

Paper presented at the³ National Soviet Conference on Neutron Physics
(KIEV, June 9 - 13, 1975)

CEA-CONF. - 3308

FR 7600554

ETUDE DE LA REACTION $(n, \gamma f)$ POUR LA FISSION DE ^{241}Pu

INDUITE PAR DES NEUTRONS DE RESONANCE.

G. SIMON - J. FREHAUT

*Service de Physique Nucléaire
Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel
B.P n° 61, 92120 Montrouge, France*

RESUME -

Les variations de résonance à résonance du nombre moyen de neutrons prompts $\bar{\nu}$ et de l'énergie moyenne du rayonnement gamma prompt \bar{E}_γ ont été mesurées pour la fission du ^{241}Pu induite par des neutrons d'énergie comprise entre 4 eV et 91 eV.

L'accélérateur linéaire de 60 MeV du C.E.N. SACLAY a été utilisé comme source pulsée de neutrons. Les mesures de $\bar{\nu}$ et de \bar{E}_γ ont été réalisées simultanément à l'aide d'un gros scintillateur liquide chargé au gadolinium.

Des fluctuations anticorrélées de faible amplitude ont été observées pour ces deux paramètres. Elles sont attribuées à la réaction $(n, \gamma f)$.

ABSTRACT -

Fluctuations from resonance to resonance of the average number $\bar{\nu}$ of prompt neutrons and of the average gamma ray energy \bar{E}_γ have been measured for the neutron-induced fission of ^{241}Pu in the energy range 4 - 91 eV.

The 60 MeV linear accelerator of CEN SACLAY was used to produce the pulsed beam of incident neutrons, and a large Gd - loaded liquid scintillator to measure simultaneously $\bar{\nu}$ and \bar{E}_γ .

Weak anticorrelated fluctuations observed for these two quantities have been attributed to the $(n, \gamma f)$ reaction.

Introduction

Les mesures du nombre moyen $\bar{\nu}$ de neutrons prompts et de l'énergie moyenne \bar{E}_γ du rayonnement gamma prompt de fission réalisées pour la fission de ^{239}Pu induite par neutrons "s" ont conduit à la mise en évidence de la réaction (n, γ f) [1,2] .

Cette réaction semble également jouer un rôle important dans le cas de la fission du ^{241}Pu induite par des neutrons de résonance. La distribution expérimentale des largeurs de fission obtenue par Blons [3] ne laisse en effet apparaître aucune largeur inférieure à 10 meV. C'est pourquoi l'étude de la réaction (n, γ f) a été entreprise sur ce noyau, à partir de mesures simultanées de $\bar{\nu}$ et \bar{E}_γ .

Réaction (n, γ f)

Deux processus sont en compétition lorsqu'un noyau composé, formé par capture d'un neutron lent, se désexcite par fission :

- la fission directe, de largeur Γ_{fd} , avec, en moyenne, émission d'une énergie gamma prompte $\bar{E}_{\gamma d}$ et de $\bar{\nu}_d$ neutrons.

- la réaction (n, γ f), de largeur $\Gamma_{\gamma f}$, au cours de laquelle le noyau se désexcite partiellement par émission de rayons gamma avant de subir la fission. Le rayonnement gamma de préfission, d'énergie moyenne \bar{e}_γ , s'ajoute alors au rayonnement gamma émis par les fragments de fission, dont l'énergie ne dépend pratiquement pas de l'énergie d'excitation du noyau qui fissionne [4] .

Expérimentalement, ces deux types de rayonnement sont inséparables et il en résulte une augmentation de l'énergie gamma prompte détectée.

L'émission de rayons gamma avant fission diminue l'énergie d'excitation du noyau composé, ce qui entraîne une diminution du nombre moyen de neutrons émis par les fragments de fission, par rapport à la fission directe.

