

SUR L'ORIGINE DE LA NON-HOMOGENÉITÉ DU RAYONNEMENT γ DE CAPTURE DES NEUTRONS LENTS

Par BRUNO PONTECORVO.

Laboratoire Curie. Institut du Radium.

Sommaire — On étudie, à l'aide d'un compteur Geiger-Müller le rayonnement γ émis par l'or, lors de la capture des neutrons lents; on observe par absorption dans le plomb que la composition spectrale du rayonnement γ de capture de l'or change si l'on change, avec un filtre en bore, la composition spectrale des neutrons lents. A la lumière des nouvelles idées formulées par Bohr sur la capture des neutrons, on peut interpréter les résultats expérimentaux par des règles de sélection.

Fermi et ses collaborateurs et Fleischmann (¹) ont observé que la capture des neutrons lents est généralement accompagnée par une radiation γ , qui correspond à l'énergie de liaison du neutron capturé.

Rasetti (²) a étudié l'énergie du rayonnement γ de capture des neutrons lents, par la méthode des coïncidences, en mesurant l'énergie des électrons secondaires engendrés par les rayons γ . Les expériences de Rasetti ont été ensuite reprises (³) par d'autres auteurs.

Les mesures de Rasetti montrent que les énergies des rayons γ de capture sont en général assez petites en comparaison des énergies de liaison du neutron; d'autre part, plusieurs auteurs (⁴) ont observé des non-homogénéités dans le rayonnement γ de capture. Ces faits nous conduisent à envisager la possibilité d'existence des processus dans lesquels l'excès d'énergie dû à la capture du neutron n'est pas expulsé avec un seul quantum γ .

Dans cet ordre d'idées, j'ai tâché d'éclaircir par des expériences qualitatives un point du problème du rayonnement γ de capture des neutrons lents. L'on sait que Bohr (⁵) a récemment exposé des idées nouvelles sur le mécanisme de la capture du neutron, il a montré la possibilité d'expliquer les sélectivités (⁶) observées dans l'absorption des neutrons lents par un processus de résonance dû à l'existence, dans le nouveau noyau formé, d'états intermédiaires de vie assez longue. Ces niveaux d'énergie seraient distants de quelques volts, dans la région d'énergie où se fait la capture des neutrons lents,

On peut alors se demander si l'énergie des rayons γ de capture de neutrons lents est différente lorsque les neutrons absorbés appartiennent à des groupes différents; autrement dit, dans le langage de Bohr, on cherche si un neutron lent absorbé par un noyau dans un niveau déterminé A est accompagné d'une radiation γ dont l'énergie (ou mieux la composition spectrale) est différente de celle de la radiation γ qui accompagne la capture par le même noyau d'un neutron lent dans un niveau B. On peut à ce propos remarquer que les différences d'énergie des niveaux, dont il est question ici, sont de l'ordre

de quelques volts, c'est-à-dire, pratiquement négligeables, devant les éventuelles différences d'énergie observées entre les rayons γ .

Ces dernières pourraient être facilement expliquées par des règles de sélection pour les niveaux de Bohr; dans le cas d'un noyau qui absorbe des neutrons lents dans deux niveaux différents, on peut penser par exemple que, à partir de l'un des niveaux, l'excès d'énergie serait expulsé par un seul quantum γ , tandis qu'une seule transition γ serait interdite à partir de l'autre niveau.

Pour l'expérience en question, il serait idéal de pouvoir isoler les différents groupes de neutrons; mais on conçoit immédiatement que les méthodes ordinaires de filtrage des bandes de neutrons, basées sur l'absorption, ne sont pas applicables ici, car un filtre, absorbant par sa nature même, émet à son tour un rayonnement γ , qui va se superposer au rayonnement γ étudié. On doit renoncer à travailler avec des neutrons appartenant à un groupe déterminé et se borner alors à chercher si la composition spectrale du rayonnement γ de capture varie, si l'on fait varier l'intensité relative des différents groupes des neutrons absorbés.

On peut procéder par l'une des méthodes suivantes :

1. Rechercher si la pénétration du rayonnement γ de capture émis par un élément varie avec l'épaisseur de celui-ci; en effet, puisque l'élément absorbe différemment les différents groupes de neutrons, si par exemple l'on diminue son épaisseur, on augmente le nombre relatif des neutrons du groupe le plus absorbable.

2. Prendre comme filtre le bore, qui n'a pas un rayonnement γ de capture très intense (⁷). Puisqu'il absorbe différemment les neutrons de vitesses différentes (⁸), un filtre en bore change la composition spectrale des neutrons incidents : j'ai appliqué cette méthode, autrement dit, j'ai cherché si, la pénétration du rayonnement γ de capture d'un élément change lorsqu'on recouvre celui-ci d'une épaisseur de bore convenable.

