HAL
open science

Effets isotopiques dans l'interaction des rayons β avec la matière

Jean-Jacques Point, Jacques Franeau

To cite this version:

Jean-Jacques Point, Jacques Franeau. Effets isotopiques dans l'interaction des rayons β avec la matière. Journal de Physique, 1964, 25 (3), pp.356-358. 10.1051/jphys:01964002503035600 . jpa-00205785

HAL Id: jpa-00205785

https://hal.science/jpa-00205785

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EFFETS ISOTOPIQUES DANS L'INTERACTION DES RAYONS β AVEC LA MATIÈRE

Par JEAN-JACQUES POINT et JACQUES FRANEAU,
Institut Interuniversitaire des Sciences Nucléaires,
Centre de la Faculté Polytechnique de Mons, Belgique.

Résumé. — Les pouvoirs de transmission et de rétrodiffusion β d'un échantillon ne dépendent pratiquement pas des nombres de masse des éléments qui le composent. Certaines formules empiriques qui supposent une telle dépendance, ne se justifient pas.

Par une mesure d'absorption β sur un échantillon de composition chimique connue, on peut déterminer le nombre de molécules qu'il contient. On peut de cette façon faire des dosages isotopiques.

Abstract. — Backscattering and attenuation of beta-radiation are independant of the mass number of the backscatterer or absorber used. The semi-empirical relations, which imply such a dependence, should be discarded.

Beta-ray attenuation depends on the chemical composition of the sample used, and of the number of the molecules it contains. Therefore, absorption methods are useful for isotopic analysis.

I. **Discussion du problème.** — *a*) La diffusion des électrons dans un système est difficile à étudier dans le cas général. Toutefois, dans deux systèmes qui ne diffèrent que par le nombre de masse de un ou de plusieurs de leurs constituants, les trajectoires des électrons sont pratiquement les mêmes, parce que, à un haut degré d'approximation, les interactions élémentaires des électrons avec le système ne dépendent pas du nombre de masse des nuclides constituant le système.

En effet, les sections efficaces pour la déviation angulaire des électrons sont données, dans le cas d'un échantillon constitué d'un seul élément, à noyau ponctuel, par la formule de Mott. Elles ne dépendent donc que de l'énergie de l'électron incident, du Z de l'élément diffusant et de l'angle de déviation considéré.

Aux petits angles, il faut apporter une correction d'écran à la formule de Mott. Cette correction ne dépend pas non plus de la masse du noyau.

Dans ce raisonnement, on a négligé à juste titre :

1° le mouvement du noyau ;

2° l'étendue finie du noyau, qui modifie la section efficace par un terme multiplicatif, dit facteur de forme. Dans le cas d'un électron de faible énergie, le facteur de forme (Hofstader [1]) est très voisin de 1.

b) Le pouvoir de ralentissement d'un élément dépend du nombre d'atomes par centimètre cube et du pouvoir de ralentissement atomique.

Celui-ci dépend, en plus de facteurs précités, du potentiel d'excitation moyen qui ne dépend pas (à l'approximation considérée ici) de l'isotope considéré.

c) Les remarques précédentes montrent à partir de formules connues que les interactions élémentaires par collision ,élastique ou non, d'un électron avec un électron ou un noyau du milieu diffusant ne dépendent pratiquement pas de la masse des noyaux.

Des conclusions analogues ont été tirées par Stevenson et Wagner [2] dans leur étude sur les spectres de masse de molécules isotopiques.

Ceci n'entraîne pas nécessairement que des échantillons chimiquement et géométriquement identiques (sauf en ce qui concerne le nombre de masse des éléments qui les composent) ont mêmes coefficients d'absorption et de rétrodiffusion.

En effet, lors de la diffusion des électrons dans l'échantillon, chaque électron interagit un très grand nombre de fois. Mais l'influence du nombre de masse sur les sections efficaces d'interaction est si petite (par rapport à celle du nombre atomique) qu'il semble peu probable que des effets isotopiques autres que ceux dus à une différence de volumes molaires puissent être observés.

