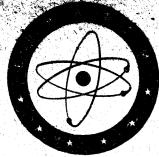


EANDC (E) 49 *L*

INDC(FUR)*003



INDC (E) 49 *L*

PROGRESS REPORT ON NUCLEAR DATA RESEARCH IN THE EURATOM COMMUNITY

Compiled by the Euratom Nuclear Data Committee

Submitted by

J. SPAEPEN

October, 1963



EANDC
NUCLEAR DATA UNIT
MASTER COPY

EUROPEAN AMERICAN NUCLEAR DATA COMMITTEE

TABLE OF CONTENTS

	<u>page</u>
I. Laboratorium für Technische Physik der Technischen Hochschule, München (Germany)	1
II. Physikalisches Staatsinstitut, Universität Hamburg (Germany)	2
III. Central Bureau for Nuclear Measurements, Euratom Commission, Geel (Belgium)	7
IV. Laboratorio di Fisica Nucleare Applicata, Centro di Studi Nucleari della Casaccia del Comitato Nazionale di Energia Nucleare, Casaccia (Italy)	10
V. Istituto di Fisica, Mostra Doltre Mare, Napoli (Italy)	20
VI. Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sottosezione di Trieste, Università degli Studi di Trieste (Italy)	23
VII. Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sottosezione di Firenze, presso l'Istituto di Fisica dell'Università, Firenze (Italy)	24
VIII. Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Torino (Italy)	25
IX. Istituto di Fisica dell'Università di Catania, Catania (Italy)	28
X. Laboratorio dell'Acceleratore Van de Graaff dell'Università di Padova, Padova (Italy)	32
XI. Istituto di Fisica, Milano (Colli Group) (Italy)	35
XII. Centro di Informazioni Studi Esperienze (Cise), Segrate (Milano) (Italy)	36
XIII. Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, Studiecentrum voor Kernenergie, Mol (Belgium)	38
XIV. Van De Graaff Laboratory, Université de Liège (Belgium) (Prof. L. Winand)	41
XV. Centre de Physique Nucléaire, Université de Louvain (Belgium)	42
XVI. Département de Recherches Physiques, Section des Mesures Neutroniques Fondamentales, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, Commissariat à l'Energie Atomique (France) (R. Joly)	44
XVII. Département de Physique Nucléaire et du Solide, Service de Physique Nucléaire à Basse Energie, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, Commissariat à l'Energie Atomique (France) (E. Cotton)	51

XVIII.	Laboratoire de Physique Nucléaire, Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (France) (R. Bouchez)	65
XIX.A.	Commissariat à l'Energie Atomique (France) Mesures de Sections Efficaces Totales pour des Neutrons de 3,6 MeV à 5,2 MeV (J. Cabe, M. Laurat, P. Yvon)	66
XIX.B.	Commissariat à l'Energie Atomique (France) Mesures de Sections Efficaces Totales pour des Neutrons de 500 à 1200 keV (J. Cabe, M. Laurat, P. Yvon)	69
XIX.C.	Commissariat à l'Energie Atomique (France) Mesures Différentielles de Sections Efficaces Inélastiques (J. Cabe, M. Laurat, P. Yvon)	81
XIX.D.	Commissariat à l'Energie Atomique (France) Mesures de la Section Efficace ($n,2n$) du Cobalt à 14,1 MeV (J. Cabe, M. Laurat, P. Yvon)	82
XIX.E.	Commissariat à l'Energie Atomique (France) Mesures de Sections Efficaces ($n,2n$) à 14 MeV de Co ⁵⁹ , As ⁷⁵ , Y ⁸⁹ et Mn ⁵⁵ (B. Granger, M. Longueve)	83
XIX.F.	Commissariat à l'Energie Atomique (France) Neutrons de 14 MeV (D. Didier, H. Dillemann, E. Fort P. Thouvenin)	85
XX.	Service des Expériences Critiques (D. Breton) et Service de Physique Mathématique (J. Bussac) Commissariat à l'Energie Atomique (France)	87
XXI.	Laboratoire d'Etudes de Piles, Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble (France) (J. Lalande)	97

I. LABORATORIUM FÜR TECHNISCHE PHYSIK DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE,

MUNCHEN (GERMANY).

1. Differential scattering cross sections between 0,02 and 0,1 eV (Hofmeyr, Kornbichler, Lemmel, Springer).

A number of angular differential cross sections has been measured with a "black" Li⁶I-counter on different polyphenyls, ZrH_x, water, and heavy water. The quantity obtained is

$$d\sigma(E, \theta) / d\Omega = \sigma_0 \int_0^{\infty} \frac{E'}{E} S(K(E, E', \theta); \omega) dE'; \hbar \omega = E' - E; K = |\vec{k} - \vec{k}'|$$

These measurements shall allow a rather direct testing method for the scattering laws $S(k, \omega)$ which are obtained from purely theoretical, or from semi-empirical methods (like Egelstaff's). Calculations are planned elsewhere but have not been performed as yet. Furthermore, the quantity $\cos \theta$ can be obtained from the measurements as a function of neutron energy E. This quantity can be directly related to the average diffusion constant (e.g. from pulsed spectra experiments) by proper averaging.

Some preliminary curves by HOFMEYR are shown in figs. I.1a and 1b. The peaks are due to diffraction effects. Measurements of LEMMEL on water at different temperatures in a pressurized sample container have shown that the shape of the angular distribution changes less than 3 per cent between 0° and 200°C. Therefore $\cos \theta$ is rather insensitive to the temperature (fig.I.2). A full description of the results will be given in the next progress report.

2. Disorder scattering experiments on Al, Bi and Be (R. Scherm and W. Schmatz).

The disorder scattering cross section of Al, Bi and Be was determined by measuring the scattering intensity around the sample by a set of calibrated counters. Sample temperature and neutron energy were sufficiently low to suppress inelastic and coherent scattering (4°K, 0,4.....1,8 meV). To simulate the scattering geometry during calibration and the sample measurement itself, a sandwich has been used for the calibration, consisting of an aluminium disk and thin polyethylene foils. The following

results have been found:

Al 10 ± 1 mbarn

Bi 12 ± 1 mbarn

Be 4 ± 1 mbarn

They represent at least an upper limit for the incoherent spin scattering cross section. The values may include small contributions from impurities spectroscopically indetectable. The spectroscopical purity of the Al and Bi samples was 99,999%, while the Be-sample (Pechiné) may be about 99,98 %.

This investigation is connected with a redetermination of the neutron-electron scattering amplitude.

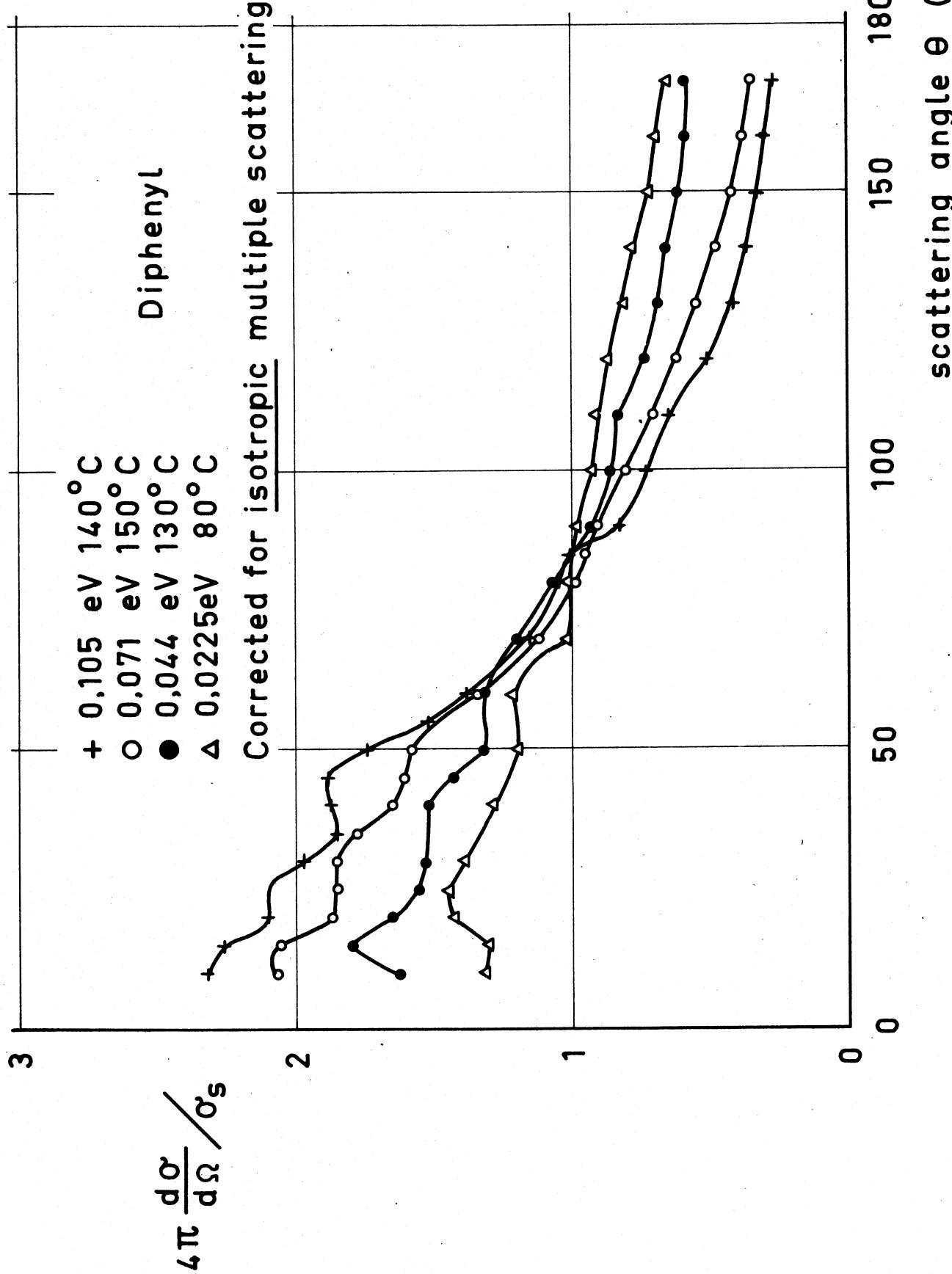


Fig I-1a

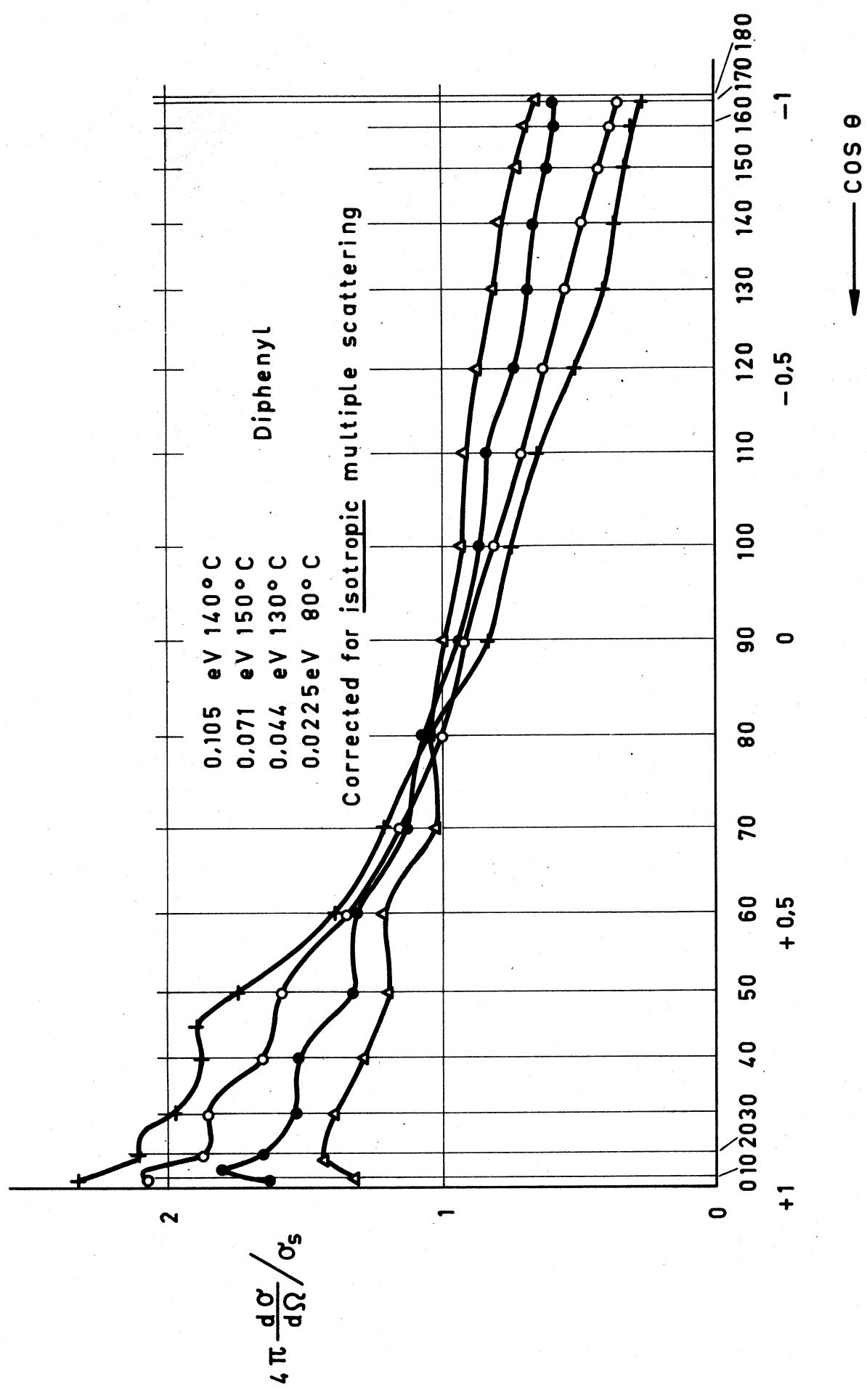


Fig I-1b

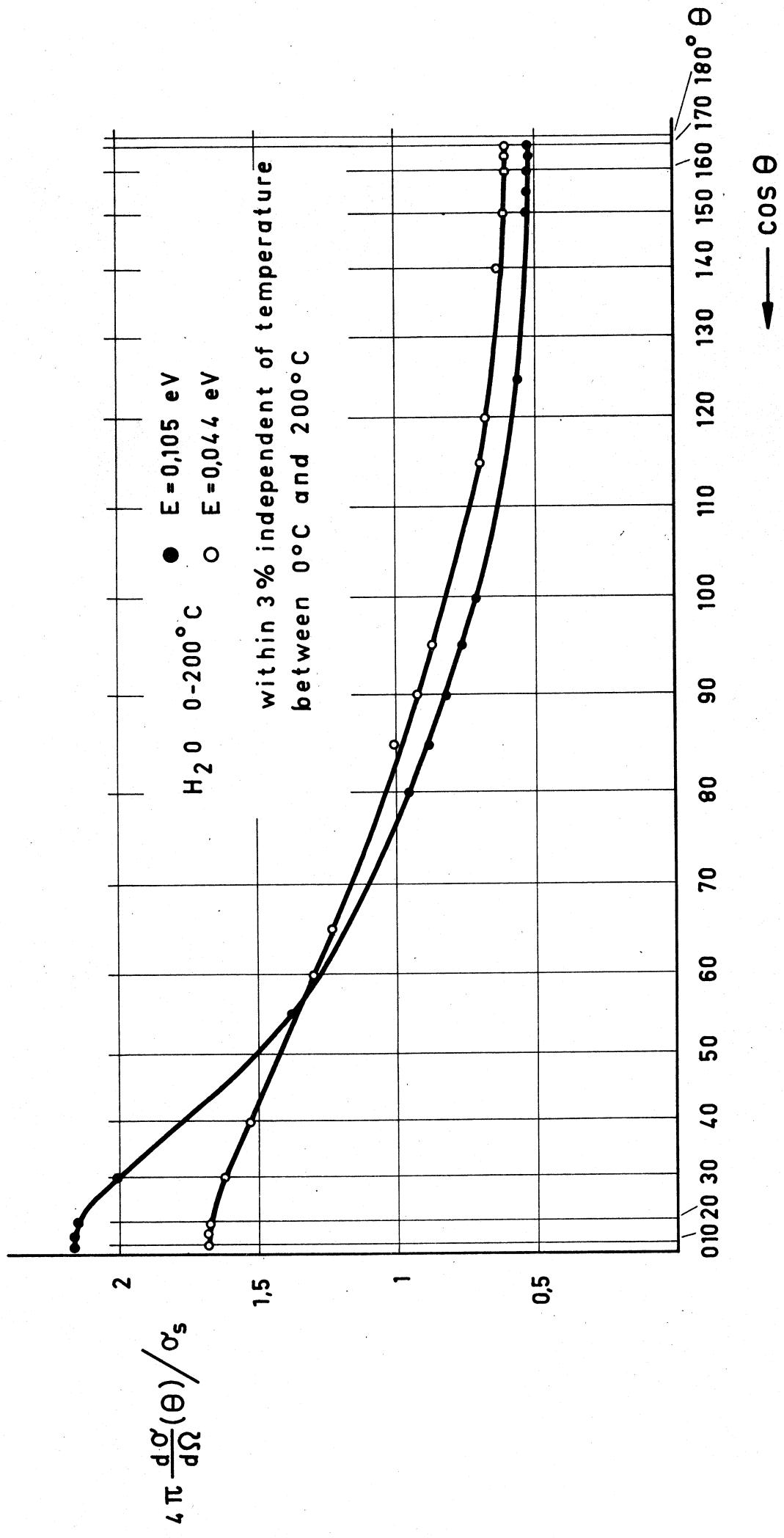


Fig I-2

II. PHYSIKALISCHES STAATSINSTITUT, UNIVERSITÄT HAMBURG (GERMANY)

1. Total Cross Section Measurements on Potassium, Calcium and Sodium in the Energy Range 4,2 - 6,2 MeV (E. Fretwurst).

The total cross section of K, Ca and Na was measured in the energy range 4,2 - 6,2 MeV. Neutrons were obtained by the $H^2(d,n)He^3$ reaction using a gas target on a 3 MeV Van de Graaff. A stilbene recoil counter scintillator was used for neutron detection. Its γ -sensitivity was reduced by pulse-shape discrimination. A correction for forward scattered neutrons was applied on the measured transmission data. The results are given in table 1 and shown in figs. II.1, II.2 and II.3.

Table 1 : Total Cross Section of K, Ca and Na

K		Ca		Na	
E_n (MeV)	σ_t (barn)	E_n (MeV)	σ_t (barn)	E_n (MeV)	σ_t (barn)
4,13	3,14	4,14	3,93	4,08	2,01
4,19	3,32	4,19	3,94	4,12	1,94
4,24	3,22	4,28	3,78	4,16	1,90
4,29	3,25	4,32	3,40	4,20	1,94
4,34	3,42	4,37	3,50	4,24	2,18
4,39	3,08	4,42	3,40	4,29	2,36
4,44	3,19	4,46	3,21	4,34	2,21
4,49	3,41	4,53	3,31	4,38	2,31
4,54	3,07	4,61	3,38	4,42	2,10
4,58	3,10	4,65	3,38	4,47	1,86
4,63	3,35	4,70	3,51	4,51	1,71
4,68	3,29	4,75	3,49	4,56	2,15
4,73	2,71	4,80	3,14	4,61	2,22
4,77	3,32	4,85	3,12	4,66	2,20
4,82	3,25	4,89	3,02	4,70	2,00
4,87	3,11	4,94	3,13	4,75	2,17
4,92	3,33	5,01	3,38	4,79	1,96
4,97	3,01	5,06	3,21	4,84	2,01
5,02	2,90	5,11	2,98	4,89	1,85
5,06	2,65	5,17	3,35	4,94	1,80
5,12	2,98	5,22	3,01	4,98	1,80
5,17	3,16	5,27	3,06	5,03	1,85

K		Ca		Na	
E_n (MeV)	σ_t (barn)	E_n (MeV)	σ_t (barn)	E_n (MeV)	σ_t (barn)
5,22	3,18	5,32	3,01	5,08	1,83
5,27	2,92	5,37	2,99	5,13	1,95
5,32	2,80	5,42	3,44	5,18	1,93
5,37	3,11	5,47	3,22	5,23	2,07
5,42	3,13	5,53	3,04	5,28	2,11
5,47	2,94	5,58	2,88	5,33	1,92
5,53	2,91	5,63	3,12	5,38	2,12
5,62	2,66	5,69	3,20	5,43	2,02
5,69	2,92	5,74	3,26	5,48	2,03
5,74	2,75	5,80	2,80	5,58	2,04
5,80	2,64	5,85	2,71	5,64	1,86
5,85	2,81	5,91	2,90	5,69	1,90
5,91	3,04	5,95	3,01	5,73	1,75
6,02	2,78	6,02	2,79	5,78	2,00
6,08	2,80	6,08	2,86	5,83	1,94
6,14	2,90	6,13	2,95	5,88	1,75
6,19	2,89	6,19	2,82	5,93	1,95
6,25	2,38	6,25	2,68	6,04	2,03
6,31	2,50	6,31	2,73	6,14	1,81
				6,19	1,82

$$\Delta E_n = 60 \text{ keV} \quad \Delta \sigma_t = \pm 3 \%$$

2. Measurement of the Cross Section for some Neutron-Induced Reactions (M. Bormann, E. Fretwurst and G. Wrege).

Using the activation method, the cross sections for some reactions induced by $H^3(d,n)He^4$ neutrons have been measured. The deuterons were accelerated either with a 150 keV high voltage set or with a 3 MeV Van de Graaff; tritium-titanium targets were used.

a) $Al^{27}(n,\alpha)Na^{24}$; $Fe^{56}(n,p)Mn^{56}$; $Zn^{66}(n,p)Cu^{66}$

The β -activity of the produced nuclei was determined using 2π window counters. Corrections for geometry and for β -absorption within the foil, in the air and in the counter window were applied.

The neutron flux was determined absolutely using a Li⁶I (Eu) crystal which was always arranged under such an angle that the incident neutron energy was 14,1 MeV. At this energy, the cross section of the Li⁶(n, α)H³ reaction was assumed to be 25,8 mb \pm 6 %. The following results were obtained :

<u>Reaction</u>	<u>Neutron Energy</u> MeV	<u>Cross Section</u> mb	<u>Error</u>
Al ²⁷ (n, α)Na ²⁴	14,8 \pm 0,6	120,0	\pm 7,3 %
Fe ⁵⁶ (n,p)Mn ⁵⁶	14,8 \pm 0,6	108,3	\pm 8 %
Zn ⁶⁶ (n,p)Cu ⁶⁶	13,2 \pm 0,5	74,4	\pm 13 %
	14,8 \pm 0,6	77,0	\pm 8,5 %
	15,2 \pm 0,7	73,5	\pm 13 %
	17,0 \pm 0,7	70,2	\pm 13 %
	17,9 \pm 0,6	60,7	\pm 12 %
	18,9 \pm 0,4	62,0	\pm 13 %
	19,4 \pm 0,2	57,0	\pm 12 %

b) Sr⁸⁸(n,2n)Sr^{87 m}, N¹⁴(n,2n)N¹³

The product nucleus activity was determined by absolute γ -counting. The neutron flux was measured by recoil proton counting in a stilbene crystal. Pulse-shape discrimination was used in order to separate recoil protons from γ -radiation. The results are given in tables 2 and 3. The stated errors do not include those resulting from uncertainties in the decay scheme.

Table 2 : Cross Section for N¹⁴(n,2n)N¹³

<u>E_n(MeV)</u>	<u>ΔE_n(MeV)</u>	<u>σ(mb)</u>	<u>$\Delta \sigma$(mb)</u>
13,2	\pm 0,25	3,3	\pm 0,4
14,1	\pm 0,25	6,3	\pm 0,4
15,2	\pm 0,30	8,7	\pm 0,7
16,0	\pm 0,30	9,4	\pm 0,8
17,0	\pm 0,30	10,2	\pm 0,8
17,9	\pm 0,30	10,6	\pm 0,9
18,6	\pm 0,30	10,0	\pm 0,8
19,2	\pm 0,30	10,2	\pm 0,9
19,4	\pm 0,30	11,1	\pm 0,9

Table 3 : Cross Section for $\text{Sr}^{88}(n,2n)\text{Sr}^{87m}$

E_n (MeV)	ΔE_n (MeV)	σ (mb)	$\Delta \sigma$ (mb)
12,6	$\pm 0,20$	106	± 7
13,2	$\pm 0,25$	165	± 11
14,1	$\pm 0,25$	213	± 12
15,2	$\pm 0,30$	247	± 17
16,0	$\pm 0,30$	249	± 17
17,1	$\pm 0,30$	279	± 18
18,0	$\pm 0,30$	270	± 18
18,7	$\pm 0,30$	269	± 18
19,1	$\pm 0,30$	235	± 16
19,6	$\pm 0,30$	221	± 15

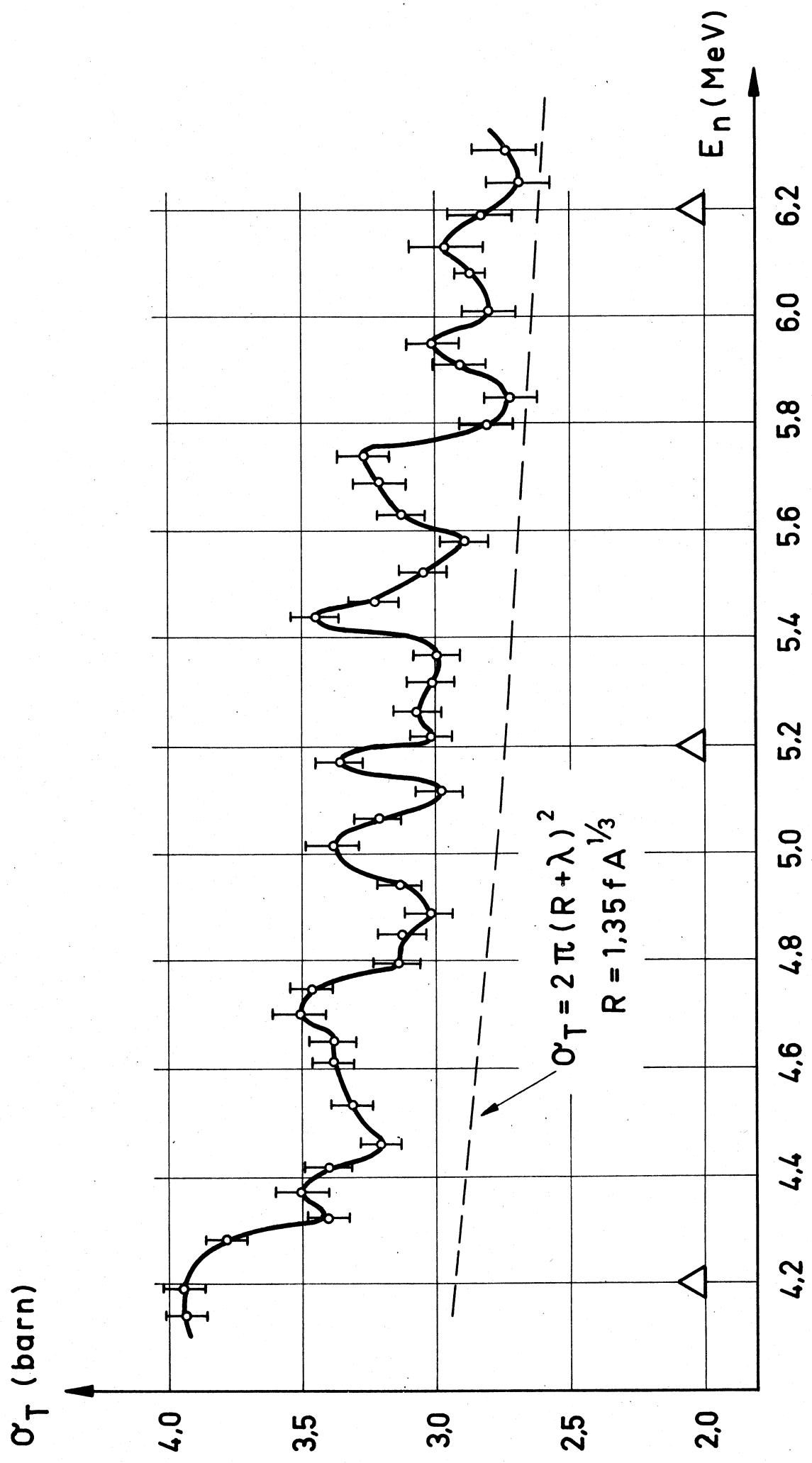


Fig II-1 σ_t for Ca

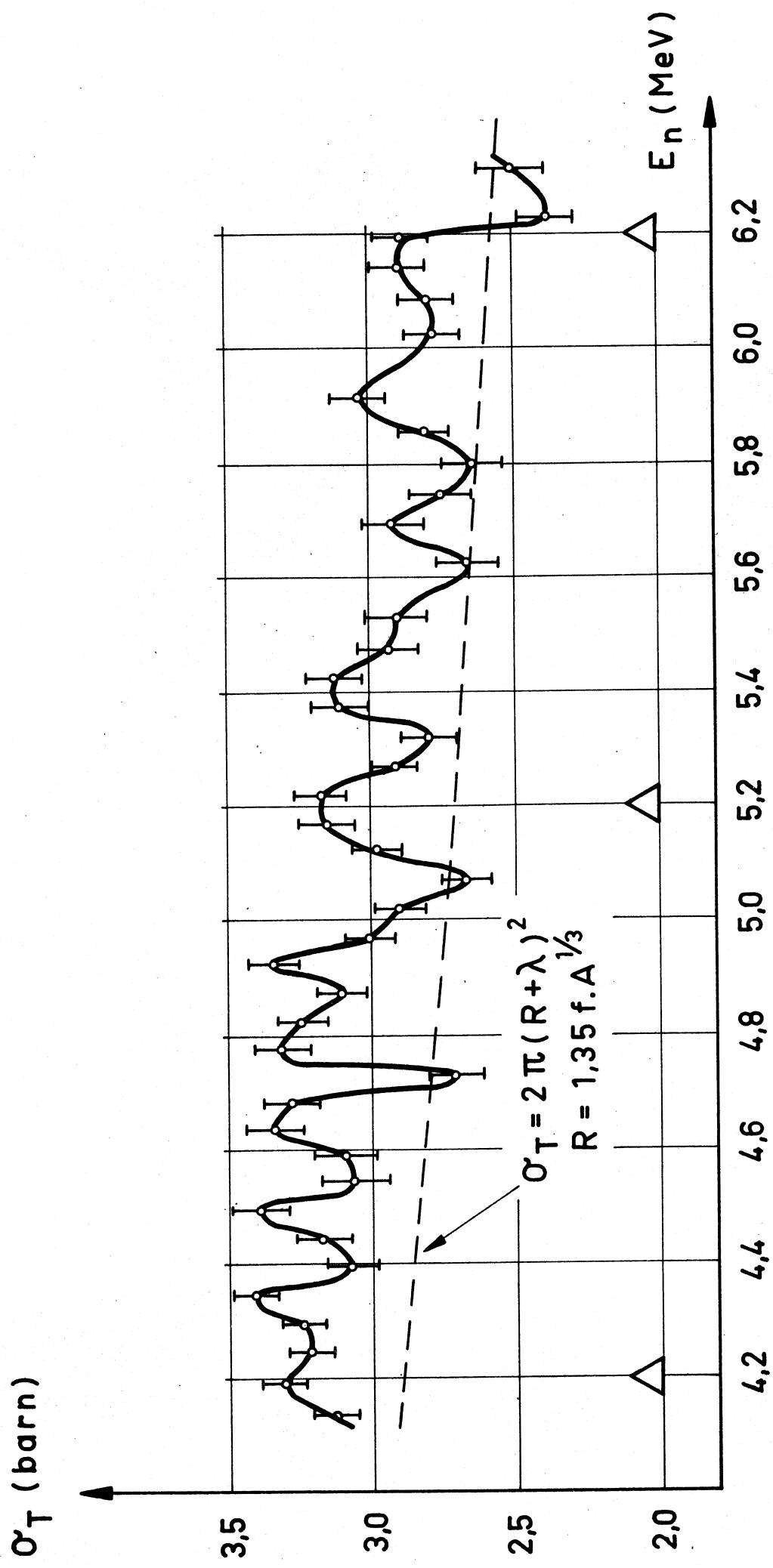


Fig III-2 σ_t for K

• Gilboy and Towle - o this work

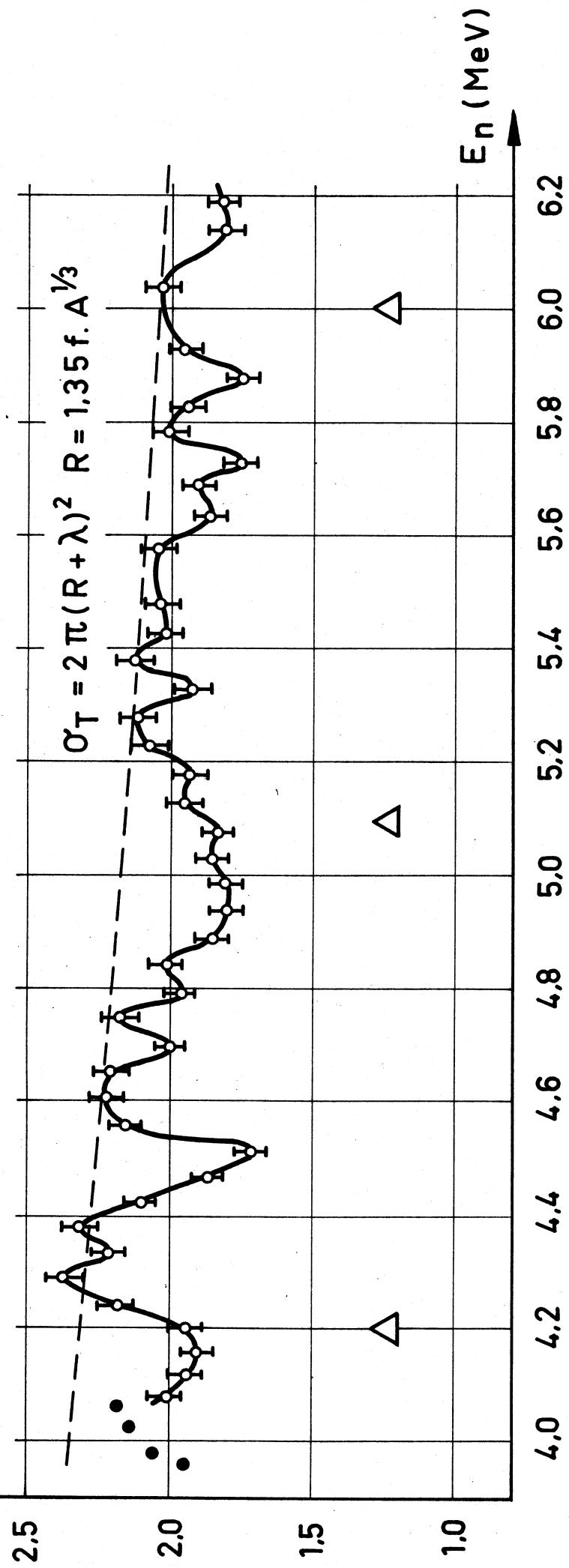


Fig II-3 σ_t for Na

III. CENTRAL BUREAU FOR NUCLEAR MEASUREMENTS, EURATOM COMMISSION,

GEEL (BELGIUM)

A. Neutron Group

1. 3-MeV Van de Graaff (A. Alonso, K.H. Böckhoff, A. Jacquot, H. Liskien, A. Paulsen).

After an assembly and test period of more than 10 months the last results look promising. Most of the specifications have finally been fulfilled. The final and satisfying improvement was achieved by the application of a quadrupole-lense between the base-plate of the accelerator and the analysing magnet.

Ion beam energy calibrations have been carried out. The accuracy obtained is about 0,1 %. First tests of the telescope counter for absolute fast neutron flux measurements started but had to be interrupted because of the test requirements for the accelerator.

The inelastic scattering cross section experiment on Na and Fe and the activation cross section experiment on eight (n,p)- (n,α)- and ($n,2n$)-reactions are prepared and have been waiting for neutrons.

2. Linear accelerator (C.Allard, K.H. Böckhoff, C. Cardinael, A. De Keyser, K. Gubernator, H. Horstmann, E. Migneco).

a) Machine

The accelerator itself is about ready at C.S.F.-site. Tests with one section showed that all guaranteed specifications can be reached and partly exceeded. For the different uranium-targets design considerations are still running. The accelerator and accessories are supposed to be installed and ready for the first experiments in autumn 1964.

b) Building

The building will be ready to house the accelerator and its auxiliary installations January 1964.

3. Thermal fission cross section of Pu^{239} (G. Fraysse, A.Prosdocimi).

The absolute measurement of the fission cross section of Pu^{239} has been completed for the energies between 0,03 eV, 0,062 eV and 0,27 eV. The evaluation of the results is not yet finished. A report will be published soon.

B. Isotopic Standards of Stable and Fissile Isotopes (G.H. Debus)

1. Theoretical studies (G.H. Debus, P. De Bièvre)

a) The study of the optimal condition for quantitative determination of small samples, using isotope dilution as method and mass spectrometry as measuring technique, was made by means of a computer program (Optimal conditions for mass spectrometric quantitative determination by isotope dilution, P. De Bièvre and G.H. Debus, to be published).

b) The theoretical possibilities were examined for the determination of mass discrimination in a mass spectrometer for the isotopes H, D, O¹⁶, O¹⁷, O¹⁸ using several blends of heavy water of different enrichment (T. Babeliowsky - in preparation).

2. Boron (G.H. Debus, K.F. Lauer)

A new Harwell boron standard was compared with the CBNM II-standard (containing 19.83 mol % B¹⁰). The difference of the isotopic composition does not exceed the limits of the experimental errors.

A serie of measurements indicate that no detectable isotopic effect (i.e. < 0.2 % variation in the boron-10 content) occurs after 18 crystallizations of boric acid.

3. Uranium (G.H. Debus)

The depleted uranium for the fabrication of depleted uranium standards is ordered and two different blending techniques (melting of uranium metal and mixing of solutions) were checked.

Mass discrimination of the mass spectrometer was checked by means of NBS-standards 930 and 650, and a NBS-sample with U²³⁵/U²³⁸ = 1.000. No discrimination was detected.

4. Plutonium standards

Plutonium is analysed on M.S.5 using the electron multiplier detection. High precision is obtained for Pu²⁴⁰/Pu²³⁹ but small Pu²⁴¹ and Pu²⁴² are still difficult to measure accurately because of interference of organic background peaks and because fairly large Am quantities in the samples.

The material needed for standards (four plutonium samples of 100 mg containing respectively 1, 3, 10 and 30 % Pu²⁴⁰) is available. A chemical treatment for the elimination of Am is under consideration (K.F. Lauer).

5. The establishment of a heavy water standard (T. Babeliowsky H. Moret) started on a broader scale with an international cooperation for exchanging samples and data. The CBNM will act as a clearing house for the standardisation of D₂O analyses. The determination of oxygen isotope ratio in water samples was based on the exchange oxygen between CO₂ and water; a standard deviation (on single measurement) of 0.06 % is reached.

IV. LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE APPLICATA, CENTRO DI STUDI

NUCLEARI DELLA CASACCIA DEL COMITATO NAZIONALE DI ENERGIA

NUCLEARE, CASACCIA (ITALY)

A. Neutron Physics

a. Theoretical work.

a-1) Slowing down of neutrons.

On the basis of a general theory by Boffi (1) (2) analysis of the stationary energy distribution of neutrons slowed down in an absorbing infinite homogeneous medium has been carried out.

It is shown how the asymptotic behavior of the exact step by step solution can be derived by resorting to the theory of the sequence of the functions of real variable. The constant of integration which completely defines that asymptotic behavior is also determined. Detailed account of the application of the method is given: (i) for the case of constant absorption, (ii) for the case of $\frac{1}{V}$ capture and (iii) for the case of $\frac{1}{V\gamma}$ capture (3).

Calculations of the resonance escape probability and comparison with previous approximation (age approximation, Grenling-Goertzel approximation) are being performed.

The problem of the time-energy distribution of neutrons slowed down in an infinite homogeneous medium has been also studied. The results are strictly connected to those ones obtained in the case of the stationary $\frac{1}{V}$ capture distribution (4).

Calculations of time-dependent spectra and of the neutron age are now in progress.

b. Experimental work.

b-1) Accelerator experiments.

By means of pulsed neutron source method (Van de Graaff 400 keV, $D(T; n)^4He$ reaction) have been determined the diffusion parameters and the age to thermal energy for organic moderators of the polyphenyls group among the ones which:

- i. have interesting properties in the field of slowing down and diffusion of neutrons, as Dowtherm A, Diphenyl and Santowax R, which have a good thermal stability, a low vapour pressure and because of the absence or little contents of oxygen,

have a weak activation if they are submitted to high neutron fluxes;

ii. permit a direct comparison with theoretical models on the interaction of thermal neutrons with organic molecules, like Benzene and Diphenyl.

Diffusion parameters.

The experimental tool employed for these measurements is the conventional one used for the examination of the neutron density in moderator samples for the analysis in the times following the injection, in the material to be examined, of a fast neutron pulse.

For every moderator have been investigated two types of geometries, one cylindrical and the other prismatic.

For the samples of "large" dimensions (eigenvalues $B^2 < 10^{-1} \text{ cm}^2$) an analysis on the eigenfunctions of order > 1 has been performed, for the determination of the fundamental decay.

