



**HAL**  
open science

## Les spectres d'électrons de conversion émis dans les transmutations radiothorium $\rightarrow$ thorium $x \rightarrow$ thoron

Salomon Rosenblum, Manuel Valadares, Marcel Guillot

► **To cite this version:**

Salomon Rosenblum, Manuel Valadares, Marcel Guillot. Les spectres d'électrons de conversion émis dans les transmutations radiothorium  $\rightarrow$  thorium  $x \rightarrow$  thoron. *Journal de Physique et le Radium*, 1954, 15 (3), pp.129-133. 10.1051/jphysrad:01954001503012900 . jpa-00234870

**HAL Id: jpa-00234870**

**<https://hal.science/jpa-00234870>**

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.

# LE JOURNAL DE PHYSIQUE

ET

## LE RADIUM

### LES SPECTRES D'ÉLECTRONS DE CONVERSION ÉMIS DANS LES TRANSMUTATIONS RADIOETHORIUM → THORIUM X → THORON.

Par SALOMON ROSENBLUM, MANUEL VALADARES et MARCEL GUILLOT,  
Laboratoire du Grand Aimant-Permanent, Bellevue.

**Sommaire.** — Une nouvelle étude, par spectrographie magnétique à 180°, a permis :

- d'observer quelques raies nouvelles dans le spectre des électrons de conversion émis dans la transmutation  $RTh \rightarrow ThX$  et de donner de ce spectre une interprétation différente de celle qui était acceptée;
- d'étudier le spectre d'électrons de conversion émis dans la transmutation  $ThX \rightarrow Tn$ ;
- de conclure que les rayonnements  $\gamma$  émis dans la désexcitation des premiers niveaux (niveaux A) du  $ThX^*$  et du  $Tn^*$  sont des rayonnements électriques quadrupolaires;
- de comparer nos résultats avec ceux obtenus par d'autres méthodes expérimentales, notamment par diffraction cristalline.

**Introduction.** — Nous avons repris l'étude des spectres d'électrons de conversion émis par le radiothorium en équilibre avec ses descendants dans le but d'éclaircir certaines difficultés rencontrées lors de l'interprétation du schéma de niveaux admis auparavant pour le noyau du  $ThX^*$ . Nous avons étudié également le spectre d'électrons de conversion qui, d'après l'étude de la structure fine du spectre  $\alpha$  du  $ThX$ , devrait être émis dans la transmutation  $ThX \rightarrow Tn$ .

Par ailleurs, on a pu ainsi déterminer, à l'aide des spectres de conversion, le spin du premier niveau excité, soit du  $ThX$ , soit du  $Tn$ , ce qui a permis de contrôler les formules théoriques de l'émission  $\alpha$ . Le premier niveau des noyaux paires-paires provenant de transmutations  $\beta$  avait, à quelques exceptions près, toujours le spin 2, mais on croyait par contre que le premier niveau du noyau descendant du polonium 210 (transmutation  $\alpha$ ) avait le spin 3 [1].

Une nouvelle étude sur d'autres émetteurs  $\alpha$  paires-paires plus faciles à examiner présentait donc un intérêt certain.

#### Transmutation Radiothorium → Thorium X.

— Le spectre d'électrons de conversion interne émis dans la transmutation  $RTh \rightarrow ThX$  a été étudié par Meitner et par Surugue et Tsien [2]; leurs recherches avaient montré que ce spectre était constitué de quatre raies (Meitner avait observé

encore deux raies de faible énergie et intensité, dont l'existence n'a pas pu être confirmée par Surugue et Tsien et que nous ne trouvons pas non plus). Nous avons repris, à l'aide d'un très grand spectrographe magnétique à 180° (rayon de courbure pouvant atteindre 50 cm), l'étude de ce spectre et nous avons pu mettre en évidence que deux de ces raies sont, en réalité, des doublets [3]. Le tableau suivant contient les résultats précédents et ceux que nous avons obtenus pour les  $HR$ ; pour rendre les résultats comparables, nous avons corrigé tous les chiffres en admettant pour  $HR$  de la raie  $F$  du spectre du  $ThB$  la valeur 1388,55 Oe  $\times$  cm donnée par Lindström [4].

