

Les spectromètres de physique nucléaire

J.C. FAUDOU*

Résumé :

Trois spectromètres sont destinées aux études de physique nucléaire. Deux d'entre eux analysent des particules chargées après avoir focalisé le faisceau à l'aide de systèmes d'optique ionique. Ces particules sont soit des produits de fission non ralentis, soit des électrons de conversion. Enfin un troisième type de spectromètre analyse les γ de capture des neutrons thermiques en séparant les énergies par réflexion sur un cristal courbé.

Summary :

Three spectrometers are designed for nuclear physics research. Two of these analyse charged particles after having focussed the beam by ionic optical systems, the particles being either non-attenuated fission products or conversion electrons. The third type of spectrometer analyses thermal neutron capture γ 's, separating the energies by reflection on a curved crystals.

Zusammenfassung :

Drei Spektrometer sind für die Studien der Kernphysik bestimmt. Zwei dieser Apparate untersuchen geladene Teilchen, nach ionenoptischer Fokussierung des Strahlenbündels. Diese Teilchen sind entweder nicht abgebremste Spaltprodukte oder auch Konversionselektronen. Eine Dritte Art von Spektrometer untersucht schliesslich, mittels Trennung der Energien durch Reflexion in einem Kristall, die Einfang γ der thermischen Neutronen.

I. SPECTROMETRE DE MASSE POUR L'ETUDE DES PRODUITS DE FISSION [1] (voir figure)

produits de fission successivement dans deux plans perpendiculaires entre eux.

A. But

La première lentille cylindrique est constituée par un champ magnétique homogène dont les lignes de force verticales produisent une première déviation du faisceau et une focalisation dans un plan horizontal.

Ce spectromètre est destiné à séparer des produits de fission non ralentis. Il permet de mesurer le rendement des produits de fission en fonction de la masse, de l'énergie et de la charge nucléaire.

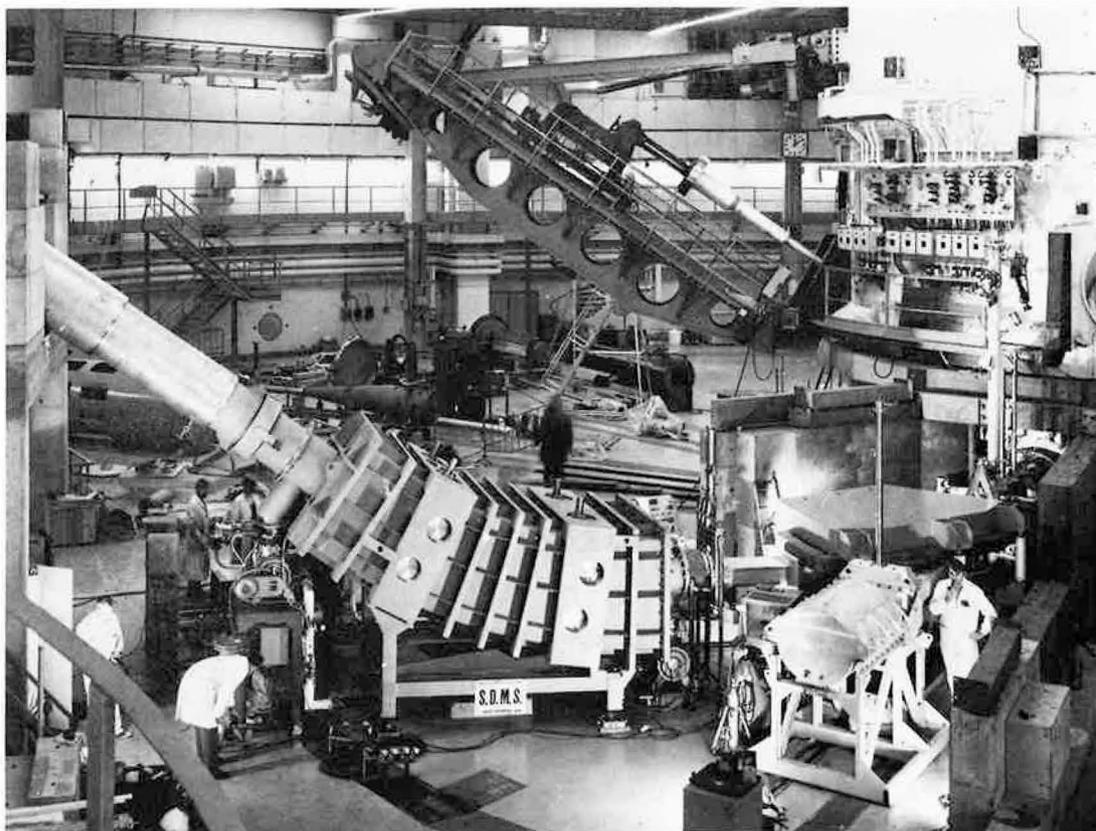
La deuxième lentille est un condensateur dont le champ électrique vertical focalise et dévie le faisceau dans cette direction.