L'énergie gamma prompte moyenne \bar{E}_γ et le nombre moyen $\bar{\nu}$ de neutrons émis par fission s'expriment, compte tenu des deux processus possibles, par les relations :

$$\bar{E}_\gamma = \bar{E}_{\gamma d} + \frac{\Gamma_{\gamma f}}{\Gamma_f} \cdot \bar{e}_\gamma$$

$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_d - \frac{\Gamma_{\gamma f} \cdot \bar{e}_\gamma}{\Gamma_f} \cdot \left(\frac{d\bar{\nu}}{dE^*} \right),$$

.../...

où $\Gamma_f = \Gamma_{\gamma f} + \Gamma_{fd}$ est la largeur totale de fission et $\left(\frac{d\bar{\nu}}{dE^*}\right)$ représente la variation linéaire de $\bar{\nu}$ en fonction de l'énergie d'excitation E^* du noyau composé.

Pour les résonances ayant les mêmes spin et parité J^π , les quantités \bar{e}_γ et $\Gamma_{\gamma f}$ restent constantes car le processus $(n, \gamma f)$ est à grand nombre de voies de sortie : les lois $\bar{E}_\gamma = f(1/\Gamma_f)$ et $\bar{\nu} = f(1/\Gamma_f)$ sont donc des droites dont la pente est caractéristique de la réaction $(n, \gamma f)$.

La mesure simultanée de $\bar{\nu}$ et \bar{E}_γ peut donc permettre de mettre en évidence la réaction $(n, \gamma f)$ et conduit à une détermination expérimentale du produit $\bar{e}_\gamma \cdot \Gamma_{\gamma f}$ pour chaque état de spin.

Méthode de Mesure -

Ces mesures ont été réalisées à SACLAY auprès de l'accélérateur linéaire d'électrons de 60 MeV, utilisé comme source pulsée de neutrons.

Le dispositif expérimental a été mis au point par Shackleton et Fréhaut pour des mesures identiques dans les résonances du ^{239}Pu [1].

Le faisceau de neutrons collimaté irradie une chambre à fission placée au centre d'un gros scintillateur liquide sphérique chargé au gadolinium (Fig. 1a).

Lorsqu'une fission se produit, l'un des deux fragments est détecté dans la chambre à fission et le rayonnement gamma prompt est détecté dans le scintillateur liquide : la simultanéité de ces deux informations permet d'identifier l'évènement fission. On compte alors pendant 30 μ s les impulsions en provenance du scintillateur liquide, qui correspondent à la détection des neutrons de fission (après ralentissement dans le liquide puis capture par le gadolinium) et à du bruit de fond. Ce dernier est mesuré systématiquement après chaque fission en ouvrant au même instant du cycle suivant de l'accélérateur, une même porte de 30 μ s, pendant laquelle on compte les impulsions en provenance du scintillateur liquide (Fig. 1b). De cette façon, le bruit de fond est statistiquement mesuré dans des conditions identiques à celles de la mesure proprement dite.

L'analyse simultanée de la surface du signal prompt du scintillateur liquide permet de déterminer les fluctuations de résonance à résonance de l'énergie \bar{E}_γ du rayonnement gamma prompt.

L'énergie des neutrons incidents est déterminée par la méthode du temps de vol; la longueur de la base de vol était de 30 m.

.../...

La chambre à fission contenait 100 mg de ^{241}Pu , ainsi qu'un dépôt de ^{252}Cf dont la fission spontanée a été utilisée pour normaliser les valeurs de $\bar{\nu}$ obtenues.

Résultats -

Les valeurs de $\bar{\nu}$, normalisées sur $\bar{\nu} = 3,732$ pour la fission spontanée du ^{252}Cf , et les valeurs de \bar{E}_γ , en échelle relative (canaux), sont données dans le tableau I pour les 64 résonances analysées entre 4,28 et 90,76 eV. Pour les résonances peu perturbées par les résonances voisines (marquées d'une étoile dans le tableau I), les valeurs de $\bar{\nu}$ et \bar{E}_γ sont portées en fonction de $1/\Gamma_f$ sur les figures 2 et 3, respectivement pour les résonances $J^\pi = 2^+$ et $J^\pi = 3^+$, en utilisant la détermination des spins et des largeurs de fission proposée par J. Blons [3].

