

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 9 (1936)  
**Heft:** VI

**Artikel:** Le rayonnement gamma secondaire de grande énergie produit par les rayons bêta de l'UX et du RaE  
**Autor:** Stahel, E. / Kipfer, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-110639>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Le rayonnement gamma secondaire de grande énergie produit par les rayons bêta de l'UX et du RaE

par E. Stahel et P. Kipfer<sup>1)</sup>, Bruxelles.

(27. VI. 36.)

*Résumé:* Nous avons étudié le rayonnement gamma d'impulsion produit par les rayons bêta de l'UX et du RaE:

a) L'intensité de ce rayonnement est proportionnelle au nombre atomique du « radiateur »;

b) Ce rayonnement n'est pas homogène, il présente un maximum d'intensité qui est situé pour l'UX vers 0,8 eMV et pour le RaE vers 0,5 eMV;

c) Environ 1,9% de l'énergie « utile » des rayons bêta de l'UX est transformé en rayons gamma d'impulsion de grande énergie ( $\sim 0,8$  eMV);

d) UX et RaE émettent en outre un rayonnement gamma (non homogène) qui est probablement dû au « freinage interne » des rayons bêta;

e) Pour nos conditions de mesure (filtration des rayons gamma par les parois de la chambre d'ionisation, soit 1 cm de fer) le rayonnement gamma de freinage interne est plus faible que le rayonnement de freinage externe dans le plomb, à savoir: 1,26 fois plus faible dans le cas de l'UX et 7 fois plus faible pour le RaE;

f) Discussion de ce comportement différent de l'UX et du RaE.

## I. Introduction.

Deux sortes de rayons gamma accompagnent la décomposition radioactive par rayons bêta: ceux de grande intensité sont toujours des rayonnements *monochromatiques*. Mais pour quelques corps radioactifs (UX et RaE par exemple), ce rayonnement monochromatique est faible ou nul; dans ces cas, on a pu mettre en évidence un autre type de rayonnement, toujours de très faible intensité, qui paraît avoir une *répartition spectrale continue*.

Jusqu'à présent aucune explication satisfaisante de ce phénomène n'a été donnée. Cependant différents auteurs ont proposé l'hypothèse suivante: le rayon bêta émis par l'atome en désintégration pourrait, dans certains cas, subir une perte d'énergie par rayonnement avant de quitter l'atome émetteur; il s'agirait d'un « freinage interne » donnant naissance à des rayons gamma de répartition spectrale continue.

<sup>1)</sup> Aspirant du Fonds National de la Recherche Scientifique de Belgique.

Il n'est pas possible d'étudier directement le mécanisme de ce freinage interne. Mais, dans le but de l'analyser, nous avons effectué quelques expériences concernant un processus qui présente des analogies avec lui: le «freinage externe» des rayons bêta. Par cette expression, nous désignons le mécanisme qui donne lieu à l'émission d'un spectre continu de rayonnement électromagnétique lorsque les électrons en mouvement rencontrent des noyaux atomiques étrangers. Il s'agit donc d'un processus analogue à celui qui donne naissance au spectre continu, dit de freinage, dans les tubes à rayons X.

L'existence d'un freinage externe des rayons bêta est incontestable. Mais on pouvait craindre que l'intensité du rayonnement ainsi produit soit trop faible pour pouvoir être observé. Les calculs effectués par SAUTER<sup>1)</sup>, au sujet du freinage des électrons rapides ont montré que pareille crainte n'était pas justifiée.

Un certain nombre d'expériences ont été faites, concernant la production de rayons gamma secondaires à partir de rayons bêta primaires; elles ont mis en évidence l'existence de rayonnements de différentes duretés. HESS et LAWSON<sup>2)</sup>, étudiant les rayons bêta du RaE freinés dans le platine, trouvent un rayonnement très mou dont le coefficient d'absorption dans l'aluminium,  $\mu_{Al}$ , est égal à  $2 \text{ cm}^{-1}$  et qui correspond à environ 36 eKV. GRAY<sup>3)</sup> trouve, pour les mêmes rayons freinés dans le plomb, un coefficient d'absorption  $\mu_{Pb}$  de  $50 \text{ cm}^{-1}$ , soit 100 eKV environ. CHADWICK<sup>4)</sup> a mesuré des rayonnements relativement durs, provenant des rayons bêta du RaC, freinés dans le plomb; le coefficient d'absorption le plus faible trouvé par lui est égal à  $\mu_{Fe} = 0,76 \text{ cm}^{-1}$ , ce qui correspond à environ 250 eKV.

Ces différents rayons gamma ont tous une énergie sensiblement plus faible que celle des rayons bêta qui les excitent. On peut donc prévoir l'existence de composantes plus dures. Nous pensons, en effet, que, au moins dans le cas des radiations étudiées par HESS et LAWSON et par GRAY, il ne s'agit pas de rayons de freinage, mais des rayons X caractéristiques des atomes de l'écran irradié.

## II. Methode de mesure.

Pour étudier le freinage externe des rayons bêta, nous avons utilisé l'UX<sub>2</sub> et le RaE à cause du faible rayonnement gamma nucléaire émis par ces corps.