The elaboration of the measurement data has been performed by means of the iterative method assuming as procedure stabilization sign the convergence of the transport mean free path towards a determined value.

The results obtained for the four moderators are reported in Table I. In figs. IV.1, IV.2, IV.3, IV.4 are reported the fundamental decay constants and the eigenvalues for the above mentioned moderators (5) (6) (7).

Age to thermal energies.

By means of the same experimental technique used for diffusion parameters, using moderating geometries extended towards one dimension, analysing on that one the neutrons density after the injection of fast neutrons burst and separating the eigenfunctions of the various orders by means of the Fourier analysis, from the amplitudes of same at one determined time, have been obtained the ages to thermal energies for Benzene, Diphenyl and Dowtherm A.

The results are reported in Table II.

b-2) Reactor experiments.

Slow chopper.

Because of the low flux of the TRIGA Mark II Reactor, it seemed to us preferable to build a simple chopper to be used

mainly for total cross section measurements.

Nevertheless we tried to exploit the stabilization and the precision of the time-of-flight determination in order to increase the accuracy of the data.

The rotor is of the straight slits type and its velocity range is 1.000 ± 10 - 15.000 ± 10 r.p.m. The stabilization is obtained with a velocity servo which drives a d.c. motor.

The resolution, determined mainly by the angular divergence of the slits ranges from $100 \mu\text{sec}/\text{m}$ at 1.000 r.p.m., to $10 \mu\text{sec}/\text{m}$ at 15.000 r.p.m.

As it is well known, a drawback is generally encountered in the determination of the zero of the time of flight scale because the shape of the signal from the magnetic pick up depends on the angular speed ω of the rotor. Such inconvenience has been eliminated in our apparatus by summing a rectangular pulse of constant height to the pick up signal in order to raise its inflection point up to the level of the discriminator threshold. In this way one obtains a pulse occurring at the exact instant, the pick up signal inverts its polarity and, therefore, is independent of the rotor velocity. The pulse must occur when the slits transmission assumes its maximum value. This is obtained by adjusting the pick up position so that the maximum value of the inductance of the pick up coil coincide with the maximum of the slits transmission. By means of this chopper the total neutron cross section of benzene has been measured in the range 0.1 - 0.001 eV. The cross section per molecule (fig. IV.5) has been reduced to cross section per hydrogen atom by subtracting the absorption cross section of carbon (4.70 barns). The results are shown in fig. IV.6 together with the results of calculation on the basis of a model discussed in reference (8).

The consistency between the experimental and the theoretical results substantially deviate from the theoretical curve and show more markedly the typical change in slope of the neutron cross section of hydrogen in the hydrocarbons (9).

B. Nuclear Physics

a. Study of nuclear levels by means of (n_{th}, γ) reactions.

The study of levels which are excited by neutron capture becomes especially interesting when the attention is focussed on odd-odd deformed nuclei. In this case there are in fact two arguments favouring this research tool.

The first argument (which is not restricted to the region of deformed nuclei) lies in the fact that it is difficult or often impossible to study odd-odd nuclei by means of conventional spectroscopy (β decay). This happens because of the systematics of mass-energy surfaces in even A nuclei and because from the 0^+ ground state of the parent nucleus one can reach only low-spin states in the odd-odd daughter. This drawback does not exist when working with reactions such as (n, γ) or (d, p) .

The second argument, and from a theoretical point of view more interesting, concerns the importance of studying deformed nuclei in the $140 \leq A \leq 190$ region, where collective properties are most evident. The study of excited levels of odd-odd nuclei within this region has not yet been performed in a systematical way and is therefore well fit as an interesting research topic, one of the chief points of interest being a deeper understanding of Gallagher and Moskowsky's coupling rules, which are the counterpart of Nordheim's rule in the case of deformed nuclei.

Up to now we have restricted ourselves to the examination of low-energy transitions (0-500 keV) using a scintillation spectrometer with "fast-slow" electronic circuitry which allows us to obtain single spectra, coincidence spectra and sum-coincidence spectra. In the first part of this study we investigated the single γ -ray spectra of 13 elements ranging from La^{140} to Os^{190} . Six among these nuclei are odd-odd, two even-odd and the remaining five are mixtures of isotopes, whose contributions we can often separate without ambiguity.

Tables N° 3 and 4 show the results of our measurements (10) (11) (12), namely the energies (to about $\pm 3\%$) and the intensities (15-30 %) of γ -rays. We can also see the few data due to Sklyarevskii et al. (13), Draper (14), Estulin et al. (15) who have employed techniques similar to ours. A typical spectrum is drawn in fig. IV.7.

The second part of this study consists in γ - γ coincidence spectra in order to study cascade transitions. We have just begun this part of the work with coincidence spectra on Ta¹⁹².

We have also built under the kind supervision of Prof. M. Mladjenovic (Boris Kidrich Institute, Beograd, Yugoslavia) a Compton magnetic spectrometer in order to be able to extend the region under investigation up to 10 MeV. This instrument can yield a resolution of less than 1 % above 2 MeV, and it is ready to be used as soon as the power of our reactor will be increased according to a program concerning the next year. At the same time we have assembled a solid state counter spectrometer, with the aim of deducing the multipolarity of low energy transition through measurements of the conversion coefficient α and of the ratios α_K/α_L or α_K/α_{L+M} . A typical spectrum is shown in fig. IV.8. We have now changed the collimation system of our neutron beam increasing the flux from $2 \cdot 10^5$ to $4 \cdot 10^6$ n/cm² sec and are thus able to exploit the possibilities of the spectrometer more fully.

b. Resonant scattering and absorption of γ -lines.

The study of high excitation nuclear levels is performed by means of monochromatic γ -rays produced in (n, γ) reactions inside the reactor. In the maximum neutron flux region of a vertical tube ($5 \cdot 10^{10}$ n/cm² sec) we put a sample of an element which, following neutron capture, emits a certain number of γ -lines. A borated paraffin absorber placed above the sample stops the scattered neutrons. At the end of the tube we thus have a well collimated photon beam with a line spectrum.

The beam hits a target made of the element we want to study, and γ -rays scattered at a laboratory angle of 135° are detected by a 4"x6" NaI (TI) scintillator (C) which feeds a multichannel analyser.

The idea underlying this experiment is the following: as in medium-heavy nuclei the level density in the 5-10 MeV interval is high and the mean-life of these levels is comparatively short, there is a substantial probability (of the order of some percent) that a γ -line emitted by the element of which the source (S) is made be resonantly scattered by the element which constitutes the target.

In our first investigation we have chosen a source and a target which have already been studied by Ben-David and

Huebschmann (16), namely the reaction $\text{Fe}^{56}(n,\gamma)\text{Fe}^{57}$ as a source (γ -rays of 7.3 and 7.7 MeV among the others) and natural lead as a target. In this way we excite the 7.28 MeV level in Pb^{208} . Our results are drawn in fig. IV. 9 where one can see the spectrum of γ -rays scattered by a lead target (a) and a reference spectrum (b) of γ -rays scattered by a non-resonant target (Bismuth). We are now supplementing this measurement with a series of similar ones made in different conditions (e.g. at different temperatures of the target and with resonant or non-resonant absorbers) in order to try to measure the total width and the radiative width to the ground state.

c. Nuclear spectroscopy with radioactive sources.

For our spectroscopy work we have recently built a magnetic lens spectrometer especially suitable for e,γ coincidence spectra (energy range 0-1 MeV; resolution about 4 % at a transmission of about 10 %). We are now preparing an experiment on the decay of the isomeric level of Ta^{182} , which will complete the information we gathered during our radiative capture work.

References.

- 1) V.C. Boffi: Ann. of Phys., 9, 435, 1960.
- 2) V.C. Boffi: Il Nuovo Cimento, Serie X, 21, 935, 1961.
- 3) V.C. Boffi, F. Knoke, V.G. Molinari, R. Scozzafava: submitted for publication.
- 4) V.C. Boffi: Submitted for publication.
- 5) V.C. Boffi, F. Demanins, V. Molinari: Comunicazione al VII° Congresso Nucleare di Roma, 14-17 giugno 1962.
- 6) F. Demanins, V. Rado, F. Vinci: CNEN-RT/FI(63)22.
- 7) F. Demanins, V. Rado, F. Vinci: Comunicazione presentata al VII° Congresso Nucleare di Roma, 14-17 giugno 1962.
- 8) V.C. Boffi, V.G. Molinari, D.E. Parks: GA-3471 (Sept. 1962).
- 9) B. Antonini, N. Merzagora, G. Pauli: CNEN-RT/FI(63)26.
- 10) M. Giancini, D. Prosperi, S. Sciuti: Il Nuovo Cimento, 27, 538, 1963.
- 11) M. Giancini, D. Prosperi, S. Sciuti: Il Nuovo Cimento, 27, 1032, 1963.
- 12) M. Giancini, G. Pinto, D. Prosperi, S. Sciuti: to be published on Il Nuovo Cimento.
- 13) S.S. Sklyarevskii, E.P. Stapanov, B.A.O. Binyakov: Atomnaya Energiya 4, 22 (1958).
- 14) J.E. Draper: Phys. Rev. 114, 268 (1959).
- 15) I.V. Estulin, A.S. Melioransky, L.F. Kalinkin: Nucl. Phys. 24, 118, 1961.
- 16) G. Ben-David, B. Huebschmann: Physics Letters 3, 87, 1962.

TABLE 1

Moderator $T=20^\circ C$	$\Sigma_a \bar{v}$	D_o	C	λ_{tr}
Benzene	$(3,525 \pm 0,019) 10^3 s^{-1}$	$(4,941 \pm 0,039) 10^4 cm^2 s^{-1}$	$(2,014 \pm 0,148) 10^4 cm^4 s^{-1}$	$(0,598 \pm 0,005) cm$
Diphenyl	$(2,892 \pm 0,059) 10^3 s^{-1}$	$(5,164 \pm 0,098) 10^4 cm^2 s^{-1}$	$(4,198 \pm 0,277) 10^4 cm^4 s^{-1}$	$(0,625 \pm 0,012) cm$
Dowtherm A	$(2,872 \pm 0,032) 10^3 s^{-1}$	$(4,847 \pm 0,058) 10^4 cm^2 s^{-1}$	$(1,312 \pm 0,205) 10^4 cm^4 s^{-1}$	$(0,585 \pm 0,007) cm$
Santowax R	$(2,428 \pm 0,022) 10^3 s^{-1}$	$(6,251 \pm 0,046) 10^4 cm^2 s^{-1}$	$(5,923 \pm 0,18) 10^4 cm^4 s^{-1}$	$(0,756 \pm 0,006) cm$

 Σ_a = Macroscopic absorption cross section \bar{v} = Mean velocity of neutrons D_o = Diffusion coefficient

C = Diffusion cooling coefficient

T = Temperature

TABLE 2

Moderator $T=20^\circ C$	τ_m
Benzene	$(44,3 \pm 3,4) cm^2$
Diphenyl	$(54,5 \pm 1,2) cm^2$
Dowtherm A	$(42,4 \pm 1,8) cm^2$

TABLE 3
Odd-Odd Nuclei
(Intensity I : photons per 100 captures)

Element	Product Nuclide	Present Work		Other Authors (5)(7)(8)	
		E_{γ} (keV)	I	E_{γ} (keV)	I
57 ^{La}	57 ^{La} ₈₃ ¹⁴³ (100)	x 92 ± 2 148 ± 3 221 ± 3 277 ± 4	130 44 66 44 42	- - - - -	- - - - -
59 ^{Pr}	59 ^{Pr} ₈₃ ¹⁴² (100)	x 94 ± 2 145 ± 3 177 ± 3	300 ~ 3 14 18	- - - -	- - - -
65 ^{Tb}	65 ^{Tb} ₉₅ ¹⁶⁰ (100)	44 (x) 76 ± 2 98 ± 3 148 ± 3 180 ± 3 198 ± 3 223 ± 3 253 ± 5	63 7.8 6.2 5.6 3.8 1.9 1.1 2.6	45 76 - - - - - -	- 7 - - - - - -
67 ^{Ho}	67 ^{Ho} ₉₉ ¹⁶⁶ (100)	49 (x) ~ 57 60; 90 116 ± 3 137 ± 3 ~ 149 (?) 172 ± 5 212 ± 8 239 ± 7 300 ± 7 415 ± 10	52 - ≤ 5 13 24 - 2.0 3.0 4.0 4.0 ~ 5	46; 47 56; 66 82 121; 121; 121 142; 146; 140 - - - 245 -	58 - ~ 2.5 20; 7; 16 31; 34; 22 - - - 8 - -
69 Tm	69 Tm ₁₀₁ ¹⁷⁰ (100)	53 (x) ~ 63 60; 90 115 ± 2 150 ± 2 178 ± 4 206 ± 4 237 ± 4 306 ± 6	28 - ≤ 3 5.3 11.0 3.9 6.2 5.5 ~ 3	50 - - - - - 150; 160 222 -	- - - - - 7.3; 6 3 -
73 ^{Ta}	73 ^{Ta} ₁₀₉ ¹⁸² (100)	57 (x) 107 ± 2 135 ± 2 164 ± 6 180 ± 6 269 ± 6	250 20 28 15 19 40	57 107 133; 132 170; 175 272; 280 405	- 15 30; 9 22; 16 70; 39 20

TABLE 4

Element	Product Nuclide	Present Work		Other Authors (6)(7)(8)	
		E_{γ} (keV)	γ	E_{γ} (keV)	γ
<u>Even-Odd Nuclei</u>					
⁶⁸ Er	⁶⁸ Er ¹⁶⁹ ₁₀₁ (80)	51 (x) 81 ± 3 184 ± 3 200 ± 3 280 ± 10	54 11 61) 23) 12	50 82; 80 185; 192 285	- 18; 14 64; 66 10 } I γ γ per 100 captures.
⁷⁰ Yb	⁷⁰ Yb ¹⁶⁹ ₉₉ (43)	52 (x) 97 152 173	6.26 0.26 0.39 1.0	- - - -	- } I γ relative intensity
<u>Mixed Isotopes</u>					
⁶⁰ Nd	⁶⁰ Nd ¹⁴⁴ (77)	(x) 96 ± 2 153 ± 3	17 9.9 15	- - -	- } I γ γ per 100 captures.
	⁶⁰ Nd ¹⁴³ (9)	196 ± 3 262 ± 4	11 9.8	- -	- } I γ γ per 100 captures.
	⁶⁰ Nd ¹⁴⁶ (8)				- } I γ γ per 100 captures.
⁷¹ Lu	⁷¹ Lu ¹⁶⁷ (25)	56 (x) 60 ; 90 119 ± 2 148 ± 2	2.8 < 0.3 0.41 1	- - - -	- } I γ relative intensity
	⁷¹ Lu ¹⁶⁷ (75)	187 ± 4 227 ± 4 264 ± 5 307 ± 7 355 ± 7	0.23 0.11 0.16 0.12 0.15	- - - - -	- } I γ relative intensity
⁷² Hf	⁷² Hf ¹⁷⁸ (65)	55 (x) 94 ± 2 216 ± 3 322 ± 4	30 ~ 8 44 7.3	94; 90 217; 220 - ; 330	14; 15 40; 39 - ; 11 } I γ γ per 100 captures.
	⁷² Hf ¹⁷⁹ (19)				- } I γ γ per 100 captures.
⁷⁴ W	⁷⁴ W ¹⁸⁷ (58)	(x) 110 ± 2 147 ± 3	42 ~ 6 13	- - -	- } I γ γ per 100 captures.
	⁷⁴ W ¹⁸³ (29)	208 ± 3 271 ± 4	8.3 7	- -	- } I γ γ per 100 captures.
	⁷⁴ W ¹⁸⁴ (9)				- } I γ γ per 100 captures.
⁷⁶ Os	⁷⁶ Os ¹⁸⁸ (?)	(x) 157 ± 3 188 ± 3	18 12 28	- - -	- } I γ γ per 100 captures.
	⁷⁶ Os ¹⁹⁰ (?)	366 ± 4	17	-	- } I γ γ per 100 captures.
	⁷⁶ Os ¹⁹¹ (?)				- } I γ γ per 100 captures.

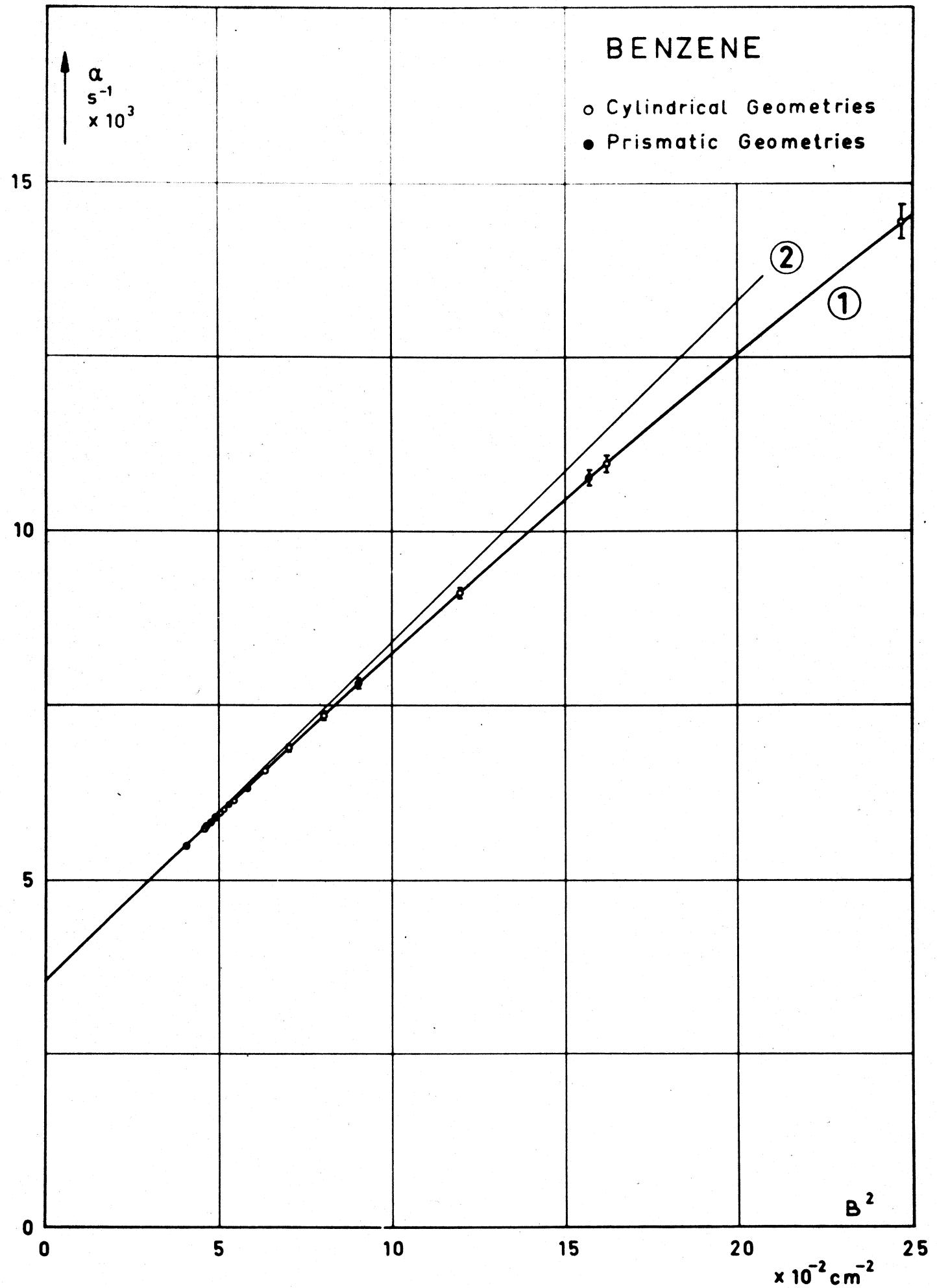


Fig IV-1

DIPHENYL

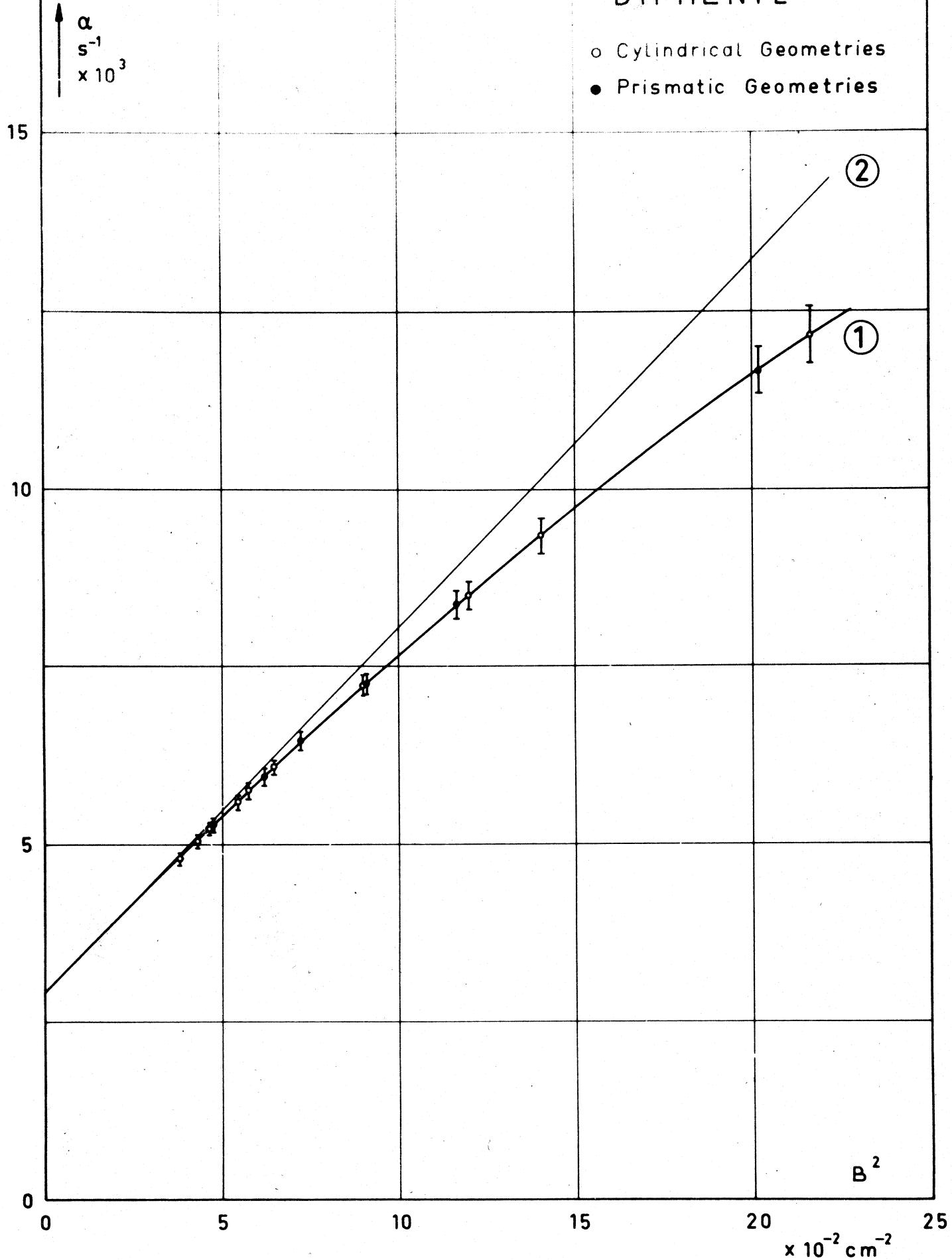


Fig IV-2

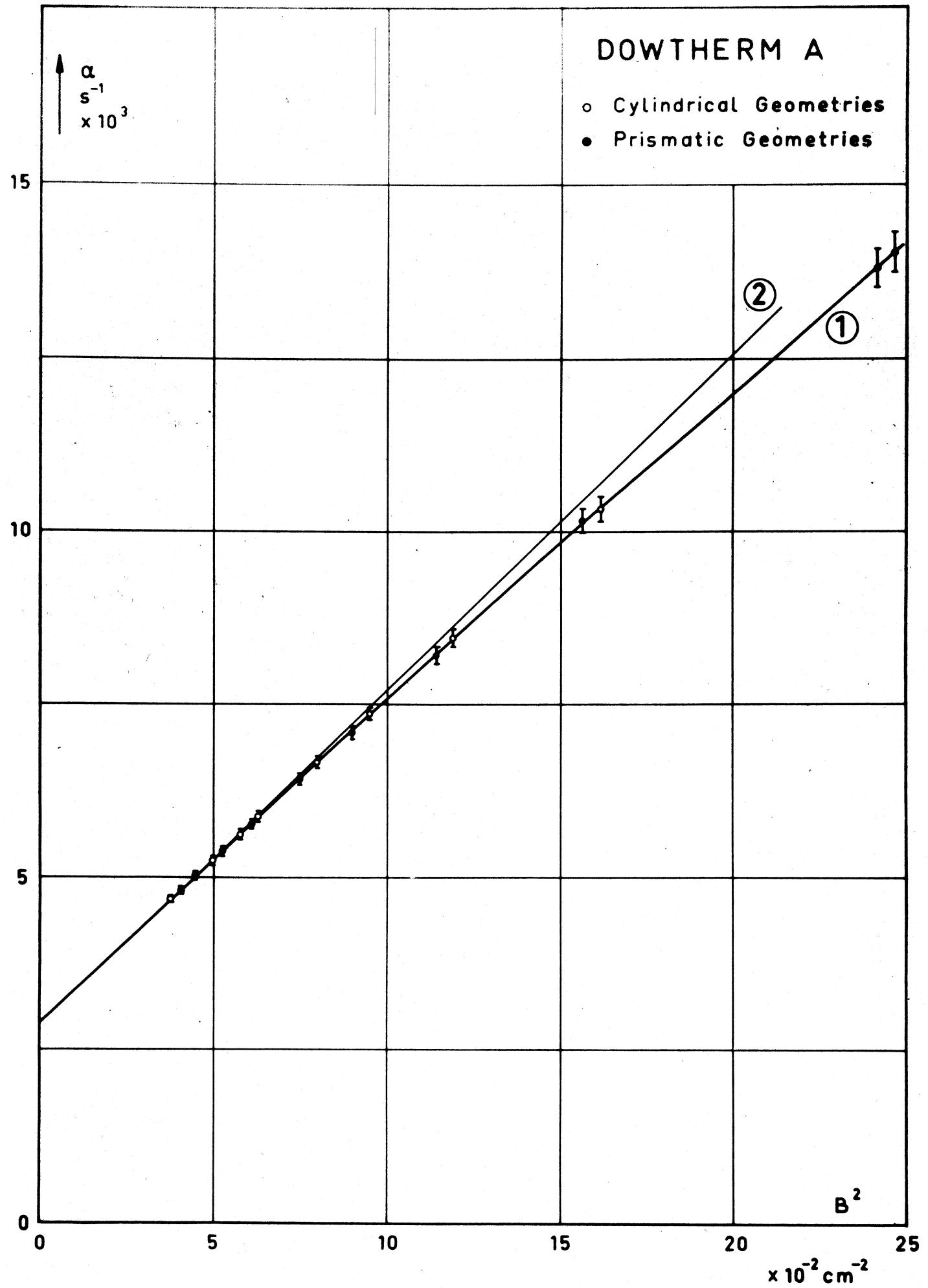


Fig IV-3

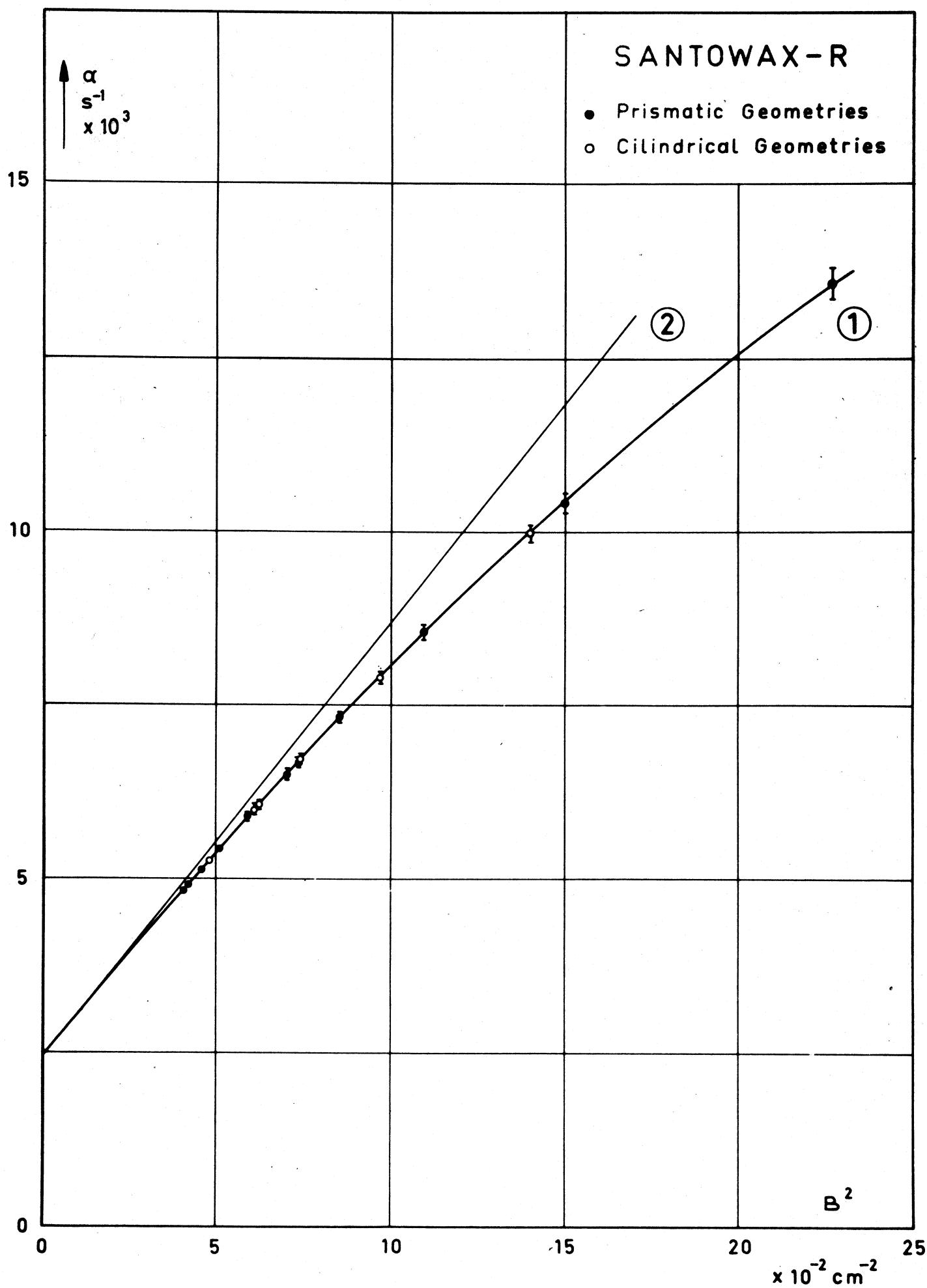


Fig IV-4

C/400/63

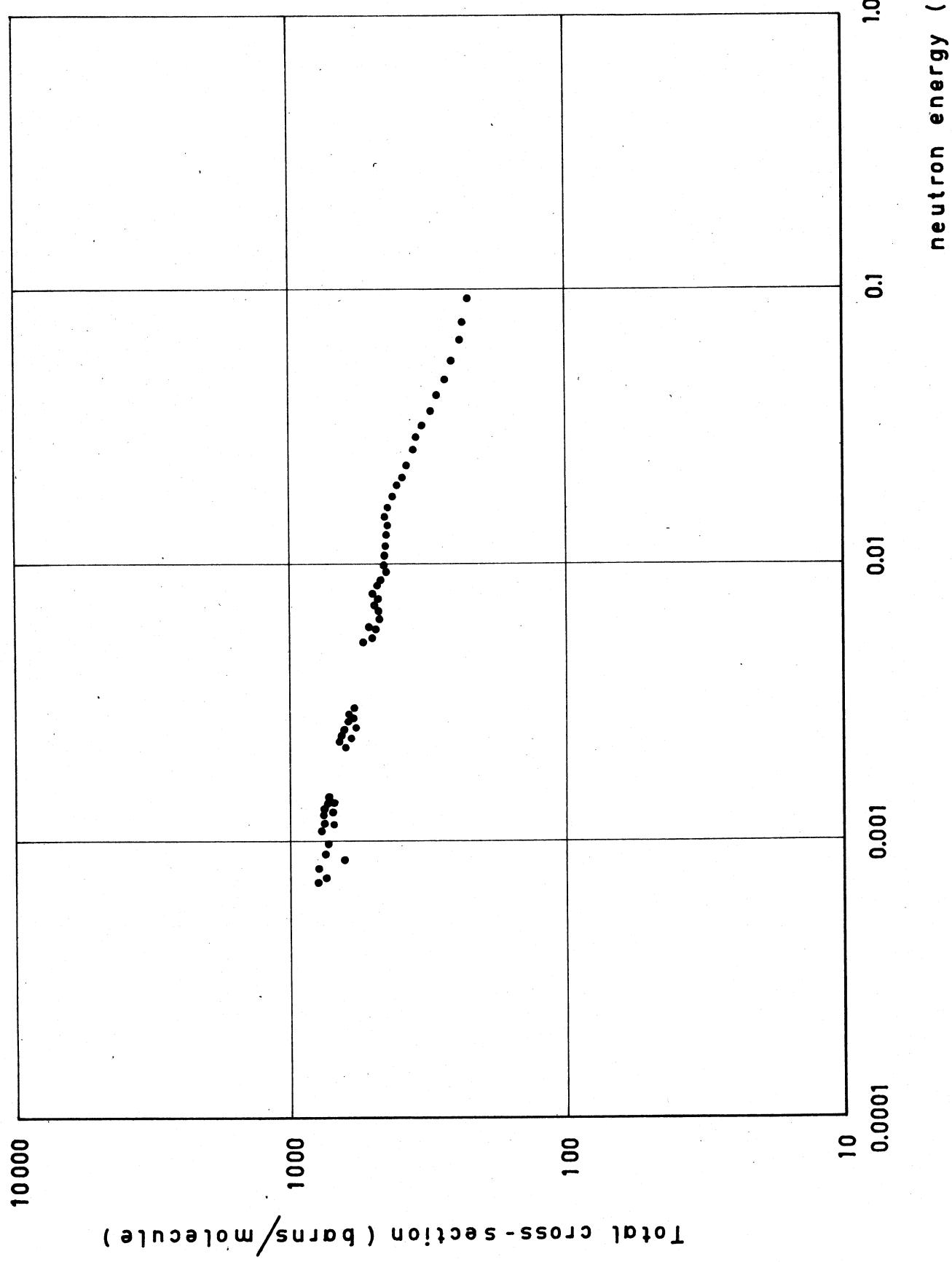


Fig IV-5 Cross section for benzene molecule at room temperature.

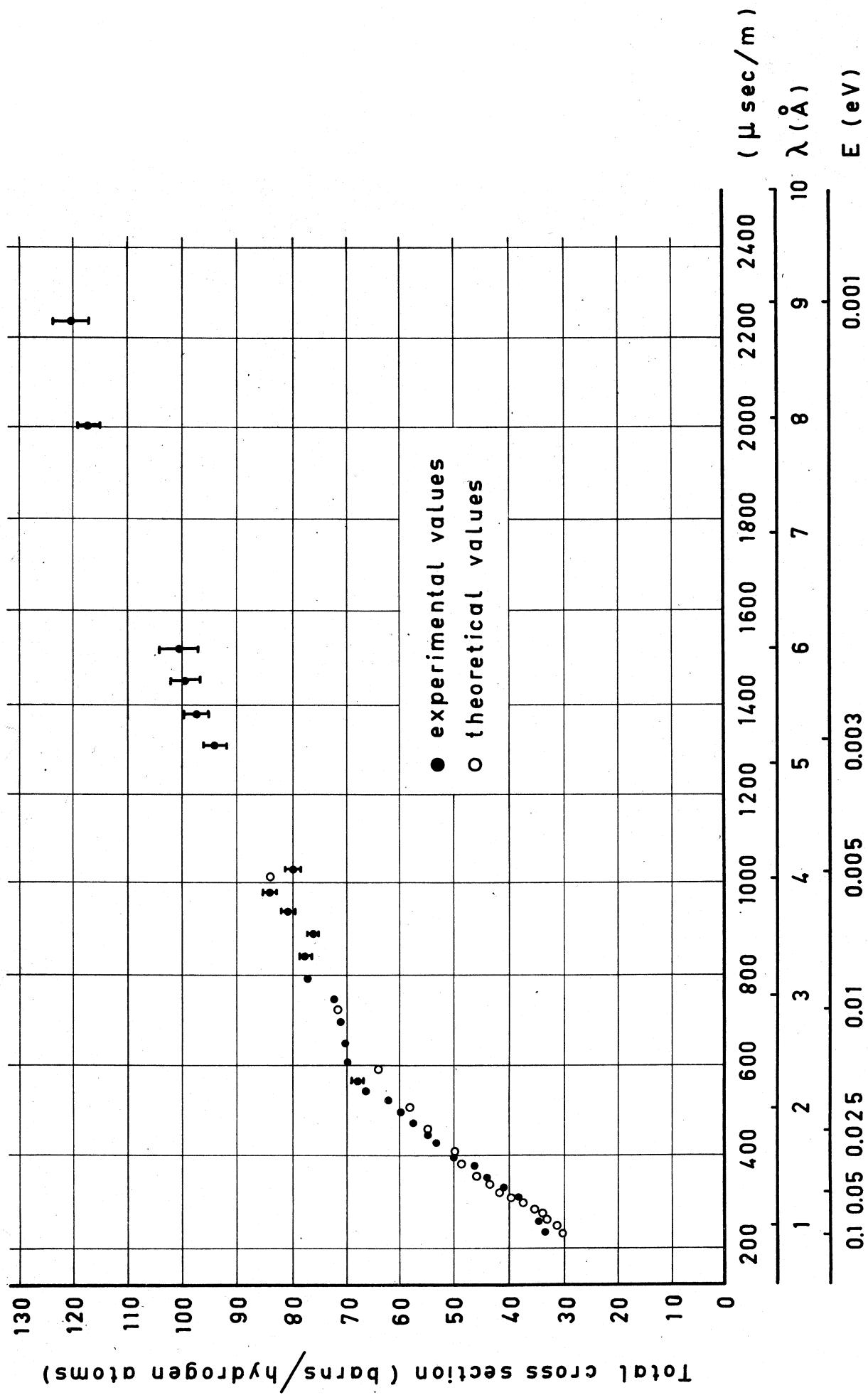


Fig IV-6 - Neutron cross section of the hydrogen atom bounded in benzene.