TABLEAU I.

Raies.	Surugue et Tsien.		Présent travail.		
	Meitner.	—	HR.	E.	Intensité.
A . . . . .	885	886	893,3	65,97	100
B . . . . .	905	909	915,1	69,03	84
C . . . . .	981	986	989,8	79,96	29
C <sub>1</sub> . . . . .	—	—	994,8	80,71	23
D . . . . .	1003	1009	1013,5	83,57	13
D <sub>1</sub> . . . . .	—	—	1018,5	84,36	2

Les intensités relatives des six raies que nous avons observées ont été déterminées à l'aide d'un microphotomètre Vassy.

Sur la planche I nous reproduisons un spectre d'électrons de conversion du RTh → ThX.

En ce qui concerne l'interprétation de ce spectre d'électrons de conversion, Meitner avait admis primitivement que les quatre raies correspondaient à l'effet Auger des raies  $K\alpha_1$  et  $K\alpha_2$  du ThX, dont la couche K serait ionisée par l'émission  $\alpha$  du RTh; ainsi, les raies A et C correspondraient à des électrons extraits des couches  $L_I$  et  $M_I$  par  $K\alpha_2$  et B et D à des électrons extraits des mêmes couches par  $K\alpha_1$ . Après la découverte de la structure fine  $\alpha$ , Meitner et plus

tard Surugue et Tsien ont admis qu'il s'agissait de deux rayonnements  $\gamma$ , un donnant origine aux raies A et C et l'autre aux raies B et D. Quelle que soit l'interprétation admise — rayonnements X ou  $\gamma$  — l'intervalle énergétique entre les raies A et B devrait être égal à celui entre C et D. Or, nous avons trouvé systématiquement (avec quatre champs magnétiques différents, dont l'intensité a varié de 200 jusqu'à 100 Oe) que l'intervalle A — B est inférieur d'environ 0,5 keV à l'intervalle C — D.

Pourtant des mesures par absorption sélec-

spectre du R Th

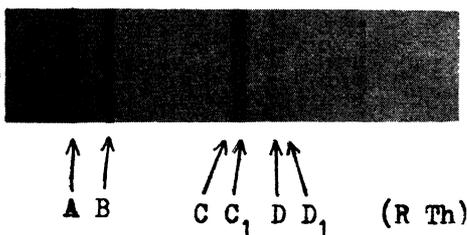


Fig. 1.

raie H R = 1358 Oexcm (Th X)

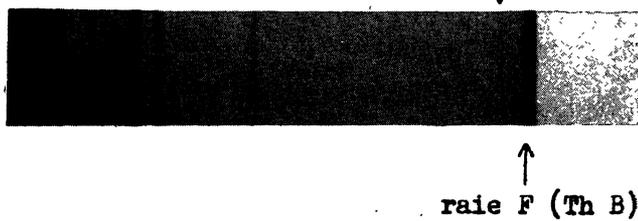


Fig. 2.

raie H R = 1774 Oexcm (Th X)



Fig. 3.

R Th surexposé

raie H R = 1358 Oexcm (Th X)

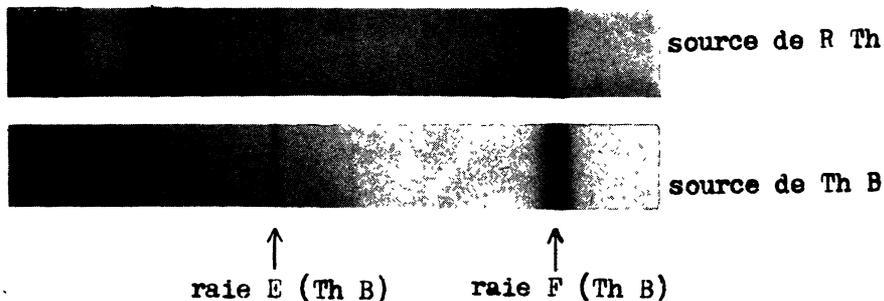


Fig. 4.

tive [5], [6] du rayonnement  $\gamma$  émis dans la transmutation RTh → ThX semblaient confirmer l'existence de deux rayonnements  $\gamma$  d'énergie voisine (84 et 87 keV).