Les droites portées sur ces figures correspondent au lissage des résultats expérimentaux par la méthode des moindres carrés [5]. Elles ont pour équation :

- état de spin 2^+ (14 résonances Fig.2)

$$\bar{E}_\gamma = (34,1 \pm 22,7) 1/\Gamma_f + (94,59 \pm 0,13)$$

$$\bar{\nu} = -(0,89 \pm 0,87) 1/\Gamma_f + (2,909 \pm 0,005)$$

- état de spin 3^+ (19 résonances Fig.3)

$$\bar{E}_\gamma = (7,5 \pm 3,5) 1/\Gamma_f + (94,71 \pm 0,10)$$

$$\bar{\nu} = -(0,25 \pm 0,19) 1/\Gamma_f + (2,893 \pm 0,006)$$

Les pentes de ces droites conduisent, compte tenu de la récente valeur $\frac{d\bar{\nu}}{dE^*} = 0,153 \pm 0,002$ [6], de l'étalonnage de la voie gamma ($0,227 \pm 0,011$ MeV/canal) [1] et de la correction pour les protons de recul [4], aux valeurs suivantes pour le produit $\Gamma_{\gamma f} \cdot \bar{e}_\gamma$:

	Résonances $J^\pi = 2^+$	Résonances $J^\pi = 3^+$
à partir de $\bar{E}_\gamma = f (1/\Gamma_f)$	$7932 \pm 5158 \text{ eV}^2$	$1750 \pm 789 \text{ eV}^2$
à partir de $\bar{\nu} = f (1/\Gamma_f)$	$5830 \pm 5680 \text{ eV}^2$	$1627 \pm 1229 \text{ eV}^2$
Valeur moyenne	$6982 \pm 3819 \text{ eV}^2$	$1714 \pm 664 \text{ eV}^2$

Discussion -

L'effet de la réaction $(n,\gamma f)$ observé pour chacun des états de spin est très faible. Cependant, malgré la dispersion des points expérimentaux (Fig. 2 et 3), l'existence de cet effet dans le $^{242}\text{Pu}^*$ paraît bien établie. Pour chaque état de spin, en effet, les fluctuations de $\bar{\nu}$ et \bar{E}_γ sont bien anticorrélées et les valeurs du produit $\Gamma_{\gamma f} \cdot \bar{e}_\gamma$ déduites à partir des pentes des droites $\bar{E}_\gamma = f(1/\Gamma_f)$ et $\bar{\nu} = f(1/\Gamma_f)$ sont en bon accord.

La position des barrières de fission correspondant aux états de spin atteints après l'émission du rayonnement gamma de préfission [7][8] permet de prévoir que l'énergie moyenne \bar{e}_γ de ce rayonnement est de l'ordre de 1 MeV, ce qui conduit à des valeurs de la largeur $\Gamma_{\gamma f}$ de l'ordre de 7 meV pour les résonances 2^+ et de 2 meV pour les résonances 3^+ . Expérimentalement, nous n'avons pas étudié de résonance ayant une valeur de Γ_f inférieure à 54 meV pour les résonances 2^+ et à 10 meV pour les résonances 3^+ . Or l'effet de la réaction $(n,\gamma f)$ pour une résonance donnée est, comme nous l'avons vu, proportionnel au rapport $\frac{\Gamma_{\gamma f}}{\Gamma_f}$; les valeurs du rapport $\frac{\Gamma_{\gamma f}}{\Gamma_f}$ sont donc toujours petites et l'effet de la réaction $(n,\gamma f)$, très faible, est masqué par les erreurs expérimentales.

REFERENCES

- [1] J. FREHAUT, D. SHACKLETON, Proc. Symposium on Physics and chemistry of fission, Rochester II (1973) 201
- [2] Yu. RYABOV, J. TROCHON, D. SHACKLETON, J. FREHAUT, Nucl. Phys. 216 (1973) 395.
- [3] J. BLONS, H. DERRIEN, Conf. sur la Phys. du Neutron. Kiev (1973) Neïtronaya Fizika II (1974) 263
- [4] H. NIFENECKER, C. SIGNARBIEUX, M. RIBRAG, J. POITOU, J. MATUSZECK, Nucl. Phys. A 189 (1972) 285.
- [5] J.H WILLIAMSON, Can. Jour. Phys. 46 (1968) 1843
- [6] J. FREHAUT, G. MOSINSKI, R. BOIS, M. SOLEILHAC, Rapport CEA - R-4626, 1974.
- [7] B.B BACK, Ole HAUSEN, H.C BRITT, J.D GARRETT, Phys. Rev. 9 (1974) 1924
- [8] H.C BRITT, M. BOLSTERLI, J.R NIX and J.L NATON, Phys. Rev. 7 (1973) 801