Les préparations d'UX ont été obtenues par la méthode classique, à partir de  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  en solution éthérique (quantité

initiale, 3 kgr)\*). La précipitation finale de l'UX est réalisée au moyen de cérium, en utilisant une quantité aussi faible que possible de ce corps: il faut, en effet, réduire au minimum la quantité de rayons gamma secondaires excités dans le cérium par les rayons bêta primaires. Pour la même raison, on utilise comme support de la préparation un corps à nombre atomique faible, en l'espèce l'aluminium; nos expériences ont, en effet, montré que ce corps n'émet que très peu de rayons gamma secondaires. La préparation d'UX est étalée en couche mince entre deux feuilles d'aluminium de 0,01 mm d'épaisseur qui n'affaiblissent le rayonnement bêta primaire que d'environ 1 %.

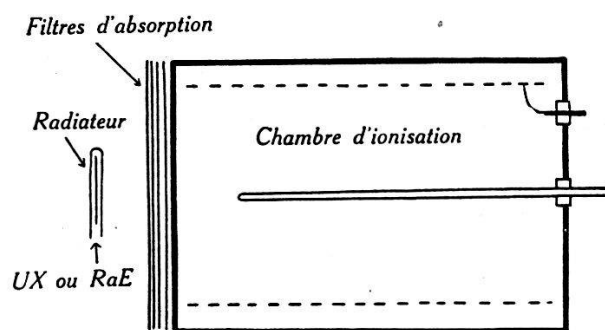


Fig. 1.

Schéma du dispositif de mesure.

La préparation de RaE a été obtenue par dépôt électrolytique sur une mince feuille d'aluminium (épaisseur 0,01 mm). Sa pureté radioactive a été démontrée par le fait que le rayonnement a diminué suivant la période propre au RaE.

L'une ou l'autre de ces sources de rayons bêta est placée (fig. 1) en regard d'une chambre d'ionisation à haute pression avec grille de HOFFMANN (pression 16 atm. CO<sub>2</sub>; volume 3 dm<sup>3</sup> épaisseur de paroi 10 mm. fer), reliée à un électromètre à fil libre, type Piccard, mesurant le courant d'ionisation.

Pour effectuer les mesures, on entoure complètement la source au moyen de différents écrans ou «radiateurs» (carton, laiton, Ag, Sn, Pt, Pb) dans lesquels les rayons bêta sont absorbés et les rayons gamma secondaires émis. L'épaisseur des radiateurs est telle que l'absorption des rayons bêta primaires est complète, de façon à éviter leur rencontre avec les parois de la chambre.

\*) Les préparations contiennent donc l'UX<sub>1</sub> et l'UX<sub>2</sub> en équilibre. Mais on sait que les rayons bêta de l'UX<sub>1</sub> ont une énergie de 100 eKV environ. Les rayons gamma que nous observons ayant une énergie supérieure à 500 eKV ne peuvent donc être produits que par les rayons bêta de l'UX<sub>2</sub> dont l'énergie peut atteindre 2000 eKV. En outre, la quantité d'équilibre d'UZ est présente, mais son rayonnement bêta est tout à fait négligeable.

d'ionisation ou avec les écrans d'absorption, ce qui exciterait une émission de rayons secondaires parasites. Les divers radiateurs ont sensiblement le même nombre de gr/cm<sup>2</sup> (environ 0,2 gr/cm<sup>2</sup>); ils n'absorbent qu'une proportion négligeable des rayons gamma primaires et secondaires.

Des feuilles de plomb, dont l'épaisseur totale est comprise entre 0 et 32 mm., sont interposées entre les radiateurs et la chambre d'ionisation, de façon à établir les courbes d'absorption du rayonnement gamma secondaire produit dans les radiateurs.

Les mesures effectuées au moyen de l'UX<sub>2</sub> sont de deux espèces:

1<sup>o</sup> l'étude du rayonnement gamma secondaire en fonction du nombre atomique du radiateur se fait en utilisant différents métaux et en interposant un filtre d'absorption d'épaisseur constante;

2<sup>o</sup> l'analyse du rayonnement excité dans le plomb est effectuée en interposant des filtres d'épaisseur variable. Pour chaque épaisseur de filtre, nous faisons deux mesures, l'une avec le radiateur plomb, l'autre avec le radiateur carton qui, d'après nos mesures, émet un rayonnement gamma secondaire d'intensité négligeable et n'a pour objet que d'absorber complètement les rayons bêta primaires. La différence entre les deux intensités mesurées correspond donc au rayonnement gamma secondaire excité dans le plomb.

Ce dernier type de mesures a été également effectué avec le RaE comme source de rayonnement.

Nous allons envisager successivement ces deux points et étudier quelles conclusions on peut tirer des mesures expérimentales effectuées.

### III. Mesures effectuées avec UX<sub>2</sub> et interprétation des résultats.

1<sup>o</sup> *Rayonnement gamma secondaire en fonction de Z*: La relation existant entre le rayonnement gamma secondaire et le nombre atomique  $Z$  du radiateur est représentée dans le tableau 1 et le graphique de la figure 2. En abscisse, nous portons les nombres atomiques des corps utilisés, (pour le laiton, nous avons pris la valeur  $Z$  du cuivre; le carbone est représenté par un radiateur en carton), et en ordonnées les intensités mesurées lors de l'emploi de chaque radiateur. Dans cette série d'expériences, la filtration est égale à 0 mm. Pb + 10 mm. Fe, ce qui correspond à la paroi de la chambre d'ionisation.

