 à 5 MeV, avec une résolution nominale de 40 ps/m ; la figure 2 montre nos résultats dans une partie de la gamme d'énergie.

I.1. Analyse des états de vibration et de rotation observés dans les réactions ^{230}Th (n,f) et ^{232}Th (n,f) :

L'analyse des structures fines précédemment mises en évidence dans les fonctions d'excitation des réactions ^{230}Th (n,f) (1) et ^{232}Th (n,f) (2) s'est poursuivie. Les figures 3, 4 et 5 montrent ces fonc-

.../...

tions d'excitation pour la résonance de vibration vers 720 keV ($K = 1/2$) du ^{230}Th ainsi que pour les résonances de vibration vers 1,6 MeV ($K = 3/2$) et 1,7 MeV ($K = 1/2$) du ^{232}Th. Les valeurs de l'anisotropie des fragments de fission ont été reportées sur ces mêmes figures. A l'intérieur de chaque résonance de vibration, on note une augmentation de l'anisotropie avec l'énergie, ce qui indique, pour les structures fines, des moments angulaires différents et croissants avec l'énergie. Un tel résultat est compatible avec l'existence de bandes de rotation se superposant à chaque résonance de vibration. Pour conforter cette interprétation, les structures fines doivent satisfaire aux critères suivants :

- leurs espacements en énergie doivent obéir à la loi de distribution caractéristique des bandes de rotation ;
- leurs localisations en énergie et leurs intensités doivent être retrouvées par le calcul des fonctions d'excitation;
- leurs spins doivent être compatibles avec les distributions angulaires (ou les valeurs d'anisotropie) mesurées pour les fragments de fission.

a) Détermination des énergies :

On a représenté (lignes en trait plein) sur chacune des figures 3, 4 et 5 un ajustement des points expérimentaux par une somme de courbes de Breit et Wigner, telle qu'elle résulte d'une analyse par moindres carrés. Cet ajustement conduit, pour le ^{232}Th, à des conclusions identiques à celles présentées précédemment pour le ^{230}Th (3) : dans chacune des deux résonances du ^{232}Th étudiées, le nombre , les espacements et les intensités de différentes structures ne peuvent être compris que par l'existence de deux bandes de rotation de parité différente.

Le tableau I donne l'ensemble des résultats de cette analyse. Pour le ^{230}Th, qui présente une résonance de vibration pure, on a pu déterminer avec précision les largeurs des structures fines ; elles varient de 6 ± 1 keV à 10 ± 1 keV (tableau II), ce qui peut s'expliquer par de très légères différences dans les paramètres des barrières correspondant aux différentes voies. En effet, ces largeurs sont très sensibles à ces paramètres : abaisser les maxima d'une barrière de seulement 50 keV, conduit à accroître de 6 keV à 9 keV les valeurs calculées des largeurs.

Pour les résonances à 720 keV du ^{230}Th et à 1,7 MeV du ^{232}Th, qui ont même valeur ($1/_2$) du nombre quantique K, les paramètres d'inertie sont identiques ($\hbar^2/2\mathcal{J}$ = 1,9 ± 0,1 keV) ainsi que les paramètres de découplage (a = - 2,3 ± 0,1 et a = - 2,5 ± 0,1 respectivement) ; pour la résonance K = 3/2 à 1,6 MeV du ^{232}Th, le paramètre d'inertie est égal à 2,5 ± 0,2 keV.

b) Comparaison des sections efficaces mesurées et calculées

Les sections efficaces de fission du ^{230}Th, au voisinage de 720 keV, et du ^{232}Th au voisinage de 1,7 MeV ont été calculées à partir de la formule :

$$\sigma_F(J^\pi) = \sigma_{NC}(J^\pi) \cdot \frac{T_F(J^\pi)}{T_n(J^\pi) + T_\gamma + T_F\ (J_\pi)}$$

où $\sigma_{NC}(J^\pi)$ représente la section efficace de formation du noyau composé dans l'état J^π et T_i les coefficients de transmission dans les différentes voies de sortie. Les figures 6 et 7 montrent un bon accord quantitatif des courbes calculées avec les points expérimentaux.

c) Comparaison des anisotropies calculée et expérimentale des fragments de fission :

La figure 8 montre, dans le cas de la réaction ^{230}Th (n,f) les valeurs mesurées de l'anisotropie(4)(5).Par ailleurs, on a calculé cette anisotropie à partir des valeurs des paramètres utilisés pour déterminer la fonction d'excitation. Les courbes en pointillés et en trait plein sont obtenues avec une résolution en énergie de 1 keV et de 7 keV respectivement. L'importance de la résolution en énergie est ainsi mise en évidence et l'on constate un accord satisfaisant entre le calcul et l'expérience si l'on suppose que celle-ci a été réalisée avec une résolution comprise entre 5 et 10 keV. Une telle valeur est d'ailleurs compatible avec la fonction d'excitation que l'on peut déduire des mesures de distributions angulaires utilisées pour obtenir les valeurs expérimentales de l'anisotropie.

Pour le ^{232}Th, une analyse de ce genre est plus difficile car aucune des deux résonances de vibration étudiées n'est isolée.

Note et références :

* B.C.M.N., Geel, Belgique.

(1) J. Blons et al., Phys. Rev. Lett. 41 (1978) 1282.
J. BLons et al., Colloque International sur la Physique et la Chimie de la Fission, Juliers (1979) 51.

(2) J. Blons et al., Colloque International sur la Physique et la Chimie de la Fission , Juliers (1979) 49.

(3) J. BLons et al., Note CEA, N. 2070 (1978), 153.

(4) B. Leroux et al., Colloque International sur la Physique et la Chimie de la Fission, Juliers (1979) 47.

(5) J.W. Boldeman et al., Colloque International sur la Physique et la Chim de la Fission, Juliers (1979) 57.

Tableau I

Energies expérimentales des structures fines et énergies calculées avec le spin J^{π}

	J^+	E_{exp}(keV)	E_{calc}(keV)	J^-	E_{exp}(keV)	E_{calc}(keV)
^{230}Th	1/2$^+$	708,2 ± 0,6	708,7	1/2$^-$	719,8 ± 0,4	719,7
(bande K = 1/2)	3/2$^+$	701,5 ± 1	701,4	3/2$^-$	713,3 ± 1	712,4
	5/2$^+$	732,5 ± 1	732,6	5/2$^-$	742,8 ± 1	743,6
	7/2$^+$	715,5 ± 1	715,6	7/2$^-$	726,3 ± 1	726,6
^{232}Th	3/2$^+$	1568,9 ± 1	1569,3	3/2$^-$	1579,8 ± 0,5	1579,7
(bande K = 3/2)	5/2$^+$	1581,5 ± 1	1581,6	5/2$^-$	1591,8 ± 1	1592,1
	7/2$^+$	1599,8 ± 1	1598,8	7/2$^-$	1611 ± 2	1609,4
	9/2$^+$	1620,5 ± 1	1621,0	9/2$^-$	1631 ± 1	1631,6
				11/2$^-$	1660 2	1658,8
^{232}Th	1/2$^+$	1690,1 ± 1	1689,9	1/2$^-$	1702 ± 1	1702
(bande K = 1/2)	3/2$^+$	1680,9 ± 1	1680,7	3/2$^-$	1693 ± 1	1693,2
	5/2$^+$	1714,6 ± 1	1715,0	5/2$^-$	1726 ± 1	1726,2
	7/2$^+$	1693,5 ± 1	1693,6	7/2$^-$	1706 ± 1	1705,9

TABLEAU II

J^{π}	E_{exp} (keV)	Γ_{exp} (keV)
$3/2^{+}$	701,5 ± 1	7,9 ± 0,6
$1/2^{+}$	708,2 ± 0,6	5,8 ± 0,3
$3/2^{-}$	713,3 ± 1	7,8 ± 0,6
$1/2^{-}$	719,8 ± 0,4	5,8 ± 0,5
$7/2^{-}$	726,3 ± 1	9,7 ± 1
$5/2^{+}$	732,5 ± 1	8,7 ± 1
$5/2^{-}$	742,8 ± 1	9,1 ± 1,5

Largeurs des différentes composantes des bandes de rotation observées dans la fonction d'excitation de la réaction ^{230}Th (n,f).-

I.2. Recherche d'états vibrationnels dans la réaction ^{230}(n,f) pour E_n < 700 keV

La fonction d'excitation de la réaction ^{230}Th (n,f) mesurée avec une résolution de 0,28 ns/m n'a pas révélé de résonance en dessous de 700 keV, dans les conditions de résolution et de bruit de fond de la mesure. Il apparait donc que l'état situé à 720 keV est le niveau fondamental du troisième minimum de la barrière de fission.

J. Blons, J. Wartena+, H. Weigmann+

+ B.C.M.N., Geel, Belgique.

I.3. Calcul de la fréquence d'inversion dans des potentiels harmoniques à deux minima

L'existence d'états du thorium formant deux bandes de rotation identiques (à un décalage en énergie près) et de parités différentes est attribuée à la présence de deux puits de potentiel dans lesquels les noyaux de thorium ont perdu la symétrie spatiale, les deux puits correspondant à des formes symétriques l'une de l'autre. C'est une situation analogue à celle de la molécule d'ammoniac, et l'on sait que le passage d'une forme à l'autre se fait avec une fréquence d'inversion qui dépend de la barrière de potentiel séparant les deux puits. Cette fréquence d'inversion est directement accessible à l'expérience ; aussi est-il intéressant de pouvoir disposer d'un code de calcul permettant de remonter à des paramètres de barrière.

Dans le cas d'un potentiel à une dimension constituée par des arcs de paraboles (avec éventuellement un sommet aplati) les solutions de l'équation de Shrödinger sont des fonctions de Weber. Les conditions de continuité aux différents points de raccordement constituent un système d'équations linéaires et homogènes qui n'ont de solutions non nulles que pour certaines valeurs de l'énergie. La recherche de ces valeurs se fait par essais successifs au moyen d'un dispositif de visualisation intéractif. La fréquence d'inversion a été calculée pour des profils de potentiel tels que ceux qui sont représentés sur la figure 9 et qui correspondent à différents chemins tracés sur la carte calculée par Möller [1] . Dans les cas a, b, c, représentés sur la figure, le niveau de parité négative est

trouvé respectivement à 74 keV, 5 keV et 0,01 keV au-dessus de l'état de parité positive. La comparaison avec la valeur expérimentale de 11 keV suggère que le passage d'un puits à l'autre pourrait se faire par un chemin intermédiaire entre les chemins a et b.

D. Paya

Références et Notes

[1] Möller P. , Nucl. Phys. A192 (1972) 529

II/. COMPARAISON DES CONFIGURATIONS DE SCISSION "FROIDES" DANS LA FISSION THERMIQUE DE ^{233}U ET ^{235}U

Il est bien connu que, dans la fission thermique de ^{233}U et ^{235}U, les fragments possédant une énergie cinétique totale très élevée sont si faiblement excités qu'ils n'émettent aucun neutron prompt, si bien que les masses primaires sont accessibles directement à la mesure. Nous avions montré [1] que, pour de tels évènements, une mesure optimisée de temps de vol est capable de séparer totalement deux rapports de masses consécutifs.

Une expérience a été réalisée en utilisant un faisceau intense de neutrons issu du R.H.F. de Grenoble, pour vérifier expérimentalement une prédiction souvent faite dans la littérature [2] qu'aux très hautes énergies cinétiques des fragments, la production de fragments pair-pair est fortement privilégiée. Cette prédiction, fondée sur l'existence d'un effet pair-impair dans la distribution des charges des fragments [3] , exprime l'hypothèse que la viscosité (rupture de paires) pourrait être faible au cours du processus, en d'autres mots que la superfluidité du système pourrait être, partiellement préservée, jusqu'au point de scission.

La figure 10 montre la distribution des masses obtenues pour une valeur déterminée de l'énergie cinétique E_L du fragment léger ; on peut constater que les lignes de masse sont parfaitement résolues, ce qui permet une mesure précise du rendement de chaque masse en fonction de E_L (ou de l'énergie cinétique totale E_k des fragments puisque $E_k = E_L(1+M_L/M_H)$. Pour chaque rapport des masses M_L/M_H, la valeur maximum de E_k (notée E_{KMAX}) a été déterminée : elle correspond à la configuration de scission pour laquelle le rendement devient nul.

