

36. Bernardo Nestore CACCIAPUOTI — Sulle radiazioni X e gamma emesse dal Rh_{45}^{104} .

1. — E' noto che il Rh_{45} , costituito per la quasi totalità dell'isotopo di massa 103, dà luogo, per cattura di neutroni lenti, alla formazione di due attività aventi periodo di decadimento rispettivamente di 4.2 min. e 44 sec. Dalle misure effettuate da vari autori si è potuto accertare che tali attività sono dovute ad una emissione β^- accompagnata da una debole radiazione elettromagnetica, e inoltre è stata riscontrata la identità degli spettri β relativi ai due periodi di 4.2 min. e 44 sec. (1). Questa circostanza unita al fatto che i due periodi del Rh_{45} nascono da un identico processo di cattura di un neutrone lento da parte del solo isotopo Rh_{45}^{104} fa ritenere che le due attività debbano attribuirsi a due isomeri del Rh_{45}^{104} .

In questo caso, secondo WEIZSAECKER (2), l'attività corrispondente al livello metastabile deve essere accompagnata dalla emissione di una radiazione gamma la quale può anche essere fortemente convertita dando origine ad una radiazione elettronica di bassa energia. PONTECORVO (3) è riuscito a mettere in evidenza la

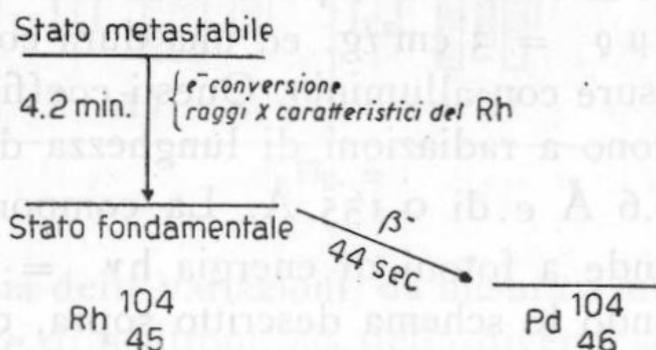


Fig. 1

presenza di elettroni di 35-60 kev, nell'attività di periodo $T=4.2$ min, che egli attribuisce alla conversione di una riga γ di circa 80 kev, dato che l'energia di ionizzazione dell'anello K del Rh è di 23 kev. Un analogo risultato è stato ottenuto da AGENO (4) il quale ha anche determinato l'energia dei raggi γ che accompagnano l'attività di 4.2 min. in base a curve di assorbimento.

Lo schema desintegrativo del Rh_{45}^{104} che sembra più probabile in base a questi vari risultati è quello rappresentato nella Fig. 1.

Secondo tale schema la cattura dei neutroni lenti da parte di Rh_{45}^{103} dà luogo alla formazione di Rh_{45}^{104} parte nello stato fondamentale e parte in uno stato eccitato, per circa 80 kev, che passa allo stato fondamentale per emissione di radiazione γ (in parte convertita) con periodo di 4.2 min. Lo stato fondamentale si disintegra per emissione β con periodo di 44 sec. dando luogo al Pd_{45}^{104} stabile.

2. — SIZOO e FRIELE (1) hanno studiato le componenti dure della radiazione γ che accompagna le due attività di 4.2 min. e 44 sec. del Rh_{45}^{104} . Il coefficiente d'assorbimento da loro trovato, in base a misure di assorbimento in alluminio, per la radiazione γ relativa al periodo di 44 sec. è $\mu/\rho = 0.095 \text{ cm}^2/\text{g}$. Questi Aa. hanno anche determinato il rapporto fra l'intensità A della radiazione di periodo 4.2 min. e quella B della radiazione di 44 sec., ridotte ad irraggiamento infinito, in funzione dello spessore assorbente di alluminio; dalla loro curva si ricava in assenza di assorbimento $A/B = 0.09$ e con un assorbitore di alluminio dello spessore di 5 mm., $A/B = 0,27$.