Ce graphique montre que l'intensité du rayonnement gamma secondaire dépend linéairement du nombre atomique  $Z$ . Pareil résultat est en concordance avec la théorie de SAUTER<sup>1</sup>); en effet, si les épaisseurs sont exprimées en nombre d'électrons par  $\text{cm}^2$ ,

Tableau 1.

Radiateur	Nombre atomique	$I = \text{intensité du ray. gamma}$	$\frac{I-I_0}{I_0}$
plomb . .	82	0,803	1,06
platine . .	79	0,790	1,03
étain . . .	50	0,659	0,69
argent . .	47	0,629	0,61
laiton . . .	29	0,532	0,36
aluminium	13	0,459	0,18
carbone . .	6	0,433	0,11
(extrapolé)	0	0,39 ( $I_0$ )	—

cet auteur démontre que l'intensité du rayonnement gamma de freinage dans une couche infiniment mince du radiateur est proportionnelle au nombre atomique, à l'épaisseur de la couche et à l'intensité du rayonnement bêta au lieu considéré. Le coefficient

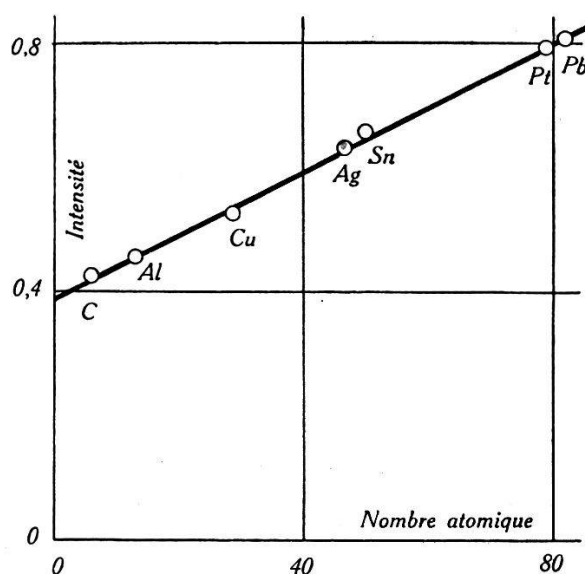


Fig. 2.

Intensité du rayonnement gamma en fonction du nombre atomique des radiateurs.

de proportionnalité dépend de l'énergie cinétique des rayons bêta en ce point; l'intensité du rayonnement bêta à l'endroit considéré dépend de l'absorption des rayons bêta incidents dans le radiateur, absorption qui, en première approximation, est indépendante



de  $Z$  lorsque les épaisseurs sont exprimées en électrons par  $\text{cm}^2$ . En totalisant l'ensemble des rayons gamma secondaires émis par chaque couche élémentaire d'un écran absorbant complètement les rayons bêta primaires, on voit que l'intensité totale est proportionnelle à  $Z$ .

L'examen de la figure 2 montre que la courbe ne passe pas par l'origine. La valeur du point de rencontre avec l'axe des ordonnées ( $Z = 0$ ) correspond à un rayonnement gamma qui ne peut résulter du freinage des électrons dans les radiateurs. On peut également éliminer l'influence du freinage des rayons bêta dans la préparation même, étant donné la faible quantité de cérium présent (inférieure au  $\text{mgr/cm}^2$ ). La quantité de rayons gamma produits par freinage dans l'enveloppe d'aluminium est négligeable: elle n'absorbe en effet que 1% environ des rayons bêta et de plus les rayons gamma secondaires dans l'aluminium sont produits avec un rendement très faible (voir fig. 2). Nous pouvons donc admettre que le rayonnement gamma correspondant à  $Z = 0$  est d'origine primaire; étant donnée sa grande énergie quantique, nous l'attribuons à l'UX<sub>2</sub>. Le tableau 1 indique la valeur des rayonnements gamma secondaires de freinage dans les différents métaux par rapport à ce rayonnement primaire; il est à noter que les valeurs absolues ne sont valables que pour notre dispositif de mesures et dépendent notamment de la filtration par 10 mm de fer.

Le radiateur carton n'émet qu'un rayonnement secondaire infime (voir fig. 2) qui pourra, en pratique, être négligé au cours des mesures ultérieures.

*2° Analyse des courbes d'absorption:* La figure 3 reproduit les courbes d'absorption des différents rayonnements gamma dans les filtres d'épaisseur variable. La courbe 1 représente l'absorption de l'ensemble «rayonnement primaire + rayonnement secondaire excité dans le plomb» (radiateur plomb); la courbe 2 correspond à l'absorption du rayonnement primaire seul (radiateur carton); la courbe 3, établie en prenant la différence des mesures précédentes, donne l'absorption du rayonnement secondaire excité dans le plomb. Les épaisseurs des filtres de plomb, exprimées en millimètres, sont portées en abscisses, et en ordonnées les logarithmes des intensités mesurées (après soustraction du rayonnement spontané).

a) *Courbe d'absorption globale des rayonnements primaire et secondaire:* Cette courbe (courbe 1 de la figure 3) a tous ses points situés au dessus des points correspondants de la courbe d'absorption du rayonnement primaire seul (courbe 2). Ce fait dé-

montre l'existence d'un rayonnement gamma secondaire excité dans le plomb par les rayons bêta primaires de l'UX<sub>2</sub>.