La figure 11 montre, pour les deux systèmes étudiés, la variation de E_{KMAX} en fonction de la masse lourde. Pour comparaison ont également été tracées les valeurs du Q de la réaction qui correspondent aux rapports de charges qui rendent maximum l'énergie totale libérée. D'après cette figure, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Le minimum de l'énergie d'excitation totale est observé pour quelques rapports de masses qui correspondent à des masses lourdes dans le voisinage de la masse doublement magique 132 ; ce minimum qui est voisin de 0 (avec une incertitude de 2 MeV), correspond donc à des configurations de scission quasiment froides c'est à dire consitutuées de deux fragments dans un état de déformation très proche de leur état fondamental.

- Un rapport de charges unique est sélectionné (celui qui correspond à la valeur maximum de l'énergie libérée).

- La production de masses impaires est du même ordre de grandeur que celle des masses paires ce qui met en évidence sans ambiguité que la rupture de paires de nucléons a lieu même pour des énergies d'excitation extrêmement faibles.

- Le fait qu'on observe systématiquement le minimum de l'énergie d'excitation ($Q-E_{KMAX}$) de 2 MeV plus élevé pour les fragmentations en masses paires que pour les fragmentations en masses impaires suggère que, dans le premier ca également, une paire de nucléons est brisée dans l'un ou l'autre des deux fragments pairs.

La conclusion principale de ces mesures est que, contrairement à de nombreuses assertions dans la littérature la superfluidité des systèmes fissionnants pair-pair apparait complètement détruite au moment où intervient la scission en deux fragments.

C. Guet [*], *C. Mazur, M. Maurel* [*], *M. Montoya, P. Perrin* [*], *M. Ribrag, C. Signarbieux*

[*]CPN/DRF, C.E.N. de Grenoble

Références et Notes

[1] C. Guet et al., Nucl. Instr. and Meth. 150 (1978) 189-193

[2] H. Nifenecker et al., Review paper in Proc. of Int. Symp. of Phys. and Chem of Fission IAEA-SM-241/F1

[3] S. Amiel, H. Fedstein, Proc., of Int. Symp. of Phys. and Chem. of Fission (Rochester-1974) IAEA Vol.II p. 65

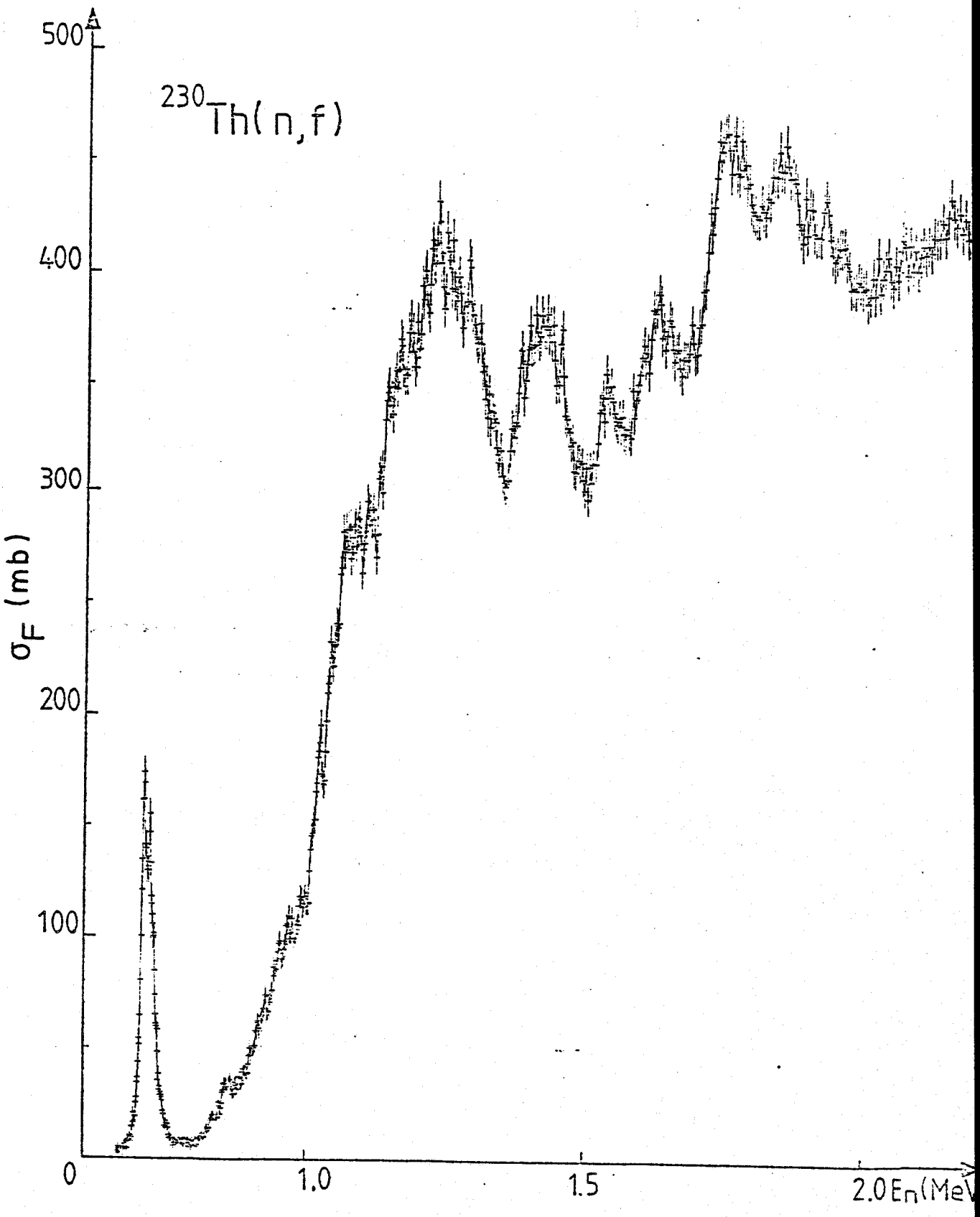


Fig. 1

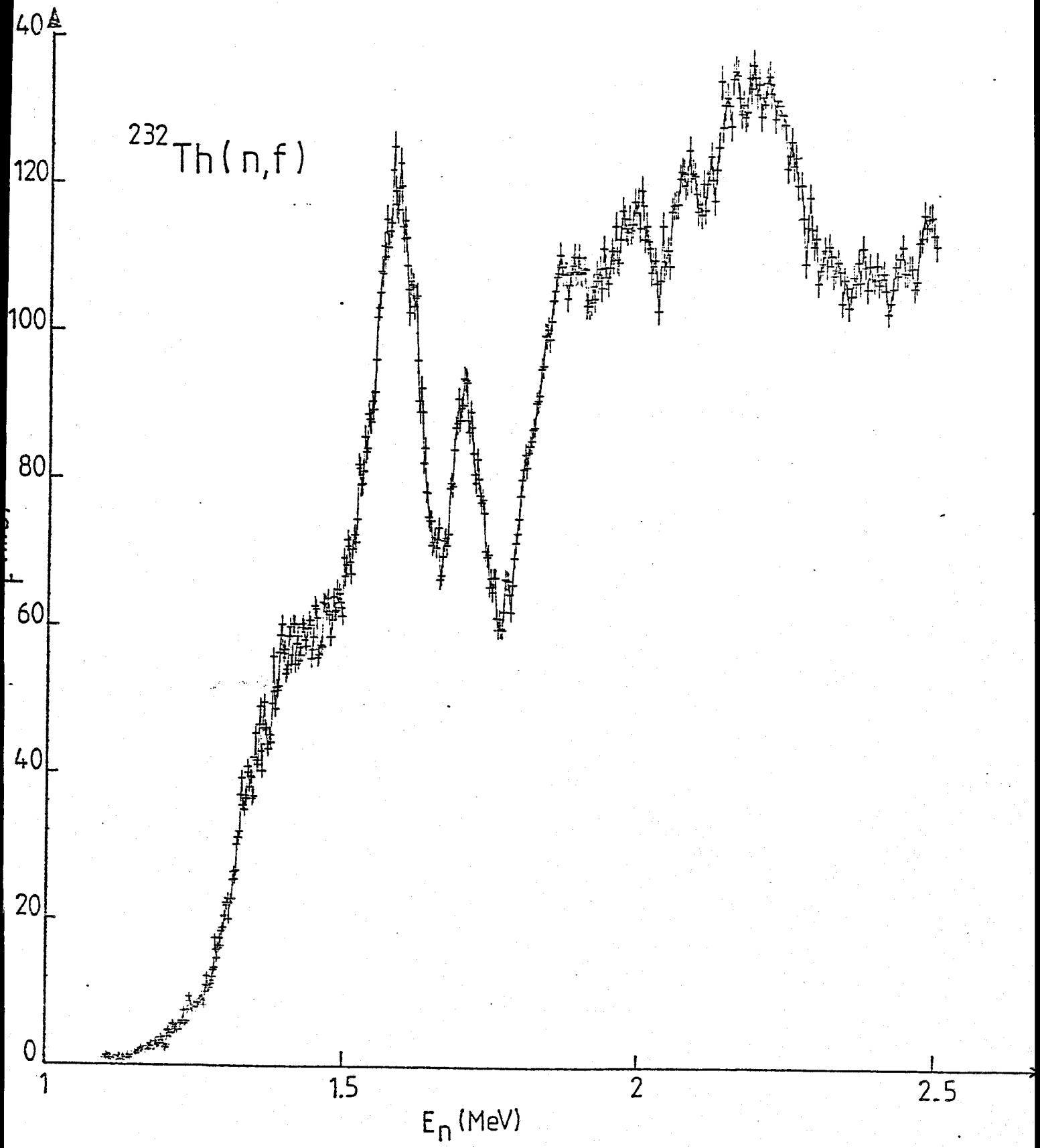


Fig. 2

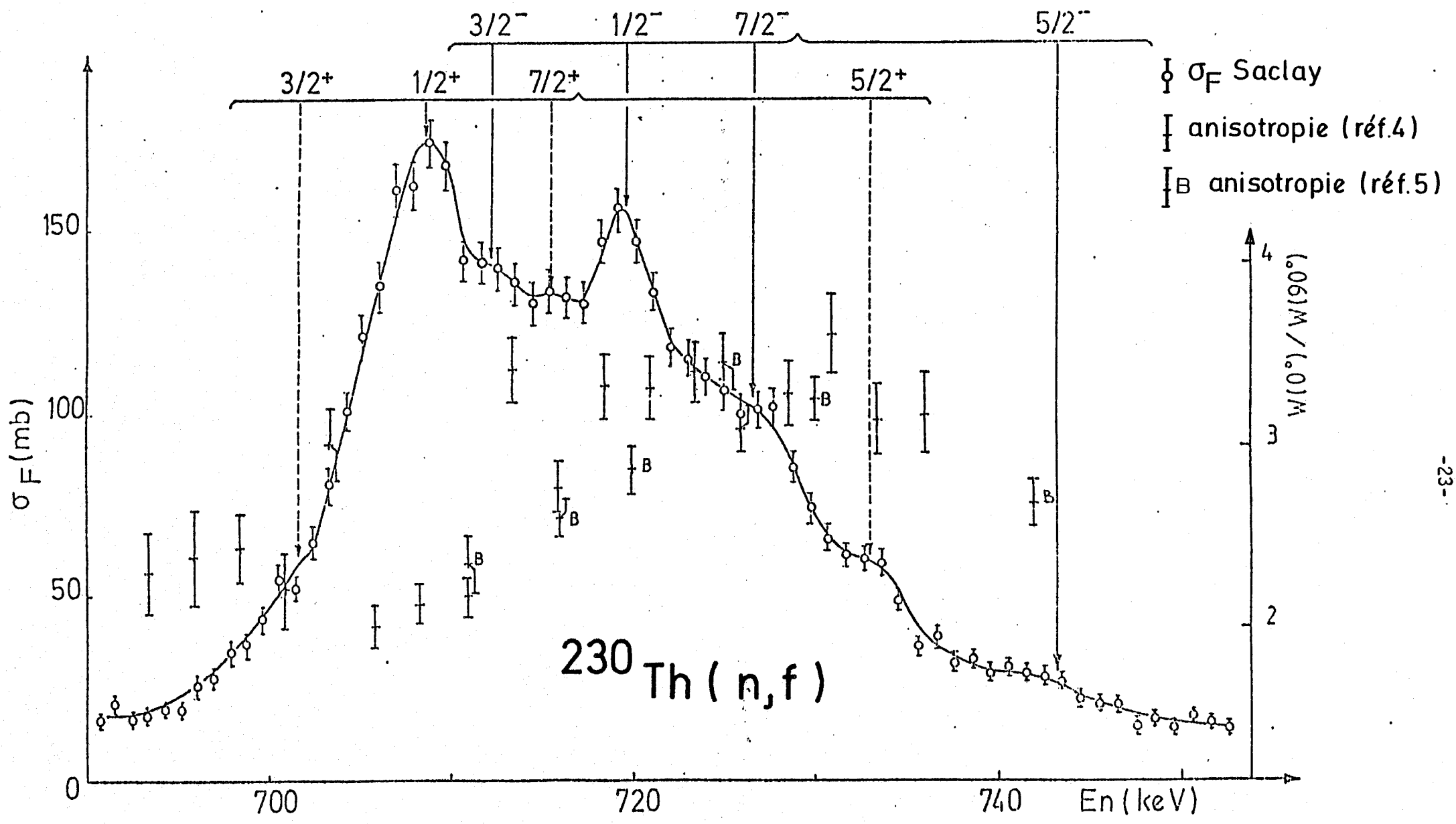

3/2⁻
1/2⁻
7/2⁻
5/2⁻
3/2⁺
1/2⁺
7/2⁺
5/2⁺
σF Saclay
anisotropie (réf.4)
B anisotropie (réf.5)
σF (mb)
150
100
50
0
700
720
740
En (keV)
W(0°)/W(90°)
4
3
2
230 Th (n,f)