C'est la connaissance des valeurs des coefficients de conversion calculées par Gellman, Griffith et Stanley [7] qui a permis d'interpréter le spectre d'électrons observé comme étant dû à la conversion d'un seul rayonnement  $\gamma E_2$ .

En effet, ces calculs ont montré que les rapports des intensités des trois raies L de conversion interne sont très différents suivant la nature et la polarité du rayonnement  $\gamma$ ; en gros, on peut dire que pour des rayonnements  $\gamma$  de cette énergie les trois raies L ont la même intensité si le rayonnement  $\gamma$  est électrique dipolaire, que la raie  $L_I$  a une intensité négligeable devant  $L_{II}$  et  $L_{III}$  qui auront la même

intensité si le rayonnement  $\gamma$  est électrique quadrupolaire et, finalement, que les intensités des trois raies seront dans le rapport

$$L_I : L_{II} : L_{III} = 100 : 9 : 0,1$$

dans le cas d'un rayonnement magnétique dipolaire.

Or, le fait que l'intervalle énergétique entre les raies A et B était précisément égal à la différence des travaux d'extraction des niveaux  $L_{II}$  et  $L_{III}$  (ce qui d'ailleurs avait contribué à faire penser à Meitner qu'il s'agissait de la conversion de  $K\alpha_1 : K \rightarrow L_{III}$  et de  $K\alpha_2 : K \rightarrow L_{II}$ ) et que les deux raies avaient des intensités comparables nous a conduits à classer les raies de ce spectre de la façon suivante, Tableau II.

Les deux raies C et  $C_1$  doivent correspondre à des sous-niveaux de la couche M; nous avons choisi

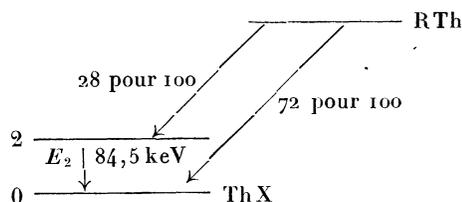
les sous-niveaux  $M_{II}$  et  $M_{III}$  qui semblent donner un meilleur accord numérique avec l'énergie du rayonnement  $\gamma$  de 84,5 keV, calculée à l'aide des raies  $A$  et  $B$ . Pour la même raison de concordance numérique, on a choisi les couches  $N_{III}$  et  $O_{III}$  pour les raies  $D$  et  $D_1$ .

TABLEAU II.

65,97 + 18,48 ( $L_{II}$ ) = 84,45
69,03 + 15,44 ( $L_{III}$ ) = 84,47
79,96 + 4,49 ( $M_{II}$ ) = 84,45
80,71 + 3,79 ( $M_{III}$ ) = 84,50
83,57 + 0,88 ( $N_{III}$ ) = 84,45
84,36 + 0,14 ( $O_{III}$ ) = 84,50
Moyenne..... 84,47 keV

Note. — Énergie des niveaux :  $M^{100}$  Y. CAUCHOIS, *J. Physique Rad.*, 1952, **13**, 113.

On arrive ainsi à la conclusion que le ThX présente un seul niveau à 84,5 keV au-dessus du niveau fondamental ayant le spin 2. Le schéma de la transmutation sera, par conséquent :



L'étude des corrélations angulaires  $\alpha - \gamma$  avait conduit déjà Kulchitski, Latyshev et Bulyginski [8] et Beling, Feld et Halpern [6] à envisager des rayonnements  $E_2$ , mais ces auteurs admettaient encore l'existence de deux rayonnements  $\gamma$ .

Par la suite des nouvelles mesures d'absorption [9], [10] ont confirmé l'existence d'un seul rayonnement  $\gamma$  dans ce domaine d'énergie.

D'autre part, des recherches effectuées par la méthode des coïncidences  $\alpha$ -électrons de conversion ont permis [11] de confirmer que ce rayonnement  $\gamma$  est un quadrupôle électrique. L'étude de l'intensité des différentes raies du spectre  $L$  émis après la conversion interne a conduit [12] à la même conclusion.