D'altra parte AGENO (4) ha determinato con curve di assorbimento in alluminio e in argento i coefficienti di assorbimento dei raggi X e γ relativi alla attività di 4.2 min. ed ha trovato una componente molle con $\mu/\rho = 3 \text{ cm}^2/\text{g}$. ed una dura con $\mu/\rho = 0.204 \text{ cm}^2/\text{g}$., per le misure con alluminio. Questi coefficienti di assorbimento corrispondono a radiazioni di lunghezza d'onda rispettivamente di circa 0.6 \AA e di 0.155 \AA . La componente con $\lambda = 0.155 \text{ \AA}$ corrisponde a fotoni di energia $h\nu = 80 \text{ kev}$. e viene interpretata, secondo lo schema descritto sopra, come dovuta alla transizione dallo stato eccitato allo stato fondamentale del Rh_{45}^{104} . D'altra parte la presenza della componente molle con $\lambda = 0.6 \text{ \AA}$ si può giustificare col fatto che nel processo di conversione dei quanti λ di 80 kev in elettroni di bassa energia, l'esistenza dei quali è stata effettivamente osservata da PONTECORVO (3), da OLLANO (5) e da AGENO (4), si deve osservare la riga K del Rh la cui lunghezza d'onda è prossima a 0.6 \AA . In realtà le misure d'assorbimento non permettono di valutare il valore di λ con esattezza tale da potere affermare trattarsi della riga K del Rh. Si può anche pensare che per effetto della disintegrazione del Rh_{45}^{104} avvengano altri pro-

cessi, come p. es. cattura K di un elettrone orbitale da parte del nucleo, nel quale caso si dovrebbe osservare la riga K del Ru_{44} .

Comunque, in base al presente schema desintegrativo del Rh_{45}^{104} , ci si deve aspettare una notevole diversità nello spettro della radiazione elettromagnetica corrispondente al periodo di 4.2 min. e a quello di 44 sec. Mi è sembrato perciò interessante di approfondire tale questione cercando di misurare e analizzare la parte dovuta a raggi X e γ della radiazione che accompagna l'attività di periodo $T = 44$ sec. del Rh_{45}^{104} .

3. — Il dispositivo sperimentale è quello adoperato da AGENO (4) e rappresentato nella Fig. 2a). Il contatore C contiene Xenon a 70 cm. Hg. di pressione. Tra il preparato attivo di Rh e il contatore C è interposta una lastra di paraffina P di 20 mm. di spessore (1.8 g/cm^2) in modo da arrestare tutti i raggi β provenienti dal Rh; com'è noto lo spettro β del Rh si estende fino a circa 2.3 Mev (1). Le misure venivano effettuate col sistema della doppia misura (4) con due dispositivi del tipo della Fig. 2a), onde elimi-

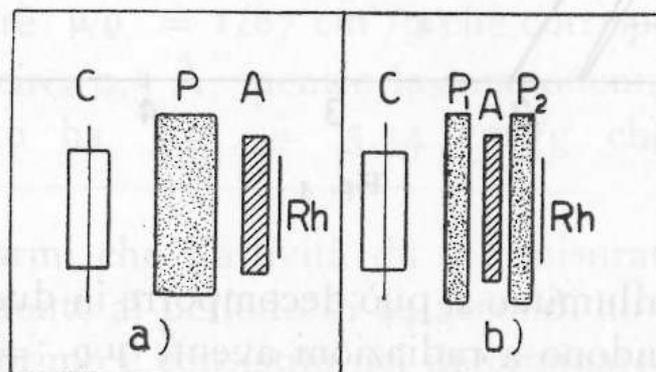


Fig. 2

nare l'influenza sia delle variazioni, da misura a misura, della intensità della sorgente di neutroni, sia della diversa sensibilità dei due sistemi contatore-apparecchio di registrazione. I preparati di Rh, sotto forma di lastre di $5 \times 5.5 \text{ cm}^2$ e di spessore 0.36 g/cm^2 , venivano irradiati per 15 sec. entro un recipiente pieno d'acqua, dai neutroni prodotti con l'impianto a 1 Mev dell'Istituto Superiore di Sanità di Roma. Le misure venivano iniziate 25 sec. dopo la fine dell'irraggiamento ed avevano la durata di 60 secondi. Gli assorbitori venivano collocati tra il preparato e lo strato di paraffina, nella posizione A della Fig. 2a), alternativamente nell'uno e nell'altro dei due dispositivi di misura, secondo il metodo della doppia misura. Le curve sperimentali ottenute in base alle misure di assorbi-

mento fatte con vari spessori di Al, Ag e Pb sono rappresentate nella Fig. 3. L'andamento delle tre curve mostra chiaramente che non si tratta di una radiazione monocromatica.

