

Mesure absolue d'énergie dans le spectre β du dépot actif de thorium

R. Arnoult

► To cite this version:

R. Arnoult. Mesure absolue d'énergie dans le spectre β du dépot actif de thorium. Journal de Physique et le Radium, 1934, 5 (2), pp.67-70. 10.1051/jphysrad:019340050206700 . jpa-00233203

HAL Id: jpa-00233203 https://hal.science/jpa-00233203

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.

MESURE ABSOLUE D'ÉNERGIE DANS LE SPECTRE β DU DÉPOT ACTIF DE THORIUM

Par R. ARNOULT.

Sommaire. — Nous avons, par la méthode de focalisation, effectué une détermination en valeur absolue de l'énergie de la raie la plus intense du speetre β du dépôt actif de Thorium.

L'article ci-dessous contient l'exposé des méthodes de mesure employées et les résultats de ces mesures.

1. — Nous nous sommes proposé de reprendre, par la méthode de focalisation, la détermination de l'énergie de la raie la plus intense du spectre β du dépôt actif de Thorium. D'une mesure absolue faite par Ellis et Skinner (¹), en 1924, sur le Ra*B* (précision : 2 pour 1 000), Black (²) avait déduit, en 1925, pour cette raie intense, émise par le Th*B*, la valeur HR = 1 398 gauss.cm (*H*: champ magnétique; *R*: rayon de courbure de la trajectoire). Meitner (³) avait, quelques années avant, indiqué la valeur HR = 1 385 gauss. cm. Plus récemment, Ellis (⁴), faisant une mesure absolue directement sur le spectre de Thorium, donnait la valeur HR =1385,8 (précision : 1 pour 1000). Entre temps, Thibaud (⁵) avait trouvé HR = 1380 (précision 2 pour 1000).

Nous allons étudier successivement la mesure du champ et celle du rayon de courbure.

2. Conditions expérimentales. — On employait pour créer le champ magnétique, les cadres de Helmholtz, décrits par d'Espine (6) dans sa thèse. Leurs dimensions ne permettent pas l'emploi d'une balance de Cotton pour des mesures de précision, nous avons utilisé la méthode d'induction, suivant les deux techniques déjà étudiées par plusieurs auteurs. Une bobine, de surface connue, est mise en série avec le secondaire d'une inductance mutuelle étalon et un fluxmètre (ou un galvanomètre). On fait rapidement tourner la bobine de 180°, en même temps que l'on inverse le courant dans le primaire de l'inductance mutuelle. - On règle ce courant de façon à réaliser la compensation exacte des flux à travers le circuit. On peut aussi inverser le courant après la rotation de la bobine et le régler pour obtenir l'égalité des flux produits dans les deux opérations successives.

Un premier montage potentiométrique sert à mesu-

rer avec précision le courant *J* envoyé dans les cadres d'Helmohltz. Il permet de reproduire le même champ pour différents clichés et d'assurer sa constance pendant la durée des poses.

On mesure, en réalité, la différence de potentiel $r_1 J$ aux bornes d'une résistance r_1 , et, si l'on est certain que cette résistance est invariable, il est inutile de connaître la valeur absolue de J. Pour éviter son échauffement, la résistance r_1 est plongée dans du pétrole, et sa constance est vérifiée par le fait que les rayons de courbure d'une même raie, mesurés sur des clichés pris à plusieurs mois d'intervalle, avec un champ que l'on s'est efforcé de reproduire avec la plus grande précision possible, ne différent pas entre eux de 4/10 000. Afin de pouvoir, cependant, donner une expression du champ en fonction du courant, nous avons fait étalonner cette résistance au Laboratoire Central d'Electricité. Sa valeur, à 22° (température d'emploi), est 0° , 40755 \pm 0,00005. Les boîtes de résistances utilisées sont des boîtes à fiches, de 11 110 ohms, dont la vérification a été faite à l'aide d'un pont Leeds et Northrup étalonné au Laboratoire Central. Les valeurs réelles ne diffêrent pas des valeurs indiquées de plus de 6/10 000 et elles sont connues, en valeur absolue, à 2/100 000.

On emploie des accus au plomb, utilisés dans le palier de leur courbe de décharge et dont la valeur est mesurée, au début et à la fin de chaque expérience, à l'aide d'un élément Weston étalonné au Laboratoire Central. On a utilisé plusieurs éléments Weston, afin de vérifier la concordance des résultats. Même avec des poses de plusieurs heures on n'a jamais constaté de variation appréciable de la f. e. m. des accus. L'élément Weston, les boîtes de résistances et les accumulateurs sont, chacun, doublement isolés par de la porcelaine et de l'ébonite.