D'ailleurs ce rayonnement de 84,5 keV a été observé par Frilley par diffraction cristalline (cité par Surugue et Tsien-San-Tsiang [2]); l'auteur a observé une raie de 147 U.X. (84,3 keV), mais n'a pas pu conclure s'il existait ou non un rayonnement de 87 keV parce que celui-ci serait masqué par  $K\beta_1$  de l'élément 83 (transmutation  $ThB \rightarrow ThC$ ).

Remarquons encore que ce type de spectre de conversion d'un rayonnement  $E_2$  présente d'après nos observations les caractéristiques d'un doublet  $M_{II}$ ,  $M_{III}$  (deux raies sensiblement de la même intensité) et un doublet  $N$ ,  $O$  où les raies ont des intensités

nettement différentes. Comme il n'y a pas de calculs précis concernant la conversion dans les niveaux  $M$ ,  $N$ , ..., ces indications expérimentales peuvent aider au classement des spectres d'électrons de conversion. Ainsi, après avoir étudié ce spectre, nous avons pu classer [13] le spectre d'électrons de conversion émis dans la transmutation  $Io \rightarrow Ra$  comme correspondant à un seul rayonnement  $\gamma E_2$  de 67,2 keV. Il est intéressant de comparer, pour ces deux spectres, les rapports  $\frac{\text{nombre d'électrons de } L_{II}}{\text{nombre d'électrons de } L_{III}}$  théoriques et expérimentaux; le tableau suivant contient ces valeurs.

Transmutation.	Énergie $\gamma$ (keV).	Rapport $\frac{L_{II}}{L_{III}}$	
		calc.	exp.
R Th $\rightarrow$ Th X.....	84,5	1,29	1,19
Io $\rightarrow$ Ra.....	67,2	1,20	1,05

Dans la précision des mesures on peut dire qu'il y a un accord satisfaisant entre les prévisions théoriques et les résultats expérimentaux et l'on peut certainement affirmer qu'expérimentalement le rapport  $\frac{L_{II}}{L_{III}}$  est plus grand dans le cas du RTh  $\rightarrow$  ThX que dans celui du Io  $\rightarrow$  Ra comme prévu par la théorie.

**Transmutation ThX  $\rightarrow$  Tn.** — L'étude du spectre  $\alpha$  du ThX a mis en évidence [14] l'existence de trois raies; les intervalles énergétiques (corrigés du recul du noyau) par rapport à la raie fondamentale sont respectivement de 238 et 497 keV. L'interprétation de cette structure fine se heurtait à une difficulté soulevée par Feather [15]; en effet, les recherches plus récentes entreprises dans le but de mettre en évidence l'existence d'un spectre d'électrons de conversion interne émis par ThX  $\rightarrow$  Tn étaient restées négatives [2].

Nous avons donc repris l'étude du rayonnement de conversion interne émis au cours des transmutations qui conduisent du ThX au ThB; pour faciliter les expériences nous avons surtout employé des sources de radiothorium en équilibre avec ses descendants. On a également utilisé des sources de ThX (contenant très peu de radiothorium) et des sources contenant exclusivement le dépôt actif du thoron. Toutes les plaques obtenues avec des sources de radiothorium ou de thorium X étaient comparées avec des plaques obtenues dans les mêmes conditions de champ magnétique, mais ayant comme source le dépôt actif du thoron.

Nous avons observé quatre nouvelles raies attribuables aux transmutations qui conduisent du ThX au ThB et comme on ne connaît pas de structure fine dans les spectres  $\alpha$  soit du Tn, soit du ThA, on est conduit à attribuer ces quatre raies à la transmutation ThX  $\rightarrow$  Tn. Le tableau suivant indique

les valeurs de *HR* et des énergies de ces quatre raies; on a pris comme étalons, pour la détermination des *HR* des raies nouvelles, les valeurs données par Lindström [4] pour les raies *F* et *I* du dépôt actif.

Dans notre première Note [16], on avait donné encore deux raies de *HR* respectivement 593 et 712  $\text{Oe} \times \text{cm}$ , mais, par la suite, nous avons pu constater que ces deux raies provenaient d'une impureté de radium *D* existant dans notre source.