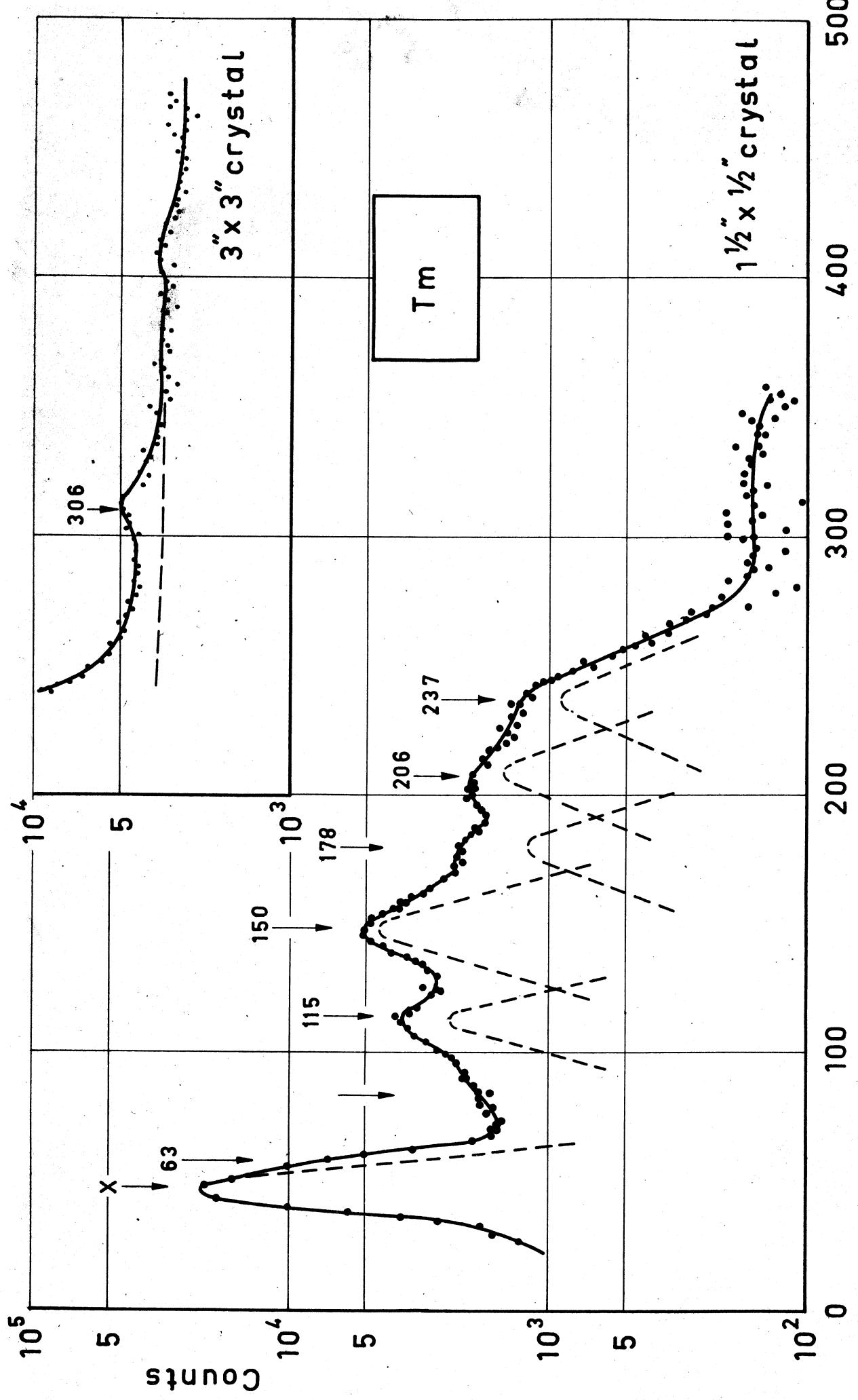


Fig IV-7

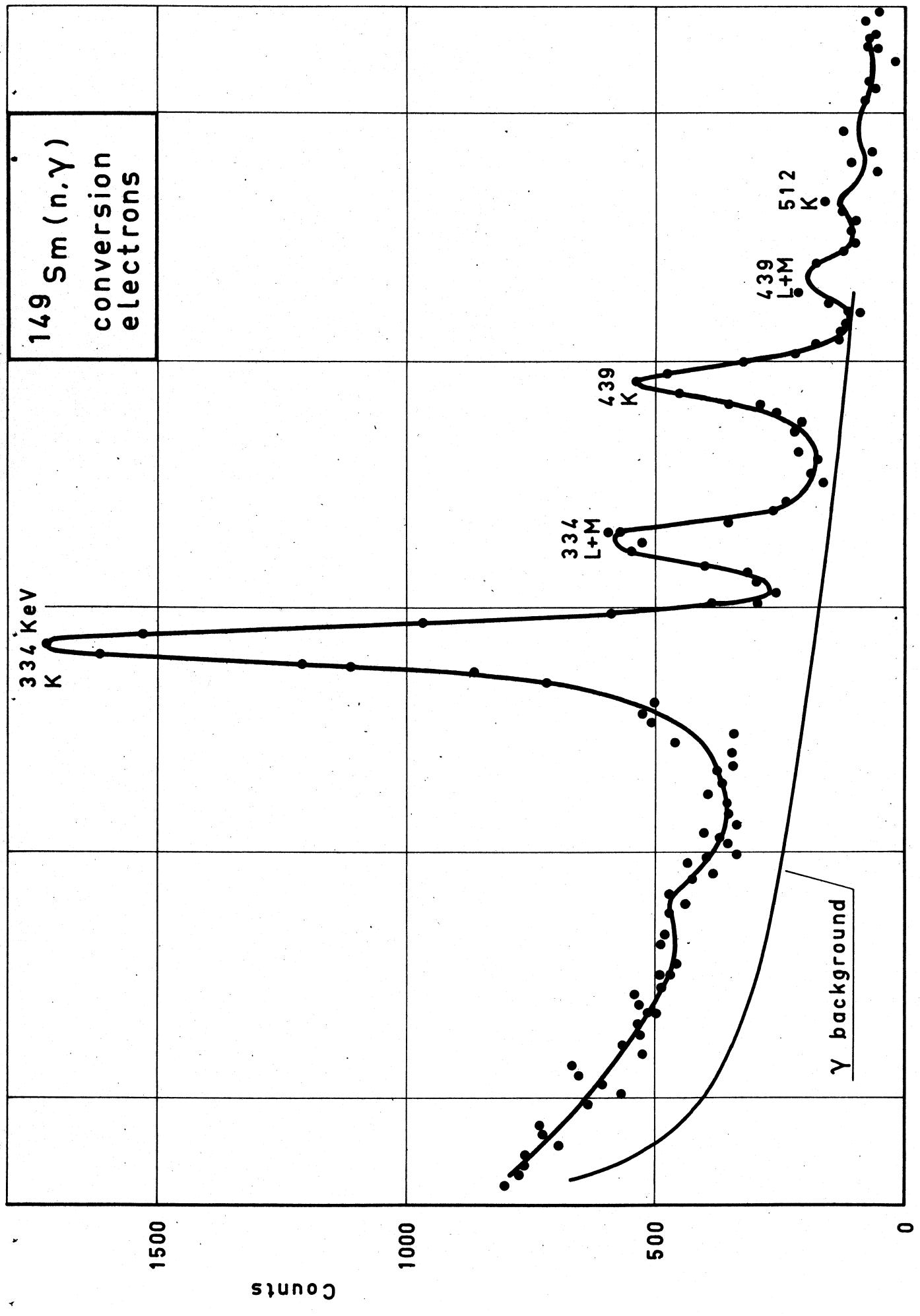
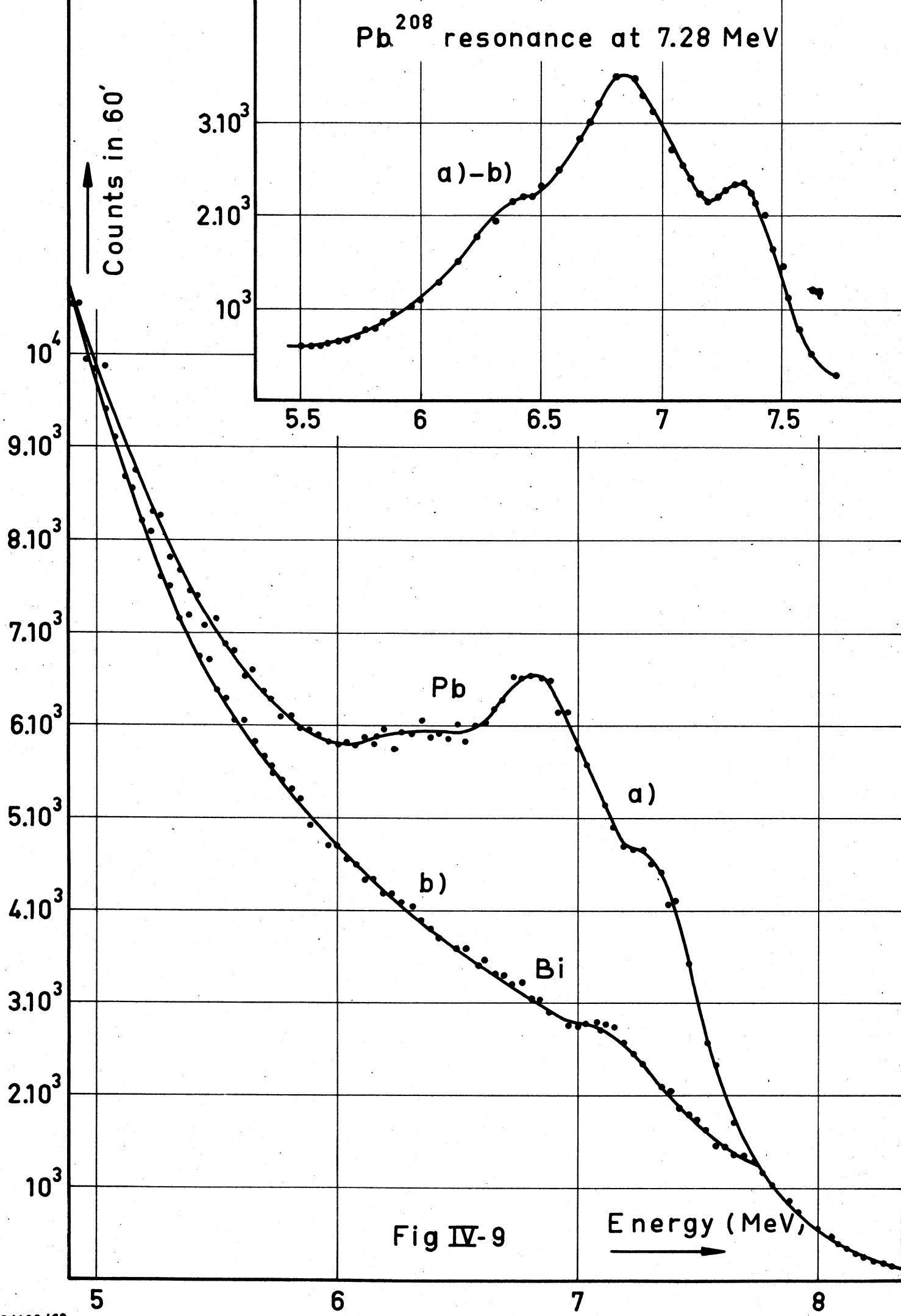


Fig IV-8



V. ISTITUTO DI FISICA, MOSTRA DOLTRE MARE, NAPOLI (ITALY)

A. Experimental work

1. Decay of Lu¹⁷⁴ to excited states of Yb¹⁷⁴

The preliminary results of this research have shown the existence of other γ - γ cascades besides the one already known (1245 γ) (76 γ). The γ radiations associated with the decay of the two isomeric states of Lu¹⁷⁴ (spins 6 $^{-}$ and 1 $^{-}$ respectively) are 76; 175; 275; 390; 511 (β^+ annihilation); 990 and 1245 keV. The presence of positrons has been clearly established by coincidence measurements between the annihilation quanta at 180° and 90°. Besides the coincidence measurements are consistent with a successive cascade involving γ of 990; 275; 175 and 76 kev.

From these results it is already possible to advance a decay scheme of the following levels of Yb¹⁷⁴; 0(0 $^{+}$); 76(2 $^{+}$); 250(4 $^{+}$); 530(6 $^{+}$); 1320(2 $^{-}$); 1510(7?). The important fact is to have brought to light the rotational states sequence 0 $^{+}$, 2 $^{+}$, 4 $^{+}$, 6 $^{+}$ in the even-even deformed nucleus Yb¹⁷⁴.

Of particular theoretical interest is the individuation of the 7 $^{-}$ state at 1510 keV which, together with the 2 $^{-}$ at 1320 keV would correspond to the two-particle states due to the coupling of two neutrons respectively in Nilsson's orbits (624) and 512) according to the coupling rules given by Gallagher (1).

2. Decay of Nb⁹⁸ and systematics of even molybdenum nuclides.

In the frame of the systematic research on the levels of the even molybdenum series we have studied the structure of Nb⁹⁸ levels through the radioactive decay of Nb⁹⁸ produced both by means of (d, α) reaction on Mo¹⁰⁰ at the Amsterdam cyclotron and by means of (n, p) reaction on Mo⁹⁸.

A series of levels has been found, analogous to that other molybdenum nuclei, which may be interpreted as due to the $(g_{9/2})^2$ configuration.

3. Decay of Eu¹⁴⁹ and of Eu¹⁵⁰ (5 year isomer).

Measurements have been almost finished of the coincidence of the γ from the mentioned sources. Analysis of data is being carried out and it is expected, among other things, that a complete scheme will be given of the Sm¹⁵⁰ levels, putting together these data with

(1) C.J. Gallagher, Phys. Rev. 126, 1525 (1962)

that from the study of the 14 hours Eu^{150} decay, with the scope of comparing with the collective model previsions.

4. Decay of Rh^{101} and excited states of Ru^{101} .

In the framework of the research on the excited levels of odd nuclei, angular correlation measurements have been performed on the cascade $\gamma - \gamma$ of 195 and 127 keV from the radioactive decay of Rh^{101} . The results suggest a succession of the spins $0(5/2^+)$; $127(3/2^+)$; $322(1/2^+)$. With the scope of studying the same levels in levels in Ru^{101} , we produced Tc^{101} by bombarding Mo^{100} with thermal neutrons. Coincidence measurements of $\beta - \gamma$ and $\gamma - \gamma$ are being carried out.

5. Radioactive decay of Cs^{138} and excited states of Ba^{138} .

The study of the excited levels of Ba^{138} has been completed by means of the radioactive decay of Cs^{138} obtained from (n,p) reaction on barium and chemical separation. Some summing peaks from cascade $\gamma - \gamma$, revealed by the sum-coincidence method with a well type crystal, show the presence of relatively high excitation levels, besides those already known.

B. Theoretical work.

Some nuclear spectroscopy and nuclear structure problems have been undertaken. In particular, the rotation-vibration interaction of even-even deformed nuclei has been studied. It has been concluded that the interaction with the vibrational band can furnish an important contribution to the coupling term. *Nuovo Cimento* 28, 191 (1963).

An experimental work on the existence of regularities on the electromagnetic transitions in some even-even spherical nuclei, has originated a theoretical research in collaboration with the Laboratoire Joliot-Curie de Physique Nucléaire, at Orsay (France). The results show that the observed regularities (*Nuovo Cimento* 25, 1375 (1962); Colloques I.I.S.N. : Phys. Nucl. des Basses Energies, Bruxelles 1962 pag. 340 may have an interpretation, and have induced to look for a generalisation of the methods applied in the simplest case. This is being presently carried out.

The neutron-proton short-range interaction problem has been approached in a study of the shell $f_{7/2}$ nuclei, introducing a generalized Bogoliubov transformation. The difficulties in the determination of the parameters have been eliminated.

Presently a research on the nuclei of the Pt region has been initiated, essentially based on the shell model. The scope of this work, as it should turn out, consists in calculating the low energy spectrum and the electromagnetic transition probability; in the determination of the single particle levels; and in the analysis of the behaviour of the parameters in the region of Pt, up to the present not well investigated.

VI. ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE, SOTTOSEZIONE DI TRIESTE,

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI TRIESTE (ITALY). (*)

The research performed by the group during the established period of time aimed at the determination of the phase shifts values in the elastic scattering of neutrons from alpha particles in the energy region of 2-3 MeV and 15 MeV respectively.

The results obtained are here summarized:

- a) For the energies of 2.37 and 2.87 MeV of the incident neutrons the values of phase shifts are :

$$E = 2.37 \text{ MeV} \quad \sigma_0 = -41^\circ 2 \pm 0.7 \quad \sigma_3^1 = 120^\circ 4 \pm 1.1 \quad \sigma_1^1 = 4^\circ 5 \pm 1.2$$

$$E = 2.87 \text{ MeV} \quad \sigma_0 = -42^\circ 7 \pm 0.7 \quad \sigma_3^1 = 119^\circ 2 \pm 0.9 \quad \sigma_1^1 = 7^\circ 8 \pm 1.3$$

The contribution of D waves to phase shifts at these energies is practically absent.

- b) For the energy of 14.9 MeV of the incident neutrons two indistinguishable sets of values for the phase shifts appear, namely:

$$E = 14.9 \text{ MeV}$$

$$1^{\text{st}} \text{ solution} \quad \sigma_0 = -76^\circ \quad \sigma_3^1 = 119^\circ \quad \sigma_1^1 = 74^\circ \quad \sigma_5^2 = -14^\circ \quad \sigma_3^2 = -12^\circ$$

$$2^{\text{nd}} \text{ solution} \quad = -103^\circ \quad = 87^\circ \quad = 42^\circ \quad = +13^\circ \quad = +13^\circ$$

Discrimination between the two sets could be obtained by experiments at higher energies.

* In collaboration with the low energy nuclear physics group of the Institute of Physics of the University of Padua.

VII. ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE, SOTTOSEZIONE DI FIRENZE,

PRESSO L'ISTITUTO DI FISICA DELL'UNIVERSITA FIRENZE (ITALY)

In the period 1.7.1962 to 1.7.1963 the Florence group of Euraton-CNEN contract has collected data:

- a) on the cross section fluctuations for the reactions $\text{Si}^{28}(\gamma, p)$ and $\text{Si}^{28}(\gamma, \alpha)$ around $E_\gamma = 17,64$ MeV;
- b) on energy and angular distribution in the reaction $\text{Ne}^{20}(n, \alpha)$ with $E_n = 14$ MeV. (In collaboration with Bologna).

In experiment a) measurements have been made for eight values of the energy, spanning a total energy range of 116 keV, for transitions leading to ground, 1st excited and 2nd excited state of Al^{27} and to ground and 1st excited state of Mg^{24} . Only relative values for the cross section have so far been obtained.

Pronounced fluctuations are present; they also appear to be uncorrelated for the different final levels; the whole picture is therefore qualitatively in agreement with Ericson's theoretical predictions, but a quantitative comparison is difficult.

Preliminary results and details of the method are given in N.Cim. vol.26, 141. and N.Cim. vol.26, 1416-1418.

In experiment b) measurements of energy and angular distribution of the alphas in the reaction $\text{Ne}^{20}(n, \alpha) \text{O}^{17}$ for 14 MeV neutrons are in progress. Pictures in a Wilson Cloud chamber have been taken and their evaluation is in progress. Preliminary results indicate a pronounced maximum in the angular distribution (center of mass system) around 90°, which seems quite peculiar and difficult to account theoretically.

VIII. COMITATO NAZIONALE PER L'ENERGIA NUCLEARE, ISTITUTO NAZIONALE
DI FISICA NUCLEARE, TORINO (ITALY)

1. A fast neutron time of flight spectrometer was built. It utilizes the neutrons from the reaction $^3\text{H}(\text{d},\text{n})^4\text{He}$ and the method of the associated α particle. One of its main characteristics is a fast gate situated in the start channel before the time-to-amplitude converter. The stability over a period of many days is of the order of 10^{-10} sec. i.e. equal to its electronic resolution time. The overall resolution time including particles detectors reaches $2 \cdot 10^{-9}$ sec.

This apparatus was employed to measure the angular distribution of 14,7 MeV neutrons inelastically scattered by a Fe target. The energy bias of the neutrons detector was 4 MeV. The results showed that the high energy neutrons come out from direct reaction, while the low energy neutrons seem to be evaporative. An attempt was made to calculate the dependence on the energy of the inverse cross section.

2. Measurement of some cross section for reactions induced by 14.7 MeV neutrons are described. The technique employed was that of detecting the induced activity in the target material. The reactions considered were those producing β activity.

We choose this case because it is just the one in which the biggest experimental errors occur.

Using a method of absolute beta counting and a carefully planned irradiation geometry we succeeded in reducing considerably in this case the experimental error. The results are showed in enclosed table together with their errors and literature values.

References

- 1) "Assembly and Operation of a 300 keV Electrostatic Neutron Source" - G. Bonazzola, P. Brovetto, E. Chiavassa, S. Ferroni - Nuovo Cimento, n° 1 del Suppl. al Vol.23, page 67 (1962).
- 2) "Absolute Beta counting by an end-windowed G.M. counter" - P. Brovetto, E. Chiavassa, G. Rosa - Nuclear Instruments and Methods, Vol.14, n° 3 (1962) page 302.

- 3) "Angular Distribution of fast neutrons inelastically scattered by Fe" - G.C. Bonazzola, T. Bressani, P. Brovetto, E. Chiavassa, R. Demicheli - in corso di pubblicazione sul "Nuclear Physics".
- 4) "A fast neutrons time of flight spectrometer" - G.C. Bonazzola, E. Chiavassa - in corso di pubblicazione sul "Nuclear Physics".
- 5) "On the measurements by Activation of cross sections for 14,7 MeV Neutrons" G.C. Bonazzola, P. Brovetto, E. Chiavassa, R. Spinoglio - to be published in " Nuclear Physics".

TABLE.

Reaction	Exper. cross sect. (mb)	Systema- tical probable error (mb)	Statis- tical error (mb)	Total error	Literature values (mb)
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	112.1	2.9	1.9	3.5	$117 \pm 8, 115 \pm 10,$ $120 \pm 10, 95 \pm 15,$ 79 ± 16
$^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$	66	1.5	0.7	1.7	$86 \pm 8, 53 \pm 5,$ 52 ± 10
$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$	105	2.4	4.1	4.7	$128 \pm 13, 97 \pm 12,$ 128 ± 13
$^{65}\text{Cu}(n,p)^{65}\text{Ni}$	26	0.6	2.5	2.6	$31 \pm 13, 27 \pm 11,$ $27 \pm 5, 17 \pm 4$
$^{65}\text{Cu}(n,2n)^{64}\text{Cu}$	1101	24	7	25	$970 \pm 78, 953 \pm 38$
$^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109}\text{Pd}_{\text{tot}}$	2569	159	22	161	1948 ± 970
$^{128}\text{Te}(n,2n)^{127}\text{Te}_{\text{f.s.}}$	642	17	16	23	$779 \pm 255, 238 \pm 36$
$^{130}\text{Te}(n,2n)^{129}\text{Te}_{\text{f.s.}}$	578	14	23	27	$599 \pm 120, 225 \pm 28$
$^{165}\text{Ho}(n,2n)^{164}\text{Ho}$	2762	33	44	55	2100 ± 210

IX. ISTITUTO DI FISICA DELL'UNIVERSITA' DI CATANIA, CATANIA (ITALY)

1. Interactions of neutrons of energies between 2.5 and 5.2 MeV produced by the 2 MV electrostatic accelerator Van de Graaff in the reaction $D(d,n)He^3$.
 - a) The total neutron cross sections of Na, Mg and Si have been measured by the transmission method (1). The energy spread in the whole energy range was about ± 20 keV. The fluctuations of σ_t observed in Na, Mg, Al, Si, P and S have been interpreted as being due to fluctuations of the level density of the intermediate nucleus (1).
 - b) The (n,α) and (n,p) reactions in Si^{28} and Si^{29} have been studied by the analysis of the energy spectra of the charged particles produced in silicon detectors. The excitation functions have been also measured (2).
 - c) Angular distributions and energy spectra in (n,α) reactions with nuclei of intermediate mass are actually studied. Some results on $Ca^{40}(n,\alpha)$ reaction have been published (3). Other results are in progress.
2. Fast neutron spectrometers.

Three kinds of spectrometers have been realized, i.e., for neutrons from isotropic standard sources (Po-Be, Ra-Be), from nuclear reactions and from collimated beams. Their satisfactory efficiency and resolving power have been calculated and experimentally checked (4)(5).

3. Reactions induced by protons on Lithium and by deuterons on Lithium and Oxygen have been extensively studied. For detection one used silicon junctions detectors, scintillation counter-spectrometers and multichannels pulse height analyser (6)(7).

4. Nuclear Fission.

The fission cross section and the angular distribution of fragments of fission induced in U^{238} by monoenergetic neutrons have been studied for neutron energies between 1.8 and 5.2 MeV (8).

The following techniques have been applied : a) emulsion loaded with uranium compound; b) ZnS(Ag) scintillator mixed with uranyl nitrate; c) barrier detectors.

Both fission cross section and angular distribution have been studied by technique a); technique b) has been used to study the fission cross section with higher statistic than with nuclear emulsion.

The differential cross section has been studied by means of c).

5. Nuclear Photoeffect.

Systematic studies on the nuclear photoeffect in various elements have been performed. The angular distributions and the energy spectra of the emitted photonucleus have been investigated using nuclear emulsion techniques. Recent measurements pertain to photoneutrons from Phosphorus (9), Sulfur (10) and Aluminium (11, 12).

6. (d,n) Reaction.

The energy spectra of neutrons from natural Lithium irradiated with 1 MeV deuterons has been studied at several angles (13) by means of the nuclear emulsion technique.

The study of the angular distribution with the same technique and the study of the neutron spectra for several deuteron energies with electronic technique are in progress.

7. Theoretical research work has been carried out on the physics of nuclear reactions with special emphasis on :

- a) the direct processes of stripping and pick up, which are studied by means of a simplified model (a three channel scattering system)(14);
- b) the statistical fluctuations in compound nucleus level density and in nuclear cross sections (15);
- c) (n,p) reactions on nuclei of mass number between 16 and 40. Cross sections, energy spectra and polarization effects are studied in the distorted wave Born approximation with a finite range effective n-p interaction including exchange effects. The numerical calculations are carried out by means of an Olivetti 6001 electronic computer (16, 17, 18, 19).

References.

- 1) Total cross sections of Na, Mg and Si for 2.8 - 5.2 MeV neutrons. G. Calvi, R. Ricamo, A. Rubbino and D. Zubke - Nuclear Physics 48, 1963.
- 2) (n,α) and (n,p) reactions in silicon at neutron energies up to 5.5 MeV. R. Potenza, R. Ricamo and A. Rubbino - Nuclear Physics 41, 298, 1963.
- 3) Ca⁴⁰(n,α) reaction energy spectra and differential cross section. S. Cavallaro and A. Rubbino - Phys. Lett. 5, 265, 1963.
- 4) Fast neutron spectrometer. R. Potenza and A. Rubbino - Nucl. Instr. and Methods 1963 (in press).
- 5) Spectrometers for fast neutrons from nuclear reactions and from collimated beams. R. Potenza and A. Rubbino - Nucl. Instr. and Methods 1963 (in press).
- 6) Li⁷+p interaction and excited states of Be⁸. S. Cavallaro, R. Potenza and A. Rubbino - Nucl. Phys. 36, 597, 1962.
- 7) O¹⁶(d,p) and (d, α) reactions in the energy range 0.8 - 2.0 MeV. G. Calvi, A. Rubbino and D. Zubke - Nucl. Phys. 38, 436, 1962.
- 8) Fission of U²³⁸ with neutrons from 2 to 5 MeV. V. Emma, S. Lo Nigro, C. Milone and R. Ricamo - Istituto di Fisica della Università di Catania, Giugno 1963 (preprint).
- 9) Energy spectrum of the photoneutrons from Phosphorus. V. Emma, C. Milone, S. Jannelli and F. Mezzanares - Nuovo Cimento 26, 890, 1962.
- 10) Direct interaction in the photoneutron emission from Sulphur. C. Milone, S. Milone-Tamburino, V. Emma, S. Femino and S. Jannelli Intern. Symp. on Direct Interactions and Nuclear Reactions Mechanism, Padova, 3-8 Sept. 1962.
- 11) Spettri di fotonucleoni con fotoni monoenergetici e da bremsstrahlung. C. Milone - Communicazione al Congressino di Frascati, Maggio 1963 - LNF-63/47 pag. 182.
- 12) Energy spectra of photoneutrons from Al and neutron emission processes. C. Milone - Nucl. Phys. 48; 1963 (in press).
- 13) The Li⁷(d,n)Be⁸ reaction at E_d= 1 MeV. C. Milone - Internat. Symposium on Direct Interactions and Nuclear Reactions Mechanism, Padova 3-8 Sept. 1962.

- 14) A soluble model for stripping reactions. A. Agodi and G. Papini - Proc. Intern. Symposium on Direct Interactions, Padova 3-8 Sept. 1962.
- 15) Statistical fluctuations in compound nucleus level density and nuclear cross sections. A. Agodi and G. Pappalardo - Nucl. Phys. 47, 129, 1963.
- 16) Analysis of direct (n,p) reactions. A. Agodi, R. Giordano and G. Schiffner - Nucl. Phys. 47, 1963 (in press)
- 17) A.D.W.B.A. analysis of the reaction $\text{Si}^{28}(n,p)\text{Al}^{28}$ with exchange interaction. A. Agodi, R. Giordano and G. Schiffner Phys. Letters 4, 253, 1963.
- 18) Numerical methods for D.W.B.A calculations on (n,p) reactions. A. Agodi, R. Giordano, G. Schiffner and M. Giannini - Nuovo Cimento (in press).
- 19) Finite range and exchange effects in the reaction $\text{Si}^{28}(n,p)\text{Al}^{28}$. A. Agodi and G. Schiffner - Nucl. Phys. (in press).

X. LABORATORIO DELL'ACCELERATORE VAN DE GRAAFF DELL' UNIVERSITA DI
PADOVA, PADOVA (ITALY)

A.. Experimental results on orbital-electron capture * (G. Manduchi,
G. Zannoni)

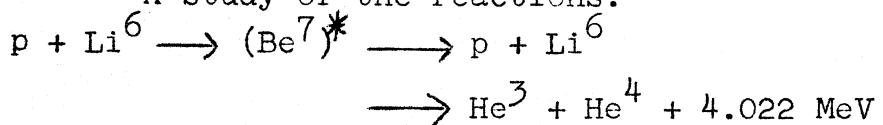
The ratio of the probabilities of decay by the capture of orbital electrons from the L-shell and K-shell has been determined experimentally for various nuclides. A summary is presented of the results, obtained in a high-pressure multiwire proportional counter. The experimental values show a small but consistent discrepancy of some ten percent with the theoretical results.

TABLE
(Comparison of theory and experiment)

Z	A	Trans. energy (keV)	Theoretical predictions L/K	Experimental results	
				Ref.	L/K
18	Ar^{37}	814 ± 2	0.082	(1)	0.097 ± 0.002
24	Cr^{51}	751 ± 3	0.088	(2)	0.103 ± 0.001
25	Mn^{54}	528 ± 20	0.090	(3)	0.106 ± 0.003
26	Fe^{55}	226 ± 10	0.094	(4)	0.106 ± 0.003
32	Ge^{71}	231 ± 3	0.106	(4)	0.1187 ± 0.0008

B. Proton-Lithium-6 reactions in the energy interval 1.5-5.5 MeV (***)
(U. Fasoli, G. Perlini, E.A. Silverstein (***), G. Zago)

A study of the reactions:



has been carried out in order to analyze the energy levels of Be^7

-
- (1) C. Manduchi and G. Zannoni: N.C.: 22, 462 (1961)
 - (2) U. Fasoli, C. Manduchi and G. Zannoni: N.C.: 23, 1126 (1962)
 - (3) present work
 - (4) C. Manduchi and G. Zannoni: Nucl. Phys. 36, 497 (1962)
-

(*) This work has been sponsored by the Contract EURATOM-CNEN

(**) This work has been sponsored by the Contract EURATOM-CNEN

(***) Now at the Departement of Physics of the University of Wisconsin, U.S.A.

in the excitation energy interval between 7 and 11 MeV.

Excitation curves of the elastic scattering of protons have been obtained for six angles in the angular interval between 166° and 80° in the c.m. system. Two maxima in the excitation curves have been found, exhibiting the one the known 7.5 MeV excitation energy level of Be^7 and the other a broad but much less pronounced maximum excitation energy of 10.5 MeV.

In the above energy region, 40 angular distributions of the disintegration products have been obtained in the angular interval between 25° and 155° in the c.m. system.

Theoretical analyses of the above results are in progress.

C. Elastic scattering of neutrons by He^4 , C^{12} and O^{16} nuclei.

Phase shifts analysis. (*)(G. Pisent, A.M. Saruis (**)).

The scattering of neutrons by He^4 (in the energy range between 0 dan 8 MeV) by C^{12} (between 0 and 2.15 MeV) and by O^{16} (between 0 and 1.5 MeV) has been studied.

The paper gives:

- the behaviour of the phase shifts extracted from measurements of differential cross section;
- the expected polarization, and the level parameters (Table), calculated from the phase shifts.

TABLE

Element	J	Resonance Energy (keV)	Level width (keV)
He^4	$3/2^-$	1297	1442
C^{12}	$5/2^+$	2084	7.90
O^{16}	$3/2^-$	442	54.4
O^{16}	$3/2^+$	1008	106.1
O^{16}	$3/2^-$	1318	36.4

(*) This work has been sponsored by the Contract EURATOM-CNEN
(**) Centro Calcolo del CNEN, Bologna (Italy)

D. On the D-wave contribution in the n-He⁴ elastic scattering at 15 MeV (*) (G. Pisent, R. Malaroda (**), G. Poiani (**)).

The differential cross section in the neutron-He⁴ scattering has been measured at the energy of 14.9 MeV. A phase shift analysis of the experimental data has been performed in S and P waves approximation (Table 1), and in SP and D waves approximation (Table 2). The polarization data seem to be not sufficient for a clear cut discrimination, among the mathematical solutions, reported in the Tables.

TABLE 1

s_1^o	s_1^o	s_1^o
-82	108°	70°
-98°	95°	57°
-89°	111°	74°
-91°	92°	55°

TABLE 2

s_1^o	s_3^1	s_1^1	s_5^2	s_3^2
-76°	119°	74°	-14°	-12°
-103°	87°	42°	13°	13°

(*) This work has been sponsored by the Contract EURATOM-CNEN
(**) Istituto di Fisica dell'Università, Trieste (Italy).

XI.ISTITUTO DI FISICA, MILANO (ITALY)(COLLI GROUP)

1. Van de Graaff Group.

- a) Adjustment of the energy stabilisation system of the 3.5 MeV Van de Graaff.

Stability measurement and energy calibration with $F(p,\gamma)$, $Al(p,\gamma)$ and $Li(p,n)$ reactions.

- b) Development of a method for the Al^{27} "self-supporting" target preparation, with a thickness of $10 - 50 \mu g/cm^2$, for studying the $Al^{27}(d,p)$ and $Al^{27}(d,\alpha)$ reactions, with good resolution.

- c) A solid state detector system, for measuring simultaneously the proton and α -particle spectra coming from the above-mentioned region has been built.

- d) $Al^{27}(d,p)Al^{28}$ and $Al^{27}(d,\alpha)Mg^{25}$. reactions.

Preliminary measurements on α -particles and proton spectra and excitation functions for different final states of the residual nucleus.

2. (n, α) reactions.

Preliminary results were obtained with an experimental apparatus composed of a solid state counter in coincidence with two proportional counters, used for (n,α) reactions on middle nuclei.

3. Theoretical group.

- a) The study of the phenomenological and theoretical features of the nucleon-nucleon elastic scattering has led to a determination of the pion-nucleon coupling constant from the data analysis of the depolarization parameter.

The value obtained ($g^2 = 17,8 \pm 2,4$) is in a good agreement with the usually accepted value presented for publication to "Physics Letters")

- b) A numerical computation program on the effect of the spin-orbit interaction in the stripping reactions is well advanced.
- c) A formal study of multi-body theory for particles interactions has been initiated.

XII. CENTRO DI INFORMAZIONI STUDI ESPERIENZE (CISE), SEGRATO(MILANO)

(ITALY)

1. Cross section measurements for backward elastic scattering of 14 MeV neutrons.

The aim of measurements is to study the cross section fluctuation with varying incident neutron energy in order to determine the importance of the elastic scattering of the compound nucleus and to study, with higher precision, the optical model. Measurements on Al and other nuclei have started.

2. Calculation on (n,α) reactions.

Cross sections have been calculated at several energies from 6 to 20 MeV for a group of (n,α) reactions on light and middle nuclei using results in good agreement with experiments.

Moreover, a calculation has been performed on about 60 (n,α) cross sections at 14 MeV for light, middle and heavy nuclei. Results are in good agreement with statistical model for nuclei of mass A up to ~ 60 and for nuclei with $N \sim 50$ and $N \sim 82$ (magic nuclei).

For heavy, not magic nuclei, on the contrary the α emission is attributed to direct effects.

3. The study of the U^{235} fission has been concluded using the statistical model and parameters determined in previous works.

The energetic spectra, the mass distribution curved and γ value for the different fragments have been obtained.

The model is being applied to thermal fission of U^{233} and Pu^{239} .

References

- 1) U. Facchini, E. Saetta Menichella, F. Tonolini, L. Tonolini Severgnini: "Statistical Model Calculations of (n,α) Cross Sections Induced by 14 MeV neutrons" - Physics Letters 3, 391 (1963).
- 2) E. Saetta Menichella, F. Tonolini, L. Tonolini Severgnini : "Statistical Model Analysis of (n,α) Reactions".
Part I: Excitation Functions and Energy Spectra of n,α Reactions in Light and Medium Nuclei.
Part II: Cross Sections of (n,α) Reactions Induced by 14 MeV Neutrons. To be published in Nuclear Physics.
- 3) E. Erba, U. Facchini, E. Saetta Menichella, F. Tonolini, L. Tonolini Severgnini : "Statistical Model Fission of U^{235} Induced by Thermal Neutrons" - Physics Letters 6, 294, (1963).

XII. CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE, STUDIECENTRUM VOOR

KERNENERGIE, MOL (BELGIUM)

1. Resonance scattering measurements (Ceulemans, Poortmans, Nève)

The resonance scattering work at the BR1 crystal spectrometer has progressed satisfactorily. The following results have been obtained since December 1962 : (p) = parallel = $I + 1/2$; (a) = antipar = $I - 1/2$.

Target Nucleus	Target Spin I	Res. Energy (eV)	Γ_n/Γ		g		Res. Spin J	
			exp.	value	exp. value		Mol	Other Ref.
Ir^{191}	3/2	0.654	0.80	± 0.14	0.40	± 0.04	1 (a)	
		5.36	7.9	± 0.7	0.63	± 0.09	2 (p)	
Ir^{193}	3/2	1.303	0.84	± 0.13	0.618	± 0.09	2 (p)	
Sm^{147}	7/2	3.4	3.3	± 0.5	(0.20	$\pm 0.04)$	(3)	
Sm^{149}	7/2	0.87	1.8	± 0.2	0.38	± 0.05	3 (a)	4*
Gd^{157}	3/2	0.0314	<	0.48	>	0.574	2	2**

The result on the 0.87 eV resonance in Sm^{149} is contradictory with the one obtained by Marshak et al., using polarized neutrons and polarized nuclei. A similar discrepancy has been found previously in the case of the 0.096 eV resonance in Sm^{149} (see previous progress report).

For the 0.034 eV resonance, an upper limit for Γ_n/Γ is quoted because the non-resonant scattering contribution was assumed to be due entirely to potential scattering by Gd. There might be an additional contribution due to impurities in the sample. If it was the case, the value of g would be higher.

About Sm^{147} , the result is only preliminary. The large uncertainty on g is mainly due to the inaccuracy of the published values of σ_0 and Γ , used to deduce g from Γ_n/Γ .

Publications

H. Ceulemans, F. Poortmans, M. Nève de Mévergnies - Apparatus and

* H. Marshak et al., Phys. Rev. 128 (1962) 1287

** G.A. Bartholomew, private communication
A. Stolovy, to be published in Phys. Rev.

Methods used in a Slow Neutron Resonance Scattering Experiment,
Nucl. Instr. Meth. 17, 342 (1962).

- H. Ceulemans, F. Poortmans, M. Nève de Mévergnies - Détermination du spin de résonances dans Sm^{149}_{+n} , Colloque de Physique Nucléaire, Orsay, mai 1963, à paraître dans J. Phys.
- F. Poortmans, H. Ceulemans - Spin Determination of Some Low Energy Neutron Resonances - Conference on Nuclear Physics with Reactor Neutrons, Argonne, October 1963

2. Research with cold neutrons (S. Hautecler, W. Van Dingenen, H. Stiller (*))

a) Scattering by phonons in Ni.

The BR1 time-of-flight neutron spectrometer and low temperature neutron source have been used to study the dynamics of a Ni single crystal. The incident neutrons (average energy = 4 MeV) were scattered at 90° , and their energy distribution was measured. The experimental energies of about 60 phonons were used to trace the scattering surface in the (011) plane and to locate a few points on the dispersion curves $V(\vec{q})$ for the wave vectors \vec{q} in the (100), (110) and (111) symmetry axis. The results are still preliminary and must be completed at the BR2 high-flux reactor.

b) Scattering by protons bound in ortho-, para- and metaxylene.

The total cross section measurements of J.J. Rush (Doctor Thesis, Columbia University, N.Y. 1962) have shown differences in the freedom of motion of the protons bound in ortho-, para- and metaxylene $C_6H_4(CH_3)_2$. The energy distribution of the neutrons scattered at 90° by these compounds was measured, using the BR1-cold neutron facility, and compared with the distribution produced by toluene $C_6H_5(CH_3)$ and benzene C_6H_6 . The main "peaks" of the distribution located at (85 to 50)MeV, 21. MeV and 8 MeV, seems to be associated with, respectively, oscillations of the protons, hindered rotations of the CH_3 groups, and rotations of the whole molecule. The peaks are superimposed on a continuous Debye-spectrum, with a Debye-temperature of $92^\circ \pm 15^\circ K$.

c) Properties of neutron filters.

A systematic study of various neutron filters has been made, either single crystals to produce clean thermal neutron beams, or polycrystals to produce clean cold neutron beams. Among the substances studied, the most promising ones are (in decreasing order

(*) Kernforschungsanlage, Jülich, W. Germany.

of merit) :

- as polycrystalline filters : cast Be, pressed Be, BeO.
- as single-crystal filters : MgO, SiO₂ (quartz), Bi.

d) Scattering by an aqueous solution of HF.

The scattering of slow neutrons by H₂O and by a solution of 5% in weight HF in water has been studied, mainly to check the presence of small (i.e. < a few MeV) energy transfers and help solving the problem of the small energy transfers found by some authors in the vicinity of the elastic peak of water. The results seem to indicate a qualitative (but not quantitative) agreement with a model proposed by K. Singwi, who has shown that at least one peak in the neutron energy distribution close to the elastic peak should be expected, if the transition from vibrational to diffusive motions takes place abruptly.

Publications

- S. Hautecler, W. Van Dingenen - Etude expérimentale d'un obturateur de neutrons thermiques, Rapport CEN-Blg 189 (Nov. 1962).
- W. Van Dingenen, M. Nève de Mévergnies - Total cross sections for Scattering of Cold Neutrons by Some Cooled Hydrogenous Compounds, to appear in Physica.
- W. Van Dingenen, S. Hautecler - Neutron Filters for Thermal and Cold Neutron Beams, to appear as CEN-Blg Report.

Colloque International sur la Diffusion et la Diffraction de

Neutrons, Grenoble, September 1963 (à paraître dans J. Phys. et le Rad.)

- W. Van Dingenen, S. Hautecler - Détermination, par diffusion de neutrons froids, du spectre de fréquences des protons dans l'ortho-, le para- et le metaxylène.
- S. Hautecler, W. Van Dingenen - Diffraction des neutrons froids par les phonons dans le Nickel.

XIV. VAN DE GRAAF LABORATORY, UNIVERSITE DE LIEGE (BELGIUM) (Prof.

L. Winand)

The angular distribution of the reaction products from Li^6 (n, t) He^4 has been further studied, in collaboration with CEN, Mol. Results have been obtained at incident neutron energies of 410, 190 and 90 (± 30) keV. The forward-backward asymmetry noticed earlier (see C. Beets et al., React. Sc. Techn., 16, 383, 1962) is confirmed. Measurements at 50 keV are in preparation, using junction detectors besides nuclear plates.