Comme ce problème de l'existence éventuelle d'un effet isotopique a été soulevé à plusieurs reprises [3], [4], [6], [7], [8], nous avons jugé utile de vérifier expérimentalement cette conclusion.

2. **Données expérimentales sur l'effet isotopique.** — *a*) Muller D. C. [3] indique qualitativement que H_2O et D_2O rétrodiffusent différemment ; il en serait de même pour le polyéthylène et le deutéro-polyéthylène. Les effets observés sont attribués par cet auteur à une différence dans les interactions noyaux-électrons alors qu'ils devraient l'être à une différence de volumes molaires.

b) Nous étudions la possibilité d'effets isotopiques pour la rétrodiffusion par H_2 et D_2, en collaboration avec L. Danguy. Les résultats obtenus font l'objet d'une note complémentaire qui a été ajoutée en cours d'impression à la fin de cet article.

c) Nous nous bornerons ici à donner nos résultats

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphys:01964002503035600

expérimentaux concernant H_2O et D_2O. On a comparé des échantillons d'eau lourde et d'eau légère dans des conditions géométriques aussi voisines que possible.

Remarquons que les composés H_2O et D_2O contiennent à 20 °C respectivement 0,055388 et 0,55017 moles par cm³, soit une différence de 0,7 %, alors que les densités correspondantes diffèrent de plus de 10 %. Les figures 1 et 2 donnent les courbes d'absorption des β de $^{90}Sr/^{90}Y$ par des échantillons de H_2O et D_2O. Dans la figure 1, l'activité détectée

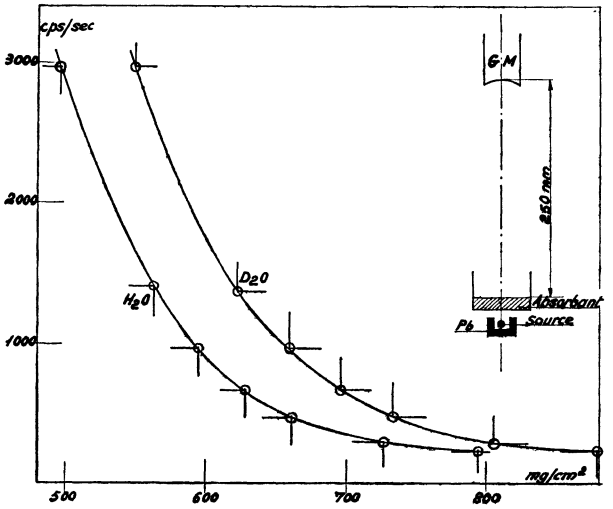

FIG. 1.

par le compteur de Geiger est portée en fonction du poids de l'absorbant par cm² et les courbes obtenues sont différentes. Elles coïncident dans la figure 2, où l'on a porté en abscisse le nombre de moles par cm².

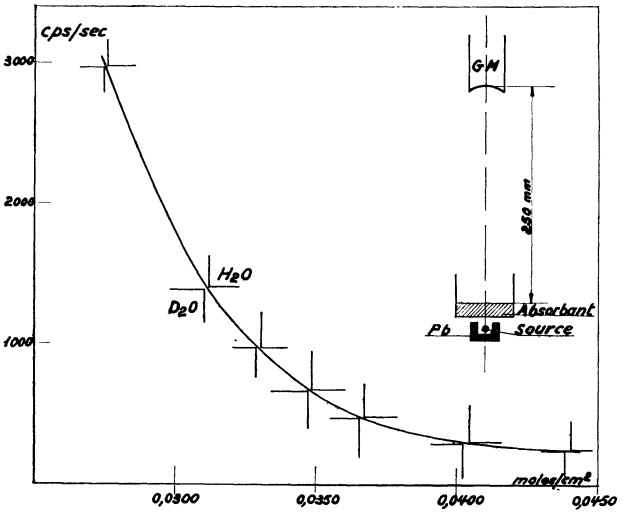

FIG. 2.