TABEAU I

Valeurs expérimentales de $\bar{\nu}$ et \bar{E}_Y pour les résonances du ^{241}Pu .
Les valeurs de $\bar{\nu}$ sont normalisées sur $\bar{\nu} = 3,732$ pour le ^{252}Cf . Les
valeurs de \bar{E}_Y sont relatives.

La détermination des spins et des largeurs de fission Γ_f est celle
proposée par J. Blons [3].

Les résonances marquées * sont celles qui ont été retenues pour les
figures 2 et 3.

LEGENDES DES FIGURES

Fig. 1 a Principe de la mesure

Fig. 1 b Séquence en temps de l'acquisition de données.

Fig. 2 Les valeurs de $\bar{\nu}$ et \bar{E}_Y sont portées en fonction de $1/\Gamma_f$ pour 14
résonances 2^+ du ^{241}Pu .
Les droites correspondent au lissage des résultats expérimentaux
par la méthode des moindres carrés.

Fig. 3 Les valeurs de $\bar{\nu}$ et \bar{E}_Y sont portées en fonction de $1/\Gamma_f$ pour 19
résonances 3^+ du ^{241}Pu .
Les droites correspondent au lissage des résultats expérimentaux par
la méthode des moindres carrés.

TABLEAU 1

E_0 eV	J^π	Γ_f meV	$\Delta\Gamma_f$ meV	$v \pm \Delta\bar{v}$ neutrons	$\bar{E}_Y \pm \Delta\bar{E}_Y$ canaux
4,28 *	3 ⁺	29	4	2,902 ± 0,009	94,93 ± 0,18
4,58 *	2 ⁺	124	11	2,881 ± 0,016	94,18 ± 0,29
5,93 *	2 ⁺	1308	100	2,903 ± 0,005	94,48 ± 0,11
6,91 *	3 ⁺	89	9	2,875 ± 0,012	94,73 ± 0,24
8,61 *	3 ⁺	41	5	2,878 ± 0,009	94,71 ± 0,17
9,62 *	2 ⁺	133	20	2,912 ± 0,018	94,18 ± 0,32
9,98 *	2 ⁺	1010	120	2,912 ± 0,012	94,65 ± 0,23
12,77 *	2 ⁺	233	15	2,916 ± 0,013	94,38 ± 0,25
13,42 *	3 ⁺	29	3	2,881 ± 0,008	94,88 ± 0,16
14,75 *	2 ⁺	117	8	2,905 ± 0,005	94,99 ± 0,09
15,96 *	2 ⁺	455	60	2,909 ± 0,013	95,07 ± 0,25
16,67 *	3 ⁺	184	12	2,896 ± 0,013	94,92 ± 0,24
17,83 *	3 ⁺	14	3	2,873 ± 0,012	95,25 ± 0,20
18,20	3 ⁺	27	6	2,861 ± 0,075	95,83 ± 0,92
20,70 *	3 ⁺	53	6	2,874 ± 0,029	94,45 ± 0,50
22,95 *	3 ⁺	281	30	2,919 ± 0,018	94,81 ± 0,31
23,70	2 ⁺	250	50	2,922 ± 0,029	95,00 ± 0,51
24,07 *	3 ⁺	78	8	2,889 ± 0,018	95,43 ± 0,31
26,38 *	2 ⁺	264	15	2,905 ± 0,018	94,86 ± 0,30
28,72 *	2 ⁺	595	80	2,902 ± 0,011	95,21 ± 0,20
29,60 *	2 ⁺	201	30	2,922 ± 0,016	94,87 ± 0,30
30,97 *	3 ⁺	212	10	2,884 ± 0,012	94,45 ± 0,22
33,30	3 ⁺	110		2,929 ± 0,050	96,15 ± 0,84
33,74	3 ⁺	62		2,908 ± 0,036	94,44 ± 0,51
34,97	2 ⁺	1292		2,866 ± 0,033	94,24 ± 0,58
34,98	3 ⁺	16		2,917 ± 0,029	94,66 ± 0,52
36,19	3 ⁺	36		2,941 ± 0,088	91,89 ± 1,20
37,57	2 ⁺	940		2,852 ± 0,103	93,74 ± 1,40
38,10	3 ⁺	84		2,916 ± 0,040	95,36 ± 0,69
38,40	3 ⁺	10		2,973 ± 0,088	91,15 ± 1,30
39,32 *	3 ⁺	166	24	2,896 ± 0,020	94,13 ± 0,36
39,83 *	3 ⁺	61	9	2,898 ± 0,019	95,49 ± 0,34
40,92 *	2 ⁺	1150	150	2,901 ± 0,022	94,69 ± 0,40
42,70	3 ⁺	220		2,901 ± 0,054	95,11 ± 0,85
43,39	3 ⁺	22		2,915 ± 0,075	94,85 ± 1,10