Sa pente finale est sensiblement la même que celle de la courbe correspondant au rayonnement primaire. Cependant, pour les faibles épaisseurs de plomb, elle présente une courbure, indice caractéristique de l'existence de radiations plus molles. La représentation graphique de la différence entre les points correspondants de la courbe et de sa tangente finale donne lieu à une nouvelle droite (courbe 4 de la fig. 3) dont la pente correspond à un coefficient d'absorption dans le plomb  $\mu_{\text{Pb}} = 2,87 \text{ cm}^{-1}$ .

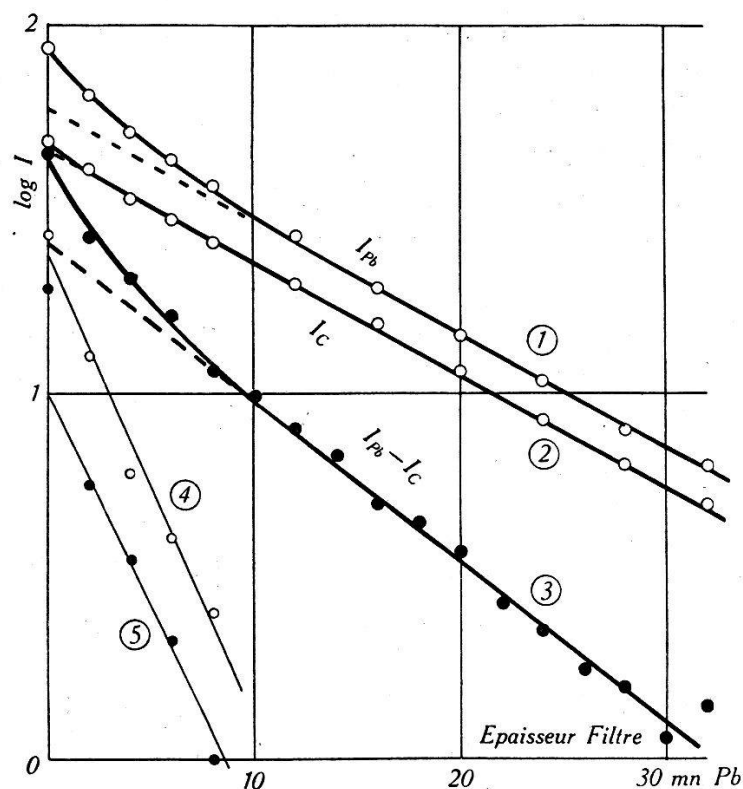


Fig. 3.

Courbes d'absorption du rayonnement gamma de l'UX.

L'existence de ce rayonnement secondaire mou semble pouvoir expliquer la discordance qui existe entre les résultats de HAHN et MEITNER<sup>5)</sup> et ceux de STAHEL et COUMOU<sup>6)</sup> au sujet du rayonnement gamma primaire de l'UX<sub>2</sub>. HAHN et MEITNER observent, en effet, la présence, dans ce rayonnement, d'une composante ayant un  $\mu_{\text{Pb}}$  égal à  $2,3 \text{ cm}^{-1}$ , composante que STAHEL et COUMOU n'ont pas retrouvée. Cette composante paraît être identique à la fraction du rayonnement représentée par la courbe 4; elle ne pourrait donc être attribuée au rayonnement gamma primaire de l'UX<sub>2</sub>, mais à un effet secondaire des rayons bêta primaires émis par ce corps. Le dispositif de mesures utilisé par HAHN et



MEITNER comporte, en effet, un filtre d'absorption en plomb, placé dans le voisinage immédiat de la préparation d'UX, celle-ci n'étant pas protégée; dans ces conditions, les rayons bêta primaires peuvent exciter dans le plomb un rayonnement gamma secondaire. Dans le dispositif de STAHEL et COUMOU, pareille éventualité ne peut se produire, la préparation étant recouverte par une feuille d'aluminium et se trouvant à grande distance des filtres d'absorption.

b) *Courbe d'absorption du rayonnement secondaire*: Cette courbe (courbe 3 de la fig. 3) a été obtenue en prenant la moyenne de plusieurs séries de mesures, alors que les courbes 1 et 2 ne correspondent chacune qu'à une seule série de mesures. Cette courbe montre que le rayonnement secondaire du plomb est relativement dur, tout en étant plus mou que le rayonnement primaire. Son allure indique que le rayonnement n'est pas homogène; d'après les idées théoriques, ses conditions de production font prévoir l'existence d'un spectre continu; cependant, pour des raisons d'ordre pratique, nous le supposons constitué par deux composantes dont la superposition donne la courbe d'absorption mesurée, la composante dure correspondant à la pente finale de la courbe.