Raie.	<i>HR</i> ( $\text{Oe} \times \text{cm}$ ).	<i>E</i> (keV).	Intensités pour 100 désintégrations.
1.....	1358	142,2	0,46
2.....	1762	224,2	(0,3)
3.....	1774	226,7	0,28
4.....	1819	236,5	(0,1)

La détermination en valeur absolue des intensités a été faite de la façon suivante : pour déterminer l'intensité de la raie de 142,2 keV on a admis pour la raie *F* du spectre du ThB l'intensité de 30 électrons pour 100 désintégrations (1).

Cette détermination est nécessairement peu précise. D'une part, nous ne tenons pas compte de la perte possible de substance radioactive au cours des transmutations successives et, d'autre part, nous avons à comparer deux raies d'intensités très différentes.

Nous avons obtenu la valeur 0,46 pour 100 désintégrations, c'est-à-dire une intensité 65 fois plus faible que celle de la raie *F*, ce qui explique qu'elle n'ait pas pu être observée au cours des recherches antérieures.

Pour évaluer l'intensité de la raie de 226,7 keV on l'a comparée à la raie *I* du spectre du ThB en admettant comme rapport des intensités  $\frac{F}{I}$  la valeur 7,1 [19]; les deux autres raies ont été comparées visuellement à celle-ci et leurs intensités, entre parenthèses, donnent seulement les ordres de grandeur. Remarquons que le rapport des intensités des raies  $\frac{142,2}{226,7}$  est indépendant d'une possible perte de matière vu qu'il est basé sur le rapport des intensités des raies *F* et *I*.

On peut classer ces quatre raies de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
 142,2 + 98,6 \text{ (K de 86)} &= 240,8 \\
 224,2 + 17,3 \text{ (L}_{II}\text{ de 86)} &= 241,5 \\
 226,7 + 14,7 \text{ (L}_{III}\text{ de 86)} &= 241,4 \\
 236,5 + 4,2 \text{ (M}_{II}\text{ de 86)} &= 240,7 \\
 \text{Moyenne.....} &= 241,1 \text{ keV}
 \end{aligned}$$

Remarquons que la raie correspondant à la conver-

(1) Nous avons pris la moyenne des valeurs 31,3 et 28,8 données respectivement par Martin et Richardson [17] et par Feather, Kyles et Pringle [18].

sion en *L*<sub>1</sub> n'est pas observable parce qu'elle se confond, dans les conditions expérimentales où nous avons travaillé, avec la raie *I*<sub>α</sub> du spectre du dépôt actif et que l'attribution de la raie de 236,5 keV au niveau *M*<sub>II</sub> est faite, par analogie à l'analyse du spectre précédemment étudié du RTh → ThX, en admettant que ce rayonnement γ est aussi un quadrupôle électrique. En effet, plusieurs raisons portent à croire que telle est la nature et la polarité de ce rayonnement.

La connaissance des intensités des raies de conversion et de l'intensité de la raie de structure fine du spectre α du ThX (4,8 pour 100 des désintégrations) permet de calculer le rapport

$$\frac{\text{nombre d'électrons } K}{\text{nombre de photons}} = \frac{n_K}{n_\gamma};$$

on trouve la valeur 0,13.

Des tables de Rose et collaborateurs [20] on déduit, par interpolation, pour  $Z = 86$  et  $h\nu = 240 \text{ keV}$  les valeurs suivantes de  $\alpha_K$  (rapport  $\frac{n_K}{n_\gamma}$  pour un rayonnement électrique) et de  $\beta_K$  (rapport  $\frac{n_K}{n_\gamma}$  pour un rayonnement magnétique) :

$\frac{n_K}{n_\gamma}$	$\frac{n_K}{n_\gamma}$
$\alpha_1$ .....	$\beta_1$ .....
0,04	1
$\alpha_2$ .....	$\beta_2$ .....
0,10	3
$\alpha_3$ .....	$\beta_3$ .....
0,26	8

La valeur 0,13 que nous avons déterminée permet de conclure qu'il s'agit d'un rayonnement électrique quadrupolaire. On peut renforcer cette conclusion en comparant soit  $\frac{n_{L_{III}}}{n_\gamma}$ , soit  $\frac{n_K}{n_{L_{III}}}$  avec les valeurs théoriques; remarquons que la précision est faible, soit pour les valeurs calculées par interpolation, soit pour les valeurs expérimentales.