Le galvanomètre employé est un Chauvin-Arnoux (type mural) donnant 6 mm (à 1 mètre) pour 10^{-7} ampère. Il sert d'appareil de zéro pour mesurer les accumulateurs et vérifier la constançe du courant J pendant la durée des poses. A une variation relative de 1/1000 d'un courant J de l'ordre de 16 ampères correspond un déplacement du spot de 17 mm. On peut (surtout pour les poses courtes employées quand on désire avoir

⁽¹⁾ ELLIS et SKINNER, Proc. roy. Soc., 1924, 105 A, p. 50.

⁽²⁾ BLACK, Proc. roy. Soc., Sept. 1925, vol. 109 A, p. 166.

⁽³⁾ MEITNER, Z. Phys , 1922, 9, 3.

⁽⁴⁾ ELLIS, Proc. roy. Soc., 1932, vol. 138 A, p. 318.

 ⁽⁵⁾ THIBAUD, Thèse. Annales de physique, Janvier-Février 1926, Tome 5.

⁽⁶⁾ D'ESPINE, Thèse. Annales de physique, Juillet-Août 1931, Tome 6.

3. Inductance mutuelle étalon. — L'inductance mutuelle étalon que nous avons employée (⁴) est constituée par deux bobines coaxiales enroulées sur un cylindre de marbre blanc. Sa valeur calculée a été vérifiée par comparaison avec les étalons du National Physical Laboratory, à Londres, et, de l'avis de M. Jouaust, cette valeur : 8,602 millihenrys internationaux (8,605 millihenrys absolus) peut être considérée comme exacte au dix-millième.

Avec les bobines exploratrices employées, le courant i passant dans le primaire de cette inductance est de l'ordre de quelques milliampères. On le mesure potentiométriquement en le faisant passer dans une résistance fixe r_2 , étalonnée au Laboratoire Central. Sa valeur est de 1000, 20 ohms internationaux (1000,64 ohms absolus) aprés passage d'un courant de 10 milliampères, l'erreur commise étant inférieure à 5/100 000. La précision de la mesure au potentiomètre étant d'autre part, de $3/10\ 000$, le courant i est connu avec une erreur relative certainement inférieure à $4/10\ 000$. On mesure ce courant avant et après l'inversion. A cette précision des mesures, les deux valeurs ont toujours été trouvées égales.

4. Bobines exploratrices. — Nous avons construit deux bobines exploratrices. Chacune d'elles est contituée par un petit cylindre creux de duralumin de 8 mmde diamètre, et d'épaisseur égale à 3 mm pour la première, et 0,5 mm pour la deuxième. La susceptibilité de ce duralumin, mesurée à la balance de Curie Chéneveau, est de $+ 28.10^{-6}$ c. g. s. Les joues, taillées dans le même bloc de duralumin, ont 1 cm de diamètre.

Dans la gorge ainsi obtenue, on a enroulé 6 couches de de cuivre émaillé de 0,1 mm de diamètre, noyé dans de la gomme laque. Après séchage, on a serti chaque bobine dans un manche de prespan (susceptibilité : $5,10^{-6}$ c. g. s.) — en ayant soin de torsader les fils quittant la bobine, de façon à éviter toute surface parasite. Ils sont, à leur extrémité, fixés à deux bornes qui (étant donnée la longueur du fil torsadé) peuvent rester fixes pendant la rotation de la bobine. On vérifie avant le bobinage, que le fil employé n'est pas ferromagnétique en étudiant ses oscillations dans l'entrefer d'un électroaimant. Les précautions prises dans la construction de ces bobines n'étant cependant pas suffisantes pour calculer géométriquement leur surface avec précision, elles furent comparées à une bobine très

soigneusement construite par M. Dupouy (¹), et dont il estime la surface (128,36 cm²) connue avec une précision du dix-millième.

Cette comparaison donne, pour les deux bobines employées, des surfaces de : $s_1 = 25,63$ cm² et $s_2 = 63,89$ cm², avec une précison de 1/1000. La première a servi pour la mesure des champs compris entre 100 et 200 gauss; la seconde pour les champs inférieurs à 100 gauss. Au voisinage d'une centaine de gauss, des mesures faites avec les deux bobines nous ont permis de vérifier l'exactitude du rapport des surfaces données.