B. Optique ionique

Le spectromètre de masse est constitué de deux lentilles cylindriques croisées qui focalisent le faisceau de

De la source, située à 8 m de l'entrée dans le champ magnétique, ce système optique donne une image dans un plan situé à 6,24 m de la sortie du condensateur.

*Institut Max Von Laue-Paul Langevin



Spectromètre de produits de fission " Lohengrin " Vue générale

Dans ce plan des ions de même charge, de même masse et de même vitesse représentent la source à peu près à l'échelle 1. Dans le cas des produits de fission, l'énergie cinétique a une distribution sensiblement gaussienne et l'image est constituée d'une série de paraboles (ou portions de paraboles).

C. Caractéristiques techniques essentielles

1. L'aimant

Angle de déviation : 45°
Rayon de déviation : 4 m
Section du faisceau à l'entrée de l'aimant : 320 x 80 mm
Champ magnétique maximum : 2 500 gauss
Homogénéité : 10^{-4} sur une largeur de pôle de 40 cm
Largeur de l'entrefer : 100 cm environ
Hauteur de l'entrefer : 25 cm

Une enceinte à vide indépendante est logée dans l'entrefer (voir l'article 4 de ce même numéro consacré aux dispositifs expérimentaux intégrés).

Étudié à l'ILL, l'aimant a été construit en Allemagne par Gutehoffnungshütte.

2. Le condensateur

Étudié à l'ILL et construit par la S.D.M.S. à St-Romans
Angle de déviation : $35,35^\circ$
Rayon de déviation : 5,6 m
Distance entre les plaques : 30 cm
Tension maximum de travail, entre les plaques : 600 kV.

La conservation de la charge ionique des fragments de fission exige un vide de 10^{-6} Torr, et l'obtention du champ électrique, très important, nécessite l'absence de toute trace d'hydrocarbure. Pour cette raison, tous les joints à vide sont montés sans graisse et les pompes à vide utilisées sont du type à très faible rétrodiffusion d'huile. (Pompes turbomoléculaires de Pfeiffer).

L'enceinte à vide de grande dimension (section 160 x 130 cm, longueur moyenne 4 m environ) qui contient le condensateur est construite en acier inoxydable, et l'intérieur poli mécaniquement. (Etat de surface avec aspérités résiduelles inférieures à $0,2\mu$. Rugosité arithmétique).

3. Dispositif de mesure

Dans son principe, il utilise une bande qui se déplace dans le plan de focalisation. Les produits de fission radioactifs constituant l'image se déposent sur la bande qui les transporte devant des compteurs appropriés.

II. SPECTROMETRE A ELECTRONS DE CONVERSION [2] [3]

Ce spectromètre est installé sur le canal vertical du réacteur (voir l'article 4 ci-dessus consacré aux dispositifs intégrés). Il est essentiellement constitué de deux électro-aimants.

A. Le premier dévie le faisceau d'un angle de 58° , avec un rayon de courbure de 50 cm. Il est destiné à fournir une première image à 85,7 cm de la sortie du champ magnétique, de la source qui est située à 1 370 cm dans le réacteur. La double focalisation est obtenue en utilisant successivement un secteur à champ non homogène (indice $1/r$) et un secteur à champ homogène.

B. Le deuxième aimant, qui est le spectromètre proprement dit, est symétrique. Le rayon de courbure est de 50 cm et l'angle de déviation total de 290° :

- 37° dans un champ homogène
- 216° dans un champ à indice $1/r$
- 37° dans un champ homogène

On obtient alors une image à 85,7 cm de la sortie de l'aimant.

L'image intermédiaire sert de source pour le deuxième aimant. Grâce à un système de fente, on peut en limiter la surface, ce qui permet d'éviter les effets perturbateurs dus à des différences entre les deux champs magnétiques.

C. Avec un entrefer de 45 cm de large pour une hauteur de 14 cm, on espère obtenir sur 15 cm de largeur une homogénéité supérieure à 5.10^{-4} , la résolution $\Delta E/E$ du spectromètre étant de 4.10^{-4} (à rapprocher de la meilleure résolution du spectromètre de MUNICH 8.10^{-4}). De même, si on définit une sensibilité

par le produit $s \cdot \Omega \frac{\Phi}{\sqrt{\gamma}}$ avec :

s = surface de source

Ω = angle solide de faisceau

Φ = flux de neutrons thermiques dans la source

γ = bruit de fond provenant du réacteur

Le spectromètre de Grenoble atteint 10^8 contre 2.10^6 à MUNICH.