FIG. 3

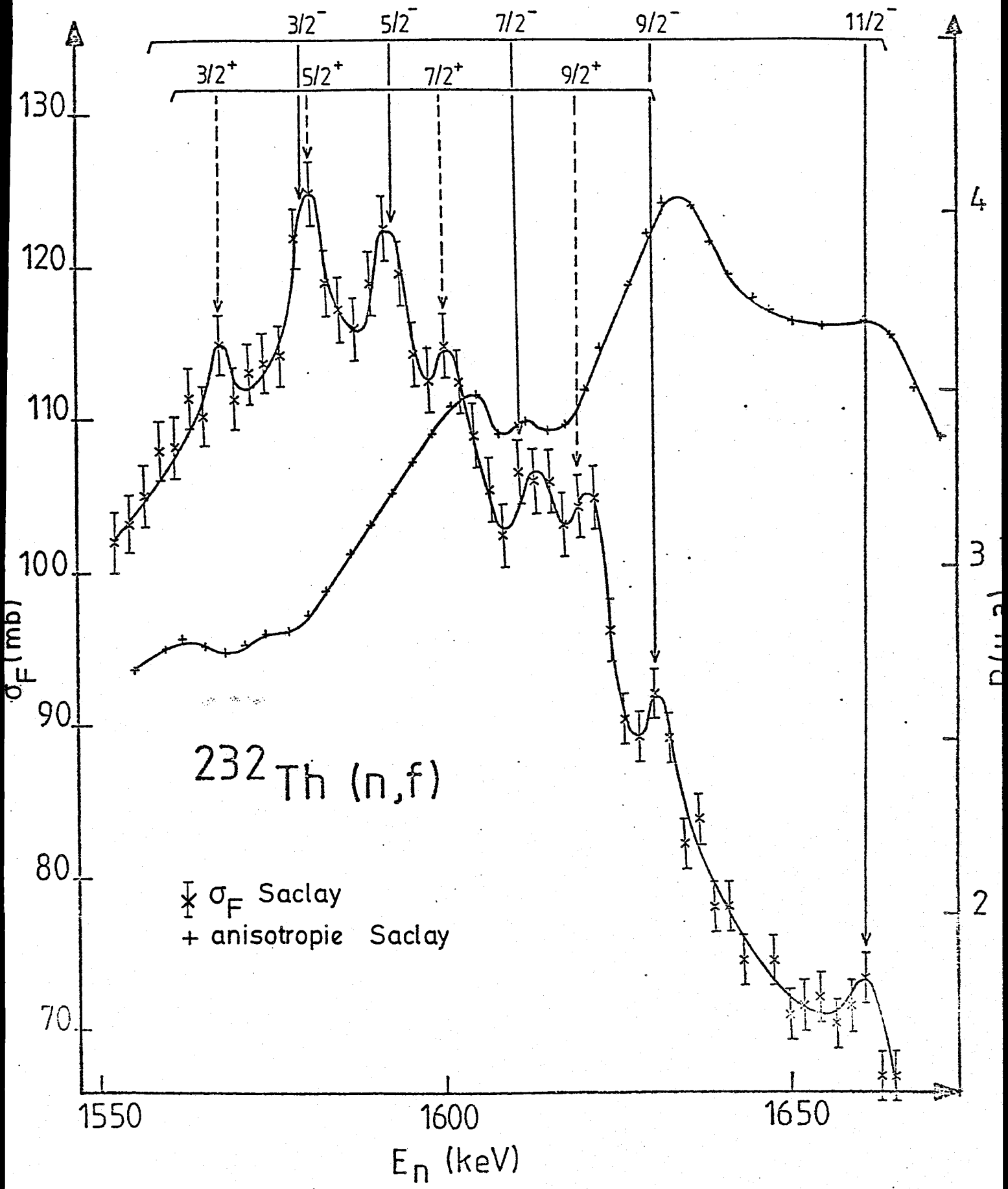

3/2⁻
5/2⁻
7/2⁻
9/2⁻
11/2⁻
3/2⁺
5/2⁺
7/2⁺
9/2⁺
130
120
110
100
90
80
70
σF (mb)
4
3
2
232Th (n,f)
σF Saclay
+ anisotropie Saclay
1550
1600
1650
En (keV)

Fig. 4

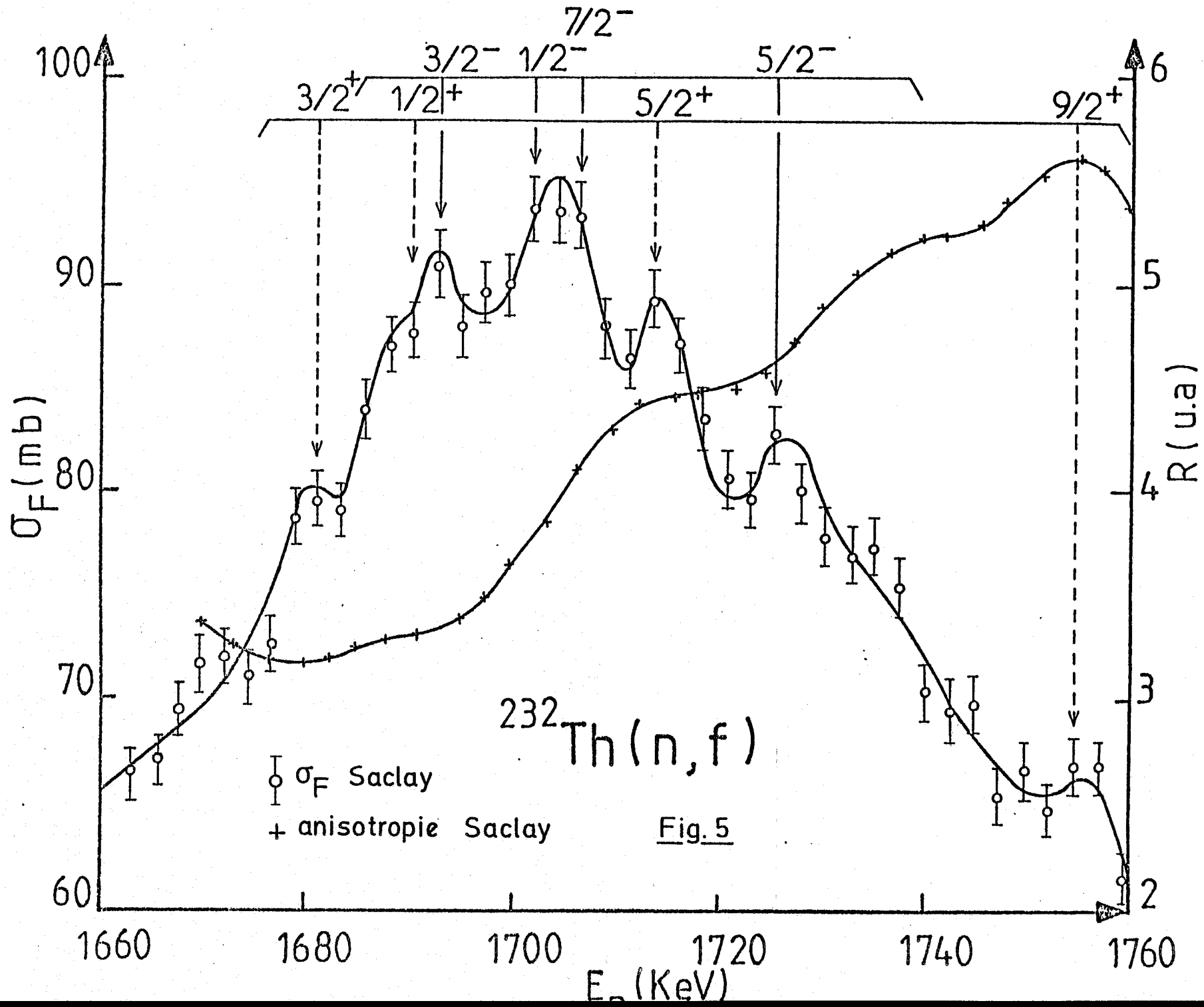

7/2⁻
3/2⁻
1/2⁻
5/2⁻
3/2⁺
1/2⁺
5/2⁺
9/2⁺
100
90
80
70
60
6
5
4
3
2
σF (mb)
R (u.a)
232Th(n,f)
σF Saclay
+ anisotropie Saclay
1660
1680
1700
1720
1740
1760
En (KeV)

