

INDC(EUR)-6/6
EANDC (E) 157 "U"
Volume II

~~THE A~~

**PROGRESS REPORT
ON NUCLEAR DATA RESEARCH IN THE
EUROPEAN COMMUNITY**

for the period January, 1 to December 31, 1972

Submitted by the Joint European Nuclear Data
and Reactor Physics Committee

(Secretariat: Central Bureau for Nuclear Measurements,
Euratom, Geel, Belgium)

May 1973

LEGAL NOTICE:

The information contained in this progress report has a preliminary character.

No data contained in this report may be used without the permission of the responsible authorities.

It is suggested that experimentators should be contacted in this respect.

EANDC (E) 157 "U"
Volume II

PROGRESS REPORT
ON NUCLEAR DATA RESEARCH IN THE
EUROPEAN COMMUNITY

for the period January, 1 to December 31, 1972

Submitted by the Joint European Nuclear Data
and Reactor Physics Committee

(Secretariat: Central Bureau for Nuclear Measurements,
Euratom, Geel, Belgium)

May 1973

The figures in the left margin refer to request numbers listed
in WRENDA 73 (March 1973) - INDC(SEC)-32/U

I N D E X

	<u>page</u>
I. Service de la Métrologie et de la Physique Neutroniques Fondamentales, CEA-CEN Saclay (France)	1
II. Section d'Etudes et de Mesures en Neutrons Rapides, CEA-CEN Cadarache (France)	29
III. Service de Physique Nucléaire, CEA-CEN Bruyères-le-Châtel (France)	38
IV. Service de Physique Expérimentale, CEA-CEN Fontenay-aux-Roses (France)	52
V. Gruppo di Ricerca INFN - Istituto di Scienze Fisiche, Università di Genova (Italy)	56
VI. Gruppo di Ricerca INFN di Fisica del Nucleo dell' Istituto di Fisica della Università di Pavia (Italy)	58
VII. Centro Siciliano di Fisica Nucleare e di Struttura della Materia, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Catania, Istituti di Fisica dell'Università di Catania (Italy)	63
VIII. Laboratorio Dati Nucleari, Centro di Calcolo del CNEN, Bologna (Italy)	72
IX. Istituto di Fisica dell'Università, Padova (Italy)	77
X. Gruppo di Ricerca CISE-INFN, Milano (Italy)	84
XI. Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, SCK-CEN, Mol (Belgium)	86

I. SERVICE DE LA METROLOGIE ET DE LA PHYSIQUE NEUTRONIQUES FONDAMENTALES - CEA - CEN - SACLAY (FRANCE) - (R. JOLY)

1. GROUPE DES NEUTRONS THERMIQUES (H. NIFENECKER)

1. 1. Etudes sur la fission

Le programme d'étude détaillée de l'émission des neutrons et des gammas prompts par les fragments individuels a été poursuivi (voir rapport EANDC-E-150).

1. 1. 1. Quelques résultats récents concernant la technique du gros scintillateur liquide pour les mesures de \bar{V} (J. Poitou, M. Ribrag, C. Signarbieux)

Un scintillateur liquide de 500 litres, chargé au Gd, constitué de deux enceintes hémisphériques indépendantes, est utilisé pour mesurer la multiplicité des neutrons émis par chaque fragment. Une publication récente [1] était consacrée à l'étude approfondie de certaines causes d'erreur systématique de nature instrumentale. Un autre aspect d'erreur éventuelle, inhérente à la méthode, a été étudié à l'aide d'un programme de Monte-Carlo [2]: il s'agissait de tester la validité de l'hypothèse, faite par tous, suivant laquelle la probabilité de détection d'un neutron capturé dans le scintillateur est indépendante de la position du point de capture du neutron dans le scintillateur. Les résultats montrent que cette hypothèse n'est bien vérifiée que dans des conditions assez strictes (géométrie de détection 4π , efficacité de détection très élevée); des résultats quantitatifs seront prochainement publiés.

1. 1. 2. Corrélation entre les énergies d'excitation de deux fragments de masses complémentaires (R. Babinet, H. Nifenecker, J. Poitou, C. Signarbieux)

Les résultats expérimentaux concernant les valeurs moyennes \bar{V}_1 et \bar{V}_2 et les variances $\sigma^2(V_1)$, $\sigma^2(V_2)$, $\sigma^2(V_1 + V_2)$ des distributions du nombre de neutrons émis par les fragments de masses complémentaires de la fission spontanée du ^{252}Cf (voir rapport EANDC-E-150) ont été utilisés pour calculer la covariance de la distribution de corrélation $P(V_1, V_2)$ en fonction du mode de scission (caractérisé par le rapport des masses M et l'énergie cinétique totale E_K des fragments). Ces données nouvelles montrent que la probabilité d'un mode de scission est fortement corrélée à la fluctuation du partage de l'énergie d'excitation entre les deux fragments (fig. 1); elles montrent en outre que les énergies d'excitation de deux fragments de masses complémentaires ne sont pas du tout corrélées quelque soit le rapport des masses choisi [3].

1. 1. 3. Etude des spectres d'énergie des neutrons prompts émis par les fragments individuels (J. Girard, J. Poitou, M. Ribrag)

Une expérience est actuellement en cours pour reprendre l'expérience effectuée par Bowman et al en 1961 [4] sur la fission spontanée du ^{252}Cf . Nous avons en effet constaté une incompatibilité entre les valeurs de $\bar{\mathcal{V}}_1(M_1, E_K)$ obtenues par nous mêmes avec la technique du scintillateur liquide et les valeurs publiées par Bowman utilisant la technique du temps de vol. Les améliorations expérimentales attendues par rapport à l'ensemble expérimental de Bowman sont :

- une résolution en énergie des fragments de fission dix fois meilleure .
- une résolution en temps de vol des neutrons deux fois meilleure .
- une meilleure efficacité de détection des neutrons de faible énergie .
- une meilleure précision de la corrélation angulaire neutron-fragment .

1. 1. 4. Etude de l'émission des neutrons et des gammas prompts en fonction de la charge des fragments de la fission binaire et de la fission ternaire (LRA fission) du ^{252}Cf (R. Babinet, H. Nifenecker, J. Poitou)

Un article est actuellement soumis à publication; le résumé est le suivant :
" The neutron and gamma emission by the fission fragments of ^{252}Cf have been measured in coincidence with the K-X rays emitted by the fragments. The total γ -ray energy showed a strong even-odd dependence on the charge of the fragments while the average total number of emitted neutrons did not. However the measured even-odd effect on the γ -energy is less than expected. Attention has been given to the possible effects of a selectivity in the X-ray emission process. It is demonstrated that the average number of neutron measurement is a good probe for such selectivity effects, which implies that the total excitation energy of the fragments with given charge depends strongly on their masses. On the contrary, the total gamma ray energy appears to be approximately equal for all pairs of isotopes.

It is shown that a valid comparison between the charge yields in LRA and binary fission can be made. The results of this comparison, together with the mass yields data, favour the assumption that the probability that a given fission fragments pair leads to α emission is independent of the masses and charges of the fragments."

1. 1. 5. Corrélation entre l'énergie cinétique totale des fragments et l'énergie cinétique de la particule α dans la LRA fission du ^{252}Cf (G. K. Mehta, J. Poitou

M. Ribrag, C. Signarbieux)

Il a été montré par Fraenkel [5] que cette corrélation était d'un intérêt très fondamental pour connaître la dynamique du système fissionnant au point de scission. Nous avons obtenu des données nouvelles sur la valeur de cette corrélation en fonction du rapport des masses des fragments. La figure 2 montre la dépendance très forte de cette corrélation avec le rapport des masses. L'ensemble des résultats a fait l'objet d'une publication récente [6].

- 1.1.6. Measure relative de l'énergie totale des gammas prompts dans la fission spontanée du ^{240}Pu et la fission thermique du ^{239}Pu . (J. Girard, M. Ribrag)

Les mesures ont été effectuées à l'aide du gros scintillateur liquide. La valeur de $\bar{E}_{\gamma T}$ a été déduite de la valeur moyenne de l'amplitude de l'impulsion prompte du scintillateur en phase avec l'évènement fission suivant une méthode développée antérieurement [7]. Le résultat est le suivant :

$$\frac{\bar{E}_{\gamma T} (^{240}\text{Pu})}{\bar{E}_{\gamma T} (^{239}\text{Pu})} = 0,82 \pm 0,02$$

- 1.1.7. Studies on the prompt gamma radiation from fragments of the thermal fission of ^{235}U . (H. Albinsson, J. Girard, M. Ribrag)

The experiment described in the EANDC-E-150 report, has been in operation during the major part of 1972.

In two series of measurements the gamma radiation of half-lives slightly more than 20 picoseconds was studied. Two collimator positions were chosen, and the results of a preliminary analysis is presented in figure 3 showing the relative yields of gamma rays as functions of mass of two gamma-ray energy groups at 200 and 380 keV; the existence of these two groups was first found in the spectrum integrated over all masses. When the collimator was displaced further from the source the 200 keV photon yield decreased at a rate almost similar for all masses especially in the heavy mass group. The 380 keV photons, however, are emitted in a time interval which is shorter for the heaviest fragments than for the other ones. No noticeable structure was seen in the gamma-ray energy spectrum for energies between 500 and 1500 keV. Evidently there are few gamma rays of higher energies in coincidence with photons of 200 and 380 keV in this

time interval. For multipole reasons, gammas of even higher energies can be assumed to have very small intensities in the same time interval. The 200 and 380 keV photons are therefore probably members of the last prompt gamma decay .

In order to obtain information on the time distribution of delayed photons of energies of about 1 MeV and more, a series of measurements were made with the collimator placed so radiation emitted within about 0.25 and 0.60 nanoseconds after fission respectively was not detected. The gamma-ray energy region was from 0.1 to 3.6 MeV. The soft fragments have an abundance of gamma-rays of energies around 1.2 MeV. A preliminary analysis shows that these photons are found in about the same mass regions as the above mentioned 200 and 380 keV photons. Intensity considerations indicate, however, that if any of the low-energy photons are in coincidence with gammas of 1.2 MeV their intensities should be a minor portion of those found in the first experiment.

A more detailed report of this work is in preparation and will be available later this year.

1.2. Rayonnement de fluorescence des niveaux nucléaires (R. Babinet, J. Fagot, R. Lucas)

Le faisceau gamma monochromatique disponible auprès de la pile Triton[8] a permis une étude systématique entre 5.3 et 7.5 MeV de la diffusion résonnante des gammas par les noyaux de plomb, bismuth, nickel, mercure et cérium . On a ainsi déterminé dans le spectre du ^{208}Pb des niveaux à 7, 32, 7,09, 7,11, 6,73, 5,51, 5,29 et 4,84 MeV. Par ailleurs pour tous les noyaux étudiés on voit apparaître dans le spectre diffusé une structure dont la largeur est de l'ordre de celle du faisceau quasi-monochromatique. La figure 4 montre cette structure pour une énergie déterminée du faisceau incident. Il semble que pour chaque énergie du faisceau incident la "bosse" soit formée par la somme des contributions de nombreux niveaux individuels non résolus. La surface de cette structure a été reportée sur la figure 5 en fonction de l'énergie du faisceau incident. Elle semble présenter un maximum pour tous les noyaux étudiés vers 7,4 MeV et doit permettre de déterminer la section efficace moyenne de résonance pour les noyaux considérés.

2. FONCTIONNEMENT DE L'ACCELERATEUR LINEAIRE D'ELECTRONS
DE 60 MeV (S. ROLAND)

Cet accélérateur a fonctionné pendant 4360 heures au cours de l'année 1972, avec une fiabilité remarquable puisque seulement 1,5 jours ont dû être consacrés à des dépannages. Les caractéristiques de l'Accélérateur ne différaient pas de celles qui ont été brièvement décrites dans le précédent " Progress Report " et la répartition des temps d'utilisation s'est établie comme suit :

- études neutroniques	2000 heures
- études photonucléaires	1800 heures
- analyse par activation	330 heures
- études diverses	230 heures

Les études neutroniques et photonucléaires sont rapportées plus loin. La rubrique " études diverses " comprend un certain nombre d'heures utilisées pour la mise au point d'un système de contrôle et de pilotage automatiques de l'accélérateur.

Ce système, construit autour d'un calculateur PDP8 E, permet la surveillance cyclique d'un certain nombre de paramètres caractéristiques de la machine et du faisceau, la comparaison des paramètres mesurés avec des valeurs hautes et basses mises préalablement en mémoire, la correction des dérives ou l'appel à un opérateur si la correction s'avère impossible.

3. GROUPE DES ETUDES NEUTRONIQUES A L'ACCELERATEUR LINEAIRE
DE 60 MeV (D. PAYA)

Les activités du Groupe se sont poursuivies en utilisant simultanément six bases de vol et un calculateur CAE 510 en ligne réalisant la programmation des expériences, l'enregistrement des données et certaines pré-analyses.

3. 1. Sections efficaces de fission .

3. 1. 1. Analyse multiniveaux des sections efficaces totale et de fission du ^{241}Pu
(J. Blons, H. Derrien)

[212, 214] La section efficace totale et la section efficace de fission de ^{241}Pu [9] ont été analysées simultanément par un programme d'analyse de forme [10] par la méthode de moindres carrés utilisant le formalisme multiniveaux de Reich et Moore, dans la gamme d'énergie allant de 1 à 104 eV. Les figures 6 et 7 représentent la superposition des courbes théoriques

calculées et des points expérimentaux. Les résonances ont été séparées en deux groupes A et B caractérisés par des largeurs moyennes de fission nettement différentes. La largeur moyenne de fission $\langle \bar{\Gamma}_f \rangle$ est de 87 meV pour le groupe A, composé de 49 niveaux, et de 595 meV pour le groupe B composé de 33 niveaux. Les paramètres de résonances résultant de cette analyse multiniveaux sont présentés dans le tableau I. De plus, pour 10 résonances de faible amplitude et mal résolues les paramètres d'une analyse à un niveau sont présentés dans le tableau II.

Quoique pour la plupart des résonances l'attribution de spin n'ait pas été faite, il est probable que le groupe B, caractérisé par une grande largeur moyenne de fission, contienne en grande majorité des résonances de spin et parité 2^+ ; en effet, il existe pour ces résonances un état de transition 2^+ vers la fission dans la bande de rotation du fondamental et un autre dans la bande de vibrations quadrupolaires. Le premier, situé nettement au-dessous de l'énergie de liaison d'un neutron, correspond à une voie de sortie ouverte, avec une grande probabilité de fission ($2\pi \bar{\Gamma}_f / D \approx 1$). Le groupe A ne contient que des résonances étroites qui doivent avoir en majorité les spin et parité 3^+ . Le premier état 3^+ se trouve dans la bande de vibrations quadrupolaires et la barrière de fission correspondante se situe au voisinage de l'énergie de liaison d'un neutron avec une voie de fission partiellement ouverte : $2\pi \bar{\Gamma}_f / D < 1$. La valeur de la fonction densité S_0 n'est pas significativement différente pour les deux groupes. Les paramètres moyens sont donnés dans le tableau III.

3. 1. 2. Analyse à un niveau de la section efficace de fission de ^{233}U . (S. Nizamuddin, J. Blons)

(845) La section efficace de fission de ^{233}U , mesurée à la température de l'azote
846, liquide a été analysée dans la gamme d'énergie allant de 6 à 124 eV par un
847, formalisme à un niveau [11]. Afin d'obtenir un bon accord entre la courbe
848) théorique calculée et les points expérimentaux, il a été nécessaire d'ajouter
24% de résonances supplémentaires. Ceci n'est pas considérable étant donné
qu'un calcul de Monte-Carlo a montré que 36% des niveaux ne sont pas détectés
entre 0 et 80 eV et 48% entre 80 et 120 eV.

Les paramètres des résonances sûres ont été obtenus pour 136 niveaux. La distribution intégrale de leurs largeurs de fission suit une distribution en χ^2 à trois degrés de liberté avec une valeur moyenne $\langle \bar{\Gamma}_f \rangle$ de 372 meV.

3.1.3. Structure intermédiaire dans la section efficace de fission de ^{237}Np .

(S. Plattard, D. Paya)

Nous avons repris la mesure de la section efficace de fission σ_f de ^{237}Np en utilisant un scintillateur gazeux, refroidi à la température de l'azote liquide comme détecteur de fragments de fission ce qui réduit sensiblement l'effet Doppler particulièrement important au-dessous de 100 eV. Le choix d'une distance de vol de 22 m et la mise en oeuvre de coïncidences entre les fissions nous ont permis de séparer les états intermédiaires (états de classe II) jusqu'à une énergie de 6 keV tout en ayant un très faible bruit de fond.

Avec une résolution plus grande que l'espacement des résonances individuelles ($\bar{D}_I = 0.5$ eV) et plus petite que l'espacement des états de classe II ($\bar{D}_{II} = 60$ eV), ces derniers apparaissent dans σ_f sous la forme de pics uniques. Entre des grands pics on en observe d'autres de taille beaucoup plus petite [12], bien qu'un certain nombre de ces derniers soit caché par les grands pics et donc perdu. La distribution des aires de tous ces pics ne peut être ajustée que par une somme de deux distributions en λ^2 (fig. 8) dont les valeurs moyennes sont dans un rapport 12. Ceci nous amène à penser que les états de classe II appartiennent à 2 familles distinctes chacune d'entre elles ayant les mêmes spin et parité. Le rapport des populations obtenu par l'ajustement est en bon accord avec la loi en $2J + 1$ à condition d'attribuer le spin 2 aux grands pics et le spin 3 aux petits [13]. Cette hypothèse est confirmée par l'examen de la distribution des espacements des grands pics qui suivent une loi de Wigner à une population, suggérant ainsi le même $J\Gamma$ pour tous ces états intermédiaires, (fig. 9) [14]. Malgré une très bonne statistique autour du groupe à 40 eV ($\Gamma_N < 1\%$ au pic de la résonance à 39,9 eV). un très faible bruit de fond et une correction de rétrodiffusion pratiquement négligeable, il nous est très difficile de déterminer la nature exacte du couplage entre les états de classe I et de classe II. Tout au plus pouvons nous donner, dans l'hypothèse d'un couplage faible - actuellement considérée comme la plus probable - une borne supérieure de Γ_n^o , largeur neutronique de la résonance large servant de piédestal aux états de classe I. On trouve $\Gamma_n^o = (1,5 \pm 49) 10^{-5}$ eV.

3.2. Etude sur le phénomène de fission.

3.2.1. Multiplicité des rayons γ émis lors de la fission du ^{239}Pu induite par

neutrons de résonances. (J. Trochor, Y. Ryabov, B. Lucas)

Les mesures de Weston et coll. [15] ont montré qu'il n'y avait aucune corrélation entre le spin des résonances de ^{239}Pu et le nombre moyen de neutrons prompts émis par fission dans ces résonances, contrairement aux prédictions basées sur la théorie des voies de sortie de A. Bohr. Nous inspirant d'une mesure réalisée par Panteleev sur ^{235}U , nous avons cherché si, dans le cas du ^{239}Pu [16], la grandeur corrélée avec le spin n'était pas le nombre de rayons γ de fission.

Les rayons γ étaient détectés par deux cristaux de NaI, en coïncidence avec deux scintillateurs liquides à protons de recul qui détectaient les fissions, éliminant ainsi les rayons γ de capture radiative. Les détecteurs étaient disposés de façon à obtenir une faible efficacité de détection pour les rayons γ et une forte efficacité pour les fissions. On peut montrer que, dans ces conditions, le rapport R_k du taux de comptage du détecteur γ au taux de comptage du détecteur fission, pour une résonance k , peut écrire

$$R_k = \int_{E_1}^{E_2} \mathcal{E}_\gamma(E) \bar{\mathcal{V}}_\gamma(E) dE$$

où E_1 et E_2 sont les énergies extrêmes des rayons γ détectés; $\mathcal{E}_\gamma(E)$ est l'efficacité du détecteur pour des rayons γ d'énergie E ; $\bar{\mathcal{V}}_\gamma(E)$ est le nombre de rayons γ de fission d'énergie E .

R_k reflète donc les variations de $\bar{\mathcal{V}}_\gamma$ pondérées par l'efficacité du détecteur. Les résultats obtenus sont tracés sur la figure 10. On peut observer de grandes variations pouvant atteindre 14%, mais non corrélées de façon évidente avec le spin des résonances. Ces résultats sont en complet accord avec ceux de D. Shackleton sur l'énergie totale emportée par les rayons γ de fission [16]. Ils sont très fortement corrélés avec les largeurs de fission Γ_f .

Une interprétation de ces résultats peut être donnée par le processus (n, γ_f) dans lequel un rayon γ est émis avant la fission [17].

Néanmoins, une légère corrélation avec le spin des résonances peut-être observée en moyennant les résultats obtenus sur plusieurs résonances de même spin ayant une grande largeur de fission Γ_f c'est-à-dire pour lesquelles l'influence du processus n, γ_f est négligeable. Ce résultat, également

en accord avec les mesures de D. Shackleton sur \bar{E}_γ est anticorrélé avec les valeurs de $\bar{\nu}$ correspondants. Il n'a pas encore reçu d'explication satisfaisante. Il se pourrait que l'on soit en présence d'un effet de la compétition neutron-rayon γ dans la déexcitation des fragments.

3.2.2. Prompt neutron and gamma-ray yields in fission induced by resonance neutrons in ^{239}Pu . (D. Shackleton, J. Fréhaut*, M. Le Bars*)

(1129, neutrons in ^{239}Pu . (D. Shackleton, J. Fréhaut*, M. Le Bars*)
1130, A precise measurement of $\bar{\nu}$, fluctuations in the resonances of ^{239}Pu has
1131, been carried out, for fission induced by S-wave neutrons. In the same
1132) experiment we also recorded the mean total γ -ray energy \bar{E}_γ detected in
 coincidence with the fission events [18]. The experiment was undertaken
 chiefly to search for a possible correlation, predicted in terms of A. Bohr's
 channel theory of fission, between $\bar{\nu}$ and the spin, $J \pi = 0^+$ or 1^+ , of the
 ^{239}Pu neutron resonance involved.

A pulsed neutron beam, generated by the Saclay 60 MeV linac, irradiated a multiplate ionisation chamber containing ^{239}Pu oxide. Fission neutrons were counted in a 520 litre Gd-loaded scintillation detector which surrounded the fission chamber [19]. The prompt scintillator pulses were used to measure \bar{E}_γ .

Preliminary results for $\bar{\nu}$ below 110 eV incident neutron energy [17] agree qualitatively with those of Weston [15]. The data have now been analysed up to 400 eV and the results are plotted in fig. 11 and 12. A strong anticorrelation between the fluctuations of $\bar{\nu}$ and \bar{E}_γ is seen for the 1^+ resonances (fig. 12). Those 1^+ resonances having unusually high E_γ and low $\bar{\nu}$ are seen to have small fission widths Γ_f . For the three 0^+ resonances having $\Gamma_f < 200$ meV (fig. 13), the values of \bar{E}_γ are seen to be unusually high; a corresponding lowering of $\bar{\nu}$, if it exists, is masked by the experimental error. These results, in good agreement with a measurement by Ryabov et al. of fission γ -ray multiplicities [20], have been interpreted by Trochon in terms of the (n, γ_f) reaction.

After correcting for the (n, γ_f) process, a small correlation remains between the spin and the average values of $\bar{\nu}$ and E_γ . No significant spin dependence is found, however, for the mean fragment excitation energy, calculated as the sum of the energies represented by $\bar{\nu}$ and E_γ .

* Centre d'Etudes de Bruyère le Châtel

3.3. Etude des spectres de rayon γ de capture résonnante.

3.3.1. Spectres de rayons γ dans les résonances de l'or. (A. Lottin, A. P. Jain)

(778,
779) Les rayons γ émis après la capture d'un neutron ont été étudiés dans les résonances individuelles de l'or jusqu'à 400 eV. La multipolarité a été déduite de l'intensité moyenne des transitions grâce à la séparation des intensités moyennes en deux familles. On a pu dresser un tableau des premiers états excités dans lequel, par application des règles de sélection, la parité et quelquefois le spin ont pu être déduits du spin de l'état initial et de la multipolarité [21]. Inversement les spins et parité des états finals permettent de remonter, grâce à la multipolarité des transitions qui les alimentent, aux spins des résonances encore inconnus. Ces spins sont indiqués dans le tableau IV et comparés avec des résultats antérieurs obtenus par Julien et coll. [22].

3.3.2. Recherche d'effets non statistiques dans les spectres γ de l'or. (A. P. Jain,
A. Lottin)

(778,
779) Plusieurs auteurs ont rapporté l'existence d'une bosse aux environs de 6 MeV dans les spectres de rayons γ obtenus après la capture d'un neutron thermique par ^{197}Au . Il a été suggéré [23] que cette bosse, appelée aussi "résonance pygmée" pouvait être due à des configurations $2p - 1t$. Nous avons enregistré les spectres de rayons γ pour des énergies de neutron allant jusqu'à 830 eV, puis nous les avons moyennés sur des énergies γ de 220 keV de façon à ne laisser apparaître que les grosses structures. La figure 13 montre les résultats obtenus (convenablement normalisés) en thermique, dans la résonance à 4,9 eV et dans les résonances comprises entre 80 et 830 eV. On voit que la "résonance pygmée" n'apparaît que dans la résonance à 4,9 eV et dans la région thermique où cette résonance a une contribution importante. Elle est totalement absente dans les résonances de plus haute énergie. Il faut en conclure qu'elle est due tout simplement à des fluctuations de Porter et Thomas.

L'absence d'effets non-statistiques est corroboré par d'autres observations effectuées sur les spectres γ :

a/ Les largeurs radiatives partielles $\langle \Gamma_{\gamma_i} \rangle$ moyennées sur l'ensemble des résonances varient d'une manière compatible avec une loi en E_{γ}^{-3} .

b/ Les intensités des transitions vers 20 états finals dans 18 résonances ont une distribution en χ^2 avec $\chi^2 = 1,22 \pm 0,06$ alors que le modèle statistique

prévoit $\mathcal{V} = 1$.

c/ La fonction densité $k(E_1) = \langle \gamma_i \rangle / (D E^3 A^{2/3})$ vaut $(3,4 \pm 0,5) 10^{-9} \text{ MeV}^{-3}$ en bon accord avec la valeur $3 \cdot 10^{-9} \text{ MeV}^{-3}$ tirée d'une compilation [24] des intensités de rayons γ de capture dans un grand nombre de noyaux.

d/ Le rapport des intensités moyennes E_1 et M_1 est environ 5 ce qui est aussi en accord avec le modèle statistique.

Enfin, comme on l'a montré ailleurs, on n'a pas trouvé de corrélation entre les largeurs neutroniques réduites et les largeurs radiatives partielles.

3.3.3. Corrélation entre largeurs partielles. (A. P. Jain, A. Lottin, B. Cauvin)

(694,
778,
779) Des corrélations ont été cherchées entre les largeurs neutroniques réduites et les largeurs radiatives partielles des résonances de ^{197}Au , ^{121}Sb , ^{127}I et ^{159}Tb . Pour le dernier noyau on a utilisé une méthode intégrale qui permet de remplacer la moyenne effectuée sur les raies individuelles par le rapport des taux de comptage du détecteur γ entre un seuil haut et un seuil bas. Cette méthode permet d'accélérer beaucoup le dépouillement et, si on utilise comme détecteur un cristal de INa, d'avoir encore un taux de comptage convenable à une distance de vol de 50m. Les coefficients de corrélation pour les résonances 2^+ des trois premiers noyaux sont respectivement 0,013; 0,71 et 0,39; pour les résonances 1^+ connues de ^{159}Tb le coefficient de corrélation est 0,96, alors qu'il est nul pour les résonances 2^+ connues de ce même isotope. Ce résultat est illustré sur la figure. La forte corrélation observée dans le terbium et la faible corrélation observée dans l'or et l'iode sont en accord avec la suggestion de Lane suivant laquelle ces corrélations sont associées à la position des pics dans la fonction densité "S". Par contre l'iode et l'antimoine présentent des différences surprenantes étant donné que ces noyaux sont très voisins. Les rapports mesurés dans le cas de ^{159}Tb font apparaître une structure intermédiaire à 180 eV avec une largeur de 40 eV. L'application du test de Wold et Wolfowitz montre que la probabilité pour que cette structure soit purement fortuite est de 0,7% alors qu'elle est de 55% et 98% respectivement pour des structures similaires reportées précédemment dans ^{115}In [25] et ^{18}Re [26].

3.4. Mesures de sections efficaces totales

3.4. 1. Paramètres des résonances du Terbium (B. Cauvin, H. Derrien, H. Tellier)

La section efficace totale du Terbium pour les neutrons d'énergie comprise (694) entre 20 eV et 900 eV a été obtenue à partir d'une mesure de transmission d'un échantillon de 0,010 atome/barn sur une base de vol de 100 m. Les courbes expérimentales ont été analysées par un programme d'analyse de forme par la méthode des moindres carrés utilisant le formalisme de Breit-Wigner à un niveau. L'énergie E , la largeur totale Γ et le produit $g \Gamma_n$ ont été déterminés pour 169 résonances jusqu'à l'énergie de 754 eV. Les résultats préliminaires donnent un espacement moyen des résonances égal à 4 eV et une fonction densité S_0 (neutrons "s") égale à $1,72 \times 10^{-4}$ en accord avec les prévisions du modèle optique.

Parallèlement la détermination des spins des résonances entre 20 eV et 400 eV a été entreprise par la méthode de multiplicité des rayons γ . Les résultats expérimentaux sont en cours de dépouillement.

La connaissance des paramètres Γ_n et J permettra de vérifier pour un plus grand nombre de résonances la corrélation déjà observée entre les largeurs partielles des transitions primaires et la largeur neutronique Γ_n pour les résonances de l'état de spin 1^+ .

4. GROUPE DES REACTIONS PHOTONUCLEAIRES A L'ACCELERATEUR LINEAIRE DE 60 MeV (R. BERGERE)

Ce groupe comprend : Mme de Miniac, MM. H. Beil, R. Bergère, P. Carlos, A. Leprêtre et A. Veyssiére.

4. 1. Dispositifs expérimentaux.

Le système d'acquisition des données est construit autour d'un calculateur PDP8I. Ce système permet de rendre entièrement automatique le dépouillement successif des comptages enregistrés dans les différentes échelles et les réglages de l'optique magnétique définissant l'énergie du faisceau de photons incidents. Un nouveau système de visualiseur a été couplé au calculateur et permet de déterminer la forme du faisceau d'électrons ou de positions incidents.

4. 2. Etudes et résultats expérimentaux.

Une étude systématique de la résonance géante des noyaux situés dans la région quasi vibrationnelle ($100 < A < 130$) a été entreprise. En particulier la figure 14 montre les résultats obtenus pour les isotopes de l'étain pour

lesquels la largeur de la résonance géante reste pratiquement constante en accord avec les prédictions du modèle collectif dynamique. Pour les noyaux vibrationnels voisins cette largeur croît conformément aux prédictions de ce modèle. La figure 15 montre en fonction du nombre de masse A comment les effets de couches modulent cette largeur.

L'étude des sections efficaces photoneutroniques des noyaux ^{19}F , ^{23}Na , ^{27}Al , ^{28}Si , ^{31}P , ^{32}S , ^{40}A , ^{39}K et ^{40}Ca qui se situent dans la couche 2 s - 1 d est achevée et a mis en évidence que, contrairement au cas des noyaux lourds, la voie (γ , pn) est beaucoup plus importante que la voie (γ , 2n).