La composante molle a un  $\mu_{\text{Pb}}$  égal à  $2,66 \text{ cm}^{-1}$ \*). Son intensité représente environ 40% de l'intensité totale mesurée. La filtration par la paroi de la chambre d'ionisation élimine les parties les plus molles du rayonnement émis; la valeur mesurée pour l'intensité totale est donc inférieure à celle qui existe réellement.

La composante dure représente 60% de l'intensité totale. L'examen du graphique montre que le  $\mu_{\text{Pb}}$  est égal à  $1,0 \text{ cm}^{-1}$ , ce qui correspond environ à 790 eKV. L'étude du spectre du rayonnement bêta primaire de l'UX<sub>2</sub> montre qu'il est possible d'interpréter le rayonnement gamma primaire comme étant un rayonnement de freinage des rayons bêta primaires. En effet, d'après des mesures récentes de LECOIN<sup>7)</sup>, le spectre des rayons bêta de l'UX s'étend jusqu'à 2000 eKV. L'énergie moyenne d'un rayon bêta est égale à 735 eKV; 62% de l'énergie totale est fournie par des électrons dont l'énergie dépasse 800 eKV. En outre, on sait que, pour les rayons X, le maximum d'intensité du spectre de freinage correspond environ à la moitié de l'énergie

---

\*) Ce coefficient d'absorption est du même ordre de grandeur que celui trouvé à partir de la courbe 1. Il en diffère légèrement à cause du mode de décomposition de la courbe mesurée, suivant trois composantes (courbes 2, 3 et 5 de la fig. 3) au lieu de deux (courbes 2 et 4).

des rayons cathodiques; d'après SAUTER, il en est de même pour le freinage des électrons rapides. On voit donc que les valeurs que nous obtenons ont un ordre de grandeur compatible avec la théorie du freinage.

c) *Courbe d'absorption du rayonnement primaire* (courbe 2 de la fig. 3): Le rayonnement gamma primaire est un peu plus dur que le rayonnement secondaire excité dans le plomb; nous trouvons, en effet, un  $\mu_{\text{Pb}}$  égal à  $0,75 \text{ cm}^{-1}$ , ce qui correspond à environ 1100 eKV, en accord avec les mesures de STAHEL et COUMOU<sup>6</sup>); ces derniers auteurs ont en effet trouvé un  $\mu_{\text{Pb}}$  égal à  $0,83 \text{ cm}^{-1}$  \*).

L'allure de la courbe d'absorption (les points expérimentaux sont alignés sur une droite) peut être interprétée aussi bien comme correspondant à un rayonnement monochromatique qu'à un spectre continu dans lequel l'énergie est concentrée suivant une bande étroite. Dans le premier cas, il s'agirait d'un rayonnement nucléaire analogue à celui qui accompagne de façon générale les décompositions par rayonnement bêta; il faudrait alors trouver dans le spectre du rayonnement bêta de l'UX<sub>2</sub> des raies monocinétiques dues aux rayons bêta photoélectriques excités par ce rayonnement primaire et superposées au rayonnement bêta ordinaire. Bien que les rayons bêta d'origine photoélectrique soient en général facilement reconnaissables dans le spectre du rayonnement bêta, de telles raies n'ont pas encore été mises en évidence pour l'UX. Il est cependant possible qu'elles aient passé inaperçues, étant donné qu'elles se situent dans la région du maximum du spectre et que leur intensité ne représente qu'environ 0,01% de l'énergie bêta totale. D'après nos mesures en effet, l'énergie gamma correspond environ à 1,9% de l'énergie bêta et le coefficient d'absorption interne est égal au maximum à 0,6% (TAYLOR et MOTT<sup>8</sup>).

Au contraire, dans l'hypothèse d'un spectre continu, il faudrait envisager l'éventualité d'un freinage interne. Le mécanisme de ce freinage étant inconnu, on peut expliquer de diverses façons le fait que le rayonnement «primaire» (nucléaire) est plus dur que le rayonnement secondaire (d'impulsion). Une de ces explications semble particulièrement séduisante: l'énergie moyenne des rayons bêta freinés à l'intérieur de l'atome émetteur doit être supérieure à celle des rayons bêta freinés par un atome étranger; en effet, dans le premier cas, les rayons bêta sont freinés

---

\*) Cette dernière détermination est plus précise que la nôtre, par suite des conditions expérimentales différentes.

alors qu'ils ont encore toute leur énergie initiale tandis que, dans la seconde éventualité, ils peuvent avoir subi antérieurement des pertes d'énergie par suite d'autres modalités d'absorption à l'intérieur du radiateur.

Pour résoudre ce problème, il faudrait étudier quelle est la dureté du rayonnement secondaire des rayons bêta de l'UX<sub>2</sub> excités dans des radiateurs de différents nombres atomiques Z. Le fait que l'intensité du rayonnement gamma secondaire varie linéairement avec Z semble indiquer que la répartition spectrale du rayonnement de freinage est indépendante de Z. Il serait de plus souhaitable que l'on mette au point une théorie du freinage interne.