On a d'autre part comparé la rétrodiffusion par l'eau légère et par l'eau lourde. Pour ce faire, un compteur de Geiger et une source radioactive de ^{32}P ont été placés côte à côte. En plaçant en face de ce dispositif un réflecteur en eau légère, un réflecteur en eau lourde ou pas de réflecteur, on mesure respectivement 9 855 ± 19, 9 833 ± 19 et 1 790 coups/min. On n'observe donc pas de différences entre H_2O et D_2O en ce qui concerne l'absorption et la rétrodiffusion des rayons β.

3. **Précautions à prendre dans l'utilisation de formules empiriques donnant des coefficients d'absorption et de rétrodiffusion.** — Muller [3], [5], [6], et d'autres après lui ont supposé que le coefficient de rétrodiffusion d'échantillons contenant plusieurs éléments dépendait d'un nombre atomique moyen

$$\overline{Z} = \sum_i c_i Z_i$$

où les c_i sont les concentrations pondérales en éléments i de nombre atomique Z_i.

Une telle formule entraîne évidemment que le coefficient de rétrodiffusion dépend notablement du nombre de masse des éléments. Mis à part le fait que cette formule exagère la grandeur des effets isotopiques, ce ne pourrait être que fortuitement qu'on pourrait trouver un accord entre une formule de ce genre et l'expérience.

D'autres formules empiriques (voir par exemple [13], [4]) sont également criticables.

Semblablement, Fournier [8] et beaucoup d'autres après lui utilisent pour coefficient massique d'absorption d'un composé chimique l'expression suivante :

$$\mu = \sum_i c_i \mu_i \qquad (1)$$

où les μ_i sont les coefficients massiques d'absorption des éléments i. De plus, les coefficients d'absorption massique des éléments sont donnés comme des *fonctions de Z*, sans que soit considérée l'influence du nombre de masse. En fait, des formules telles que (1) ne peuvent donner des résultats satisfaisants que si on admet — ce qui doit être approximativement juste — que *les coefficients massiques d'absorption des éléments sont inversement proportionnels à leur masse atomique.*

A ce sujet, il convient de souligner l'intérêt des formules empiriques proposées par Husain et collaborateurs [9], [10], [11], [12].

4. **Conclusions et applications analytiques.** — *a*) Les seuls effets isotopiques notables, dans l'interaction des β avec la matière, sont des effets dus à des différences de volumes molaires. Ces différences elles-mêmes sont, rappelons-le, généralement faibles.

b) Dans les problèmes d'absorption et de rétrodiffusion β, les variables du système sont :

1° l'énergie des rayons β utilisés ;

2° la nature chimique des éléments constituant l'échantillon et leurs concentrations atomiques (et non pas massiques).

c) Il est préférable d'utiliser des coefficients d'absorption atomiques ou molaires plutôt que des coefficients d'absorption massiques.

d) La rétrodiffusion β n'est pas intéressante pour effectuer des dosages isotopiques. Pour de tels dosages, on peut utiliser l'absorption β. Les figures 1 et 2 indiquent à titre d'exemple la possibilité de mesurer le nombre de molécules présentes dans un poids donné d'eau, et de déterminer ainsi le pourcentage en eau lourde de l'échantillon considéré.

Note complémentaire ajoutée en cours d'impression

Cas de l'hydrogène et du deutérium. — Pour comparer la rétrodiffusion β, à saturation, par l'hydrogène et le deutérium, nous avons utilisé une cuve cylindrique en aluminium de 25,4 cm de hauteur et de 29,4 cm de diamètre. Nous y avons disposé une source de soufre-35 (déposée sur un disque en polystyrène) à côté d'un compteur de Geiger à mince fenêtre en bout. Le rayonnement β émis par la source ne pouvait pas atteindre directement la fenêtre du compteur.