5. GROUPE EVALUATION (P. RIBON)

5. 1. Contribution à la bibliothèque UKNDL. Cette contribution a couvert essentiellement :

- la traduction des évaluations KEDAK concernant ^{235}U et Mo
- (641-653) - la traduction et la révision des évaluations ENDF concernant ^{151}Eu et ^{153}Eu ; ce travail a été effectué en liaison avec AERE, Winfrith [27]
- (1266-1282) l'évaluation des données relatives à ^{241}Am [28]
- (1352-1356) - une évaluation préliminaire portant sur 22 produits de fission .

5. 2. Etudes diverses. Nous signalerons les études suivantes :

- section efficace de la réaction $^{237}\text{Np}(\gamma, n)$, [29] [30]
- sections efficaces des isotopes légers du Xe [31]. Un désaccord subsiste pour le ^{124}Xe : les paramètres de résonance déterminés expérimentalement [32] [33] ne sont pas compatibles avec l'intégrale de résonance [34] de cet isotope ($I \sim 3600$ b) : ce désaccord atteint un facteur 3 en admettant des hypothèses vraisemblables pour les espacements et les largeurs partielles.

5. 3. Etudes sur le modèle optique (programmes à voies couplées). L'étude de Y. Kikuchi sur la comparaison et les conditions d'utilisation (influence des approximations physiques) a été terminée et diffusée [35].

Des calculs récents ont toutefois montré qu'une erreur s'était introduite dans l'étude de l'influence de la déformation octupolaire : les résultats présentés dans les tableaux 9 A et 9 B du rapport en référence [34] ne doivent donc pas être pris en considération

5. 4. Spectre des neutrons diffusés inélastiquement - Densité des niveaux.

L'information tirée des mesures de spectres de neutrons à l'aide de détecteurs à protons de recul dans un assemblage de ^{235}U et de ^{238}U nous a

conduit à remettre en cause les valeurs de sections efficaces et les spectres de renvoi précédemment utilisés pour ^{238}U à Cadarache [36]. Il semble qu'il y ait peu d'ambiguité sur la section efficace inélastique totale au-delà de 1 MeV, et nous avons surtout étudié le spectre en énergie des neutrons secondaires.

On décrit généralement ce spectre par une loi de température :

$$p(E, E') dE' \approx E' e^{-\frac{E'}{T(E)}} dE'$$

qui est déduite du modèle statistique moyennant quatre hypothèses principales [36] : certaines d'entre elles sont notoirement fausses, surtout aux basses énergies des neutrons incidents.

Cette non applicabilité de la loi de température peut être montrée par l'absence de continuité entre les spectres des neutrons secondaires lorsque les niveaux sont résolus (i. e. $E < 1.5$ MeV, pour le ^{238}U) ou ne le sont pas (i. e. $E > 1.5$ MeV spectre $p(E')$ décrit par une loi de température [37].

Dans le cas de ^{238}U une grande partie de ce désaccord peut être due à la densité des niveaux : il apparaît une discontinuité vers 1.5 MeV, entre la densité des niveaux résolus et celle que l'on peut calculer d'après un modèle thermodynamique, les constantes utilisées étant déterminées d'après une systématique sur les noyaux voisins (fig. 16).

Nous cherchons à comprendre l'origine de ce désaccord, non observé pour d'autres noyaux

Nous nous proposons de calculer le spectre secondaire pour des énergies de neutrons incidents de 1,5 à 2,5 MeV en adoptant deux densités des niveaux différentes dans la gamme d'énergie 1 à 2 MeV. Ceci permettra d'une part de déterminer l'importance de la densité des niveaux sur les spectres des neutrons diffusés, d'autre part de comparer ces spectres à ceux donnés par des lois de température. Les calculs sont effectués avec le programme de modèle optique à voie couplée ECIS 71 [39] [35] et avec le programme de modèle statistique FISINGA [40] modifié pour accepter plusieurs milliers de niveaux.

5.5. Sections efficaces de produits de fission.

A la demande des physiciens des réacteurs nous avons été amenés à constituer un jeu complet de données dans le format UKNDI pour 22 produits

(471, de fission : $^{95, 97, 99}\text{Mo}$, ^{99}Tc , $^{101, 102, 103, 104}\text{Ru}$, $^{103, 105}\text{Rh}$, $^{105, 107}\text{Pd}$,
472, ^{109}Ag , $^{127, 129}\text{I}$, ^{133}Cs , ^{139}La , ^{141}Pr , ^{147}Pm , $^{149, 151}\text{Sm}$, ^{159}Tb .
475-479,

481-485, Ce jeu comprend, de l'énergie thermique à 15 MeV, les sections efficaces
488-518, totale, élastique, inélastique par niveau, ainsi que les sections efficaces
523-526, 555-558, de capture et de réaction ($n, 2n$) ; il inclut aussi les distributions angulaires.
567,
568, Les évaluations contenues dans les bibliothèques UKNDL (données de COOK
569, et de BENZI) et ENDF/B ne peuvent être utilisées par ces programmes
570,
586-599, pour plusieurs raisons. La bande de BENZI [41] contient les données
611-615, relatives à 11 isotopes sur les 22 demandés. De plus, la section efficace
620-624, 694) totale et la diffusion élastique sont absentes. La bande de COOK [42] ne
donne ni les distributions, ni les sections inélastiques par niveau. D'autre
part le format est incompatible avec nos programmes de calcul. En outre
l'examen de ces différentes évaluations a révélé des désaccords souvent
importants en particulier pour les noyaux pour lesquels il n'existe pas de
données expérimentales. La section efficace de capture évaluée par BENZI
est en général supérieure à celle de COOK entre 1 et 100 keV. La différence
peut atteindre un facteur 5 (^{105}Pd). Il en est de même pour la diffusion
inélastique.

Dans une première étape nous avons évalué la capture pour 7 isotopes :
 ^{99}Tc , ^{103}Rh , ^{109}Ag , ^{127}I , ^{133}Cs , ^{139}La , ^{141}Pr et la diffusion inélastique
du ^{103}Rh , ^{109}Ag , ^{127}I , ^{139}La et ^{141}Pr en tenant compte des données expé-
rimentales les plus récentes. Pour le ^{151}Sm pour lequel la section efficace
inélastique de BENZI semble trop forte, nous avons calculé cette grandeur
par le programme FISINGA pour les 11 premiers niveaux. D'autre part la
distribution angulaire de la diffusion élastique a été calculée pour les 22
noyaux.

Il nous a paru nécessaire, après avoir constitué ce jeu complet de données,
que nous qualifions de provisoire, de recalculer les différents types de
sections efficaces, après avoir compilé et évalué les constantes fondamen-
tales telles que schémas des niveaux, largeurs radiatives, espacements,
etc.. Cette étude est actuellement en cours.

BIBLIOGRAPHIE -

- [1] M. RIBRAG, J. POITOU, J. MATUSZEK et C. SIGNARBIEUX
Rev. Phys. Appliquée 7 (1972) 197.
- [2] J. POITOU, H. NIFENECKER et C. SIGNARBIEUX -
Note CEA-N-1282 (1970).
- [3] C. SIGNARBIEUX, J. POITOU, M. RIBRAG et J. MATUSZEK
Phys. Lett. 39B (1972) 503.
- [4] H. R. BOWMAN, J. C. D. MILTON, S. G. THOMPSON et
W. J. SWIATECKI - Phys. Rev. 129 (1963) 2133.
- [5] Z. FRAENKEL - Phys. Rev. 156, 4 (1967) 1283.
- [6] G. K. MEHTA, J. POITOU, M. RIBRAG et C. SIGNARBIEUX
Phys. Rev. C, january (1973).
- [7] H. NIFENECKER, C. SIGNARBIEUX, M. RIBRAG, J. POITOU et
J. MATUSZEK - Nucl. Phys. A 189 (1972) 285 .
- [8] J. FAGOT, R. LUCAS, H. NIFENECKER et M. SCHNEEBERGER
Nucl. Instr. Meth. 95 (1971) 421.
- [9] W. KOLAR et coll. " Third Conference on neutron cross section and
technology ", (1971), vol. II, 707.
J. BLONS et coll. " Third Conference on neutron cross section and
technology ", (1971), vol. II, 836.
- [10] H. DERRIEN et coll.- Note CEA N- 1564 (1972).
- [11] S. NIZAMUDDIN, J. BLONS - Nucl. Sc. and Eng. (à parafstre).
- [12] D. PAYA et coll. " Physics and Chemistry and Fission, AIEA Vienne
(1969) 307.
- [13] H. DERRIEN, J. BLONS, D. PAYA, S. PLATTARD," Conference on
intermediate process in nuclear reactions ", Plitvice Lakes,
Yugoslavie (1972) (à parafstre).
- [14] S. PLATTARD, A. MICHAUDON, D. PAYA- " Conference Euro-
péenne de Physique Nucléaire ", Aix en Provence (1972) Vol. II, 21.
- [15] L. W. WESTON, J. H. TODD - " Third Conference on neutron cross
section and technology " (1971) Vol. II, 861.
- [16] J. TROCHON, B. LUCAS, A. MICHAUDON, D. PAYA, Y. RYABOV
J. de Physique, 1973 .
- [17] D. SHACKLETON, J. TROCHON, J. FREHAUT, M. LE BARS -
Phys. Letters 42 B (1972) 344 .

- [18] D. SHACKLETON, J. FREHAUT, M. LE BARS - "Conférence Européenne de Physique Nucléaire", Aix en Provence (1972) Vol II, 24
- [19] M. SOLEILHAC, J. FREHAUT, J. GAUVIAU - J. Nucl. Energy, 23 (1969) 257.
- [20] Y. RYABOV, J. TROCHON, J. FREHAUT, D. SHACKLETON, to be published.
- [21] A. LOTTIN et coll. - J. de Physique (à paraître).
- [22] J. JULIEN et coll. - Nucl. Phys. 76 (1966) 391.
- [23] G. BARTHOLOMEW et coll. - Can. J. Phys. 48 (1970) 687.
- [24] G. BARTHOLOMEW - Ann. Rev. Nucl. Science 11 (1961) 259.
- [25] C. CORCEVA, F. CORVI, P. GIACOBBE, M. STEFANON - Phys. Rev. Letters 25 (1970) 1047.
- [26] A. STOLOVY, A. NAMENSON, T. GODLOVE - Phys. Rev. 4 C (1971) 1466.
- [27] P. RIBON - Note DPh-N/MF 525 (1972).
- [28] M. MEZZA et coll. - Note DPh-N/MF 515 (1973).
- [29] G. LE COQ et A. VEYSSIERE - Note DPh-N/MF 532 (1972).
- [30] R. BERGERE et coll. Colloque sur les applications des constantes nucléaires à la science et à la technologie - AIEA, Paris, mars 1973.
- [31] G. LE COQ - Note DPh-N/MF 511 (1973).
- [32] D. P. MANN - Phys. Rev. 116 (1959) 1516.
- [33] P. RIBON - Rapport CEA - N - 1149 (1969).
- [34] M. BRESESTI et coll. - J. Inorg. Nucl. Chem. 26 (1964) 9.
- [35] Y. KIKUCHI - Rapport INDC (Fr) 5/I..
- [36] R. PAVIOTTI, R. CORCUERA, P. GOVAERTS, J. P. L'HERITEAU Rapport INDC (Sec) 31-U.
- [37] J. P. L'HERITEAU, P. RIRON - Rapport INDC (Sec) 31-U.
- [38] C. C. LU et coll. - Nucl. Phys. A 190 (1972) 229.
- [39] J. RAYNAL - Communication privée.
- [40] G. LE COQ - Note DRP/SMPNF 832 (1970).
- [41] V. BENZI, G. REFFO - Rapport CCDN/NW 10.
- [42] J. L. COOK - Rapport AAEC - TM 549.

Γ_{env}	$\alpha \Gamma_{\text{env}}$	$\Gamma_{\text{st env}}$	$\Gamma_{\text{sc env}}$	Group
0.06	0.11	0	75	A
1.11	0.13	0	29	A
4.11	0.17	- 34	100	B
5.12	0.17	- 1010	0	B
1.13	0.18	0	- 89	A
1.14	1.15	0	41	A
1.15	0.17	146	7	B
1.16	2.07	401	520	B
1.17	0.17	- 233	0	B
1.18	0.17	29	0	A
1.19	0.20	(1)		
1.20	0.17	103	17	B
1.21	1.17	- 454	60	B
1.22	1.16	0	184	A
1.23	3.13	0	14	A
1.24	0.17	0	27	A
1.25	0.17	3	50	A
1.26	0.17	- 33	0	A
1.27	0.17	0	18	A
1.28	1.03	70	211	A
1.29	0.17	203	- 50	B
1.30	1.16	- 63	- 15	A
1.31	0.17	0	645	B
1.32	4.11	264	0	B
1.33	0.17	22	0	A
1.34	0.17	0	- 900	B
1.35	3.12	543	52	B
1.36	0.16	- 123	- 78	B
1.37	0.15	- 213	0	(1)
1.38	0.176	50	60	A
1.39	0.17	61	0	A
1.40	0.177	- 1113	123	B
1.41	0.163	6	10	A
1.42	0.210	31	5	A
1.43	0.17	314	626	E
1.44	0.172	54	- 29	A
1.45	0.215	10	0	A
1.46	1.14	100	46	A
1.47	1.14	0	61	A
1.48	2.15	- 1010	- 113	B
1.49	0.175	0	220	A
1.50	0.172	22	0	A

Γ_{env}	$\alpha \Gamma_{\text{env}}$	Γ_{st}	Γ_{sc}	Group
49.51	1.695	- 245	0	A
47.1	0.12	(1)		B
47.4	5.762	- 291	142	A
50.31	0.697	435	6	(1)
52.13	0.10			B
57.76	0.18			A
57.12	1.167	- 8	376	(1)
59.32	2.048	260	376	B
66.44	4.317	- 65	72	A
66.61	0.598	- 165	296	B
66.12	5.164	553	37	V
63.05	0.253	20	0	B
64.38	0.1	31	0	A
65.59	5.221	6	256	A
66.48	3.897	- 20	12	A
68.30	1.408	0	47	A
69.27	1.176	11	0	A
71.77	0.10			(1)
72.34	1.535	212	117	B
73.96	0.547	0	17	A
75.50	4.950	0	61	B
77.16	4.252	- 11	0	A
78.21	1.503	149	20	B
80.25	4.869	51	0	V
80.90	1.569	2310	0	B
81.55	11.392	509	- 165	A
83.27	4.277	- 7	47	B
85.46	2.450	90	0	V
86.73	3.463	0	148	A
86.08	1.250	- 150	- 417	B
87.04	6.652	48	0	A
88.04	2.176	64	256	B
89.17	2.086	- 10	61	V
89.66	0.253	- 148	0	A
90.76	2.165	- 129	3	B
91.40	0.07			(1)
91.68	0.1			(1)
93.94	0.33	0	60	A
94.47	0.19			(1)
95.42	0.926	260	59	B
96.12	0.392	- 69	- 19	B
96.55	0.542	5	355	V
97.59	0.616	271	0	A
98.41	7.639	- 18	171	A
99.79	2.832	74	37	(1)
100.70	0.4			A
101.61	1.021	- 5	- 42	B
102.30	1.519	676	0	A
103.66	1.203	21	0	B

(1) Single level parameters for a few weak resonances (see table II)

TABLE II : ^{241}Pu RESONANCES PARAMETERS

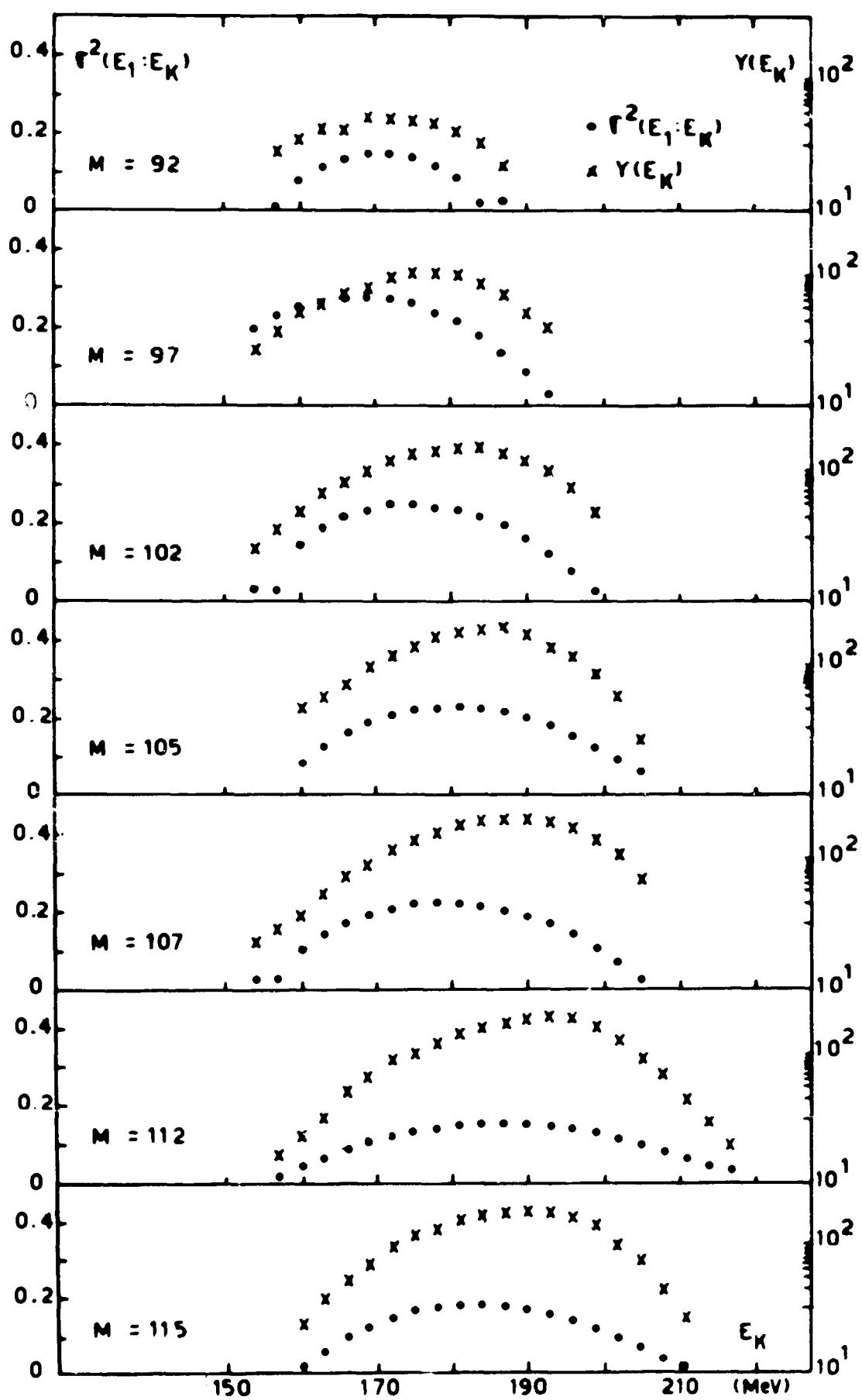
E eV	$2g$	Γ_n meV	Γ meV	σ_0 b. eV	Γ_f meV
13.9	0.02		90	1.1	53
30.1	0.035		60	0.8	32
47.1	0.12		300	2.5	227
52.13	0.10		100	0.8	32
57.76	0.18		200	3.0	150
71.77	0.10		150	1.0	83
91.40	0.1		60	0.5	21
91.88	0.12		60	0.7	25
94.47	0.18		140	1.3	73
100.7	0.40		300	4.0	232

TABLE III : ^{241}Pu - Valeurs moyennes des paramètres de résonance

	J^π probable	\bar{D} eV	$S_0 \times 10^4$	Γ_f meV	$\frac{2\pi}{D} \bar{\Gamma}_f$
Groupe B	2^+	2.77	$1,21 \pm 0,32$	595	1,35
Groupe A	3^+	1.92	$1,06 \pm 0,23$	87	0,28

TABLE IV : Spin de résonances de l'Or

énergie eV	Julien [22]	Ce travail	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
4.9		2																		
46.5			(1)		1															
58.1				(1)																
60.2				2																
76.4					(1)															
107					(2)															
						2														
							1													
								2												
122									2											
144										1										
151										2										
163											1									
165											(2)									
190											1									
209												2								
240													2							
262													1							
274														2						
293															2					
355																2				
400																	2			



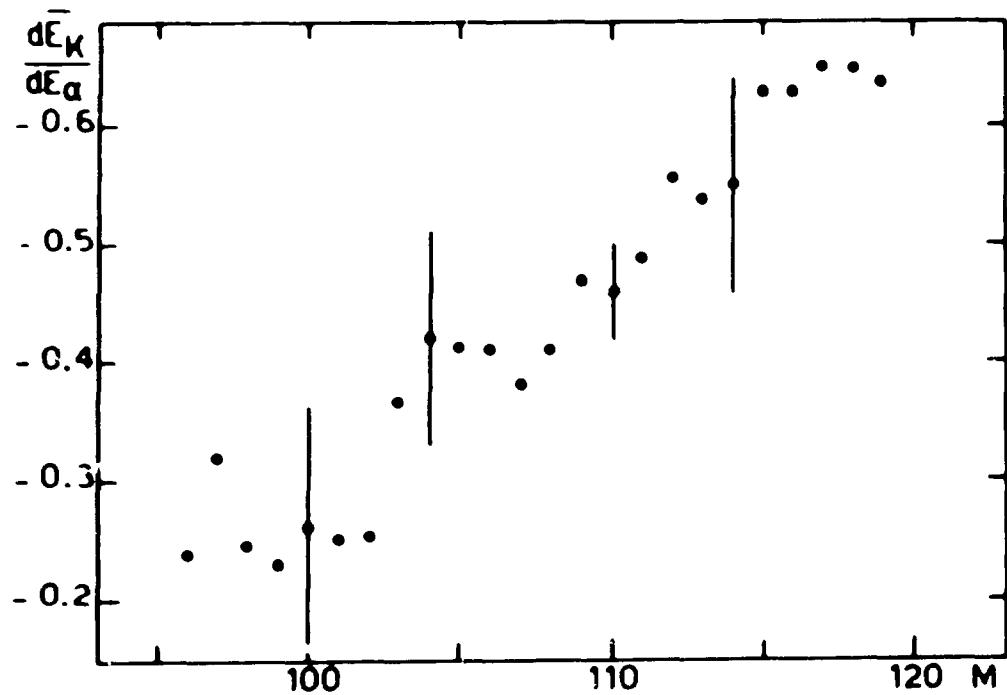


FIG 2

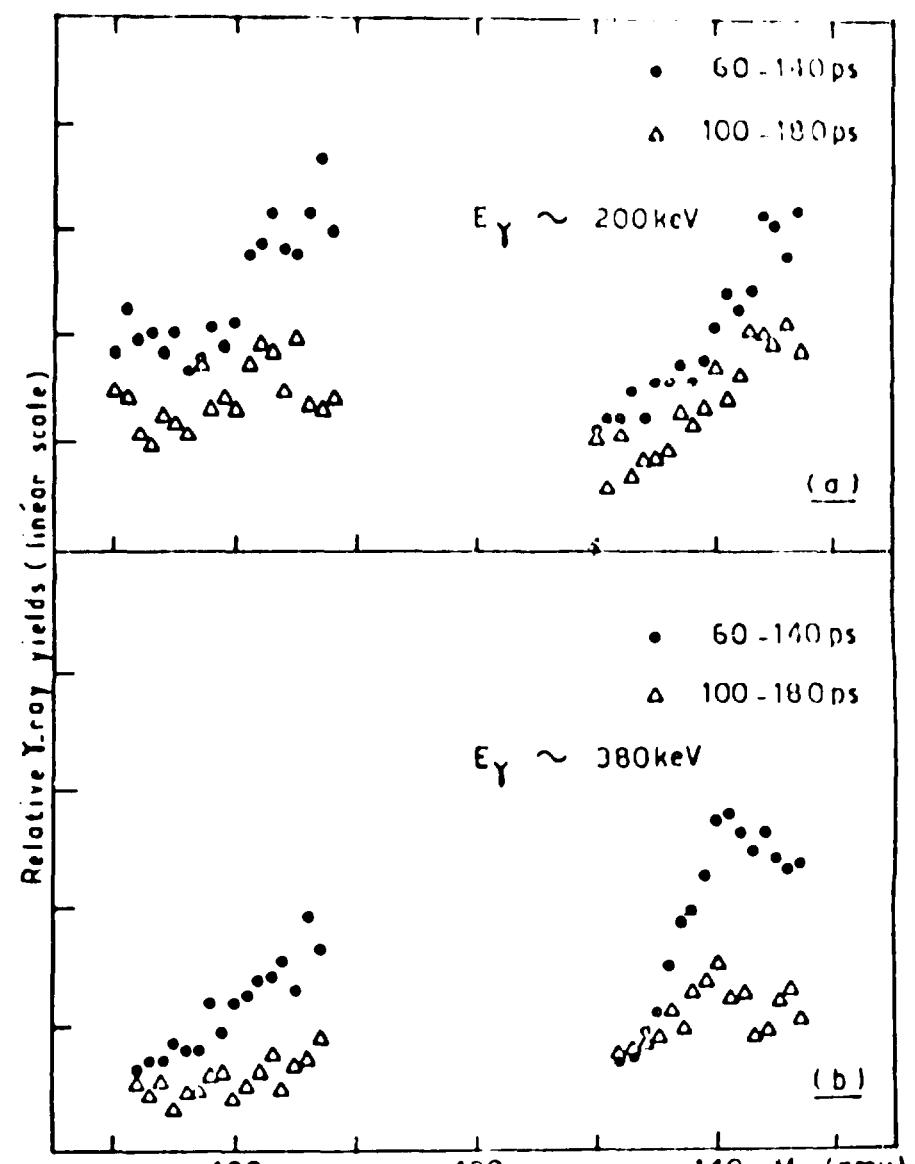


Fig. 3

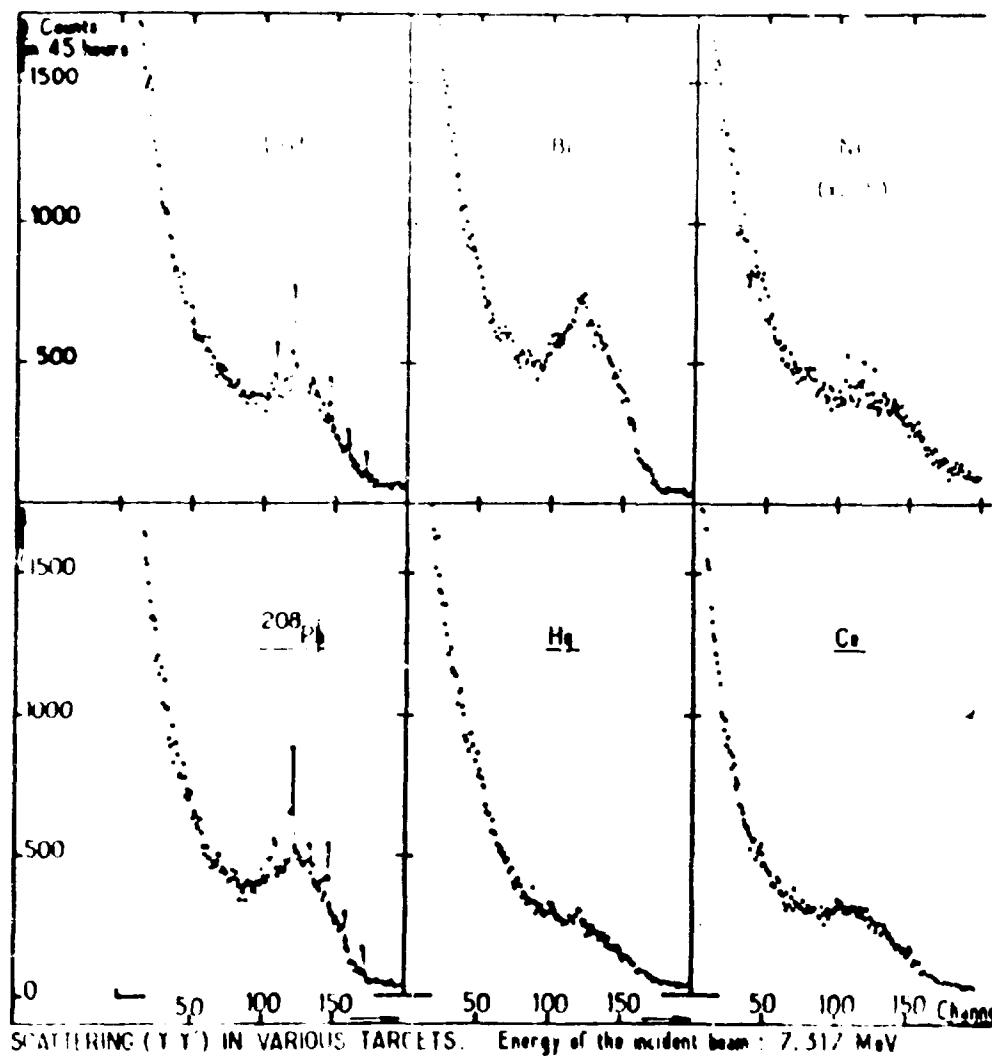
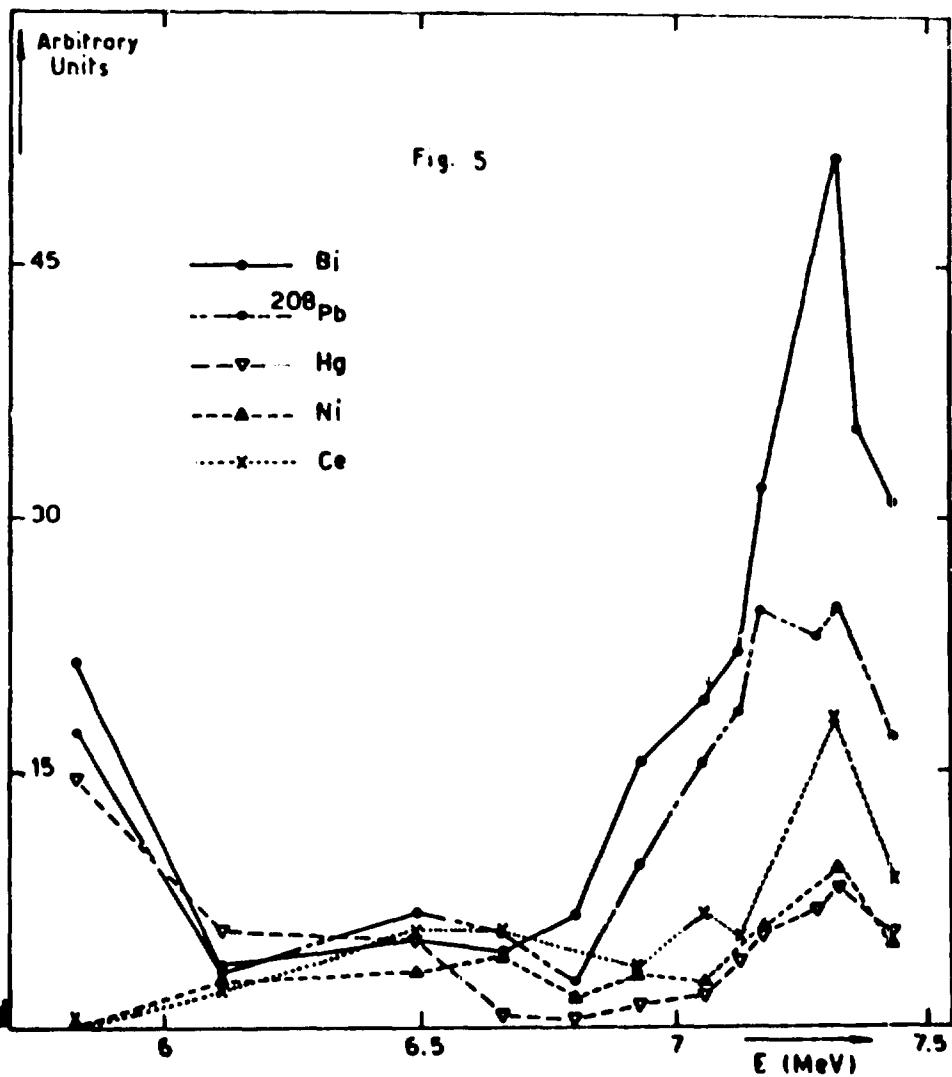


Fig. 4



INTENSITY OF THE SCATTERED BEAM VERSUS THE INCIDENT ENERGY.