Monsieur UHLENBECK a eu l'amabilité de nous faire savoir qu'il est en train de publier une telle théorie et que l'intensité relative du rayonnement de freinage interne est de l'ordre de grandeur de  $\alpha$  (constante de structure fine =  $1/137$ ) ce qui correspond approximativement à nos valeurs observées (voir paragraphe suivant).

*3° Rendement énergétique de la composante dure et du rayonnement primaire:* Les mesures de STAHEL et COUMOU<sup>6)</sup> permettent d'estimer le rendement de la transformation de l'énergie bêta primaire en énergie gamma secondaire.

Le tableau 1 et la figure 2 montrent que l'ionisation due au rayonnement gamma secondaire excité dans le plomb vaut 1,06 fois celle due au rayonnement gamma primaire. Le rapport est le même en ce qui concerne les énergies, puisque, dans le domaine de ces longueurs d'onde, l'ionisation est indépendante de la fréquence ( $\sigma_a$  est constant). L'énergie de la composante dure représente 60% de l'énergie secondaire totale, ou  $60 \cdot 1,06 = 63,6\%$ , de l'énergie gamma primaire. D'après STAHEL et COUMOU, le quantum du rayonnement primaire est égal à 970 eKV. Enfin, d'après ces mêmes auteurs, lorsque 100 rayons bêta sont émis, il n'y a que 1,4 quanta de rayonnement gamma produits. Il en résulte que, pour 100 rayons bêta une quantité d'énergie égale à

$$1,4 \cdot 970 \frac{63,6}{100} = 863 \text{ eKV.}$$

est émise sous forme de rayonnement gamma secondaire dur, excité dans le plomb.

D'autre part, d'après LECOIN<sup>7)</sup>, l'énergie moyenne des rayons bêta de l'UX<sub>2</sub> est égale à 735 eKV; mais une partie seulement de ces rayons bêta peut intervenir dans la production des rayons gamma secondaires, à savoir ceux dont l'énergie cinétique est

supérieure à l'énergie quantique du rayonnement gamma (environ 800 eKV). D'après les courbes publiées par LECOIN, on trouve que 62% de l'énergie totale est concentrée dans les rayons bêta dont l'énergie dépasse 800 eKV. Par 100 atomes décomposés, on a donc

$$100 \cdot 735 \text{ eKV} \frac{62}{100} = 45\,600 \text{ eKV}$$

d'énergie *utile* sous forme de rayons bêta.

A partir de ces deux valeurs, nous trouvons que

$$\frac{863}{45\,600} = 1,9\%$$

de l'énergie des rayons bêta primaires dépassant 800 eKV est transformée en énergie gamma secondaire dans la composante dure excitée dans le plomb. Cette valeur permet d'interpréter certaines particularités de la diffusion des rayons gamma du radium (voir paragraphe VI).

Nous nous proposons d'utiliser ultérieurement les formules de SAUTER en vue d'effectuer le calcul détaillé de ce rapport. Une première approximation, destinée à établir quel est son ordre de grandeur, nous a donné une valeur comprise entre 1 et 3%, en bon accord avec le résultat des expériences.

Si nous appliquons au calcul du freinage interne le mode de raisonnement qui nous a servi à déterminer le rendement du freinage externe, nous trouvons que 4,5% de l'énergie des rayons bêta supérieurs à 1000 eKV (énergie de la composante dure du rayonnement gamma primaire) est transformée en ce rayonnement gamma primaire. Ce chiffre s'abaisse à 3,8% si l'on tient compte des rayons gamma de l'UZ (voir paragraphe V).

#### IV. Résultats obtenus avec le RaE.

Ne disposant que d'une préparation faible de RaE, nous avons fait des mesures qui sont moins précises que celles effectuées au moyen de l'UX. Le résumé des mesures est donné dans le tableau 2; les courbes d'absorption sont reproduites dans la figure 4 et ont la même signification que celles de la figure 3 (UX).

Ces courbes montrent immédiatement que l'existence du rayonnement gamma excité dans le plomb par les rayons bêta primaires du RaE est indiscutable. Ces rayonnements gamma primaire (courbe 2) et secondaire (courbe 3) sont hétérogènes. La décomposition de ces courbes en composantes est encore plus arbitraire que dans le cas de l'UX; mais pour déterminer quel est

Tableau 2.

Filtre	$I_c$	$I_{Pb}$	$I_{Pb} - I_c$	$I_c - \frac{I_0}{7.6} (I_{Pb} - I_c)$	$\frac{I_{Pb} - I_0}{I_0}$
0 mm Pb	0,68	3,60	2,92	0,45	7,00
2 „ „	0,328	1,59	1,26	0,228	5,96
4 „ „	0,260	0,90	0,640	0,210	3,38
6 „ „	0,181	0,637	0,456	0,146	3,39
8 „ „	0,149	0,436	0,287	0,126	2,46
10 „ „	0,137	0,371	0,234	0,119	2,12
14 „ „	0,094	0,189	0,095	0,087	1,17

$I_{Pb}$  = Intensité des rayons gamma, mesurée avec un radiateur en Pb.

$I_c$  = Intensité des rayons gamma, mesurée avec un radiateur en carton.

$I_0$  = Intensité des rayons gamma nucléaires.