XV. CENTRE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE, UNIVERSITE DE LOUVAIN (BELGIUM)

1. Total cross section of Na²³ for neutrons with energies between 900 keV and 2000 keV (G. Deconinck, M. de Vroey and J.P. Meulders).

The measurement of the total cross section of Na²³ offers two important aspects : the determination of the excitation levels of Na²⁴ and its usefulness in fast reactor technology. For these reasons it has been listed in the request list of the Euratom Nuclear Data Committee. Foregoing measurements were done by J.H. Towle and W.B. Gilboy (1), and Leroy (2).

In order to resolve the large resonances observed by Towle and to decide between the different absolute values given by J.H. Towle and R. Meier et al (3) at 1.9 MeV we measured σ_{tot} with an energy resolution of 7 keV by means of the transmission method. The neutron detector is a type NE 203 liquid scintillator. A pulse shape discriminator eliminates the γ -background. The neutrons from the second group, produced by the Li⁷(p,n)Be⁷⁺ réaction, are eliminated by an adjustment of a discriminator level in the counting circuit.

Fig. XV. shows the results : we found at 980 keV the resonance reported by Stelson et al (4); between 1150 and 1600 keV we distinguish 6 resonances which do not appear in the curve of J.H. Towle et al. The resonance at 1750 keV of the same author appears to be split up.

A theoretical interpretation of these results is being worked on. This is based on the theory of K. Izumo et al (5) which is applicable to this range of intermediate energies where resonances can be no longer interpreted as isolated resonances.

The absolute value of the cross section as we measured it is accurate to within $\pm 5\%$. An error could only arise from the residual γ -background in the spectrum. The importance of the use of this value in reactor technology and as an attempt to conciliate the values reported up till now led us to decide to measure σ_{tot} of Na²³ in the region around 2 MeV. This will be done with an energy resolution in the order of 50 keV by means of time-of-flight method. In this way a better precision will be obtained.

References

- 1) J.H. Towle and W.B. Gilboy, Nuclear Physics, 32 (1962) 610.
- 2) J.L. Leroy, Progress Report on Nuclear Data Research in the Euratom Community, December 1962, 53.
- 3) R. Meier, R. Ricamo, P. Scherrer and W. Zünti, Helv. Phys. Acta 26 (1953) 451.
- 4) P.H. Stelson and W.M. Preston, Phys. Rev. 88 (1952) 1354.
- 5) S. Igarasi, K. Izumo and T. Udagawa, Progr. Theor. Phys. 21 (1960) 468.

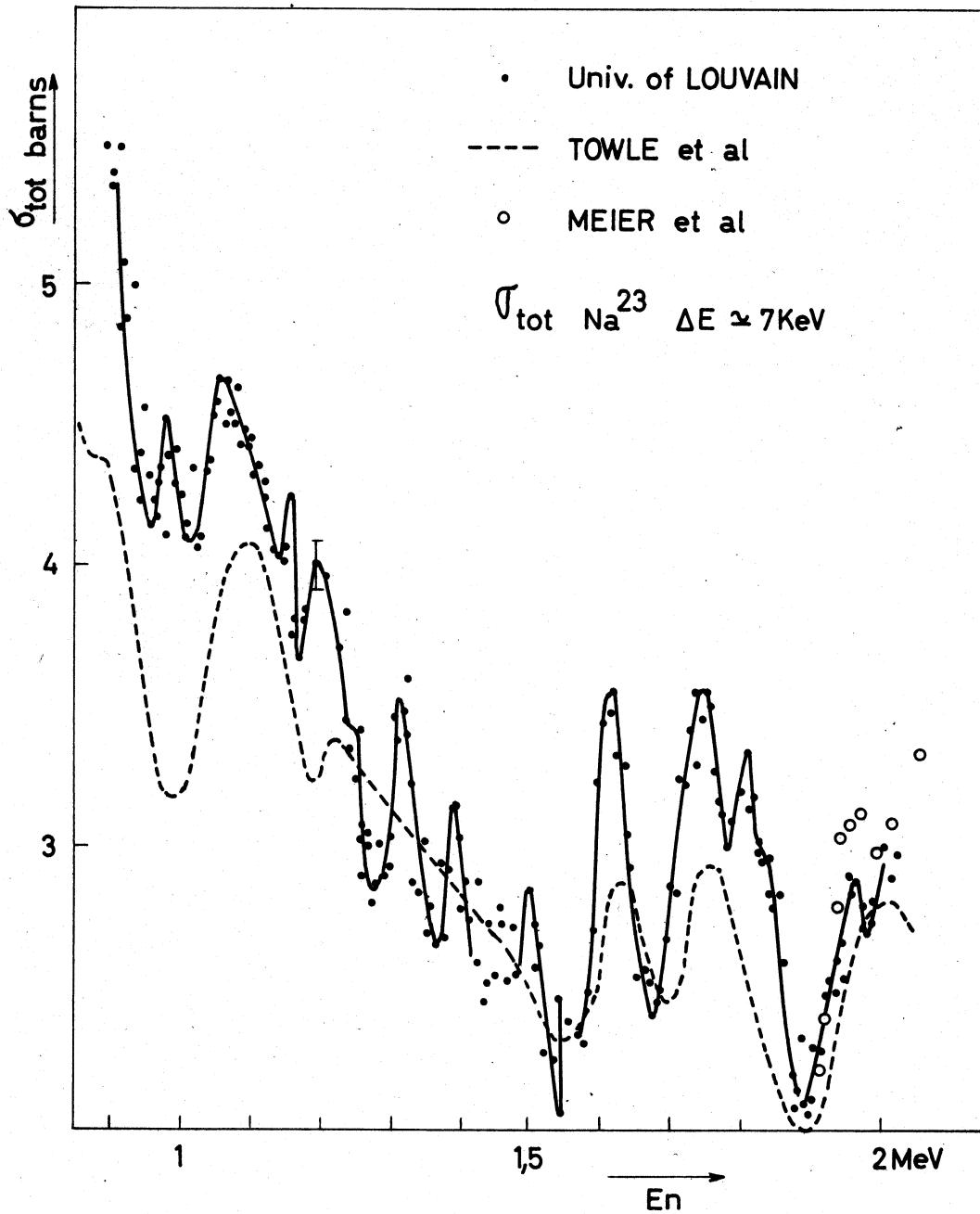


Fig. XV

XVI. DEPARTEMENT DE RECHERCHES PHYSIQUES, SECTION DES MESURES NEUTRONIQUES FONDAMENTALES, CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY,
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE) (R. Joly)

1. Groupe des Neutrons Thermiques (H. Nifenecker)

A. Etude des rayonnements γ émis après la capture des neutrons thermiques.

Une installation provisoire a déjà fonctionné auprès de la pile EL 3. Le flux de neutrons thermiques obtenu est de l'ordre de 10^6 n/cm²/s au niveau de la cible. Le bruit de fond au-dessus de 100 keV est de 3.000 coups seconde pour un cristal I Na (Tl) de 5" x 4". Le bruit de fond est en grande partie dû à l'Argon 41. Un premier spectre de somme correspondant au spectre de capture de Hg¹⁹⁹ + n a été mesuré comme test de l'appareillage : nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Vervier à BR 1. La figure XVI.1 représente un schéma de l'installation.

La figure XVI.2 représente le spectre de somme pour Hg¹⁹⁹ + n.

B. Etude de la fission de U²³⁵.

Une analyse bi-dimensionnelle de la fission thermique de U²³⁵ a été menée à bien. Les résultats obtenus concordent avec ceux précédemment publiés par Fraser qui utilisait une méthode de temps de vol. La détection des fragments de fission était faite par deux jonctions Hughes donnant un rapport pic sur creux de 18 pour le spectre en énergie. On a mis en évidence d'une façon claire que l'effet de peau présenté par les jonctions tendait à augmenter le rapport pic sur creux.

On a toutefois remarqué un nombre assez important de fissions symétriques correspondant à une faible énergie cinétique totale (< 140 MeV) de telle manière que le rapport global pic sur creux de la distribution en masse n'est que de 110 : cette valeur anormale ne peut être que le fait d'un effet d'appareillage que nous nous efforçons d'éclaircir. La figure XVI.3 représente les courbes de niveaux obtenues.

C. Dépouillement des mesures sur la section efficace de U²³³.

Les paramètres des résonances de U²³³ apparaissent entre 1,7 eV et 3,5 eV ont été déterminés en mesurant leur largeur à mi-hauteur et leur section efficace au pic. Les résultats obtenus figurent dans le tableau XVI.1.

L'étude des distributions des espacements et des largeurs est en cours. Il semble actuellement se dégager de ces distributions que l'on a affaire à une seule famille de résonances, les V_F obéissant à une loi de Porter et Thomas à 5 degrés de liberté.

La figure XVI.4 représente la loi de distribution des espacements, la figure XVI.5 celle des largeurs de fission.

2. Groupe des Neutrons Intermédiaires (A. Michaudon)

Les travaux qui ont été exposés dans le dernier rapport EANDC(E) 38 ont été poursuivis. Nous reprenons ci-dessous les différents chapitres avec l'état d'avancement des travaux.

A. Transmission de l'U²³⁵.

Les mesures ont été poursuivies avec les échantillons d'épaisseur 39,1 b/at et 100 b/at, portés à 77°K. Avec une distance de vol de 53,6 mètres, la résolution est de 2,8 ns/m vers 600 eV (impulsion de l'accélérateur 0,15 μ sec, largeur de canal du sélecteur : 0,1 μ sec). L'analyse des résultats est en cours. Une étude détaillée de l'espacement des niveaux a été entreprise pour les résonances identifiées jusqu'à une centaine d'eV. Elle doit paraître prochainement dans "Physics Letters" (1).

Nous reproduisons sur la figure XVI.6 la distribution expérimentale des espacements, la comparaison est faite avec deux lois théoriques : la loi de Wigner à une seule population (loi A) et une loi résultant de deux populations, chacune d'elles suivant la loi de Wigner.

L'analyse des résonances est en cours; nous donnons dans le tableau XVI.2 les paramètres de 13 résonances.

B. Fission de l'U²³⁵.

La mesure de la section efficace de fission de l'U²³⁵ a été reprise jusqu'à la coupure du cadmium en vue d'obtenir une meilleure normalisation des mesures antérieures d'une part et d'autre part de comparer les résultats avec ceux de C.D. Bowman (UCRL 6926).

Les conditions de la mesure sont les suivantes :

- détecteur : Chambre d'ionisation à 1 seul dépôt d'uranium enrichi à 45 % en U²³⁵, d'épaisseur 2 mg/cm² et de diamètre 250 mm.
- distance de vol : 11,13 mètres.
- fonctionnement accélérateur : 500 c/s $\Delta t = 70$ nsec.
- largeur de canal du sélecteur : $\Delta t = 0,8$ μ sec.

Une attention particulière a été apportée à la mesure du bruit de fond ; c'est la raison pour laquelle deux écrans ont été placés en permanence sur le trajet du faisceau : un de cadmium, l'autre de cobalt. Les deux points de bruit de fond à 0,2 eV et 1,32 eV ont été enregistrés en permanence pendant toute la durée des expériences. La loi de bruit de fond a été déterminée par une mesure séparée en intercalant deux écrans supplémentaires : l'un d'indium, l'autre d'or.

La mesure du spectre des neutrons a été faite dans les mêmes conditions mais avec un banc de compteurs BF³.

En attendant d'autres données à basse énergie (de Sailor à Brookhaven, de Léonard à Harford, etc..) nous avons normalisé nos résultats sur ceux de Vogt, publiés par Schmidt, dans la gamme d'énergie 0,4 eV - 1,3 eV.

Dans ces conditions nous trouvons que les résultats de Sailor et de Saclay entre 8 et 10 eV sont corrects. Par contre l'écart de 20 % signalé par C.D. Bowman n'est pas retrouvé.

Ceci est d'ailleurs en accord avec le fait que les valeurs de η déduites des paramètres de résonances mesurées à Saclay (5) sont en bon accord avec celles de Brooks à Harwell.

C. Fission ternaire de l'U²³⁵.

Les mesures ont été poursuivies avec une meilleure résolution et un détecteur amélioré. Les conditions de mesures sont les suivantes :

- Accélérateur : 500 c/s, largeur d'impulsion 0,2 μ sec.
- Largeur de canal du sélecteur : 0,2 μ sec de 62,6 eV à 7,8 eV
0,4 μ sec de 7,8 eV à 4,5 eV
1,6 μ sec de 4,5 eV à 0,285 eV.
- Longueur de vol : 10,50 mètres.

Le détecteur consiste en une chambre d'ionisation composée de cinq chambres individuelles : une pour la fission, les quatre autres pour la tripartition. Pour ces dernières, l'épaisseur des écrans d'aluminium varie de 3/100^e de mm à 1/10^e de mm.

L'analyse des résultats est en cours : la figure XVI.7 représente le rapport fission/tripartition pour l'épaisseur d'écran de 3/100^e de mm.

D. Transmission du Rhodium-103.

L'analyse des résultats a été poursuivie pour les niveaux détectés jusqu'à 800 eV. Elle va être publiée prochainement dans le Journal de Physique et le Radium (3).

Nous donnons ci-dessous les valeurs des fonctions densités qui ont été obtenues :

$$\text{ondes "s"} \quad S_0 = (0,46 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$$

$$\text{ondes "p"} \quad S_1 = 5,5 \cdot 10^{-4}$$

Le rayon du noyau est de $(6,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-13} \text{ cm}$.

E. Transmission du Th-232.

En vue d'étudier la distribution des espacements des niveaux d'un seul état de spin (dans le cas des neutrons "s") avec le plus grand nombre de niveaux possible, la transmission du Th²³² a été mesurée dans les conditions suivantes :

- échantillon métallique, d'épaisseur 46,3 g/cm² portés à 77°K ;
- longueur de vol 100 mètres ;
- accélérateur : impulsions de 70 nsec ;
- sélecteur de temps de vol : largeur de canal 50ns à haute énergie : soit une résolution nominale voisine de 0,5ns/m.

La figure XVI.8 représente les résonances identifiées entre 250 eV et 850 eV (largeur de canal du sélecteur, pour cette gamme, 0,2 μsec).

F. Etude de la production de faisceaux de neutrons ralentis à partir d'accélérateurs pulsés.

Il s'agit d'une étude théorique qui vient d'être publiée (4).

G. Traitemen_t des données.

Plusieurs modifications ont été apportées au programme général de dépouillement des mesures par temps de vol. Celles-ci

permettent une plus grande souplesse d'emploi et aussi de s'adapter aux résultats donnés par le codeur de temps de vol du type "accordéon" c'est-à-dire à largeur de canal variable.

Les autres programmes d'analyse de forme des résonances sont en cours d'amélioration mais peuvent être déjà utilisés.

3. Groupe des Neutrons Rapides (J.L. Leroy)

A. Mesures de sections efficaces neutroniques entre 2 et 10 MeV.

Les mesures de sections efficaces totales ont été poursuivies au moyen du générateur de neutrons pulsé de 300 keV. Rappelons que les neutrons sont produits au moyen de la réaction d, t , et que l'énergie des neutrons de 14 MeV ainsi obtenus, est dégradée par diffusion inélastique dans un bloc d'uranium entourant la cible. Une étude systématique des causes d'erreur dans les mesures de transmission effectuées précédemment avec cet appareil, a montré que le bloc d'uranium produisait des γ à périodes très courtes. Ces particules constituaient un terme supplémentaire de bruit de fond pour lequel une correction a été faite. Les résultats définitifs de nos mesures sur Na, Th et U ont été présentés au Colloque 1963 de la Société Française de Physique (6).

Parallèlement, les performances en courant de l'accélérateur ont été améliorées : le courant d'ion moyen est maintenant de 25 μ A, ce qui correspond à un courant crête de 4 mA, à la fréquence de 4 MHz.

B. Mesures absolues de flux de neutrons.

Grâce à l'accélérateur Van de Graaff de 5 MeV qui est à notre disposition depuis le 1er mars 1963, nous avons entrepris un cycle d'expériences destiné à améliorer les méthodes de mesures de flux de neutrons dans le domaine d'énergie de 10 à 100 keV.

Nous comptons utiliser, jusqu'à une énergie aussi basse qu'il sera possible la méthode de la particule associée. Les neutrons seront produits par la réaction $p + T \rightarrow n + He^3$. Les figures XVI.9, XVI.10, XVI.11 représentent les propriétés cinématiques de cette réaction vues sous l'aspect de la détection de la particule He^3 associée au neutron. On peut voir ainsi que les particules associées aux neutrons de basse énergie sont émises sous un angle faible par rapport au faisceau de protons incident. Pour que l'expérience soit réalisable il convient donc d'utiliser une géométrie

par transmission et d'avoir un détecteur susceptible de distinguer les protons diffusés des particules He³ de recul. Cette distinction constitue évidemment la difficulté majeure de l'expérience. Nous avons fait des essais préliminaires en utilisant un détecteur à jonction construit spécialement pour avoir une profondeur de barrière égale au parcours des particules He³. Dans un tel détecteur, le signal provoqué par un proton diffusé est 5 fois plus petit que celui dû à une particule He³. Il semble ainsi possible d'éliminer les protons parasites. Néanmoins, à cause de l'effet d'empilement de ces petites impulsions de protons, l'intensité du faisceau doit être limitée à 10⁻⁸ A environ, si on veut éviter avec certitude toute confusion entre empilements et particules He³. Cette intensité paraît évidemment assez faible, mais il est possible de l'augmenter considérablement si on utilise conjointement avec le détecteur à jonction un autre procédé de discrimination, comme un séparateur électromagnétique ou une analyse par temps de vol.

Cette méthode devrait permettre de faire une mesure directe des sections efficaces des réactions n, α sur Li⁶ et B¹⁰.

C. Mesure de la section efficace de capture du Na entre 10 et 100 keV.

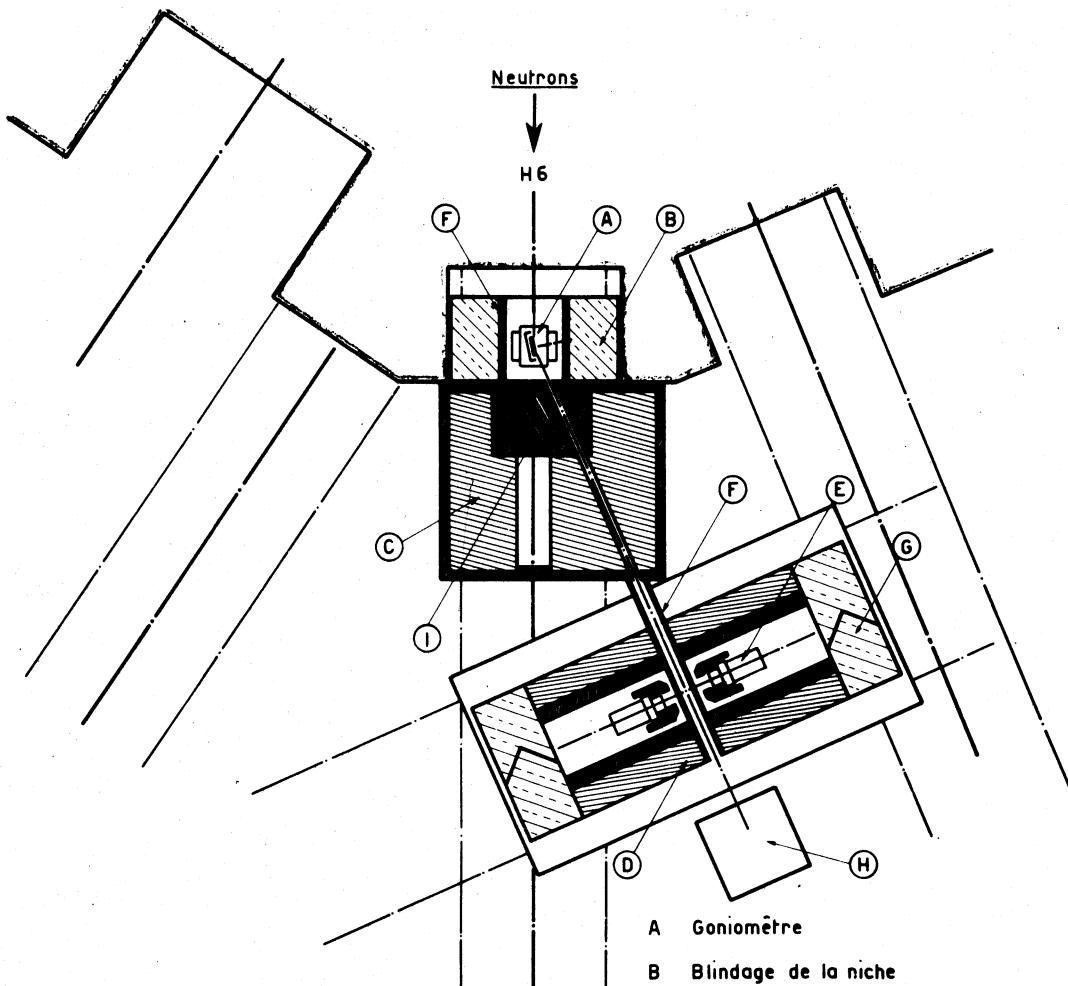
Nous avons entrepris cette mesure par activation en utilisant la réaction Li⁷(p,n)Be⁷ comme source de neutrons. Nous comptons rapporter cette section efficace à celle de la réaction Li⁶(n, α)T.

Publications

- 1) "Etude de la distribution des espacements des niveaux de l'U²³⁶, excités dans l'U²³⁵ par les neutrons lents et détectés par transmission d'échantillons métalliques d'U²³⁵ portés à basse température". A. Michaudon, H. Derrien, P. Ribon, M. Sanche. Physics Letters (à paraître).
- 2) "Contribution à l'étude de la fission ternaire de l'U²³⁵ induite par des neutrons lents". A. Michaudon, A. Lottin, D. Paya. C.R. Académie des Sciences - T.256, p. 1490 (1963).
- 3) "Détermination des fonctions densités du Rh¹⁰³ pour des neutrons "s" et "p". P. Ribon, H. Derrien, A. Michaudon, M. Sanche. Journal de Physique et le Radium (à paraître).
4. "The production of moderated neutron beams from pulsed accelerators". A. Michaudon. Reactor Science and Technology. Journal of Nuclear Energy Part A/B. Vol.17, p. 165 (1963).
- 5) A. Michaudon, H. Derrien, P. Ribon, M. Sanche. C.R. Académie des Sciences (à paraître).
- 6) "Mesure de la section efficace totale du Sodium, du Thorium et de l'Uranium pour des neutrons d'énergie comprise entre 2 et 15 MeV". J. Leroy, F.C. Berthelot, E. Pomelas. Journal de Physique et le Radium (à paraître).

SCHEMA DE LA MANIPULATION

DES θ DE CAPTURE



- Plomb
- ▨ Paraffine boratée
- ▨ Béton

- A Goniomètre
- B Blindage de la niche
- C Blindage des canaux de sortie
- D Blindage de l'ensemble P.M.
- E Ensemble P.M.
- F Collimation LiF
- G Portes d'accès aux P.M.
- H Beam catcher
- I Bouchon d'obturation du faisceau direct

Fig. XVI-1

ETUDE DES CASCADES

VERS LE FONDAMENTAL

DU Hg 199

Bandé centrée sur 8,05 Mev

3.250 Mev

1.730 Mev

1.600 Mev

4.820 Mev

2.640 Mev

5.440 Mev.

6,420 Mev

6.300 Mev.

Mev

Fig.XVII-2

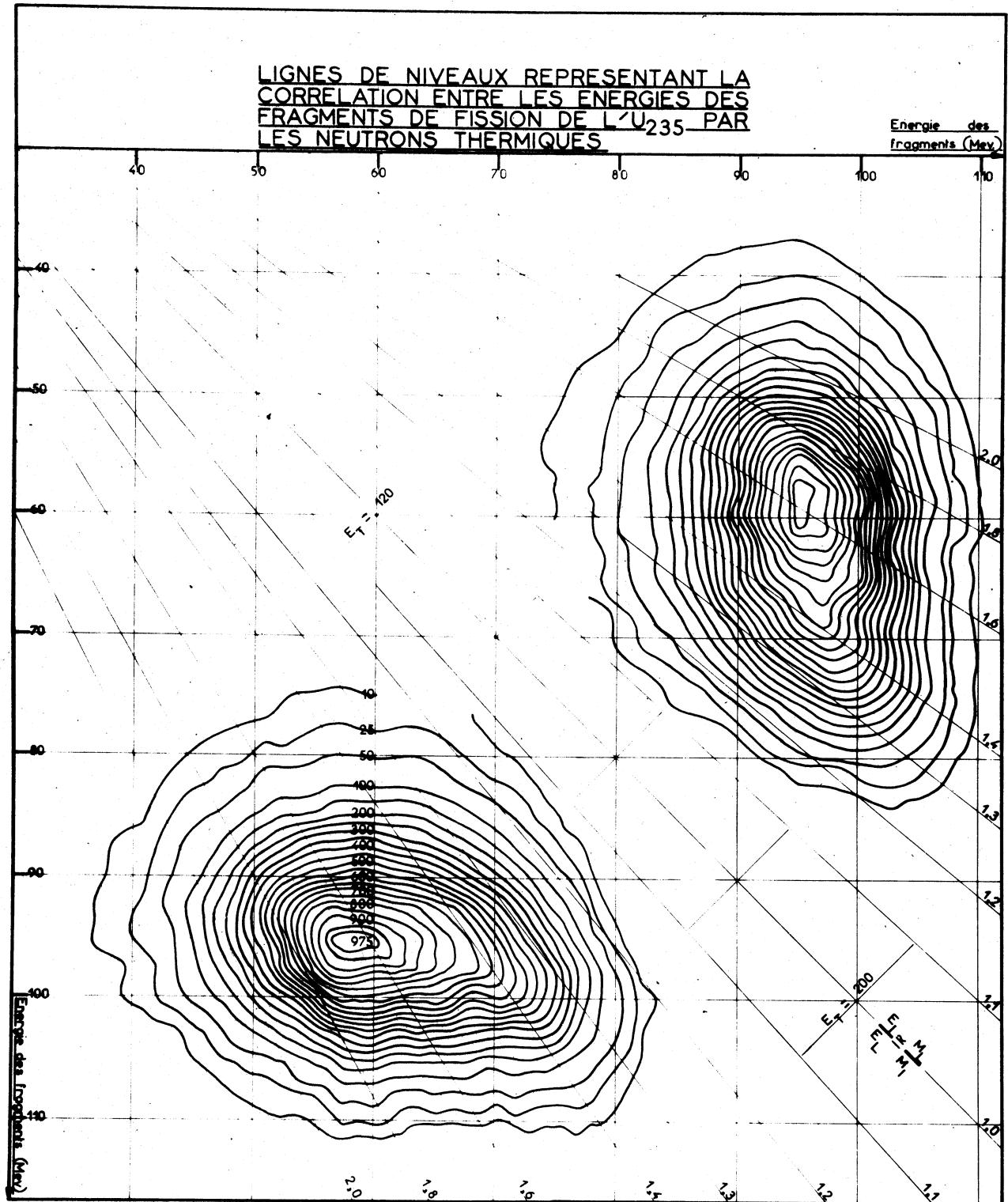


Fig. XVI-3

Fig. XVI-4

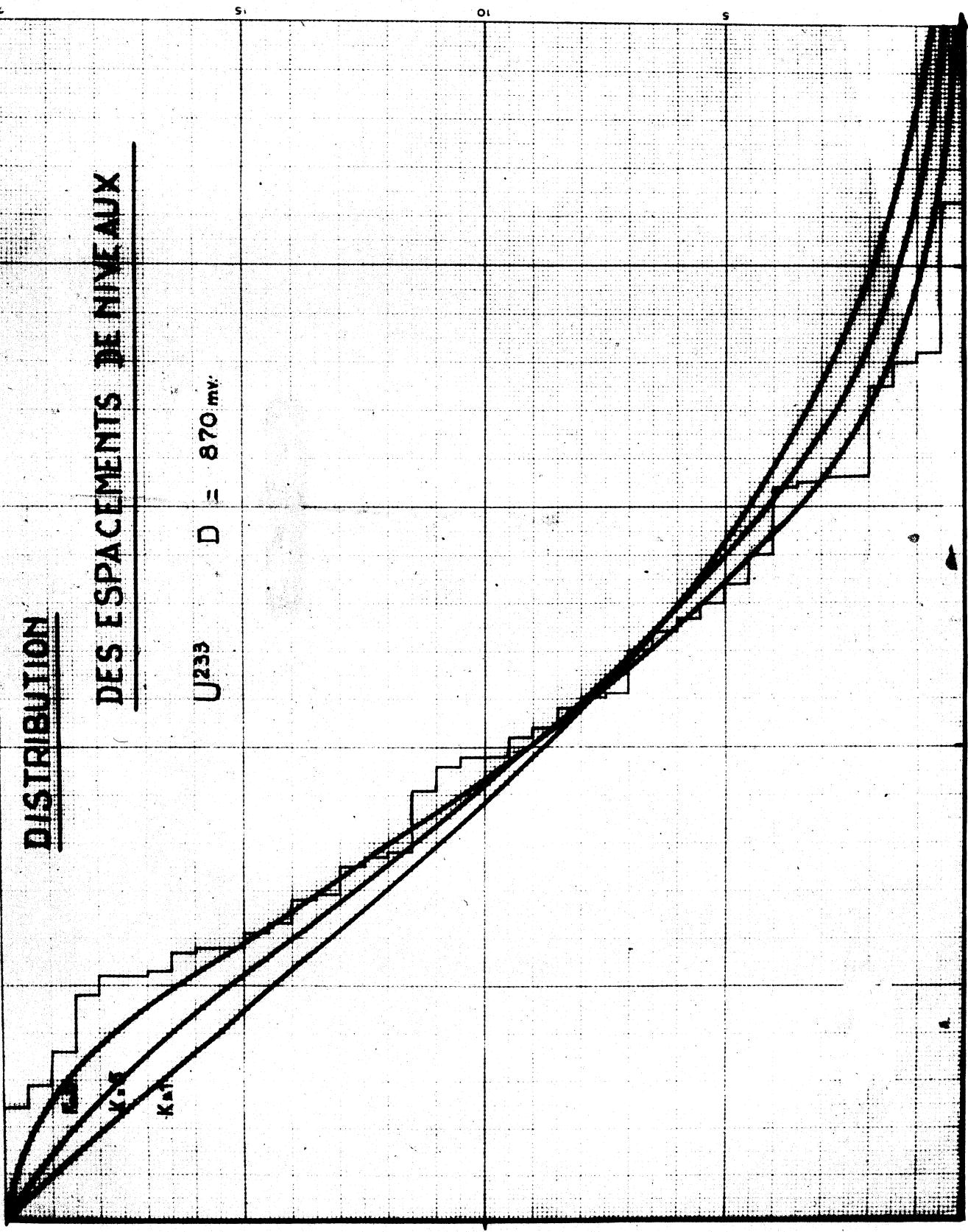
X

2

1

0 0

0.5



Distribution des largeurs partielles

U 233

$\nu = 10$
 $\nu = 5$
 $\nu = 4$
 $\nu = 3$
 $\nu = 2$
 $\nu = 1$

1.0 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0

$$P \left(\frac{\Gamma_F}{\langle \Gamma_F \rangle} > x \right) \quad \begin{aligned} \langle \Gamma_F \rangle &= 336 \text{ mV} \\ D &= 870 \text{ mV} \\ 2\pi \frac{\langle \Gamma_F \rangle}{D} &= 2.43 \end{aligned}$$

3

2

1

0

4

Fig.XVI-5

$s(x)$

U^{235}

DISTRIBUTION DES ESPACEMENTS DES NIVEAUX

(A)

1/ Résultats expérimentaux

- a —— résonances sûres de 0 à 94,5 eV
- b ... résonances sûres de 0 à 50,2 eV
- c —— résonances sûres et probables de 0 à 94,5 eV
- d ---- résonances sûres et probables de 0 à 50,2 eV

(B)

2/ Lois théoriques

A loi de WIGNER $S(x) = \frac{\pi}{2} x \exp\left(-\frac{\pi}{4} x^2\right)$
(1 seule population)

B loi résultant de la superposition de deux populations (formule 2 du texte)

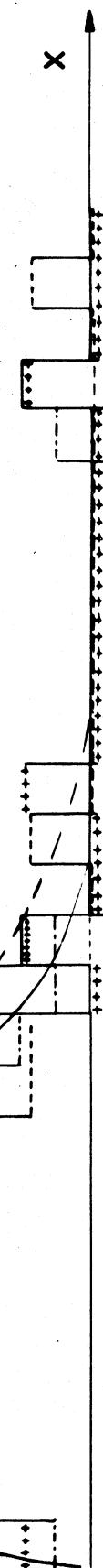


Fig. XVI- 6

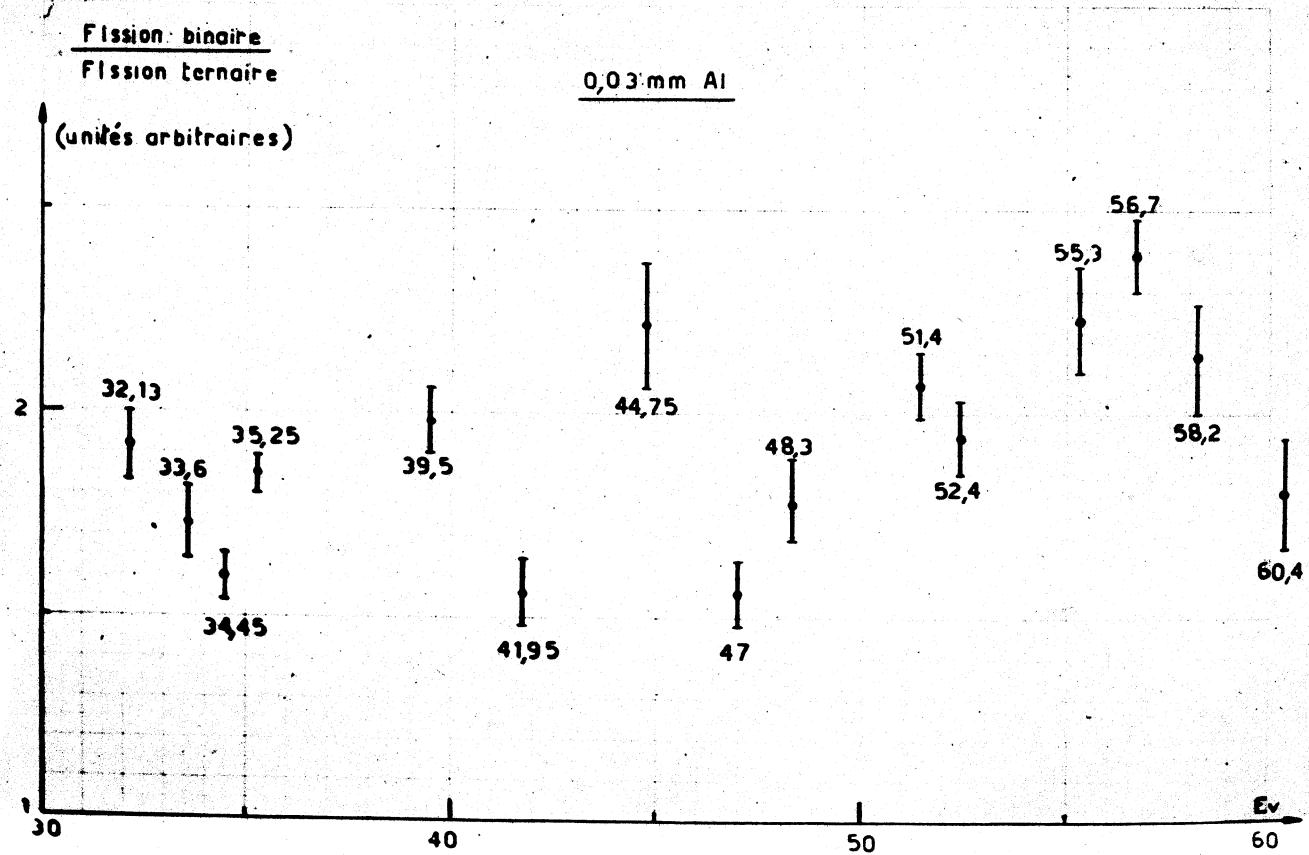
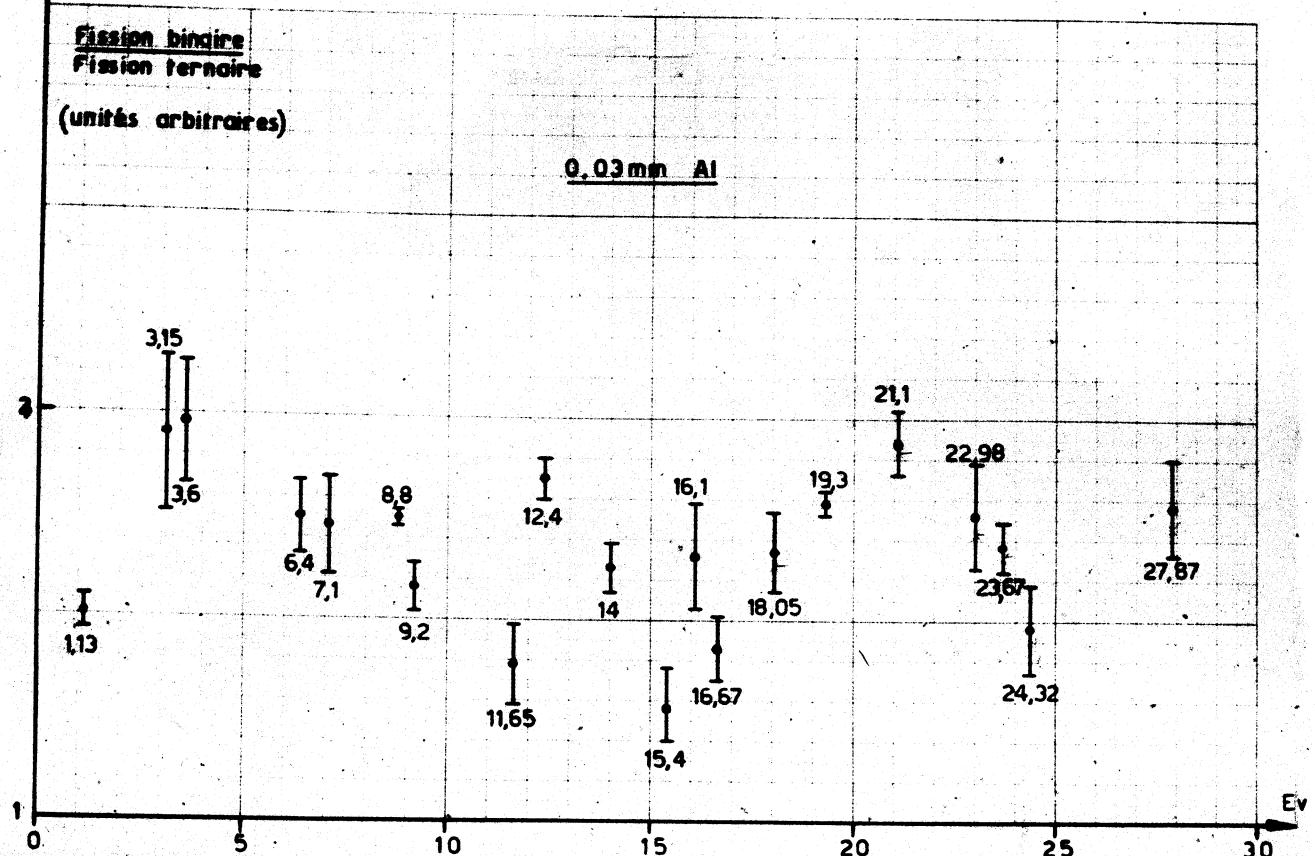