Rayonnement.	$\frac{n_{L_{III}}}{n_\gamma}$	
	calculé.	expérimental.
<i>E</i> <sub>1</sub> .....	~ 0,001	-
<i>E</i> <sub>2</sub> .....	~ 0,08	~ 0,08
<i>M</i> <sub>1</sub> .....	~ 0,0004	-

Rayonnement.	$\frac{n_K}{n_{L_{III}}}$	
	calculé.	expérimental.
<i>E</i> <sub>1</sub> .....	~ 40	-
<i>E</i> <sub>2</sub> .....	~ 1	~ 1,6
<i>M</i> <sub>1</sub> .....	~ 0,0025	-

On voit ainsi confirmé la nature et la polarité (*E*<sub>2</sub>) du rayonnement de 241 keV du ThX → Tn.

Nous n'avons pas encore observé de raies correspondant à l'état excité de 497 keV, mais ce résultat

n'est pas surprenant étant donné l'intensité très faible (quelques millièmes) de l'état excité; nos plaques présentent, par ailleurs, un voile assez important.

Nos recherches sur les spectres  $\alpha$  et d'électrons de conversion permettent aisément de calculer le rapport entre le nombre de photons de 241 keV ( $\text{ThX} \rightarrow \text{Tn}$ ) et le nombre de photons de 238 keV ( $\text{ThB} \rightarrow \text{ThC}$ ) émis par une source de radiothorium en équilibre avec ses descendants.

En effet, pour le rayonnement de 241 keV on a une intensité de structure fine de 4,8 pour 100 et une intensité électronique de conversion de 1,1 pour 100; par conséquent, le nombre de photons sera de 3,7 pour 100. Pour le rayonnement de 238 du ThB on a, pour la raie F, 30 électrons pour 100 désintégrations; comme il s'agit d'un dipôle magnétique ( $\beta = 0,8$ ) on aura 37 photons par 100 désintégrations. C'est-à-dire une source où le ThX et le ThB sont en équilibre, émettra les raies de 241 du ThX et 238 du ThB avec un rapport d'intensité

$$3,7 : 37 = 0,1 : 1.$$

En étudiant récemment par diffraction cristalline le rayonnement  $\gamma$  émis par une source de radiothorium en équilibre avec ses descendants, Muller, Hoyt, Klein et du Mond [21] ont observé un rayonnement de 240,984 + 0,033 keV et dont l'intensité était par rapport à celle du rayonnement de 238 keV du ThB  $\rightarrow$  ThC de 0,1 : 1. Les auteurs n'ont pas attribué cette raie à la transformation  $\text{ThX} \xrightarrow{\alpha} \text{Tn}$ , mais ils excluent la possibilité d'une impureté de radium. Il est certain, d'après nous, que la raie de 241 keV observée par du Mond et collaborateurs est à attribuer à la transformation  $\text{ThX} \xrightarrow{\alpha} \text{Tn}$ ; on remarquera, en effet, l'accord exceptionnellement satisfaisant à la fois pour l'énergie et l'intensité entre les résultats de la diffraction cristalline et les prévi-

sions résultant de nos recherches sur les spectres d'électrons de conversion et de la structure fine du spectre  $\alpha$ .

**Conclusions.** — On a étudié le spectre d'électrons de conversion émis dans la transmutation  $\text{RTh} \rightarrow \text{ThX}$  et observé un autre dans la transmutation  $\text{ThX} \rightarrow \text{Tn}$ . Le premier spectre correspond à la conversion interne d'un rayonnement  $\gamma$  de 84,5 keV émis par le  $\text{ThX}^*$  et le deuxième à un rayonnement de 241 keV émis par le  $\text{Tn}^*$ .

Les deux rayonnements sont électriques quadrupolaires, c'est-à-dire, le spin du premier niveau au-dessus du niveau fondamental, soit du  $\text{ThX}^*$ , soit du  $\text{Tn}^*$ , a la valeur 2. La connaissance du spin des premiers niveaux a permis de contrôler les formules sur les intensités des niveaux A des spectres  $\alpha$  [22], [23].