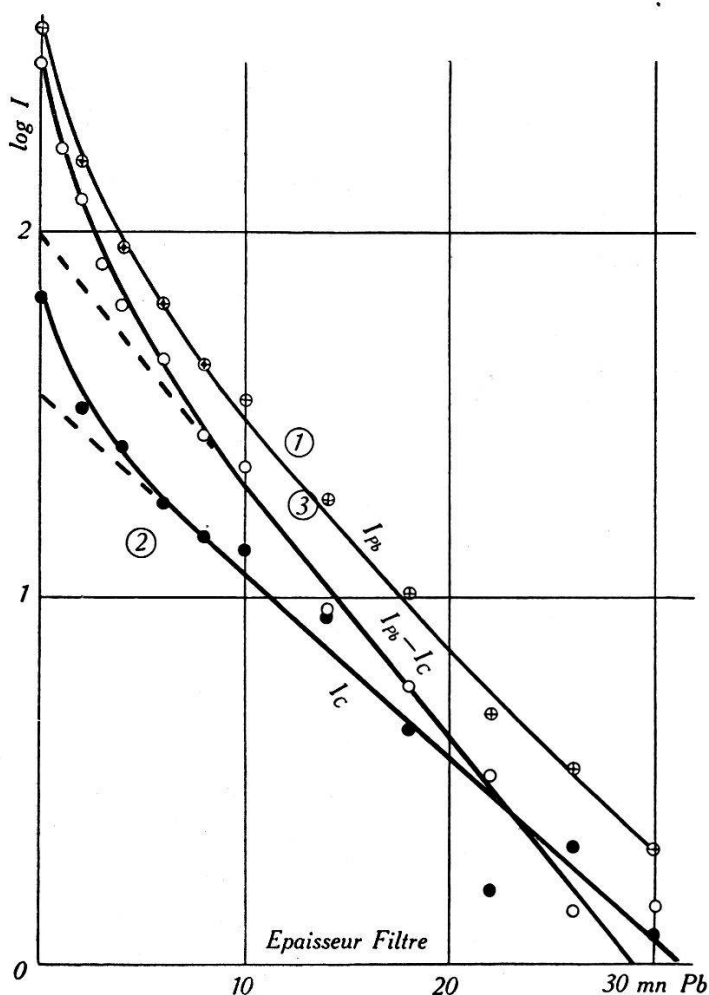


Fig. 4.

Courbes d'absorption des rayons gamma du RaE.

l'ordre de grandeur des énergies, nous sommes amenés néanmoins à tracer les tangentes finales aux courbes d'absorption. Nous trou-



vons alors, pour le rayonnement gamma primaire,  $\mu_{\text{Pb}} = 1,2 \text{ cm}^{-1}$ , ce qui correspond à environ 600 eKV, et pour le rayonnement secondaire,  $\mu_{\text{Pb}} = 1,6 \text{ cm}^{-1}$ , soit environ 500 eKV. Sans attribuer trop d'importance à ces valeurs numériques, on peut en conclure cependant que le rayonnement secondaire est nettement plus mou que le rayonnement primaire, ce qui était déjà le cas pour l'UX. Le spectre des rayons bêta du RaE s'étendant jusqu'à 1000 eKV et l'énergie moyenne d'un rayon bêta étant égale à 340 eKV<sup>9</sup>), ces valeurs sont compatibles avec l'hypothèse d'un freinage externe et interne.

Le rayonnement secondaire excité dans le plomb est relativement plus intense, par rapport au rayonnement primaire, que dans le cas de l'UX. En effet, le rapport

$$\frac{I_{\text{Pb}} - I_{\text{C}}}{I_{\text{C}}},$$

mesuré sans filtre d'absorption en plomb (mais avec la filtration de 10 mm de fer due à la paroi de la chambre d'ionisation), qui valait  $\frac{0,80 - 0,44}{0,44} = 0,82$  pour l'UX, est devenu égal à  $\frac{3,60 - 0,68}{0,68} = 4,3$  dans le cas du RaE. Il en résulte que le rayonnement gamma secondaire excité dans le carton n'est plus négligeable. Si nous admettons que, pour le RaE également, il y a proportionnalité entre l'intensité du rayonnement secondaire et le nombre atomique  $Z$  (fig. 1), le rayonnement excité dans le carton est  $\frac{82 - 6}{6} = 12,7$  fois plus faible que la différence entre le rayonnement gamma secondaire du plomb ( $I_{\text{Pb}}$ ) et celui du carton ( $I_{\text{C}}$ ). L'intensité du rayonnement primaire ( $I_0$ ) est donc

$$I_0 = I_{\text{C}} - \frac{6}{76} (I_{\text{Pb}} - I_{\text{C}}).$$

La colonne 5 du tableau 2 a été calculée d'après cette formule. Le tableau 2 montre que le rayonnement gamma secondaire excité dans le plomb est environ 7 fois plus intense que le rayonnement gamma primaire du RaE (colonne 6); il est probable que, pour une filtration zéro, ce rapport augmenterait encore; pour l'UX, le rapport trouvé dans les mêmes conditions était égal à 1,06.