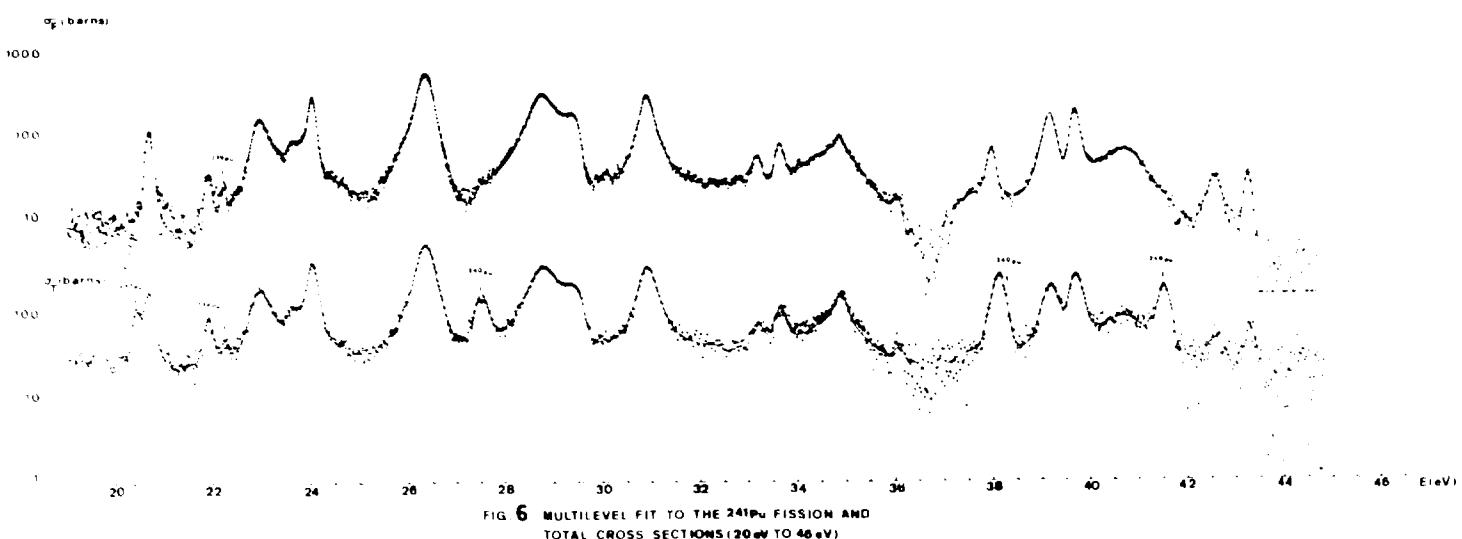
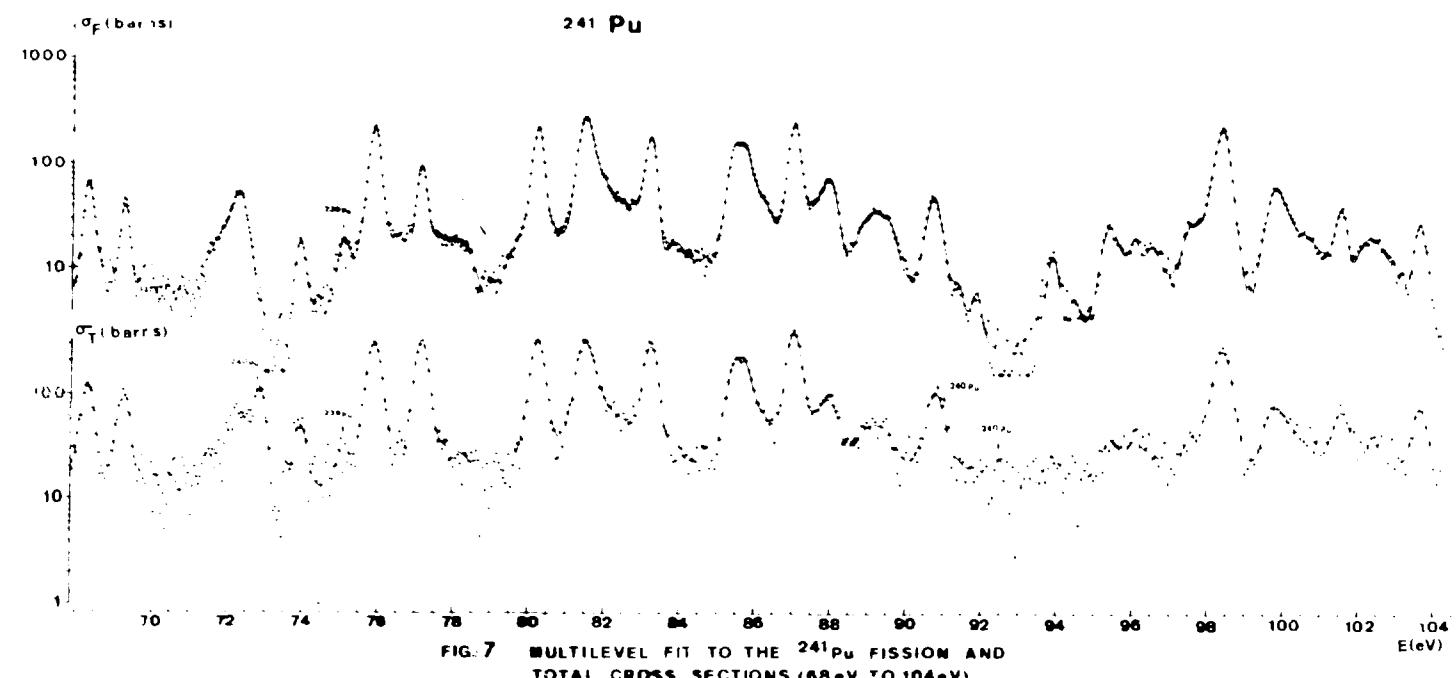


Fig. 8

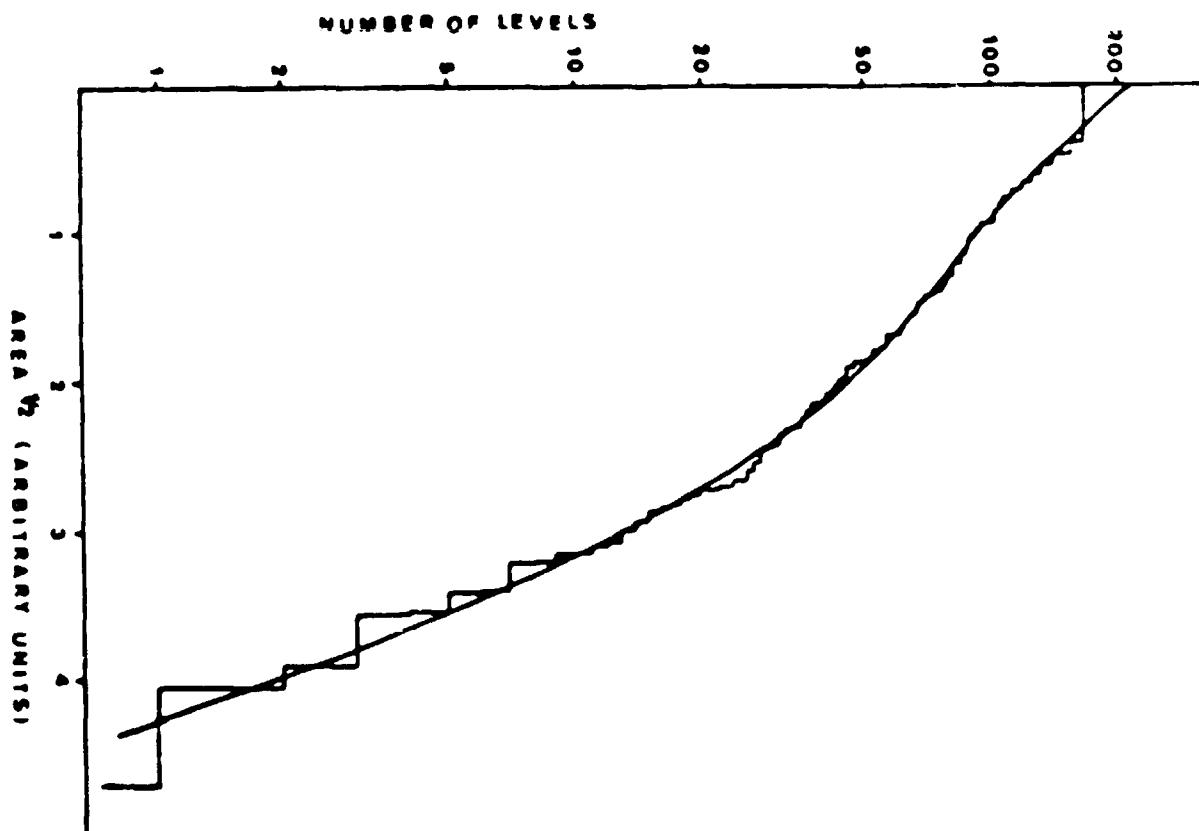
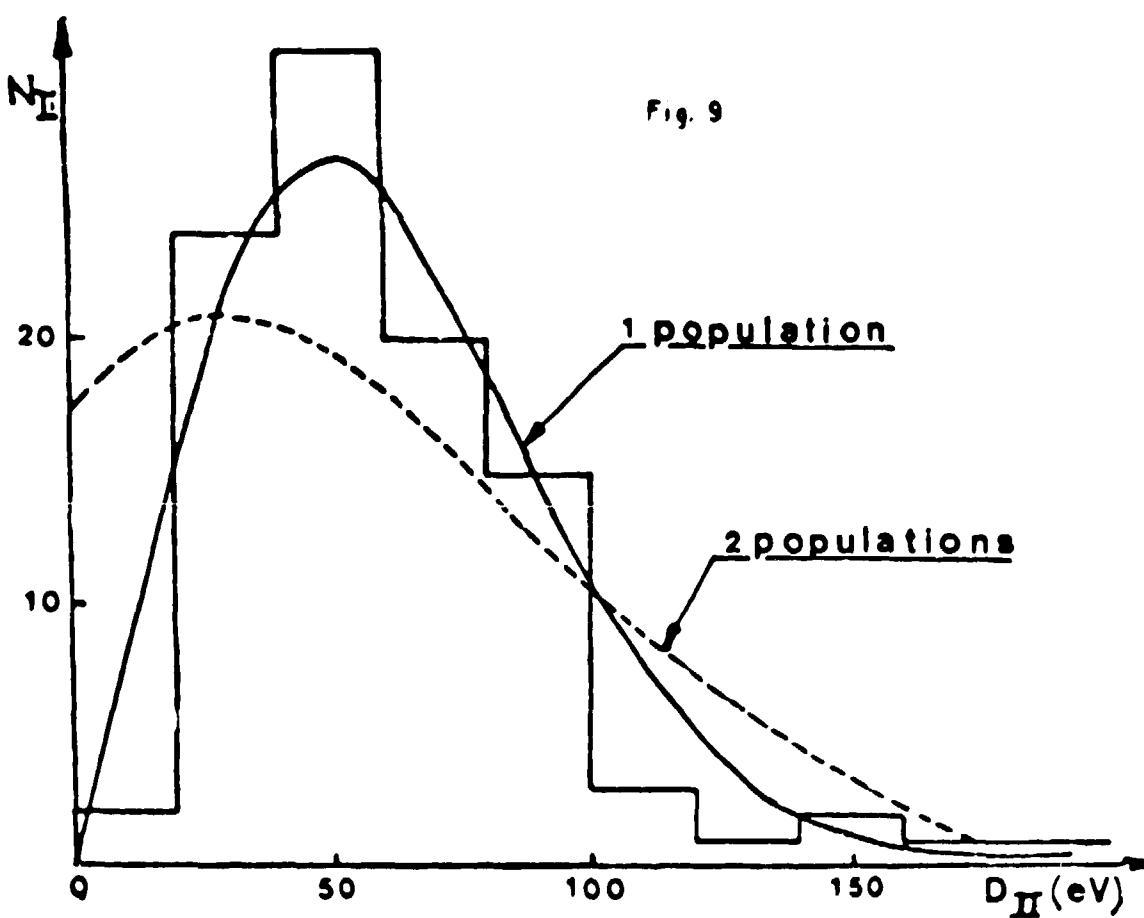
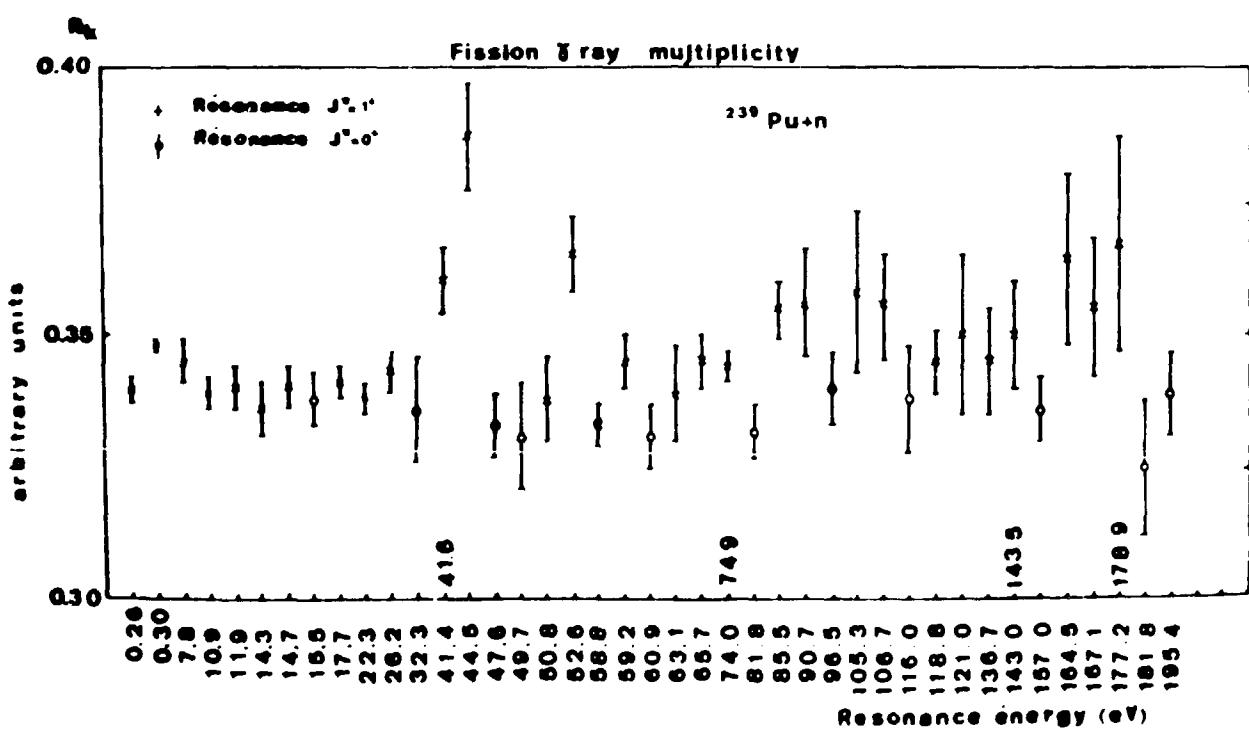
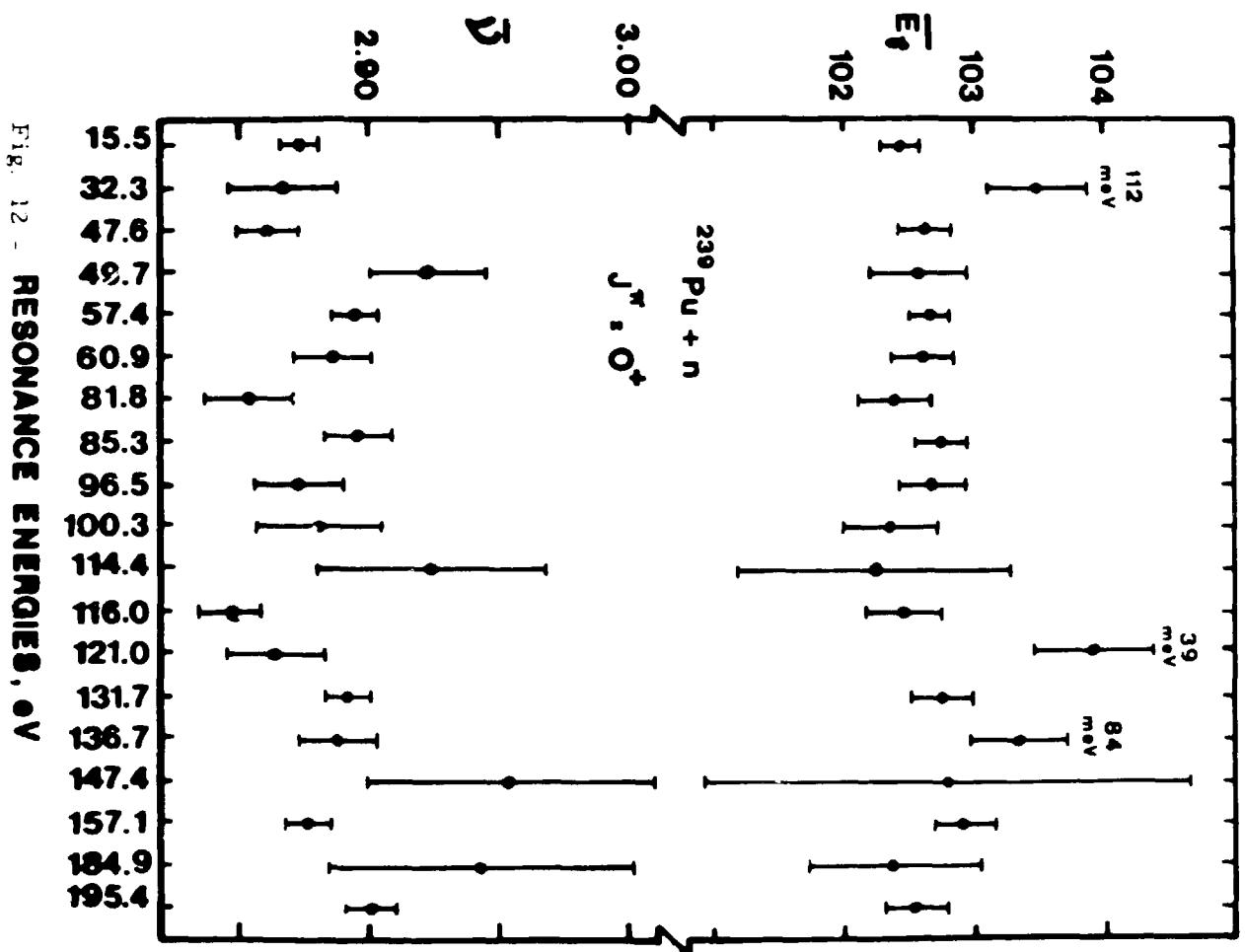


Fig. 9





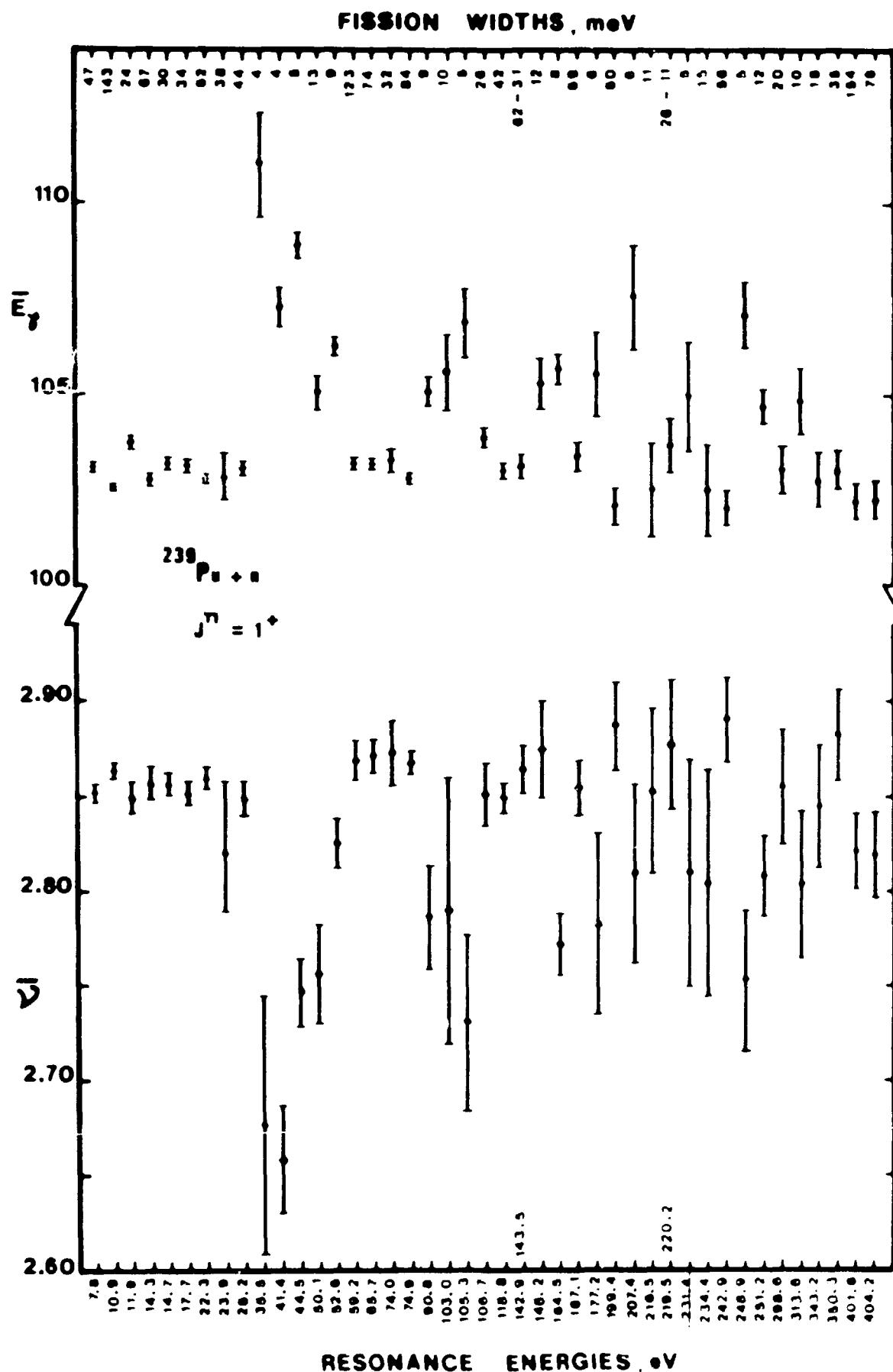


Fig. 11

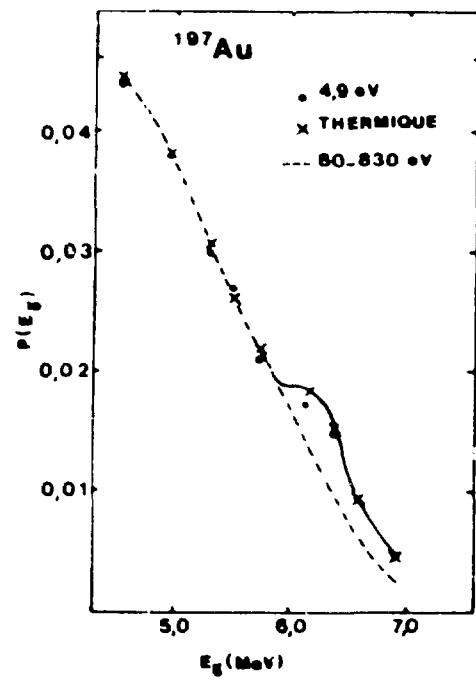


Fig. 13

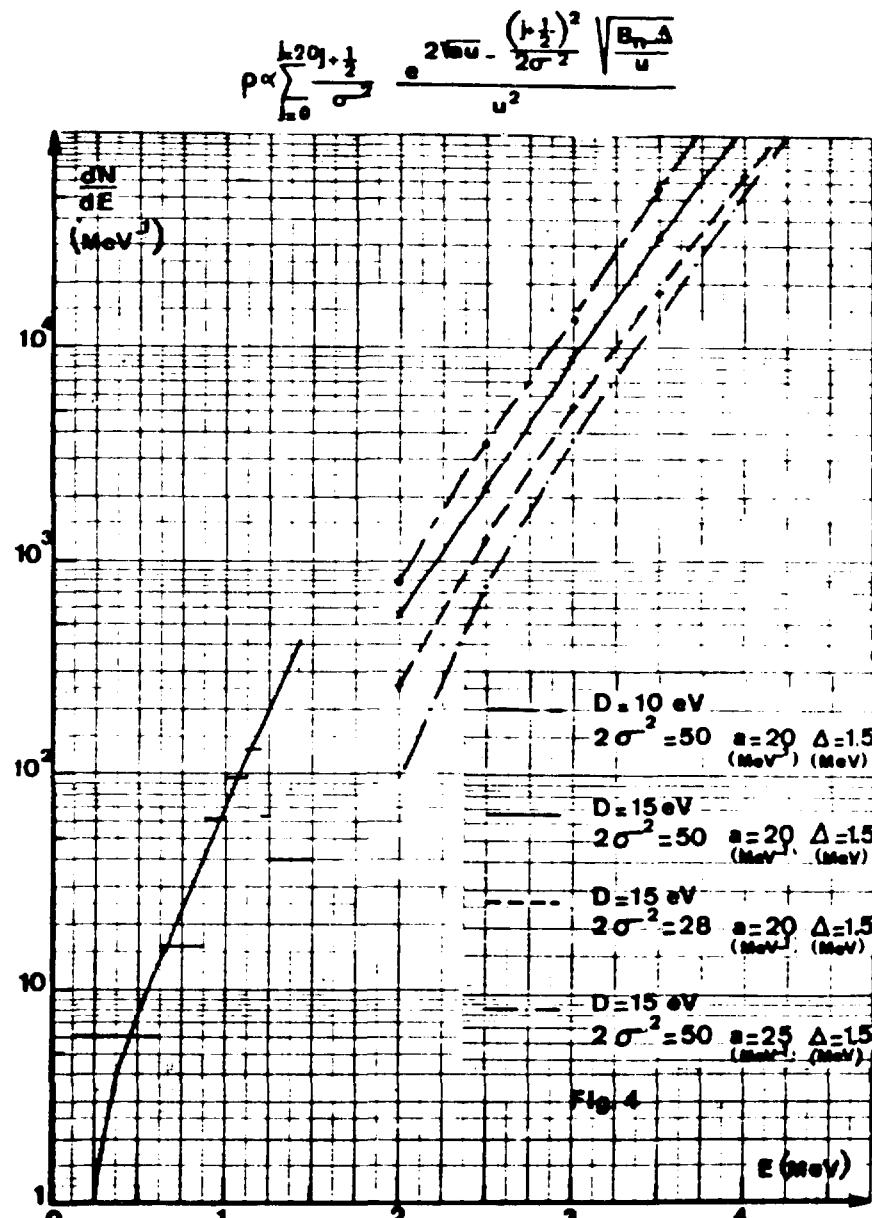


Fig. 16

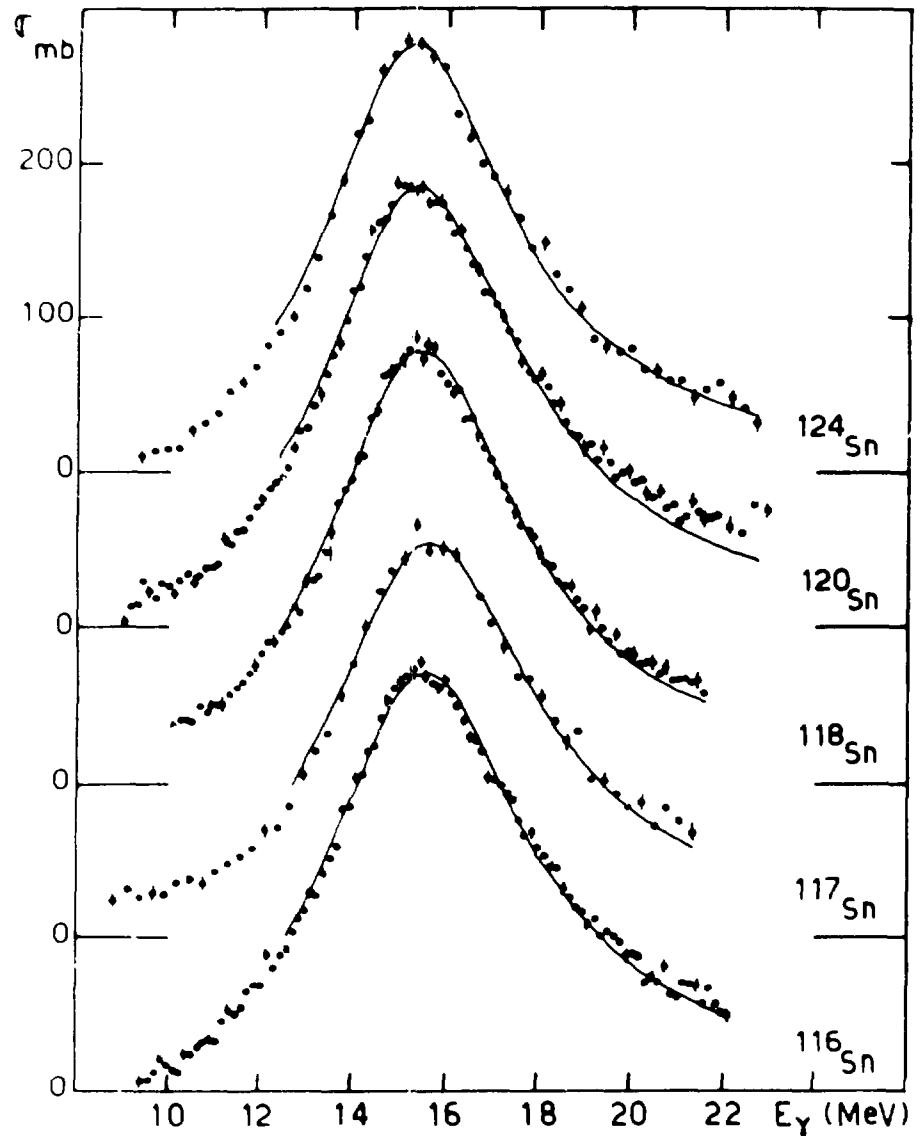
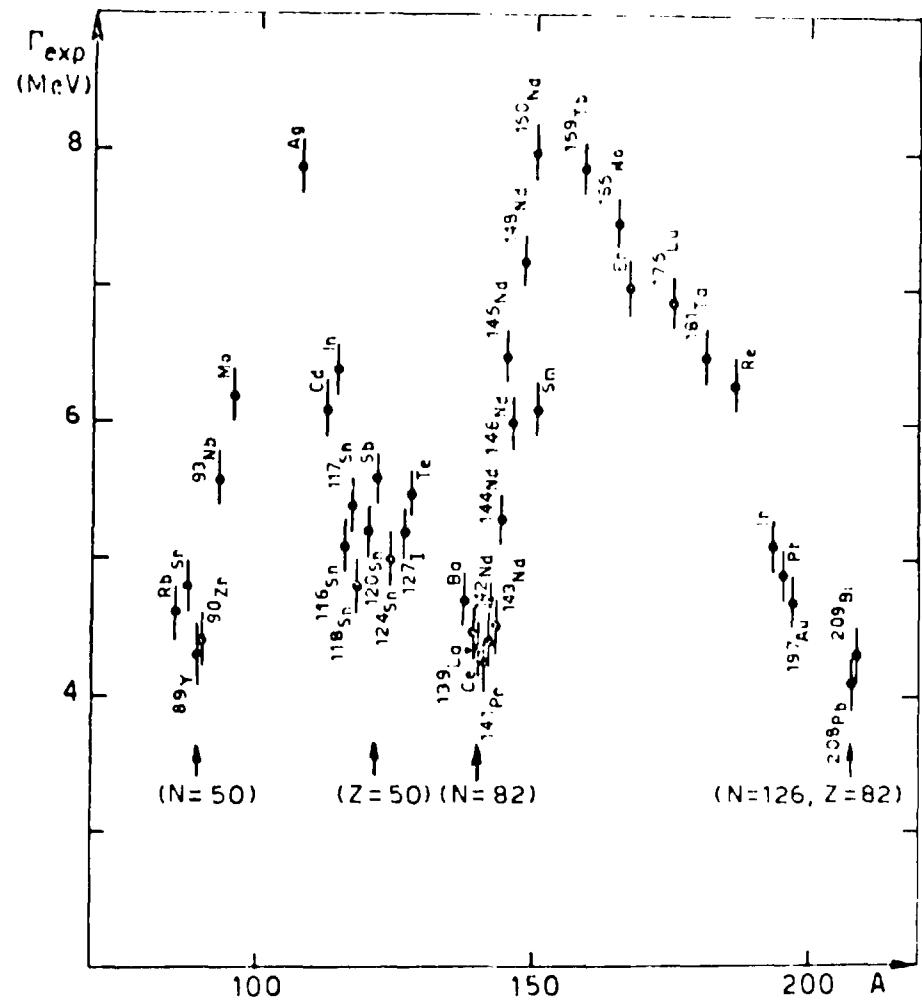


Fig. 14 Résonance géante dipolaire des isotopes de Sn



II. SECTION D'ETUDES ET DE MESURES EN NEUTRONS RAPIDES -

CEA - CADARACHE (J. L. LEROY)

1. FONCTIONNEMENT DE L'ACCELERATEUR VAN de GRAAFF DE 5 MV
(D. HEBERT)

L'accélérateur a produit des neutrons pendant 3290 heures. Le contrôle des réglages de la machine par le calculateur est parfaitement opérationnel, et le nombre d'heures supplémentaires effectuées par le personnel pour la conduite est tombé à 180 heures. Quarante journées de travail ont été consacrées aux divers dépannages et entretiens.