En ce qui concerne le noyau absorbant, il ne faut pas oublier que, pour cette recherche, il est nécessaire de choisir un élément pour lequel l'absorption des neutrons

lents ne se produit pas dans un seul niveau; d'autre part, selon la théorie de Breit-Wigner, l'absorption dans le cas d'un seul état de résonance pour le noyau absorbant suit la loi

$$\frac{1}{v} \frac{A}{(E - E_0)^2 + B^2}$$

dans laquelle E est l'énergie, v la vitesse du neutron incident, E_0 l'énergie du niveau de résonance; A et B sont des constantes; on conçoit le rôle très important du facteur $\frac{1}{v}$, dont l'existence explique le fait expérimental

que tous les éléments qui ont des absorptions sélectives, absorbent aussi les neutrons thermiques (groupe C): autrement dit, les neutrons C sont absorbés dans le même niveau que les neutrons de résonance. Ces deux remarques nous conduisent à choisir des éléments tels que l'argent, qui absorbent plus d'un groupe en dehors du groupe C (*).

L'étude du phénomène dans l'argent présente un grand nombre de difficultés expérimentales, dues particulièrement à l'existence de deux isotopes radioactifs et à la courte période des radioéléments; c'est pourquoi les expériences ont été faites avec l'or: cet élément s'active avec une seule période et celle-ci est assez longue pour qu'il soit possible, pratiquement, de travailler sur le rayonnement γ de capture en évitant le rayonnement γ qui accompagne l'activité β .

De plus, l'or, d'après les mesures de Amaldi et Fermi, absorbe en C, D, A, B et en un autre groupe caractéristique de l'or, les coefficients K d'absorption étant:

$$K_C \sim 0,2 \frac{\text{cm}^2}{\text{gr}}, K_D \sim 0,03 \frac{\text{cm}^2}{\text{gr}}, K_A \sim 4 \frac{\text{cm}^2}{\text{gr}},$$

$$K_B \sim 1,7 \frac{\text{cm}^2}{\text{gr}}.$$

Il est ainsi très vraisemblable que dans le cas de l'or on a plus qu'un niveau de résonance (*).

Les neutrons étaient émis par une source de Po + Be (environ 200 mC dans l'angle solide 2π). La source et le compteur étaient plongés dans un bloc cylindrique de paraffine, de dimensions pratiquement infinies.

Entre la source et le compteur, sur le trajet direct des rayons, on plaçait une épaisseur de plomb de 6 cm, pour rendre le mouvement propre du compteur aussi petit que possible, en absorbant le rayonnement γ du Po et le rayonnement γ associé à l'émission des neutrons.

Le compteur était entouré d'un cylindre de plomb d'épaisseur 1,6 mm destiné à convertir en électrons le rayonnement γ et qui n'était jamais enlevé.

Un cylindre d'or de 1 mm de paroi était placé autour du compteur; la distance de sa paroi intérieure à celle du compteur étant 5 mm, on pouvait interposer des cylindres absorbants de plomb, coaxiaux avec le cylindre d'or, d'épaisseur 1,5 et 3 mm.

Le filtre en bore (0,06 g/cm²) pouvait être placé autour du cylindre d'or, sans rien changer aux conditions

géométriques du dispositif. Il s'agit de déterminer la pénétration du rayonnement γ de capture de l'or, dans les deux cas suivants:

Au: L'or n'est pas protégé par le filtre de bore.

Au + B: L'or est entouré par le filtre de bore.

Dans cette recherche, l'exacte évaluation des effets de fond est assez délicate, car le mouvement propre dû au rayonnement γ de la source des neutrons est considérable, et d'autre part il change lorsqu'on interpose les absorbants de plomb, destinés à absorber le rayonnement γ de capture; d'autres causes d'erreur peuvent encore intervenir, par exemple le rayonnement de capture du bore, si peu intense soit-il, n'est pas du tout négligeable. J'ai tâché d'éviter les erreurs d'interprétation en procédant pour les mesures de la pénétration des rayonnements (Au et Au+B), de la façon suivante:

1. Pénétration du rayonnement (Au). — J'ai mesuré, toujours en présence de la source de neutrons:

a) L'activité N du compteur autour duquel était placé le cylindre d'or.

b) L'activité N_0 du compteur, quand on plaçait entre l'or et le compteur le cylindre absorbant de plomb d'épaisseur 3 mm.

a') L'activité N' obtenue, si on substitue au cylindre d'or un cylindre de plomb d'épaisseur 1,5 mm, les conditions géométriques de la mesure étant pour le reste les mêmes qu'en (a).

b') L'activité N'_0 obtenue en effectuant la même substitution dans les conditions (b).

On trouve:

$$\frac{N_0 - N'_0}{N - N'} = 0,85 \pm 0,02.$$

2. Pénétration du rayonnement (Au + B). — J'ai mesuré, toujours en présence de la source de neutrons:

a) L'activité M du compteur, en présence du cylindre d'or protégé par le filtre de bore.

b) L'activité M_0 du compteur, en plaçant entre le cylindre Au + B et le compteur le cylindre absorbant de plomb, d'épaisseur 3 mm.

a') L'activité M' du compteur, en substituant au cylindre d'or protégé par le bore un cylindre de plomb (1,5 mm) protégé aussi par le même filtre en bore, les conditions géométriques de la mesure étant pour le reste les mêmes qu'en (a).

b') L'activité M'_0 en faisant la même substitution dans les conditions (b).