Fig. XVI-7

Résonances du Th^{232} identifiées entre 219 ev et 852 ev

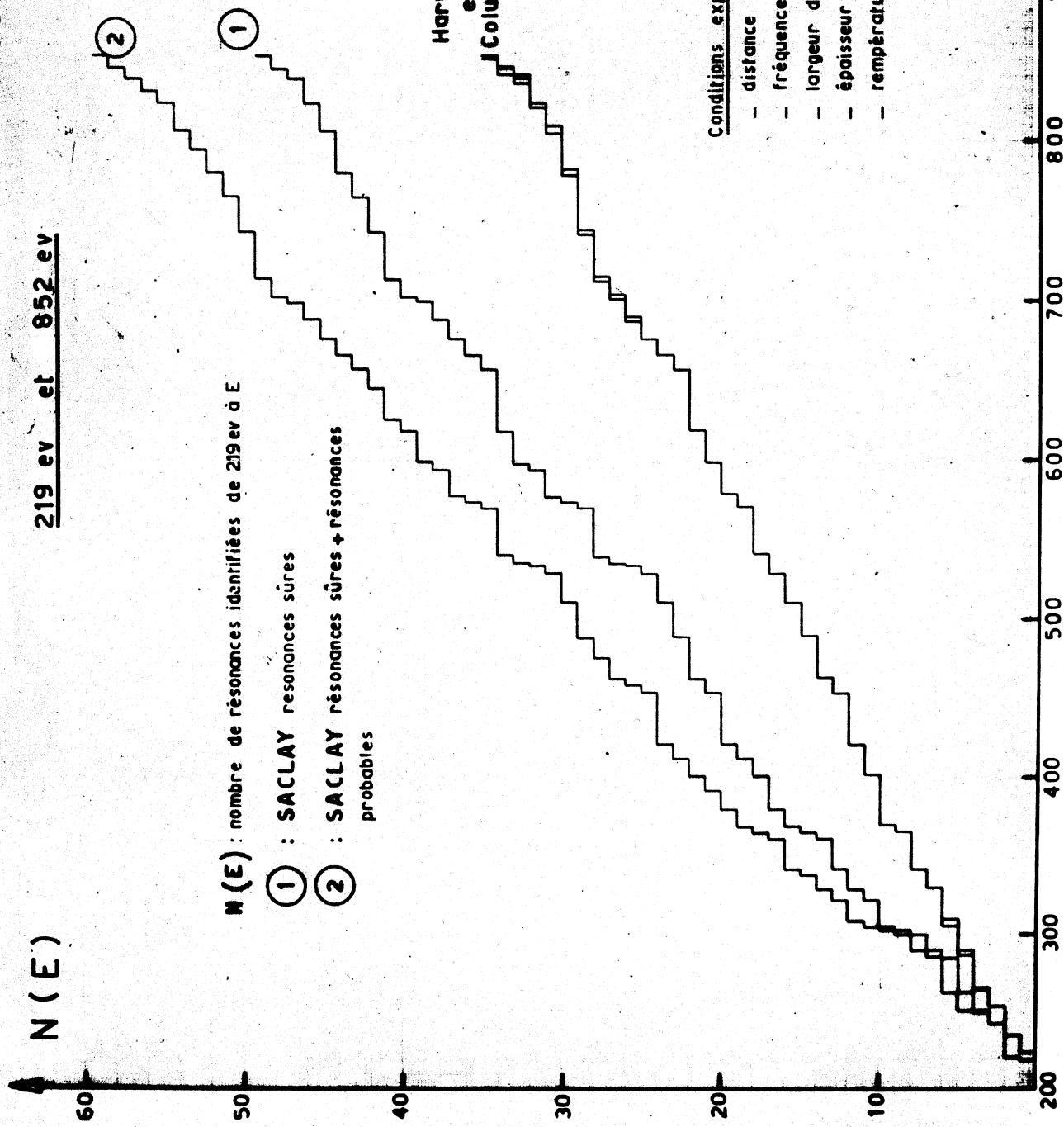


Fig.XVI-8

Neutron energy (keV)

200

100

0

500

1000

$\Theta_{He^3} = 18^\circ$

15°

10°

5°

He^3 energy (keV)

Fig XVI-9

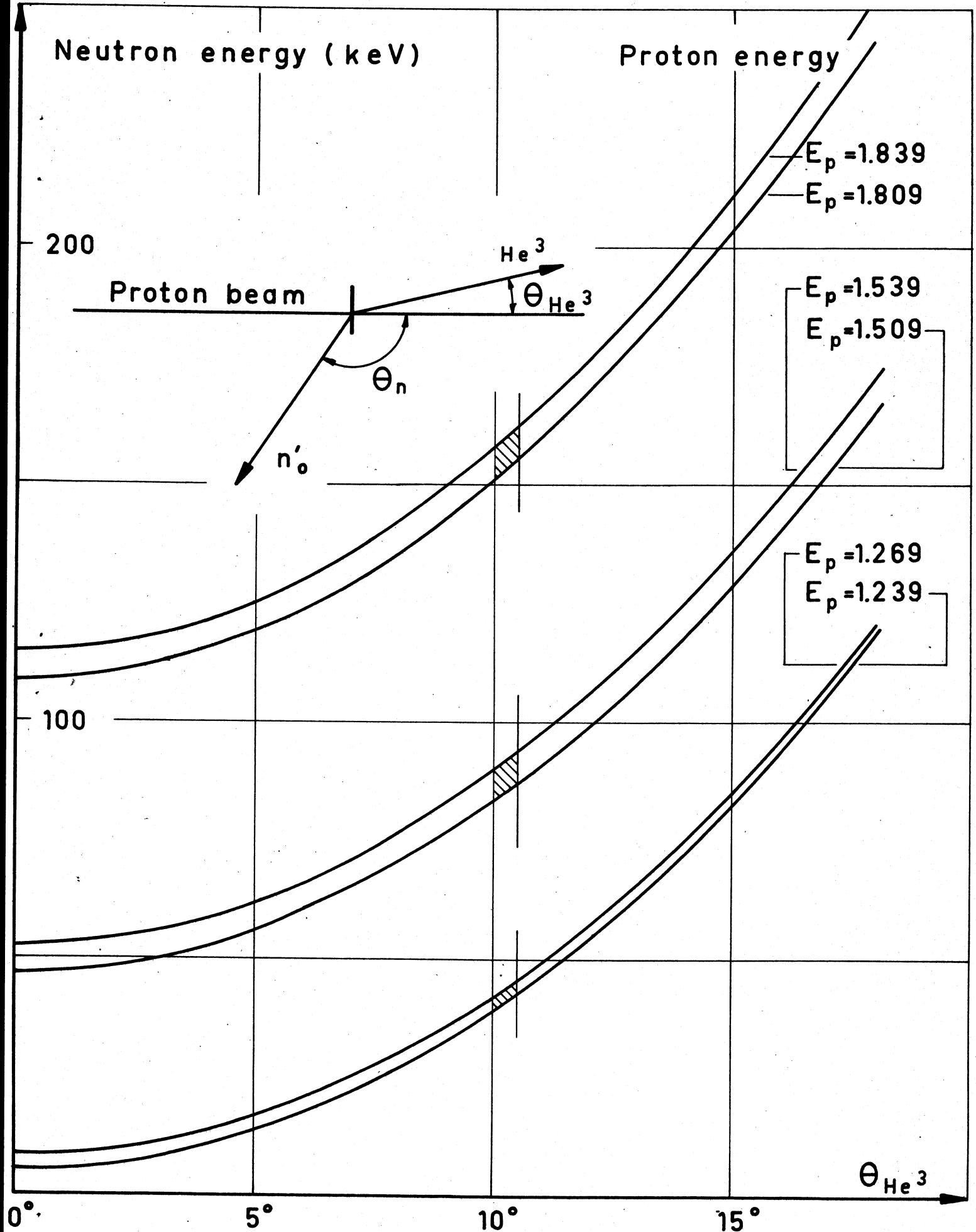


Fig. XVI-10

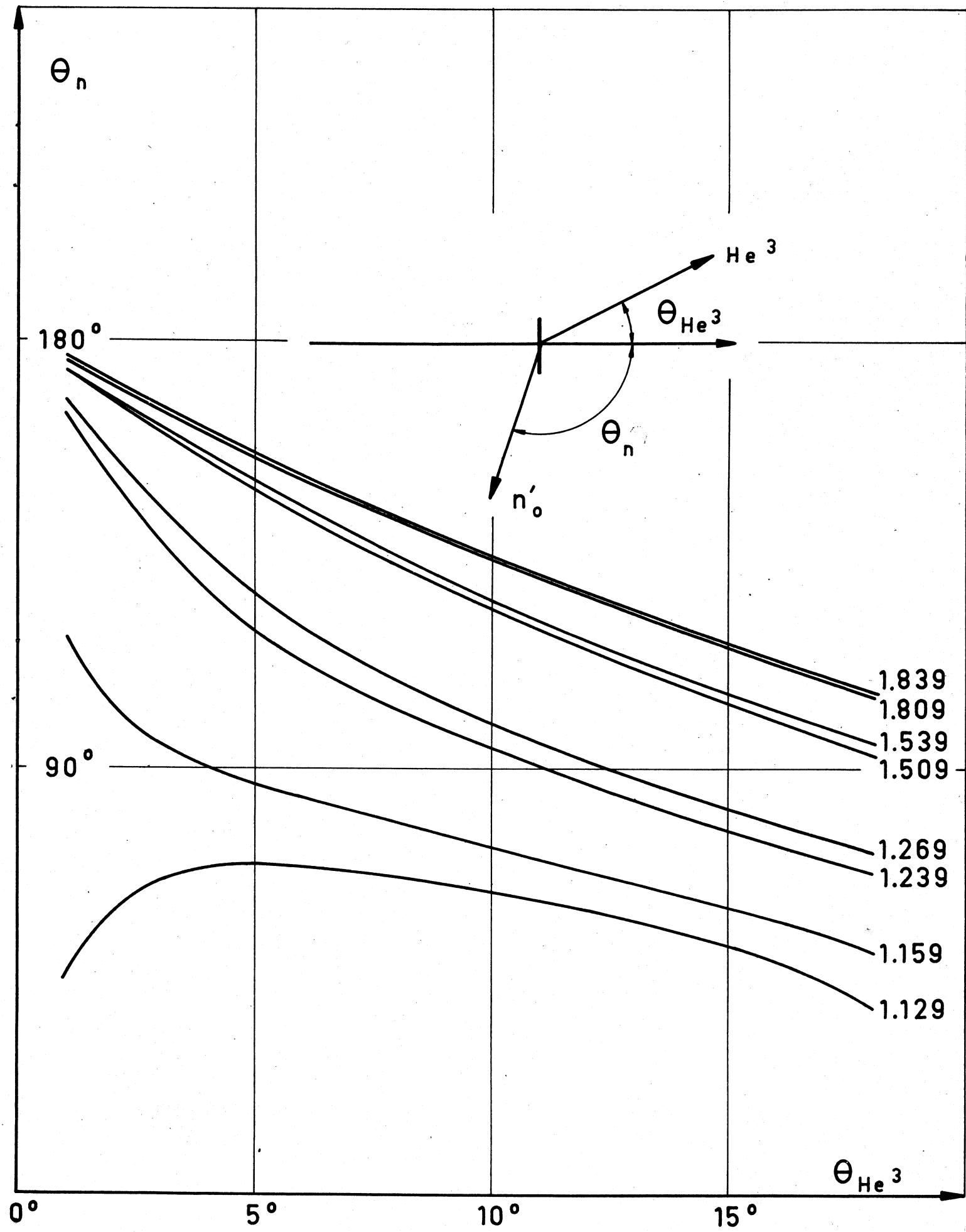


Fig XVI-11

Paramètres des résonances de l'U 233

$\epsilon \lambda$		Γ_F						$2g\Gamma_h^*$																											
I	II	III	IV	V	VI	Present ouvrage	Harvey	Hughes	Moore	Present ouvrage	Harvey	Vogt	Hughes	Moore	Present ouvrage	Harvey	Vogt	Hughes	Moore	Present ouvrage	Harvey	Vogt	Hughes	Moore	Present ouvrage	Harvey	Vogt	Hughes	Moore	Present ouvrage	Harvey	Vogt	Hughes	Moore	
1.775	1.785	1.76	1.75	1.76	1.755	277	210	231	200	182	186	0.350	0.225	0.235	0.105	0.155	0.162	0.222	301	20															
2.28	2.307	2.30	2.32	2.31	2.305	40.5	50	49	48	48	48	0.139	0.135	0.116	0.049	0.086	0.066	0.97	54	20															
3.62	3.64	3.61	3.61	3.61	3.61	185	155	212	180	174	149	0.074	0.074	0.084	0.034	0.060	0.057	41	45.4	24															
4.725	4.79	4.80	4.70	4.75	4.825	720	950	740	650	718	850	0.108	0.187	0.164	0.051	0.130	0.105	62.5	63.5	24															
5.87	5.85			5.75	5.82	431	105			320	316	0.086	0.061		0.022	0.047		42	43.5	24															
6.7	6.85	6.77	6.79	6.82	6.82	112	165	160	146	146	146	0.34	0.41	0.303	0.176	0.300	0.300	120	130	24															
7.45	7.57			7.6	7.6	212	70			125		0.019	0.015		0.007			77	8.3	24															
8.50	8.78			8.7	8.7	329	700			300		0.012	0.017		0.010			4.7	5.3	24															
9.16	9.30			9.2	9.2	241	125			180		0.038	0.047		0.019			14	13.8	26															
10.21	10.41			10.47	10.47	278	225			270		0.436	0.51		0.411			158	163	26															
11.15						502						0.081						29	30.3	26															
11.75	11.48					36*	175					0.048	0.035					16	16.9	26															
12.54	12.88					274	250					0.038	0.40					140	122	26															
13.43	13.89					331	300					0.112	0.125					15.3	37	26															
15	15.46					148	193					0.186	0.265					48	47	26															
15.91	16.32					675	450					0.337	0.270					103	107	26															
16.16	16.67					60	140					0.070	0.126					13.7	12.8	26															
17.52	18.10					165	150					0.060	0.076					14.9	14.7	26															
17.97	18.60					124	115					0.040	0.044					9.2	9.1	26															
18.50	19.09					245	240					0.380	0.430					100	97	26															
20.02	20.76					32*	470					0.194	0.265					50	51.5	26															
21.24	22.00					154	205					0.153	0.290					33	32.4	26															
21.66	22.50					357	390					0.714	0.68					178	199	26															
23.01	23.90					374	900					0.135	0.280					32.9	33	26															
23.60						604						0.080					20	21.8	26																
24.44	25.48					367	290					0.164	0.230					43	43.7	26															
24.89						30						0.048					5	5.1	26																
25.20						235						0.037					8.1	8.3	26																
25.56						433						0.104					24.3	26																	
27.02						788						0.106					25	27	20																
27.98						465						0.260					58.3	64	26																
29.57						395						0.116					25	27.4	20																
30.25						389						0.083					17.8	14.9	26																
30.76						199						0.166					31.8	32.5	26																
32.10						1230						0.237					52.4	56.6	26																
33.07						671						0.251					53	52.5	26																
33.92						540						0.082					17	17.7	26																
34.42						88						0.027					4	4.1	26																
34.92						275						0.110					20.8	20.6	26																
35.83						278						0.070					13	12.9	26																

PARAMETRES DE RESONANCES DE L'U235

E(eV)	$2g\Gamma_h(\text{mv})$	$\Gamma_f(\text{mv})$	$\Gamma_f(\text{mv})$	$\bar{\Gamma}_f(\text{bev})$	$\bar{\Gamma}_f(\text{bev})$	η	α
8,78	$1,22 \pm 0,10$	136 ± 15	78 ± 12	55 ± 8	$105,5 \pm 5$	$183,6 \pm 1,5$	$1,43$
11,66	$0,55 \pm 0,06$	34 ± 4	$3,5 \pm 0,6$	30 ± 5	$5,97 \pm 0,3$	$61,75 \pm 7$	$0,245$
12,39	$1,30 \pm 0,10$	75 ± 9	27 ± 4	47 ± 8	$46,9 \pm 2$	$136,3 \pm 10$	$0,85$
12,85	$0,045 \pm 0,009$	65 ± 10	42 ± 15	23 ± 10	$3,2 \pm 0,3$	$4,55 \pm 0,9$	$1,73$
15,41	$0,25 \pm 0,03$	100 ± 25	50 ± 15	50 ± 15	$10,5 \pm 1,3$	$21 \pm 2,5$	$1,24$
16,09	$0,40 \pm 0,03$	60 ± 10	19 ± 4	41 ± 8	$9,75 \pm 0,5$	$32,2 \pm 2,4$	$0,82$
16,68	$0,27 \pm 0,02$	130 ± 20	85 ± 17	45 ± 10	$13,6 \pm 1,4$	$20,8 \pm 1,5$	$1,61$
18,05	$0,34 \pm 0,03$	140 ± 20	83 ± 20	57 ± 15	$14,5 \pm 2,5$	$24,4 \pm 2,5$	$1,46$
19,29	$3,30 \pm 0,20$	115 ± 10	54 ± 7	61 ± 8	104 ± 4	222 ± 13	$1,16$
22,93	$0,50 \pm 0,05$	100 ± 10	41 ± 10	59 ± 10	$11,7 \pm 0,5$	$28,3 \pm 3$	$1,00$
27,80	$0,72 \pm 0,07$	127 ± 15	62 ± 10	65 ± 10	$16,5 \pm 0,8$	$33,6 \pm 3,5$	$1,21$
29,64	$0,20 \pm 0,02$	105 ± 30	36 ± 13	69 ± 25	$3 \pm 0,5$	$8,67 \pm 0,8$	$0,855$
32,06	$1,95 \pm 0,15$	120 ± 15	54 ± 10	64 ± 10	$35 \pm 1,5$	$77,8 \pm 6$	$1,12$
							$1,19$

Tableau XVI-2

XVII. DEPARTEMENT DE PHYSIQUE NUCLEAIRE ET DU SOLIDE, SERVICE DE

PHYSIQUE NUCLEAIRE A BASSE ENERGIE, CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES

DE SACLAY, COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE) (E. Cotton)

1. Diffusion inélastique des neutrons rapides. (M. Conjeaud,
B. Fernandez, S. Harar, G. Souchere)

Section efficace (n,n') pour S^{32}

L'énergie des neutrons incidents est 14,55 MeV.

La méthode utilisée est celle du temps-de-vol et de la particule alpha associée. La base de temps-de-vol est de deux mètres.

Les résultats sont corrigés des effets d'atténuation et de double diffusion par la méthode de Monte-Carlo. Ils sont reportés dans la table 1.

2. Reactions nucléaires par neutrons rapides.

Sections efficaces absolues pour quelques réactions (n,p) ,
 (n,α) et $(n,2n)$ induites par neutrons (*) (J.M.F. Jeronymo (**),
G.S. Mani, J. Olkowsky, A. Sadeghi, C.F. Williamson (**).

On a étudié les réactions $Al^{27}(n,\alpha)Na^{24}$, $Mg^{24}(n,p)Na^{24}$,
 $Si^{28}(n,p)Al^{28}$, $Co^{59}(n,p)Fe^{59}$, $Co^{59}(n,2n)Co^{58}$, $Co^{59}(n,\alpha)Mn^{56}$,
 $Ni^{58}(n,p)Co^{58}$ et $Ni^{58}(n,2n)Ni^{57}$ pour des énergies de neutrons comprises entre 12.5 MeV et 21.0 MeV, par la méthode d'activation. On irradiait des barreaux cylindriques de 10.5 mm de diamètre, de 49,5 mm de longueur; les échantillons étaient spectroscopiquement purs. Une cible de titane tritié d'une épaisseur de 1 mg/cm^2 était exposée à un faisceau de deutérons de l'accélérateur Van de Graaff et produisait des neutrons par la réaction $t(d,n)\alpha$.

Le flux de neutrons a été monitoré par un spectromètre à protons de recul (scintillateur plastique) de 20 mm de diamètre et 10 mm d'épaisseur et qui était placé à un angle de 90° par rapport au faisceau incident.

Le détecteur était un cristal-puits dont l'efficacité absolue a été mesurée expérimentalement. Le détail sur cette mesure sera publié dans "Nuclear Instruments and methods". Les résultats sont portés dans la table 2.

(*) à paraître dans Nuclear Physics.

(**) Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, Rio de Janeiro, Brazil

(***) Department of physics, University of Washington, Seattle, Washington.

La figure XVII.1 représente la section efficace totale pour la réaction $\text{Al}^{27}(\text{n},\alpha)\text{Na}^{24}$.

3. Physique des neutrons de résonance. (G. Bianchi, J. Colmin, C. Corge, V.D. Huyhn, J. Morgenstern, J. Julien, F. Netter, M. Vastel).

a) Progrès dans l'appareillage.

Les expériences sont poursuivies à l'accélérateur linéaire de Saclay simultanément sur trois bases de temps-de-vol. On associe les mesures de transmission, les mesures de section efficace de capture totale et l'étude des spectres de rayonnements gamma dans les résonances pour obtenir le plus possible de renseignements sur les résonances de l'élément étudié.

1- Les mesures de transmission au maximum de résolution ont été effectuées avec une base parcours de 100 mètres, l'accélérateur linéaire délivrant des impulsions d'un analyseur de temps-de-vol du type "accordéon" (1) à largeur de canaux variable au cours d'un cycle d'analyse. La largeur minimum des canaux est de 50 nanosecondes. La souplesse du système "accordéon" a facilité grandement l'exploration de domaines étendus de temps-de-vol. L'analyseur est généralement couplé à un bloc d'exploitation (2) de résultats à 4096 canaux dans lequel on utilise 2048 canaux pour le temps-de-vol et où sont présentés simultanément les deux spectres obtenus avec ou sans échantillon. L'écran étudié est en effet mis en place et retiré alternativement environ toutes les demi-minutes tandis qu'un écran fixe comportant des résonances convenables permet d'évaluer le bruit-de-fond.

Les résultats sont systématiquement exploités à l'aide de l'ordinateur IBM 7090 de Saclay qui est même utilisé pour l'étude de doublets rapprochés.

2- Pour les mesures de la largeur totale de radiation, un détecteur 4π , manufacturé par "Nuclear Enterprises" a été installé sur une base de temps-de-vol de soixante mètres. Le détecteur se présente comme un réservoir sphérique d'un mètre de diamètre traversé diamétralement par un canal

(1) Thenard J. et Victor G., Nucl. Instr. and Methods, (à paraître).

(2) BM96 manufacturé par Intertechnique.

cylindrique permettant le passage du faisceau. La cible se trouve au centre géométrique de la sphère. 8 photomultiplicateurs E.M.I. de 12,7 cm de diamètre observent la sphère. Leurs fenêtres frontales sont en contact avec le liquide scintillant. La surface sensible n'est qu'environ 3% de la surface totale intérieure. Une évaluation simple montre que l'usage d'un réflecteur interne (ici peinture blanche) fait croître de $\sim 2,8\%$ à $\sim 17\%$ la fraction recueillie de la lumière totale émise.

Le xylène constitue le solvant des 500 litres de liquide scintillant. Popop en est le soluté secondaire. L'ensemble donne une bonne réponse lumineuse (78% de celle de l'anthracène), des temps de décroissance courts (2,4 ns) et une faible autoabsorption des photons de luminescence. L'empoisonnement du détecteur avec 15 litres de borate de méthyle a permis d'atténuer fortement le pic de 2,2 MeV dû à la capture des neutrons par l'hydrogène présent en grande quantité dans le liquide organique. La perte de transparence due à l'empoisonnement semble avoir été compensée par un barbotage d'azote gazeux, les conditions d'amplification n'ayant pas été modifiées.

Les spectres d'amplitudes et de temps-de-vol obtenus sont analysés sur l'ensemble multidimensionnel 2×3 (voir figure XVII.2) ou sur un simple sélecteur de temps du type "accordéon" associé à un sélecteur d'amplitudes à un canal.

3- Les mesures des transitions radiatives partielles sont effectuées avec un appareillage fourni par Harshaw représenté sur la figure XVII.3, constitué d'un cristal scintillant NaI(Tl) central couplé à un photomultiplicateur et entouré d'un cristal annulaire NaI(Tl) couplé à neuf photomultiplicateurs. La mise en service, simultanément avec le laboratoire de Yale, de ce détecteur permet de mieux définir les transitions radiatives d'énergie élevée, au prix d'une efficacité de détection réduite nécessitant des enregistrements de plusieurs jours sur l'analyseur multidimensionnel.

Le spectre A est le spectre en amplitude des impulsions obtenues sur le cristal central en réponse aux rayons γ de 4,43 MeV d'une source Po - α - Be. Le pic 1 correspond à l'échappement du cristal central d'un quantum d'annihilation

consécutif à la création d'une paire par un rayon γ . Ce quantum a des chances d'être détecté par le cristal annulaire. Grace à un dispositif à coïncidence, on n'analyse l'amplitude des impulsions venant du cristal central que si l'on reçoit simultanément du cristal annulaire une impulsion correspondant à la détection d'un rayon γ de 511 keV. On obtient alors le spectre en amplitude B. La forme de la figure B dépend peu de la position du cristal dans le cristal annulaire; afin de ne pas trop perdre en taux de comptage on excentre le cristal central comme indiqué sur la figure (ainsi il n'est pas trop éloigné de l'échantillon bombardé par les neutrons).

b) Traitemen_t_des_données.

En ce qui concerne les expériences de transmission, l'analyse des résonances peut s'effectuer de bout en bout sur ordinateur IBM 7090. Elle peut faire appel à des méthodes différentes respectivement désignées sous le nom de méthode des formes (1) (problème SAPNB 066), méthode des aires partielles (2) (problème SAPNB 048), méthode du minimum de transmission (1) (problème SAPNB 067), et méthode de la largeur à f de la profondeur (1) (problème SAPNB 055), mais quoi qu'il en soit elle comporte trois phases et tient compte de l'effet Döppler, de l'effet de résolution et du terme d'interférence.

La première phase, dite phase de traitement élémentaire, est scindée en deux parties. Dans la première on procède à la correction du temps mort, à la détermination de la loi du bruit de fond, au calcul de la transmission interféro-résonnante et au tracé graphique correspondant (problème SAPNB 084). Le programme peut traiter des spectres comptant jusqu'à 65.536 points expérimentaux répartis en plusieurs régions d'intérêts éventuellement de nature différente et de type "accordéon". La deuxième partie (problème SAPNB 085) est consacrée au calcul des éléments indispensables à l'application des méthodes énumérées ci-dessus, en particulier, aires partielles, minimum de transmission, largeurs à f de la profondeur avec $f = 1/6, 1/3, 1/2, 2/3$, et valeurs expérimentales des paramètres.

La deuxième phase comporte essentiellement la recherche des paramètres de résonance σ_0, Γ, E_R par une méthode de moindres carrés; chacun des programmes peut travailler simultanément sur un ensemble de quatre résonances et porter sur cinq écrans d'épaisseurs

(1) G. Bianchi et C.R. Corge, Rapport C.E.A. à paraître.

(2) G. Bianchi et C.R. Corge, Rapport C.E.A. n° 2156 (1962).
G. Bianchi et C.R. Corge, Rapport C.E.A. n° 2346 (1963).

différentes. En moyenne on peut compter un temps d'exécution de l'ordre de 10 minutes par composante.

La troisième phase, ou phase de vérification, consiste à faire un calcul théorique dans lequel on a injecté les paramètres obtenus au cours de la phase précédente. Il s'agit alors d'en comparer les résultats avec les points expérimentaux affectés des corrections effectuées lors de la première phase. Cette comparaison s'accompagne de graphiques superposés (problème SAPNB 051).

Pour ce qui est des expériences faites à l'aide du détecteur à scintillateur liquide sphérique les données expérimentales sont également traitées sur ordinateur (problème SAPNB 091). Il en est de même pour les expériences (n, γ) multiparamétriques (problème SAPNB 088).

c) Résultats récents.

Une partie des résultats a été présentée au Colloque de la Société Française de Physique (Orsay, mai 1963) (1) mais les mesures effectuées depuis cette date ne sont pas encore publiées.

Zinc. Les paramètres suivants ont été déterminés (a étant l'abondance isotopique en %)

$$E_0 = 282 \text{ eV} \quad \left. \begin{array}{l} \text{ag } \Gamma_n = 3 \pm 0,3 \text{ meV} \\ \Gamma = 300 \text{ meV} \end{array} \right\}$$

$$E_0 = 323 \text{ eV} \quad \text{ag } \Gamma_n = 2,5 \pm 0,3 \text{ meV}$$

Les mesures au scintillateur liquide permettent d'affirmer que pour ces deux résonances $\Gamma = \Gamma_\gamma$ (ce qui exclut certaines valeurs de a).

Cobalt. L'analyse des mesures de transmission effectuées à une résolution voisine de 1 nanoseconde par mètre permet de déterminer les paramètres et le spin de la plupart des résonances jusqu'à 25 keV (voir figure XVII.4). Les résultats sont portés sur la table 3.

Yttrium. Poursuivant l'étude des largeurs de diffusion pour les noyaux cibles de spin 1/2 nous avons effectué la mesure à haute résolution des résonances jusqu'aux énergies de neutrons de 30 keV. La résonance à 2597 eV est un doublet (voir figure XVII.5) et probablement aussi la résonance à 11570 eV. Les paramètres et l'attribution du spin sont portés sur la table 4.

La liste ci-après énumère les énergies des résonances mises en évidence:

680, 2597, 2606, 3383, 5716, 7500, 9420, 9750, 10730, 11570,
13000, 13820, 14230, 15240, 20300, 23050, 24180, 24600, 26450,
28200, 29300, 29600, 30010, 42100, 53000, 53700, 55100, 56100,
62400, 65300, 68400, 70300, 76800 eV.

Zirconium. Les paramètres déjà publiés (1) jusqu'à 4 keV ont été utilisés pour calculer l'intégrale de résonance (2). La valeur de l'intégrale effective de résonance calculée est finalement en bon accord avec les valeurs expérimentales données par des mesures intégrales.

Molybdene. Les résultats accumulés jusqu'à 2,5 keV sont toujours en cours d'analyse.

Niobium. De récentes mesures permettent de rectifier les valeurs publiées antérieurement par d'autres laboratoires pour les premières résonances "s" et "p".

Le tableau numéro 5 montre les paramètres de quelques résonances déjà analysées. Le fait marquant est que quatre résonances ont une valeur de Γ_γ égale à $140 \text{ meV} \pm 30$, et deux autres une valeur de $\Gamma_\gamma = 250 \pm 60$. Les quatres résonances à faible valeur de Γ_γ exhibent une asymétrie de la courbe de transmission et sont donc dues à des neutrons "s". Celle à 42.2 eV possède une très faible valeur Γ_n^o et pourrait être due à des neutrons "p". Par contre celle située à 243 eV montre une courbe de transmission symétrique et cette observation permet de lui attribuer le caractère p . La présence de résonances " p " observables à faible énergie est due au fait que la fonction densité S, passe par un maximum autour du nombre de masse A = 90. Ces résultats suggèrent deux valeurs de Γ_γ différentes suivant le type de la résonance. Des expériences de capture en cours s'efforcent de préciser le schéma de désexcitation pour expliquer cette différence.

Notons que nos résultats sont en contradiction avec ceux d'Argonne, non seulement pour la valeur de Γ mais surtout avec la valeur $2g\Gamma_n$, valeur qui diffère en général peu de laboratoire à laboratoire.

Les figures XVII.6 et XVII.7 montrent nos points expérimentaux adaptés par les courbes théoriques avec les valeurs des paramètres choisis, et la comparaison avec une courbe théorique à partir des paramètres d'ANL.

Lanthane. Nous trouvons des résonances à 1190, 2130, 2160, 2490, 2872, 3013, 3309, 3506, 3776, 4393, 4680, 6516, 8600, 9000 eV.

(1) J. Julien et al, C.R., 1962, 254, 4009.

(2) R. Breton et R. Vidal, Rapport MIN/54-EANDC(E)"42".

La résonance à 72,3 eV a été analysée et donne les paramètres suivants: $g_n^{\Gamma} = 15,6 \text{ meV}$ $\Gamma = 136 \text{ meV}$.

L'analyse préliminaire dans l'intervalle d'énergie 50 eV - 10000 eV, tendrait à donner une valeur de la fonction densité assez inférieure à celle du Pr ou du Nd.

Praseodyme. Avec une résolution de 0,15 ns/mètre nous avons confirmé les valeurs du paramètre g_n^{Γ} des résonances précédemment publiées.

Nous avons mis en évidence l'effet d'interférence entre la diffusion résonante et la diffusion potentielle pour la résonance à 85 eV ce qui établit définitivement le caractère "s" de cette résonance.

Nous avons déterminé la valeur de la section efficace de diffusion potentielle par l'analyse du même effet pour la résonance à 1120 eV. Nous trouvons une valeur de $5,5 \pm 2$ barns en accord avec la valeur obtenue par mesure directe (BNL 325).

Neodyme. Les paramètres des résonances étudiées figurent dans la table 6. Les épaisseurs d'écran utilisées ne permettent pas de donner des valeurs de paramètres suffisamment précises pour les résonances situées à 78,9 - 85 et 95 eV. Les deux dernières appartiennent à l'isotope Nd¹⁴⁵. La résonance précédemment connue à 102 eV est en réalité un doublet dont les deux composantes, après analyse du spectre des rayons gamma de capture à basse énergie, sont attribuées à l'isotope Nd¹⁴⁵. L'absence de terme d'interférence entre ces deux résonances montre qu'elles sont de spins différents et l'étude du spectre du rayonnement gamma de capture à haute énergie montre que la résonance à 102,2 eV a la valeur de spin $J = 3$. On attribue donc la valeur de spin $J = 4$ à la résonance située à 103,6 eV.

Thulium. Poursuivant l'étude des noyaux cibles de spin 1/2, nous avons effectué des mesures sur Tm de 10 eV à 500 eV, en associant aux expériences de transmission des expériences de capture radiative de neutrons pour l'attribution de la valeur du spin. P.P. Singh vient de publier (1) une liste de 20 résonances (de 3 eV à 164 eV) de Tm et l'attribution de la valeur de spin pour la plupart d'entre elles. Il conclut que la fonction densité est indépendante de la valeur du spin donc que la quantité $\langle g_n^{\Gamma} \rangle_{J=0} \sim 3 \langle g_n^{\Gamma} \rangle_{J=1}$

comme nous l'avons déjà montré pour le Pt (2).

(1) P.P. Singh, B.A.P.S., 1963, II-8, n° 4, p. 358.

(2) J. Julien, C. Corge, V.D. Huynh, J. Morgenstern et R. Netter, Physics Letters, 1962, 3, 67.

La liste ci-dessous énumère les énergies des résonances trouvées (on a volontairement, pour les énergies inférieures à 164 eV, choisi les valeurs de P.P. Singh pour éviter la confusion, excepté pour les quelques nouvelles résonances).

14,5; 18; 28,8; 34,8; 38; 45; 51; 59; 63; 66; 83; 94;
95,5; 102; 116; 125; 132; 136; 154; 162; 164; 189; 215; 219; 230;
234; 245; 252; 259; 270; 282; 292; 299; 309; 335; 341; 365; 375;
385; 390; 405 eV.

Il est probable que le plus épais des écrans utilisés ne permettait pas de déceler les résonances au-dessus de 200 eV ayant des faibles valeurs de Γ_n^0 . L'espacement moyen $\langle D \rangle$ des niveaux serait voisin de 9 eV.

Platine. Outre les résultats (1) déjà publiés, nous avons effectué des mesures du rapport Γ_γ/Γ_n^0 à l'aide du scintillateur liquide. D'où

$$\frac{\Gamma_\gamma(154,1 \text{ eV})}{\Gamma_\gamma(149,9 \text{ eV})} = 0,75 \pm 0,15$$

Ce rapport est à comparer à la valeur $0,5 \pm 0,3$ tirée des différences ($\Gamma - \Gamma_n^0$).

Or. Des mesures ont été effectuées pour rechercher le rôle du processus de capture directe. Les enregistrements multidimensionnels amplitude-temps concernent la résonance à 4,9 eV et les résonances situées en dessous de 300 eV. Les résultats, analogues à ceux obtenus simultanément par Draper à Yale (communication privée), montrent que la capture directe ne joue pas un rôle important.

Par ailleurs des mesures associées de transmission et de capture totale sont en cours pour étudier les éventuelles fluctuations de Γ_γ et déterminer le spin des résonances jusqu'à 400 eV.

Mercure. Poursuivant la détermination des paramètres des résonances de Hg^{201} (publiés (1) pour la résonance à 210,1 eV), nous avons obtenu les résultats portés dans la table 7.

Il en résulte que si la fluctuation de Γ_γ de résonance à résonance n'est pas si forte que la publication du laboratoire d'Argonne le suggérait, la valeur de Γ_γ pour la résonance à 70,9 eV n'en est pas moins nettement supérieure à celles des résonances à 210,1 et 43 eV.

(1) J. Julien et al, Phys. Letters, 1962, 3, 2, 67.

d) Propriétés statistiques

Les mesures effectuées sur divers noyaux ont pour but de rechercher d'éventuelles anomalies statistiques. Résumons quelques traits marquants des conclusions :

Largeurs de diffusion Γ_n . Le cas de $Se^{77} + n$ reste le seul où la valeur $\sum \Gamma_n^0$ pour les résonances avec $J=0$ est très supérieure à celle des résonances ayant $J=1$, alors que dans les cas de noyaux comme Tm et Pt la fonction densité apparaît comme indépendante de la valeur du spin.

Largeurs de radiation Γ_γ . Outre les fluctuations de Γ_γ de résonance à résonance, signalées depuis longtemps dans certains noyaux comme Pt , nous avons mis en évidence le cas de Nb où Γ_γ apparaît différent suivant le caractère "s" ou "p" de la résonance et nous avons retrouvé de Pr^{141} à Nd^{143} et Nd^{145} une variation de Γ_γ de noyau en noyau analogue à celle calculée par Cameron (1).

Espacements des résonances. Contrairement aux résultats obtenus à Columbia, nous n'observons pas d'anomalies dans la distribution des espacements de Wigner dans les noyaux à forte densité de résonances (cas de $U^{238} + n$) si nous nous limitons strictement à la région de bonne résolution où l'on ne perd pas de résonances. Une courbe à deux bosses apparaît en revanche si l'on prend en considération la région où l'on commence à perdre des niveaux.

(1) Cameron, Can.J.Phys., 1959, 37, 322.