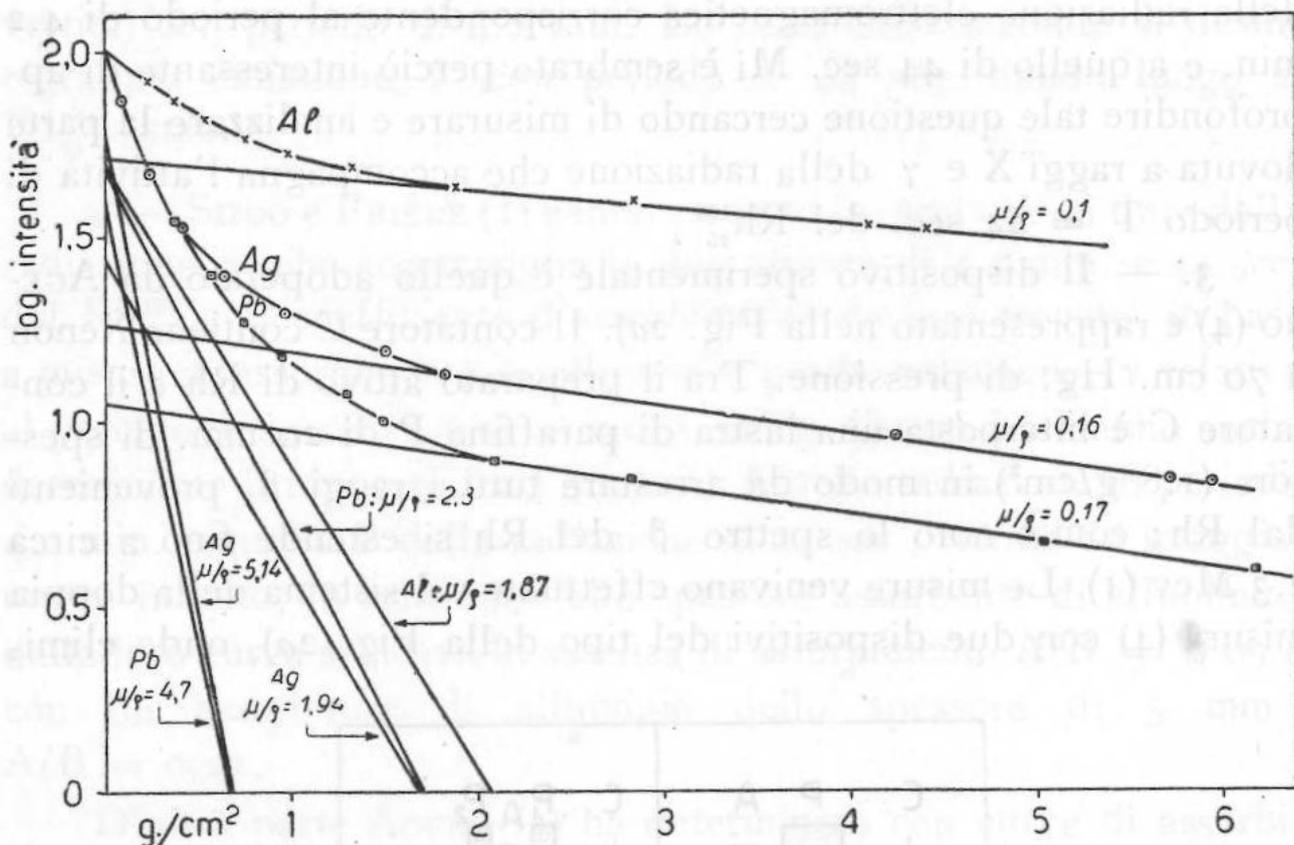


Fig. 3

La curva in alluminio si può decomporre in due curve esponenziali che corrispondono a radiazioni aventi $\mu/\rho = 1.87 \text{ cm}^2/\text{g}$ per la componente molle e $\mu/\rho = 0.1 \text{ cm}^2/\text{g}$ per la componente dura. Per assicurarmi che lo strato di paraffina P era sufficiente per arrestare completamente gli elettroni emessi dal Rh_{45}^{104} ho effettuato alcune misure nelle stesse condizioni, ma con 10 mm. di paraffina anzichè 20 mm. I risultati di queste misure sono compatibili con l'esistenza di due componenti di radiazione elettromagnetica aventi i valori trovati in precedenza per coefficienti di assorbimento. E' quindi da escludersi che il primo tratto della curva di assorbimento sia dovuto a raggi β .

E' da tenere presente però che la scomposizione della curva di assorbimento ottenuta con Al in due sole componenti esponenziali non garantisce la presenza di due sole radiazioni monocromatiche. Allo scopo di ottenere ulteriori informazioni su questo punto ho analizzato anche le curve di assorbimento in Ag e Pb le quali,

come mostra la Fig. 3, si decompongono ognuna in tre curve esponenziali. Le tre componenti della curva in Ag hanno per coefficienti di assorbimento μ/ρ , in cm^2/g , rispettivamente i valori: 5.14; 1.94; 0.16. I corrispondenti valori per la curva in Pb sono: 4.72; 2.3; 0.17. E' probabile che nel caso della curva in Al non è stata osservata la presenza della terza componente perchè la curva stessa non è stata prolungata sufficientemente.