Nous ne disposons pas encore des données nécessaires pour pouvoir calculer le rapport entre l'énergie des rayons gamma et celle des rayons bêta qui leur donnent naissance. Mais le rendement semble être, comme dans le cas de l'UX, de l'ordre du pour cent.



### V. Discussion.

Nos mesures avec les rayons bêta de l'UX et du RaE montrent donc nettement la présence d'un rayonnement de freinage d'une dureté et d'une intensité compatibles avec la théorie de Sauter. Chacun de ces corps émet en outre un rayonnement qui provient des atomes décomposés. Ce rayonnement est plus dur que le rayonnement de freinage; il est probablement dû à un « freinage interne » des rayons bêta.

Au point de vue quantitatif, il y a cependant une différence marquée entre l'UX et le RaE: l'intensité du rayonnement de freinage interne est relativement plus faible (environ 7 fois) pour le radium E que pour l'UX. Ce résultat ne peut s'expliquer si l'on admet que le mécanisme de production est identique dans les deux cas. La question se pose donc de savoir si le rayonnement « nucléaire » de l'UX est uniquement constitué par un rayonnement de freinage interne. Ce doute est d'autant plus justifié que le rayonnement de l'UX est manifestement plus homogène que celui du RaE (comparaison des figures 3 et 4).

L'hypothèse d'une intervention des rayons gamma de l'UZ, nécessairement présents dans les préparations d'UX, n'est pas suffisante pour expliquer pareille discordance: en effet, si le rayonnement gamma de l'UZ a un coefficient d'absorption qui correspond qualitativement au rayonnement que nous avons étudié (WALLING <sup>10</sup>)  $\mu = 1,1 \text{ cm}^{-1}$ ), son intensité ne représente que quelques pour cent de l'intensité gamma de l'UX (WALLING). Nous avons fait une redétermination de ce rapport pour notre installation de mesure et nous avons trouvé qu'il n'est que d'environ 15%. En tenant compte de ces rayons gamma de l'UZ, le rapport des intensités des rayons gamma d'impulsion et des rayons gamma nucléaires de l'UX augmente; il passe de 1,07 (paragraphe III) à 1,26, mais il reste beaucoup en dessous de la valeur correspondante (environ 7) pour le RaE. Sans être négligeables les rayons gamma de l'UZ ne permettent donc pas d'expliquer l'intensité relativement grande des rayons gamma émis par les préparations d'UX.

Il reste encore la possibilité, discutée précédemment (voir paragraphe III 2c) qu'une *partie* de ces rayons soit des rayons nucléaires ordinaires (monochromatiques) provenant d'une excitation des atomes décomposés. Une étude attentive des spectres des rayons bêta de l'UX sera nécessaire pour trancher la question.

**VI. Application de ces résultats à l'étude des rayons gamma diffusés.**

Le problème du freinage externe des électrons joue un rôle important au point de vue de l'interprétation du rayonnement gamma secondaire diffusé par des écrans de plomb recevant des rayons gamma primaires. Différents auteurs (GENTNER, WILLIAMS<sup>11</sup>) par ex.) ont, en effet, suggéré qu'une partie au moins du rayonnement dur observé n'est autre chose que le rayonnement de freinage des rayons bêta rapides produits dans le radiateur par effet photoélectrique et effet Compton.

Nos mesures quantitatives concernant l'importance du rayonnement gamma de freinage dans le cas de l'UX permettent de vérifier que l'intensité de cette fraction du rayonnement gamma secondaire est compatible avec l'hypothèse du freinage externe. Dans un travail actuellement en cours de publication (Journal de physique) nous montrons que ce rayonnement de freinage joue effectivement un rôle prépondérant dans les phénomènes de diffusion des rayons gamma.

\*       \*       \*

Nous remercions Monsieur le Professeur Piccard, dans les laboratoires duquel ce travail a été effectué, ainsi que le Fonds National de la Recherche Scientifique dont l'intervention a permis l'exécution de cette recherche.

Bruxelles, Faculté des Sciences appliquées de l'Université.

**Bibliographie.**

- 1) F. SAUTER, Ann. des Phys. **18**, 486, 1933; **20**, 404, 1934.
  - 2) V. F. HESS et R. W. LAWSON, Wiener Ber. **125**, 661, 1916.
  - 3) J. A. GRAY, Phys. Rev. **19**, 430, 1922.
  - 4) J. CHADWICH, Phil. Mag. **24**, 594, 1912.
  - 5) O. HAHN et L. MEITNER, ZS. f. Phys. **17**, 157, 1923.
  - 6) E. STAHEL et D. J. COUMOU, Physica **7**, 707, 1935.
  - 7) M. LECOIN, C. R. **200**, 1931, 1935.
  - 8) M. H. TAYLOR et N. F. MOTT, Proc. Ron. Soc. **138 A**, 665, 1932.
  - 9) L. MEITNER et W. ORTHMANN, ZS. f. Phts. **60**, 143, 1930.
  - 10) E. WALLING, ZS. f. Phys. **75**, 425, 1932.
  - 11) W. GENTNER, Naturwiss. **22**, 435, 1934. E. J. WILLIAMS, Nature **135**, 266, 1935.
-