TABLE 1

Angle (labo) deg	Sections efficaces différentielles (mb/Stéradian)		
	Q = 0	Q = - 2,24 MeV	Q = - 4 à - 5 MeV
20	405 \pm 20	16,3 \pm 2,4	9,1 \pm 2,0
30	83 \pm 7	8,5 \pm 2,0	5,9 \pm 2,0
40	4,5 \pm 0,4	8 \pm 1,5	7,7 \pm 1,5
50	36,5 \pm 4,7	13,1 \pm 2,9	8,7 \pm 2,5
60	44,2 \pm 4,0	5,3 \pm 1,6	6,9 \pm 1,9
70	24,2 \pm 1,7	3,9 \pm 1,7	3,7 \pm 1,4
80	7,9 \pm 1,7	1,7 \pm 1,2	2,4 \pm 1,5
90	7,8 \pm 1,4	1,7 \pm 1,2	3 \pm 1,1
108	17,7 \pm 2,8	6,9 \pm 2,5	3,3 \pm 2,0
120	7,3 \pm 2,9	4,0 \pm 2,6	6,9 \pm 2,9
140	5,5 \pm 2,0	4,0 \pm 1,6	7,9 \pm 1,8
147	4,7 \pm 1,4	3,0 \pm 1,5	1,9 \pm 1,2
152	1,9 \pm 0,9	1,0 \pm 0,7	1,6 \pm 1,0

TABLE 2
Sections efficaces absolues en millibarns

Energies de Neutrons MeV	12.55 ± 0.2	13.55 ± 0.2	14.90 ± 0.2	16.50 ± 0.2	18.15 ± 0.2	19.60 ± 0.2	20.60 ± 0.2	21.00 ± 0.2
Al ²⁷ (n,α)Na ²⁴	115 ± 12	115 ± 12	107 ± 11	84 ± 9	64 ± 7	52 ± 7	37 ± 6	31 ± 6
Mg ²⁴ (n,p)Na ²⁴⁺								
Mg ²⁵ (n,d)Na ²⁴⁺	255 ± 30	283 ± 35	195 ± 24	177 ± 22	158 ± 20	134 ± 18	140 ± 20	122 ± 14
Mg ²⁶ (n,t)Na ²⁴								
Si ²⁸ (n,p)Al ²⁸	197 ± 25	189 ± 25	181 ± 20	125 ± 14	140 ± 16	75 ± 10	88 ± 10	79 ± 10
Co ⁵⁹ (n,α)Mn ⁵⁶	25 ± 3	26 ± 3	26 ± 3	20 ± 3	19 ± 3	11 ± 2	11 ± 2	8 ± 2
Co ⁵⁹ (n,p)Fe ⁵⁹	639 ± 75	534 ± 70	428 ± 60	195 ± 30	120 ± 14	105 ± 10	68 ± 10	620 ± 75
Co ⁵⁹ (n,2n)Co ⁵⁸	232 ± 30	508 ± 70	640 ± 68	725 ± 85	734 ± 85	753 ± 90	275 ± 33	273 ± 32
Ni ⁵⁸ (n,p)Co ⁵⁸	125 ± 15	122 ± 15	175 ± 21	261 ± 31	248 ± 30	19 ± 3	8 ± 2	1 ± 1
Ni ⁵⁸ (n,2n)Ni ⁵⁷	38 ± 4	45 ± 4	39 ± 4	34 ± 4	24 ± 3	19 ± 3	8 ± 2	1 ± 1

TABLE 3

COBALT

E_0 (keV)	J	$g \Gamma_n$ (eV)	Γ_n (eV)	$g \Gamma_n^o$ (eV)	Γ_n^o (eV)
0,130*	4		5,13 \pm 0,10		0,450 \pm 0,008
3,98		0,06 \pm 0,04		0,001	
4,32	4		80 \pm 30		1,2 \pm 0,4
4,98	3		660 \pm 150		9,3 \pm 2,1
6,38		0,95 \pm 0,20		0,012	
8,05	3		40 \pm 5		0,45 \pm 0,05
8,75		0,36 \pm 0,12		0,004	
9,70		1,06 \pm 0,20		0,011	
10,70	4		65 \pm 8		0,63 \pm 0,08
11,86		0,77 \pm 0,20		0,007	
13,28	(4)	13,5	24 \pm 6	0,12	0,21 \pm 0,05
15,65	3		80 \pm 10		0,64 \pm 0,13
16,90	4		170 \pm 15		1,30 \pm 0,15
19,76		1,16 \pm 0,20		0,008	
21,96	3		630 \pm 100		4,25 \pm 0,7
22,51	4		270 \pm 60		1,8 \pm 0,4
24,46	3		320 \pm 60		2,0 \pm 0,4
25,16	4		230 \pm 50		1,4 \pm 0,3
26,0		10,8 \pm 3		0,067	
27,3		120 \pm 20		0,73	
29,5					
30,1		135 \pm 20		0,78	
31,4					

25 keV

* Brookhaven Value

$$S(J=3) = \frac{\sum \Gamma_n^o(J=3)}{25 \text{ keV}} = 6,7 \pm 3,2 \cdot 10^{-4}$$

$$S(J=4) = \frac{\sum \Gamma_n^o(J=4)}{25 \text{ keV}} = 2,7 \pm 1,3 \cdot 10^{-4}$$

TABLE 3

COBALT

E_0 (keV)	J	$g \Gamma_n$ (eV)	Γ_n (eV)	$g \Gamma_n^o$ (eV)	Γ_n^o (eV)
0,130*	4		$5,13 \pm 0,10$		$0,450 \pm 0,008$
3,98		$0,06 \pm 0,04$		0,001	
4,32	4		80 ± 30		$1,2 \pm 0,4$
4,98	3		660 ± 150		$9,3 \pm 2,1$
6,38		$0,95 \pm 0,20$		0,012	
8,05	3		40 ± 5		$0,45 \pm 0,05$
8,75		$0,36 \pm 0,12$		0,004	
9,70		$1,06 \pm 0,20$		0,011	
10,70	4		65 ± 8		$0,63 \pm 0,08$
11,86		$0,77 \pm 0,20$		0,007	
13,28	(4)	13,5	24 ± 6	0,12	$0,21 \pm 0,05$
15,65	3		80 ± 10		$0,64 \pm 0,13$
16,90	4		170 ± 15		$1,30 \pm 0,15$
19,76		$1,16 \pm 0,20$		0,008	
21,96	3		630 ± 100		$4,25 \pm 0,7$
22,51	4		270 ± 60		$1,8 \pm 0,4$
24,46	3		320 ± 60		$2,0 \pm 0,4$
25,16	4		230 ± 50		$1,4 \pm 0,3$
26,0		$10,8 \pm 3$		0,067	
27,3		120 ± 20		0,73	
29,5					
30,1		135 ± 20		0,78	
31,4					

* Brookhaven Value

$$S(J=3) = \frac{\sum_o \Gamma_n^o (J=3)}{25 \text{ keV}} = 6,7 \pm 3,2 \cdot 10^{-4}$$

$$S(J=4) = \frac{\sum \Gamma_n^o (J=4)}{25 \text{ keV}} = 2,7 \pm 1,3 \cdot 10^{-4}$$

TABLE 4

$\text{Y}^{89} + \text{n}$

E_0 (eV)	J	Γ_n (eV)	Γ_n^o (eV)
2597		Doublet	
3380	0	$1,37 \pm 0,2$	0,024
7500	0	57 ± 5	0,63
11570		Doublet probable	
15240	1	28 ± 5	0,23

TABLE 5

$\text{Nb}^{93} + \text{n}$

Saclay				ANL Phy. rew. vol. 109. n°4 p. 1258. 1262			
E_0 eV	$2g\Gamma_n$ meV	Γ meV	Γ_γ meV	$2g\Gamma_n$ meV	Γ meV	Γ_γ meV	
42,2	$0,10 \pm 0,15$	230 ± 50	230 ± 50	$0,13 \pm 0,01$	256 ± 84	256 ± 84	
119	$4 \pm 0,4$	140 ± 20	136 ± 20	$2,8 \pm 0,5$	223 ± 46	220	
193	40 ± 5	175 ± 30	135 ± 30	$30,2 \pm 6$	250 ± 48	220	
243	$2,1 \pm 0,3$	263 ± 50	263 ± 50	$1,64 \pm 0,3$	222 ± 46	220	
335	15 ± 2	165 ± 30	150 ± 30	$21,9 \pm 3,7$	242 ± 41	220	
379	97 ± 10	250 ± 30	153 ± 32	107 ± 14	327 ± 38	220	

TABLE 6

Nd + n							
E_o eV	Isotope	$g\Gamma_h$ meV	J	Γ meV	σ_o barns	Γ_γ meV	$\beta\Gamma_o$ meV
4,34	145	0,48 \pm 0,04		58 \pm 7	4960	57 \pm 7	0,23
43,1	145	153 \pm 15	3	480 \pm 60	19200	130 \pm 65	23,3
55,3	143	22 \pm 2		138 \pm 12	7500	94 \pm 16	3
102,2	145	60 \pm 6	3	200 \pm 30	7630	63 \pm 30	6
103,6	145	19 \pm 3	4	110 \pm 30	4330	76 \pm 30	1,9
127,3	143	175 \pm 20	3	500 \pm 60	7165	100 \pm 60	15,5

TABLE 7

Hg²⁰¹ + n

		Harwell	ANL	BNL	Saclay
$E_o = 70,9$ eV	$g\Gamma_n$ meV	6 + 0,5	4,58 \pm 0,26	4,50 \pm 0,2	4,60 \pm 0,2
	Γ meV	360 \pm 50	456 \pm 60	480 \pm 70	470 \pm 50
	σ_o barns	420 \pm 80	345 \pm 60	344	358 \pm 50
$E_o = 43$ eV	$g\Gamma_n$ meV	2	2,35 \pm 0,10	2,19 \pm 0,15	2,1 \pm 0,15
	Γ meV	290 \pm 50	290 \pm 13	241 \pm 36	255 \pm 30
	σ_o barns	420 \pm 80	483 \pm 25	539	495 \pm 60

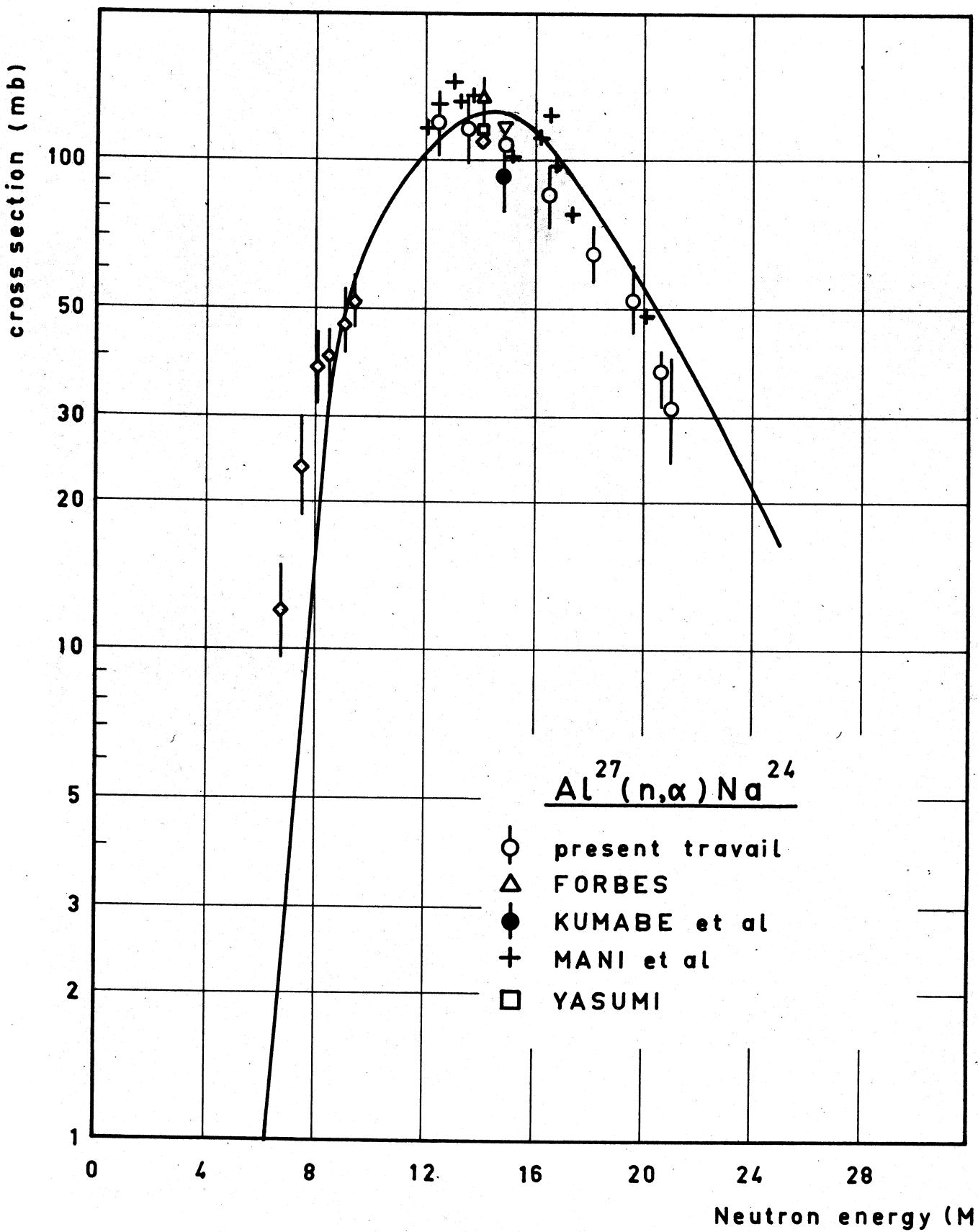
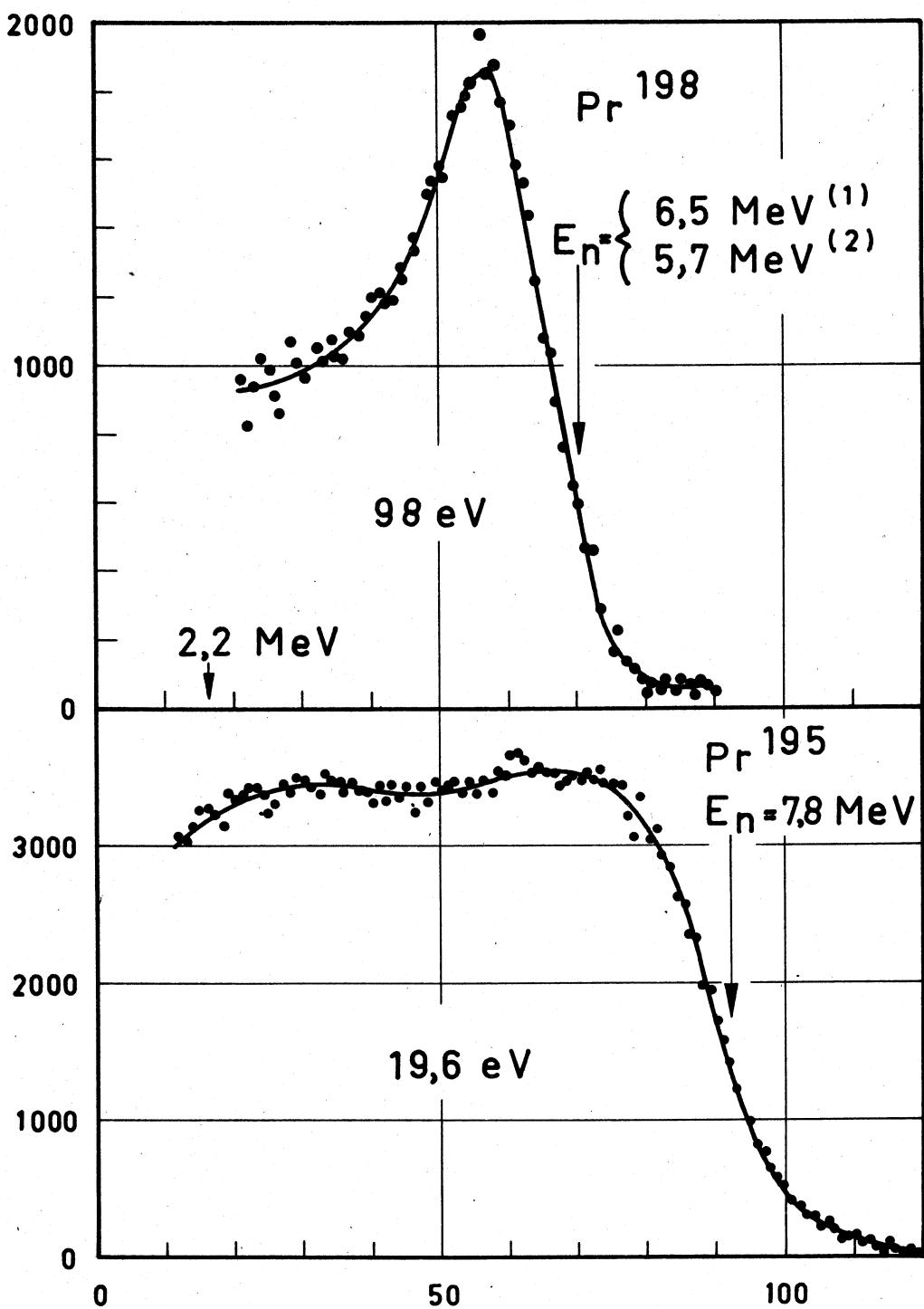


Fig. XVII-1



Spectres d'amplitudes de 2 résonances du platine - scintillateur liquide

- (1) Groshev et al. Atlas of γ -ray spectra from radiative capture of thermal neutrons.
- (2) "Landolt Börnstein" Vol.1.

Fig. XVII-2

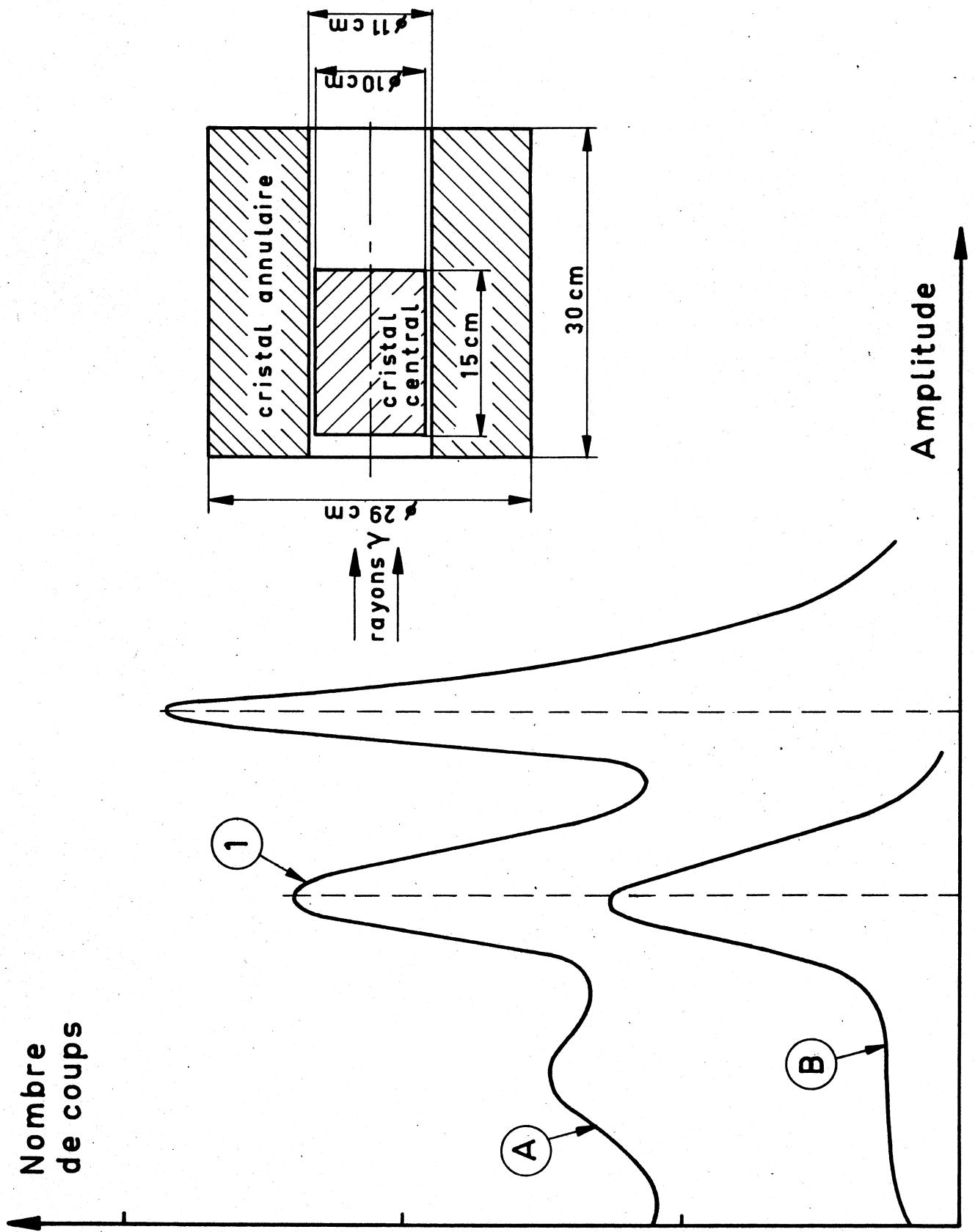


Fig. XVIII-3

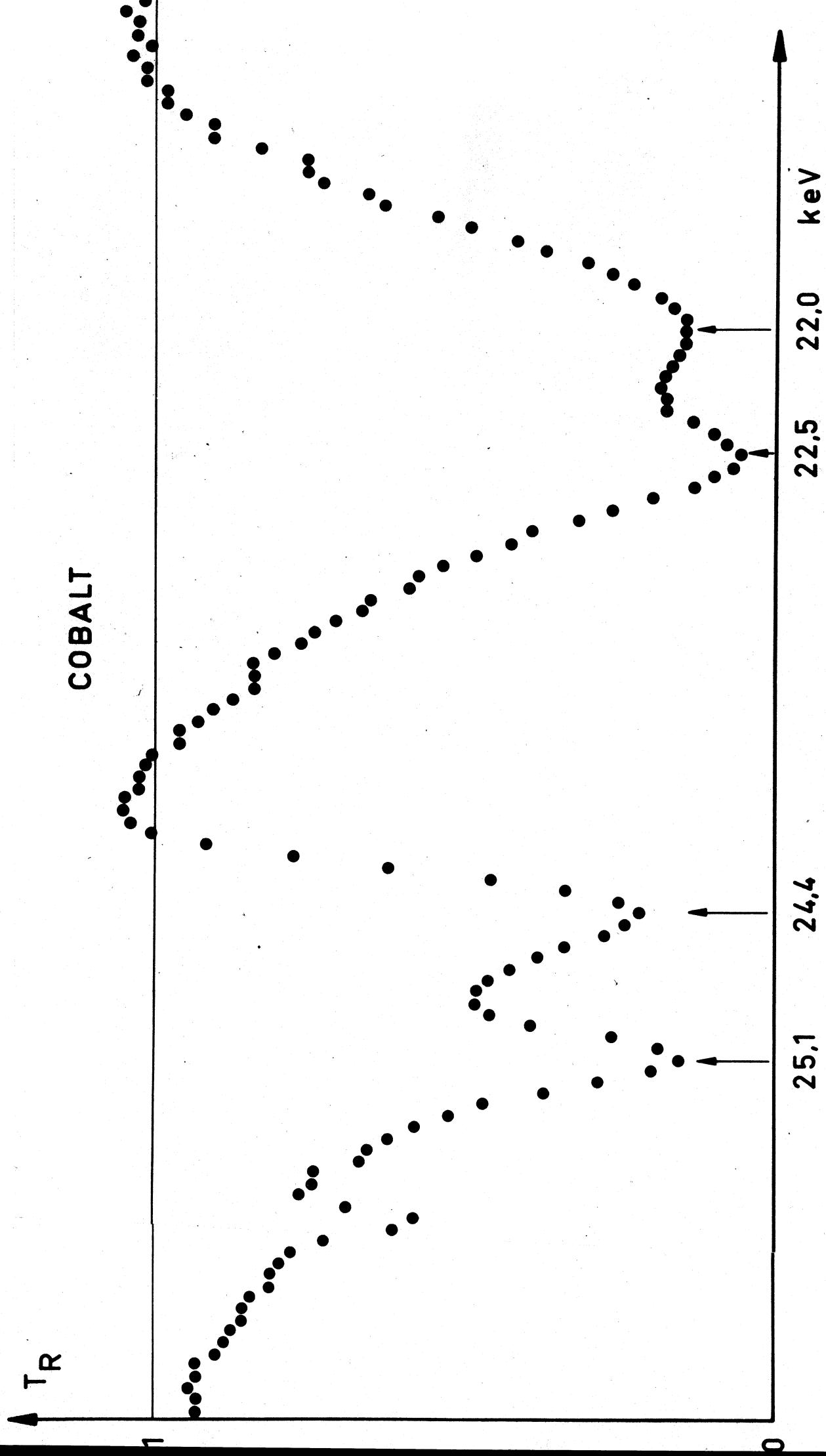


Fig. XXIII-4

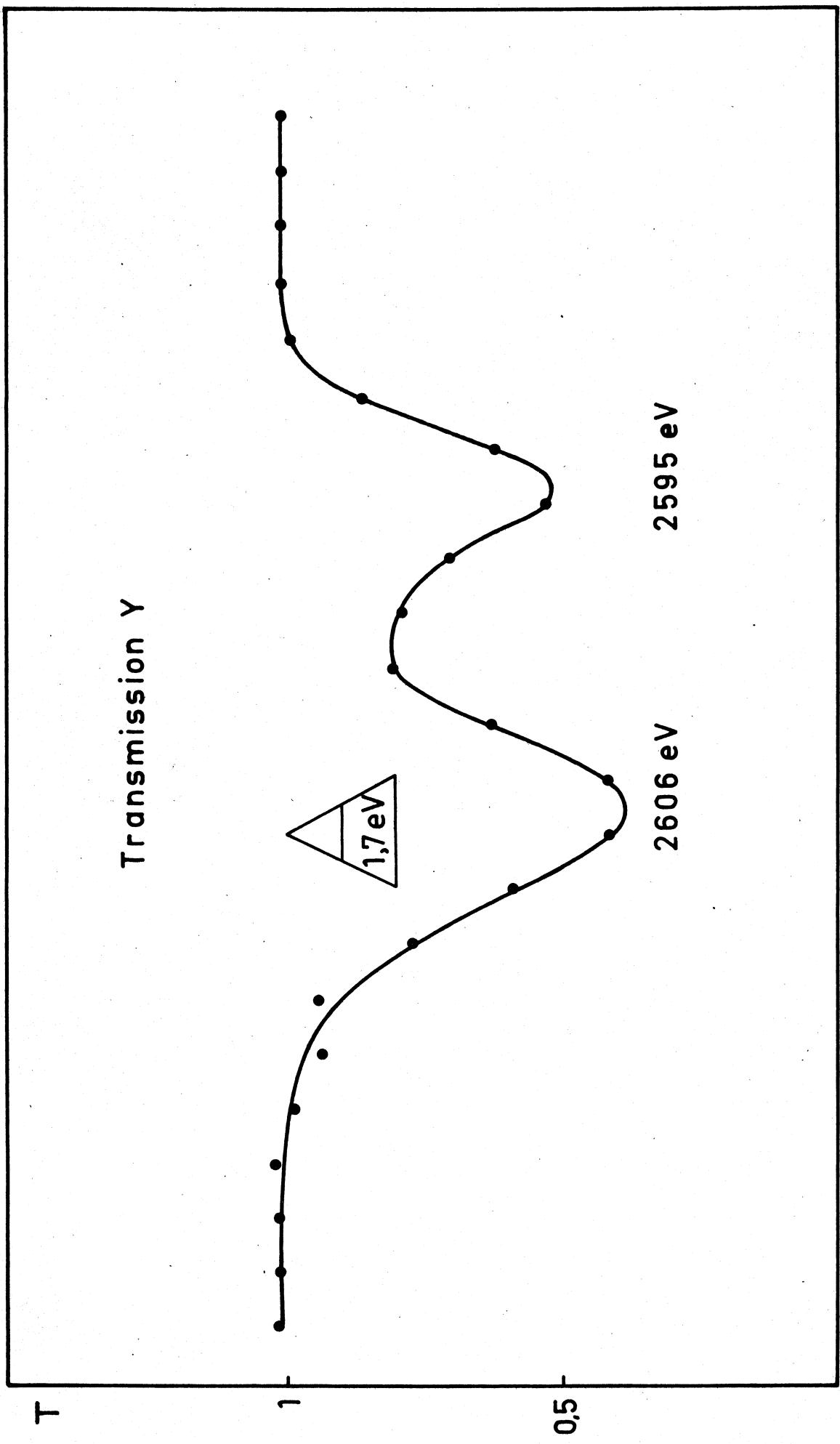
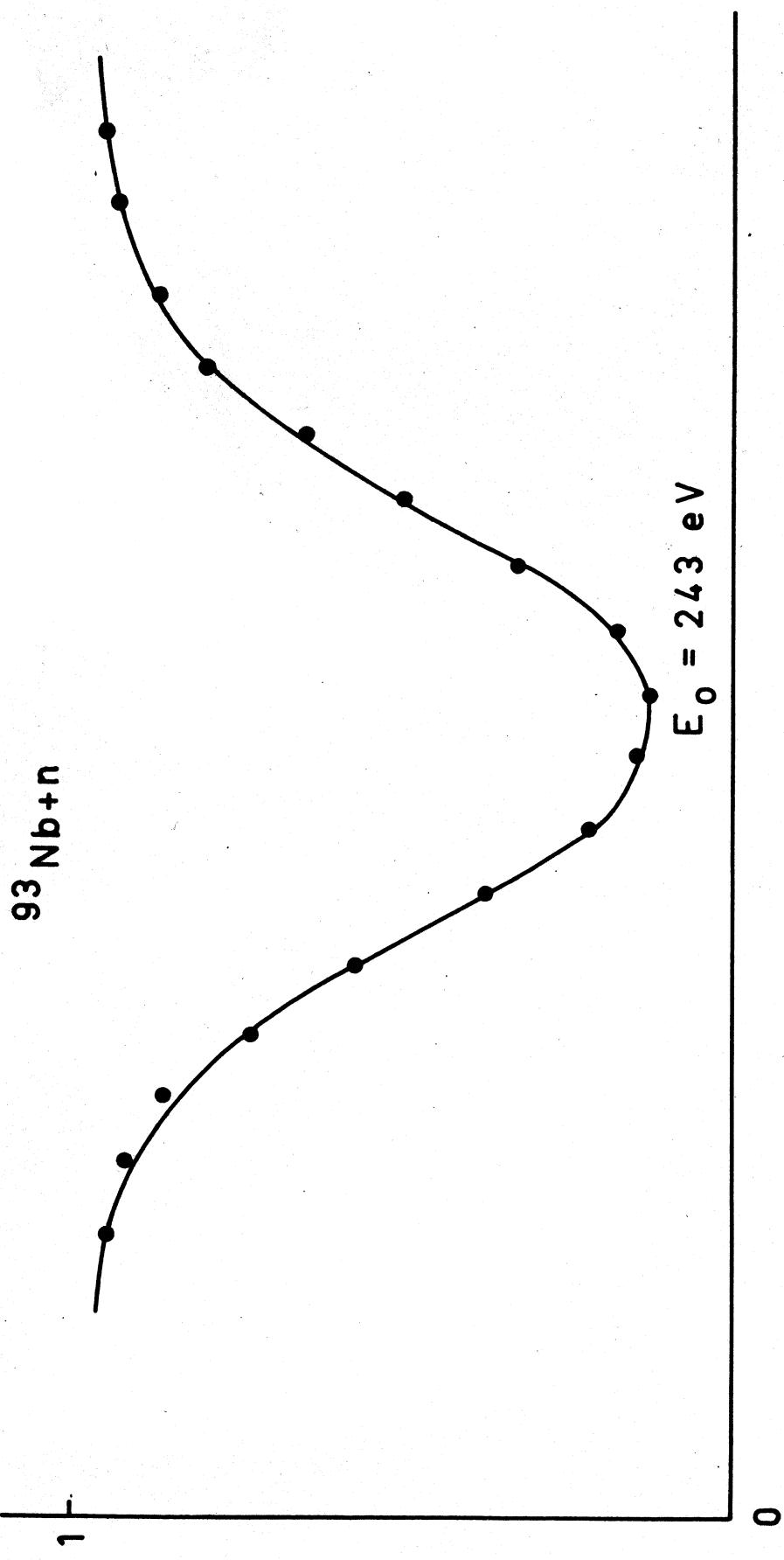


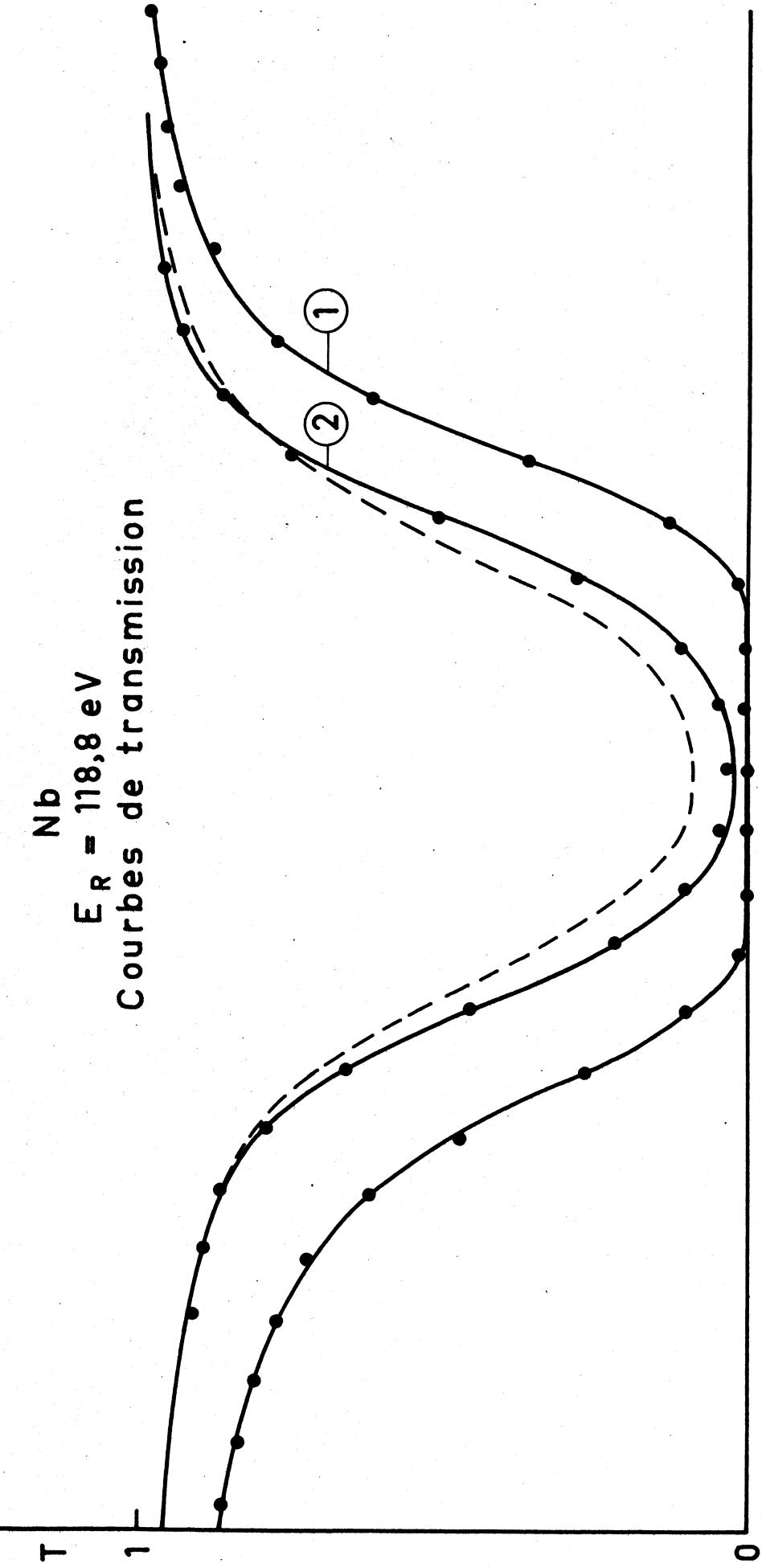
Fig XVIII-5



— Courbe théorique avec $\Gamma = 262 \text{ meV}$ $2g\Gamma_n = 2,1$
 (Résolution et effets Doppler inclus)

- Points expérimentaux. $N = 0,1515 \text{ atomes/barns}$

Fig XVII-6



① et ② : Courbes calculées avec les valeurs des paramètres suivantes : $\Gamma = 140 \text{ meV}$, $g\Gamma_n = 2 \text{ meV}$, (effets Doppler et de résolution inclus). ① n at. $10^{24}/\text{cm}^2 = 0,1515$, ② n at. = 0,040. ● points expérimentaux de transmission. —— Courbe calculée avec les valeurs des paramètres d'Argonne National Laboratory : $\Gamma = 223 \text{ meV}$, $g\Gamma_n = 1,4 \text{ meV}$, n at. $10^{24}/\text{cm}^2 = 0,046$ (effets Doppler et de résolution inclus)

Fig. XVIII-7

XVIII. LABORATOIRE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE, CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE

GRENOBLE (FRANCE) (R. Bouchez)

Mesure de la distribution angulaire de la diffusion inélastique des neutrons de 14 MeV sur le niveau de 7,65 MeV du Carbone 12 (R. Bouchez, J. Duclos, P. Perrin, I. Szabo, F. Merchez).

La distribution angulaire de la diffusion inélastique des neutrons de 14 MeV sur le niveau de 7,65 MeV du Carbone 12 a été mesurée en utilisant la méthode du temps-de-vol. La source de neutrons était obtenue par la réaction (d, t). L'instant initial du temps-de-vol était donné par la détection de la particule α associée, le temps de résolution du dispositif était 1,5 ns environ et la base-de-vol 1,20 mètre. Un effort particulier a été fait pour éliminer les effets parasites. Le bruit de fond a été obtenu en effectuant, à intervalles réguliers, des mesures avec et sans cible de carbone. L'ensemble du dispositif était placé à une distance supérieure à 2 mètres des murs, du sol et de l'accélérateur. Deux spectres de temps-de-vol sont donnés sur la figure XVIII.1. La distribution angulaire obtenue est donnée sur la figure XVIII.2. La correction d'absorption dans la cible de carbone a été effectuée pour cette distribution angulaire et des calculs sont en cours pour les corrections de diffusion multiple (NGUYEN, 1963).

Fig. XVIII.1: Spectres de temps-de-vol des neutrons diffusés sous les angles du laboratoire de 10 et 15°.

Fig. XVIII.2: Distribution angulaire des neutrons diffusés sur le niveau de 7,65 MeV. Les différents points obtenus sont comparés à une courbe en $J_0^2(kR)$ ($R = 5$ f.).

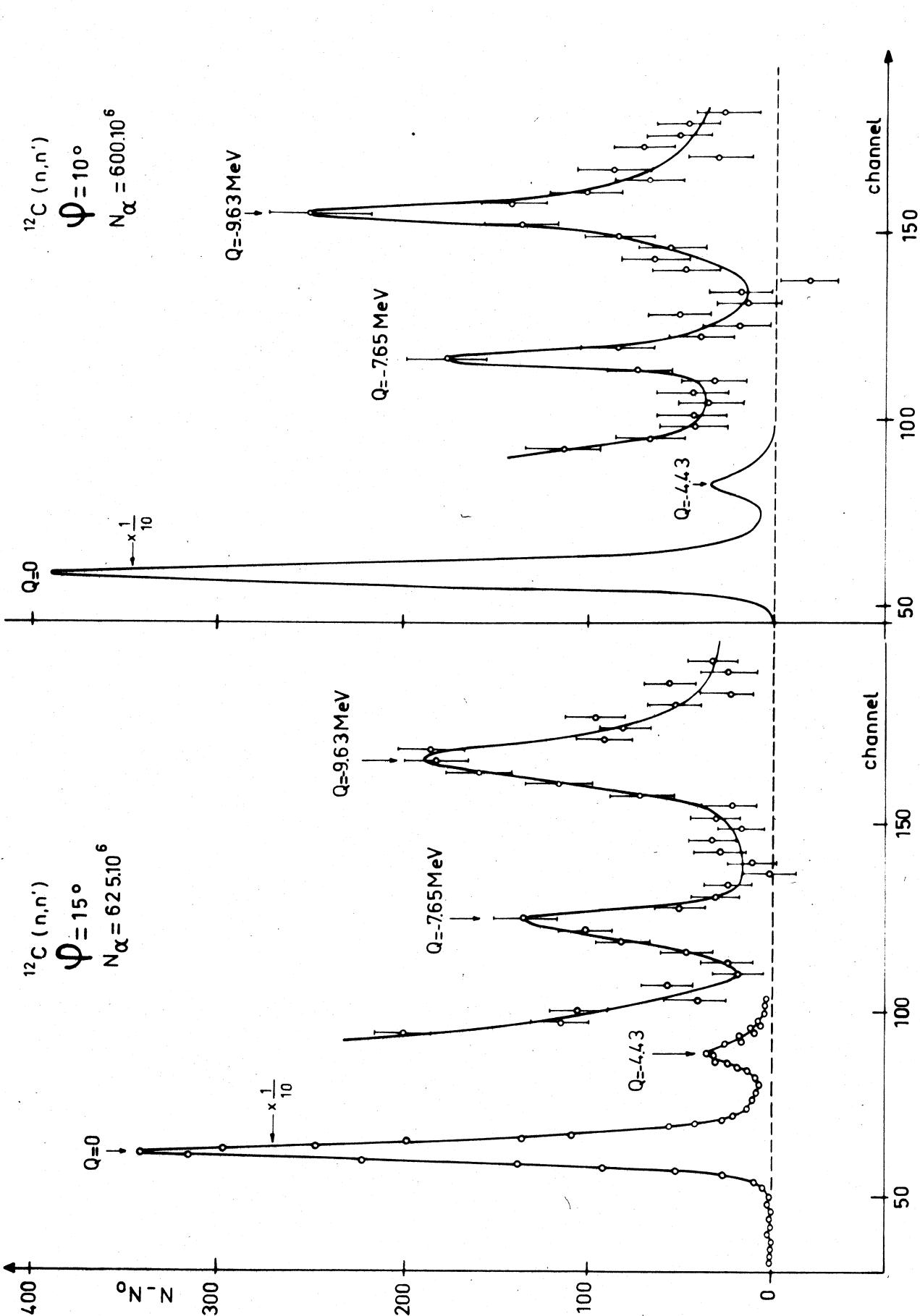
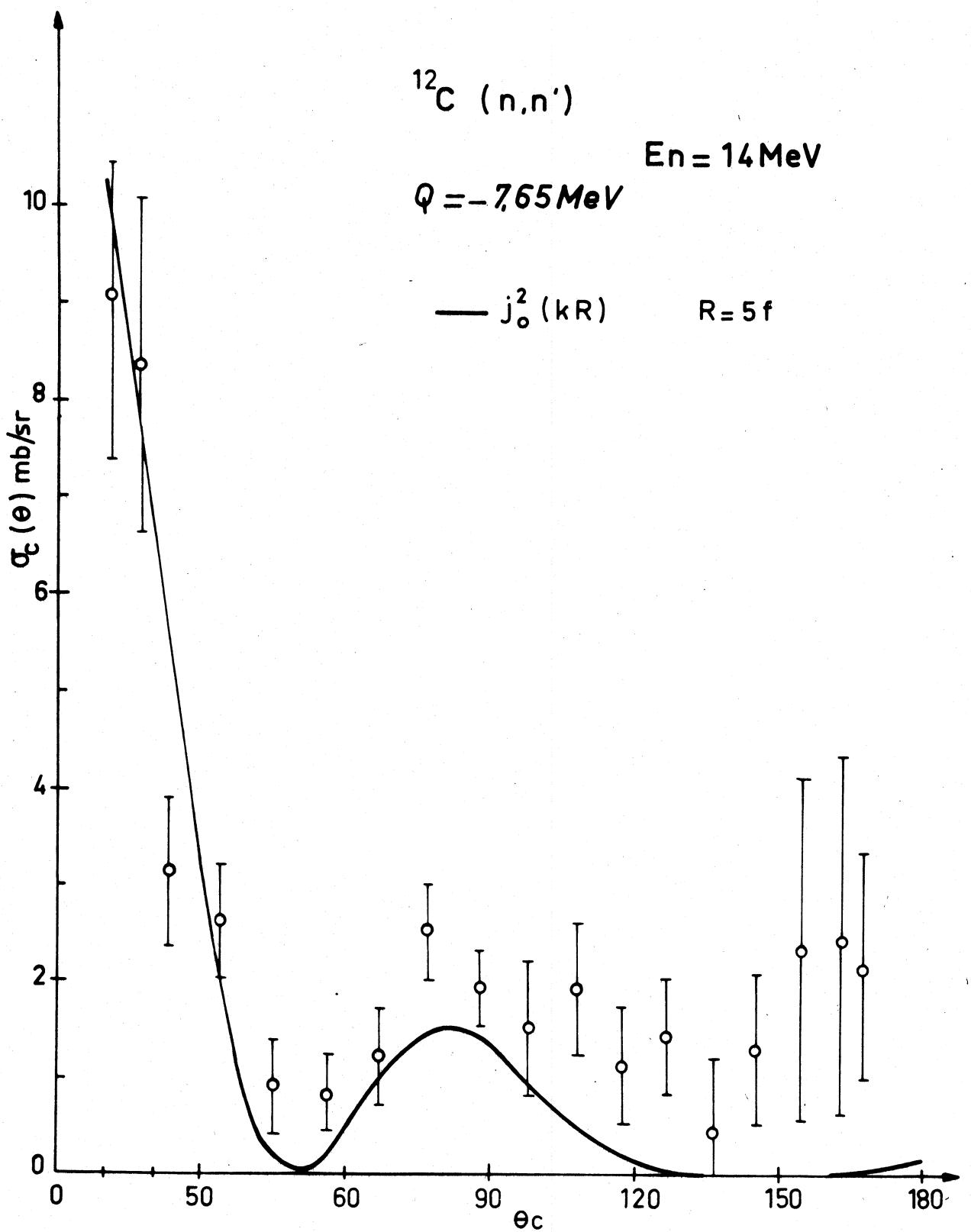


Fig. XVIII-1



Final results - June 1963

Fig. XVIII-2

XIX.A. COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE), MESURES DE SECTIONS
EFFICACES TOTALES POUR DES NEUTRONS DE 3,6 MEV A 5,2 MEV

(J. Cabe, Michel Laurat, P. Yvon)

Les neutrons sont obtenus par la réaction $D(d,n)He^3$ en bombardant par des deutérons (accélérés par un Van de Graaff de 2 MeV) une cible de Deutérium adsorbé dans du Titane. La méthode et l'appareillage sont semblables à ceux utilisés pour la mesure des sections efficaces entre 500 keV et 1200 keV. L'imprécision sur l'énergie des neutrons est de l'ordre de 15 keV. L'erreur moyenne sur σ ne dépasse pas 3 %.

a) Soufre

La mesure de la section efficace totale du Soufre a été faite pour des neutrons de 3,6 MeV à 5 MeV. La résolution en énergie de l'ensemble varie de 10 keV à 18 keV suivant l'énergie des deutons incidents. La courbe de variation présente de nombreux niveaux dont un semble bien séparé aux environs de 4,768 MeV. Le calcul appliqué à la courbe de résonance donne une valeur de $J = \frac{3}{2}, 1 > 1$.