46,51	*	3 ⁺	245	36	2,899 ± 0,023	95,37 ± 0,43
47,10			227		2,920 ± 0,051	94,77 ± 0,80
48,04	*	2 ⁺	433	60	2,829 ± 0,011	94,29 ± 0,25
50,31		3 ⁺	441	66	2,871 ± 0,041	95,77 ± 0,70
52,13		3 ⁺	32		2,780 ± 0,223	96,85 ± 2,50
58,12		2 ⁺	456		2,944 ± 0,030	95,93 ± 0,53
59,22		2 ⁺	494		2,840 ± 0,044	94,73 ± 0,76
60,44	*	3 ⁺	137	20	2,874 ± 0,032	94,69 ± 0,57
60,64		2 ⁺	321	45	2,861 ± 0,036	96,08 ± 0,64
62,12	*	2 ⁺	590	60	2,894 ± 0,018	94,83 ± 0,32
64,38		3 ⁺	31		2,884 ± 0,079	95,05 ± 1,20
65,59	*	3 ⁺	262	20	2,902 ± 0,020	94,67 ± 0,30
66,48		3 ⁺	32	4	2,831 ± 0,023	94,83 ± 0,42
68,30	*	3 ⁺	47	7	2,874 ± 0,046	94,98 ± 0,74
69,27		3 ⁺	11	3	2,857 ± 0,067	97,30 ± 1,10
71,77			83		2,895 ± 0,103	95,94 ± 1,60
72,34		2 ⁺	339		2,885 ± 0,037	95,18 ± 0,60
73,96		3 ⁺	17		3,028 ± 0,124	98,61 ± 1,70
75,90	*	3 ⁺	81	8	2,861 ± 0,019	95,09 ± 0,35
77,16	*	3 ⁺	11	3	2,852 ± 0,039	95,92 ± 0,68
78,21		2 ⁺	1504		2,972 ± 0,062	95,82 ± 0,94
80,25	*	3 ⁺	51	5	2,912 ± 0,020	95,00 ± 0,36
80,90		2 ⁺	2310		2,887 ± 0,019	94,84 ± 0,34
83,27	*	2 ⁺	54	8	2,831 ± 0,030	95,18 ± 0,55
85,46		3 ⁺	90		2,938 ± 0,022	95,06 ± 0,40
87,04		3 ⁺	48		2,924 ± 0,023	95,29 ± 0,43
88,04		2 ⁺	320		2,915 ± 0,036	95,66 ± 0,61
89,17		2 ⁺	891		2,940 ± 0,039	95,03 ± 0,62
90,76		3 ⁺	132	12	2,857 ± 0,041	94,79 ± 0,69