2. MESURES DES SECTIONS EFFICACES DE CAPTURE RADIATIVE DE
L'OR, DU CHROME, DU FER ET DU NICKEL ENTRE 70 KeV ET 550 KeV
(C. LE RIGOLEUR, A. ARNAUD, J. TASTE)

(203, Les sections efficaces de capture radiative du chrome, du fer, du nickel
204, et de l'or ont été mesurées entre 70 KeV et 550 KeV. Nous utilisons la
255, technique du temps de vol. Le détecteur de gamma est utilisé suivant la
256, 258-264, technique de pondération des amplitudes proposée par MAIER-LEIBNITZ [1]
330, 331, 333-338, et utilisée pour la première fois par MACKLIN et GIBBONS [2], [3].
784-789) Les résultats corrigés des différentes corrections de diffusions multiples,
absorption des gammes dans l'échantillon etc.... sont présentés sur les
figures 1, 2, 3, 4.

Les résultats seront présentés dans des rapports qui sont en cours de publication.

3. ETUDE DE LA SECTION EFFICACE DE CAPTURE RADIATIVE $^{197}\text{Au}(n, \gamma)$
 ^{198}Au PAR UNE METHODE D'ACTIVATION ENTRE 100 KeV et 500 KeV.
(E. FORT)

(784-789) Des échantillons minces (0,05 mm) d'Au sont irradiés simultanément. Ils sont disposés sur les génératrices d'un cône dont l'axe est celui des particules chargées délivrées par l'accélérateur et à des distances différentes. Le flux des neutrons incidents est mesuré par un détecteur directionnel à réponse plate en fonction de l'énergie [4]. Le spectre énergétique des neutrons incidents est calculé à l'aide des lois de la cinématique en tenant compte de la variation au cours du temps des caractéristiques de la cible neutronigène et du faisceau délivré par l'accélérateur. L'activité induite, mesurée par un détecteur $4\pi\beta\gamma$, est corrigée des contributions des neutrons de bruit de fond et des neutrons diffusés par

le support de cible neutronigène [5]. Comme le montre la figure 5, les résultats obtenus sont en accord avec ceux de LE RIGOLEUR et al [6], qui utilisent la méthode de la détection des γ prompts, dans les parties basse et haute énergie de la gamme. Ils diffèrent de 15 à 20% dans la partie intermédiaire.

L'expérience sera reprise dans une géométrie différente.

4. SPECTRE EN ENERGIE DES NEUTRONS DE FISSION DE ^{235}U ET ^{239}Pu
(D. ABRAMSON, A. TURZO)

(940-945, 1139, 1140) Les fissions sont induites par un faisceau de neutrons de 10 à 60 KeV produits dans un faible angle d'ouverture par la réaction $^7\text{Li}(\text{pn})^7\text{Be}$ au voisinage du seuil. Les échantillons de matière fissile sont des disques de 2,5cm de diamètre et 0,5 cm ou 0,35 cm d'épaisseur, gainés sous placés tout contre la cible de lithium.

Les neutrons de fission sont détectés, en utilisant les techniques de temps de vol et discrimination n- γ , par quatre scintillateurs liquides de caractéristiques différentes : 2" x 2" et 280 KeV de seuil pour le plus proche, (1,60 m de distance), 3" x 3" et 900 KeV de seuil pour le plus loin (2,80 m).

L'efficacité des détecteurs est mesurée jusqu'à 5 MeV par rapport à un "long compteur directif" étalon, dans les conditions même de l'expérience. La forme des spectres de fission, figure 6, est bien représentée dans le domaine 0,8 MeV - 5 MeV par la distribution de MAXWELL : $N(E) \sim E^{-1/2}$ exp. (-E/Tm) où Tm est la température.

Les mesures seront poursuivies jusqu'à 10 MeV pour voir quels écarts on obtient au-delà de 5 MeV par rapport à cette loi de distribution.

Nous trouvons la même température, aux erreurs expérimentales près, pour les quatre détecteurs bien qu'ils aient des caractéristiques différentes soit : $1,30 \pm 0,03$ pour ^{235}U et $1,40 \pm 0,03$ pour ^{239}Pu .

Ceci donne pour le rapport des énergies moyennes du Pu et de l'U :

$$\frac{E_m (\text{Pu})}{E_m (\text{U})} = 1,07 \pm 0,02$$

Nous n'avons pas encore fait de correction d'atténuation et de diffusion multiple, mais nous trouvons le même résultat pour les échantillons de différentes épaisseurs.

5. MESURE DE LA SECTION EFFICACE DE FISSION DE ^{235}U . (I. SZABO)

Des expériences complémentaires ont été entreprises dans le but de résoudre

(908-
921) le désaccord existant entre les valeurs de section efficace de fission de l'²³⁵U que nous avions mesurées au moyen de deux dépôts fissiles différents (EANDC (E) 150 U - Mai 1972 p. 72.

Une intercomparaison de ces deux dépôts et d'un dépôt étalonné de ²³⁹Pu a pu être faite auprès du réacteur BR2 (MOL) avec la collaboration de A. J. DERUYTTER (BCMN). Les mesures faites à l'énergie thermique, utilisent la technique du temps de vol, le faisceau de neutrons extrait de BR2 étant pulsé au moyen d'un " Chopper ". La description détaillée de cette expérience a été exposée dans la référence [7]. Seuls les principaux résultats et conclusions sont rappelés ici.

A l'énergie thermique, les taux de comptage normalisés au même flux et aux nombres d'atomes d'²³⁵U contenus dans chacun des deux dépôts, diffèrent de 4,7 % alors que dans la région de 10 KeV à 2 MeV, le désaccord initialement observé n'était que de 2 à 3% en moyenne.

Dans la comparaison avec le dépôt de ²³⁹Pu, deux valeurs différentes du rapport de section efficace peuvent être déduites suivant que l'un ou l'autre dépôt de ²³⁵U est utilisé comme référence. A l'énergie thermique le rapport σ_9 / σ_5 est bien connu et la figure 7 extraite de la référence [7] montre que le meilleur accord est obtenu avec le dépôt de P. H. WHITE. Ce qui tend à prouver que le nombre d'atomes de ce dépôt avait été correctement déterminé.

Cependant, il n'a pas été possible de formuler une conclusion définitive en ce qui concerne le dépôt calibré par le BCMN, en raison d'une perte de matière fissile qui s'était produite pendant les manipulations et les transports, avant que la mesure à l'énergie thermique ait eu lieu.

Dans l'état actuel des choses, les valeurs que nous avions obtenues avec le dépôt de P.H. WHITE [8] n'ont pas à être modifiées. Par contre, celles obtenues avec le dépôt calibré par le BCMN [9] nécessitent une renormalisation. Le facteur de renormalisation est directement relié au nombre d'atomes d'²³⁵U présents dans le dépôt aux moments mêmes où les mesures de sections efficaces de fission avaient été faites. Grâce aux contrôles de l'activité alpha que nous avions régulièrement faits sur le dépôt au cours des différentes mesures de sections efficaces, il est possible de déterminer à posteriori le nombre d'atomes présents au moment de ces mesures. La méthode de comptage alpha en géométrie 2 $\frac{1}{2}$ que nous utilisons ne permettait

d'obtenir l'activité, et par conséquent, le facteur de renormalisation qu'à 2% près. Afin d'améliorer la précision sur ce facteur, nous avons envisagé, une intercalibration de notre méthode de comptage alpha en géométrie 2π avec le dispositif de comptage en géométrie définie du BCMN.

Ce travail est sur le point d'être terminé.

5. 1. Section efficace $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$.

(49-57) Nous avons poursuivi les mesures de cette section efficace dans la gamme d'énergie allant de 20 à 300 KeV. La technique utilisée est aussi voisine que possible de celle mise en oeuvre dans les mesures de section efficace de fission. Afin de diminuer les erreurs systématiques des dépôts de différentes épaisseurs ont été utilisés. La précision actuelle sur les nombres d'atomes, tels qu'ils étaient déterminés par pesée au BCMN (Geel) est de 2 à 3%. Une calibration actuellement en cours et utilisant une méthode indépendante de la pesée permettra de réduire cette erreur à moins de 1% et d'obtenir la section efficace $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$ avec une précision de l'ordre de 3%. Bien qu'encore préliminaires, les résultats montrent un bon accord avec l'évaluation de GUBERNATOR, et sont légèrement plus haut que celle de SOWERBY pour des énergies inférieures à 80 KeV.

Ces mesures seront poursuivies en 1973 et les résultats définitifs publiés dans la même année.

6. MESURE ABSOLUE DE FLUX DE NEUTRONS PAR LA METHODE DE LA PARTICULE ASSOCIEE (J. L. LEROY, I. SZABO, Y. TOCQUER)

La méthode consiste à mesurer le taux de comptage des particules ^3He produites en même temps que les neutrons dans la réaction $\text{p}(\text{T}, \text{n})^3\text{He}$. Le dispositif expérimental a été décrit en détail dans la référence [10]. Nous l'avons utilisé pour étalonner un détecteur "directionnel" dont l'efficacité avait déjà été mesurée par d'autres méthodes notamment par comparaison avec un bain de sulfate de manganèse [11].

Les mesures ont été effectuées en détectant les particules ^3He à un angle de 10° pour obtenir les faibles énergies de neutrons et à 30° pour les plus fortes énergies. La gamme de 0,250 à 1,3 MeV a ainsi été couverte.

La figure 8 montre que les valeurs de l'efficacité obtenues par cette méthode et par le bain de sulfate de manganèse sont en accord dans la limite des marges d'erreurs. Actuellement la précision obtenue est sensiblement la même pour les deux méthodes. Rappelons que l'erreur estimée pour la

méthode du bain de SO_4Mn était de $\pm 1,8\%$. Celle de la particule associée est de 2%. Avec un effort complémentaire de développement, qui portera à la fois sur l'appareillage et l'analyse des résultats, l'erreur estimée sur la méthode de la particule associée pourrait être réduite à 1,3%. Parallèlement à cet effort, nous envisageons d'élargir la gamme d'énergie de mesure à 0,200 - 1,75 MeV.

En conclusion, les nouveaux résultats d'étalonnage confirment bien les valeurs précédemment obtenues et démontrent la stabilité dans le temps de cet appareil qui constitue une base solide pour des mesures de sections efficaces absolues et pour l'étalonnage d'autres appareils. En 1972, un mois de fonctionnement du Van de Graaff a d'ailleurs été consacré, pour le compte d'autres groupes de chercheurs, à la détermination de l'efficacité de divers compteurs à neutrons. En outre trois copies du compteur directionnel ont été réalisées et fournies à d'autres laboratoires.

BIBLIOGRAPHIE -

- [1] H. MAIER-LEIBNITZ - Communication privée à R. L. Macklin et J. H. Gibbons.
- [2] R. L. MACKLIN et J. H. GIBBONS - Phys. Rev. 159 (1967) 1007 .
- [3] R. L. MACKLIN et coll. - Nucl. Inst. and Meth. 91 (1971) 565 .
- [4] J. L. LEROY, J. L. HUET, J. GENTIL - Nucl. Inst. and Meth. 88 (1970) 1 .
- [5] E. FORT, J. P. MARQUETTE - Rapport EANDC (E) 148 U (1972).
- [6] C. LE ROGOEUR, A. ARNAUD, J. TASTE - Note CEA, à paraître.
- [7] I. SZABO, J. L. LEROY, J. P. MARQUETTE
Panel on neutron standard reference , Vienne (Nov. 1972), à paraître.
- [8] I. SZABO, G. FILIPPI, J. L. HUET, J. L. LEROY, J. P. MARQUETTE
Symposium on neutron standards and flux normalization, ANL.
(Oct. 1970).
- [9] I. SZABO, G. FILIPPI, J. L. HUET, J. L. LEROY, J. P. MARQUETTE
Neutron Cross Section and Technology - Knoxville (March 1971) .
- [10] J. L. LEROY, I. SZABO, J. Y. TOCQUEUR - IAEA - Panel on neutron standard reference, Vienne (Nov. 1972), à paraître .
- [11] J. L. LEROY, J. L. HUET, I. SZABO, E. FORT - Nuclear Data for Reactors Helsinki 1970 .

FIG. 1

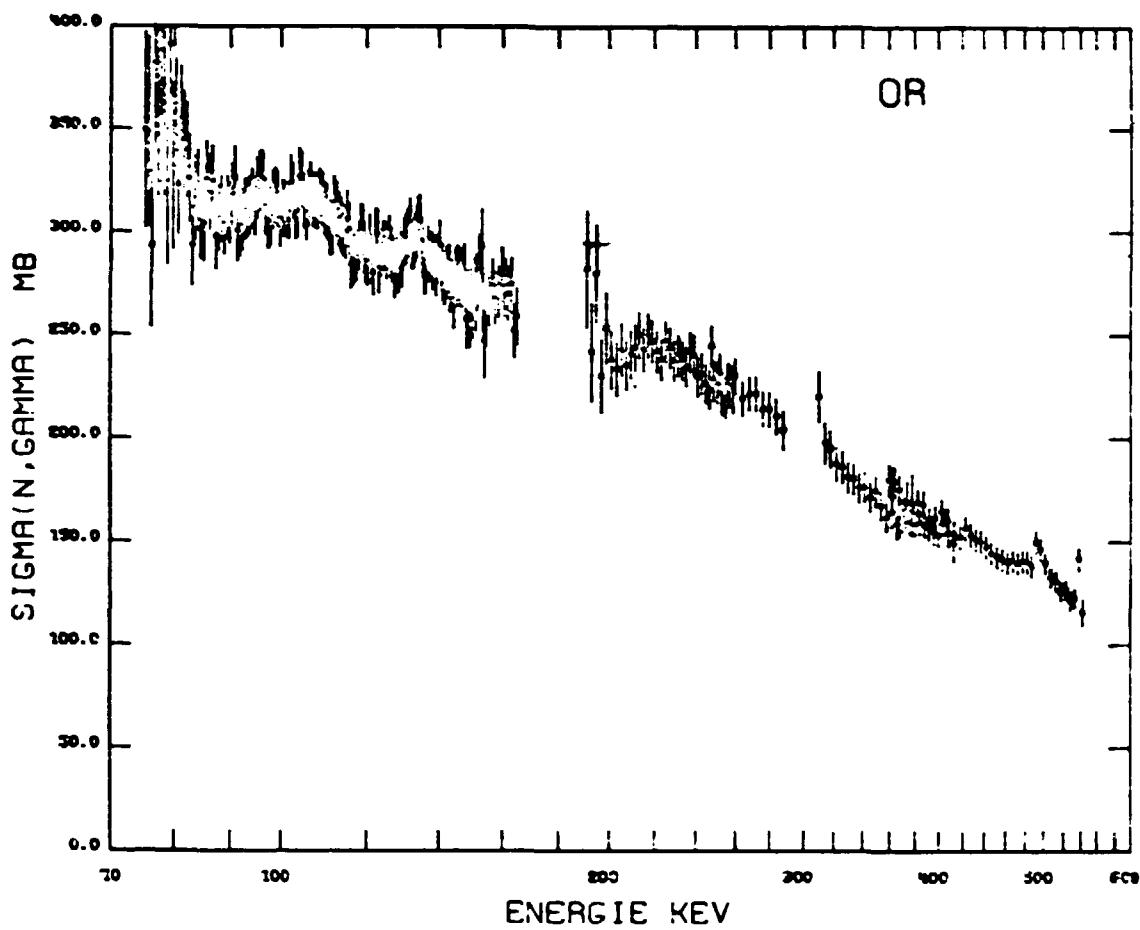


FIG. 2

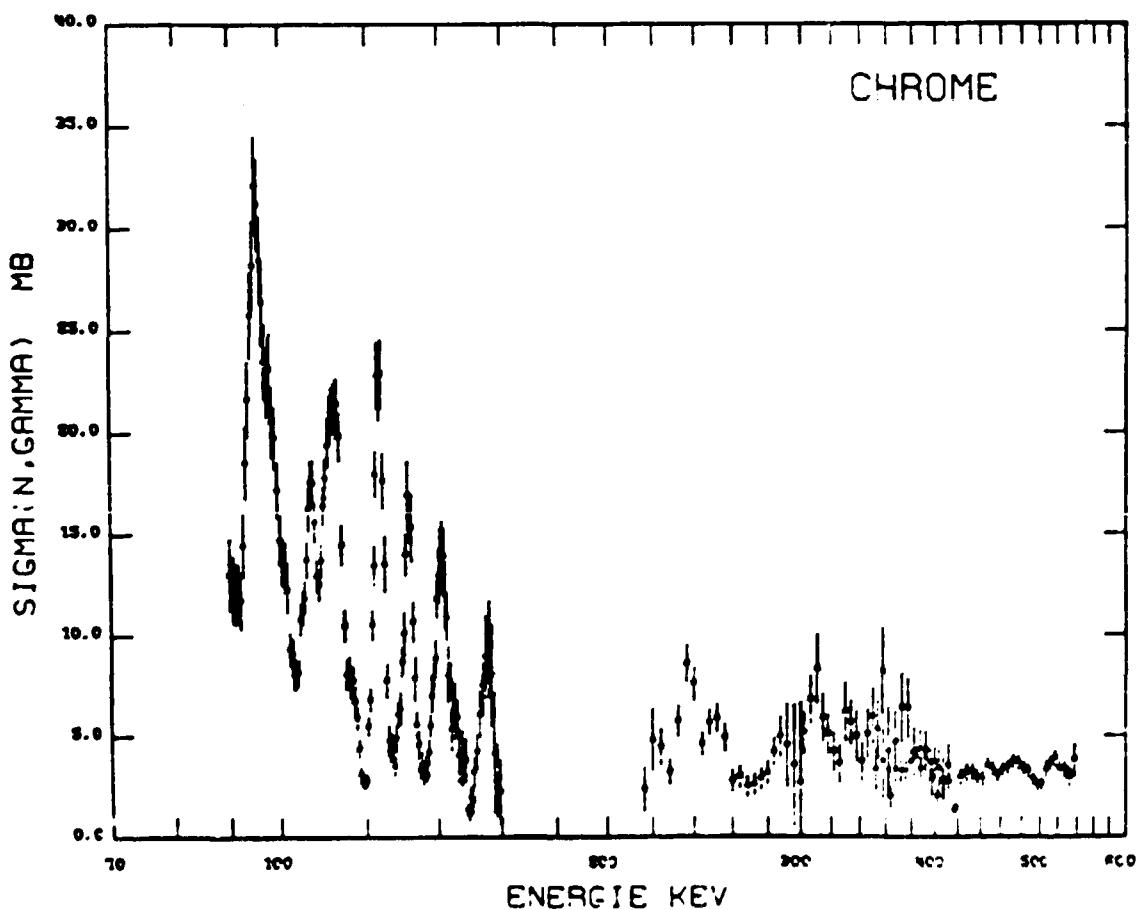
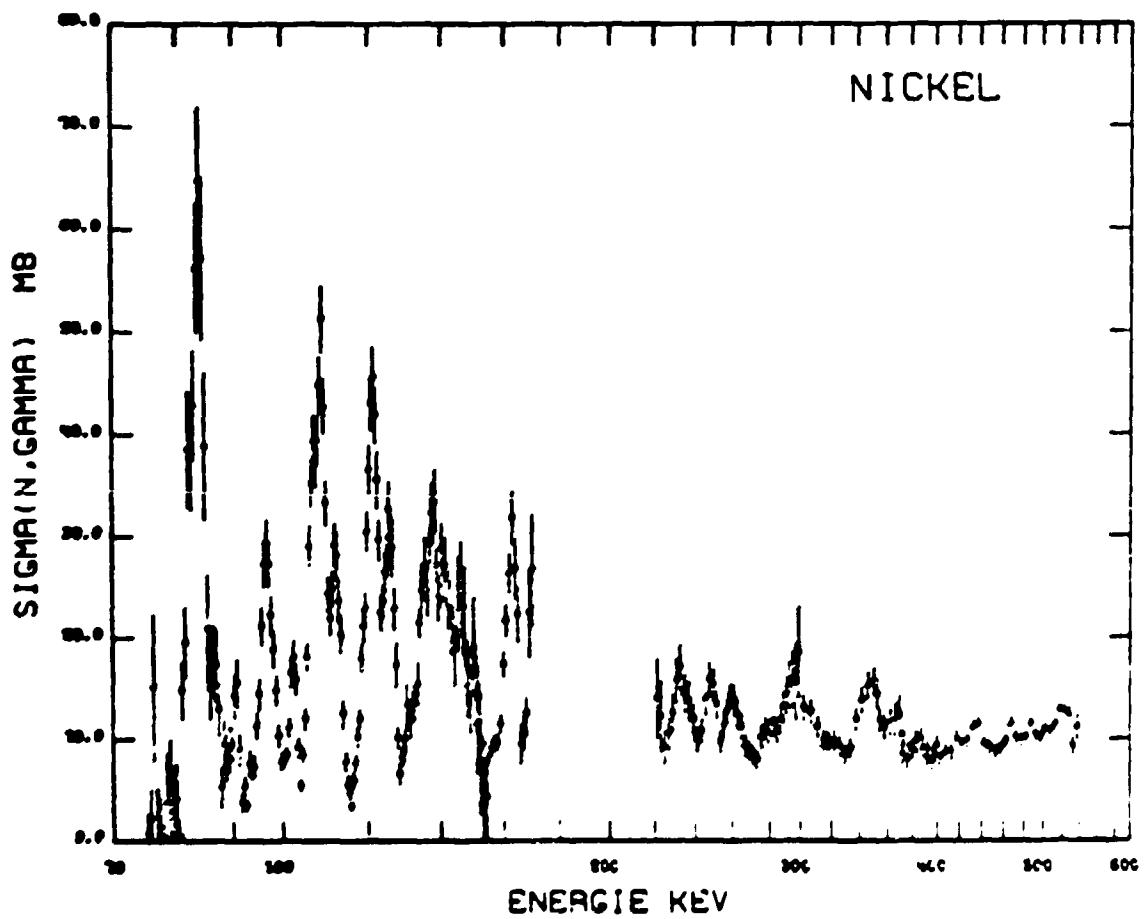
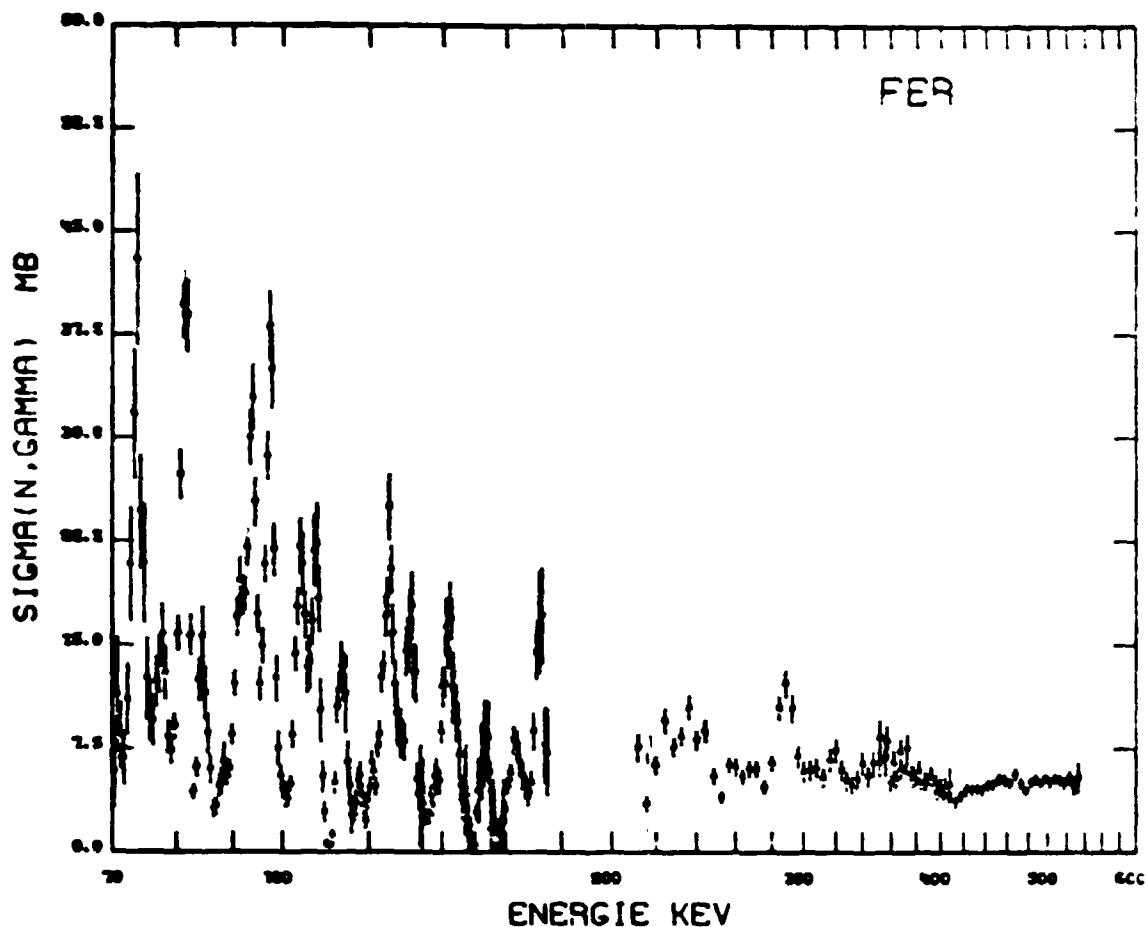
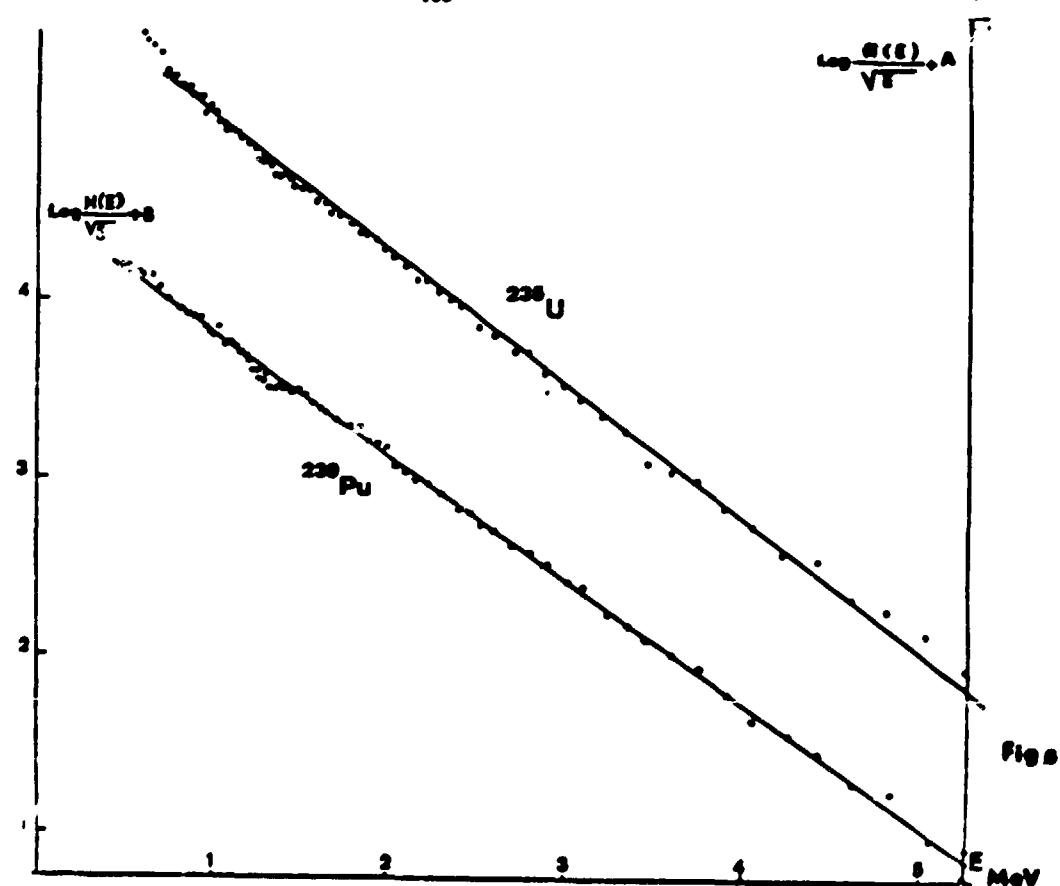
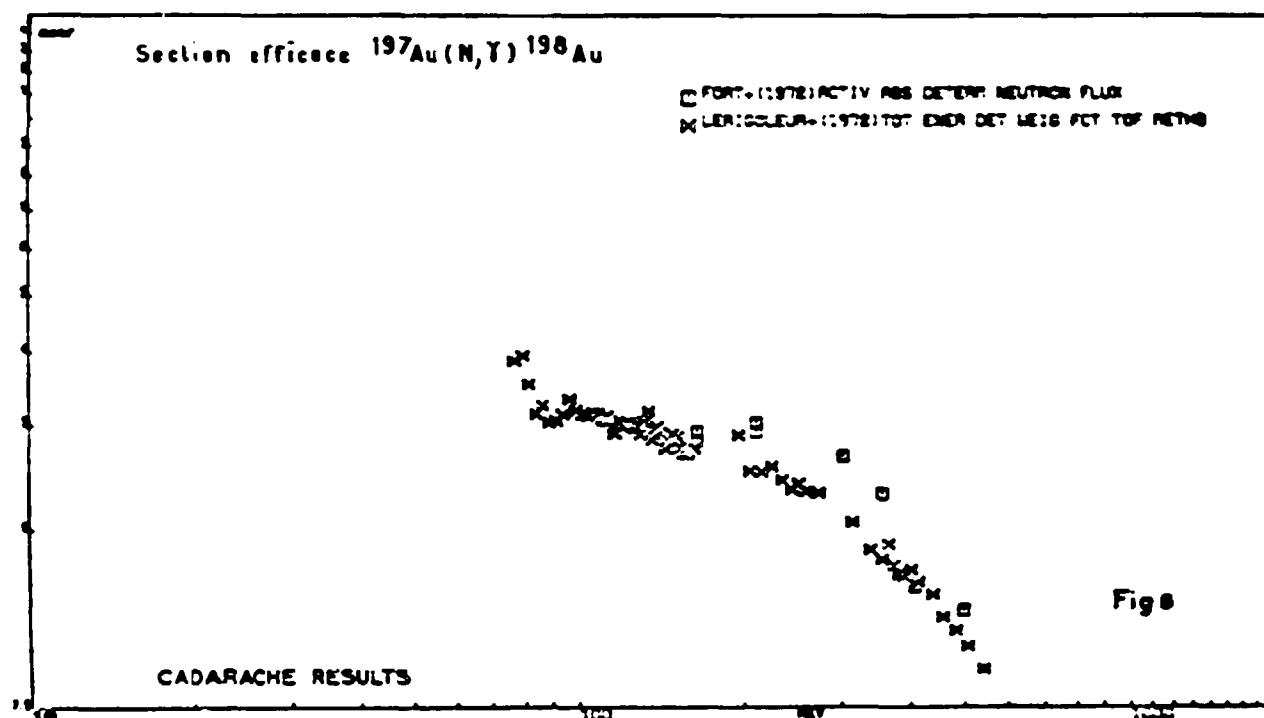
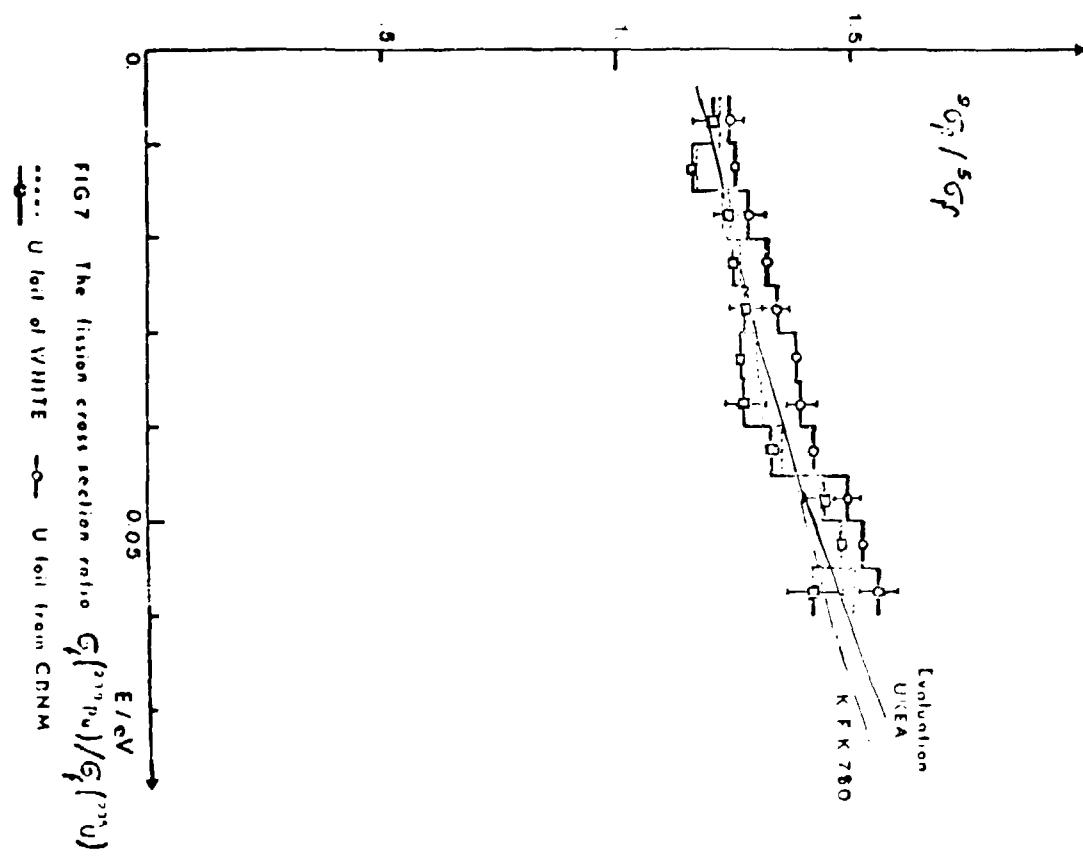
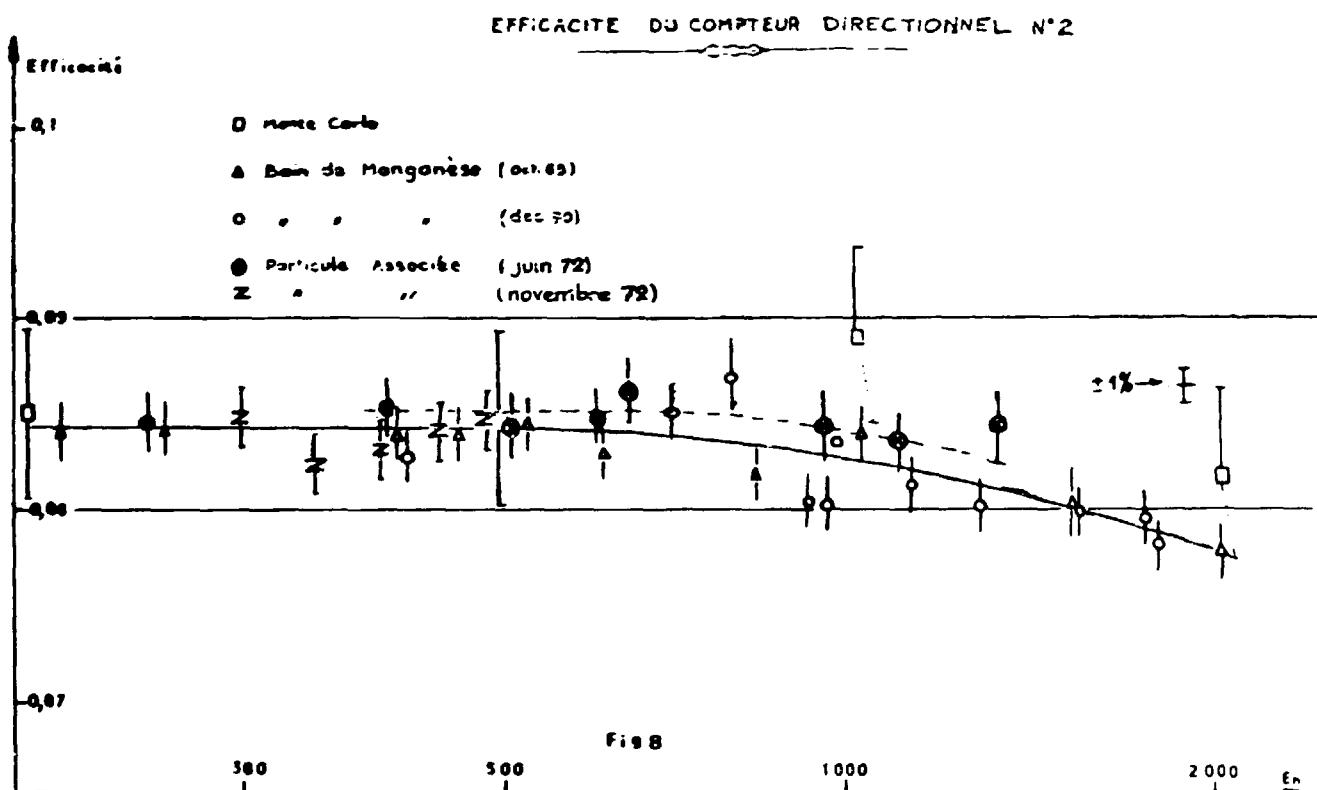