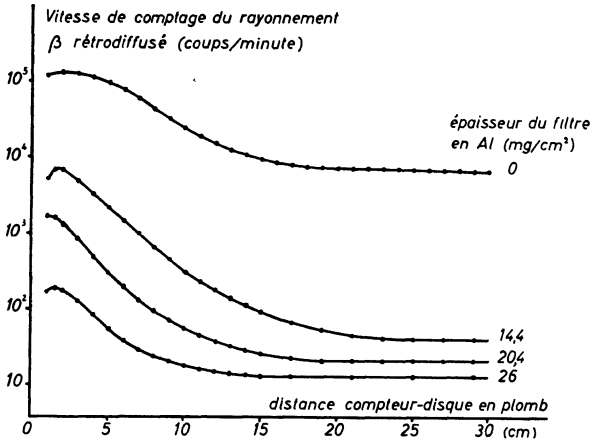

Fig. 3.

La source de soufre-35 a été recouverte d'un filtre en aluminium de 20,4 mg/cm², afin de réduire suffisamment l'énergie maximum de son rayonnement β pour éviter les diffusions d'électrons par les parois de la cuve. Pour choisir l'épaisseur du filtre, nous avons placé l'ensemble (compteur-source β) en atmosphère d'hydrogène et vis-à-vis d'une plaque circulaire en plomb de 12 cm de diamètre et de 4 mm d'épaisseur. Nous avons ensuite observé, pour différentes épaisseurs du filtre, les valeurs de la vitesse de comptage en fonction de la distance compteur-plaque de plomb. Les résultats de ces essais sont représentés sur la figure 3.

Résultats. — La vitesse de comptage mesurée après avoir rempli la cuve de deutérium (contenant 0,5 % en volume d'azote) sous une pression de 86 cm de mercure, est de 201,3 coups/minute à 1 % près (résultat corrigé de la décroissance de la source et du bruit de fond).

Avec un mélange de 99,5 % en volume d'hydrogène et de 0,5 % d'azote, à la même pression que ci-dessus, nous avons observé une vitesse de comptage de 204,6 coups/minute à 1 % près.

L'hydrogène pur a donné lieu à une vitesse de comptage de 183,7 coups/minute, dans les conditions ci-dessus.

Nous avons vérifié que le rayonnement de freinage des électrons émis par la source utilisée n'influençait pas les mesures.

Conclusion. — Nos résultats montrent que, dans les limites de précision de nos mesures (1 %), les intensités des rayonnements β rétrodiffusés à saturation par l'hydrogène et le deutérium, dans les mêmes conditions, sont égales.

Nous remercions vivement MM. M. Abrassart et M. Chevry qui nous ont efficacement aidé lors des mesures et des analyses.

Manuscrit reçu le 1er août 1963,
complété le 18 janvier 1964.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Hofstader (R.), *Rev. Mod. Physics*, 1956, **28**, 214.
[2] Stevenson (D. P.) et Wagner (C. D.), *J. Chem. Physics*, 1951, **19**, 11.
[3] Müller (D. C.), *Anal. Chem.*, 1957, **29**, 975.
[4] Danguy (L.), Contribution à l'étude de la rétrodiffusion β, Monographie n° 10 I. I. S. N., Bruxelles, 1962.
[5] Müller (R. H.), *Phys. Rev.*, 1954, **93**, 891.
[6] Müller (R. H.), *Rad. in the Phys. Sc. and Ind.*, 1962, **11**, 65 ; I. A. E. A.
[7] Müller (R. H.), *Anal. Chem.*, 1957, **29**, 969.
[8] Fournier (G.), *Ann. Phys.*, 1927, **8**, 205.
[9] Hilmi (A. K.) et Husain (S. A.), Proc. 2nd U. N. Int. Conf., P. U. E. A., 1958, **20**, 238.
[10] Husain (S. A.) et Hilmi (A. K.), *Proc. Phys. Soc.*, London, 1957, A **70**, 902.
[11] Husain (S. A.) et Putman (J. L.), *Proc. Phys. Soc.*, London, 1957, A **70**, 304.
[12] Husain (S. A.), Proc. 2nd U. N. Int. Conf., 1958, **19**, 213.
[13] Everhart (T. E.), *J. Appl. Physics*, 1960, **31**, 1483.