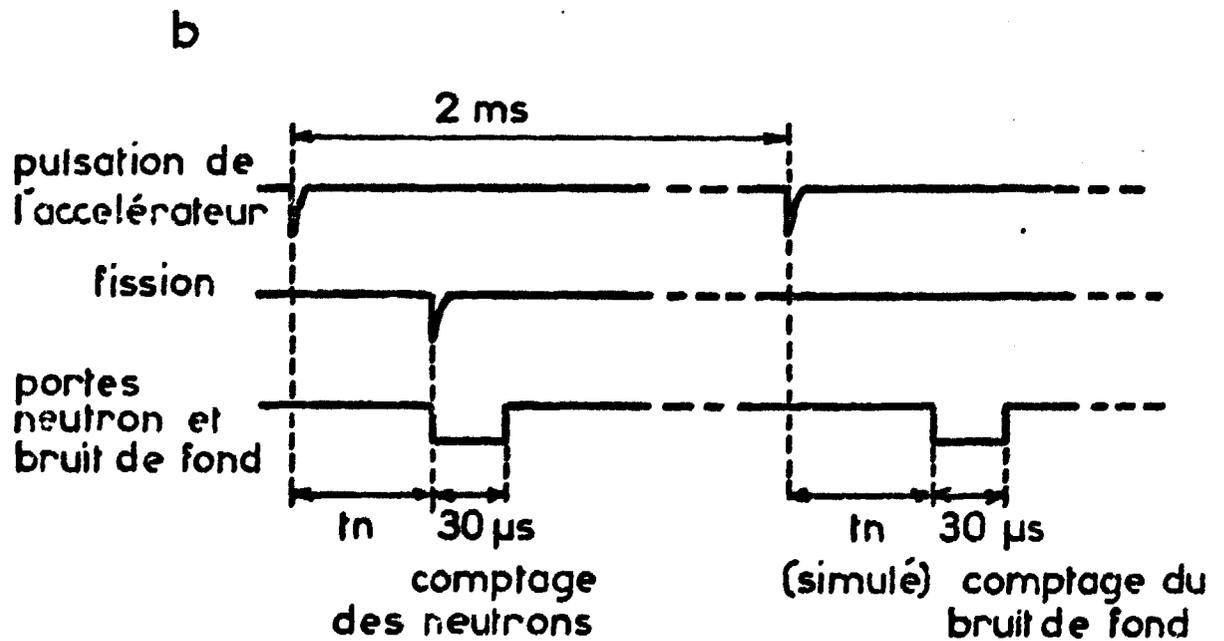
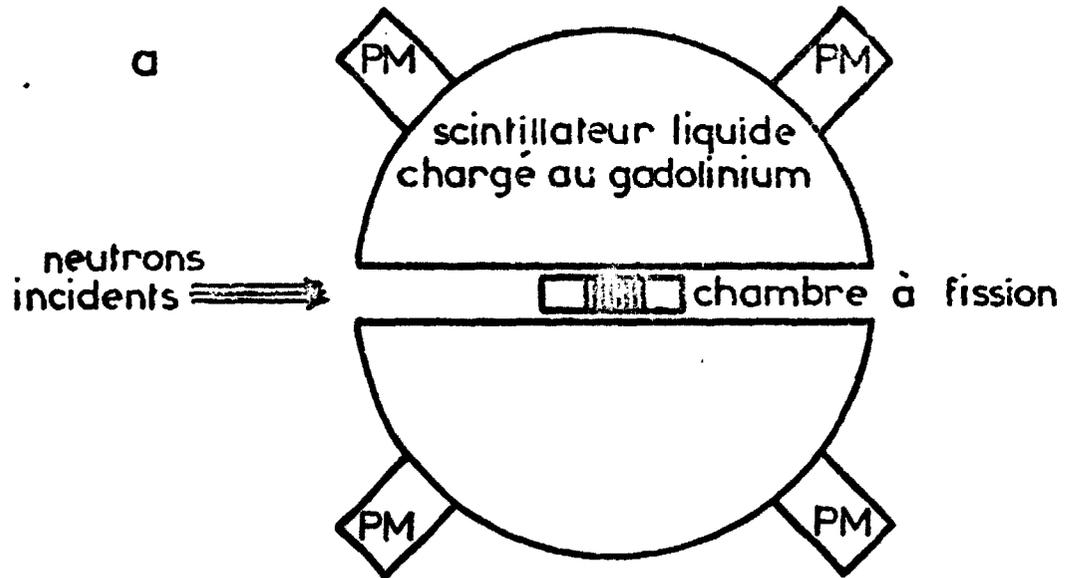