La bobine exploratrice est fixée à l'extrémité d'un axe en bois qu'un sytème réglable de ressort et de poids permet de faire tourner plus ou moins rapidement. Pour vérifier que la rotation est rigoureusement de 480°, on fixe à l'extrémité de l'axe, et suivant un diamètre, un fil de soie très fin. On amène le réticule d'une lunette en coïncidence avec l'image du fil, on fait tourner l'axe, et l'on règle la butée de façon qu'après rotation, l'image du fil coïncide de nouveau avec le réticule de la lunette. On peut ainsi obtenir une précision de quelques minutes d'angle sur la rotation de 480°.

Pour mettre les spires de la bobine exploratrice dans un plan perpendiculaire aux lignes de force du champ magnétique, deux procédés sont employés. Pour les mesures faites au centre géométrique des cadres, on introduit dans la bobine exploratrice, perpendiculairement aux spires, un petit cylindre de papier — et on examine un rayon lumineux dirigé suivant l'axe géométrique des cadres et traversant ce cylindre. Ce rayon est arrêté quand l'angle de la normale à la bobine et de l'axe des cadres est égal à 40'. L'erreur commise est donc certainement inférieure à 7/100.000.

Quand la bobine exploratrice ne se trouve pas at centre des cadres, on se sert, pour régler son orientation, d'un système de fils à plomb fixés aux montants, distants de 30 cm, et disposés dans un plan parallèle aux spires. Une lunette permet de viser, dans ce plan vertical, le système de fils et l'axe de rotation de la petite bobine exploratrice. L'erreur finale sur la mesure est du même ordre que la précédente (on le vérifie en employant les deux procédés d'orientation, la bobine étant au centre géométrique des cadres). L'extrémité de l'axe opposée à la bobine porte un système de balais, permettant d'inverser, à un instant réglable de la rotation, le courant dans le primaire de l'inductance.

5. Mesures de champ. — Voulant faire des mesures de champ en des points bien déterminés de l'espace, on ne pouvait songer à employer des bobines de très grandes surfaces. D'autre part, les champs fournis par les cadres ne dépassant pas 200 gauss, il

⁽¹⁾ Cette inductance nous a été prètée, très obligeamment, par M. Jouaust, sous-directeur du Laboratoire Central d'Electricité, que nous remercions vivement pour les conseils qu'il nous a donnés en plusieurs occasions.

⁽¹⁾ S. ROSENBLUM et G. DUPOUY, J. Phys., 1933, 5, p 262. — La comparaison a été faite dans un champ connu, à l'aide du montage potentiométrique décrit par ces auteurs. Nous adressons ici tous nos remerciements à M. Dupouy qui a bien voulu se charger de cette comparaison.

en résulte que les fluxmètres Grassot usuels, généralement employés dans les mesures de ce genre, ne possèdent pas une sensibilité suffisante.

Nous avons fait deux séries de mesures, en employant successivement dans le circuit du secondaire de l'inductance mutuelle, un galvanomètre Thomson et un galvanomètre Zernike. Nous avons constitué le système mobile du galvanomètre Thomson de quatre petits aimants, aussi semblables que possible, fixés sur une lamelle de mica en des positions déterminées, par tâtonnements, de façon à obtenir la meilleure astatisation. Les dimensions du support de mica sont réglées par les conditions d'amortissement. Après de nombreux essais, nous sommes parvenus à réaliser un système astatique permettant d'obtenir une déviation de 1 mm (à 1 mètre) par 10-11 ampère, en employant les bobines de plus faible résistance (30 ohms) du galvanomètre. L'emploi de l'appareil étant alors très délicat, et une telle sensibilité étant inutile pour les mesures à effectuer, nous avons réglé l'aimant directeur de facon à avoir une déviation de 3 mm pour 10-9 ampère. La période complète des oscillations est alors de 30 secondes. En employant la bobine exploratrice de 23 cm² pour mesurer des champs voisins de 20 gauss, on a, sans compensation, une déviation du spot allant de 1 000 à 1 500 mm.

Le galvanomètre est disposé le plus loin possible des cadres et soigneusement protégé contre les vibrations mécaniques. On observe le spot avec une lunette. La rotation de la bobine exploratrice s'effectuant en un temps voisin de 1/20 de seconde, on ne parvient pas à obtenir l'immobilité complète du spot pendant toute la rotation. Néanmoins, l'aspect de son mouvement varie beaucoup avec le courant envoyé dans l'inductance, et l'on peut mesurer avec précision un courant tel que son élongation ne dépasse pas 1 mm, de part et d'autre de la position d'équilibre. Une étude de l'erreur pouvant résulter du fait que la self induction du circuit du galvanomètre n'est pas absolument nulle, nous a montré qu'elle est négligeable par rapport à la précision des mesures.