Fig. 5

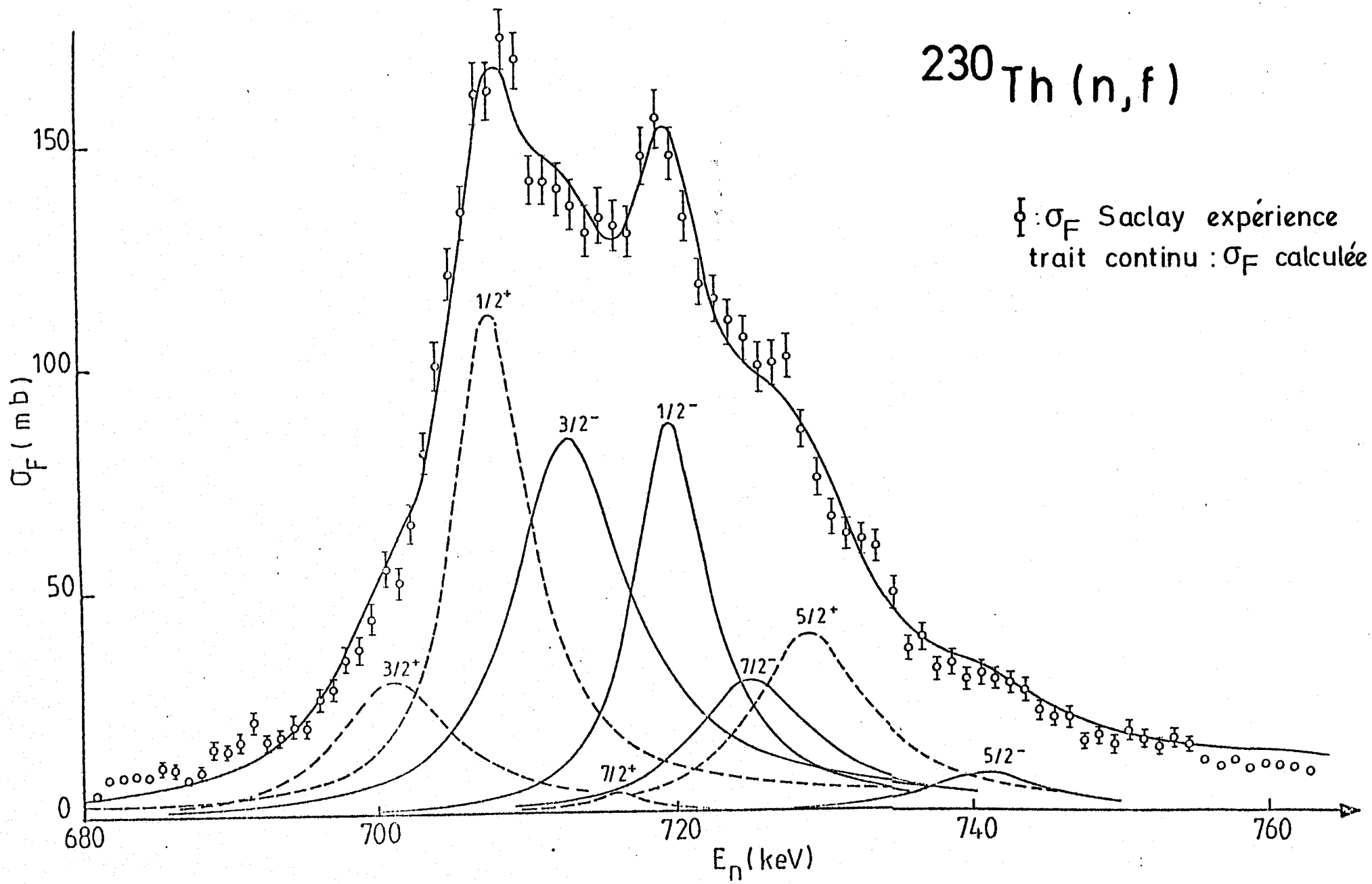

230Th (n,f)
: σF Saclay expérience
trait continu : σF calculée
σF (mb)
150
100
50
0
680
700
720
740
760
En (keV)
1/2+
3/2+
3/2−
1/2−
7/2+
7/2−
5/2+
5/2−

Fig. 6

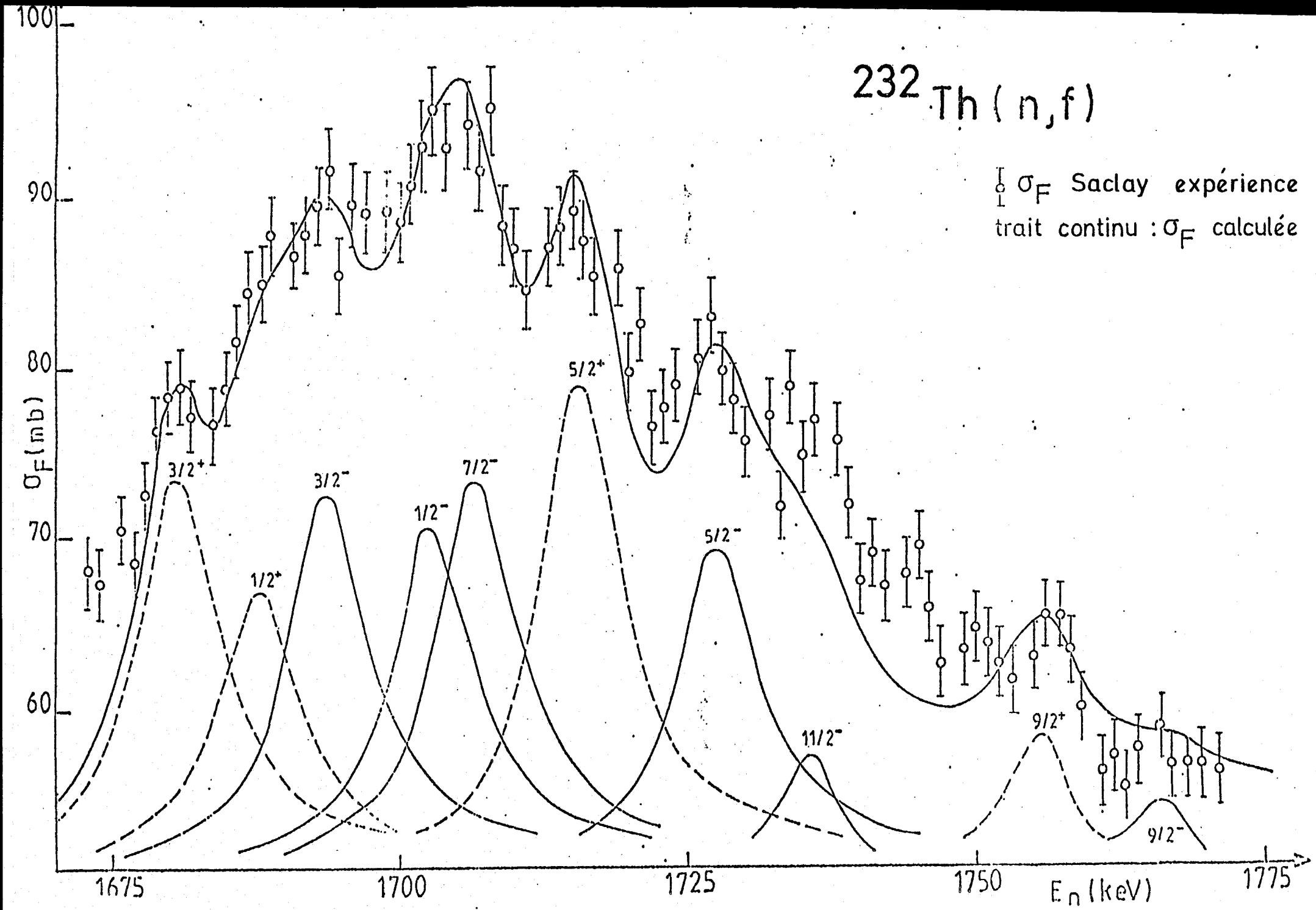
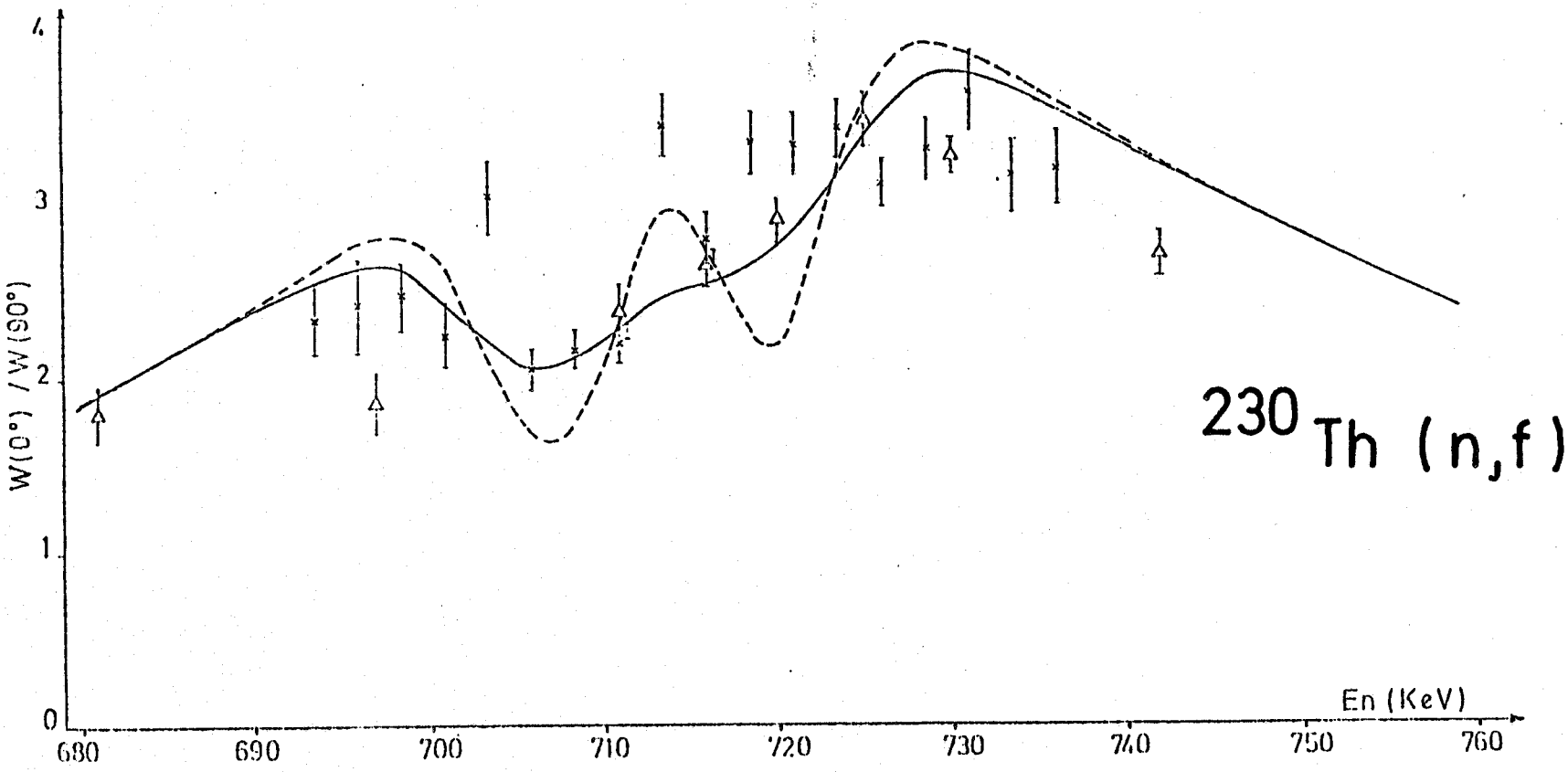
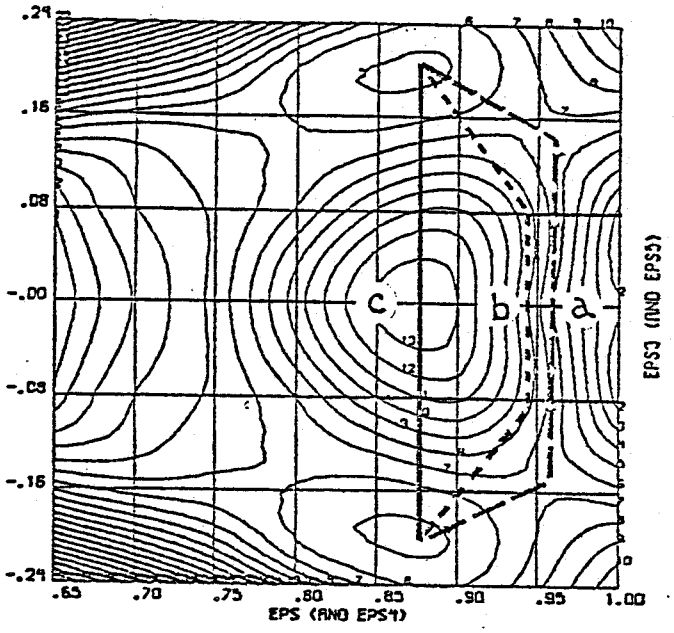

232 Th (n,f)
σF Saclay expérience
trait continu : σF calculée
σF (mb)
100
90
80
70
60
1675
1700
1725
1750
1775
En (keV)
3/2+
1/2+
3/2−
1/2−
7/2−
5/2+
5/2−
11/2−
9/2+
9/2−

Fig. 7



Anisotropie mesurée (x Réf. 4 ; Δ Réf. 5) et calculée (courbes en trait plein et en pointillé)