Les résultats expérimentaux sont reportés sur le tableau 1 et la figure XIX.A.1.

- Référence (1) Phys. Rev. 89, 775 (1953)
- Référence (2) Il Nuovo Cimento 18, 671 (1960).

b) Nickel

La mesure sur le Nickel a été faite pour des neutrons de 3,8 MeV à 5,2 MeV. La résolution en énergie est légèrement supérieure à la précédente et varie de 15 keV à 20 keV. La courbe ne présente aucune variation importante.

Les résultats expérimentaux sont reportés sur le tableau 2 et la figure XIX.A.2.

- Référence (1) Phys. Rev. 94, 1678 (1954).

TABLEAU 1

SOUFRE

E_n en MeV	σ_T en barns	E_n en MeV	σ_T en barns	E_n en MeV	σ_T en barns
3,684	2,92	4,114	2,85	4,568	2,50
3,692	2,46	4,124	3,05	4,576	2,75
3,704	2,73	4,144	3,10	4,583	2,95
3,712	2,86	4,152	2,94	4,596	2,67
3,724	3,03	4,162	2,79	4,608	2,58
3,732	2,92	4,170	2,61	4,616	2,61
3,744	2,88	4,178	2,59	4,628	2,60
3,754	3,15	4,190	2,44	4,636	2,70
3,764	3,21	4,200	2,47	4,664	2,77
3,774	3,30	4,208	2,40	4,672	2,80
3,782	3,34	4,218	2,39	4,680	2,89
3,790	3,18	4,228	2,39	4,688	2,86
3,802	3,40	4,238	2,63	4,696	2,86
3,814	3,32	4,248	2,80	4,708	2,90
3,822	3,42	4,256	3,27	4,716	2,74
3,830	3,48	4,264	3,52	4,724	2,65
3,842	3,60	4,276	3,38	4,732	2,55
3,850	3,40	4,284	3,54	4,748	2,53
3,862	3,28	4,292	3,38	4,758	2,46
3,872	3,47	4,300	3,32	4,768	3,40
3,882	3,10	4,320	2,98	4,778	2,93
3,886	2,99	4,328	2,84	4,786	2,77
3,890	2,92	4,336	3,12	4,796	2,62
3,894	2,88	4,340	3,29	4,802	2,72
3,900	2,67	4,348	3,37	4,812	2,79
3,908	2,58	4,356	2,99	4,820	2,80
3,916	2,51	4,364	2,81	4,832	2,63
3,936	2,78	4,372	2,85	4,840	2,64
3,944	3,14	4,388	3,12	4,848	2,58
3,960	3,35	4,404	2,77	4,856	2,60
3,968	3,46	4,424	2,55	4,864	2,57
3,978	3,50	4,432	2,53	4,872	2,66
3,988	3,55	4,440	2,85	4,884	2,71
3,996	3,60	4,460	2,85	4,892	2,70
4,004	3,56	4,468	2,85	4,900	2,63
4,012	3,24	4,478	2,70	4,916	2,49
4,020	3,00	4,488	2,70	4,924	2,61
4,032	2,91	4,492	2,55	4,934	2,65
4,040	2,94	4,504	2,58	4,944	2,73
4,052	2,96	4,512	2,69	4,952	2,58
4,060	3,03	4,520	2,70	4,968	2,61
4,068	2,85	4,528	2,50	4,978	2,71
4,076	2,82	4,536	2,42	4,996	2,66
4,084	2,57	4,544	2,42	5,012	2,65
4,100	2,62	4,560	2,55	5,018	2,91
				5,028	2,80

TABLEAU 2

NICKEL

E_n en MeV	σ_T en barns	E_n en MeV	σ_T en barns	E_n en MeV	σ_T en barns
3,807	3,26	4,293	3,26	4,758	3,54
3,817	3,73	4,303	3,31	4,766	3,38
3,827	3,41	4,312	3,30	4,775	3,47
3,837	3,38	4,321	3,42	4,784	3,47
3,846	3,37	4,330	3,56	4,792	3,49
3,856	3,40	4,339	3,56	4,801	3,47
3,861	3,48	4,348	3,48	4,810	3,50
3,871	3,54	4,357	3,50	4,818	3,49
3,881	3,45	4,366	3,51	4,827	3,53
3,891	3,47	4,376	3,51	4,836	3,56
3,901	3,34	4,385	3,41	4,844	3,47
3,911	3,46	4,294	3,48	4,853	3,49
3,920	3,30	4,403	3,50	4,862	3,42
3,935	3,30	4,412	3,38	4,870	3,52
3,945	3,36	4,421	3,58	4,879	3,35
3,955	3,72	4,430	3,36	4,888	3,44
3,964	3,33	4,439	3,46	4,896	3,54
3,974	3,50	4,448	3,76	4,905	3,74
3,984	3,36	4,457	3,55	4,913	3,43
3,993	3,30	4,466	3,69	4,922	3,39
4,003	3,30	4,475	3,53	4,931	3,37
4,012	3,30	4,484	3,63	4,939	3,43
4,022	3,25	4,493	3,52	4,948	3,40
4,032	3,24	4,502	3,49	4,956	3,32
4,041	3,24	4,511	3,51	4,965	3,49
4,051	3,32	4,520	3,38	4,974	3,59
4,060	3,45	4,529	3,52	4,982	3,47
4,070	3,33	4,537	3,53	4,991	3,59
4,079	3,34	4,546	3,46	4,999	3,52
4,089	3,25	4,551	3,51	5,008	3,59
4,098	3,30	4,560	3,55	5,016	3,63
4,107	3,20	4,569	3,50	5,025	3,14
4,117	3,26	4,577	3,45	5,033	3,43
4,126	3,35	4,586	3,38	5,042	3,49
4,136	3,45	4,595	3,38	5,050	3,52
4,145	3,38	4,604	3,39	5,059	3,63
4,154	3,26	4,617	3,48	5,067	3,63
4,164	3,25	4,626	3,39	5,076	3,58
4,173	3,28	4,635	3,49	5,084	3,60
4,183	3,30	4,644	3,39	5,093	3,57
4,192	3,18	4,652	3,36	5,101	3,51
4,201	3,27	4,661	3,45	5,110	3,81
4,210	3,56	4,670	3,48	5,118	3,67
4,220	3,23	4,679	3,42	5,127	3,64
4,229	3,37	4,688	3,56	5,135	3,45
4,238	3,35	4,696	3,57	5,144	3,49
4,248	3,68	4,705	3,42	5,152	3,49
4,257	3,43	4,714	3,52	5,161	3,41
4,266	3,50	4,723	3,48	5,169	3,53
4,275	3,71	4,740	3,55	5,178	3,26
4,284	3,56	4,749	3,53	5,186	3,49
				5,195	3,57

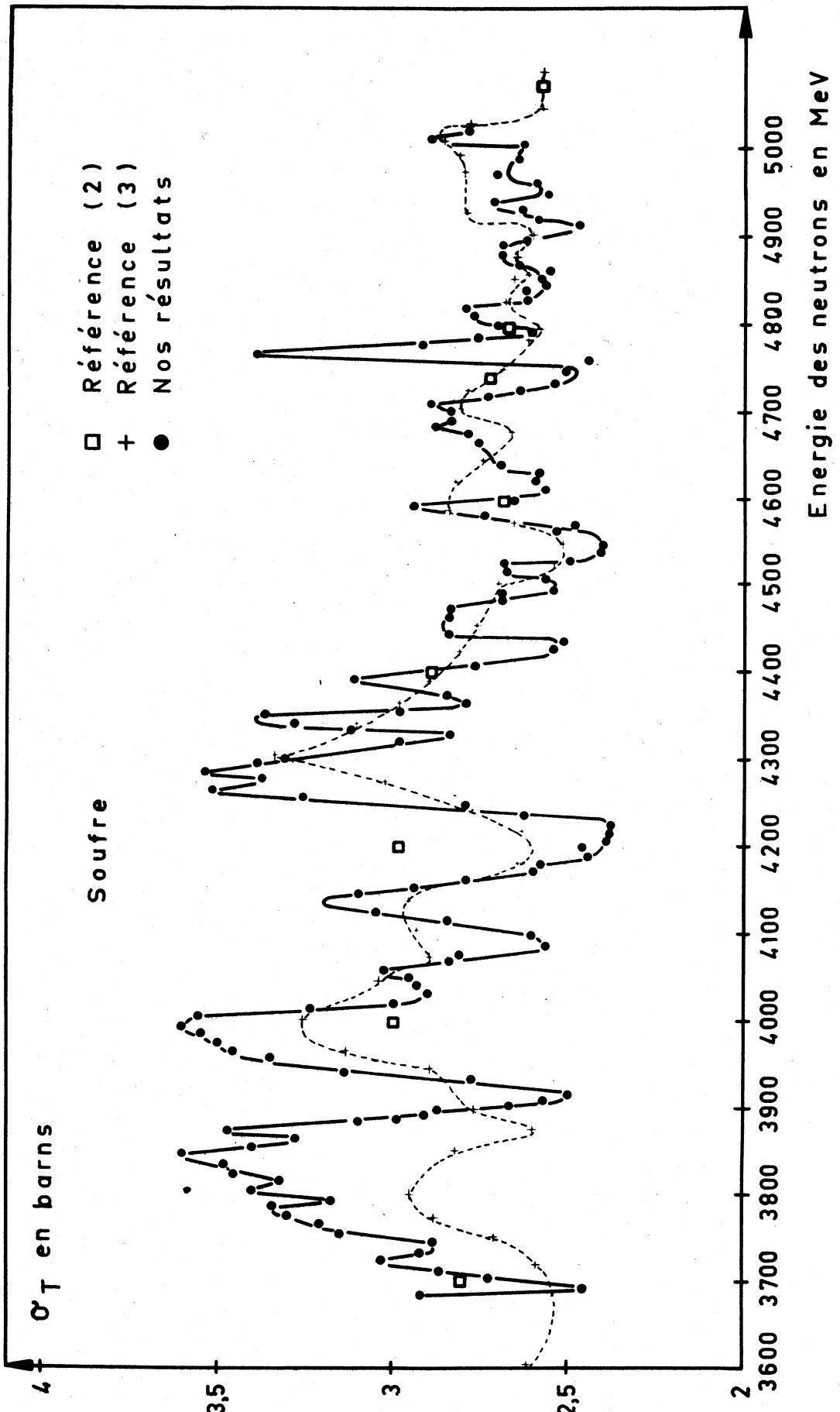


Fig. XIX-A-1

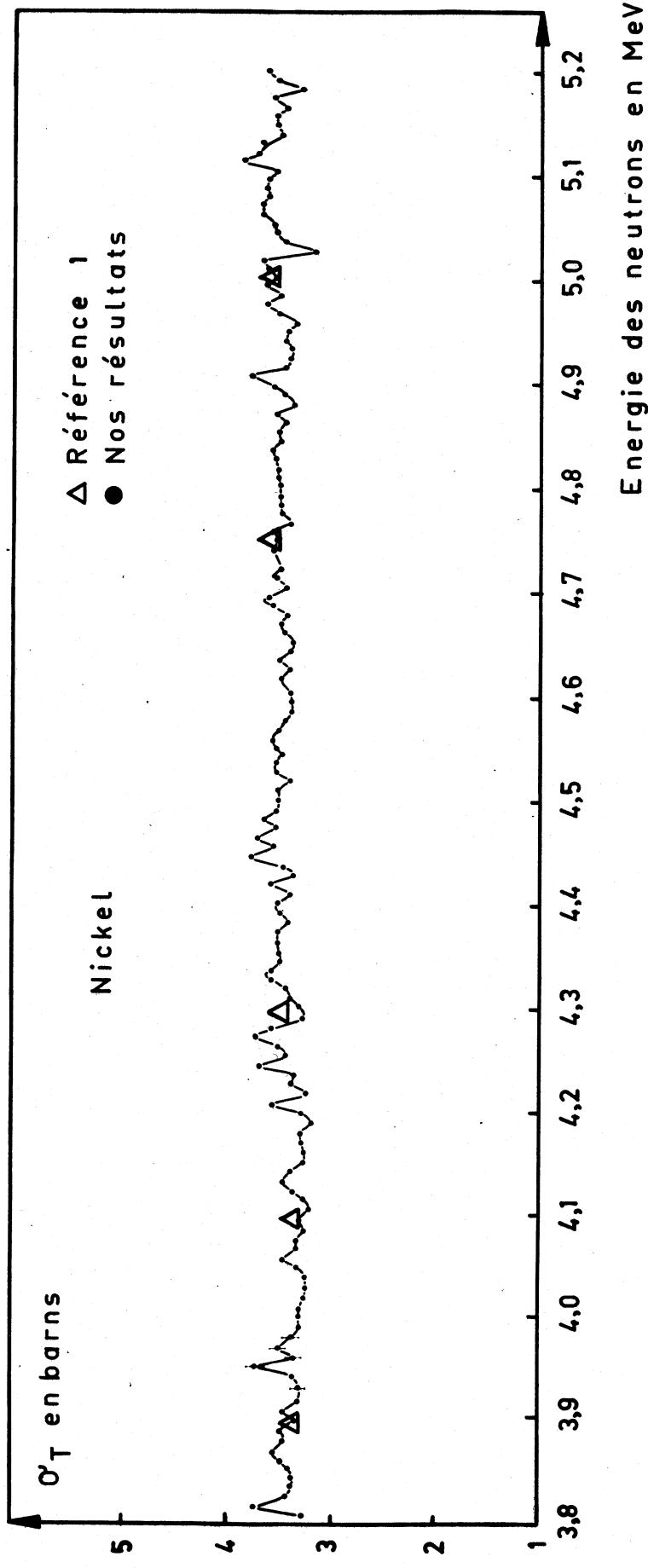


Fig XXX-A-2

XIX.B. COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, (FRANCE), MESURES DE SECTIONS

EFFICACES TOTALES POUR DES NEUTRONS DE 500 à 1200 KEV

(J. Cabo, M. Laurat, P. Yvon)

Les neutrons sont obtenus par la réaction $T(p,n)He^3$ en bombardant par des protons (accélérés par un Van de Graaff de 2 MeV) une cible de Tritium adsorbé dans du Titane. Les neutrons sont détectés par un cristal de Stilbène 1 x 1,5 pouce couplé à un photomultiplicateur 56 AVP. La section efficace totale se déduit, après les corrections convenables de la mesure du coefficient de transmission de l'échantillon étudié. Les résultats sont obtenus soit par la méthode du temps-de-vol, soit en utilisant le faisceau direct sans modulation ce qui nous permet d'obtenir un flux de neutrons convenable pour des cibles minces. On utilise en ensemble gaussmètre à résonance nucléaire et fréquencemètre pour déterminer l'énergie des protons. L'imprécision sur l'énergie des neutrons, due à l'étalonnage est de l'ordre de 5 keV. L'erreur moyenne sur σ est de 3%.

a) Carbone

La mesure des sections efficaces totales du Carbone pour des neutrons de 640 keV à 1 MeV a été faite par la méthode du temps de vol avec une dispersion moyenne en énergie de 8 keV. Les résultats sont reportés sur le tableau 1 et sur la figure XIX.B.1.

- Référence (1) Hel. Phys. Acta 23 15 (1950)
- Référence (2) Phys. Rev. 78 508 (1950)
- Référence (3) Phys. Rev. 121 1150 (1961).

b) Silicium

La mesure a été faite pour des neutrons de 500 keV à 1200 keV. La dispersion moyenne est de 4 keV. Cette haute résolution nous a permis de mettre en évidence un niveau aux environs de 804 keV pour lequel l'application de la formule de Breit-Wigner donne $J = \frac{3}{2}$, la forme de la résonance permet de prendre $l \gg 1$.

Les résultats expérimentaux sont reportés sur le tableau 2 et la figure XIX.B.2.

- Référence (1) Phys. Rev. 83, 479 (1951)
- Référence (2) Phys. Rev. 78, 508 (1950)

c) Phosphore

Les résultats ont été obtenus pour des neutrons de 830 keV à 1200 keV avec une dispersion en énergie de 4 keV, ce qui nous a permis de mettre en évidence un niveau particulièrement important à 950 keV. La formule de Breit-Wigner donne $J = 2; l \geq 1$.

Les résultats sont reportés sur le tableau 3 et la figure XIX.B.3.

d) Chrome

On a mesuré les variations de la section efficace totale du chrome pour des neutrons de 500 keV à 1200 keV. Les résultats obtenus avec une résolution en énergie de l'ordre de 4 keV nous montrent de nombreux niveaux dont trois plus particulièrement important à 755 keV, 873 keV et 902 keV. Tous les trois admettent la valeur $J = \frac{1}{2}$. La valeur de 1 dans les deux premiers peut être soit $l = 0$ soit $l = 1$. Quant au troisième, la forme de résonance suggère $l = 1$.

Les résultats sont reportés sur le tableau 4 et la figure XIX.B.4.

- Référence (1) Phys. Rev. 108 414 (1957).

e) Manganèse

La mesure a été faite pour des neutrons de 800 keV à 1200 keV avec une dispersion en énergie de 4 keV. Les résultats sont présentés sur le tableau 5 et la figure XIX.B.5.

- Référence (1) Phys. Rev. 84 902 (1951)

f) Nickel

La variation de la section efficace totale du Nickel a été étudiée pour des neutrons de 500 keV à 1200 keV avec une résolution moyenne en énergie de 4 keV. Les résultats présentent de nombreuses variations dues au chevauchement de nombreux niveaux. Ils sont présentés sur le tableau 6 et la figure XIX.B.6.

- Référence (1) Phys. Rev. 73, 659 (1948)

- Référence (2) Phys. Rev. 88, 83 (1952).

TABLEAU 1

CARBONE

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
640	3,04	834	2,71
650	2,92	838	2,62
661	2,90	840	2,66
670	2,74	844	2,66
676	2,81	848	2,56
680	2,76	852	2,55
686	2,95	856	2,43
691	2,79	861	2,55
695	2,68	865	2,52
701	2,70	869	2,50
706	2,84	873	2,56
710	2,86	878	2,60
714	2,92	882	2,62
720	2,94	886	2,54
725	2,94	890	2,49
729	3,03	894	2,62
733	2,88	898	2,63
737	2,80	902	2,50
741	2,79	907	2,52
746	2,76	911	2,60
750	2,70	915	2,54
754	2,87	919	2,60
760	2,87	925	2,50
765	2,95	930	2,49
769	2,86	936	2,42
773	2,88	940	2,52
777	2,86	944	2,52
781	2,82	948	2,52
786	2,85	952	2,50
790	2,66	959	2,48
796	2,83	965	2,56
800	2,74	971	2,47
806	2,68	975	2,46
811	2,76	980	2,46
817	2,56	985	2,51
821	2,58	990	2,51
825	2,73	994	2,45
830	2,58	1002	2,44

TABLEAU 2

SILICIUM

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
505	3,18	703	2,62
509	2,95	707	2,69
518	2,86	712	2,54
522	3,06	716	2,44
527	3,21	720	2,55
531	3,39	724	2,54
536	3,52	729	2,61
540	3,25	733	2,57
544	3,22	737	2,67
549	3,18	741	2,66
553	3,61	745	2,61
555	4,07	750	2,58
557	5,33	754	2,57
559	5,62	758	2,54
562	6,28	760	2,55
564	6,71	769	2,73
566	7,26	773	2,80
568	7,50	777	2,97
570	7,85	781	3,15
571	7,70	786	3,77
572	7,41	790	4,30
575	7,09	792	5,11
579	5,78	796	6,22
583	4,92	800	7,33
588	4,31	804	7,42
592	3,92	808	7,32
596	3,78	813	6,88
601	3,61	817	5,99
605	3,39	821	5,01
609	3,24	823	4,51
613	3,28	825	4,89
616	3,12	829	4,62
620	3,10	834	4,16
625	3,01	838	3,91
630	3,09	842	3,72
635	2,86	846	3,55
640	2,91	850	3,52
644	3,25	855	3,35
648	2,90	859	3,39
652	2,90	863	3,13
656	2,92	867	3,04
661	2,67	871	3,03
665	2,76	875	2,84
669	2,90	879	2,90
673	2,84	884	2,90
678	2,67	888	3,71
682	2,78	892	4,25
686	2,59	896	4,46
690	2,59	900	4,36
695	2,70	905	4,27
699	2,56	909	4,05

TABLEAU 2 (suite)

SILICIUM

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
913	4,00	1074	3,08
919	4,15	1080	2,89
925	4,34	1085	2,94
930	4,33	1089	2,75
936	4,58	1095	2,81
940	4,85	1099	2,81
944	5,20	1102	2,77
948	5,20	1105	2,80
952	5,24	1109	2,66
959	5,16	1115	2,57
965	5,22	1120	2,23
971	5,36	1125	2,50
975	5,41	1130	2,50
980	5,17	1134	2,33
985	4,99	1138	2,14
990	4,79	1142	1,72
994	4,60	1146	1,87
999	4,44	1150	2,57
1002	4,26	1156	2,46
1006	4,20	1158	2,43
1010	3,88	1162	2,42
1016	3,79	1166	2,23
1020	3,74	1170	2,15
1025	3,68	1176	2,03
1029	3,90	1178	2,22
1033	4,00	1181	2,49
1037	3,50	1187	2,80
1041	3,43	1191	3,83
1045	3,39	1195	3,90
1050	3,53	1199	3,66
1056	3,39	1201	3,60
1060	3,25	1205	3,56
1066	3,22	1210	3,22
1070	3,10		

TABLEAU 3

PHOSPHORE

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
830	2,20	936	3,31
832	2,39	938	3,41
834	2,13	940	3,56
836	2,18	942	3,83
838	2,25	944	4,86
840	2,16	946	5,77
842	2,08	948	6,48
844	2,08	950	6,13
846	2,20	952	5,79
848	2,21	954	4,73
850	2,17	956	4,93
852	2,09	959	4,42
854	2,45	961	3,58
856	2,51	963	3,55
859	2,76	965	3,62
861	3,03	967	3,66
863	3,16	969	3,60
865	4,01	971	3,40
867	4,21	973	3,41
869	4,36	975	3,42
871	4,03	977	3,20
873	3,90	980	3,11
875	3,80	983	3,53
878	3,54	985	3,45
880	3,44	987	3,17
882	3,46	990	3,00
884	3,32	992	3,02
886	3,22	994	2,86
888	3,17	996	2,92
890	2,65	998	2,81
892	2,38	1002	2,50
894	2,40	1004	2,41
896	2,31	1006	2,40
898	2,18	1008	2,24
900	2,31	1010	2,10
902	2,18	1012	2,00
905	2,46	1016	2,10
907	2,53	1018	2,64
909	2,93	1020	3,20
911	3,23	1022	3,40
913	3,06	1025	3,32
915	3,74	1027	3,30
917	3,90	1029	3,22
919	3,69	1031	3,35
921	3,81	1033	3,20
923	3,93	1035	3,32
925	3,76	1037	3,04
927	3,99	1039	3,01
930	4,31	1041	3,07
932	3,82	1043	3,15
934	3,56	1045	2,92

TABLEAU 3 (suite)

PHOSPHORE

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
1047	2,80	1130	2,70
1050	2,82	1132	3,64
1053	2,68	1134	4,32
1056	2,71	1136	4,60
1058	2,70	1138	4,53
1060	2,94	1140	4,51
1064	2,94	1142	4,58
1068	2,68	1144	4,90
1070	2,23	1146	5,00
1072	2,51	1148	4,90
1074	2,21	1150	5,16
1076	2,14	1152	5,04
1080	2,80	1154	4,68
1082	3,53	1156	4,40
1085	3,34	1158	4,30
1086	3,33	1160	4,05
1089	2,97	1162	3,85
1092	2,70	1164	3,64
1095	2,88	1166	3,75
1097	3,15	1168	4,24
1099	3,00	1170	4,03
1101	2,76	1173	3,95
1103	2,56	1176	4,03
1105	2,40	1179	4,01
1107	2,28	1181	4,01
1109	2,28	1183	4,16
1111	1,88	1187	3,48
1115	1,78	1189	3,24
1117	1,94	1193	3,36
1120	1,98	1195	3,43
1123	2,11	1197	3,24
1125	2,25	1199	3,30
1127	3,10		

TABLEAU 4

CHROME

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
500	4,06	720	2,25
505	3,80	724	1,79
509	3,30	729	1,50
514	2,70	733	1,68
518	2,75	737	2,30
522	2,25	741	3,18
527	2,05	745	4,38
531	1,60	750	5,00
536	4,15	754	5,13
540	4,85	758	4,40
544	4,05	762	3,23
549	3,62	766	2,57
553	3,63	771	2,67
557	3,53	775	3,24
562	2,87	779	3,08
566	2,88	783	2,25
570	2,70	788	1,84
575	3,04	792	1,94
579	3,03	796	2,87
583	2,24	800	4,31
588	1,88	804	4,56
592	2,16	808	4,56
596	1,90	813	4,38
600	1,68	817	4,66
605	1,52	821	4,16
609	1,32	825	3,64
613	1,65	829	3,33
618	2,80	834	2,80
622	3,62	838	2,50
626	4,36	842	2,70
631	4,88	846	2,90
635	4,67	850	2,63
639	4,65	855	2,40
644	4,83	859	2,26
648	4,57	863	3,04
652	4,31	867	3,74
656	3,80	871	4,34
661	4,06	875	4,03
665	3,14	879	2,82
669	2,83	884	2,70
673	2,87	888	2,69
678	2,78	892	2,99
682	2,88	894	3,50
686	2,60	896	4,10
690	2,30	900	4,75
695	1,84	902	5,35
699	1,56	905	4,80
703	1,57	910	3,95
707	2,72	914	3,39
712	2,71	918	2,98
716	2,76	924	2,84

TABLEAU 4 (suite)

CHROME

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
930	2,50	1075	2,62
935	2,52	1079	2,90
941	2,56	1085	3,21
945	2,10	1090	3,32
949	2,06	1094	3,38
953	1,93	1100	3,10
957	1,90	1103	3,15
964	2,40	1105	2,78
970	2,74	1110	2,87
976	3,50	1114	2,90
980	3,53	1120	3,27
985	3,20	1125	3,19
990	3,05	1130	3,30
995	2,85	1135	2,55
999	3,05	1139	2,48
1004	2,90	1143	2,27
1007	2,98	1147	2,50
1011	2,80	1151	2,66
1015	2,93	1155	2,88
1021	2,37	1159	2,87
1025	2,08	1163	2,50
1030	2,08	1167	2,23
1034	2,25	1171	2,06
1038	1,98	1175	2,26
1042	2,19	1179	2,15
1046	2,53	1186	2,20
1050	2,35	1192	2,13
1055	2,74	1196	1,80
1061	3,21	1200	1,95
1065	3,14	1204	2,03
1071	2,56	1206	2,32

TABLEAU 5

MANGANESE

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
800	2,47	1004	2,89
805	2,85	1007	2,64
809	3,42	1011	2,70
813	3,50	1015	2,74
818	2,94	1021	3,12
822	2,90	1025	3,28
826	2,50	1030	2,95
830	2,85	1034	3,02
834	2,73	1038	3,37
839	2,72	1042	3,12
843	2,65	1046	2,58
847	2,88	1050	3,44
851	3,06	1055	3,54
855	3,30	1061	2,85
860	3,38	1065	3,22
864	3,80	1071	2,70
868	3,60	1075	2,60
872	3,30	1079	2,56
876	3,83	1085	2,80
880	3,64	1090	3,00
884	3,63	1094	3,36
889	3,38	1100	2,92
892	2,97	1103	2,91
897	3,01	1105	3,00
902	3,35	1110	3,13
905	2,90	1114	3,58
910	3,10	1119	3,60
914	3,30	1125	3,42
918	3,38	1130	3,38
924	3,23	1135	3,20
929	3,18	1139	3,43
935	3,30	1143	3,12
941	3,20	1147	3,16
945	2,82	1151	3,06
949	2,80	1155	3,02
953	2,88	1159	2,90
957	2,80	1167	3,14
964	3,00	1171	3,07
970	2,99	1175	3,10
976	3,10	1179	3,00
980	3,06	1186	3,04
985	2,93	1192	3,14
990	3,10	1196	2,97
995	3,22	1200	3,00
999	3,06	1204	2,94
		1206	3,00

TABLEAU 6NICKEL

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
500	3,34	703	3,48
505	3,69	707	3,32
509	4,02	712	3,74
514	4,10	716	3,06
518	2,77	720	2,46
522	2,99	724	2,49
527	3,64	729	2,96
531	3,95	733	2,74
536	3,72	737	2,43
540	3,44	745	2,00
544	3,22	750	2,03
549	2,67	754	2,95
553	2,55	758	3,32
555	2,65	760	3,52
557	2,52	765	3,10
562	2,55	769	3,48
564	2,49	773	2,76
566	2,21	778	2,93
568	2,14	781	3,59
570	2,25	783	3,46
572	2,44	786	3,23
573	3,00	790	2,84
579	3,58	792	3,36
583	3,36	796	3,20
588	3,06	800	3,09
592	2,56	804	2,80
596	2,40	808	2,17
601	2,38	813	3,05
605	2,58	817	3,57
609	2,76	821	3,40
613	3,39	825	3,17
616	3,68	829	3,30
620	3,94	834	3,38
625	3,52	838	2,89
630	3,36	842	2,36
635	2,36	846	1,97
640	3,32	850	2,36
644	3,66	855	2,68
648	3,82	859	2,93
652	4,01	863	2,87
656	3,81	867	2,58
661	3,43	871	2,63
665	3,16	875	2,84
669	3,25	879	3,84
673	3,79	884	3,71
678	3,75	888	3,95
682	3,72	892	3,95
686	3,71	900	3,70
690	3,19	905	3,32
695	3,51	913	3,81
699	3,41	919	3,77

TABLEAU 6 (suite)

NICKEL

E_n en keV	σ_T en barns	E_n en keV	σ_T en barns
925	3,83	1074	2,86
930	3,14	1080	3,11
936	3,12	1085	3,17
940	2,94	1089	2,93
944	3,00	1095	2,22
948	2,92	1099	2,40
952	2,95	1102	2,86
959	3,03	1105	3,36
965	2,78	1109	3,70
971	2,88	1115	3,49
975	3,02	1120	2,68
980	3,02	1125	2,47
985	3,18	1130	2,18
990	3,22	1134	2,67
994	3,07	1138	2,30
999	2,63	1142	3,38
1002	2,86	1146	3,76
1006	2,75	1150	3,88
1010	2,54	1156	3,36
1016	2,63	1158	3,45
1020	2,72	1162	3,71
1025	2,72	1166	3,61
1029	2,76	1170	2,89
1033	3,11	1176	2,33
1037	3,08	1178	2,47
1041	2,73	1181	2,71
1045	2,55	1187	3,01
1050	2,84	1191	3,15
1056	2,72	1195	2,81
1060	2,69	1199	2,90
1066	2,67	1201	3,02
1070	2,55	1205	3,20