FIG. 3
FIG. 4







III. SERVICE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE - C.E.A. - BRUYERES-LE-CHATEL

A. MICHAUDON, D. DIDIER, M. SOLEILHAC.

Au cours de l'année 1972, plusieurs décisions importantes ont été prises pour l'ensemble de la physique nucléaire à la Direction des Applications Militaires du Commissariat à l'Energie Atomique ; à savoir :

1°/ le regroupement hiérarchique des activités expérimentales dans une même unité appelée le Service de Physique Nucléaire .

2°/ le regroupement géographique de ces activités au Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel (appelé CEB.3) . Ce regroupement doit être achevé vers le mois d'Avril 1973 lorsque les travaux de construction des bâtiments seront terminés . Le Service de Physique Nucléaire aura alors au CEB.3 un équipement bien adapté à la physique du neutron qui comprendra plusieurs accélérateurs dont un Van de Graaff Tandem pulsé, du type EN, un Van de Graaff 4 MeV pulsé et plusieurs autres petits accélérateurs .

3°/ l'ouverture du Service de Physique Nucléaire qui sera placé dans une zone libéralisée dont l'accès sera soumis aux règles usuelles pour les Centres d'Etudes Nucléaires du Commissariat à l'Energie Atomique . En particulier, le Service de Physique Nucléaire pourra accueillir des collaborateurs étrangers . L'ouverture du Service dépend de constructions qui devraient être finies pour le printemps 1973 . A ce moment, les calculs scientifiques du Service seront effectués sur l'ordinateur IBM 360/91 du CEN Saclay grâce à une liaison téléphonique et un terminal lourd IRIS 45 installé dans la zone libéralisée du CEB.3 .

Enfin, le rattachement au Service de Physique Nucléaire d'une dizaine de théoriciens et d'évaluateurs, en provenance d'une autre unité de la DAM, était annoncé au début de l'année 1973 .

Les activités du Service de Physique Nucléaire, tel qu'il existait en 1972, sont décrites brièvement ci-dessous .

1. APPAREILLAGE

1.1 - Accélérateurs (A. DANDINE, M. GAUTIER)

Il a été décidé de transformer le Van de Graaff Tandem EN en super EN pour atteindre une tension d'accélération de 7 MV ; l'opération sera réalisée par la Société HVEC . Cette modification consiste à utiliser un mélange gazeux contenant 30% de SF⁶ et à changer les tubes à électrodes d'aluminium par des tubes à électrodes d'acier .

Le Van de Graaff 4 MeV du Centre d'Etudes de Limeil sera implanté au Centre de Bruyères-le-Châtel au cours du 1er Semestre 1973 .

1.2 Ordinateurs (Y. JEHANNOT DE PENQUER)

L'acquisition en ligne et le prétraitement des données pour l'ensemble du Service seront assurés grâce à plusieurs ordinateurs:

- 1 ordinateur CII 10.020 couplé à deux autres calculateurs CII 10.020 à configuration réduite ; ces appareils sont déjà installés et sont affectés surtout au Van de Graaff Tandem.
- 1 ordinateur MITRA 15 qui est commandé et qui sera affecté surtout au Van de Graaff 4 MeV.

1.3 Divers

Un spectrographe magnétique SPLIT-POLE a été installé auprès du Van de Graaff Tandem. La détection des particules chargées sera assurée sur cet appareil à l'aide de détecteurs à localisation ; des plaques nucléaires seront également utilisées pour les étalonnages.

2. REACTIONS ENTRE PARTICULES CHARGEES

2.1 Etude de la réaction de Break-up ($d + d \rightarrow n + p + d$) (G. AMBROSINO, F. COGU, G. MAGNANI)
Nous avons monté une expérience pour l'étude de la réaction $d + d \rightarrow n + p + d$ en utilisant une cible gazeuse.

Les coïncidences neutron-deuteron et neutron-proton ont été mesurées pour des énergies des deutérons incidents inférieures à 12 MeV et pour un couple d'angles $\theta_n = 20^\circ$ et $\theta_D = \theta_p = -20^\circ$.

La discrimination des particules chargées se fait par mesure de la différence de temps de vol neutron - particule chargée.

Une étude théorique est entreprise pour le calcul des différentes amplitudes de transition intervenant dans ce processus de réaction. La force nucleon - nucleon choisie est un potentiel gaussien avec interaction spin - spin.

3. REACTIONS (PARTICULE CHARGEE - NEUTRON)

3.1 Étalonnage d'un spectromètre à neutrons : (A. ADAM, J.C. PONCE)

Six chaînes de détection pour la spectrométrie des neutrons par temps de vol ont été étalonnées : Les ensembles de détection sont constitués d'un scintillateur liquide de NE 213 de diamètre 4" et d'épaisseur 1" couplé à un photomultiplicateur XP 1041. Les neutrons sont produits sur l'accélérateur Tandem Van de Graaff ou sur le Van de Graaff 2,5 MeV en utilisant les réactions D (d, n) ^3He et T (d, n) ^4He sur cibles minces de polyéthylène deutétré (50 $\mu\text{g/cm}^2$) sur support de carbone (30 $\mu\text{g/cm}^2$) ou en titane auto-supporté (150 $\mu\text{g/cm}^2$) chargé de tritium. L'efficacité de chaque ensemble est mesurée en utilisant la technique de la particule associée détectée vers l'avant. Les figures (1) et (2) représentent pour deux conditions expérimentales différentes les spectres en amplitude des particules chargées détectées et le spectre de temps de vol des neutrons correspondants.

Sur la figure (3) nous comparons ces valeurs d'efficacités mesurées aux valeurs calculées en utilisant le programme de simulation OS S (référence [1]) que nous avons adapté sur un ordinateur CII 10070.

3.2 Réaction $^{89}\text{Y} (\text{d},\text{n}) ^{90}\text{Zr}$ (A. ADAM)

Nous avons mesuré la distribution angulaire des neutrons émis dans la réaction $^{89}\text{Y} (\text{d},\text{n}) ^{90}\text{Zr}$ pour une énergie de deutons incidents de 11,5 MeV. Nous présentons un spectre de temps de vol et les distributions angulaires des neutrons diffusés élastiquement et inélastiquement correspondant à l'état fondamental et aux premiers niveaux excités du ^{90}Zr (figures 4 et 5).

4. NEUTRONS RAPIDES

4.1 Diffusion élastique et inélastique sur ^{11}B , ^{12}C , ^{32}S , ^{197}Au (G. RAVAT, F. COU)

Les distributions angulaires des neutrons diffusés élastiquement et inélastiquement ont été étudiées par la technique du temps de vol en faisceau pulsé sur l'accélérateur Van de Graaff Tandem. Nous disposons de quatre chaînes de détection. Les sections efficaces différentielles sont déterminées tous les 10° entre 20° et 160° . Les éléments que nous étudions actuellement sont les suivants :

- B^{11}

(59) Outre la diffusion élastique, nous avons observé les neutrons de la diffusion inélastique correspondant aux états excités à : $2,124 \pm 4,444 \pm 5,019 \pm (6,743 \pm 6,70)$ MeV pour des neutrons incidents d'énergie : $8,03 \pm 0,08 \pm 8,50 \pm 0,08$ et $9,05 \pm 0,06$ MeV.

- C^{12}

(61, 62, 63) Nous avons prolongé l'étude sur le carbone en mesurant les distributions angulaires des neutrons diffusés par l'état fondamental et par le 1er état excité 4,430 MeV pour des neutrons incidents d'énergie : $8,03 \pm 0,08 \pm 8,50 \pm 0,08 \pm 9,05 \pm 0,06 \pm 10,10 \pm 0,05$ et $11,12 \pm 0,05$ MeV.

Pour ces deux noyaux les sections efficaces ne sont pas encore corrigées des diffusions multiples.

S^{32} En = $8,03 \pm 9,05 \pm 10,10$ MeV

Principaux niveaux observés : fondamental = $2,24 \pm 3,78 \pm (4,29 \pm 4,46 \pm 4,70) \pm 5,01 \pm (5,41 \pm 5,50)$ MeV. Les résultats expérimentaux sont en bon accord avec ceux de B. HOLMQVIST (élastique à 8,03 MeV) (Réf [2]) et ceux de BRANDENBERGER et al référence [3] à 8,03 et 9,05 MeV (figure (6)).

Au^{197}

Nous avons observé la diffusion élastique et le continuum inélastique sur l'or à $8,03 \pm 9,05 \pm 10,11 \pm 11,12$ MeV (figure (7)).

Nous comparons, pour tous ces éléments, les résultats expérimentaux avec les prévisions du modèle optique des théories de BUUSER-FESHbach (noyau composé statistique) et des équations couplées (interaction directe).

.../...

5. REACTIONS PRODUCTRICES DE RAYONS γ

5.1 Etude des réactions ($n, x \gamma$) sur le Silicium, le Chrome et le Fer (GRENIER C.)

(132,
198,
199,
200,
201,
242,
243,
244,
245,
246) Des mesures de sections efficaces de production de rayonnement gamma ont été réalisées sur le Van de Graaf 4 MeV de Limeil en utilisant un ordinateur CII 10020 comme organe d'acquisition et de traitement des données. Un programme de dépouillement automatique de spectres a été mis au point.

A - Energie des neutrons incidents 14,1 MeV.

Les neutrons sont produits par la réaction $T (d, p)^4\text{He}$; on utilise la technique de la particule associée. Le rayonnement gamma est détecté à 90° et 55° à l'aide d'un spectromètre gamma décrit dans la référence [4].

Les résultats obtenus sont reportés sur les tableaux 1, 2 et 3.

- Silicium : $E_\gamma = 1779$ keV

Le seul résultat expérimental de 28,8 mb/sr donné par BUCHANAN et al [5] correspond à $E_n = 14,8$ MeV $\theta = 90^\circ$, pour la tranche d'énergie gamma 1,5 - 2 MeV. Bien que ce résultat ne puisse être comparé rigoureusement à notre valeur de 23,3 mb/sr on peut dire cependant qu'il y a un bon accord.

- Chrome : $E_\gamma = 1435$ keV

La valeur de 52,3 mb/sr que nous trouvons à 55° est très inférieure à la valeur de 103,6 mb/sr obtenue par TUCKER et al [6] pour ce même angle. Par contre notre résultat à 90° de 49,5 mb/sr est parfaitement compatible avec la valeur de 65,6 mb/sr donné par BUCHANAN et al [5] pour la tranche d'énergie 1,5 - 2 MeV. D'autre part notre valeur à 55° s'accorde bien avec la valeur de 56 ± 7 mb/sr obtenue en divisant par 4π la section efficace donnée par BRENNLICH et al [7].

- Fer

Les sections efficaces différentielles obtenues pour les raies 847 et 1240 keV peuvent être comparées aux résultats antérieurs dans le tableau 4 :

E (keV)	[5] COLBERG	[6] EXCESSOR	- JONSSON	[7] BUCHANAN	[2] BUCHANAN	[8] SUKANOV	[4] BRENNLICH	[9] LAOUAT et al	Nos résultats
	$E_n = 14$ MeV $\theta = 90^\circ$	$E_n = 14,7$ MeV $\theta = 90^\circ$	$E_n = 15$ MeV $\theta = 90^\circ$	$E_n = 14$ MeV $\theta = 90^\circ$	$E_n = 14,4$ MeV $\theta = 90^\circ$	$E_n = 14,4$ MeV $\theta = 90^\circ$	$E_n = 14,4$ MeV $\theta = 90^\circ$	$E_n = 14,1$ MeV $\theta = 90^\circ$	
847	49 ± 13	$57,6 \pm 5,8$	$68,2 \pm 0,7$	$86,1 \pm 1,7$	52 ± 8	$44,2 \pm 6,2$ ^x	65	$46,1 \pm 3,8$	
1240	28 ± 7	$23 \pm 2,3$	$19,6 \pm 0,6$	57 ± 11	20 ± 3		42	$22,2 \pm 2,2$	

* valeur obtenue en divisant par 4π la section efficace donnée par BRENNLICH et al [7]

Tableau 4 : Sections efficaces différentes des niveaux à 847 keV et 1240 keV de la réaction ($n, x \gamma$) aux alentours de 14 MeV. Comparaison des résultats.

B - Energie des neutrons incidents comprise entre 2 et 7 MeV

Les neutrons sont produits par un faisceau pulsé de l'accélérateur Van de Graaff 4 MeV à l'aide des réactions D (dn) ^3He et T (pn) ^3He .

Le spectromètre gamma est placé à 55°.

L'exploitation de ces ressources est en cours.

5.2 Etude des réactions ($n n'\gamma$) sur ^{56}Fe , ^{23}Na et Nickel naturel (J. SIGAUD, Y. FATIN, J. LACHÈRE)

(104, A - Les sections efficaces de production de rayonnements gamma par la réaction ^{56}Fe
105, ($nn'\gamma$) ont été mesurées à 90° dans la gamme d'énergie de neutrons incident : 4.8 -
106, 8.8 MeV. Les mesures ont été effectuées avec un pas en énergie de neutrons de 500 keV.
107, et avec une dispersion de \pm 100 keV de 4.8 à 5.3 MeV et de \pm 50 keV de 5.3 à 8.8 MeV.
108,
109,
326, Les transitions suivantes ont été étudiées : 846.8 keV, 1238.3 keV, 1810.3 keV,
327, 2113.2 keV, 2273.2 keV, 1037.8 keV, 2523.8 keV, 1303.0 keV, 2598.6 keV et 2602.5 keV,
328, 2757 et 2761 keV, 2984.5 keV, 1771.5 keV, 3663.4 keV et 3548.1 keV. À l'énergie
incidente de 8.8 MeV, les distributions angulaires des rayonnements γ sont obtenues
pour les transitions suivantes : 846.8 keV, 1238.3 keV, 1810.3 keV, 2113.2 keV,
2273.2 keV, 1037.8 keV, 2523.8 keV, 1303.0 keV, 2600 keV, 2987.5 keV et 3600 keV.

Ces résultats ont été comparés, d'une part, aux résultats précédemment publiés et, d'autre part, aux résultats obtenus dans l'hypothèse d'un mécanisme résonant par le formalisme d'HAUSER et FESHEACH.

B - Les sections efficaces de production de rayonnements gamma par diffusion inélastique de neutrons sur ^{23}Na ont été mesurées à 12 angles compris entre 20° et 135° et à quatre énergies de neutrons incidents (6.3 MeV, 7.3 MeV, 8.3 MeV, 8.8 MeV). Les transitions suivantes ont été étudiées : 439 keV, 627 keV, 1038 keV, 1632 keV, 1771 keV, 2078 keV, 2265 keV, 2391 keV, 2540 keV, 2640 keV, 2982 keV, 3240 keV, 3913 keV et 4430 keV.

Une étude similaire a été faite pour Ni naturel à deux énergies de neutrons incidents 8.3 MeV et 8.8 MeV. Les transitions suivantes ont été étudiées : 467 keV, 862.4 keV, 1005 keV, 1160.9 keV, 1173 keV, 1332 keV, 1454 keV, 1583.6 keV, 1798 keV et 2061 keV.

La précision obtenue est comprise entre 10 et 20 pour cent. L'interprétation théorique des résultats expérimentaux est en cours.

.../...

6. ETUDES SUR LA FISSION

6.1 Mesure de \bar{v} dans les résonances du ^{239}Pu (J. FREHAUT, G. MOSINSKI, en collaboration avec D. MACKLETON et J. TROCHON CEN Saclay).

Une mesure précise de \bar{v} dans les résonances du ^{239}Pu a été réalisée auprès de l'accélérateur linéaire de 60 MeV de Saclay par la méthode du scintillateur liquide [13]. Nous avons également mesuré dans la même expérience les variations de l'énergie moyenne \bar{E}_γ des rayons gamma prompts de fission en analysant l'impulsion fournie par le scintillateur liquide. Nous avons déterminé les valeurs de \bar{v} et de \bar{E}_γ pour toutes les résonances résolues de spin connu induites par des neutrons d'énergie inférieure à 250 eV et pour quelques résonances prononcées comprises entre 250 et 404 eV.

Des résultats préliminaires ont déjà été publiés pour des énergies de neutrons incidents inférieures à 110 eV [14].

Les fluctuations de \bar{v} que nous observons sont en bon accord avec les résultats de WESTON et TODD [15].

Sur la figure 8, nous avons porté les valeurs de \bar{v} et de \bar{E}_γ pour les résonances $J^\pi = 1^+$ (échelle relative pour \bar{E}_γ). Une très nette anticorrélation existe entre les fluctuations de \bar{v} et \bar{E}_γ . Les résonances pour lesquelles \bar{E}_γ est grand et \bar{v} petit ont des largeurs de fission Γ_f faibles. Nous avons porté les valeurs de Γ_f de BLOIS et coll. [16] au dessus des points expérimentaux.

Les valeurs de \bar{v} et de \bar{E}_γ pour les résonances $J^\pi = 0^+$ sont portées sur la figure 9. Les valeurs de \bar{E}_γ sont hautes pour les résonances ayant $\Gamma_f < 200$ meV. Les variations de \bar{v} semblent être d'origine statistique.

Une interprétation de ces résultats a été proposée par TROCHON [17] [14]. L'effet observé est directement lié à l'existence de la réaction $(n, \gamma f)$. Nous observons également en plus de l'effet lié à la réaction $(n, \gamma f)$, une légère corrélation de \bar{v} et \bar{E}_γ avec les spins des résonances.

Une calibration précise en énergie de la réponse du détecteur aux rayons gamma, actuellement en cours, devrait nous permettre de confirmer cette interprétation et de préciser si l'énergie d'excitation perdue par émission de rayons gamma et de neutrons dépend du spin ou non [14].

.../...

6.2 Etude des résonances de fission sous le seuil corrélées avec le rapport de masses des fragments dans ^{239}Pu (d,p f) (J. SICAUD, Y. PATIN, J. LACHKAR)

Nous avons mesuré, dans la réaction ^{239}Pu (d,pf), l'excitation des résonances de fission sous le seuil et l'anisotropie des fragments par rapport à la direction de recul du noyau ; nous avons étudié la variation de ces grandeurs en fonction de l'énergie d'excitation du noyau fissionnant et du rapport des masses des fragments de fission.

Les deutérons incidents sont accélérés à l'énergie de 12,5 MeV par le Van de Graaff Tandem EN. Les protons sont détectés à 90° par rapport au faisceau incident et discriminés des autres particules à l'aide d'un compteur télescope $\Delta E/E$. Un dispositif d'anti-empilements permet d'obtenir une résolution en énergie de 50 keV à fort taux de comptage. Deux paires de détecteurs semi conducteurs, disposés dans le plan formé par le faisceau et l'axe de détection des protons, enregistrent les énergies cinétiques des fragments de fission émis dans l'axe de recul du noyau ainsi que dans une direction perpendiculaire. Les masses des fragments sont calculées par une méthode analogue à celle utilisée par SCHMITT [18]. Un total de 325.000 coïncidences réelles a été enregistré. Les variations de l'anisotropie et de l'énergie cinétique totale des fragments sont en accord avec les résultats précédemment publiés [19]. Le spectre des protons en coïncidence avec tous les fragments présente des structures de type résonant centrées autour de 4.4 MeV, 5 MeV, 5.45 MeV, 5.65 MeV et 6 MeV. L'analyse des spectres des protons en coïncidence avec des fragments de masses données fait apparaître une dépendance de l'excitation relative des résonances sous le seuil avec les masses des fragments considérées. Une telle dépendance apparaît aussi dans l'anisotropie des fragments de fission.

Le dépouillement des résultats expérimentaux est en cours.

7. EVALUATION DE CONSTANCES NUCLEAIRES - THEORIE

7.1 Diffusion élastique et inélastique de neutrons (E. DUCHEMIN)

Nous avons poursuivi l'étude de la diffusion inélastique sur les niveaux à 1 et 3 MeV du ^{59}Co et du ^{52}Cr pour une énergie de neutrons supérieure à 4 MeV. En appliquant les méthodes utilisées dans le cas du Fer on constate que la densité des niveaux de CAMERON [20], trop grande, doit être modifiée.

7.2 Structure nucléaire

Nous avons appliqué la méthode BCS + TDA (TAMM-DANCOFF) pour des noyaux impairs-impairs de la région du Pb et du Ni : Il est nécessaire d'introduire une force tenseur du type S.D.I. [21] pour expliquer les spectres du ^{210}Bi et du ^{206}Tl . On obtient une densité de niveaux satisfaisante et un spin correct pour le niveau fondamental du ^{206}Tl en utilisant une force effective de paramètres :

$$A_0 = 0,125, \quad A_1 = 0,092, \quad C_0 = -0,05, \quad C_1 = 0,05$$

REFERENCES

- [1] TEXTOV RE. VERBIENSKI V.V. ORNL 4160 (1968)
- [2] HOLMQUIST. B. AE 366 1969 - AKTIEBOLAGET ATONERGI - STUDSVIK - NYKOPING-SWEDEN
- [3] BRANDENBERGER et al. Nucl. Phys. A 196 n° 1 1965
- [4] CRENIER G., POUSSIER C. Rapport CEA R 3562
- [5] BUCHANAN P.S. et al ORO 2791-32 (1971)
- [6] TUCKER W.E. et al ORO 2791-30 (1969)
- [7] BRENNLICH W et al Zeitschrift für Naturforschung Band 26 a (1971) 451-457
- [8] GOLDEBERG MD et al BNL 400, 2 nd ed, 1962
- [9] ENGESELLER FC et al Journal of Nuclear Energy Vol 2, 1967, pp 487 - 507
- [10] JONSSON B et al Arkiv för Fysik Band 39 (1969) 295-311
- [11] SUKANOV B.I et al Jadernaja Fizika T 11 Fasc 1 (1970) 33-55
- [12] MAOUAT et al Rapport interne
- [13] SHACKLETON D., FREHAUT J., LE BARS M. conf. Nucl. Phys. AIX-EN-PROVENCE II (1972) 24
- [14] SHACKLETON D., FREHAUT J., LE BARS M., TROCHON J., Phys. Lett. 42 B (1972) 344
- [15] WESTON. L., TODD. J., Conf. Neutron cross sections and technology University of TENNESSEE 2 (1971) 661
- [16] BLONS. J., DERRIEN. H., MICHAUDON A., Nucl. Data for Reactors, IAEA, I (1970) 513
- [17] RYABOV. Yu, TROCHON J., SHACKLETON D., soumis à Nucl. Phys.
- [18] SCHMITT H.W., NEILLER. J.H., WALTER F.J. Phys. Rev. 141 (1966) 1146
- [19] NORTHRUP. J.A., STOKES R.H., BOYER K., Phys. Rev. 115 (1959) 1277
BACK E.B., BONDORF J.P., OSTROSCHEKO G.A., PEDERSEN J., RASMUSSEN B.,
Nucl. Phys. A 165 (1971) 449
- SPECHT H.J., FRASER J.S., MILTON J.C.D., Phys. Rev. Lett. 17 (1966)
and Physics and Chemistry of Fission VIENNA 1969 p 363
and Conf. Nucl. Phys., AIX EN PROVENCE II (1972) 17.
- BRITT H.C., RICKY F.A., HALL W.S., Phys. Rev. 175 (1968) 1525
- [20] GILEERT and CAMERON Can. Journ. of Phys. 43 (1965) 1446
- [21] EVERAERT and STOCKER Phys. Lett. 33B 8 (1970) 559.