Fig. 8


.24
.16
.08
-.00
-.08
-.16
-.24
.65
.70
.75
.80
.85
.90
.95
1.00
EPS (AND EPS4)
EPS3 (AND EPS5)
c
b
a

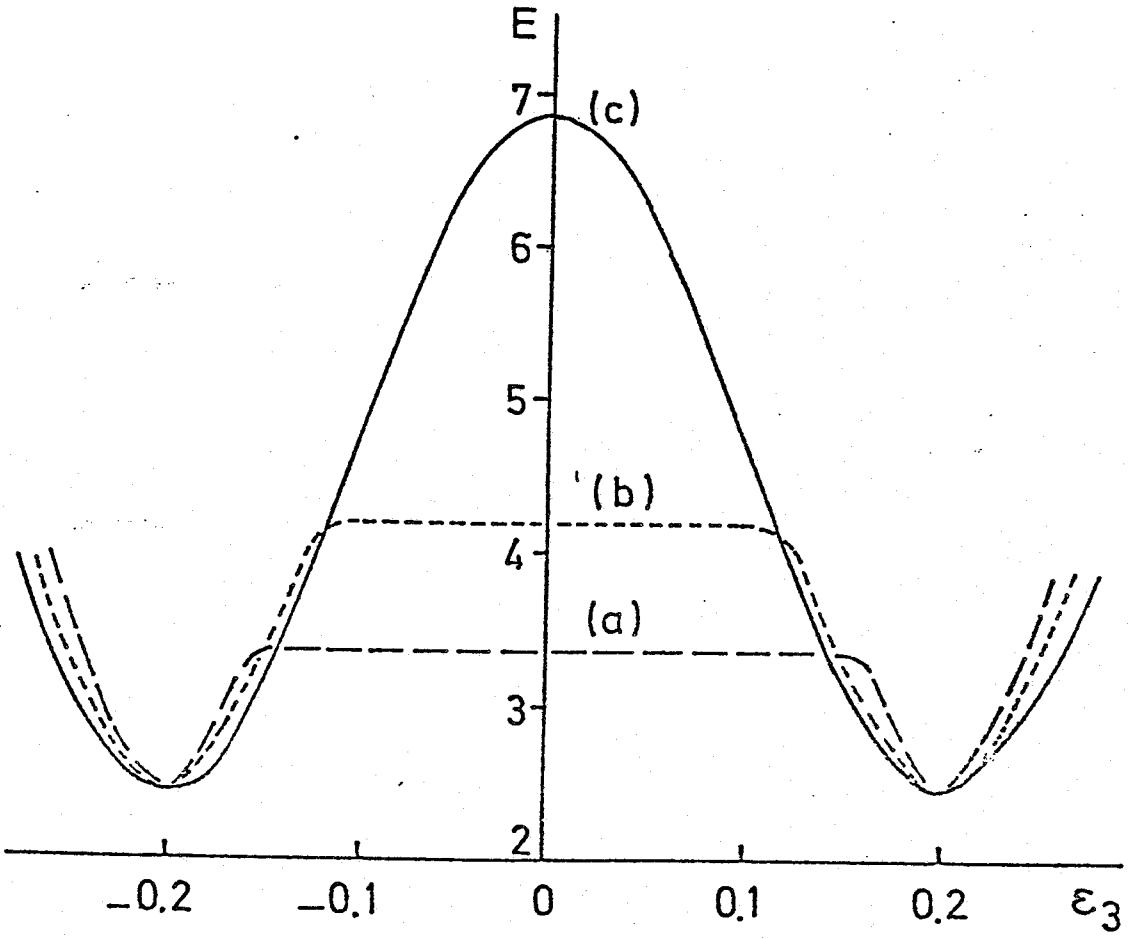

E
7
6
5
4
3
2
(c)
(b)
(a)
-0.2
-0.1
0
0.1
0.2
ε3

Figure 9

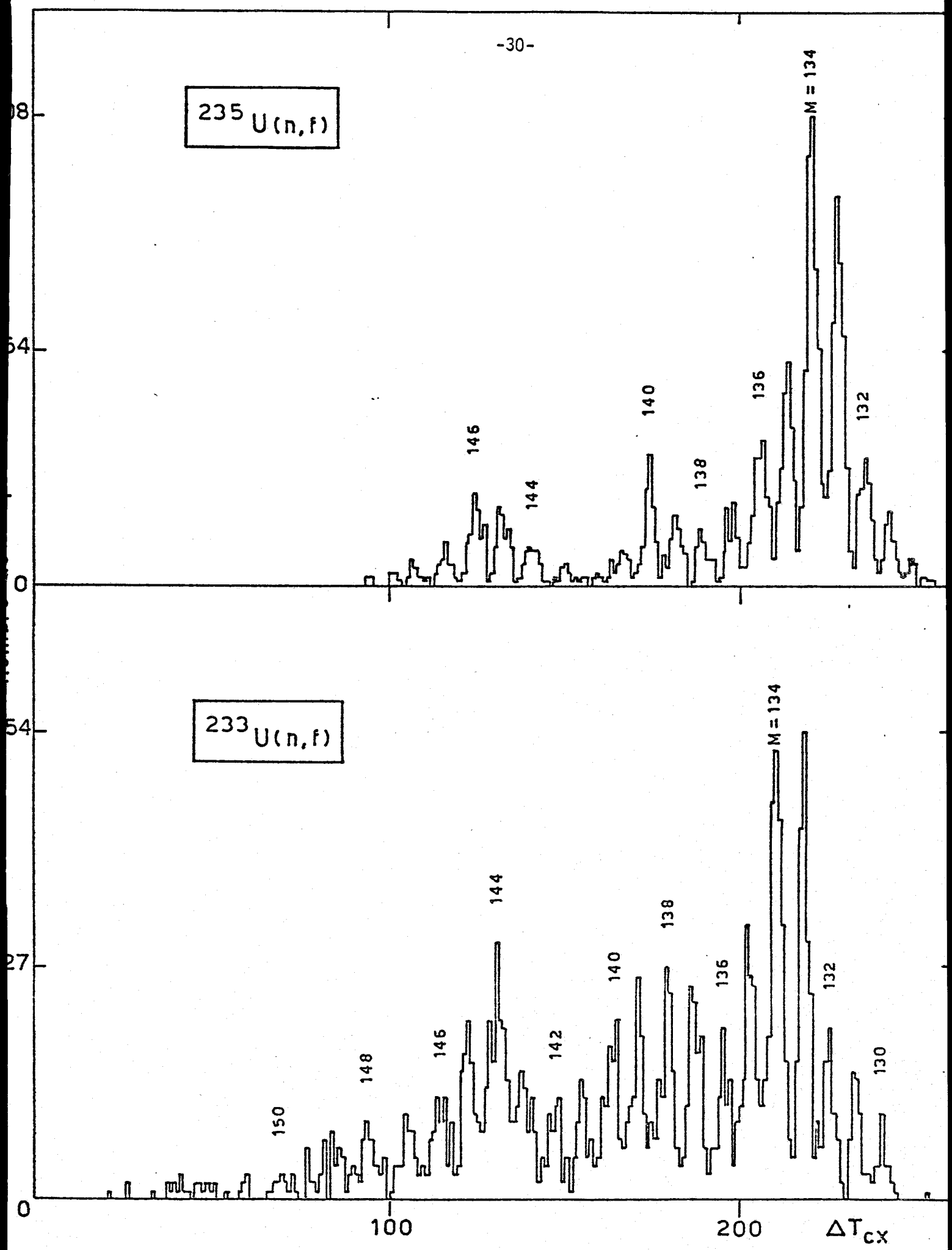


Figure 10

Distribution des masses pour une fenêtre sur l'énergie cinétique du fragment léger de 1 MeV de largeur et placée à 112 MeV.

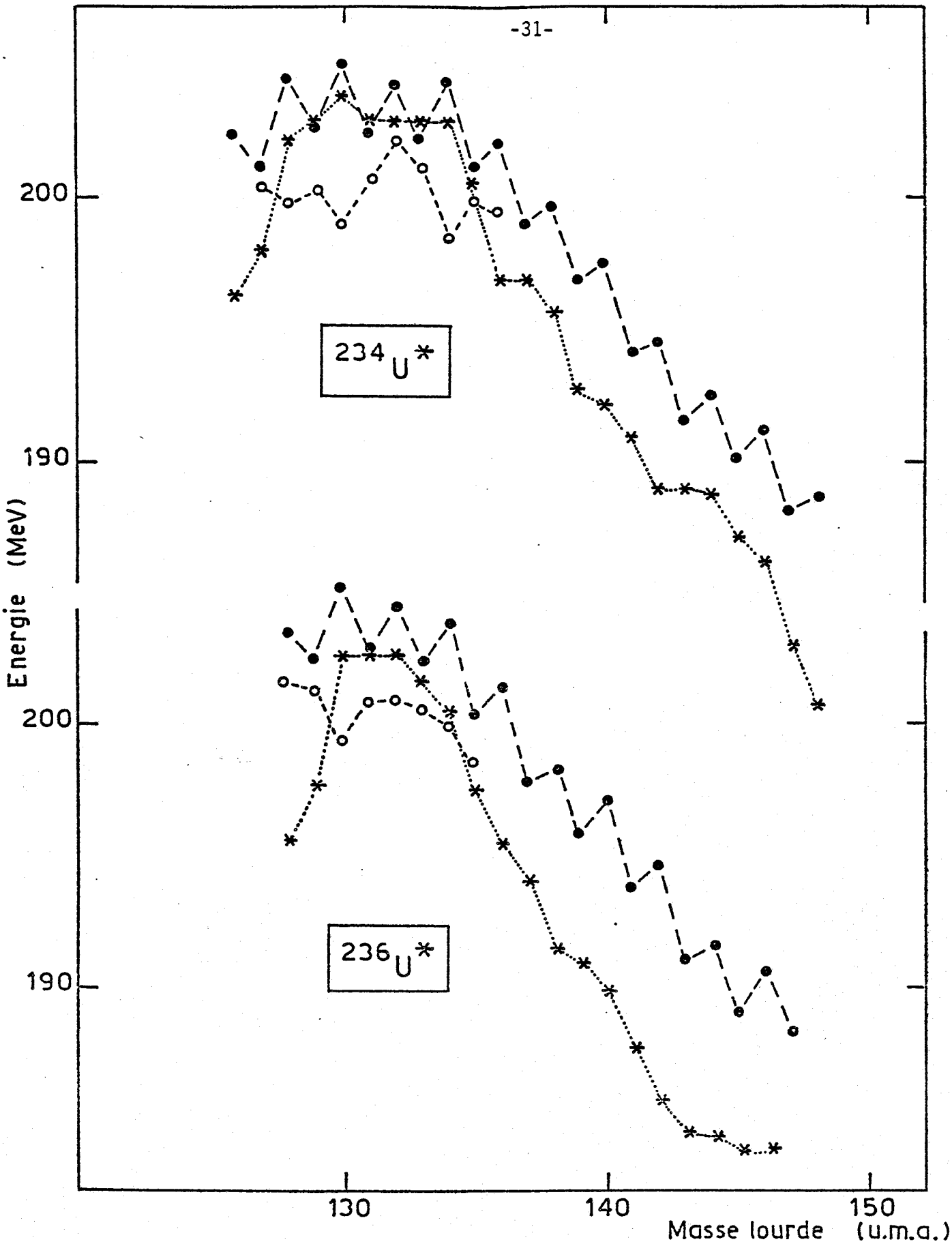


Figure 11

Comparaison, pour chaque valeur de la masse lourde, de E_{KMAX}(*) et des deux valeurs les plus élevées du Q de la réaction (o, ●) correspondant chacune à un rapport des charges déterminé.

II - DEPARTEMENT DE RECHERCHE FONDAMENTALE

M. SERVOZ-GAVIN

Le détail des activités pour l'année 1979 a été publié dans la note CEA-N-2115.

Ces activités concernent essentiellement des études sur le processus de fission et la spectroscopie nucléaire.

La dynamique du processus de fission a été étudiée par l'intermédiaire :

- des effets "pair-impair" se manifestant dans les distributions de masse, de charge et d'énergie des fragments de fission et qui renseignent sur la probabilité de rupture de paires en cours de la transition du point selle vers le point de scission ou sur le transfert d'énergie collective vers des degrés de liberté de particules indépendantes.

Ces études ont concerné les réactions de fission induites par deutons sur ^{236}U, par neutrons sur ^{232}Th, ^{235}U, ou de fission spontanée de ^{252}Cf,

- du rapport isomérique qui permet de calculer le moment angulaire moyen des fragments formés.

Le rapport isomérique a été mesuré pour ^{136}I dans le cas de la fission thermique et par neutrons de 3 MeV de ^{235}U.

Les études de spectroscopie nucléaire ont porté sur :

- les états collectifs de spin élevé dans les noyaux impair-impair qui donnent des informations sur le couplage d'une quasi-particule au coeur : ^{80}Br et ^{152}Eu,

- les noyaux de transition dans la région A = 100 qui, entre autres ont mis en évidence une coexistence de forme pour ^{98}Sr, des états anormalement retardés pour le noyau impair-impair ^{98}Y,

- ^{151}Pr, ^{143}Nd et ^{153}Pm de nouveaux éléments obtenus avec le séparateur SIRIUS,

- une évaluation de A = 116 mise dans le format ENSDF et qui sera publiée dans Nuclear Data Sheets.

