

LA LOI PHOTOÉLECTRIQUE D'EINSTEIN ET LE PHÉNOMÈNE DE CONVERSION INTERNE

par MANUEL VALADARES¹ (À LISBONNE)

(Octobre, 1942)

§ 1. Parmi les différentes méthodes utilisées pour l'étude du spectre du rayonnement γ il y en a deux qui permettent d'obtenir des mesures précises des longueurs d'onde : — la spectrographie cristalline et l'analyse du spectre β de conversion interne.

Voyons de plus près quelles sont les causes d'erreur qui interviennent dans ces deux méthodes. La spectrographie cristalline est basée sur la formule de Bragg

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

et, par conséquent, l'erreur dans la détermination de la longueur d'onde λ provient, outre l'erreur dans la détermination des grandeurs géométriques qui conduisent à l'évaluation de θ , de la précision avec laquelle on connaît la distance réticulaire «d» du cristal employé dans le spectrographe.

Dans l'analyse du spectre β on détermine expérimentalement le produit $H\rho$ de l'intensité du champ magnétique H par le rayon de courbure ρ . Cette mesure vient affectée naturellement par les erreurs commises soit dans la détermination magnétique de H soit dans la détermination de la longueur ρ . Après avoir déterminé le produit $H\rho$ on calcule l'énergie correspondante des particules β par la formule

$$E = m_0 c^2 \left[\left\{ 1 + \left(\frac{H\rho e}{m_0 c} \right)^2 \right\}^{1/2} - 1 \right]$$

et on introduit ainsi des nouvelles erreurs provenant de l'imprécision des valeurs attribuées à «e», « m_0 », «c».

Le faisceau β dont on a déterminé l'énergie correspond aux électrons d'un certain niveau de l'atome, niveau pour lequel le travail d'extraction est W . Ce travail d'extraction est calculé d'après la longueur d'onde, déterminée par spectrographie cristalline de la discontinuité d'absorption

¹ Boursier de l'«Instituto para a Alta Cultura».

du spectre de rayons X de l'élément qui émet le rayonnement γ ; le travail W et la longueur d'onde correspondante λ_w sont liés par la formule

$$h \frac{c}{\lambda_w} = W$$

λ_w ayant été déterminée par la formule de Bragg. La précision dans la valeur de W dépend, par conséquent, de la précision de «d», «h», «c», outre celle de l'angle de Bragg qui a conduit à évaluer λ_w . Finalement la longueur d'onde du rayonnement γ sera obtenue par application de la loi photoélectrique d'Einstein

$$h\nu = E + W$$

$$\frac{hc}{\lambda} = E + W.$$

Il est évident que la comparaison des valeurs obtenues par les deux méthodes pour la longueur d'onde d'un rayonnement γ permet de contrôler la précision avec laquelle la loi photoélectrique d'Einstein est valable pour le phénomène de conversion interne.

Cette vérification a été faite d'abord par Thibaud [1] pour un rayonnement de 52 U. X. (transmutation Th B \rightarrow Th C) et plus tard par Frilley [2] qui a montré que la loi d'Einstein est valable jusqu'à la longueur d'onde 16 U. X.

Nous avons, en 1932, essayé de réaliser des mesures plus précises du rayonnement γ par spectrographie cristalline dans le but d'attendre, au moins, la même précision qu'on possédait dans le domaine de la spectrographie magnétique β . Dans ce but nous avons repris la mesure d'un rayonnement γ émis dans la transmutation Ra B \rightarrow Ra C et pour lequel Frilley avait déterminé la longueur d'onde 232 U. X. Nos mesures [3] ont porté à la valeur $232,7 \pm 0,4$ U. X.

Pour la comparaison avec les données de la spectrographie magnétique, une difficulté s'est présentée, pourtant. On avait comme mesures plus précises du spectre β émis dans cette transmutation celles de Ellis et Skinner [4]; or Ellis [5] a annoncé, précisément en 1932, que ses anciennes mesures présentaient une erreur systématique dont l'ordre de grandeur était de $7 \frac{0}{00}$ sur la valeur de $H\phi$. Comme Ellis n'avait pas encore fait de nouvelles mesures de cette région du spectre β , la comparaison était difficile d'autant plus qu'on n'avait pas à l'époque des données précises sur le rapport de l'unité X au centimètre (L'unité X est définie comme étant une longueur telle que la distance réticulaire 1.0.0 du sel gemme, à 18° C, est 2814,00 U. X.).

En 1934 Ellis [6] a publié les résultats de nouvelles mesures sur le spectre β de conversion interne émis dans la transmutation $\text{Ra B} \rightarrow \text{Ra C}$, et récemment Harper et Roberts [7] ont donné aussi les valeurs des énergies de quelques raies fondamentales de ce spectre.