Energie observée (MeV)	Réactions et transitions probables	Sections efficaces différentielles (mb/m²)		Remarques
		35°	90°	
902	$^{20}_{\text{Be}}(\text{n},\gamma) ^{20}_{\text{Al}}$ 1,017 → 0,931	2,3 ± 0,7	4 ± 1	
	$^{20}_{\text{Be}}(\text{n},\gamma) ^{21}_{\text{Be}}$ 0,975 → 0 1,963 → 0,975			
1630	$^{20}_{\text{Be}}(\text{n},\gamma) ^{20}_{\text{Al}}$ 1,633 → 0	2,3 ± 0,6	3 ± 1,2	Temps très long. La différence de la même valeur par effet couplé pourrait sur- passer nos énergies courantes.
	$^{20}_{\text{Be}}(\text{n},\gamma) ^{21}_{\text{Be}}$ 1,614 → 0			
	$^{20}_{\text{Be}}(\text{n},\gamma) ^{20}_{\text{Al}}$ 1,633 → 0,931			
1770	$^{20}_{\text{Be}}(\text{n},\gamma) ^{20}_{\text{Be}}$ 1,779 → 0	22,3 ± 2,2	22,3 ± 2,2	
2030	$^{20}_{\text{Be}}(\text{n},\gamma) ^{20}_{\text{Be}}$ 4,617 → 1,779	3,7 ± 0,6	3,7 ± 0,7	

Tableau 1 : Sections efficaces différentielles de la réaction ($n,\gamma \nu$) pour le Silicium naturel

Energie observée (MeV)	Réactions et transitions probables	Sections efficaces différentielles mb		Remarques
		35°	90°	
646	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 3,409 → 2,766	4,3 ± 0,8	2,6 ± 0,8	
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 3,112 → 2,370	5,4 ± 0,7	4,8 ± 1	
708	$^{50}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{50}_{\text{Cr}}$ 0,780 → 0	1,7 ± 0,5	2,3 ± 0,8	
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 3,014 → 2,766	6,3 ± 1,6	3,2 ± 0,5	
936	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 2,370 → 1,634	15,5 ± 1,6	13,9 ± 1,5	Taux important des précautions d'ac- tiveur par rapport
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 1,007 → 0	1,2 ± 0,6	0,9 ± 0,4	
1043	$^{50}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{50}_{\text{Cr}}$ 1,100 → 0	1 ± 0,3		
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 2,648 → 1,634	3,8 ± 0,7	1,2 ± 0,6	
1266	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 3,614 → 2,370	1,9 ± 0,4	1 ± 0,5	
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 1,200 → 0	2,3 ± 0,6	1,3 ± 0,5	
1292	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 2,766 → 1,634	12,6 ± 1,3	11,2 ± 1,3	
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 1,436 → 0	32,4 ± 4,2	49,5 ± 0,4	
1435	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 2,965 → 1,634	3,5 ± 0,6	3,9 ± 0,8	
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 3,101 → 1,634	2,6 ± 0,6	3,4 ± 0,8	
1700	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 3,466 → 1,634	1,3 ± 0,2	1,3 ± 0,6	
	$^{52}_{\text{Cr}}(\text{n},\gamma) ^{52}_{\text{Cr}}$ 3,772 → 1,634	1,4 ± 0,3	2 ± 0,8	

Tableau 2 : Sections efficaces différentielles de la réaction ($n,\gamma \nu$) pour le Chrome naturel

Energie observée (MeV)	Réactions et transitions probables	Sections efficaces différentielles mb		Remarques
		35°	90°	
867	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{54}_{\text{Fe}}$ 0,667 → 0	48,6 ± 6	44 ± 3,8	
	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{55}_{\text{Fe}}$ 0,835 → 0	4,8 ± 0,7	5,7 ± 1,1	
1043	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{54}_{\text{Fe}}$ 3,112 → 2,086	4 ± 0,8	3 ± 0,7	
	3,122 → 2,086			
1240	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{54}_{\text{Fe}}$ 2,086 → 0,667	24,2 ± 1,9	22,1 ± 1,2	
	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{54}_{\text{Fe}}$ 3,386 → 2,086	8,8 ± 1	8,5 ± 1,3	
1410	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{55}_{\text{Fe}}$ 1,610 → 0	1,9 ± 0,5	2,1 ± 0,7	
	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{54}_{\text{Fe}}$ 1,409 → 0			
1612	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{54}_{\text{Fe}}$ 2,656 → 0,667	2,6 ± 0,6	3,9 ± 1,0	
	$^{54}_{\text{Fe}}(\text{n},\gamma) ^{54}_{\text{Fe}}$ 3,65 → 0,667	2,0 ± 0,7	3 ± 1	

Tableau 3 : Sections efficaces différentielles de la réaction ($n,\gamma \nu$) pour le Fer naturel

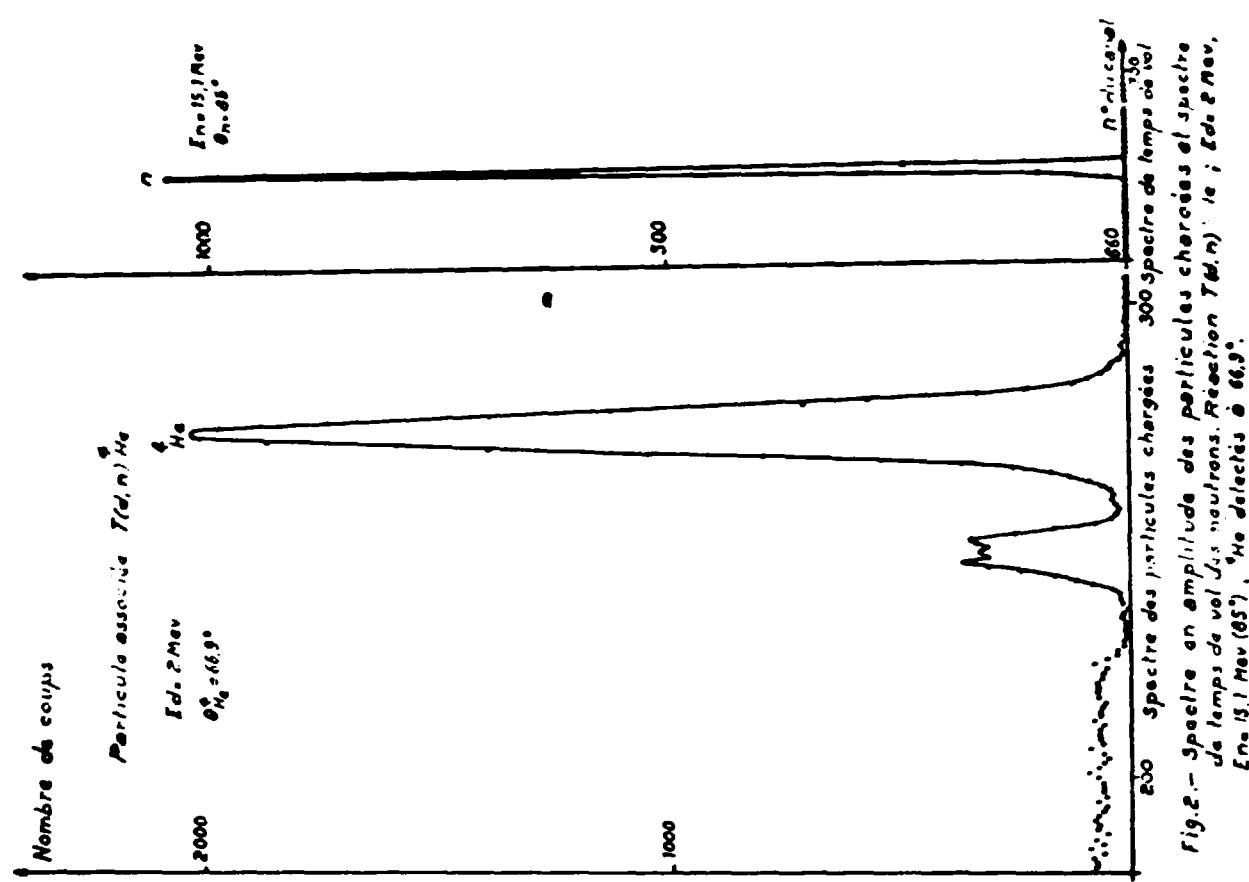


Fig.2.- Spectre d'amplitude des particules chargées 300 spectre des particules chargées
de temps de vol 300 spectre des particules chargées et spectre
des neutrons. Réaction $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$; $E_d = 2 \text{ Mev}$, $E_n = 0.19 \text{ Mev}$ (90°), ${}^3\text{He}$ détecté à 66.9° ,
 $E_n = 15.1 \text{ Mev}$ (85°), ${}^3\text{He}$ détecté à 66.9° .

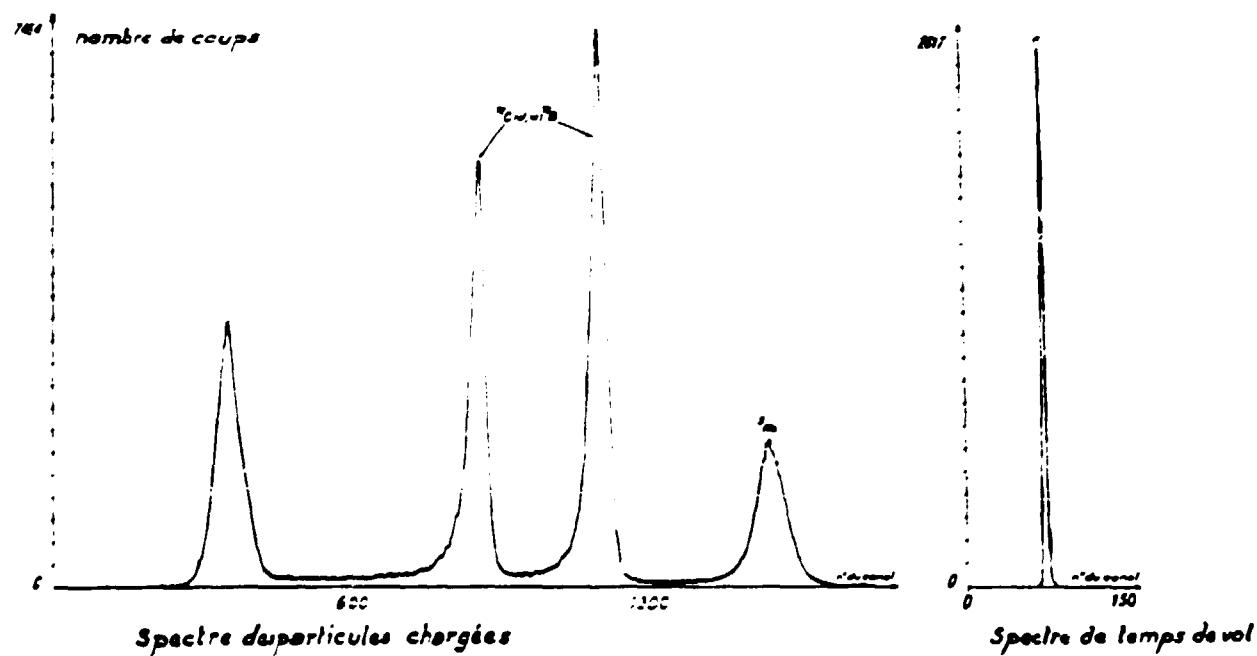


Fig.1.- Spectre d'amplitude des particules chargées et spectre de temps de vol des
neutrons.

Réaction $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$; $E_d = 7 \text{ Mev}$, $E_n = 0.19 \text{ Mev}$ (90°), ${}^3\text{He}$ détecté à 66.9° .

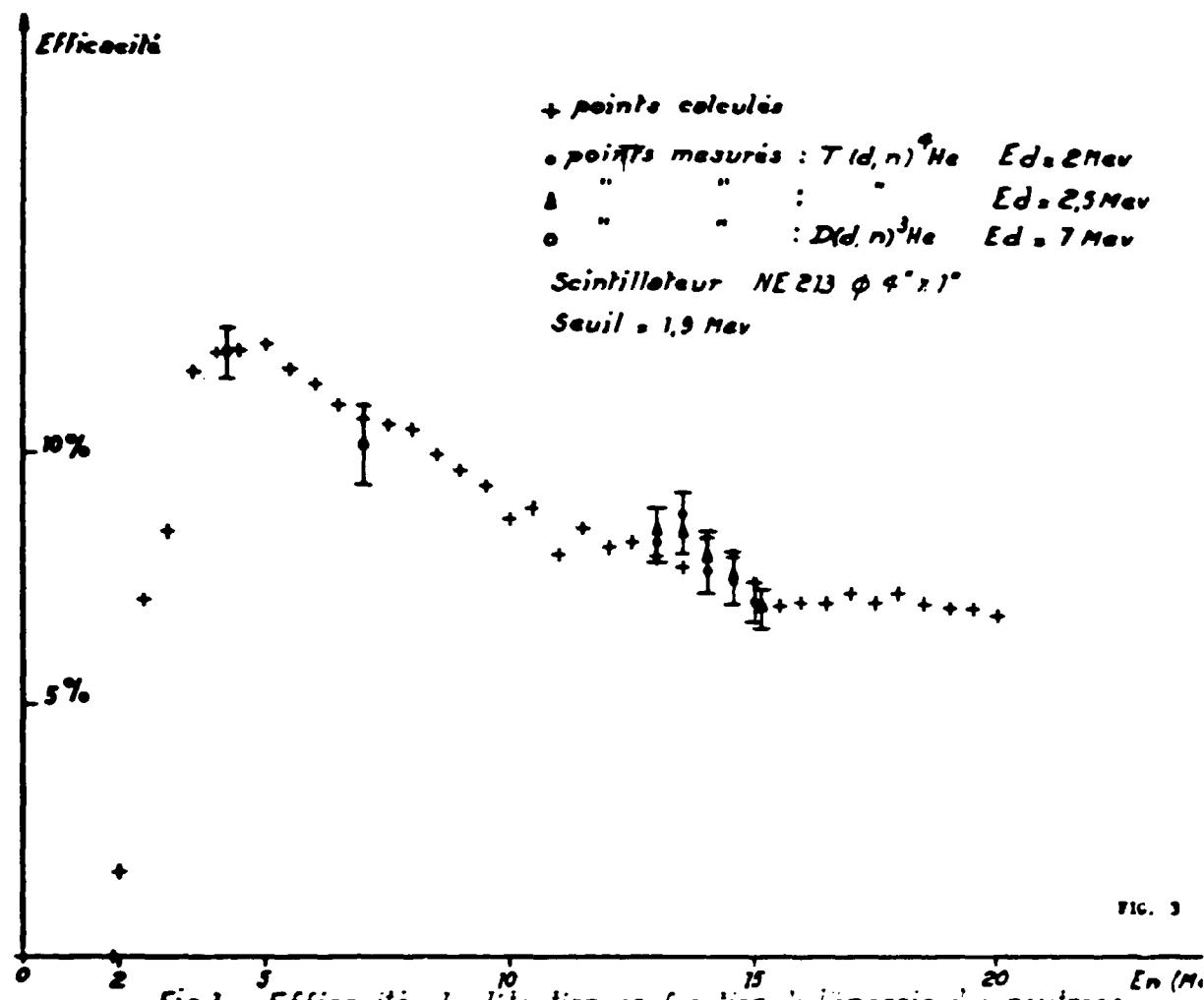


Fig.3.- Efficacité de détection en fonction de l'énergie des neutrons.

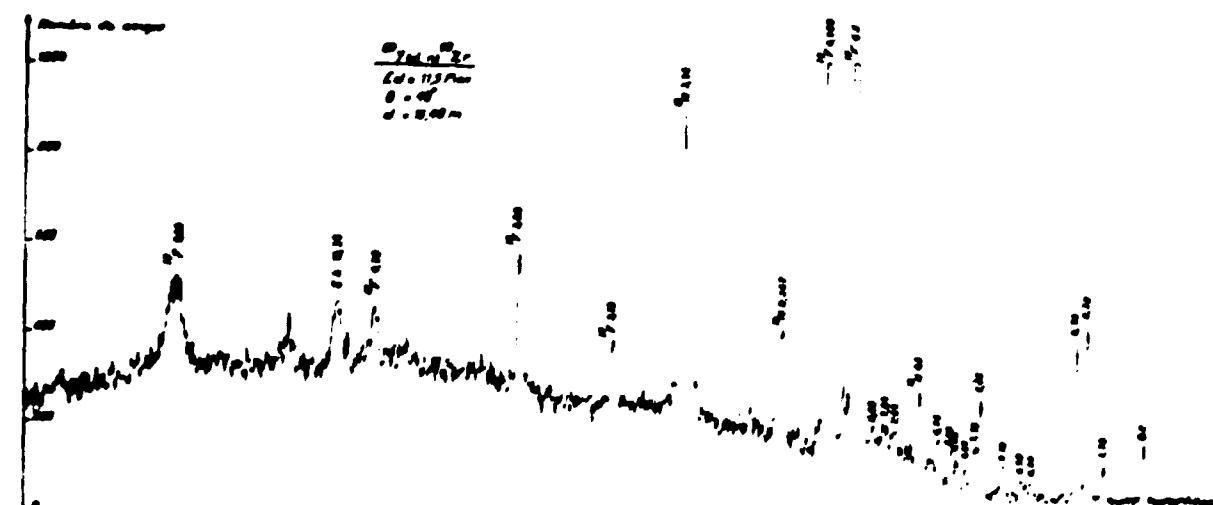


Fig.4 - Spectre de temps de vol des neutrons de la réaction $^{89}\text{Y}(d,n)^{90}\text{Zr}$.

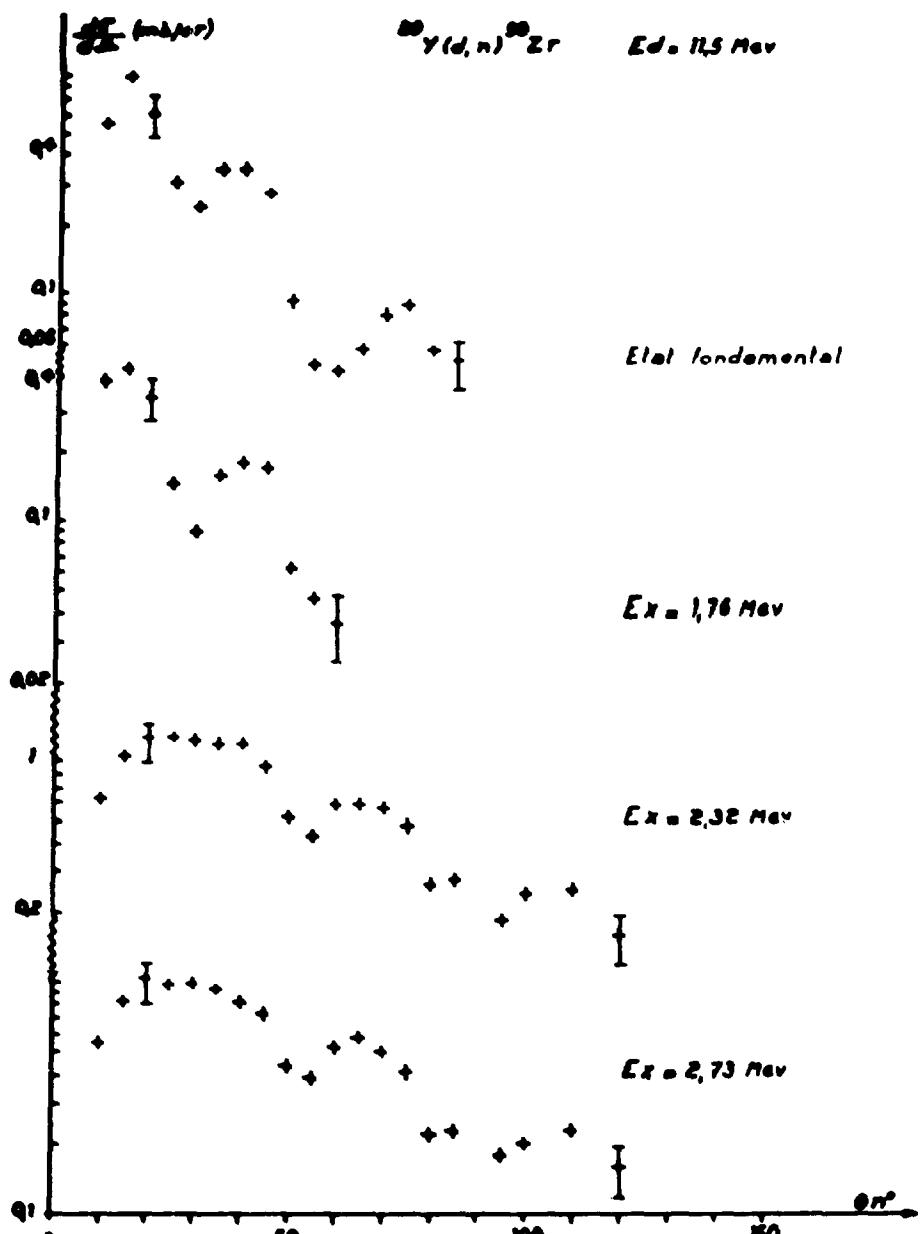


Fig. 5. — Distribution angulaire des neutrons de la réaction $^{89}\text{Y}(d, n)^{90}\text{Zr}$.

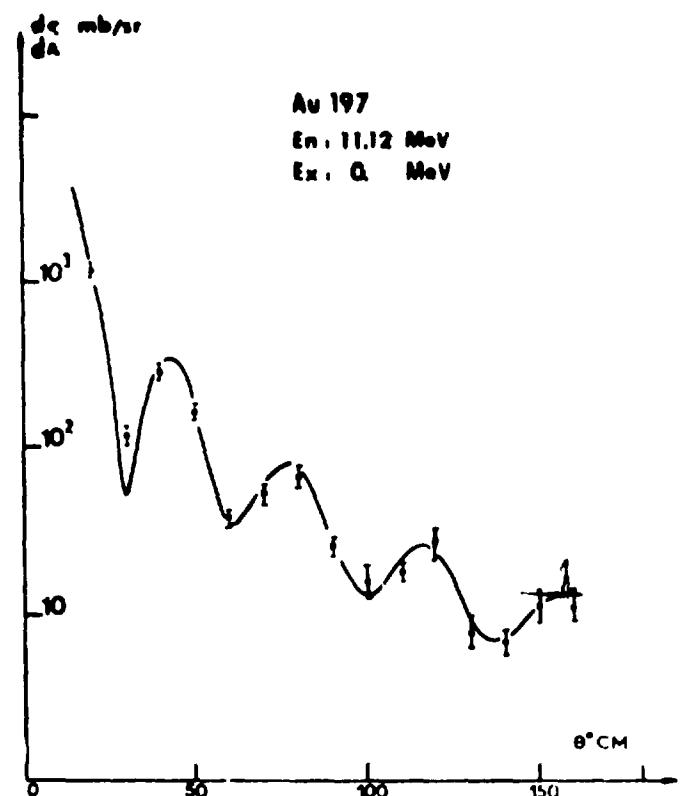


FIG. 6 : Diffusion élastique des neutrons sur Au^{197}

• Nos résultats expérimentaux
— calcul théorique (modèle optique)
 $V = 45.5 \text{ MeV}$ $R_0 = 1.23 \text{ fm}$ $Q = 0.65 \text{ fm}$
 $V = 8.79 \text{ MeV}$ $R_0 = 1.27 \text{ fm}$ $Q' = 0.69 \text{ fm}$
 $V_{SO} = 6.42 \text{ MeV}$

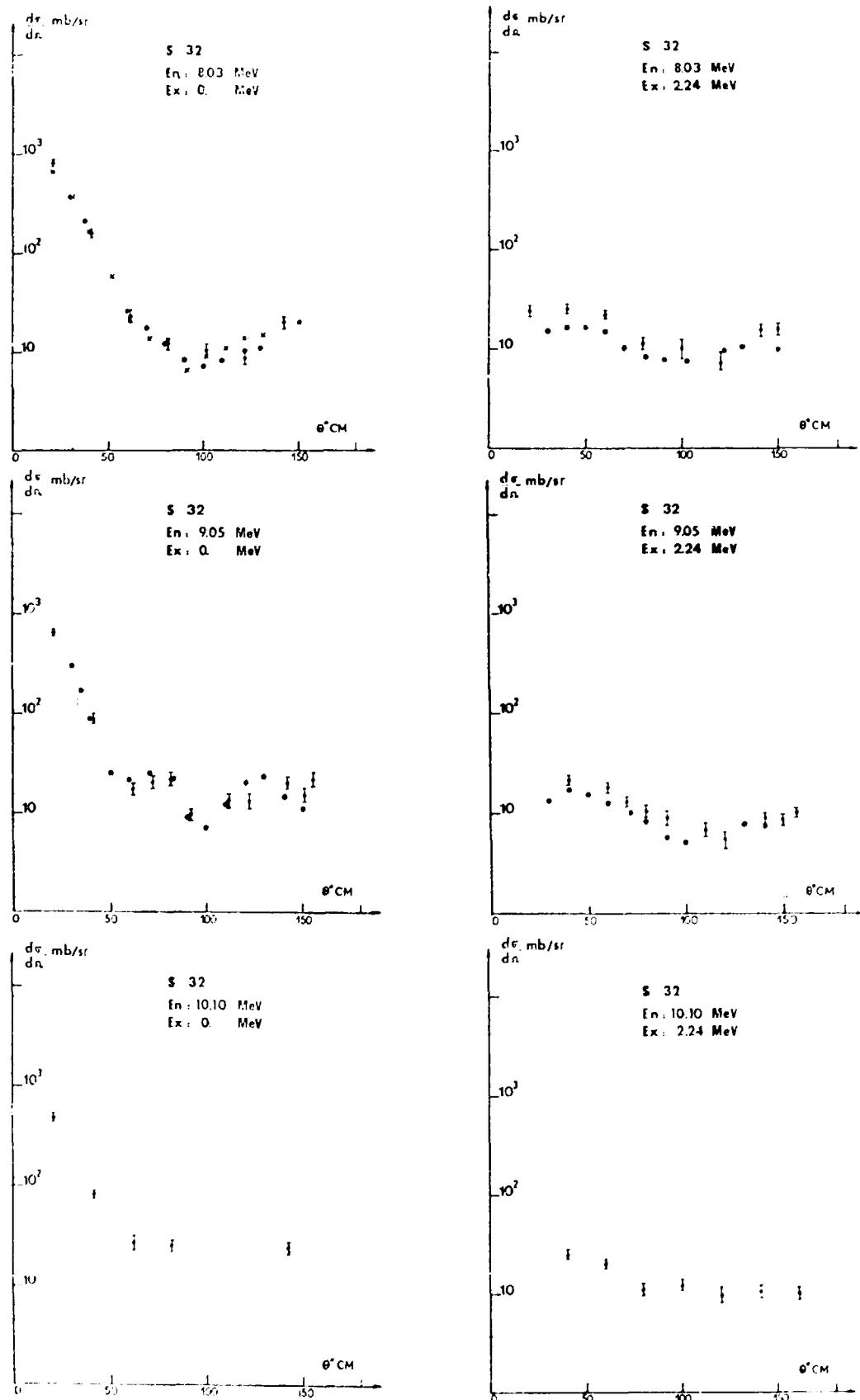


FIG. 6 : Diffusion élastique et inélastique des neutrons sur S^{32}

- † Résultats de B. JELLINEVIST (réf [2])
- Résultats de J.C. FRANDEMURGIER et al. (réf [3])
- Notre travail

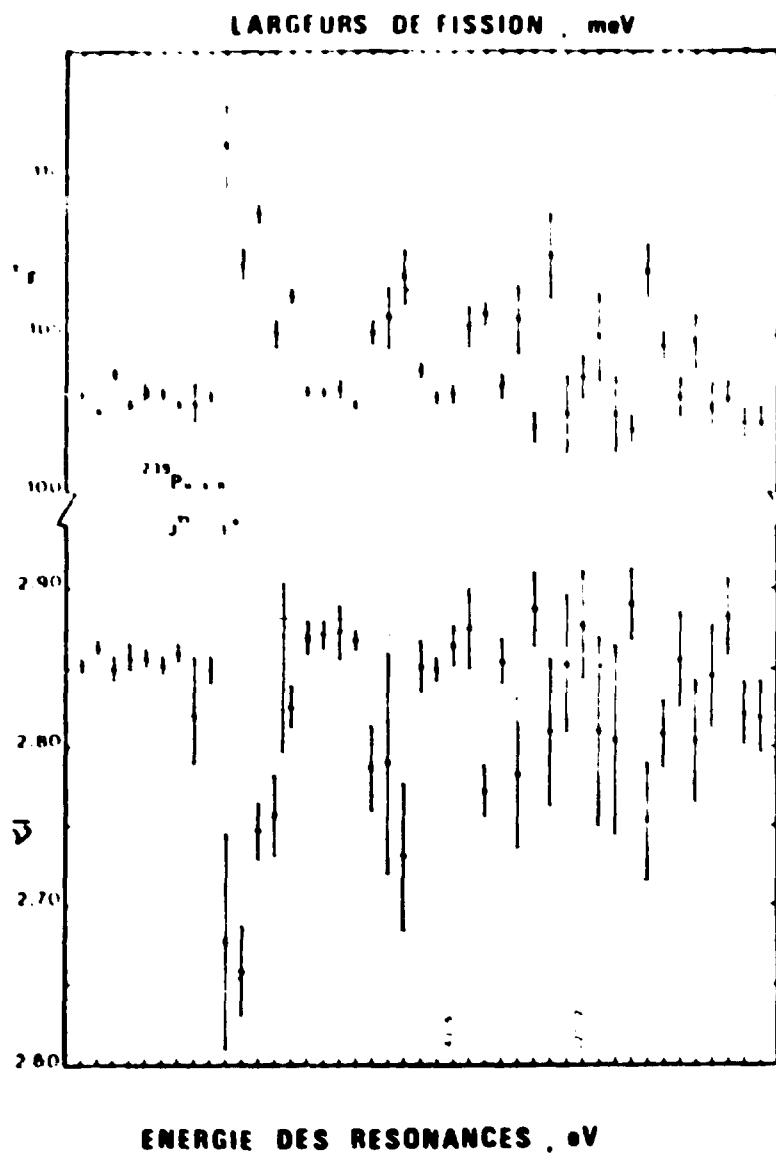


FIG 8 : Valeurs de $\bar{\nu}$ et de $\bar{\epsilon}_y$ mesurées pour les résonances résolues $J^\pi = 1^+$ entre 7 eV et 400 eV (L'énergie E_y est portée en valeur relative).