FIG. 1

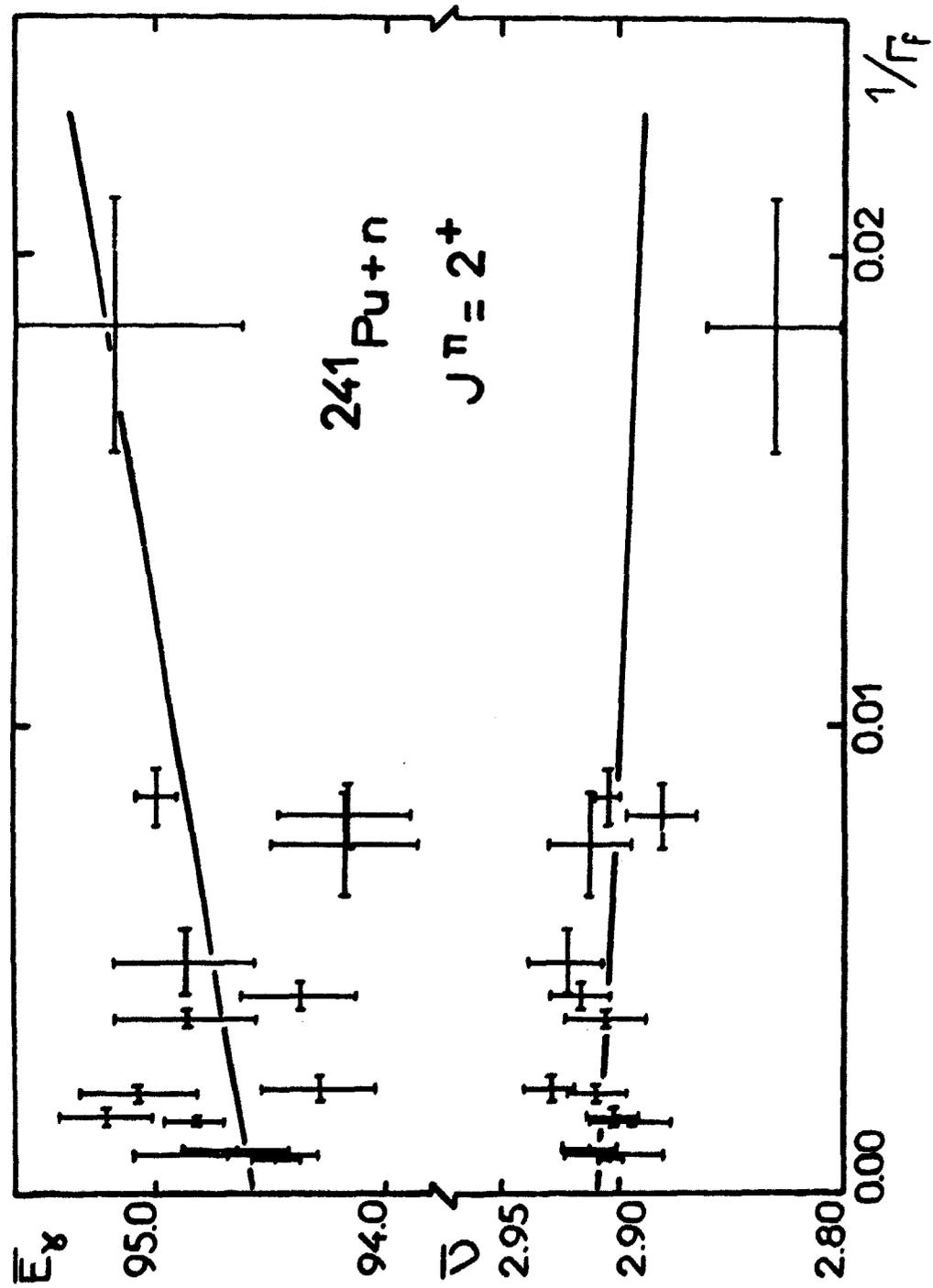


FIGURE 2