Après avoir fait, par ce procédé, un grand nombre de mesures dans l'air et à l'intérieur de la chambre en laiton servant pour la focalisation, nous les avons reprises avec un galvanomètre à cadre de grande sensibilité (1 mm à 1 mètre pour 6.10⁻¹⁰ ampères; résistance intérieure : 25 ohms; période : 8 secondes). Sa courte période ne permettait pas de l'utiliser comme appareil de zéro, mais la fixité de sa position d'équilibre est suffisante pour qu'on puisse l'employer à des mesures suivant une technique déjà décrite par différents auteurs : on règle la sensibilité du galvanomètre de façon que chacune des deux quantités d'électricité produise une élongation de 500 à 800 mm (les deux déviations ayant lieu du même côté); une lunette permet d'examiner la position d'équilibre et une autre l'extrémité de l'élongation; on fait deux lectures successives : l'une relative à la rotation de la bobine l'autre à l'inversion du courant dans la mutuelle (cette

inversion étant toujours effectuée par la rotation de l'axe portant la bobine); en vérifiant que la position d'équilibre n'a pas varié, on règle le courant dans la mutuelle pour que les deux élongations soient égales; ce réglage obtenu, on vérifie que plusieurs séries de mesures restent bien concordantes.

La production du courant induit par rotation de la bobine et celle par inversion du courant dans l'inductance ne suivant pas les mêmes lois, — et ces deux phénomènes n'ayant pas une durée négligeable devant la période du galvanomètre, nous avons cherché quelle erreur pouvait en résulter. On peut démontrer que si t est le temps de la rotation (ou de l'inversion) et T la période du galvanomètre, l'erreur relative est de l'ordre de $\left(\frac{t}{t}\right)^2$ — soit ici, de $\left(\frac{1}{t}\right)^2$.

l'ordre de
$$\left(\frac{1}{T}\right)$$
 -- soit, ici, de $\left(\frac{1}{160}\right)$

Les écarts entre les résultats obtenus par les deux méthodes sont de l'ordre des erreurs expérimentales, bien que les nombres trouvés par l'emploi du galvanomètre Thomson paraissent systématiquement un peu plus faibles.

Enfin, en supposant connue, en fonction du courant J, la valeur absolue du champ ou centre géométrique des cadres, nous avons complété l'étude de la topographie dans le plan médian par des mesures différentielles effectuées d'une part à l'aide d'une bobine de 150 000 cm² et d'un fluxmètre Grassot, d'autre part à l'aide de la bobine de 63 cm² et du galvanomètre Zernike.

L'ensemble des résultats obtenus permet d'abord de constater que les valeurs mesurées dans la chambre sont, en moyenne, de 1/1000 plus grandes que celles mesurées dans l'air. En tenant compte des dimensions de l'appareil employé, la théorie des cadres d'Helmholtz (¹) donne pour le champ en un point du plan médian à la distance r du centre, la valeur (en gauss) :

$$H = 12,54(0,992 + 22,5.10^{-7}r^2 - 10^{-7}r^i)i_{amp} \quad (1)$$

(*i*: courant dans les cadres).

On en déduit que le champ est symétrique par rapport à l'axe des cadres, passe par un maximum pour r = 10.6 cm, et reprend la même valeur qu'au centre pour r = 45 cm.

Le résultat auquel nous parvenons est tout à fait différent. Le champ est bien de révolution autour de l'axe des cadres, mais il décroît constamment en partant du centre. On a encore proportionnalité au courant i, mais avec un coefficient plus élevé que celui de la formule (1). La topographie, dans le plan médian, reste sensiblement la même pour des valeurs différentes du courant, et le champ est homogène, à 1/1000près dans un rayon de 6 cm.

Si l'on veut représenter l'ensemble des mesures par une formule analogue à (1), on a, avec une bonne pré-

(1) MAXWELL, Traité d'électricité et de magnétisme, tome II. – D'ESPINE, loc. cit.

cision jusqu'à une distance du centre supérieure à 30 cm:

$$H = 12,89(1 - 26, 6.10^{-6}r^2 - 0.066.10^{-6}r^4)i_{amp} \quad (2)$$

Le long de l'axe des cadres, le champ va aussi en diminuant, en partant du centre. Sa décroissance est inférieure à 1/1000 jusqu'à une distance de 5 cm.