III - DIVISION DE PHYSIQUE NUCLEAIRE ET DU NEUTRON

SERVICE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE

M. FIGEAC

Les activités dans le domaine des données nucléaires ont été décrites dans les rapports CEA-N-2134, INDC (FR)-38, NEANDC (E)-212.

Elles se situent dans deux domaines :

1°/ - Le domaine expérimental

Des mesures ont été faites concernant :

- les sections efficaces de diffusion élastique et inélastique à 1.5 MeV de ^{232}Th, ^{233}U et ^{238}U et entre 0.6 MeV et 3.4 MeV de ^{242}Pu dans le but d'étudier la déformation des noyaux actinides,

- la section efficace de capture
  . de ^{208}Pb pour l'étude des mécanismes de réaction direct-semi-direct (en collaboration avec l'Université d'UPPSALA),

- la section efficace de fission
  . de ^{235}U à 2.5, 4.5 et 10 MeV
  . de ^{241}Am à 14.6 MeV
  . de ^{231}Pa pour des énergies comprises entre 0.4 et 100 ev et entre 0.1 MeV et 12 MeV. Ces mesures ont été effectuées sur ORELA avec une haute résolution et ont mis en évidence
  - au-dessus de E = 1.3 ev des résonances étroites de fission
  - un état de vibration appartenant au 3ème puits de la barrière de fission de ^{232}Pa.

- le nombre moyen de neutrons prompts émis par fission de ^{237}Np, pour des énergies incidentes allant jusqu'à 15 MeV. La corrélation observée entre $\overline{E\gamma}$ et $\overline{\nu p}$ est interprétée en termes de compétition entre l'émission de neutrons et de γ.

- l'énergie totale moyenne et la distribution angulaire des fragments de fission de ^{230}Th (n, f), ^{232}Th (n, f) et ^{238}U (n, f) pour l'étude de la dynamique du processus de fission.

2°/ - Le domaine des évaluations

Les évaluations de ^{85}Rb et ^{87}Rb ont été terminées. Elles sont disponibles dans le format ENDF/B-IV. L'évaluation de ^{241}Pu a été commencée, en coopération avec le laboratoire de LOS ALAMOS.

IV - DEPARTEMENT DES REACTEURS A NEUTRONS RAPIDES

SECTION DE PHYSIQUE DES NEUTRONS RAPIDES

M. JC. MOUGNIOT

L'activité dans le domaine des données neutroniques est une contribution à la constitution de Bibliothèsques nécessaires aux calculs des coeurs de réacteur et du cycle de combustible.

Pour les années 1978 et 1979 cette activité s'est faite dans deux directions :

- Ecriture de codes,
- Production de données évaluées.

1°/ - Ecriture de codes

Les codes FISINGA /1/ et SI2N/2/ de calcul de sections efficaces neutroniques ont été mis au point.

Le premier ne prend en compte que le processus du noyau composé qui est décrit par le formalisme statistique de HAUSER-FESHBACH.

Le second admet en outre le processus de prééquilibre qui est décrit par une composante phénoménologique incluse dans un formalisme statistique où la dépendance en J et L n'est pas considérée.

L'association de ces deux codes permet le calcul dans la région statistique des sections efficaces de tous les noyaux pour lesquels la composante de réaction avec émission de particules chargées est négligeable.

Les voies neutroniques d'entrée peuvent être décrites :

- soit par les fonctions densité ;
- soit par un modèle optique qui peut être sphérique ou déformé et, dans ce cas, les coefficients de transmission sont calculés par le code ECIS en voies couplées de RAYNAL.

La décroissance du noyau composé par émission gamma est traitée en utilisant des facteurs de forme de WEISSKOPF ou de BRINK-AXEL appliqués aux transitions E1.

En ce qui concerne le processus de fission, les barrières de potentiel peuvent être à simple ou double bosse. Dans ce dernier cas le formalisme est adapté au degré de couplage entre les états de classe I et II.

2°/ - Production de données évaluées

L'effort principal a porté sur l'évaluation des actinides. Il se place dans le cadre d'une action commune au CNEN (Bologne), K.F.K. (Karlsruhe) et C.E.A. (Cadarache).

. Evaluation de ^{237}Np /7/ (fig. 1)

Cette évaluation concerne le domaine énergie thermique-5 MeV.

La section efficace de capture thermique a été calculée pour reproduire la valeur publiée par WESTON /3/ multipliée par un facteur 1.075 (fig.2).

Cette renormalisation était nécessaire pour obtenir un bon accord avec la section efficace d'absorption qui peut être déduite de la section efficace totale mesurée à SACLAY.

L'ensemble recommandé des paramètres de résonance reprend les valeurs de $2g\Gamma n$ et $\Gamma\gamma$ données par PAYA /4/, de Γf de PLATTARD /5/ et les spins donnés par KEYWORTH /7/.

A plus haute énergie les calculs ont été effectués à l'aide du code de modèle statistique FISINGA.

Les facteurs de transmission neutroniques ont été obtenus par des calculs en voies couplées avec le code ECIS. La paramétrisation du modèle optique déformé est une adaptation de celle proposée par LAGRANGE pour les isotopes pairs du Pu.

. Evaluation de ^{241}Am /8/

Cette évaluation concerne le domaine : Energie thermique - 15 MeV. Les paramètres de résonance recommandés sont ceux obtenus à SACLAY /9/ par une expérience de transmission dans des conditions de résolution en énergie excellentes.

La paramétrisation du modèle optique déformé (calculs effectués en voies couplées) utilisé pour le calcul des pénétrabilités neutroniques a été déterminée de façon à reproduire d'une part la section efficace totale obtenue par PHILIPPS /10/ (fig.3) et d'autre part les fonctions densité So, S_1 et le rayon effectif de diffusion extraits de l'analyse des paramètres de résonance et de la section efficace de capture à basse énergie.

La section efficace de fission a été calculée en utilisant une barrière de potentiel à double bosse traitée dans l'approximation de l'amortissement total avec des densités de voies de fission proposées par LYNN. Le calcul montre que les sections efficaces de fission entre 1 KeV et 200 KeV sont très faibles (10 à 20 mb) (fig. 4). Ce résultat est confirmé par l'ensemble des données intégrales obtenues dans des spectres neutroniques similaires à ceux de réacteurs comme PHENIX ou SUPER PHENIX et par les valeurs récentes obtenues par HAGE, KAEPPELER, WISSHAK /11/ (fig. 4).

. Evaluation des sections efficaces (n, 2n) et (n, 3n) de ^{238}U du seuil à 16 MeV /12/

Une analyse a montré que les différents résultats expérimentaux sont dans l'ensemble assez cohérents et que ceux obtenus par FREHAUT /13/ par la méthode de gros sautillateur étaient les plus surs.

L'évaluation a été basée sur ces dernières valeurs et les calculs ont été effectués à l'aide du code SI2N. Au delà de 14 MeV les valeurs théoriques sont systématiquement inférieures aux données expérimentales ce qui est explicable par le fait qu'on n'a pas tenu compte du processus de préequilibre.

. Evaluation du nickel naturel

Ce travail est en cours ; l'évaluation est rendue difficile par l'absence de résultats expérimentaux principalement en ce qui concerne la capture. Par ailleurs le désaccord existant dans les données de diffusion inélastique ne permet pas de choisir entre un modèle optique sphérique et un modèle optique déformé. De plus, la section efficace de capture dans la zone d'énergie d'intérêt pour les réacteurs rapides est très sensible aux effets non statistiques sur lesquels on connait peu de chose.

Les calculs préliminaires ont été effectués en adoptant pour les réactions (n, α) et (n, ρ) les valeurs présentées dans la librairie KEDAK.

REFERENCES

/1/ E. FORT, D. LAFOND - Note CEA à paraitre

/2/ - E. FORT, JP. DOAT - Note technique DRNR/SEDC/SPNR/BEDN 79/5703

/3/ L. WESTON - JH. TODD Communication privée

/4/ D. PAYA et al. FRNC-TH-431 (thése 1972)

/5/ S. PLATTARD et al, Nucl.

/6/ GA. KEYWORTH et al, Phys. Rev C, 8, 2352 (1973)

/7/ H. DERRIEN, E. FORT - Conférence de KNOXVILLE (1979)

/8/ E. FORT, H. DERRIEN - Conférence de KNOXVILLE (1979)

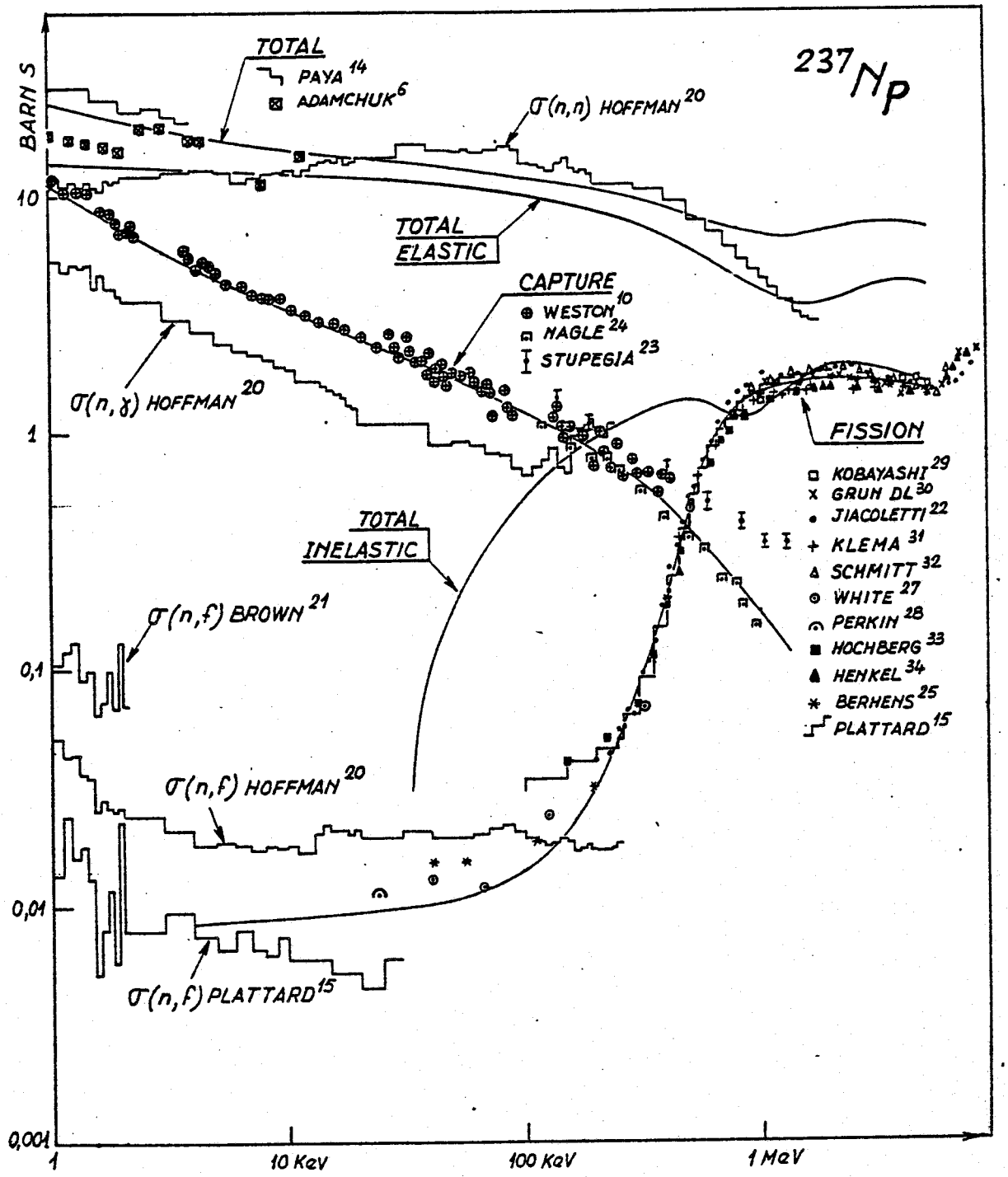
/9/ H. DERRIEN, LUCAS - Conférence de WASHINGTON (1975)