L'esame simultaneo delle componenti delle curve in Al, Ag e Pb mostra subito che non si può considerare la radiazione elettromagnetica in esame come costituita da tre righe monocromatiche. In tal caso infatti le componenti che si corrispondono nelle tre curve dovrebbero partire da uno stesso punto dell'asse delle ordinate corrispondente a spessore assorbente nullo; come si vede invece dalla Fig. 3 questo fatto non si verifica. Inoltre i coefficienti di assorbimento che si ottengono per le varie componenti nelle tre curve non sono compatibili con l'esistenza di tre componenti monocromatiche. Per esempio, la componente molle della curva in alluminio ha un valore $\mu/\rho = 1.87 \text{ cm}^2/\text{g}$ che corrisponde ad una lunghezza d'onda λ circa 0.5 \AA ; mentre la componente più molle della curva in argento ha $\mu/\rho = 5.14 \text{ cm}^2/\text{g}$ che corrisponde a λ circa 0.2 \AA .

Per assicurarmi che l'attività da me misurata era veramente quella corrispondente al periodo di 44 secondi ho proceduto in due modi diversi. Il primo è consistito nel determinare sperimentalmente le curve di decadimento delle lastre di Rh durante gli intervalli di tempo in cui venivano fatte le misure in corrispondenza dei vari spessori di alluminio. Il secondo è basato sul confronto fra le attività iniziali, per irraggiamento infinito, corrispondenti ai due periodi di 4.2 min. e 44 sec. Per questo si è operato come segue: una lastra di Rh ed un'altra di In venivano irradiate contemporaneamente con neutroni lenti per 15 secondi. Dopo 20 sec. dalla fine dell'irraggiamento si misurava l'attività del Rh su di un intervallo di tempo di 60 secondi. Al 15° minuto dall'inizio dell'irraggiamento si misurava l'attività della lastra di In con una camera di ionizzazione, per confronto con un preparato campione di Uranio. Tenuto conto del periodo di decadimento di In^{114} (54 min.) e di quello del Rh (44 sec.) le misure sono state ridotte ai valori iniziali che si avrebbero per irraggiamento infinito. Indichiamo tali valori con A_∞ (Rh, 44 sec.)