Par ailleurs, on connaît aujourd'hui avec une bonne précision la distance réticulaire des cristaux exprimée en centimètres. Il nous a paru, alors, intéressant de voir de nouveau jusqu'à quelle précision on pouvait considérer vérifiée la formule d'Einstein, d'autant plus que les valeurs de certaines constantes fondamentales ont, depuis 1933, assez varié.

§ 2. Spectrographie magnétique β . En employant les valeurs de $H\beta$ données par Ellis et Skinner (1924), Ellis (1934), Harper et Roberts (1941) et adoptant pour les constantes les valeurs [Birge-Décembre 1941]

$$e/m_0 = 1,7592 \times 10^7 \text{ U. E. M.}$$

$$c = 2,99776 \times 10^{10} \text{ cm/s} \quad c^2 = 8,98657 \times 10^{20} \text{ (cm/s)}^2$$

nous avons recalculé les énergies des différentes lignes du spectre β . On présente ces valeurs dans le tableau I

TABLEAU I

Raie	Ellis et Skinner		Ellis		Harper et Roberts	
	$H\beta$ G. cm	Énergie keV	$H\beta$ G. cm	Énergie keV	$H\beta$ G. cm	Énergie keV
A	660,9	37,07	657,66	36,72	658,9	36,86
Aa	670,0	38,07	663,45	37,35	665,0	37,52
Aal	687,0	39,95	683,99	39,62	.....	.....
B	768,8	49,58	762,66	48,83	766,1	49,25
Ba	.....	.....	764,66	49,07	768,4	49,53
Bal	.....	.....	769,25	49,64	.....	.....
C	793,1	52,62	787,25	51,88	790,4	52,28
Ca	799,1	53,47	793,13	52,62	.....	.....

Ensuite pour calculer l'énergie du quantum γ il faut connaître les travaux d'extraction des électrons d'un atome à numéro atomique 83 (transmutation $\text{Ra B} \rightarrow \text{Ra C}$). Nous avons employé les valeurs données récemment par Cauchois [8] pour les discontinuités d'absorption du bismuth (numéro atomique 83). Ces discontinuités sont données par Cauchois en U. X.; nous avons converti les unités X en centimètres prenant

$$1 \text{ U. X.} = 1,00203 \times 10^{-11} \text{ cm}$$

selon les mesures de Bearden [9], Backlin et Soderman. Ensuite nous avons calculé les énergies correspondantes en adoptant pour h la valeur

$$h = 6,622 \times 10^{-27} \text{ erg} \times \text{s}$$

donnée par les tables de constantes de Kaye et Laby [10].

Le tableau II contient les valeurs de Cauchois et les résultats de nos calculs faits comme nous venons d'indiquer.

TABLEAU II
Numéro atomique 83

Niveau	Longueur d'onde		Énergie keV
	U. X.	cm $\times 10^{-11}$	
L _I	754,56	756,09	16,38 ₂
L _{II}	787,14	788,73	15,70 ₄
L _{III}	921,50	923,37	13,41 ₄
M _I	3088,0	3094,3	4,00 ₃
M _{II}	3339,4	3346,2	3,70 ₂
M _{III}	3882,9	3890,8	3,18 ₃
N _I	13085	13112	0,94 ₅
O _I	73096	73244	0,16 ₉

Le tableau III contient les valeurs de $E+W$, c'est-à-dire, la valeur de $h\nu$ en admettant la loi d'Einstein

TABLEAU III

Ellis et Skinner		Ellis		Harper et Roberts	
E+W	$h\nu$	E+W	$h\nu$	E+W	$h\nu$
37,07+16,38	53,45	36,72+16,38	53,10	36,86+16,38	53,24
38,07+15,70	53,77	37,35+15,70	53,05	37,52+15,70	53,22
39,95+13,41	53,36	39,62+13,41	53,03	.....	.....
49,58+ 4,00	53,58	48,83+ 4,00	52,83	49,25+ 4,00	53,25
.....	.....	49,07+ 3,70	52,77	49,53+ 3,70	53,23
.....	.....	49,64+ 3,18	52,82	.....	.....
52,62+ 0,94	53,56	51,88+ 0,94	52,82	52,28+ 0,94	53,22
53,47+ 0,17	53,64	52,62+ 0,17	52,79	.....	.....
Moyenne	53,56	Moyenne	52,90	Moyenne	53,23

En employant les constantes déjà citées on trouve pour la longueur d'onde de ce rayonnement γ la valeur

Ellis et Skinner .	$231,3 \times 10^{-11}$ cm
Ellis	234,1
Harper et Roberts	232,7.

Le calcul des erreurs dans ces trois mesures est difficile à établir mais il paraît acceptable d'admettre pour la mesure d'Ellis une erreur de $1,0 \times 10^{-11}$ cm et pour celle d'Harper et Roberts $0,5 \times 10^{-11}$ cm.