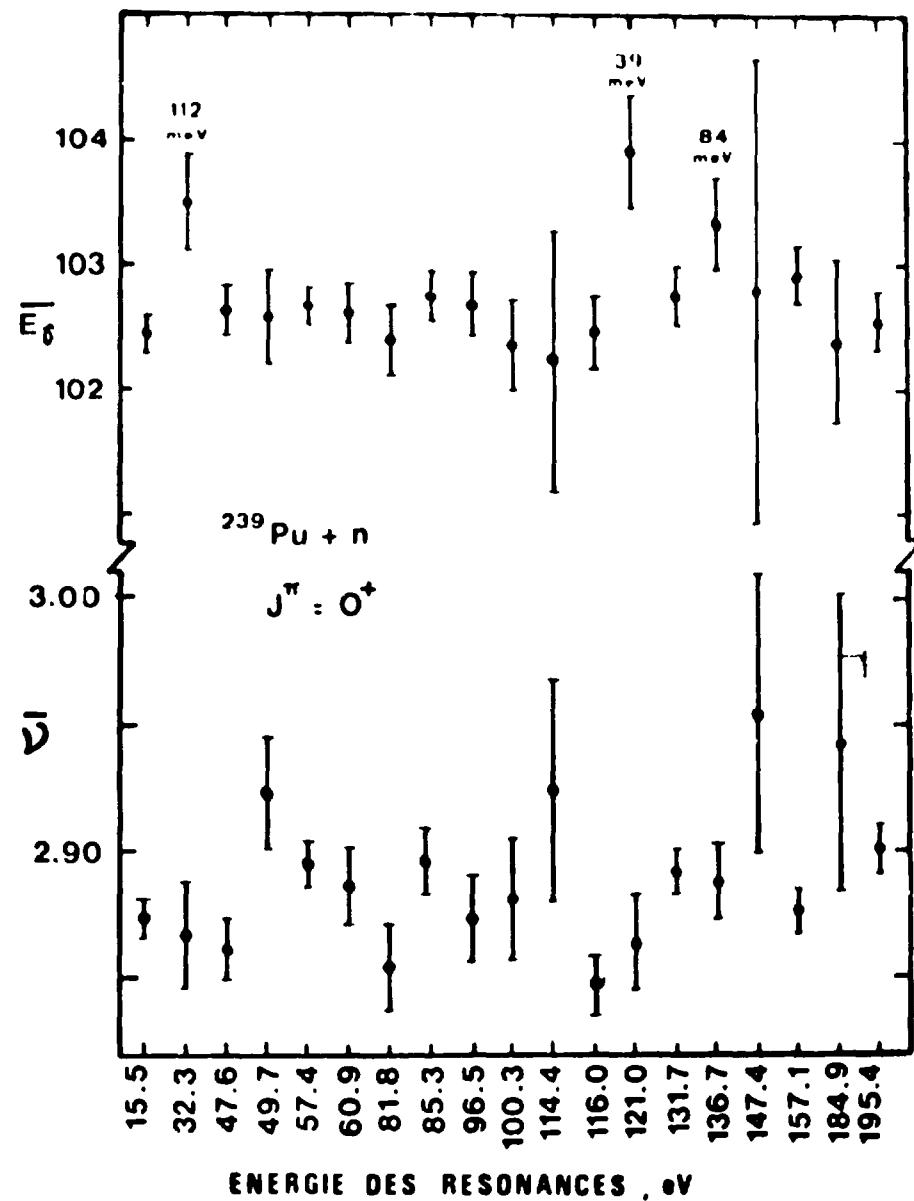


FIG 9 : Valeurs de $\bar{\nu}$ et de $\bar{\epsilon}_y$ mesurées pour les résonances résolues $J^\pi = 0^+$. L'échelle est relative pour $\bar{\epsilon}_y$. Les largeurs de fission < 200 meV sont portées au dessus des points expérimentaux.

IV. SERVICE DE PHYSIQUE EXPERIMENTALE - CEA - FONTENAY aux ROSES

(R. VIDAL)

1. MESURE INTEGRALE DE LA CAPTURE DES PRODUITS DE FISSION

POUR UN REACTEUR A NEUTRONS RAPIDES DE GRANDE PUISSANCE.

(1352,
1353,
1354.
1356) La capture des produits de fission est un élément important du bilan neutronique à l'équilibre d'un réacteur à neutrons rapides de grande puissance. On évalue sa contribution à 5% des absorptions pour un réacteur de 1000 MWe environ. L'incertitude actuelle sur la connaissance de cette capture est difficile à estimer mais de toute manière importante compte tenu de la dispersion actuelle des évaluations de sections efficaces, des problèmes de rendement et de migration. Des mesures intégrales, par oscillation d'échantillons de combustibles irradiés, sont prévues dans l'assemblage couplé thermique-rapide ERMINE en 1973 et 1974. Les échantillons seront réalisés à partir de combustibles irradiés dans RAPSODIE, combustible normal du réacteur et aiguilles spéciales ne contenant qu'un isotope fissile, ^{235}U ou ^{239}Pu . Les mesures de réactivité, effectuées par comparaison avec des aiguilles vierges et des étalons, seront réalisées dans trois réseaux dont les spectres couvriront la gamme d'énergie des réacteurs de grande puissance. Les résultats définitifs de ces expériences devraient être disponibles avant la fin de 1975.

2. DETERMINATION DU RENDEMENT EN NEODYME DANS LA FISSION DU ^{241}Pu INDUITE PAR LES NEUTRONS RAPIDES.

Dans le cadre de la détermination des sections efficaces intégrales des isotopes lourds dans les spectres de neutrons rapides [1], [2], des échantillons de ^{241}Pu ont été irradiés dans une capsule de bore placée dans le réacteur OSIRIS.

Le rendement en néodyme de la fission du ^{241}Pu a été déterminé par la même technique que celle utilisée pour ^{238}U et ^{239}Pu [3].

Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau ci-dessous et comparés à ceux obtenus précédemment pour ^{235}U , ^{239}Pu et ^{238}U .

isotope issippe isotope Nd	^{241}Pu	^{235}U	^{239}Pu	^{238}U
143	$4,96 \pm 0,25$	$5,65 \pm 0,10$	$4,39 \pm 0,10$	$5,20 \pm 0,50$
145	$3,54 \pm 0,20$	$3,75 \pm 0,07$	$3,05 \pm 0,07$	$4,25 \pm 0,40$
146	$2,96 \pm 0,15$	$2,89 \pm 0,05$	$2,52 \pm 0,05$	$3,93 \pm 0,40$
148	$2,10 \pm 0,12$	$1,72 \pm 0,03$	$1,74 \pm 0,06$	$2,40 \pm 0,20$
150	$1,31 \pm 0,08$	$0,72 \pm 0,02$	$1,06 \pm 0,02$	$1,49 \pm 0,12$

3. ETUDES SUR LES PRODUITS DE FISSION *

Un fichier de données nucléaires relatives aux produits de fission :

- rendements indépendants de fission
- périodes radioactives
- schémas de désintégration
- spectres bêta et gamma

a été constitué sur bande dans le format ENDF/B [4].

Les données ont été révisées et remises à jour ; une nouvelle édition [5] de la bibliothèque est parue.

La bibliothèque comporte actuellement les données de 622 nucléides. Les rendements indépendants de fission ont été calculés à partir de l'évaluation de MEEK et RIDER [6] pour ^{235}U (thermique, rapide), ^{238}U (rapide), ^{239}Pu (thermique, rapide).

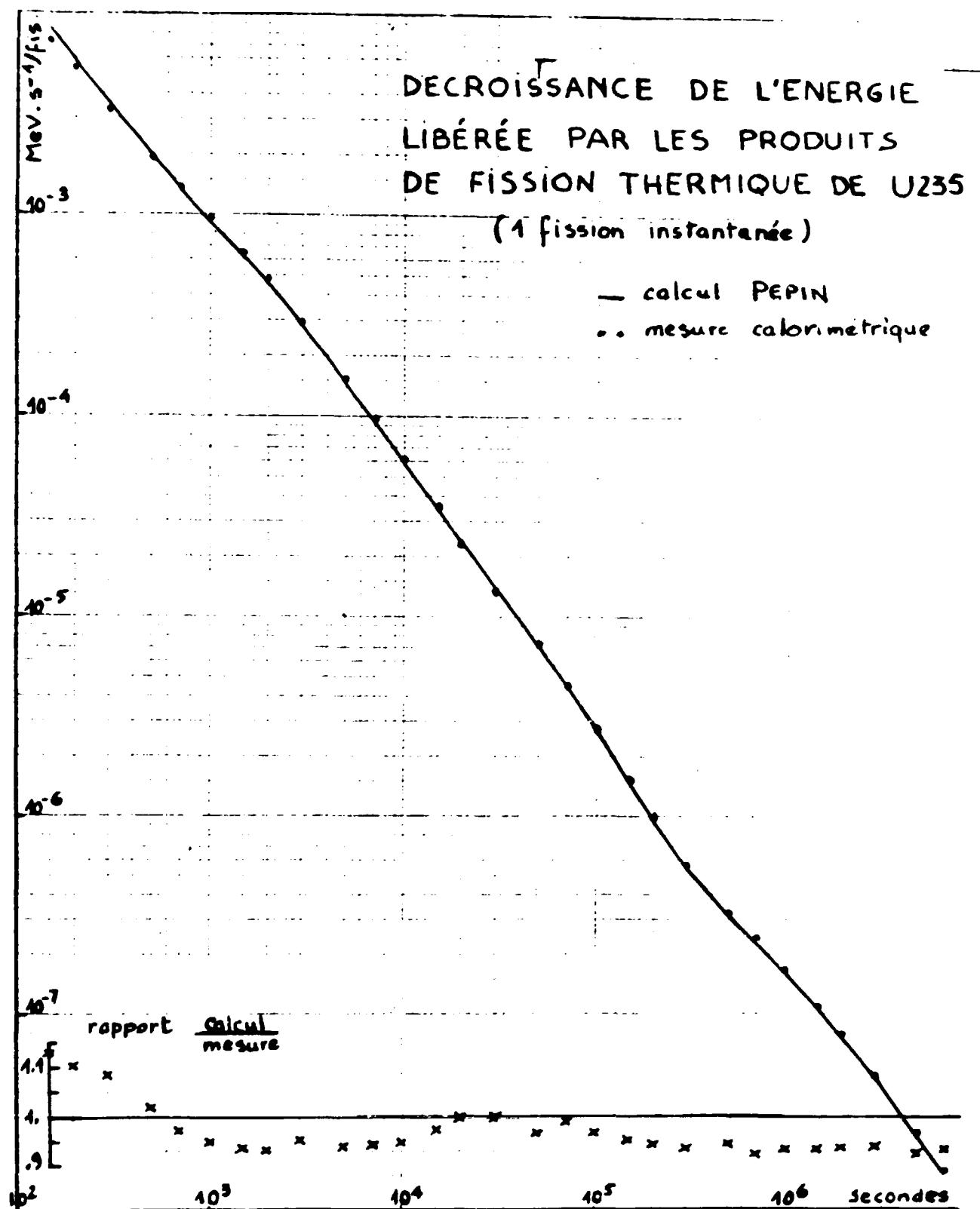
Des calculs de puissance résiduelle utilisant ces données ont été effectués avec le code PEPIN [7] et comparés à des mesures calorimétriques [8] réalisées sur un échantillon d'uranium (93% ^{235}U) irradié en neutrons thermiques pendant 100, 1000, 5000, 10^5 et $6 \cdot 10^5$ secondes. La comparaison entre les décroissances de la puissance résiduelle pour une fission instantanée calculée d'une part et déduite des mesures d'autre part est reportée sur la figure jointe.

* en collaboration avec le Service d'études de réacteurs et de mathématiques appliquées (C. Devillers)

De 100 à 600 secondes, le calcul est supérieur de 0 à 18% à la mesure, de 600 à $7 \cdot 10^6$ secondes il est inférieur de 0 à 7%.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. BOUCHARD, J. Y. BARRE, R. BOYER, M. DARROUZET,
G. FREJAVILLE
Conf. BNES - CANTERBURY - Septembre 1971
- [2] J. BOUCHARD, D. CHAVARDES, M. DARROUZET, J. GOURDON,
M. ROBIN
" New developments in reactor physics and shielding ". Réunion ANS-
Septembre 1972
- [3] J. BOUCHARD, M. DARROUZET, G. FREJAVILLE, M. LUCAS
F. FROST-MARECHAL, M. ROBIN
Conf. BNES - CANTERBURY - Septembre 1971
- [4] C. DEVILLERS, M. LOTT, B. NIMAL, J.P. NOEL, N. GUYEN
VAN DAT, J. BLACHOT, R. de TOURREUIL
"Symposium on applications of nuclear data in science and technology"
Paris, Mars 1973 (à paraître)
- [5] J. BLACHOT, P. De TOURREUIL - Note CEA - 1526 (1972)
- [6] M. F. MECK, B. F. RIDER - NEDO Report 12154 (1972)
- [7] R. De TOURREUIL - NOTE CEA 824 (1967)
- [8] Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques du CEA (à paraître)



V. GRUPPO DI RICERCA INFN - ISTITUTO DI SCIENZE FISICHE, UNIVERSITA'
DI GENOVA (ITALY).

S. Ferroni, G. Mancini, G. Ricco, M. Sanzone, G. Rottigni

The group is engaged from about four years on an extensive research program concerning the investigation of the photon-nucleus interactions at intermediate energies through the measurement of the direct photodisintegration and inverse capture cross sections. The first part of this program, including the measurement of the γ, p cross section in light nuclei using the 100 MeV bremsstrahlung beam of the electrostatic synchrotron at the University of Torino has been completed in 1972 (1)(2)(3).

These measurements will be considerably improved using the quasi monochromatic γ ray beam from positron annihilation available in the next future at the CNEN Linear Accelerator Laboratory in Frascati (4). The beam handling system installation has been completed at the Linac by a collaboration between the Nuclear Physics groups of Genova and Frascati and beam test experiments are presently in progress (5).

Charged particles from nuclear photodisintegration up to 150 MeV will be detected at different angles by a system of scintillation (NaI(Tl)) counter telescopes with an expected overall energy resolution of about 2% (5).

At higher energies, around the $(3/2 \ 3/2)$ resonance charged reaction products, including π mesons, will be identified by a proper range telescope (5).

Experimental investigations of the inverse p, γ reaction at proton energies from 20 to 45 MeV are also in progress at the Cyclotron Laboratory of the University of Milano. The capture γ rays are detected by a NaI(Tl) pair spectrometer (6). The experimental apparatus has been completely set up but further efforts to reduce background and pile up problems are required.

The systematic theoretical interpretation of these data (7) re-

quires very accurate orthogonal single particle wave functions for the initial bound and final scattering nucleon states. An extensive numerical program using realistic non local potential wells has been recently started and preliminary results are now available (8).

References.

- (1) G. Manuzio, G. Ricco, M. Sanzone, L. Ferrero
Nucl. Phys. A113 (1967) 409.
- (2) M. Sanzone, G. Ricco, S. Costa, L. Ferrero
Nucl. Phys. A153 (1970) 401.
- (3) E. Mancini, G. Ricco, M. Sanzone, S. Costa, L. Ferrero
Submitted to Nuovo Cimento.
- (4) E. Mancini, M. Sanzone
Nucl. Instr. and Meth. 66 (1968) 87.
- (5) G. Capitani, E. De Sanctis, S. Faini, C. Guaraldo, R. Malvano,
G. Ricco, M. Sanzone and R. Scrimaglio
Report L.N.F. 72/99, Frascati (1972).
- (6) B. Ziegler, J. Wyckoff, H. Koch
Nucl. Instr. and Meth. 24 (1963) 301.
- (7) G. Rottigni
L.N.F. 73/5 Frascati (1973).
- (8) S. Gamba, G. Ricco, G. Rottigni
Submitted to Nuclear Physics.

VI. GRUPPO DI RICERCA INFN DI FISICA DEL NUCLEO DELL'ISTITUTO DI FISICA DELLA UNIVERSITA' DI PAVIA

1. Angle and Energy distributions of ^4He and ^6He particles from ^{239}Pu thermal fission

F. Fossati, C. Petronio, T. Pinelli

The included tables I and II show the angle and energy distribution parameters of ^4He and ^6He particles emitted in the thermal fission of ^{239}Pu ⁽¹⁾.

The energy distribution data are correlated to the angle between the light fragment and light particle flight directions.

(1) - F. Fossati, C. Petronio, T. Pinelli

Report INFN/BE - 72/8 (1972)

Table I - Gaussian parameters of alpha and ^6He particles angular distributions with respect to the light fragment direction

Target	Particle	Peak angle	FWHM
^{239}Pu	^4He	$84^\circ \pm 0,7^\circ$	$24^\circ \pm 0,7^\circ$
^{239}Pu	^6He	$86^\circ \pm 3^\circ$	$23^\circ \pm 3^\circ$

Table II - Alpha-particles energy spectra at various angles

θ	\bar{E}_α (MeV)	σ_α (MeV)
68°	16,0 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2
78°	15,3 \pm 0,1	3,7 \pm 0,1
88°	15,4 \pm 0,1	3,3 \pm 0,1
98°	16,4 \pm 0,1	3,4 \pm 0,1
118°	17,9 \pm 0,3	3,9 \pm 0,3

2. Asymmetry measurement in the elastic scattering at small angles ($< 10^\circ$) of 40 MeV polarized protons from ^{40}A nuclei

G. Bendiscioli, A. Gigli Berzolari, E. Lodi Rizzini

Figure 1 shows the preliminary histogram relative to the asymmetry measurement carried out by means of a diffusion cloud chamber⁽²⁾.

The asymmetry has a sign change at $\approx 3^\circ$ and a negative minimum of about 0,1.

(2) - G. Bendiscioli, A. Gigli Berzolari, E. Lodi Rizzini
Report INFN/BE - 72/7 (1972)

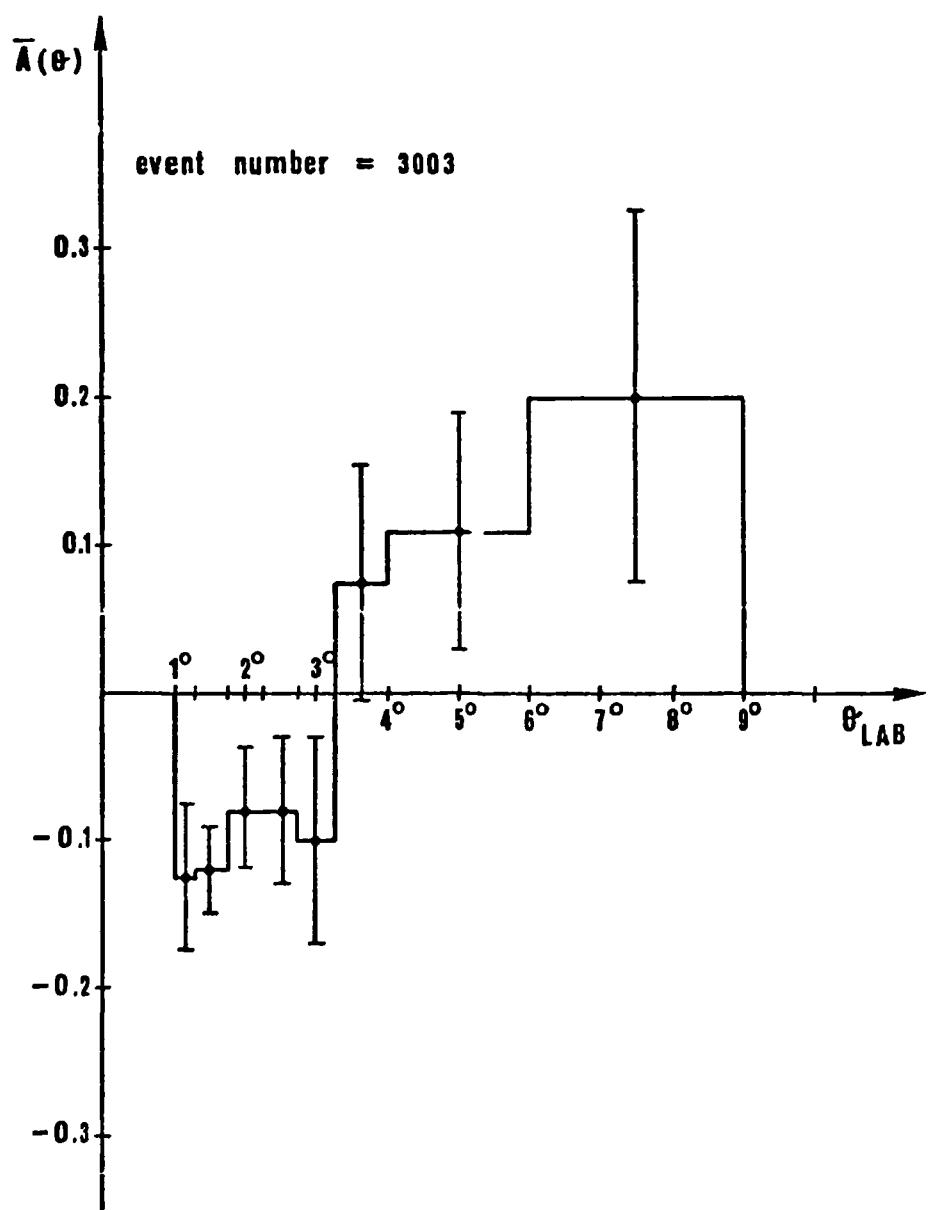


Fig. 1

VII. CENTRO SICILIANO DI FISICA NUCLEARE E DI STRUTTURA DELLA MATERIA,
ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE - SEZIONE DI CATANIA,
ISTITUTI DI FISICA DELL'UNIVERSITA' DI CATANIA (ITALY)

1. Experimental research work on nuclear structure and reactions

1.1. Nuclear fission

(N.Arena, V.Emma, S.Lo Nigro and C.Milone)

We have measured 12 angular distributions of fragments from fission of ^{232}Th induced by monoenergetic neutrons with energies in the range $12.2 \text{ MeV} \leq E_n \leq 18.3 \text{ MeV}$. The fission fragments were detected by means of glass plates.

The behaviour of the angular anisotropy $A(E_n)$ has been analysed with the aim to investigate the contribution of the $(n,2n'f)$ process that in the energy range $12 \text{ MeV} < E_n < 18 \text{ MeV}$ is concurrent with the (n,f) and $(n,n'f)$ reactions⁽¹⁾.

We have also measured the energy distributions of fragments from fission of ^{238}U induced by monoenergetic neutrons with energies $E_n = 1.5, 5.2, 18.2 \text{ MeV}$. The fission fragments were detected by means of semiconductor detectors.

The energy calibration of the detection system has been effected by means of a ^{252}Cf source.

The average total kinetic energy of ^{238}U fission fragments decreases at increasing neutron energy⁽²⁾.

1.2. $(^3\text{He}, \alpha)$ reactions on ^{24}Mg , ^{25}Mg and ^{26}Mg

(S.Notarrigo, F.Porto, A.Rubbino, S.Sambataro)

The study of the $(^3\text{He}, \alpha)$ reactions on ^{26}Mg ^(3,4) was extended to ^{25}Mg . The angular distributions of the α groups emitted in the $^{25}\text{Mg}(^3\text{He}, \alpha)^{26}\text{Mg}$ reaction, have been measured in the angular range $15^\circ - 150^\circ$ at $\Delta\theta = 5^\circ$ steps, and from 9 to 13 MeV of incident energy at 100 KeV steps.

The angular distributions show the characteristic diffractive pattern and the excitation functions exhibit fluctuations with the incident energy.

The experimental data suggest an analysis based on the statistical model; the energy averaged angular distributions are interpreted in terms of a diffractive model and DWBA⁽⁵⁾.

1.3. (d,p) reactions on ^{52}Cr , ^{53}Cr and ^{51}V

(S.Notarrigo, F.Porto, A.Rubbino, S.Sambataro)

Impurities in ^{52}Cr , ^{53}Cr and ^{51}V targets, have prevented us from analyzing without uncertainties the angular distributions measured at the incident energy of 1.5 MeV and 2.0 MeV.

At present we are studying the possibility to reduce the incidence of these impurities upon the experimental results.

1.4. Spectroscopic informations from the study of the $^{40}\text{Ar}(\text{d},\text{p})^{41}\text{Ar}$ reaction

measured at deuteron energy below the coulomb barrier

(S1.Cavallaro,G.Corleo,A.Cunsolo,A.Foti,S.Giambruno,M.Di Toro,G.Pappalardo)

Nuclear structure informations are obtained from stripping reaction at energies below the Coulomb barrier. Compound nucleus effects are taken into account.

The dependence of spectroscopic factors on the energy of incident particles, on the nuclear optical parameters and on the geometrical parameters of the captured neutron potential well, is investigated in detail.

In order to fix in an independent way these parameters we compute the Coulomb displacement energies related to isobaric analog states having as parent states the same states reached in our stripping reaction.

Finally a comparison is made with the spectroscopic factors extracted from a microscopic analysis of isobaric analog resonances. Some conclusions about the reliability of an information on the absolute value of spectroscopic factors are outlined.

1.5. $^7\text{Li} + \text{d} \rightarrow 2\alpha + \text{n}$ reaction

(V.D'Amico, G.Fazio, S.Jannelli, F.Mezzanares, R.Potenza)

This reaction was studied by taking the bidimensional spectra of the two α -particles at various angles and incident energies.

These spectra were analyzed by a new method⁽⁶⁾ to correct them for the finite resolving power of the detecting system. The results were transformed to the system of the relative coordinates. In this system it was possible to conclude that a strong interacting α -n complex is formed in a $\frac{3}{2}^-$ state and that it is strongly polarized⁽⁷⁾.

1.6. $^{10}\text{B} + \text{d} \rightarrow 3\alpha$ reaction

(V.D'Amico, G.Fazio, S.Jannelli, F.Mezzanares, R.Potenza)

The experimental data on this reaction were collected in the form of bidimensional spectra of two α -particles.

The analysis of these data is in progress.

1.7. Nuclear physics experiments at the 12 MeV microtron

(D.Vinciguerra, E.Migneco, O.Troja, E.Turrisi)

A magnetic channel for the focusing and the energy definition of the 12 MeV electron beam extracted from the microtron has been constructed. Test are under way. The study of the $^6\text{Li}(\text{e},\text{e}'\text{d})^4\text{He}$ reaction is now in project⁽⁸⁾.

1.8. High energy electron reactions on ^4He

(D.Vinciguerra, E.Modica)

An ^4He gas target, surrounded by a stack of plastic foils, has been irradiated with the 2 GeV electron beam of the Orsay (France) Linear Accelerator. The foils have been etched and show tracks which can be explained as due to recoiling ^4He and ^3He . The study of the results is under way.

2. Theoretical research work on nuclear structure and reactions

2.1. A new approach to the theory of unstable states

(A.Agodi, M.Baldo, E.Recami)

A new method has been developed⁽⁹⁾ for analyzing the effects produced by an internal (virtual) state $|\phi\rangle$ on the transition amplitudes, in particular for singling out the necessary conditions for $|\phi\rangle$ being connected with a resonance in the cross-sections.

In this context a new definition of resonance may be given by associating unstable states with the eigenvalues of quasi self-adjoint Hamiltonians. In general the determination of the spectral function of these quasi self-adjoint Hamiltonians (whose anti-hermitian part is defined by means of a single state) is shown to be equivalent to other methods, as for instance the Kapur and Peierls one.

2.2. Solution of the Hartree-Fock equations

(G.Fonte, R.Mignani and G.Schiffner)

Following a previous paper⁽¹⁰⁾, where the Hartree-Fock problem in a finite-dimensional space has been solved by means of a rigorous iteration method, we have applied the latter to the general case, including both the nuclear and the atomic problem. We have proved⁽¹¹⁾ that the Newton iteration method can be used for constructing a (locally unique) solution of the Hartree-Fock equations, if the two-body potential satisfies a boundedness condition. The proofs is based on a theorem by Kantorovich.

2.3. Search for new methods for the inverse scattering problem

(R.Giordano, D.Gutkowski, A.Scalia and G.Schiffner)

In our previous report we have proposed a new way for solving the inverse scattering problem by a direct solution of the equation relating the potential to the scattering amplitude. Now, we have achieved the first step, establishing the spaces of the data (scattering amplitudes) and of the solution (**potentials**). The latter are represented by their momentum-space integral kernel, which is assumed to belong to a Banach space of Hölder functions, with a prescribed decrease at infinity. Both local and nonlocal potentials are included. The space of scattering amplitudes is then a Banach space of Hölder functions, including the previous one⁽¹²⁾. Work is now in progress, in order to state the precise conditions of solutions of the inverse problem by means of the implicit function theorem, or the Newton-Kantorovich iteration method. The advantage of our method, compared with the one of Gelfand, Levitan and Marchenko, consists in the greater generality of the space of solutions and in the stability of the solution against small perturbations of the data.

2.4. Time-operator in non-relativistic Quantum Mechanics

(E.Recami, V.S.Olkovsky, U.Lombardo, M.Baldo, R.Mignani)

Previous research has been continued, studying the properties of the time-operator in nuclear quantum-physics. Within a space-time description of non-relativistic quantum objects, as space of physical states it is adopted the space \mathcal{P} of continuous L^2 -functions: (i) defined over the (total) energy interval $0 \leq E < \infty$, (ii) with square-integrable first derivatives, and (iii) for which a Hermitian energy-operator exists.

Such a space \mathcal{P} is dense into the Hilbert space of L^2 -functions. It is then shown that a "good" time-operator exists, $\hat{t} = -\frac{i}{2} \frac{\partial}{\partial E}$, that acts into \mathcal{P} and: (i) is "Symmetric" (and Hermitian), but not self-adjoint; (ii) is canonically conjugated, to the (total) energy; and (iii) satisfies Heisenberg principle and Galilei invariance. The old, known objections by Pauli are recognized to point merely out that our operator \hat{t} cannot be hyper-maximal, as was clarified by Von Neumann. But even non-hypermaximal operators may be given (under certain conditions) a physical meaning, and may represent observables in Quantum Mechanics. As already emphasized by previous Authors, confining only to self-adjoint operators in Q.M. is too restrictive a postulate. Notwithstanding that \hat{t} has no eigenfunctions inside the Hilbert space, nevertheless we succeeded in calculating the average values of our time-operator over our physical states⁽¹³⁾.

2.5. Kinematical effects and resonances

(E.Recami, R.Mignani, G.Fonte, M.Baldo)

Previous work has been continued for studying resonance-simulating effects, due to final state interactions of triangular types. Various cases of nuclear and of elementary particle physics have been explained and calculations done by means of a CDC-6600 computer.

2.6. Generalization of Special Relativity Theory for tachyons and Super-luminal references frames
(E.Recami, R.Mignani)

Classical theory of tachyons (faster-than-light particles or objects) has been put on self-consistent basis by generalizing Special Relativity Theory to Super-luminal references frames. In particular Lorentz transformations have been extended for superluminal relative velocities. In a series of work⁽¹⁴⁺¹⁹⁾, many related problems have been successfully studied (causality, Super-luminal Lorentz transformations, Cherenkov radiation, Doppler effect, tachyon magnetic monopoles, CPT covariance, crossing symmetry, three-space shape, and so on).

References

- 1) V.Emma, S.Lo Nigro, C.Milone
Nuclear Physics,in press
- 2) N.Arena, S.Lo Nigro and C.Milone
Lett.Nuovo Cimento 3(1972)147
- 3) S.Notarrigo, A.Rubbino, S.Sambataro, D.Zubke
Nuovo Cimento 64B(1969)7
- 4) S.Notarrigo, F.Porto, A.Rubbino, S.Sambataro, A.Strazzeri and H.Narin
In press at *Nuovo Cimento*
- 5) S.Notarrigo, F.Porto, A.Rubbino, S.Sambataro, A.Strazzeri
INFN/BE 28 Gennaio 1971
- 6) S.Jannelli, F.Mezzanares, R.Potenza
 $^7\text{Li} + \text{d} \rightarrow 2\alpha + \text{n}$ reaction: 1) Analysis of the bidimensional spectra
Nuovo Cimento (in press)
- 7) V.D'Amico, G.Fazio, S.Jannelli, F.Mezzanares, R.Potenza
 $^7\text{Li} + \text{d} \rightarrow 2\alpha + \text{n}$ reaction: 2) Experimental results at $E_{\text{d}}=1.0$ MeV
Nuovo Cimento (in press)
- 8) D.Vinciguerra
Study of low-energy electrodisintegration by one fragment detection
Internal Report PP/350(1972), Catania
- 9) A.Agodi, M.Baldo, E.Recami
Approach to the theory of unstable states
Ann.of Physics (in press)
- 10) F.Catara, M.Di Toro, E.Pace, G.Schiffner
Nuovo Cimento 11A(1972)733
- 11) G.Fonte, R.Mignani, G.Schiffner
Boll.SIF 93(1972)108
Submitted to Communications in Mathematical Physics.