e $A_{\infty}(\text{In})$; il rapporto $a_{\infty} = A_{\infty}(\text{Rh}, 44 \text{ sec.})/A_{\infty}(\text{In})$ rappresenta allora l'attività iniziale del Rh (44 sec.) per irraggiamento infinito, in unità di misura convenzionale. La stessa operazione è stata poi ripetuta irradiando una lastra di Rh ed una di In per 10 minuti e misurando l'attività del Rh per un intervallo di tempo di 10 minuti a partire dal quinto minuto dopo la fine dell'irraggiamento. Riducendo come prima le attività ad irraggiamento infinito, tenendo conto che in questo secondo caso l'attività misurata nel Rh è quella corrispondente al periodo lungo di 4.2 minuti, si ha $a'_{\infty} = A'_{\infty}(\text{Rh}, 4.2 \text{ min.})/A'_{\infty}(\text{In})$. Il quoziente a'_{∞}/a_{∞} rappresenta allora il rapporto tra le attività iniziali per irraggiamento infinito corrispondenti rispettivamente ai periodi di 4.2 minuti e 44 secondi. Per la radiazione elettromagnetica capace di attraversare uno strato di alluminio dello spessore di 5 mm. ho ottenuto $a'_{\infty}/a_{\infty} = 0.28$, in buon accordo col valore 0.27 trovato da Sizoo e FRIELE in analoghe condizioni. In base ai valori così ottenuti per le attività iniziali si può calcolare il contributo dell'attività corrispondente a $T = 4.2 \text{ min.}$ nella misura dell'attività totale nelle condizioni sperimentali in cui sono state effettuate le curve di assorbimento della Fig. 3. Si trova che l'attività di 4.2 min. rappresenta il 7% della attività totale, risultato che è confermato dalle curve di decadimento.

4. — Da quanto si è detto precedentemente risulta che il confronto tra le curve di assorbimento in Al, Ag e Pb non consente una interpretazione mediante scomposizione delle curve stesse in tre esponenziali corrispondenti a tre radiazioni monocromatiche provenienti dal Rh. Si potrebbe allora pensare che i risultati delle misure fossero influenzati dalla particolare disposizione delle varie parti costituenti il dispositivo sperimentale (paraffina, assorbitori, ecc.), cioè da fenomeni secondari negli assorbitori stessi, come per esempio fenomeni di diffusione e di creazione di quanti gamma per « bremsstrahlung ». Per avere informazioni su questo punto ho fatto il seguente esperimento.

Una lastra di Ag con spessore 0.245 g/cm^2 ed una di Al con spessore 0.228 g/cm^2 venivano poste contemporaneamente come assorbitore tra il Rh e lo strato di paraffina in modo che la radiazione proveniente dal preparato attivo di Rh attraversasse prima la lastra di Ag e poi quella di Al; la misura di attività dava come

risultato 0.464 ± 0.011 . Poi le due lastre venivano scambiate in maniera che la radiazione proveniente dal Rh attraversasse prima la lastra di Al e poi quella di Ag; in questo secondo caso la misura di attività dava come risultato 0.355 ± 0.010 .

La diversità dei risultati delle due misure mostra che effettivamente avvengono dei fenomeni secondari negli assorbitori che influenzano le misure stesse. I punti rappresentanti le attività misurate in quest'ultimo esperimento sono segnati nella Fig. 4 dove