Ajoutons que bien qu'aucun autre auteur ait mesuré cette région du spectre β émis dans la transmutation $Ra B \rightarrow Ra C$ des mesures effectuées dans d'autres régions et pour d'autres transmutations poussent à admettre les valeurs de Harper et Roberts [Rogers, Phys. Rev., 51 (1937) p. 588; Scott, Phys. Rev., 46 (1934) p. 633; Surugue, Ann. Phys., 8 (1937) p. 484].

§ 3. Spectrographie cristalline γ . Frilley a déterminé pour le rayonnement γ en question la longueur d'onde 232 ± 1 U. X.; il employait un spectrographe Bragg muni d'un cristal de sel gemme.

Nous nous sommes servis du même spectrographe mais en étudiant le spectre dans des ordres supérieurs nous avons pu augmenter la précision de la mesure et trouver la valeur $232,7 \pm 0,5$ U. X.

Réduisant ces nombres à centimètres on trouve

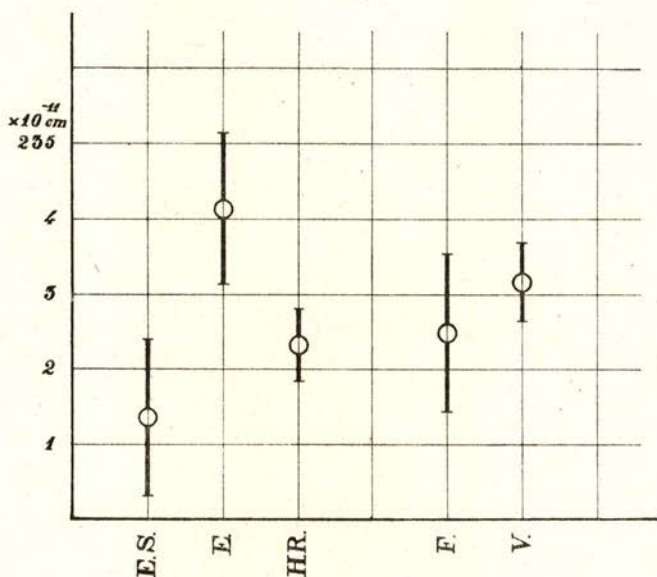
Frilley . .	$232,5 \pm 1,0 \times 10^{-11}$ cm
Valadares	$233,2 \pm 0,5 \times 10^{-11}$ cm .

§ 4. Comparaison des résultats. Le tableau IV contient l'ensemble des valeurs obtenues pour la longueur d'onde du rayonnement γ soit par spectrographie magnétique du rayonnement β dû à la conversion interne soit par diffraction cristalline du rayonnement γ .

TABLEAU IV

Spectre β		Spectre γ	
Auteur	10^{-11} cm	Auteur	10^{-11} cm
Ellis et Skinner	231,3	Frilley	$232,5 \pm 1,0$
Ellis	$234,1 \pm 1,0$	Valadares	$233,2 \pm 0,5$
Harper et Roberts	$232,7 \pm 0,5$		

Pour faciliter la comparaison nous avons aussi représenté ces valeurs dans le diagramme suivant :



E. S (Ellis et Skinner, 1924).

E. (Ellis, 1934).

H. R. (Harper et Roberts, 1941).

F. (Frilley, 1928).

V. (Valadares, 1933).

La comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes montrent que dans la précision actuelle des mesures (de l'ordre de deux pour mille) la loi photoélectrique d'Einstein est valable dans le phénomène de conversion interne du rayonnement γ .

Nous poursuivons maintenant des recherches dans le but d'augmenter la précision des mesures du rayonnement γ par diffraction cristalline.

LABORATOIRE DE PHYSIQUE
FACULTÉ DES SCIENCES
LISBONNE.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. THIBAUD — *Ann. de Phys.*, [10], 5 (1926) p. 73.
- [2] M. FRILLEY — *Thèse*, Paris, 1928.
- [3] M. VALADARES — *Thèse*, Paris, 1933.
- [4] C. D. ELLIS and H. W. B. SKINNER — *Proc. Roy. Soc.*, A 105 (1924) p. 60.
- [5] C. D. ELLIS — *Proc. Roy. Soc.*, A 138 (1932) p. 318.
- [6] C. D. ELLIS — *Proc. Roy. Soc.*, A 143 (1934) p. 350.
- [7] A. F. A. HARPER and N. F. ROBERTS — *Proc. Roy. Soc.*, A 178 (1941) p. 170.
- [8] Y. CAUCHOIS — *Cahiers de Physique*, n° 8 (1942) p. 25.
- [9] J. A. BEARDEN — *Jour. Appl. Phys.*, 12 (1941), p. 395.
- [10] G. W. C. KAYE and T. H. LABY — *Tables of physical and chemical constants*, ninth edition (1941) Ed. Longmans, Green and Co. London.
- [11] R. T. BIRGE — *Phys. Rev.*, 60 (1941) p. 766.