- 12) R.Giordano, D.Gutkowski, A.Scalia, G.Schiffner
Boll.SIF 93(1972)39
Submitted to Communications in Mathematical Physics
- 13) V.S.Olkovsky, E.Recami
Preprint ITF-KIEV; to be submitted for publication
- 14) E.Recami, R.Mignani
Lettere Nuovo Cimento 4(1972)144
- 15) R.Mignani, E.Recami, U.Lombardo
Lettere Nuovo Cimento 4(1972)624
- 16) R.Mignani, E.Recami
Nuovo Cimento A (in press)
- 17) E.Recami
Annuario E.S.T. - Mondadori (in press)
- 18) E.Recami, R.Mignani
invited paper in "Rivista del Nuovo Cimento"
(to be sent for publication).
- 19) E.Recami
two Preprints ITF-KIEV (1972).

VIII. LABORATORIO DATI NUCLEARI, CENTRO DI CALCOLO DEL C.N.E.N.,
BOLOGNA (ITALY)

1. Shell-model with the one-particle continuum for the dipole giant resonance of mass-13 nuclei

(M. Marangoni, P.L. Ottaviani, A.M. Saruis)

A shell-model calculation including the one-particle continuum for the dipole photoreaction cross-sections in mass-13 nuclei at the giant resonance energy region has been set up.

The main assumptions of our calculation are the following:

- a) the Hartree-Fock potential is assumed to be a Woods-Saxon well with a Coulomb term;
- b) the total Hamiltonian is diagonalized in the 1p and 2p-1h basic space, letting one particle to be in the energy continuum;
- c) a zero-range force with a Soper mixture is assumed as an effective interaction.

On the basis of these assumptions an energy dependent dipole wave function, ψ_E^c , is calculated for each reaction channel c . The photoreaction cross-sections for nucleon emission or nucleon capture are calculated from the dipole operator matrix elements connecting the ground state to the ψ_E^c dipole states.

An analysis of the giant dipole resonance of ^{13}C and ^{13}N is underway.

2. Continuum 1p-1h calculation of the 0^+ IAR in ^{208}Bi

(M. Marangoni, A.M. Saruis)

The 0^+ resonance at 11.5 MeV in the $^{207}\text{Pb}(p,p) \quad ^{207}\text{Pb}(p,p')$ cross-sections has been analyzed with the shell-model extended to the continuum in the 1p-1h approximation.

The single-particle parameters are chosen so that the 0^+ parent state in ^{208}Pb is reproduced.

3. Bound programme

(F. Fabbri, A.M. Saruis)

Bound-Programme is written in FORTRAN IV for IBM 360/75. The programme gives the bound states in the 1p-1h approximation by assuming a single-particle basis in a Woods-Saxon well including the energy continuum.

4. Direct and semi-direct radiative capture

(F. Fabbri, G. Longo, F. Saporetti)

The radiative capture cross sections for the $^{206,208}\text{Pb}$ target nucleus have been investigated in the giant resonance region by the semi-direct capture model. A coupling interaction having a "volume" radial form instead of the usual "surface" one has been used in the theory ¹⁾. The gamma-ray spectra from capture of 14 MeV neutron for several nuclei have also been investigated by means of the new coupling interaction ²⁾. A significant improvement in the agreement between theory and experiment has been obtained.

References

(1) G. Longo, F. Saporetti

"The Effect of a Volume Form of the Particle-Vibration Coupling in Fast Nucleon Radiative Capture"
Phys. Lett. 42B (1972) 17.

(2) F. Rigaud, J.L. Irigaray, G.Y. Petit, G. Longo, F. Saporetti
Contributions to the "Conference on Nuclear Structure Study with Neutrons", Budapest, July 31-August 5, 1972, Sess. D.5,
p. 220.

5. Cross-section evaluation work

(V.Benzi, E.Menapace, M.Motta, G.C.Panini, G.Reffo, M.Vaccari)

5.1. Work in progress

5.1.1 An evaluation in the range from 0 to 15 Mev of the neutron cross-sections for the two natural occurring isotopes of copper, Cu⁶³ (359-371) and Cu⁶⁵, and for natural copper has been undertaken and is now in progress. The data file in the UK format will be produced.

(V.Benzi, E.Menapace, M.Motta, N.Iliescu^(*)).

5.1.2 The evaluation of the Gadolinium isotopes, which was completed (662-693) for the resonance region, continued for the cross-sections beyond 100 keV. Due to the rotational deformation properties of many isotopes, the optical model with the adiabatic approximation of channel coupling was early applied in the calculations. Such an approximation can only be applied for high energy, say beyond 1 MeV. It will be perhaps unavoidable the use of a one-to-one channel coupling calculation with a much longer computing time expenditure. The evaluation will therefore continue.

(E.Menapace, M.Motta, M.Vaccari).

5.1.3 The undertaken evaluation of some fission product nuclei (see Progress Report EANDC(E)150 "U") and the analysis of the data on charged particle reactions have been temporarily postponed to the improvement of the codes for the calculation of the process via compound nucleus.

(G.Reffo).

5.1.4 The direct collective and single-particle contributions to the neutron inelastic scattering in U²³⁸ were estimated by using the (996-1007) generalized optical model and the Brown-Muirhead model. The possible influence of these effects on the neutron energy spectrum has been investigated. The results have been presented at

(*) Guest researcher from CSEU, Romania.

the Fifth INDC Meeting Topical Discussion on "Inelastic Scattering of Fast Neutrons".
(V.Benzi, E.Menapace).

5.1.5 The direct knock-on reactions with neutron and proton emission in the MeV region have been considered in the frame of the Brown and Muirhead model. The formulas have been applied in a Fortran IV code (PRODE) for (n,n') and (n,p) cross-section calculations and a systematic analysis of this (n,p) cross-section contribution has been initiated.
(E.Menapace, M.Vaccari).

5.2. Work about codes

5.2.1 A Fortran IV code for compound nucleus reaction calculations is in progress. Calculations will be performed by means of the optical model on the basis of Moldauer's theory.
(G.Reffo).

5.3. Work completed

(¹⁰⁴ - ¹⁰⁹) The analysis of Na neutron cross-sections in the energy range 5.5-14.5 MeV was completed. An internal report on this subject is in press.
(V. Benzi, L. Zuffi).

5.4. Publications

M. Motta

The Effect of the Reduced Width Amplitude Signs in the Multilevel Calculation of Neutron Cross Sections
CNEN Report RT/FI(72)37, 1972.

L. Lesca, E. Menapace

Il Codice UNREC per il calcolo di sezioni d'urto effettive e di integrali di risonanza nella zona delle risonanze non risolte
CNEN Report, RT/FI(72)42, 1972.

T. Martinelli, M. Motta

The "PIUME" Code for the Multilevel Two-Channel Cross Section
Calculations

CNEN Report, RT/FI(72)50, 1972.

IX. ISTITUTO DI FISICA DELL'UNIVERSITA', PADOVA (ITALIA)

1. Lifetimes of the first $7/2^-$ levels in ^{35}Cl and ^{37}Cl
(F. Brandolini, M. De Poli, C. Rossi Alvarez)

The reactions $^{32}\text{S}(\alpha, p)^{35}\text{Cl}$ and $^{34}\text{S}(\alpha, p)^{37}\text{Cl}$ were used to populate the levels $7/2^-$ at 3.163 in ^{35}Cl and 3.105 in ^{37}Cl . The corresponding gamma rays to the ground state were detected in coincidence with protons at backward angles. The lifetimes were determined, using the recoil-distance method, to be 39 ± 3 and 27 ± 3 ps respectively. Simple shell-model configurations can reproduce the observed M2 strengths.

2. The g-factor of the $3/2^-$ 153 keV states in ^{49}V
(G.B. Vingiani, C. Rossi Alvarez, A. Buscemi,
F. Brandolini)

The g-factor of the $3/2^-$ state at 153 keV in ^{49}V was measured with the $^{48}\text{Ti}(p,\gamma)^{49}\text{V}$ reaction and the differential spin-precession method. The g-value and the remeasured mean life are $g=+1.58\pm 0.08$ and $\tau=28.7\pm 0.5$ ns. The result is compared with some theoretical predictions.

3. Polarization of neutrons elastically scattered from Oxygen

(L. Drigo, G. Tornielli and G. Zannoni; Laboratori Nazionali dell'I.N.F.N., Legnaro; Istituto di Fisica dell'Università, Padova)

The polarization of neutrons elastically scattered from oxygen has been measured at seven angles from 25° to 155° and at the six energies of 2.25, 2.56, 2.76, 3.00, 3.35 and 3.56 MeV;

The polarized neutrons, produced from both the $^7\text{Li}(\text{p},\text{n})$ and $^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})$ reactions, were led on a liquid oxygen target contained in a cylinder of low density polystyrol. The detail of the experimental apparatus are described elsewhere⁽¹⁾.

The analysis of the experimental data is now in progress.

(1) L. Drigo et al., Nucl. Phys. A181, (1972) 177.

4. Cryogenic apparatus for nuclear target orientation
(U. Fasoli, G. Galeazzi, D. Toniolo, G. Zago, - Let-
tere al Nuovo Cimento 5, (1972) 209).

A polycrystalline holmium sample of cylindri-
cal form 11 cm long and with a diameter of 1.8 cm
has been "oriented" longitudinally. A nuclear orien-
tation degree of 0.3 has been achieved by cooling
the sample up to $0.31 \pm 0.01^{\circ}\text{K}$ in a magnetic field of
40 Tesla obtained by means of a superconducting sole-
noid.

A description of the apparatus and of its per-
formances is given in the above quoted reference.

5. Fast neutron transmission through a polarized holmium target

(U. Fasoli, G. Galeazzi, D. Toniolo, G. Zago, - Lettere al Nuovo Cimento, in press)

The nuclear deformation effect, that is the dependence of the neutron total cross section of deformed nuclei on the degree of nuclear orientation, has been measured on ^{165}Ho in the incident neutron energy interval from 0.6 to 4.0 MeV.

The oriented holmium target used in the experiment has been described in a previous publication (Lettere al Nuovo Cimento 5, (1972) 209) of the same authors.

The results confirm the data obtained by other authors and are well described by the optical model parameters deduced by Fasoli et al. (Nucl. Phys. A133, (1969) 572) from a scattering experiment of neutrons by ^{165}Ho .

6. Elastic and inelastic scattering of neutrons by Na at 8.0, 9.7 and 14.1 MeV
(U. Fasoli, D. Toniolo, G. Zago V. Benzi, P.L. Ottaviani,
L. Zuffi - Istituto di Fisica dell'Università - Padova;
Centro di Calcolo del CNEN - Bologna)

(104-109) A measurement has been performed of the elastic and inelastic scattering of neutrons by Sodium at 8.0, 9.7 and 14.1 MeV. The experiment is an extension to higher energies of a previous work of Fasoli et al (Nucl. Phys. A125 (1969) 227) in the energy interval 1.5 to 6.4 MeV.

The experimental results were analysed in terms of a generalized optical model and statistical theory, taking into account also the results obtained at Oak Ridge by F.G. Perey and W.E. Kinney (Report ORNL, 4518, 1970).

The work is to be sent to Nuclear Physics for publication.

7. Neutron-Carbon interaction. Total and inelastic scattering
(60 - 64) differential cross section and phase shift analysis, 2.1
to 4.7 MeV
(U. Fasoli, A. Metellini, D. Toniolo, G. Zago, Nuclear
Physics, 1973, in press)

A description of the work, previously quoted in
the preceding EANDC Report, is to be published in Nu-
clear Physics 1973.

X. GRUPPO DI RICERCA CISE-INFN (MILANO, ITALY).

1. Analysis of the total (n,p) cross-sections around 14 MeV with the pre-equilibrium exciton model.

(G.M. Braga-Marcazzan, E. Gadioli-Erba, L. Milazzo-Colli, P.G. Sona).

The absolute value of (n,p) reaction cross-sections and the spectrum shape of the emitted particles as given by the pre-equilibrium exciton model is estimated using the Fermi gas approximation. A general agreement with the experimental data in the range of nuclei of mass > 100 and for neutrons of 10-20 MeV energy is obtained. In this mass range, in fact, evaporation is negligible and the energy spectrum of proton is well reproduced by the pre-equilibrium exciton model. From the absolute value of cross-section the average value of the matrix element square $| M |^2$ of two-body interaction in the nuclear cascade is deduced and compared with the one estimated theoretically.

The approximate life-time of one single particle exciton in the nuclear matter is also evaluated.

This work is published in Phys. Rev. C 6, 1398 (1972).

2. Pre-equilibrium α -particle emission in the $^{115}\text{In} (\text{p}, \alpha) ^{112}\text{Cd}$.

(G.M. Braga-Marcazzan, L. Milazzo-Colli, C. Signorini).

It has been shown in a recent paper⁽¹⁾ that α -particles are emitted from heavy nuclei under neutron bombardment by a pre-equilibrium reaction mechanism. The $^{115}\text{In} (\text{p}, \alpha) ^{112}\text{Cd}$ reaction has been studied in order to get experimental information about this new reaction mechanism from charged particle reactions. The experiment was performed at the

Munich MP Tandem Van de Graaff Generator with proton energy 16-18 MeV, the α were detected at 50° and 90° in 300 μ Si detectors. The experimental α spectra at 50° show a component in the high energy part which is reduced by a factor 2.5 at 90°. This part can be very well fitted by a pre-equilibrium calculation; in the spectra an isotropic part, containing the α -particles of lower energy is also evident and can be attributed to evaporation emission. A peculiar feature of the spectra is the presence of well resolved peaks even at rather high residual excitation energy. The cross-section value of the integrated spectrum at 90° and 17.15 MeV is 0.46 mb/sterad and on the basis of the division of the spectrum into an evaporated and a pre-equilibrium emitted part about 0.2 mb/sterad can be assigned to evaporation. Measurements on other isotopes are in progress.

This work is published in Lettere al Nuovo Cimento 6, 357 (1973).

References.

- (1) L. Colli-Milazzo, G.M. Marcazzan-Braga - Phys. Lett. 38 B, 155 (1972).

XI. CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE - STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE*

MOL - Belgium

1. NEUTRON SPECTROMETRY

Total cross-section of ^{226}Ra

H. CEULEMANS, G. GOEDEME **

The measurements on the 1 μ sample of ^{226}Ra , performed at the R3 crystal spectrometer of the BR2 reactor and mentioned in the previous progress report were extended down to a neutron energy of 0.02 eV and the region around the resonance at 0.539 eV was measured in greater detail. An analysis of all the experimental data showed an anomalous behaviour of the low energy cross-section, which was attributed to the presence of water absorbed in the sample. The data could be fitted over the entire interval of the measurements by assuming a 9 m μ water content in the sample and a Ra cross-section determined by the resonance at 0.539 eV for which $\sigma_0 \Gamma^2 = 3.2 \pm 0.4$. This leads to a capture cross-section of 14 ± 2 barn at thermal energy (0.0253 eV), the difference with the preliminary result of 21 ± 4 barn being entirely due to the water content. The final result agrees with the value of 13.5 barn obtained by PEVZNER et al. [J. Nucl. Energy II, 4, 366 (1957)]. This work has been reported at the Budapest Conference.

The measurements will be extended to higher energies by using a 30 m flight path at the Electron Linac pulsed neutron source of CBNM, Euratom, Geel. The preparatory work for these experiments is nearly complete.

[5.3] Total cross-section of Nd isotopes

H. CEULEMANS

The data obtained previously at the Nevis Synchro-cyclotron of Columbia University N.Y. and mentioned in the last progress report were further analysed for neutron resonances in ^{143}Nd . The thickness range for the ^{143}Nd samples was extended by using material depleted in the isotope of interest. The thinnest sample contains about 3×10^{-5} atoms/barn of ^{143}Nd , whereas the thickest sample has 3.015×10^{-3} at/b. of this isotope. Least-squares share fitting of the transmission curves figures in the margin refer to requests in WRENDA 73 - INDC(SEC)-32/U
** Present address : Koninklijke Bibliotheek Brussel.

with no restriction on the resonance parameters often gives results which are widely different from one sample thickness to another. One way to avoid this is to make a simultaneous fit for all available sample thicknesses, as is done e.g. at Saclav. The other solution is to use fits with one parameter fixed, e.g. the total width Γ_t . A combination of such fits on widely different sample thicknesses yields well-defined areas of convergence for the resonance parameters. Below 500 eV complete sets of data giving the channel spin J, the neutron width Γ_n and the total width Γ_t could be obtained. At higher energies data from thicker samples are needed for a complete analysis but these are not available unless natural samples (7 isotopes of Nd) are used. At these energies also, the value of Γ_n becomes increasingly dependent on an accurate determination of the non-resonant transmission level T_p and the value of Γ_t on the detection of incompletely resolved resonances. In the neutron energy range 0 - 1210 eV, a total of 31 resonances have been analysed in ^{143}Nd , 14 of which are below 500 eV and have complete parameter sets. The comparison of our J-values with those given by other authors gives complete agreement up to 350 eV. The agreement with the Γ_n and Γ_t values quoted by TELLIER [Note CEA-N-1459 or EANDC-E-138/L] varies from excellent at low energies to moderate and outside quoted errors as one proceeds to higher energies. The analysis of the higher-energy data is still in progress.

JOINT SCK/CEN - CRNM (EURATOM - RUC) NEUTRON CROSS SECTION PROGRAM
(Contract Euratom - SCK/CEN N° 002/66/12 - EC PG B/Av. n° 2.)

[1259, Resonance Parameters of ^{242}Pu

1260, F. POORTMANS, G. ROHR*, J.P. THEOBALD*, H. WFIGMAUN*, G. VANPRAET**
1263]

A study of the interactions of low-energy neutrons with ^{242}Pu was made for the following reasons. The resonance parameters are needed

* C.R.N.M., Euratom, Geel

** Rijksuniversitair Centrum, Antwerpen

to establish the mass dependence of the s-wave neutron strength function $\bar{\Gamma}_n^0/\bar{D}$ above mass $A = 240$ and for the interpretation of the subthreshold fission cross section results obtained at Los Alamos and at Harwell. The neutron cross sections are also requested by reactor designers and for the calculation of the production of heavier isotopes, especially Curium in reactors (cfr. Report EANDC-85-U, 1970).

Capture, elastic scattering and total neutron cross section measurements on ^{242}Pu below 1300 eV were performed, using the CBNM Linac. The neutron widths Γ_n were obtained for 71 resonances and the total radiative widths Γ_γ for 25 resonances. The s-wave strength function $S_0 = 0.89^{+0.1}_{-0.09} \times 10^{-4}$ and the average radiative width $\bar{\Gamma}_\gamma = [21.9 \pm 0.4 \text{ (stat.)} \pm 1 \text{ (svst.)}]$. The resonance parameters were used to calculate the fission widths Γ_f from the fission cross section results of Los Alamos. From these fission widths, the height of the second fission barrier is deduced : $E_B \approx 5.18 \text{ MeV}$.

A paper describing this work has been submitted for publication in Nuclear Physics.

[050, 051, 053, 054] Cross section measurements on ^{237}Np
F. POORTMANS, L. MEWISSEN, G. ROHR *, J.P. THEOBALD *, G. VANPRAET **,
H. WEIGMANN *

A new series of total, scattering and capture measurements on ^{237}Np below 300 eV are being performed in order to resolve the discrepancies on the Γ_γ values between earlier Geel measurements and the results from Saclay. Moreover, due to the improvements in neutron-energy resolution, the measurements can now be extended above 50 eV and eventually yield the spin for some more resonances.

Transmission measurements on three different samples were completed. The scattering and capture measurements are in preparation.

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

** Rijksuniversitair Centrum, Antwerpen

[963,
964]

Cross section measurements on ^{236}U below 2 keV

L. MEWISSEN, F. POORTMANS, G. ROHR *, J.P. THEOBALD *, G. VANPRAET **,
H. WEIGMANN *, R. WERZ *.

A study of the reactions of slow neutrons with ^{236}U is of interest for various reasons. The neutron cross sections and resonance parameters are requested by reactor designers (Compilation of Requests for Neutron Data Measurements, Report EANDC 85-U, April 1970), for the calculation of isotope build-up in thermal reactions and for the calculation of ^{237}Np production.

Little information has been published on ^{236}U . Only level parameters obtained from capture and self-indication measurements on ^{236}U for neutron energies up to 415 eV, have been published (CARLSON et al., Nuclear Physics, A141, 577, 1970). Therefore a new measurement of the capture, scattering and total cross sections of ^{236}U is justified, using the CRNM-Linac.

The scattering cross section was measured on a 30 m flight path station, using the ^3He gaseous scintillation detector system, with two different sample thickness : $2.15 \cdot 10^{-4}$ at/b (99.69 % ^{236}U) and $1.5 \cdot 10^{-3}$ at/b (89.4 % ^{236}U). The resonance scattering areas have been obtained for more than 40 resonances. These areas have also been corrected for self-screening and for absorption of the scattered neutrons.

The capture cross section experiments were performed on the same samples with the C.B.N.M. Moxon-Rae detector on a 60 m flight path station. The data have been analysed up to 1 keV for more than 50 resonances and the analysis between 1 keV and 2 keV is in progress.

The transmission has been measured at a 30 m. flight path station, using a 1 cm diameter neutron beam and a ^3He gaseous scintillator as transmission detector. The sample had a thickness of $7.645 \cdot 10^{-3}$ at/b (99.69 % ^{236}U). An area analysis of the transmission data was done using a modified version of the Atta-Harvey program (EUR-report 4760 e).

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

** Rijksuniversitair Centrum, Antwerpen

The resonance parameters Γ_n and Γ_γ will be deduced by combining the results from the different measurements. This part of the analysis is still in progress. The number of resonances which can be analysed is sufficiently large for obtaining meaningful values for statistical properties of the resonance parameters, such as the mean level spacing, mean capture width and s-wave strength function.

[65, Scattering cross-section of ^{238}U
- 66, H. CEULEMANS
93]

The results obtained previously with ^3He proportional counters and mentioned in the 1971 progress report were analysed by means of least-squares search and fitting routines adapted to and developed for this purpose. Data from three different sample thicknesses, ranging from $n = 1.3 \times 10^{-5}$ at/barn to $n = 1.9 \times 10^{-4}$ at/barn were analysed. The main difficulty for an accurate calculation of the scattering yield is the correct assessment of the absorption after scattering. The best way to check this is to compare the differences in resonance scattering widths Γ_n obtained from different sample thicknesses. Even for predominantly scattering resonances for which, at resonance, the sample thicknesses ranged between 0.1 and 2 mean free paths, the difference was only 10% in Γ_n . Our data were normalized to the parameters of the 36.7 eV as given by J.B. GARG et al. [Phys. Rev. 134 (1964) B 985].

With this normalization good agreement is found with Garg's transmission data for all resonances measured (Table 1) in contrast to previous scattering results where systematic differences exist [M. ASGHAR et al. Nucl. Phys. 85 (1966) 305]. From these studies it can be concluded that the method of analysis gives reliable results which could be used to resolve the systematic differences between sets of resonance parameters of ^{238}U [J.B. GARG et al. Phys. Rev. 134 (1964) B 985], [G. CARRARO and W. KOLAR, IAEA - STI/PUB/259 Vol. 1 (1970) 403], [F. RAHN et al., Phys. Rev. C 6 (1972) 1254], if the remaining problem of absolute normalization to a proper standard such as Pb is solved. Although the measurements were intended to contribute to a better value of the radiation

width Γ_γ of the resonances, it was found that the sensitivity was insufficient, a 10% change in Γ_γ corresponding to a 5% change in Γ_n even in favourable cases. The results of this work have been presented at the Budapest Conference.

Table 1

E_0	Present Results Γ_n (meV)	J.B. GARG et al. Γ_n (meV)
21.0	9.5 \pm 0.5	8.7 \pm 0.3
36.7	31.0 \pm	31.15 \pm 1.0
66.2	22.3 \pm 1.0	25.2 \pm 1.0
102.7	61.1 \pm 3.0	66.0 \pm 2.0
189.6	150.2 \pm 7	150.0 \pm 3.0

Capture cross-section detectors

G. VANPRAET *, G. ROHR **, H. WEIGMANN **

A pair of hydrogen-free liquid scintillators (C_6F_6) have been used as a total energy detector for test measurements with a natural Mo sample. Mo has been chosen because it is well known that the capture gamma ray spectra are quite different from resonance to resonance. These experiments were in fact a good test for the calculated pulse-height weighting function. The results obtained for the capture areas of 12 resonances below 1 keV have been compared with those obtained with the Moxon-Rae detector of CBNM on the same sample. The agreement is satisfactory within the statistical error (< 5%).

In order to keep the bias imposed on the pulse-height below 150 keV electron energy loss, RCA photomultipliers have been ordered in replacement of the Philips XP 1040 tubes, which have a relatively much higher anode dark current, resulting in a too high noise level (≈ 375 keV). The new PM's arrived recently and will soon be put into operation.

* R.U.C. Antwerpen

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

Data acquisition system for capture measurements

L. MEWISSEN, H. CEULEMANS

A Hewlett Packard Magnetic Tape Unit 7970 A has been installed so that compilation routines and the B.C.S. loading system are rapidly available for Assembler and Fortram programs. Checking the M.T.S. Driver, a timing incompatibility with the HP 2115 A computer was observed. A new version of the driver avoiding timing errors during Fortran compilations was obtained from the HP software center of Cupertino.

A report describing the data acquisition system for two parameter neutron spectrometry has been published . It contains the detailed operating instructions for capture experiments on ^{238}U and the Assembler version of this program. It was checked with an A.M.C. 256 K disc during different phases of the supervisor routines.

Scattering cross section facility.

F. POORTMANS

A scattering detector system, consisting of six ^3He high pressure gaseous scintillators (LND type 800, pressure 250 atmospheres) has been installed at a 30 meter flight path station of the CBNM linac.

The main advantages of these detectors are high efficiency and good timing properties. The most important factor affecting the time-of-flight resolution is at present the flight path uncertainty, due to the size of the sample. A neutron energy resolution width ΔE (F.W.H.M.) of the order of $10^{-3} \times E$ can now be obtained below 10 keV.

Selected low-noise photomultipliers (RCA 4516) have been mounted on the detectors. Test measurements performed with an ^{238}U sample have shown that the pulse-height discrimination against capture gamma rays is very good. Scattering cross section measurements performed on ^{236}U and ^{242}Pu with this equipment are described elsewhere in this report.

A Monte-Carlo program was written which corrects the scattering data for self-screening and for absorption of the scattered neutrons. As multiple scattering is not yet taken into account, this program can only be applied for measurements on thin samples, where the corrections are small. This program will be extended for the more general cases, taking into account multiple scattering and for samples which are made out of different materials (for example an oxide sample in an aluminium canning).

2. FISSION PHYSICS AND CHEMISTRY

Identification of new germanium isotopes in fission

P. del MARMOL, P. FETTWEIS

After measuring the half-lives of Ge isotopes from mass 79 to 84, the energies and intensities of the main γ -rays were assigned to the longer-lived of these isotopes ($T_{1/2} \geq 10$ s) and partial decay schemes were given for the decay of ^{81}Ge , ^{81}As and ^{82}As .

The relative fission yield measurements, give information about the nuclear charge distribution in fission for this mass region and shows evidence for fine structure due to preferential formation of 50-neutron closed shell nuclei. The results were published in Nuclear Physics

Thermal neutron fission cross-section measurements for ^{227}Ac and ^{227}Th

P. del MARMOL, F. HANAPPE *, M. MONSECOUR

The number of fissions registered in Makrofol detectors have been counted and analysed for ^{227}Th , both irradiated in the BR1 thermal column. The resulting fission cross section was 203 ± 16 b, in agreement with a recent 200 ± 20 b value measured by V. VON GUNTEN et al.

In the first type of experiment an upper limit of $350 \mu\text{b}$ was found for the fission cross section of ^{227}Ac , nearly a factor of 10^4 lower than an upper limit of 2 b fixed earlier by PETERSON and GHIORSO. These results have been submitted for publication to the Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry.

Fission barrier measurements at the Ottignies cyclotron

P. del MARMOL and F. HANAPPE *

(Association CEN/SCK - IISN - UCL, Ottignies)

It is planned to measure the fission barrier of the compound nucleus formed by α particles on ^{181}Ta , and later on still lighter nuclei, by following the variation of the fission cross section versus

* I.I.S.N. bursar, W.L.B., Brussels.

α -energy by means of Makrofol solid state detectors. The experimental set-up has been mounted at the cyclotron and preliminary tests are being carried on.

3. JOINT S.C.K./C.E.N. - C.B.N.M. (EURATOM) STUDIES IN FISSION PHYSICS AND STANDARDS

A. DERUYTTER *, W. BECKER **, G. WEGENER-PENNING +, C. WAGEMANS °
(Contract EUR/C/4146/67f)

These studies have included the following items :

- Comparison of the thermal neutron induced fission of ^{239}Pu and the spontaneous fission of ^{240}Pu .
- Ratio of the ternary (LRA)-to-binary fission cross section induced by resonance neutrons.
- Total kinetic Energy of fission fragments in ^{235}U -resonances.
- Normalization of fission cross-sections in the resonance region.
- Fission cross-section of ^{235}U in the range up to 100 keV.
- $\text{Li}^6(n,\alpha)$ cross section in the thermal region.

They are reported in the contribution from C.B.N.M. to this progress report.

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

** Euratom bursar, C.B.N.M., Geel

+ IWONL bursar, Univ. Gent and S.C.K./C.E.N.

° NFWO, erkend navorser, Univ. Gent and S.C.K./C.E.N.

PUBLICATIONS FOR 1972

1. Total cross section of ^{226}Ra below 1 eV
H. CEULMANS
Conference on Nuclear Structure Study with Neutrons, Central Research Institute, Budapest, 1972, p. 100
2. A fast radiochemical procedure for separating germanium from fission products
P. del MARMOL and H. VAN TIGCHELT
Radioch. Acta, 17, 52 (1972)
3. Identification of new germanium isotopes in fission : decay properties and nuclear charge distribution in the $A = 78$ to 84 mass region
P. del MARMOL and P. FETTWEIS, Nucl. Phys., A194, 140 (1972)
4. Measurement and normalization of the relative ^{239}Pu fission cross-section in the low resonance region
A.J. DERUYTTER and C. WAGEMANS
Journal of Nuclear Energy 26, 295-301 (1972)
5. Nachweis der Isotope $^{79-83}\text{Ge}$ und ^{78}Ge in der thermischen Spaltung von ^{235}U
P. FETTWEIS and P. del MARMOL
Verhandlungen der D.P.G. 4, 224 (1972)
6. Data acquisition system for two-parameter neutron spectrometry
L. MEVISSEN
S.C.K./C.E.N. Report BLG 466
7. Neutron induced reactions on ^{242}Pu below 1 keV
F. POORTMANS, G. ROHR, J.P. THEOBALD, G. VANPRAET and H. WEIGMANN
Conference on Nuclear Structure Study with Neutrons, Central Research Institute, Budapest, 1972, p. 65
8. Fission components in ^{236}U neutron resonances
J.P. THEOBALD, J.A. WARTENA, H. WEIGMANN and F. POORTMANS
Nucl. Phys. A161, 639 (1972)
9. Ratio of the ternary to binary fission cross sections induced by resonance neutrons in ^{235}U
C. WAGEMANS and A.J. DERUYTTER
Nucl. Phys. A194, 657-672 (1972)