On trouve:

$$\frac{M_0 - M'_0}{M - M'} = 0,65 \pm 0,03.$$

On voit que, si le procédé décrit est correct, la pénétration du rayonnement (Au) est nettement plus grande que la pénétration du rayonnement (Au + B) un absorbant de 3 mm de plomb réduisant le premier à 0,85

$\pm 0,02$ et le second à $0,63 \pm 0,03$; ceci revient à dire qu'il y a, dans le rayonnement γ de capture de l'or, une composante très molle, qui n'est pas due aux neutrons les plus lents.

Sans entrer dans des détails quantitatifs, qui n'ont pas beaucoup de sens, étant donné le caractère de ces expériences, on arrive à la conclusion suivante, que l'on peut expliquer par des règles de sélection : Si l'hypothèse, jusqu'ici confirmée par les faits expérimentaux, que la capture des neutrons dans l'or conduit à un seul isotope radioactif est correcte, les mesures décrites ci-dessus montrent qu'un changement de la composition spectrale des neutrons lents est accompagnée par un changement de la composition spectrale du rayonnement γ de capture.

Des recherches dans cet ordre d'idées, plus quantitatives et autant que possible sur d'autres éléments, seront poursuivies.

(*) **Remarque ajoutée à la correction.** — On peut encore remarquer que l'absorption des neutrons thermiques pourrait aussi être due à l'existence d'un niveau suffisamment large, dont l'énergie est plus petite que l'énergie de liaison du neutron; d'un niveau, c'est-à-dire pour lequel E_0 est négatif. Les neutrons des quelques volts ne seraient pratiquement pas

absorbés sur ce niveau. Dans un noyau pour lequel les niveaux sont très rapprochés les uns des autres dans la région qui nous intéresse, la contribution à l'absorption des neutrons thermiques par un niveau d'énergie négative semble probable : dans ce cas, comme d'ailleurs dans celui où le niveau positif donnerait une résonance dans la région thermique, on peut s'attendre à des différences dans la pénétration entre le rayonnement γ de capture des neutrons thermiques et celui des neutrons plus rapides. Des recherches dans cette direction sont en cours.

On peut se faire une idée sur l'ordre de grandeur de la distance des niveaux par une méthode due à Bethe (*Phys. Rev.*, 1936, 50, 332) : pour un élément lourd comme l'or, dont le spin nucléaire est $\frac{3}{2}$, on peut évaluer cette distance à quelques volts.

Je tiens à exprimer ici ma reconnaissance à Monsieur Debiere, qui m'a permis de travailler à l'Institut du Radium, à Monsieur et Madame Joliot, pour l'intérêt bienveillant qu'ils m'ont porté; je remercie Monsieur Nahmias, pour l'aide qu'il m'a prêtée. Mon séjour à Paris a été possible, grâce à une bourse italienne du Ministero dell' Educazione Nazionale à qui j'adresse mes sincères remerciements.

Manuscrit reçu le 30 octobre 1936.

BIBLIOGRAPHIE

(1) AMALDI, D'AGOSTINO, FERMI, PONTECORVO, RASETTI, SEGRÉ *Proc. Roy. Soc.*, A. 1935, 149, 522. — FLEISCHMANN. *Z. Physik*, 1935, 97, 242.

(2) RASETTI. *Z. Physik*, 1935, 97, 64.

(3) Par exemple : KIKUCHI, AOKI, HUSIMI. *Nature*, 1936, 137, 186.

(4) KIKUCHI, AOKI, HUSIMI. *Loc. cit.* — HERZFINKEL et WERTENSTEIN. *Nature*, 1936, 137, 106. — HENNY. *C. R.*, 1936, 203, 173.

(5) BOHR. *Nature*, 1936, 137, 344. — BREIT et WIGNER. *Phys. Rev.* 1936, 49, 519.

(6) MOON et TILLMANN. *Nature*, 1935, 135, 904. — BJERGE et WESTCOTT. *Proc. Roy. Soc. A*, 1935, 150, 709. — ARSIMOVITCH, KOURTSCHA-

TOW, MISSOWSKI, PALIBIN. *C. R.*, 1935, 2159. — PONTECORVO. *Ric. Scient.*, 1935, 6, 145. — RIDENOUR, YOST. *Phys. Rev.*, 1935, 48, 383. Pour ce qui concerne les groupes voir surtout : AMALDI et FERMI. *Ric. Scient.*, 1936, 7.

(7) KIKUCHI, AOKI, HUSIMI. *Nature*, 1936, 137, 745, ont observé dans le bore un rayonnement γ de capture très faible; je dirai plus loin comment j'en ai tenu compte dans ce travail.

(8) FRISCH et PLACZEK. *Nature*, 1936, 137, 357. — AMALDI et FERMI. *Loc. cit.* — VON HALBAN et PREISWERK. *Nature*, 1936, 137, 905. — WEBER, LIVINGSTONE et BETHE. *Phys. Rev.*, 1936, 49, 471. — GOLDSMITH et RASETTI. *Phys. Rev.*, 1936, 50, 328.