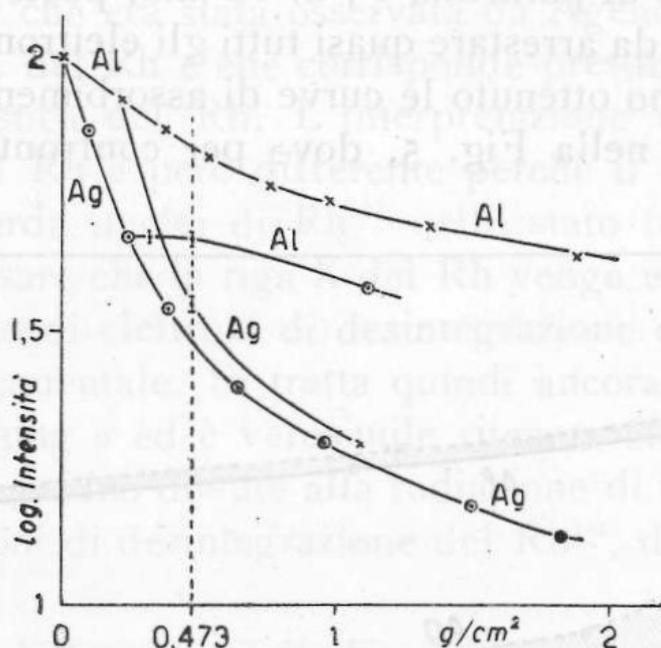


Fig. 4

sono pure riportati altri punti corrispondenti a spessori diversi rispettivamente di Al e Ag.

Ho pensato allora che gli elettroni emessi nella desintegrazione del Rh^{104} di 44 sec. potessero generare dei raggi gamma per il noto processo di « bremsstrahlung » negli assorbitori. Nelle condizioni geometriche delle esperienze descritte il preparato di Rh è infatti aderente all'assorbitore il quale viene quindi investito da una notevole percentuale dei raggi β del Rh^{104} . Ora le esperienze di WU (6) e di EDWARDS e POOL (7) mostrano che la radiazione di frenamento (bremsstrahlung) prodotta in varie sostanze dai raggi β del P^{32} , il cui spettro si estende fino a 1.7 Mev, può essere di intensità notevole anche dopo avere attraversato strati assorbenti di parecchi g/cm^2 di spessore.

Per evitare la formazione di radiazione di frenamento negli assorbitori ho determinato nuovamente le curve di assorbimento in Al, Ag e Pb inserendo uno strato di paraffina tra il preparato di

Rh e gli assorbitori stessi, procedendo nel seguente modo: lo strato di paraffina P di 20 mm. della prima esperienza è stato dimezzato in due lastre uguali di 10 mm. di spessore. Una delle lastre P_1 veniva collocata tra il preparato di Rh e l'assorbitore, mentre l'altra P_2 veniva posta tra l'assorbitore e il contatore, come nella Fig. 2b). In queste condizioni lo strato complessivo di paraffina, attraversato dalla radiazione gamma e X del Rh prima di giungere sul contatore C, era di spessore uguale a quello relativo alla prima esperienza. Però lo strato di paraffina P_1 di 10 mm. posto tra il Rh e l'assorbitore era tale da arrestare quasi tutti gli elettroni emessi dal Rh. In questo modo ho ottenuto le curve di assorbimento rappresentate con tratto pieno nella Fig. 5, dove per confronto sono riportate