Des ajustages sont prévus à l'aide de "shims" et de pièces tournantes permettant de régler l'angle d'incidence du faisceau dans le champ magnétique. La stabilisation du champ magnétique, dont la valeur maximum de travail ne dépasse pas 1 000 gauss, est obtenue à l'aide d'un système de bobines tournantes montées sur un axe unique. L'une d'elle est placée dans le champ du spectromètre, l'autre dans l'entrefer d'un aimant permanent dont la température est stabilisée. La différence entre les tensions ainsi obtenues permet, après mise en forme par un circuit électronique approprié, d'agir sur l'alimentation des aimants. Ce système, qui fonctionne actuellement à Munich, permet une stabilisation à 10^{-5} près.

Pour améliorer la statistique de comptage, il est possible de compter simultanément plusieurs points dans le plan de focalisation au moyen d'un détecteur à multifils (10 fils de 1/100 mm écartés les uns des autres de 2 mm). Ce multidétecteur est actuellement en cours d'études à MUNICH. L'ensemble a été étudié à ILL. Les électro-aimants sont en cours de fabrication dans les usines de OERLIKON, en France. Les enceintes à vide ont été réalisées en Allemagne, par Leybold Heraeus.

III. SPECTROMETRES POUR GAMMA DE CAPTURE DES NEUTRONS THERMIQUES

Quatre spectromètres gamma sont actuellement prévus sur le réacteur à haut flux. Pour trois d'entre eux, le faisceau de gamma provenant des captures des neutrons thermiques dans l'isotope à étudier est réfléchi par un cristal. Afin d'utiliser au mieux le faisceau malgré sa légère divergence, le cristal est courbé avec un rayon égal à la distance source-cristal. (Spectromètre à cristal du type Du Mond [4]). La courbure est obtenue par serrage du cristal entre deux pièces d'acier présentant une très bonne surface cylindrique au rayon désiré (écart avec la surface théorique inférieur à 10^{-4} mm).

La mesure très précise des angles de réflexion est obtenue à l'aide d'un interféromètre enfermé dans une enceinte thermostatée et permettant une précision d'angle de l'ordre de $0,05''$. Entre le cristal et le détecteur, le faisceau traverse un collimateur SOLLER focalisant sur la source.

Pour les deux spectromètres situés à 24 m, le collimateur mesure 4 m de longueur. Il est constitué de plaques de plomb antimonié disposées dans le sens de la longueur du collimateur. L'épaisseur des plaques est de 1,5 mm à $\pm 3/100$ mm. La distance entre deux plaques consécutives est au minimum, près du cristal, de 3 mm. La divergence correspond à une augmentation de l'écart de 3 mm sur 24 m soit de l'ordre de 0,1 mm par mètre. Pour le spectromètre à 5,76 m, la longueur du collimateur est de 1,4 m, les plaques ont une épaisseur de 1 mm. Le détecteur est enveloppé dans une protection destinée à l'isoler du bruit de fond du hall du réacteur. Les détecteurs liés aux deux spectromètres de 24 m sont ainsi enfermés dans une casemate de béton dont les murs et le toit atteignent 80 cm d'épaisseur. Les fenêtres rectangulaires par lesquelles les collimateurs mobiles pénètrent dans l'enceinte sont munies de blocs liés au collimateur de façon à assurer une protection continue. Pour limiter les échauffements nucléaires du porte source, l'atmosphère du canal est maintenue à 2 Torr d'hélium. L'effet de diffusion des photons ne permet pas une pression supérieure. Cette pression est contrôlée en permanence par la mesure de la conductibilité thermique du gaz. Les variations de cette conductibilité au-delà de seuils fixés agissent sur un double circuit de pompage primaire ou d'introduction d'hélium.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] P. ARMBRUSTER, H. EWALD, G. FIEBIG, H. LAWIN, E. MOLL, H. WOLLNICK. Spectromètre de masse pour l'étude des produits de fission (original allemand).
- [2] T.V. EGIDY. Proceeding of the International Symposium on Neutron Capture gamma ray spectroscopy Studsvik (1969).
- [3] H. MALHEIM. Nuclear Instruments and Methods, 53,229, (1967).
- [4] J.W.M. DU MOND and H.A. KIRKPATRICK, Rev. Sci., Instr. 1 (1930) 88.