/10/ TW. PHILLIPS, RE. HOWE UCRL-81176 (1978)

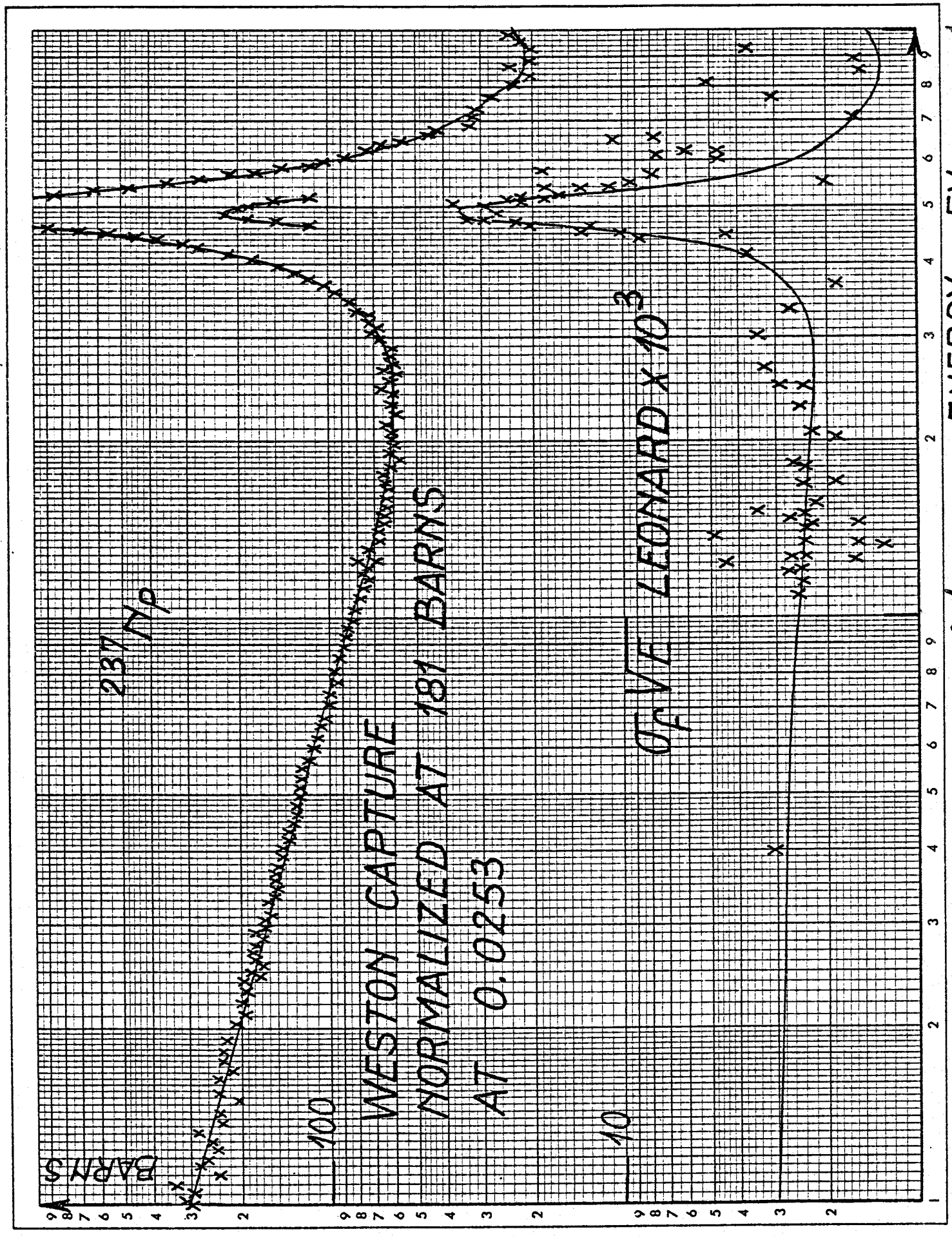
/11/ W. HAGE, F. KAPPELER et K. WISSHAK, NEANDC(E), 202 U, Vol V p17

/12/ E. FORT, JP. DOAT - Note technique DRNR/SEDC/SPNR/BEDN 79/5704

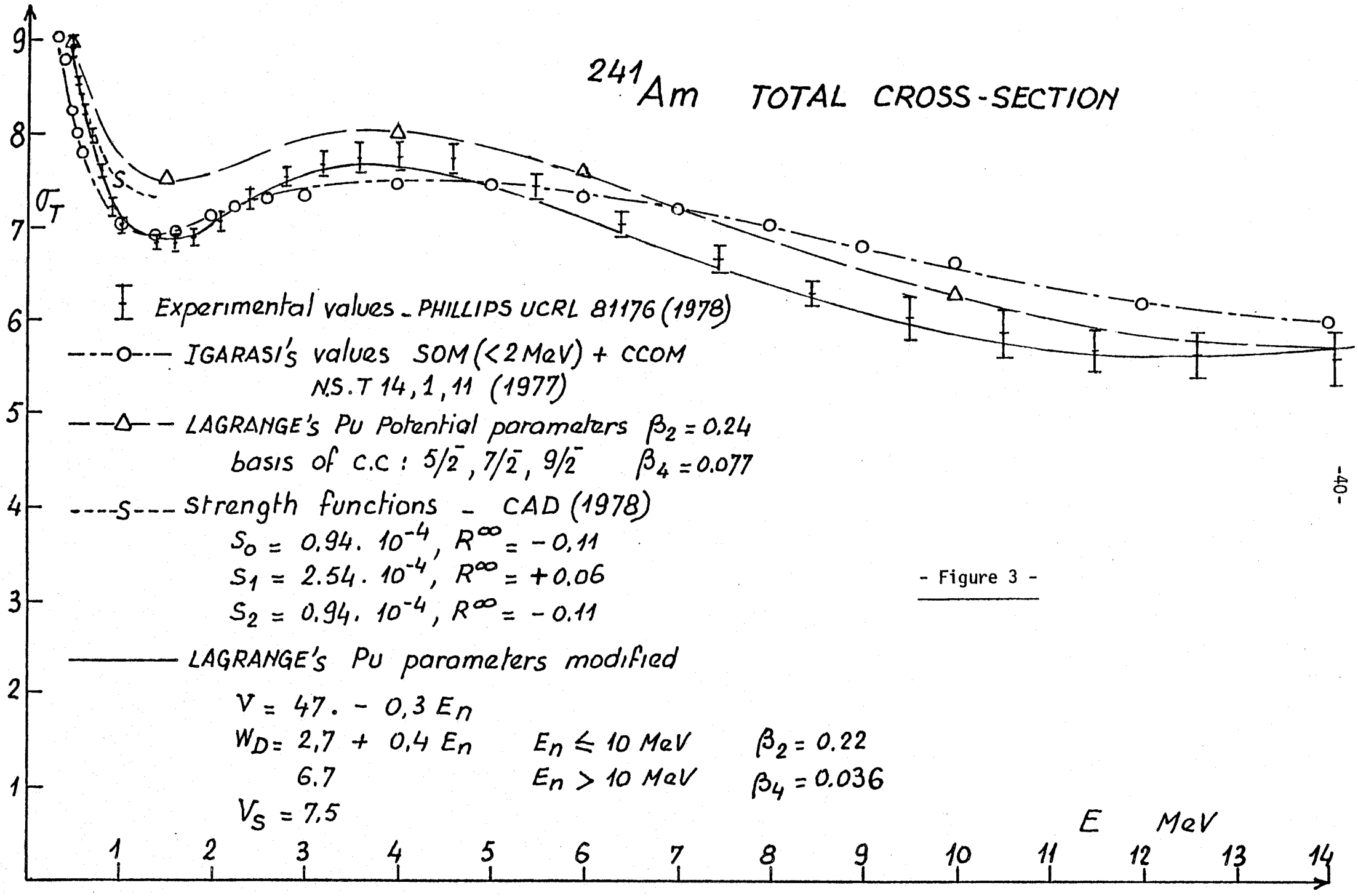
/13/ J. FREHAUT, G. MOSINSKI Conférence de WASHINGTON


237Np
BARN S
TOTAL
PAYA 14
ADAMCHUK 6
σ(n,n) HOFFMAN 20
TOTAL ELASTIC
CAPTURE
WESTON 10
NAGLE 24
STUPEGIA 23
σ(n,γ) HOFFMAN 20
FISSION
KOBAYASHI 29
GRUN DL 30
JIACOLETTI 22
KLEMA 31
SCHMITT 32
WHITE 27
PERKIN 28
HOCHBERG 33
HENKEL 34
BERHENS 25
PLATTARD 15
TOTAL INELASTIC
σ(n,f) BROWN 21
σ(n,f) HOFFMAN 20
σ(n,f) PLATTARD 15
10
1
0,1
0,01
0,001
1
10 KeV
100 KeV
1 MeV

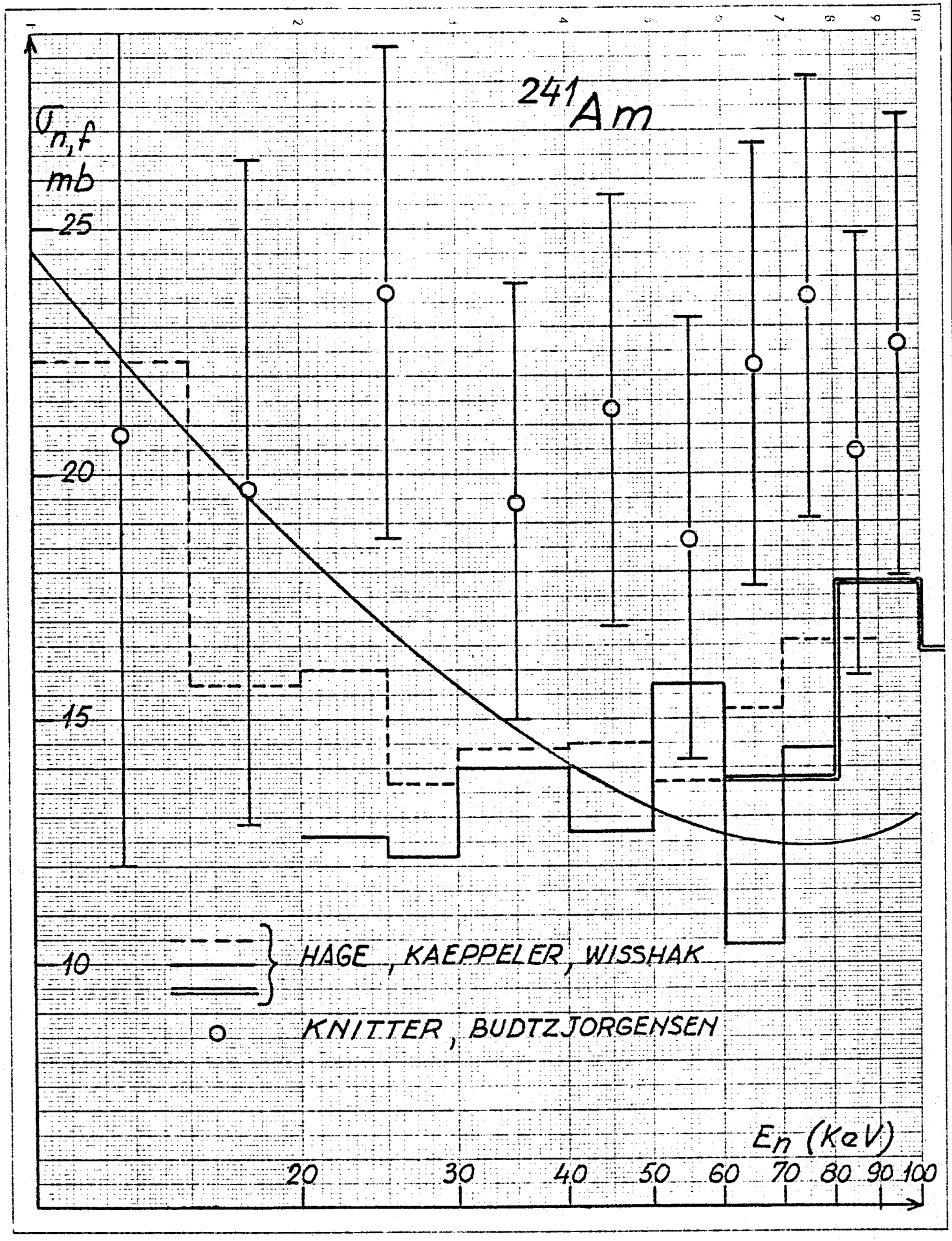
- Figure 1 -


237 Np
WESTON CAPTURE
NORMALIZED AT 181 BARNS
AT 0.0253
OF VE LEONARD X 10 3
BARNS
100
10
0.1
1
ENERGY EV

- Figure 2 -


^{241}Am TOTAL CROSS-SECTION
σ_T
Experimental values - PHILLIPS UCRL 81176 (1978)
IGARASI's values SOM (<2 MeV) + CCOM
N.S.T 14, 1, 11 (1977)
LAGRANGE's Pu Potential parameters $\beta_2 = 0.24$
basis of c.c : $5/2^-$, $7/2^-$, $9/2^-$ $\beta_4 = 0.077$
strength functions - CAD (1978)
$S_0 = 0.94 . 10^{-4}$, $R^\infty = -0.11$
$S_1 = 2.54 . 10^{-4}$, $R^\infty = +0.06$
$S_2 = 0.94 . 10^{-4}$, $R^\infty = -0.11$
LAGRANGE's Pu parameters modified
$V = 47. - 0,3 E_n$
$W_D = 2,7 + 0,4 E_n$ $E_n \leq 10$ MeV $\beta_2 = 0.22$
6.7 $E_n > 10$ MeV $\beta_4 = 0.036$
$V_S = 7,5$
E MeV
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
1 2 3 4 5 6 7 8 9