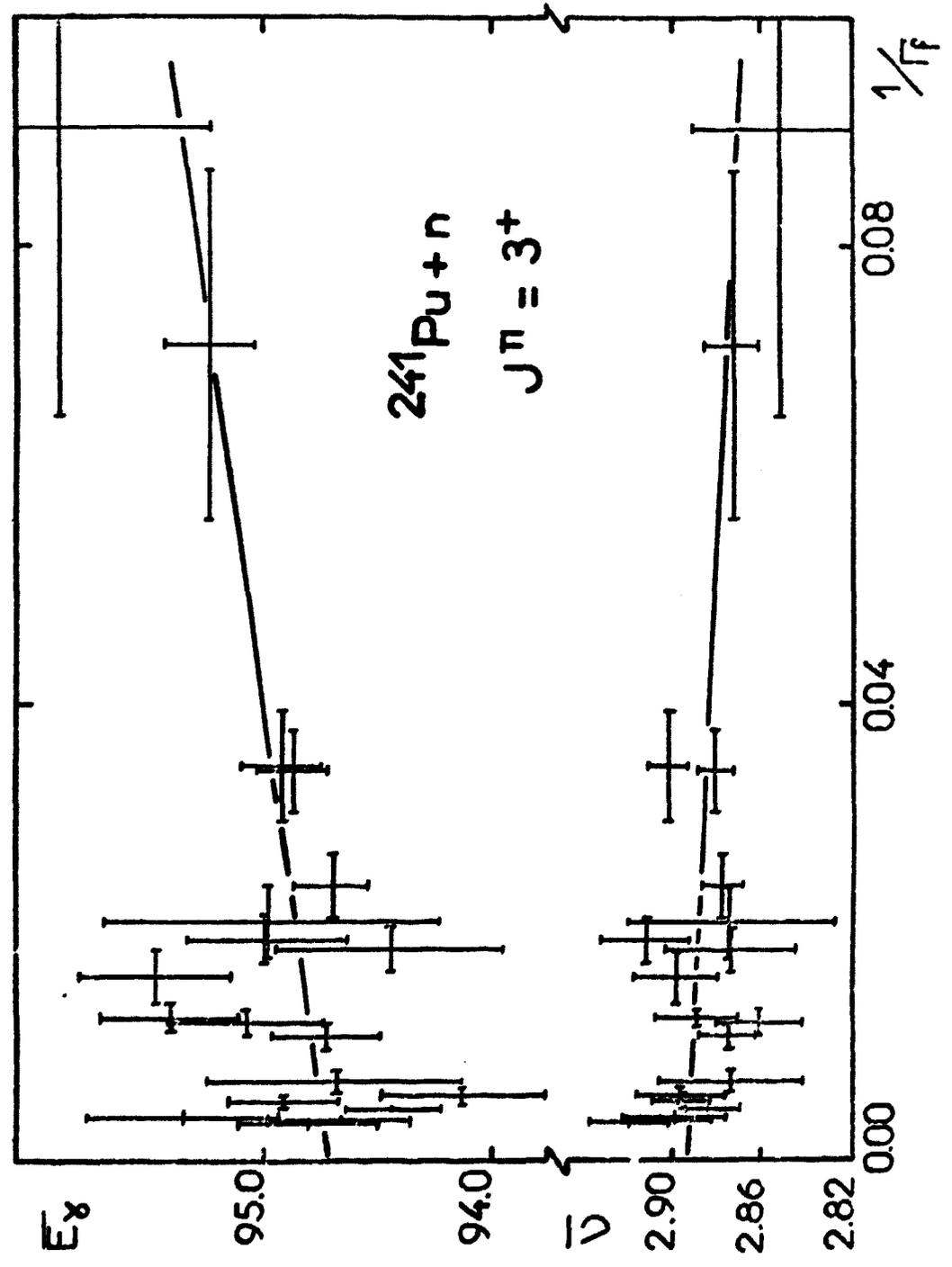


FIGURE 3