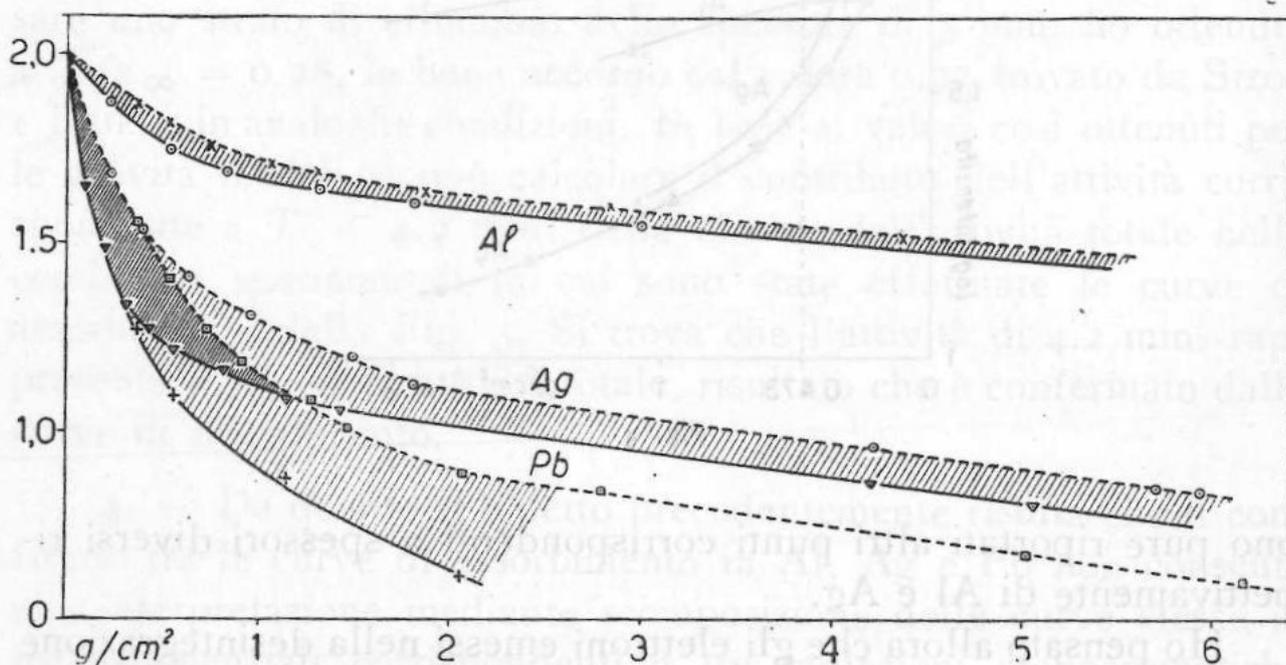


Fig. 5

anche le curve di assorbimento ottenute nella prima esperienza (con linea a tratti). Dalla figura si vede chiaramente che nel caso in cui la lastra di paraffina è inserita tra il Rh e l'assorbitore, in modo da impedire agli elettroni emessi dal Rh di colpire l'assorbitore, l'intensità misurata con un dato assorbitore risulta alquanto minore di quella che si ha, a parità di strato assorbente, quando gli elettroni del Rh sono in grado di raggiungere l'assorbitore.

Questo fatto è in accordo con l'ipotesi che una parte della radiazione X e gamma misurata col dispositivo della Fig. 2a) sia

generata per « bremsstrahlung » dagli elettroni di desintegrazione del Rh che incidono sull'assorbitore.

E' importante notare che la scomposizione in esponenziali delle curve di assorbimento ottenute con quest'ultima disposizione geometrica dà, per i coefficienti di assorbimento della componente più molle in Al e Ag, rispettivamente $\mu/\rho = 3$ e $\mu/\rho = 14$, valori tra di loro compatibili e corrispondenti ad una radiazione X di lungh. d'onda pari a circa 0.6 \AA . Si ritrova dunque quella stessa radiazione molle che era stata osservata da Ageno nella attività di periodo 4.2 min. del Rh e che corrisponde presumibilmente con la riga X caratteristica del Rh. L'interpretazione di questa riga X caratteristica del Rh è però differente perchè il caso della nostra esperienza riguarda nuclei di Rh^{104} nello stato fondamentale e si deve quindi pensare che la riga X del Rh venga emessa per effetto dell'assorbimento di elettroni di desintegrazione dello stesso Rh nello stato fondamentale. Si tratta quindi ancora di un fenomeno di « bremsstrahlung » ed è verosimile ritenere che le curve riprodotte nella Fig. 5 siano dovute alla radiazione di frenamento generata dagli elettroni di desintegrazione del Rh^{104} , di periodo 44 sec., nel Rh stesso.

Dall'esame delle curve della Fig. 5 si osserva che l'incremento percentuale della radiazione elettromagnetica per effetto del fenomeno di « bremsstrahlung », rappresentato dalle aree tratteggiate, va aumentando nel passare dall'alluminio all'argento e al piombo; ciò è in accordo col fatto che l'intensità dei raggi X generati per frenamento di elettroni è una funzione crescente del numero atomico Z della sostanza che genera la « bremsstrahlung ».

Notiamo, infine, che nelle esperienze ora descritte l'intensità dei raggi X molli risulta esaltata rispetto a quella dei raggi gamma duri per il fatto che il dispositivo rivelatore era costituito da contatori a Xenon. Il rendimento di tali contatori (4), contenenti Xenon a 70 cm Hg di pressione, è infatti del 14% per una radiazione di lunghezza d'onda λ circa 0.6 \AA , mentre il rendimento stesso scende al 2% per una radiazione avente λ circa 0.160 \AA .