- Figure 3 -


241Am
σn,f
mb
25
20
15
10
HAGE, KAEPPELER, WISSHAK
KNITTER, BUDTZJORGENSEN
En (KeV)
20
30
40
50
60
70
80
90
100

- Figure 4 -

V - DEPARTEMENT DES REACTEURS A EAU

SERVICE D'ETUDES ET RECHERCHES EN MATHEMATIQUES APPLIQUEES

M. CHABRILLAC

Année 1978

Activité sur les produits de fission

L'évolution de la bibliothèque des produits de fission étant rapide, en particulier en raison de la mise en place et de la disponibilité du système ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File), l'utilisation d'une nouvelle bibliothèque à 699 nucléides (1) est en cours d'étude.

En même temps des études sur les rendements de fission des isotopes du plutonium ont été effectuées en utilisant la méthode de Wahl (2) :

$$y_{IF}(Z,A) = \frac{y_F(A) * KP_F(Z,A) * NF_F(A)}{\sqrt{\pi c}} \int_{Z-0.5}^{Z+0.5} e^{-\frac{(Z-ZP_F)^2}{c}} dZ$$

$y_{IF}(Z,A)$ rendement indépendant du nucléide Z, A

$y_F(A)$ rendement cumulé de la chaîne A (3)

$ZP_F(A)$ valeur la plus probable de Z pour la chaîne A (3)

c paramètre d'ouverture de la gaussienne. On a :

$$\sigma = 0.56 = \sqrt{\frac{c}{2} - \frac{1}{12}} \qquad (2)$$

$KP_F(Z,A)$ coefficients tenant compte de l'effet de parité neutron-proton (2).

$NF_F(A)$ facteur de normalisation.

Dans le cas d'un noyau avec un état métastable la répartition des rendements pour ^{240}Pu, ^{241}Pu, ^{242}Pu a été prise comme celle pour ^{239}Pu (4).

Notre code PEPIN (5) qui, à partir de la bibliothèque et des rendements, calcule la puissance résiduelle totale, β et γ, les activités et les concentrations des produits de fission, le spectre γ, pour une irradiation donnée a été utilisé dans plusieurs études pratiques.

A titre d'exemple, nous donnons dans la figure 1 la puissance totale obtenue dans les conditions de fonctionnement d'un réacteur PWR pour des temps d'irradiation allant de 1 jour à 10^{13} secondes dans le cas de produits de fission thermique de l'^{235}U.

REFERENCES

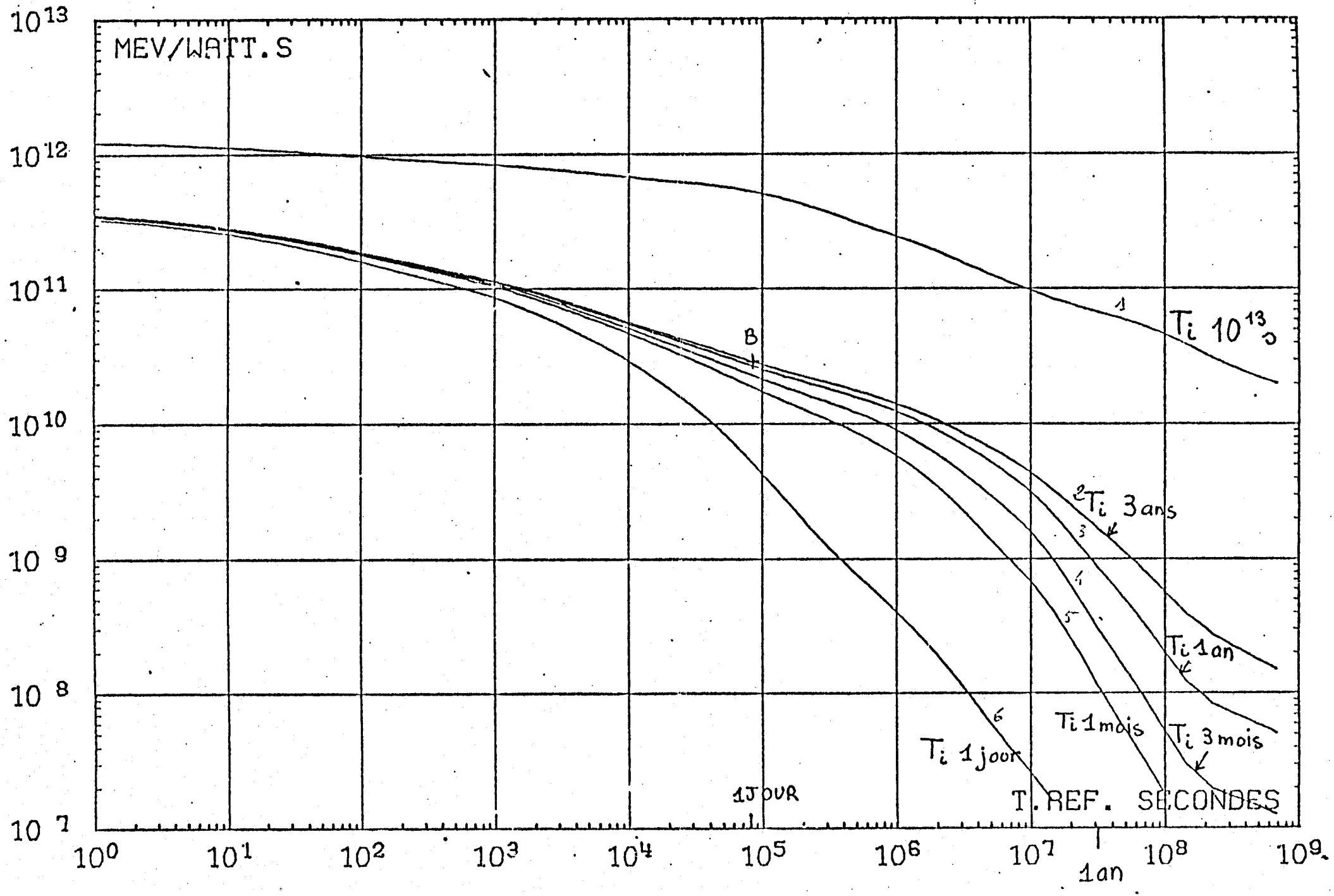
1 J.B. BLACHOT - Ch. FICHE
Communication au Congrés sur la physique neutronique et les données nucléaires - Harwell Septembre 1978 -

2 A.C. WAHL
Contribution au papier revue n° 11 : A.I.E.A. panel sur les données nucléaires des produits de fission - PETTEN Septembre 1977

3 M.E. MEEK et B.F. RIDER
Compilation of fission product yields - NEDO-12154-2 (1977) -

4 M.E. MEEK et B.F. RIDER
Compilation of fission product yields - NEDO-12154-1 (1974) -

5 PEPIN
Note CEA à paraître.



U235 THERMIQUE -PUISSANCE TOTALE

FIGURE 1

Année 1979

La bibliothèque des produits de fission à 699 nucléides développée par M. BLACHOT (SPN/GRENOBLE) et M. FICHE (SEN/CADARACHE) a été adaptée en vue de son utilisation par le code PEPIN.

La préparation des énergies β et des énergies γ pour les noyaux à spectres inconnus a été effectuée suivant plusieurs axes : détermination de ces énergies par extrapolation en fonction de la période à partir des énergies des noyaux connus. Même détermination en fonction de l'énergie disponible dans la réaction. Une comparaison des résultats obtenus aux temps courts (puissance totale, puissance β, puissance γ) après une fission élémentaire est en cours. Les premiers résultats concernant la puissance β se comparent très bien pour l'U^{235} avec les résultats déduits des expériences de Dickens. La même étude dans le cas du Pu^{239} a été démarrée.

Une mise sous format ENDF/BV de cette bibliothèque est actuellement en cours d'étude de façon à permettre aussi bien des échanges de bibliothèques que des comparaisons avec diverses bibliothèques.

Avec cette nouvelle bibliothèque, des comparaisons avec les mesures calorimétriques et spectroscopiques tant françaises qu'étrangères, sont prévues.

U N I V E R S I T E de B O R D E A U X I

Président : M. RIMPAULT

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE BORDEAUX-GRADIGNAN

Président : G.N. SIMONOFF

Résumé du Rapport des Activités de Recherche dans le domaine des Sciences Nucléaires

au

Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan

pendant l'année 1978

L'annuaire complet de notre Centre, pour 1979, va paraître très prochainement.

Nous limiterons notre propos , ici, à mentionner quelques activités nouvelles et à souligner les résultats les plus significatifs.

Parmi les activités nouvelles, nous essayons de promouvoir des recherches en collaboration avec des médecins pour conforter la médecine nucléaire en plein développement dans notre région.

Deux études ont été menées jusqu'au bout dans ce domaine :

1) Etude de l'hémocompatibilité de différents matériaux utilisés pour des prothèses vasculaires.

2) Etude du métabolisme de l'héparine en circulation extra corporelle en chirurgie cardiaque (LAGARDE-SIMONOFF en collaboration avec le professeur FONTAN)

Pour le reste, comme par le passé, notre activité porte sur :

1) <u>Les réactions nucléaires par ions lourds</u> qui a donné lieu à : a) une étude expérimentale des réactions de transfert quasi-élastiques induites sur le bismuth par divers ions lourds (F. HUBERT, A, FLEURY,.en collaboration avec des chercheurs de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay)

b) une série d'expériences de réactions de transfert très inélastiques.

2) Les réactions nucléaires à haute énergie

Les mesures de sections efficaces de celles-ci permettent d'une part de préciser les mécanismes réactionnels des interactions considérées, d'autre part d'obtenir certains paramètres indispensables en astrophysique dans l'étude de l'interaction du rayonnement cosmique, notamment avec les météorites et les pierres de lune.

Nous avons entrepris l'étude de la production des gaz rares (REGNIER et SIMONOFF)

3) La fission

Au cours de cette année, la fission a fait l'objet de plusieurs études et reste un domaine privilégié de nos recherches

a) Etude du troisième puits de potentiel dans la barrière de fission des actinides légers à l'aide de la mesure des distributions angulaires des fragments de fission dans la réaction ^{230}Th (n,f). Cette mesure a été réalisée auprès de notre accélérateur Van de Graaff de 4 MeV.(BARREAU, SICRE, LEROUX)

b) Mesure de l'énergie cinétique totale des fragments de fission dans la réaction $^{237}_{93}Np$ (n,f) induite par neutrons rapides toujours auprès du Van de Graaff.

c) Etude des distributions en masse et en énergie cinétique des fragments de fission des noyaux ^{232}Pa, ^{236}U, ^{238}Np, ^{240}Pu.

Cette importante étude a été réalisée auprès du réacteur à Haut Flux de Grenoble.