6. Correction de Hartree. — On peut tenir compte du léger défaut d'homogénéité du champ le long des trajectoires à l'aide de la formule établie par Hartree (1) :

$$H_{\rm eff} = H_S + \int_0^\pi \sin\varphi \Delta H \,\mathrm{d}\varphi$$

 H_S est le champ mesuré à l'emplacement exact de la source et φ est l'angle que forme la direction du mouvement le long de la trajectoire avec la direction primitive en S. On peut faire cette correction soit graphiquement, soit analytiquement, en utilisant la formule (2) de distribution du champ (compte tenu de la présence de la chambre en laiton). La correction de Hartree a toujours été trouvée inférieure à 2/1000.

7. Mesure du rayon de courbure R. — La source rayonnante S est constituée par une feuille d'or (épaisseur : 5/100 mm) que l'on active seulement sur



la tranche en la maintenant serrée entre deux parallélépipèdes de verre. Elle est ensuite fixée dans un support d'aluminium ajusté au-dessous du milieu de la fente $\mathbf{F} \mathbf{F}'$ (la vérification étant faite au microscope).

On a
$$R = \frac{1}{2}\sqrt{A^2 + d^2}$$

L'extrémité de la plaque photographique est appliquée contre une butée B — dont a déterminé, à l'aide d'une machine à diviser, la distance b au centre de la fente. — Les bords de cette fente sont en or, et suffi-

(1) HARTREE. Proc. Cambr. Phil. Soc., 1923, 24, p. 746.

samment bien définis pour que la moyenne d'un assez grand nombre de mesures donne la distance b avec une précision de 1/4000. La mesure de la distance dest également faite à la machine à diviser. Etant, d'ailleurs petite (3,4 cm) par rapport à A (de l'ordre de 10 cm) elle n'a pas besoin d'être connue avec une aussi grande précision.

L'erreur commise sur R est pratiquement égale à celle commise sur A. Nous l'estimons inférieure à $4/10\ 000$.

Résultats. — Nous avons, pour la mesure de HR, utilisé 13 clichés — dont 9 obtenus avec une même valeur du champ (H = 204, 2 gauss).

On obtient la valeur moyenne :

$$HR = 1 \ 381,5$$

ce qui correspond à une vitesse relative

$$\beta = \frac{v}{c} = 0,6291$$

et à une énergie

$$E = 146,88$$
 électron-kilovolts

en adoptant pour valeurs des constantes fondamentales celles publiées, en 1930 par la Commission internationale de l'étalon de radium (¹).

D'après ce qui précède, nous estimons l'erreur commise sur la mesure du champ inférieure à $15/10\ 000$; celle commise sur la mesure de R, inférieure à $3/10\ 000$. Il en résulte que nous pensons avoir atteint une précision certainement supérieure à deux millièmes sur la détermination du produit HR.

Il semble, d'ailleurs, actuellement impossible d'obtenir, dans les mesures absolues de champ, une certitude plus grande. Les travaux de plusieurs auteurs (²) ont, en effet, montré qu'il existe une différence systématique entre les résultats des mesures effectuées par la méthode de la balance et celles effectuées par la méthode d'induction, les premières étant plus faibles que les secondes d'environ 18/10 000. Aucune explication satisfaisante n'a pu, jusqu'à présent, être donnée pour expliquer cet écart systématique, qui fixe la limite de la précision à espérer.

Nous sommes très heureux d'exprimer toute notre respectueuse gratitude à M^{me} P. Curie qui a bien voulu s'intéresser à ce travail et mettre à notre disposition les ressources de son laboratoire. Qu'il nous soit permis également d'apporter ici un hommage ému à la mémoire de notre cher collaborateur et ami André Régnier, avec qui nous avions commencé ce travail qu'une mort prématurée ne lui a pas permis d'achever.

Manuscrit reçu le 3 janvier 1934.

⁽¹⁾ J. Phys., Sept. 1931, Série vii, tome 2, nº 9, p. 273-289.

⁽²⁾ Sève, Thèse. Annales phys. et chim., 1912, t. 27, p. 189; PICCARD et DEVAUD, Arch. sc. phys. et. Nat, 1920, Série v, t. 2, p. 484; FOEX, Ann. phys., 1921, Série 1X, t. 16, p. 190.