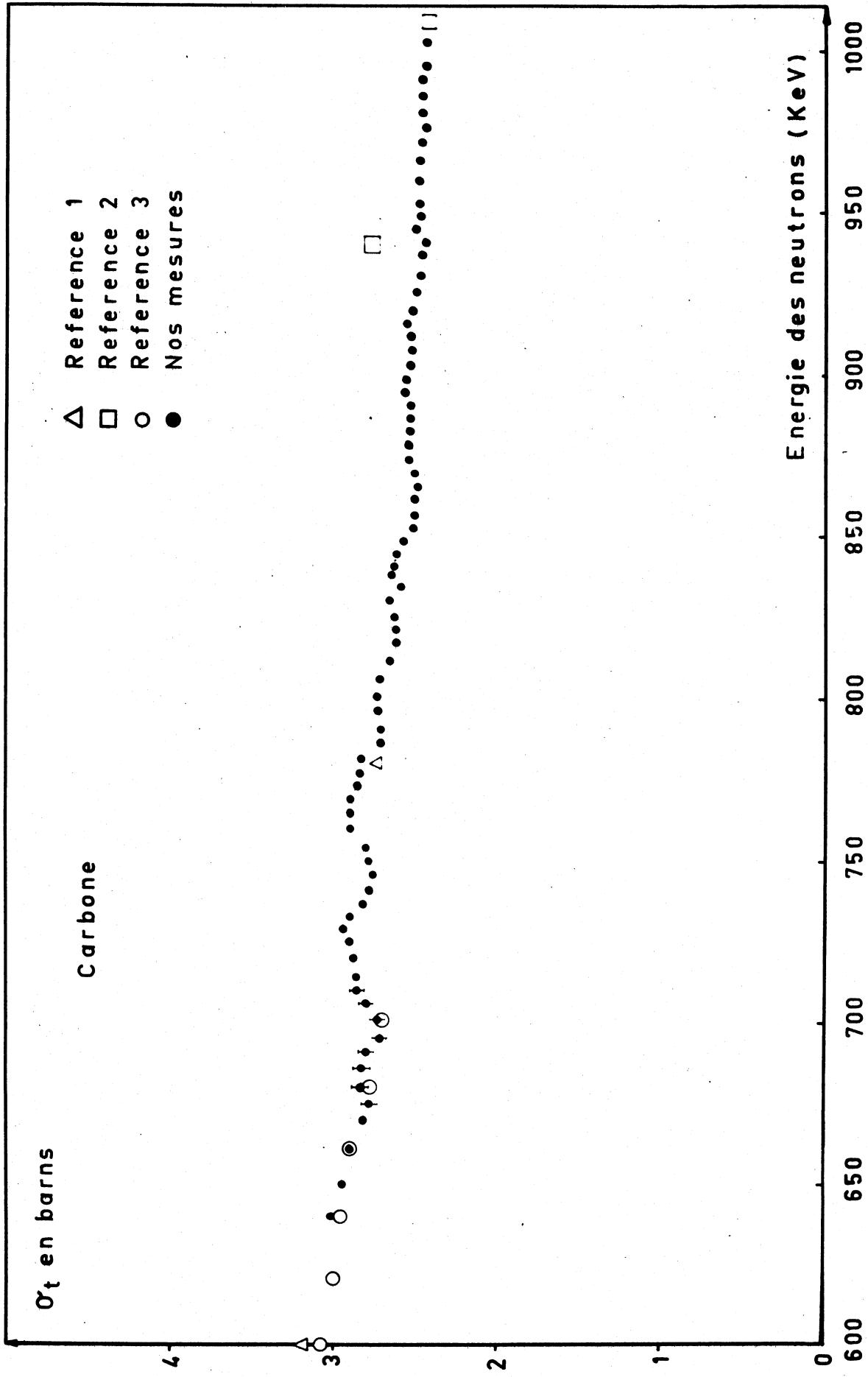


Fig. XIX-B-1

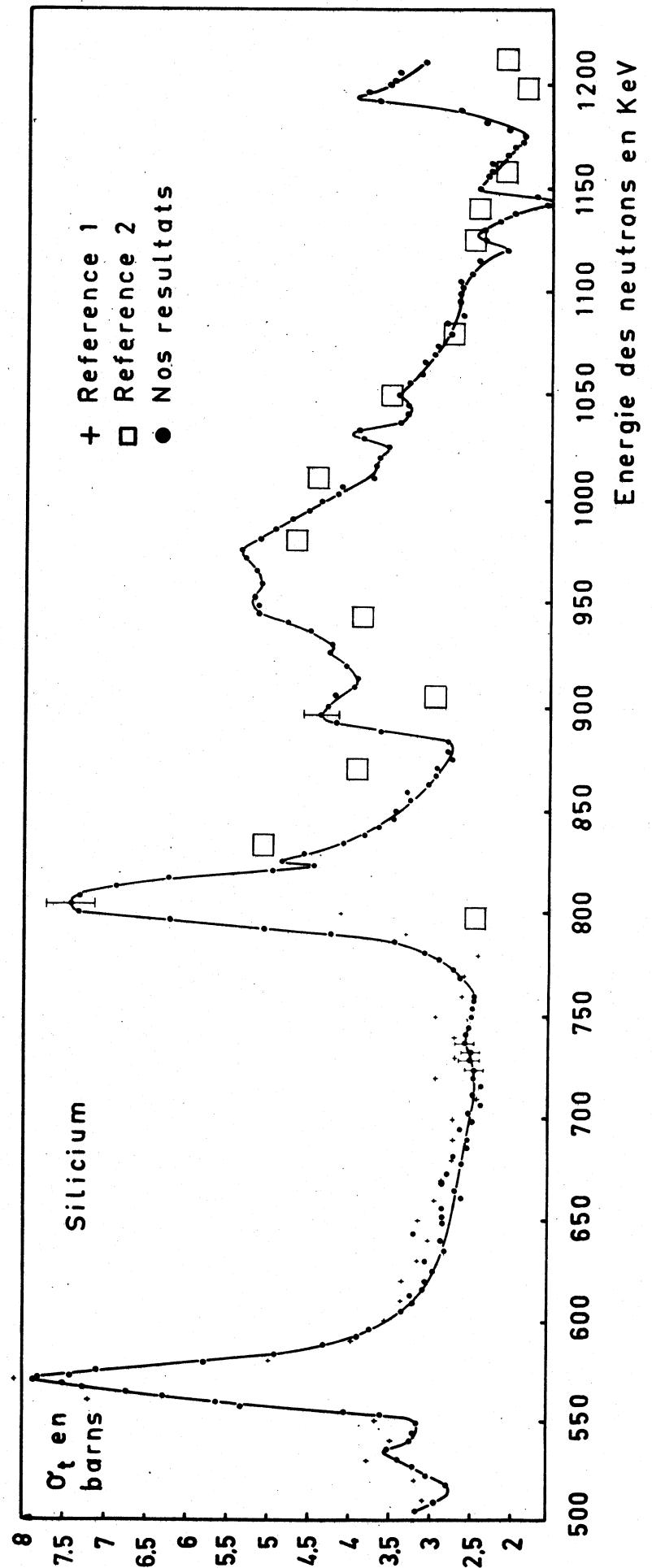


Fig. XXX-B-2

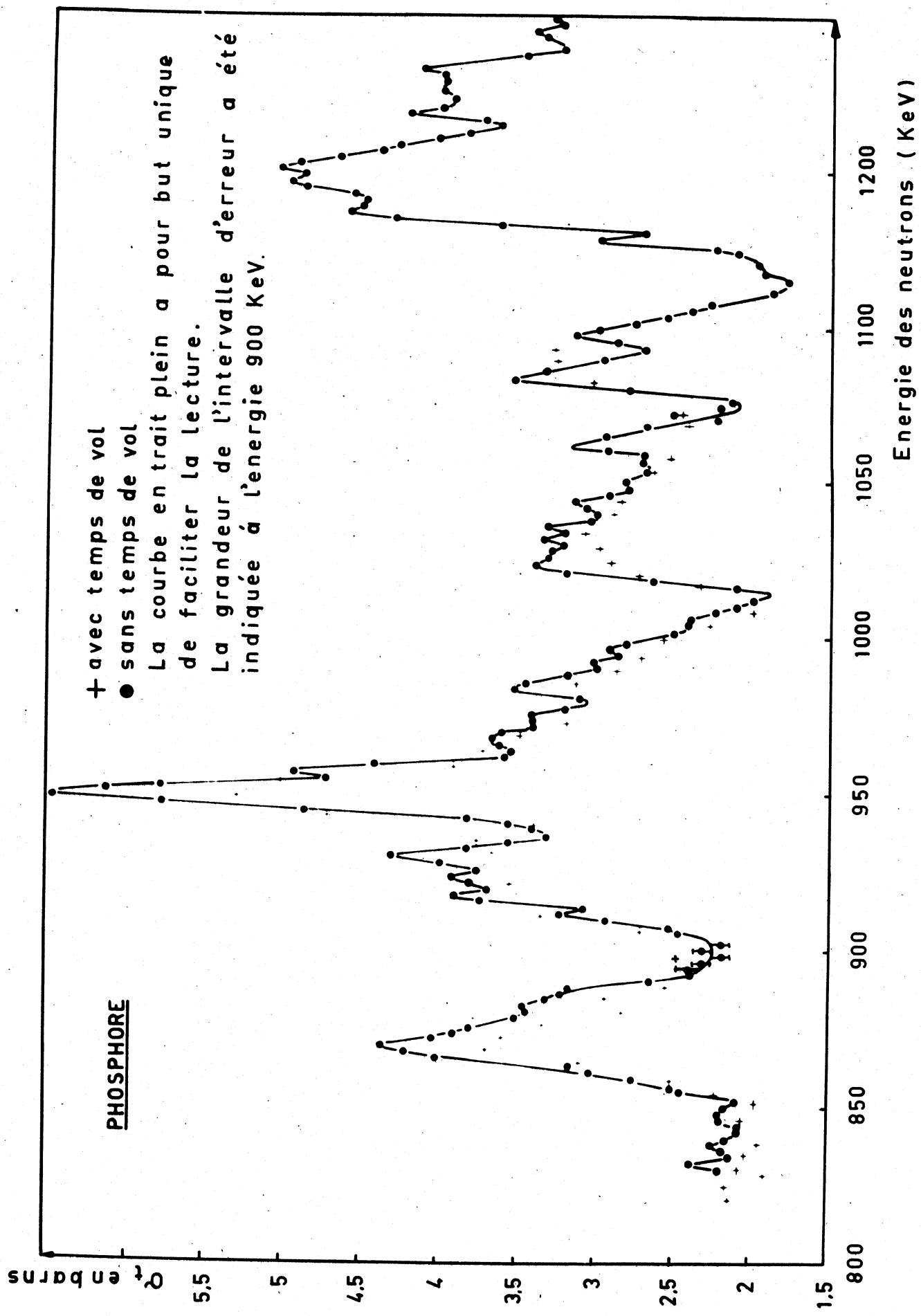


Fig. XXX-B-3

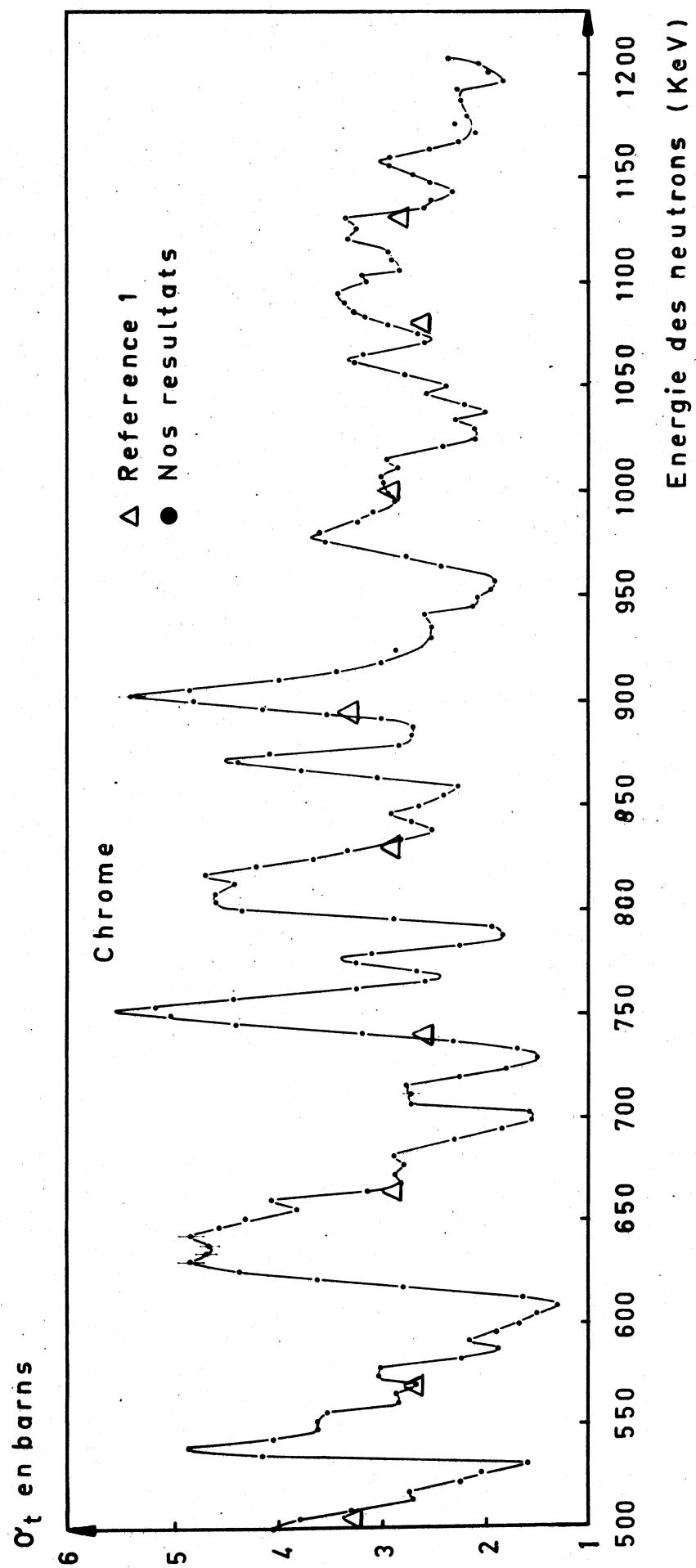


Fig. XIII-B-4

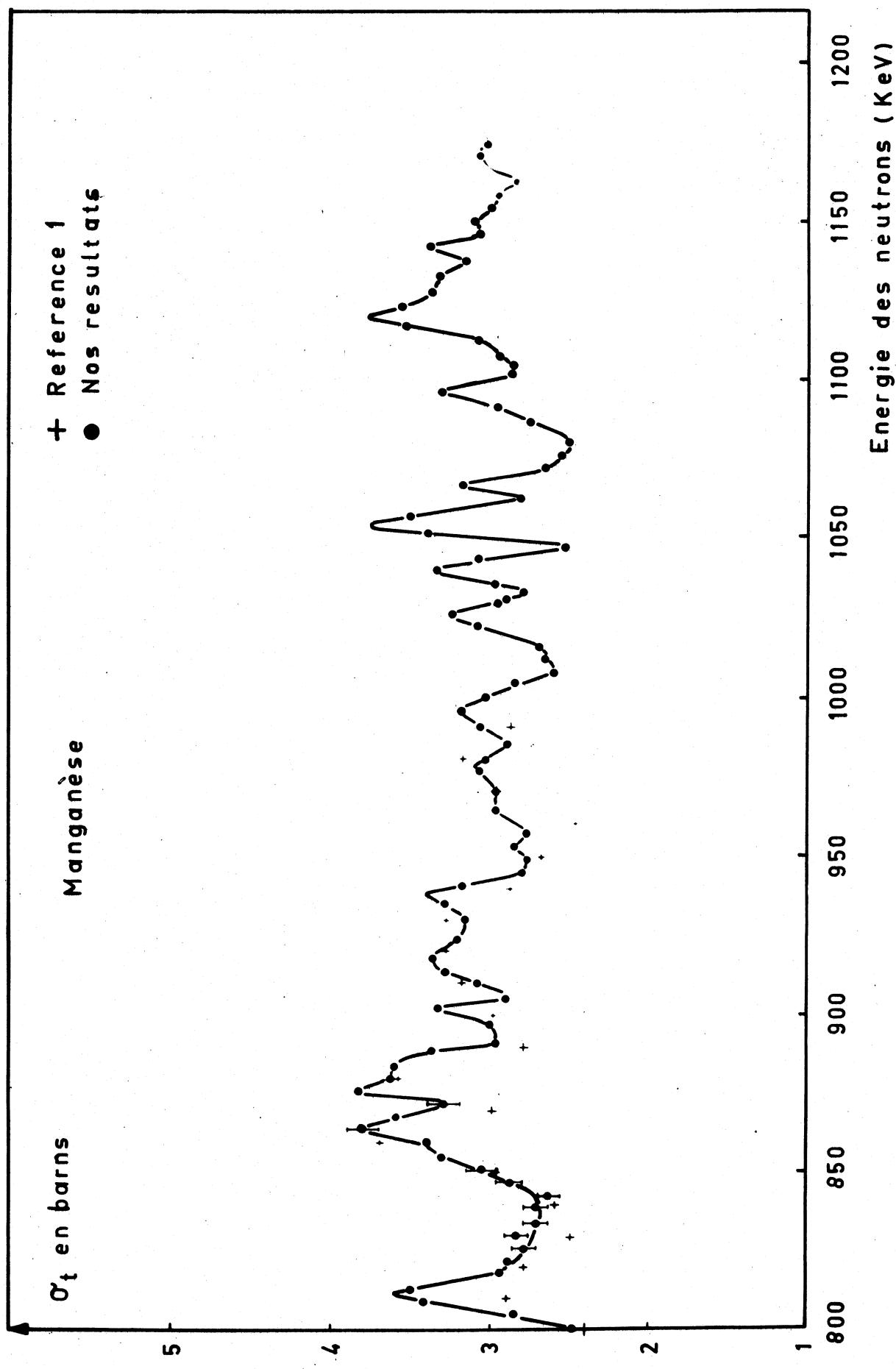


Fig XIX-B-5

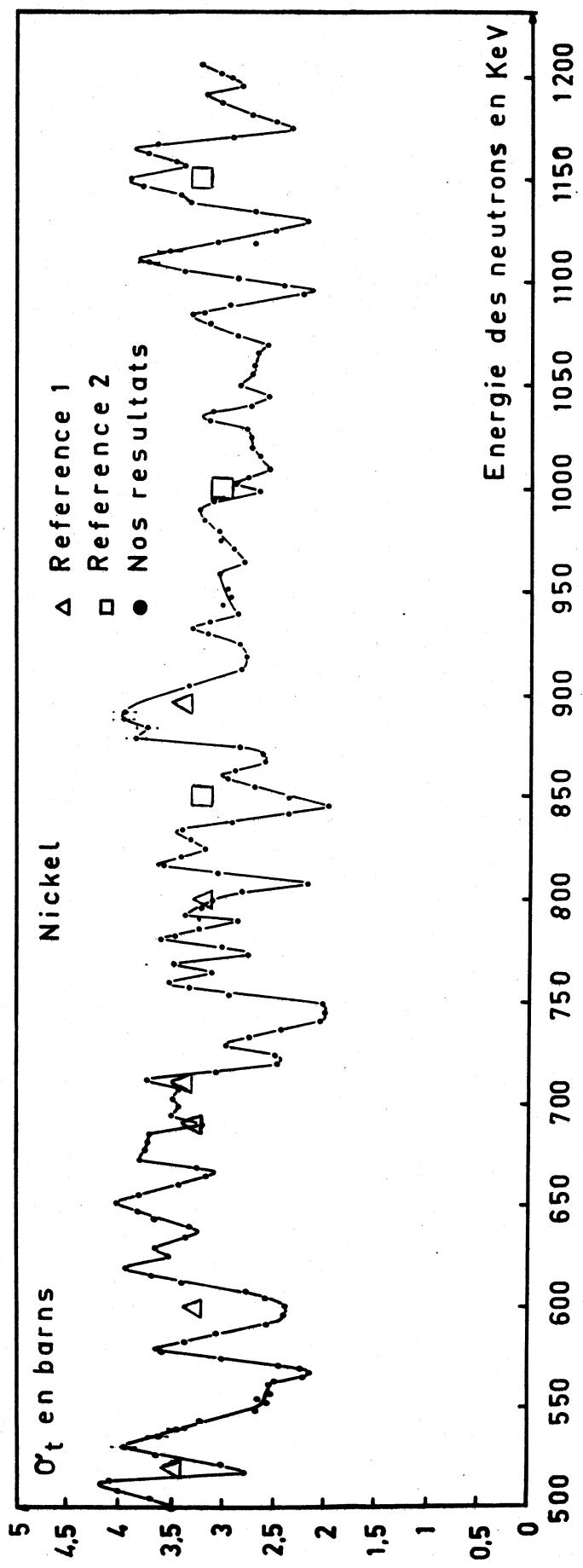


Fig XIX-B-6

XIX.C. COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE), MESURES DIFFEREN-

TIELLES DE SECTIONS EFFICACES INELASTIQUES (J. Cabe, M. Laurat,

P. Yvon).

Nous avons étudié la diffusion inélastique de neutron d'une énergie de 800 keV sur l'Iode et le Manganèse.

Nous utilisons une méthode de coïncidence rapide entre le neutron diffusé et la gamma de désexcitation.

La diffusion inélastique des neutrons est isotrope pour les niveaux de 59 keV et de 203 keV de l'Iode et le niveau de 130 keV du Manganèse.

XIX.D. COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE), MESURE DE LA SECTION

EFFICACE ($n,2n$) DU COBALT A 14,1 MEV (J. Cabe, M. Laurat, P. Yvon)

Un échantillon de Co⁵⁹ a été irradié pendant 9 heures par un flux déterminé de neutrons de 14,1 MeV, donné par la réaction T(d,n)He⁴, les deutérons étant accélérés par un accélérateur Sames.

La mesure de l'activité β^+ de l'échantillon de Cobalt s'est faite en mettant en coïncidence les 2 γ d'annihilation du β^+ , détectés par 2 scintillateurs NaI montés sur des photomultiplicateurs 56 AVP. Cette activité a ainsi été comparée, d'une part avec celle d'un échantillon, irradié en même temps, de Cuivre, dont la section efficace ($n,2n$) est assez bien connue, d'autre part avec une source étalonnée de Na²². La différence entre les deux résultats était inférieure à 2 %.

La valeur trouvée a été $\sigma(n,2n) = 640 \pm 70$ mb.

XIX.E. COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE), MESURES DE SECTIONS

EFFICACES ($n,2n$) A 14 MeV de Co^{59} , As^{75} , Y^{89} et Mn^{55} (B. Granger, M. Longueve).

Des échantillons de chacun des isotopes sont irradiées dans des flux monitorés de neutrons de 14 MeV délivrés par un accélérateur Sames 600 keV, en réaction (d,t). L'activité des échantillons irradiés est mesurée par un comptage sous le pic photoélectrique correspondant à une raie γ caractéristique de l'isotope formée.

1. Etalonnage du dispositif à scintillation

Le dispositif de comptage est étalonné pour chaque raie γ au moyen d'un échantillon d'activité mesurée par ailleurs et émettant une raie γ de même énergie ou d'énergie voisine (on procède alors aux corrections nécessaires).

a) Cobalt 59

On compare la raie γ de 805 keV du Co^{58} formé à la raie de 805 keV d'une source de $\text{Po} 210$ dont l'activité α a été mesurée.

On utilise le coefficient de conversion donné par Mme Bastin Scoffier et M. H.J. Walen dans le Compte Rendu de l'Académie des Sciences 1958, Vol. 247 n° 25, p. 2333 à 2335.

$$\frac{\gamma}{\alpha} = 1,06 \cdot 10^{-5} \pm 2 \%$$

b) Arsenic 75

On compare le pic unique des raies γ de 596 keV et de 635 keV de As^{74} à la raie γ de 603 keV d'un échantillon de $\text{Sb} 124$ d'activité connue.

c) Yttrium 89

On compare la raie γ de 908 keV de Y^{88} à la raie γ de 845 keV d'un échantillon d'activité connue de Mn^{56} .

d) Manganèse 55

On compare la raie γ de 835 keV de Mn^{54} à la raie γ de 845 keV d'un échantillon d'activité connue de Mn^{56} .

2. Résultats

Réaction	σ mesuré
$\text{Co}^{59}(\text{n},2\text{n})\text{Co}^{58}$	$0,587 \pm 20 \% \text{ b}$
$\text{As}^{75}(\text{n},2\text{n})\text{As}^{74}$	$0,843 \pm 30 \% \text{ b}$
$\text{Y}^{89}(\text{n},2\text{n})\text{Y}^{88}$	$1,35 \pm 25 \% \text{ b}$
$\text{Mn}^{55}(\text{n},2\text{n})\text{Mn}^{54}$	$1,31 \pm 25 \% \text{ b}$

XIX.F. COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE), NEUTRONS DE 14 MeV

(D. Didier, H. Dillemann, P. Thouvenin, E. Fort).

1. Mesure des Sections Non Elastiques par la Méthode de la couche sphérique.

Après les mesures sur les éléments moyens et lourds nous avons appliqué cette méthode au beryllium, pour lequel la perte d'énergie lors des diffusions élastiques est plus grande.

Les courbes de rendement du détecteur de neutrons, constitué d'un scintillateur plastique de forme sphérique couplé à un 56 AVP, ont été tracées en observant la diffusion neutron-proton à l'aide de deux détecteurs en coïncidence.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Element	σ non élastique en barn	Energie des neutrons en MeV
Be ⁹	$0,50 \pm 0,01$	$14,2 \pm 0,1$
Cu	$1,48 \pm 0,04$	$14,7 \pm 0,2$
U	$2,80 \pm 0,08$	$14,7 \pm 0,2$

2. Mesure des Sections Différentielles

L'étude des sections différentielles par la méthode du temps de vol avec la particule associée a fait un net progrès grâce à l'utilisation d'un nouveau type de convertisseur temps amplitude.

Cet appareil nous a permis d'augmenter la dynamique d'amplitude de la voie neutron. Nous reprenons actuellement l'étude de la diffusion élastique de l'uranium à titre de mise au point.

3. Spectres de Neutrons

a) Télescope à protons de recul

Nous avons réalisé un télescope à neutrons à l'aide de deux détecteurs à semi-conducteur. Le premier est un détecteur du type $\Delta E/\Delta X$, placé derrière un radiateur hydrogéné mince. Le deuxième détecteur est placé derrière le premier. On enregistre la somme des impulsions des deux détecteurs lorsque celles-ci sont en coïncidence.

b) Spectre de neutrons diffusés

L'étude des spectres de neutrons diffusés par la méthode du temps de vol avec la particule associée va se poursuivre avec la mise en place d'une nouvelle enceinte à cible et l'utilisation du nouveau convertisseur temps amplitude. Nous espérons obtenir le spectre des neutrons diffusés par le beryllium.

XX. SERVICE DES EXPERIENCES CRITIQUES (D. Breton) ET SERVICE DE PHYSIQUE MATHEMATIQUE (J. Bussac), COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (FRANCE).

A. Physique expérimentale des réacteurs.

1) Réseaux modérés à l'eau lourde.

Programme de mesures sur Aquilon (Girard-Lourme)

a) Etude systématique utilisant des barreaux cylindriques d'uranium naturel ou d'alliage U-Pu. Les laplaciens des réseaux utilisant des barreaux d'uranium naturel de diamètre 2,92 cm ont été mesurés à différents pas compris entre 11 et 21 cm avant et après renouvellement de l'eau lourde constituant le modérateur, ceci dans un but de recalage et de vérification de la correction appliquée aux valeurs expérimentales des laplaciens pour les ramener au titre isotopique standard de 99,80 %. Le retraitement de l'eau a eu lieu pour une valeur du titre de 99,49 %, la nouvelle eau titrant à sa mise en pile 99,77 %.

Dans ce réseau de référence ont été mesurés par remplacement les laplaciens de réseaux de barreaux d'alliage U-Pu, contenant 0,043 % de Pu de teneur isotopique 5,72 % en Pu^{240} . Les mesures ont été effectuées aux pas de 12, 13, 17, 19, 21 cm.

Des mesures d'indices de spectres ont été systématiquement associées aux mesures ci-dessus, à l'aide de couples de détecteurs U-Pu, Lu-Mn, In-Mn. Des mesures de rapport de conversion initial ont été effectuées sur l'uranium naturel de diamètre 2,92 cm. Enfin le facteur d'utilisation thermique a été mesuré à plusieurs pas dans les réseaux à uranium naturel \varnothing 2,92.

b) Mesures liées à l'anisotropie de diffusion dans le cas des tubes de gaz. Les laplaciens de réseaux utilisant des grappes d'oxyde d'uranium enrichi sous tubes d'aluminium ont été mesurés pour plusieurs géométries de pile faisant varier l'importance des fuites parallèles aux tubes.

Les grappes sont constituées de 19 barreaux \varnothing 0,69 cm, 16 en UO_2 de teneur isotopique 1,5 % en U^{235} , 3 en UO_2 de teneur isotopique 3,5 % en U^{235} . Elles sont placées dans des tubes vides de diamètre extérieur 80 mm, diamètre intérieur 78 mm.

Au pas choisi de 17 cm, les mesures ont porté :

- sur une pile chargée au maximum, donc de faible taille critique (voisine de 1 m de combustible immergé),
- sur une pile chargée au minimum, donc de forte taille critique (voisine de 2 m de combustible immergé) par empoisonnement du réflecteur d'eau lourde périphérique à l'aide de barres d'acier Ø 6 cm également sous tubes 78-80. Dans chaque configuration de pile, les mesures ont été faites successivement avec des grappes de barreaux répartis uniformément sur la section du tube, et des grappes de barreaux serrés sur l'axe du tube.

c) Des mesures de laplaciens par remplacement ont été effectuées, dans le cadre d'un échange Franco-Espagnol, sur des grappes de barreaux à carbure d'uranium, soit plongées directement dans l'eau lourde, soit placées dans des tubes contenant un liquide organique.

Les grappes de carbure sont constituées de 12 barreaux Ø 1,31 cm, gainés aluminium. La densité du carbure est 13,4 g/cm³.

Les grappes de référence étaient composées de 7 barreaux d'oxyde UO₂ Ø 2,2 cm. Les mesures ont été faites aux pas de 19, 21, et 24 cm.

d) Diverses mesures ont également été effectuées, à savoir:

- pour le compte d'Euratom, des mesures de structure fine sur l'élément ECO;
- des mesures particulières liées aux études préliminaires EL 4, en réseau de grappes d'oxyde sous tube d'air;
- indices de spectre dans des grappes 7 Ø 2,2 cm sous tube Ø 10,6 cm ;
- déformation du flux macroscopique due à une barre de contrôle fin perpendiculaire aux canaux ; cas d'une barre grise et d'une barre noire ;
- interaction des flux macroscopique et microscopique au voisinage des tubes de gaz;
- mesures particulières pour la mise au point de méthodes de calcul hétérogène.

2) Réseaux modérés à l'eau légère (Girard-Bailly).

On a poursuivi sur Alizé II des études sur la physique des réseaux eau légère - uranium très enrichi - zirconium (taille critique, coefficient de température, flux). Une étude sommaire de coeurs couplés a été réalisée.

3) Réseaux modérés au graphite (Bacher-Cogné-Tanguy).

En 1963 l'empilement critique Marius a été utilisé pour les études suivantes :

a) Etudes de grands canaux - Mesure d'anisotropie

Les effets de grands canaux ont été mesurés par mesures absolues de laplaciens au pas 224 mm sur des canaux de diamètre \varnothing 110 et \varnothing 140, avec des barreaux \varnothing 31.

Au canal \varnothing 110, une mesure d'anisotropie a été réalisée par mesures de laplaciens dans 3 configurations différentes du même réseau.

b) Etudes de grandes sections d'uranium au pas de 317 mm

Les études sur les grandes sections d'uranium ont été poursuivies :

- Mesures absolues de laplaciens avec un barreau \varnothing 50 mm et un canal \varnothing 90 et \varnothing 110.
- Substitutions de divers combustibles de 15 à 35 cm^2 d'uranium.

c) Etude du réseau EdF2

Un certain nombre de combustibles de la présérie EdF2 a été utilisé dans Marius au pas de 224 mm, pas proche du pas de base EdF2, pour déterminer les caractéristiques du réseau de ce réacteur.

D'autre part, dans ce réseau EdF2, des effets de singularité du réseau (dégavage d'un canal, déchargement d'un demi canal) ont été mesurés.

d) Mesures de barres de contrôle

Des mesures de barres de contrôle centrales ont été faites soit par mesures critiques, soit par mesures sous critiques (méthode de neutrons pulsés). Ces études ont porté sur les variations d'efficacité en fonction du spectre du réseau environnant, de la géométrie de la barre et de son gainage, du diamètre du canal de barre.

e) Mesures de protection

Des mesures destinées aux études de protection ont porté sur la détermination du flux rapide et thermique sortant d'un réacteur à graphite en fonction du type de réseau, du diamètre du canal, etc..

f) Etude recyclage Pu

Le combustible Ø 29,2 alliage U naturel-Pu à 0,043 a été substitué dans le réseau Ø 29,2 uranium naturel.

g) Mesures d'indices de spectre

Dans presque tous les réseaux étudiés, des mesures du rapport de l'activité de détecteurs Pu et U ont été effectuées à la fois dans le modérateur et dans le combustible.

Les indices de spectre étant normalisés à un spectre thermique, une colonne thermique a été réalisée à Marius afin d'étalonner les différents détecteurs destinés à ces mesures (Pu/U, Lu/Mn, Eu/Mn, In/Mn, Au/Mn).

4) Etude des réseaux oxyde de Béryllium oxyde d'Uranium enrichi (Sagot).

Le programme expérimental effectué sur le réacteur Rubéole s'est terminé par des études de cinétique, par les méthodes de la modulation et des neutrons pulsés. Les mesures du temps de vie des neutrons prompts effectuées concurremment par ces deux méthodes sur différents réseaux sans réflecteur sont en très bon accord. D'autre part les mesures effectuées à l'aide de sources pulsées (mesure de β/l et étalonnage de barres de contrôle) furent étendues à des géométries plus complexes (coeur réfléchi intérieurement, extérieurement du type Argonaut). Enfin une étude de la décroissance du flux des photoneutrons retardés, dont le dépouillement est actuellement en cours, fut effectuée pour des temps d'irradiation de 15 minutes et de six heures. Le réacteur fut ensuite démonté et l'oxyde de beryllium transporté à Cadarache dans le but de mesurer à froid et à chaud les paramètres de diffusion par la méthode des sources pulsées. Les premières expériences préliminaires actuellement réalisées portent sur la mise en équilibre du spectre après l'injection de la bouffée de neutrons.

Dans le but d'ajuster un formulaire de calcul pour les réseaux à oxyde de beryllium, l'ensemble des mesures expérimentales de laplacien (carte de flux ou substitution) est actuellement revu, un effort particulier étant effectué dans l'interprétation des cartes de flux afin d'obtenir un dépouillement homogène pour toutes les piles, certains paramètres influents telles les perturbations spectrales dues aux frontières devant évoluer de façon cohérente entre les divers réseaux.

B. Etudes de criticité (Clouet d'Orval).

1) Uranium

Début 1963, l'expérience Alecto II destinée à l'étude de la criticité d'une solution d' U^{235} en géométrie cylindrique réfléchie ou non a été mise en service. Avec une cuve de 30 cm de diamètre et un réflecteur latéral d'eau légère, la masse critique minimum a été trouvée égale à $1376 \pm 4,4$ g soit un rapport de 0,66 entre les masses critiques minima de Pu et d' U^{235} mesurées dans les mêmes conditions.

Une série d'expériences sur les phénomènes d'interaction a été effectuée. On disposait parallèlement à la cuve nue à des distances et dans des configurations variables par rapport à celle-ci une ou plusieurs bouteilles de polythène de 10 cm de diamètre contenant un volume donné d'une solution d' U^{235} . La réactivité de l'ensemble était repérée par le niveau critique atteint dans la cuve. On a pu ainsi vérifier la propriété d'additivité des effets d'interaction d'abord avec 2 bouteilles placées de part et d'autre de la cuve à des distances variables puis avec 3 bouteilles à 120° . De même a été étudié l'effet d'ombre d'une bouteille masquant progressivement l'autre par rapport à la cuve. La réactivité maximum est atteinte lorsque les bouteilles sont situées dans deux plans diamétraux de la cuve faisant entre eux un angle de 45° environ. En interposant des écrans de Cd entre la cuve et les bouteilles on a vérifié que l'interaction provient pour les neuf dizièmes de la transmission des neutrons rapides. Enfin à l'aide d'un réflecteur amovible de paraffine on a vérifié à mieux de 1 % près l'égalité

$$K_{SR} = \frac{1}{2} (K_R + K_{Nu})$$

K_{SR} = K effectif avec un demi-réflecteur (latéral seulement)

K_R = K effectif avec un réflecteur complet (latéral seulement)

K_{Nu} = K effectif sans réflecteur.

Dans l'interaction d'une bouteille avec la cuve on a vérifié que le cas le plus réactif est bien obtenu lorsque chaque élément comporte un demi-réflecteur du côté caché par rapport à l'autre.

2) Plutonium

Sur Alecto I l'étude de la cuve de 30 cm de diamètre s'est terminée par quelques mesures de paramètres de cinétique par la méthode des neutrons pulsés. Avec un réflecteur latéral d'eau légère on a mesuré un $\frac{\beta_{eff}}{1} = 82 \pm 7 \text{ s}^{-1}$ soit par le temps de vie τ des neutrons prompts la valeur de $27 \pm 6 \mu\text{s}$.

En l'absence de réflecteur :

$$\frac{\beta_{eff}}{1} = 102 \pm 12 \text{ s}^{-1}$$

$$\tau = 21,5 \pm 5,5 \mu\text{s.}$$

Avec la cuve de 42 cm de diamètre en l'absence de réflecteur, des mesures très précises du rapport $\frac{X_9}{X_5}$ des taux de comptage de deux chambres à fission de faible diamètre, l'une à dépôt de Pu^{239} , l'autre à dépôt d' U^{235} , placées au centre ont été effectuées par différentes concentrations. Un facteur 3 sur la concentration nous a permis de mettre en évidence une variation de 10 % environ de ce rapport connu avec une précision expérimentale de quelques pour mille. Après étalonnage dans un flux purement thermique nous pensons obtenir ainsi des renseignements précieux sur la déformation du spectre d'énergie des neutrons avec le rapport H/Pu et la variation de la section efficace d'absorption du Pu, celle de l' U^{235} qui suit la loi en $1/v$ étant prise comme référence. Ces mesures s'inscrivent dans le cadre des études entreprises par le DEP pour la détermination des sections efficaces effectives. Des mesures identiques vont être effectuées avec des solutions d' U^{235} sur Alecto II.

La masse critique minimum pour la cuve de 42 cm nue est de 1178 ± 13 g de Pu.

Une étude systématique du phénomène d'interaction entre des solutions de Pu contenues dans des cylindres annulaires est en cours à la station expérimentale de Dijon. Ces cylindres peuvent être réfléchis à leur partie inférieure et sur les faces latérales interne et externe par de l'eau légère ou tout autre réflecteur solide de forme appropriée.

C) Mesures par oscillations.

- 1) Mesures des sections efficaces effectives d'échantillons fissiles par la méthode d'oscillation (Vidal).

Ce travail est effectué dans le cadre du contrat avec l'Euratom n° 3742.

La méthode utilisée permet de mesurer les sections efficaces effectives d'absorption Σ_a et de production de neutrons ($\nu\Sigma_f$) d'un échantillon fissile. Ces deux grandeurs sont déterminées en analysant les signaux dus à la variation de réactivité (signal global) et à la perturbation locale de flux (signal local) produite par l'échantillon oscillant. Ces signaux sont étalonnés à l'aide d'un jeu d'échantillons dont les teneurs en matériau fissile, U²³⁵, et en absorbeur, bore, sont bien connues.

Les mesures sont réalisées pour différents spectres de neutrons caractérisés par les paramètres du réseau constituant la zone centrale à l'intérieur de laquelle se déplace l'échantillon.

A l'aide de cette méthode, on étudie les sections efficaces effectives d'alliages uranium-plutonium pour différents réseaux à eau lourde et à graphite dans les assemblages critiques Minerve et Marius. Les mêmes expériences sont effectuées sur des échantillons de combustibles irradiés à différents taux de façon à déterminer l'évolution des sections efficaces en fonction du spectre et du taux d'irradiation.

- a) Expériences sur les réseaux à eau lourde dans Minerve

Les mesures se font dans la cavité centrale du réacteur Minerve dans laquelle on a placé une cuve étanche de section carrée de 75 cm de côté et 90 cm de hauteur contenant le réseau

à étudier. On peut ainsi réaliser des mesures dans des réseaux à uranium naturel, enrichi ou appauvri dont a fait varier le pas. Pour le pas 160 mm la cuve contient 25 cellules, pour le pas 110 mm elle en contient 49.

Des mesures par activation dans Aquilon et au centre de la portion de réseau placée dans Minerve ont montré que les spectres étaient identiques.

La précision des mesures est de $\frac{\Delta k}{k} = \pm 10^{-7}$ ce qui correspond à ± 4 mg d' U^{235} et $\pm 0,15$ mg de bore. L'échantillon de référence en uranium naturel pesant environ 1235 g, on peut déterminer les différences de sections efficaces effectives à 1 % près.

b) Expériences sur les réseaux à graphite dans Marius

Les mêmes expériences ont été effectuées sur les réseaux à uranium naturel et graphite. Les éléments combustibles ont un diamètre de $\varnothing = 29,2$ mm et on a fait les mesures dans les pas de 224 mm et $224\sqrt{2} = 316,8$ mm. Les échantillons étaient des alliages U naturel-Pu afin de déterminer les sections effectives du Pu et des éléments d'U naturel irradiés.

Ces expériences ont fait l'objet des rapports suivants :

- J.C. Carré, M. Robin, O. Tretiakoff, R. Vidal : Oscillation de cartouches d'unanium dans Marius, DEP-SEC - Min 60 - juin 1963.
- R. Vidal, O. Tretiakoff, M. Robin. Mesures des sections efficaces effectives d'échantillons fissiles par une méthode d'oscillation dans une expérience critique. SM 42/64 - Symposium sur les expériences exponentielles et critiques - Amsterdam - 2-7 septembre 1963.

2) Mesure des intégrales de résonance (Vidal)

Les études ont porté sur les calculs des corrections à apporter aux résultats des mesures et sur les mesures de spectre.

a) Etude des fonctions d'importance

Des expériences sont actuellement en cours pour mesurer les fonctions d'importance en différents points du cœur et pour différentes énergies. Les fonctions d'importance sont obtenues en comparant les résultats des mesures par oscillation et par

activation de plusieurs corps résonants. Des calculs multi-groupe permettent aussi de déterminer les valeurs théoriques et de les comparer à l'expérience.

b) Calcul des intégrales de résonance et des coefficients de self-absorption

Le programme de calcul actuellement utilisé permet de calculer les intégrales de résonance à partir des paramètres et les coefficients de self-protection à adopter pour tous les échantillons mesurés ainsi que pour les détecteurs d'activation utilisés. Une méthode de calcul de la self-absorption thermique a été mise au point et contrôlée expérimentalement pour des échantillons à la fois absorbants et diffusants.

3) Mesures sur Zoé

La méthode d'oscillation de phase est utilisée à Zoé pour le contrôle de la pureté nucléaire d'échantillons de graphite, de pastilles d'alumine et de billettes de zirconium. Elle a aussi servi à déterminer la quantité précise de bore contenue dans des plaques d'alliage Zr-B et Al-B et leur homogénéité.

La capture de l'échantillon d'alumine pris comme référence a été mesurée par rapport au bore, elle a été trouvée égale à :

$$\sigma_a = 0,271 \pm 0,06 \text{ mm}^2/\text{g}$$

La section efficace de capture de différents échantillons de plomb appauvri en Pb 207 a été comparée à celle du bismuth. Ces mesures ont permis entre autre de déterminer la capture du plomb 208 qui a été trouvée égale à :

$$\sigma_a = 18 \pm 10 \text{ mb}$$

Une mesure par comparaison entre des échantillons de béryllium et de graphite est actuellement en cours pour déterminer la section efficace de capture du Be. Le résultat provisoire obtenu et qui sera précisé lorsqu'on aura pu corriger tous les effets des impuretés est de :

$$\sigma_a = 9,3 \pm 1,6 \text{ mb}$$

Par la même méthode, une série de mesures est en cours pour déterminer la capture par rapport au bore d'échantillons de cuivre, de fer et d'acier inoxydable.

Sur ces expériences les rapports suivants ont été publiés :

- J.C. Carré - Mesure de la section efficace d'échantillons d'alumine par la méthode d'oscillation sur Zoé - DEP-SEC - MIN 53.
- J.C. Carré - Mesure de la section efficace de capture d'échantillons de plomb appauvri en Pb 207 par la méthode d'oscillation Zoé - DEP-SEC - MIN 53.

4) Essai d'oscillation sur le réacteur Ulysse

Quelques expériences ont été effectuées dans un canal du réacteur Ulysse pour déterminer la possibilité et la précision que l'on peut escompter sur une pile de ce type, pour le contrôle de la pureté nucléaire du graphite par la méthode d'oscillation de phase.

- J.C. Carré - Application de la méthode d'oscillation de phase au contrôle de la pureté nucléaire sur le réacteur Ulysse - DEP-SEC - MIN 61 - août 1963.

XXL. LABORATOIRE D'ETUDES DE PILES, CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE

GRENOBLE (FRANCE) (J. Lalande)

Mesures cinétiques utilisant une source de neutrons pulsée:

1- Paramètres de diffusion du graphite

Le graphite étudié a une densité de $\rho = 1,619 \text{ g/cm}^3$. Les valeurs obtenues pour D et $\bar{v} \Sigma a$ sont les suivantes:
 $\bar{v} \Sigma a = (70 \pm 2) \text{ s}^{-1}$

$$D = (222,2 \pm 3) 10^3 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

La valeur du libre parcours moyen de transport pour la densité de $\rho = 1,619 \text{ g/cm}^3$ est $\lambda t = (2,68 \pm 0,07) \text{ cm}$.

2- Etude du temps de mise en équilibre du spectre de neutrons thermiques en fonction de la géométrie du bloc étudié.

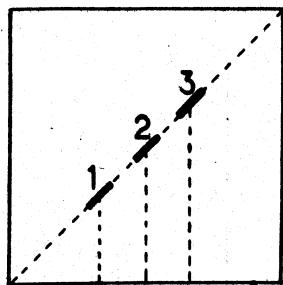
L'étude de la densité neutronique avec deux compteurs de sensibilité différente dans le spectre montre que l'équilibre n'est jamais atteint avant 3 ms dans un petit bloc ($69 \times 69 \times 92 \text{ cm}$) ou ($69 \times 69 \times 115 \text{ cm}$).

Dans un bloc de ($200 \times 200 \times 160 \text{ cm}$), ce temps est de l'ordre de 12 ms (conf. figure XXI.1) et semble lié à l'existence des harmoniques dans le bloc (cf. figure XXI.2).

graphite 200x200x160 cm

$$\alpha = \frac{\text{comptage avec filtre en } \frac{1}{V}}{\text{comptage sans Filtre}}$$

cible →



200 cm

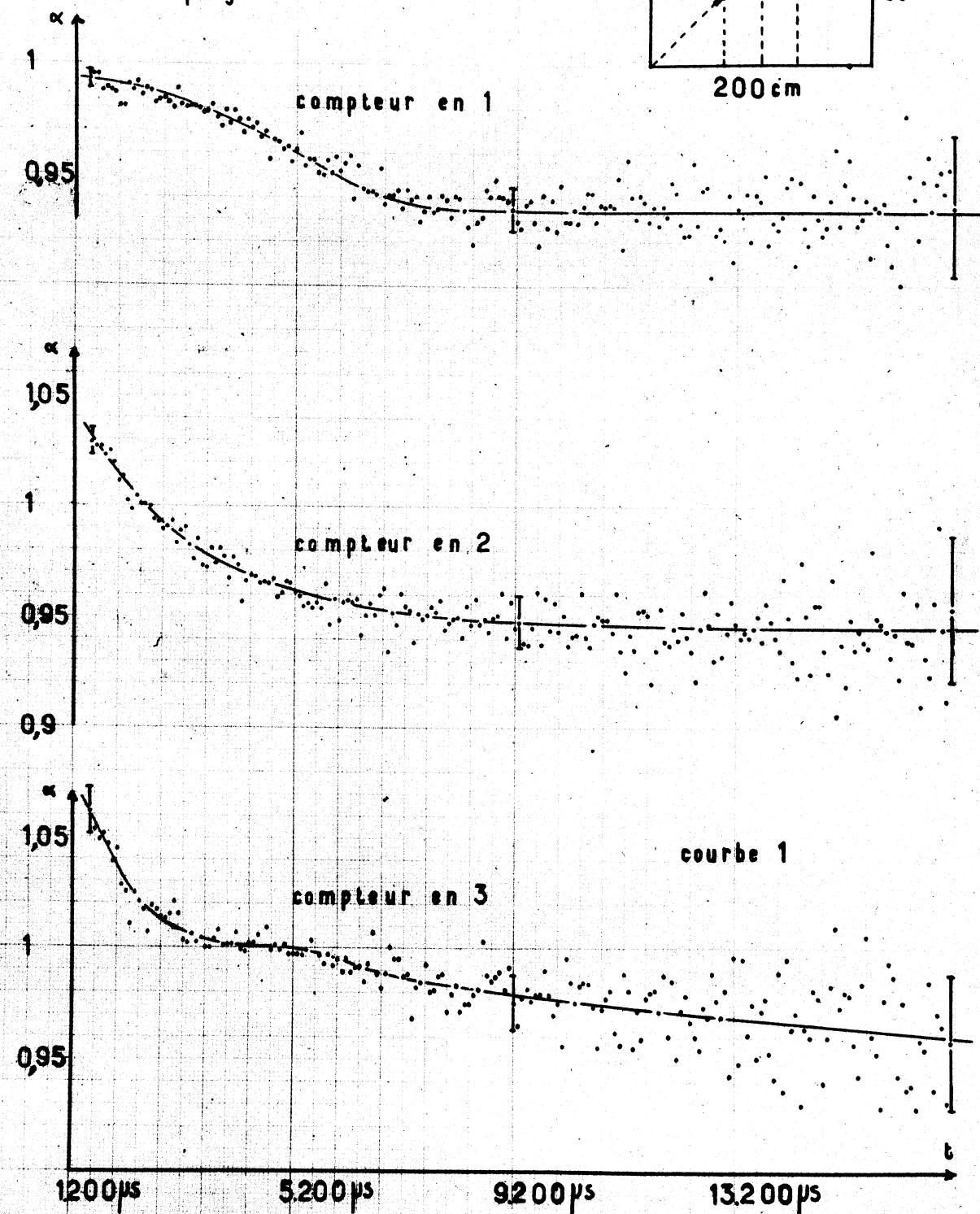


Fig. XXI-1