Desidero ringraziare la Direzione dell'Istituto Superiore di Sanità per avere messo a mia disposizione l'apparecchiatura necessaria per questa esperienza e i proff. G. G. TRABACCHI e D. BOC-

CIARELLI per l'aiuto datomi. Ringrazio inoltre il prof. Edoardo Amaldi per il suo interessamento a questa ricerca e gli utili consigli.

Roma - Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di fisica, 2 aprile 1947.

RIASSUNTO

Si riportano i risultati di alcune misure effettuate, con dei contatori a Xenon, sulla radiazione elettromagnetica emessa dal Rh^{104}_{45} di periodo $T = 44$ secondi ottenuto per bombardamento del Rh con neutroni lenti. Dalle curve di assorbimento di tale radiazione, fatte con assorbitori di Al, Ag e Pb in varie condizioni geometriche, si trova che i raggi X e gamma emessi dal Rh^{104}_{45} di 44 secondi sono per lo meno in gran parte da attribuirsi ad un fenomeno di « bremsstrahlung » per effetto degli stessi elettroni di desintegrazione del Rh^{104}_{45} .

RÉSUMÉ

On décrit les résultats de quelques mesures, effectuées avec des compteurs à Xenon, sur la radiation électromagnétique émise par le Rh^{104}_{45} de période 44 secondes, obtenu en bombardant le Rh avec des neutrons lents. Les courbes d'absorption de cette radiation, faites avec des absorbeurs de Al, Ag et Pb en différentes conditions géométriques, montrent que les rayons X et gamma émis par le Rh^{104}_{45} de 44 secondes doivent être attribués, au moins en grande partie, à un phénomène de « bremsstrahlung » des électrons de désintégration du Rh^{104}_{45} .

SUMMARY

A report is given on the results of some measurements, performed with Xenon filled counters, on the electromagnetic radiation emitted by Rh^{104}_{45} with 44 seconds half period obtained from Rh by slow neutron bombardment. The absorption curves of such radiation, with Al, Ag and Pb absorbers and different geometrical arrangements, show that the X and gamma rays emitted by Rh^{104}_{45}

of 44 seconds must be mainly ascribed to a « bremsstrahlung » effect of the desintegration electrons of Rh^{104}_{45} .

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden die Ergebnisse einiger Messungen wiedergegeben, welche mittels Xenonzähler auf elektromagnetische Strahlungen des durch Bombardierung des Rh mit langsamen Neutronen erhaltenen Rh^{104}_{45} Periode $T = 44$ Sekunden gemacht wurden. Aus den Absorptionskurven dieser Strahlung die mit absorbierenden Platten aus Al, Ag und Pb unter verschiedenen Bedingungen gemacht wurden, ersieht man, dass die X und Gamma-Strahlen, welche aus Rh^{104}_{45} zu 44 Sekunden ausgestrahlt werden, zumindest zum grössten Teil einer Bremsstrahlenercheinung der Disintegrationselektronen des Rh^{104}_{45} zuzuschreiben sind.

BIBLIOGRAFIA

- (1) E. C. CRITTENDEN, *Phys. Rev.* 56, 709 (1939); E. R. GAERTNER, J. J. Turin and R. CRANE, *Phys. Rev.* 49, 793 (1936). G. J. SIZOO and L. F. C. FRIELE, *Physica*, 10, 57 (1943).
- (2) C. F. v. WEIZSÄCKER, *Naturwiss.* 24, 813 (1936).
- (3) B. PONTECORVO, *Phys. Rev.* 54, 452 (1938).
- (4) M. AGENO, *Nuovo Cim.* 9, 415 (1943).
- (5) Z. OLLANO, *Ric. Scient.* 11, 568 (1940).
- (6) CHIEN-SCHIUNG WU, *Phys. Rev.* 59, 481 (1941).
- (7) J. E. EDWARDS and M. L. POOL, *Phys. Rev.* 69, 549 (1946).