**Note.** — Dans un travail récent (*C. R. Acad. Sc.*, 1953, **236**, 1874), Bouissières, Falk-Vairant, Riou, Teillac et Victor ont observé les rayonnements  $\gamma$  suivants émis dans la transmutation  $\text{RTh} \rightarrow \text{ThX}$ : 84, 133, 172 et 216 keV. Le rayonnement de 84 keV est, de loin, le plus intense. Observons que si l'on travaille avec des sources de RTh en équilibre avec ses descendants, on pourrait être gêné par le spectre  $\beta$  continu pour déceler des raies de conversion de très faible intensité qui devraient correspondre aux groupes moins intenses donnés par ces auteurs.

Les rayonnements 216 et 133 keV correspondent bien aux différences  $E\alpha_2 - E\alpha_0$  et  $E\alpha_2 - E\alpha_1$  de structure fine (travail non publié encore), ce qui permet de les placer dans le schéma de niveaux.

Un rayonnement  $\gamma$  d'environ 130 keV avait d'ailleurs été observé par Rose et collaborateurs, d'après une communication privée de M. Rose en octobre 1952 à l'un de nous lors d'une visite en Angleterre.

Manuscrit reçu le 21 octobre 1953.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- [1] GOLDBABER et SUNYAR. — *Phys. Rev.*, 1951, **83**, 906.  
 [2] MEITNER. — *Z. Physik*, 1928, **52**, 637.  
 SURUGUE et TSIEN-SAN-TSIANG. — *C. R. Acad. Sc.*, 1941, **213**, 172.  
 [3] ROSENBLUM, VALADARES et GUILLOT. — *C. R. Acad. Sc.*, 1952, **235**, 238.  
 [4] LINDSTRÖM. — *Phys. Rev.*, 1951, **83**, 465.  
 [5] RIOU. — *C. R. Acad. Sc.*, 1949, **229**, 1225.  
 [6] BELING, FELD et HALPERN. — *Phys. Rev.*, 1951, **84**, 155.  
 [7] GELLMAN, GRIFFITH et STANLEY. — *Phys. Rev.*, 1952, **85**, 944.  
 [8] KULCHITSKI, LATYSHEV et BULYGINSKI. — *Bull. U.S.S.R. Acad. Sc.*, 1949, **13**, 331.  
 [9] RIOU. — *Thèse de Doctorat*, Paris, 1952.  
 [10] BATTEY, MADANSKY et RASETTI. — *Phys. Rev.*, 1953, **89**, 182.  
 [11] VICTOR, TEILLAC, FALK-VAIRANT et BOUSSIÈRES. — *J. Physique Rad.*, 1952, **13**, 565.  
 [12] RIOU. — *J. Physique Rad.*, 1952, **13**, 593.  
 [13] ROSENBLUM et VALADARES. — *C. R. Acad. Sc.*, 1952, **234**, 2359.  
 [14] ROSENBLUM, VALADARES, PEREY et VIAL. — *C. R. Acad. Sc.*, 1949, **229**, 1009.  
 [15] FEATHER. — *Nucleonics*, 1949, **5**, 22.  
 [16] ROSENBLUM, VALADARES et GUILLOT. — *C. R. Acad. Sc.*, 1952, **234**, 1767.  
 [17] MARTIN et RICHARDSON. — *Proc. Roy. Soc.*, 1948, **195 A**, 287.  
 [18] FEATHER, KYLES et PRINGLE. — *Proc. Phys. Soc.*, 1948, **61**, 466.  
 [19] ELLIS. — *Proc. Roy. Soc.*, 1932, **138**, 318.  
 SIEGBAHN. — *Thèse*, Stockholm, 1944.  
 [20] ROSE, GERTZEL, SPINRAD, HARR et STRONG. — *Phys. Rev.*, 1951, **83**, 79.  
 [21] MULLER, HOYT, KLEIN et DU MOND. — *Phys. Rev.*, 1952, **88**, 775.  
 [22] ROSENBLUM et VALADARES. — *C. R. Acad. Sc.*, 1952, **234**, 2359.  
 [23] FALK-VAIRANT et TEILLAC. — *C. R. Acad. Sc.*, 1953, **236**, 914.