

68. CONTRIBUTO ALLO STUDIO DEGLI SPETTRI γ E X MOLLI DEI PRODOTTI DI DISINTEGRAZIONE DEL RADON.

1. - Lo studio, per diffrazione cristallina, della radiazione γ ed X emessa da una ampolla contenente radon, nella regione spettrale da 700 a 1400 U. X, è stato oggetto di pochissime ricerche. In un vecchio lavoro, che è stato la prima applicazione della spettrografia cristallina allo studio della radiazione γ , Rutherford e Andrade hanno dato le lunghezze d'onda di diverse righe osservate in questa regione; questi valori numerici sono stati più tardi corretti in seguito alla constatazione di un piccolo errore sistematico messo in evidenza da Rutherford e Wooster. La conclusione più importante di questi lavori era che le righe più intense osservate corrispondevano alle righe dello spettro caratteristico L di raggi X degli elementi di numero atomico 83 (trasmutazione $\text{RaB} \rightarrow \text{RaC}$) ed 84 (trasmutazione $\text{RaC} \rightarrow \text{RaC}'$).

Nel 1939 Hulubei e Cauchois hanno pubblicato i primi risultati (gli Autori non hanno ancora dato una lista completa delle righe osservate) di uno studio simile. Dalle righe osservate gli Autori concludono per la esistenza di uno spettro molto intenso corrispondente a 83, di uno debole corrispondente a 84 e di uno debolissimo corrispondente a 82 (¹).

Inoltre, avendo osservato nello spettro l'esistenza di due righe, la cui lunghezza d'onda era quella (calcolata applicando la legge di Moseley) di $L\alpha_1$ e $L\beta_1$ di un elemento di numero atomico 85, avanzarono l'ipotesi dell'esistenza di questo elemento fra i prodotti di disintegrazione del radio.

Avendo in corso una ricerca in questo campo, riferisco in questa nota alcuni risultati già acquisiti, riguardanti un aspetto del problema che non è stato preso in considerazione dagli altri Autori: quello del rapporto fra le intensità delle diverse righe spettrali.

2. - Il metodo spettrografico che impiego è, come nelle esperienze di Rutherford e collaboratori, quello di Bragg. Lo spettrografo di Bragg possiede, in via generale, una luminosità molto inferiore a quella dello

spettrografo a focalizzazione adoperato da Hulubei e Cauchois; tuttavia questa mancanza di luminosità è in certa misura compensata dal fatto che io adopero come cristallo il salgemma, il cui potere riflettente è superiore a quello della mica utilizzata dai predetti Autori. Osserviamo inoltre che nello spettrografo di Bragg non si presenta, come nello spettrografo a cristallo curvo, l'assorbimento dovuto al fatto che la radiazione deve attraversare il cristallo; ora, questo assorbimento, trascurabile per la radiazione di 700 U.X., è molto importante già per quella di 1200 U.X.

Il cristallo di salgemma (superficie 4×4 cm.) possiede un movimento di rotazione prodotto da un motore elettrico; mentre diversi eccentrici permettono di dare all'angolo di rotazione del cristallo il valore desiderato. Quando si tratta di studiare delle righe molto deboli, il cristallo viene mantenuto fermo, e ciò, a causa della divergenza del fascio e delle altre condizioni geometriche dell'apparato, permette lo studio di una zona spettrale della larghezza di 100 U.X. (corrispondente, per il salgemma, ad una variazione d'angolo di 1°). L'eccentrico più piccolo dà una variazione angolare di 2° e quello più grande di 5° .

La sorgente, che si trova al centro di un cubo di piombo di 50 cm. di lato, è costituita da un tubo di vetro a parete molto sottile, contenente emanazione; la radiazione è canalizzata mediante del piombo ricoperto di alluminio.

La distanza sorgente-cristallo è stata, nella maggior parte delle prove, 33 cm., corrispondenti ad una dispersione dell'ordine di 8 U.X./mm.

La registrazione dello spettro era fatta su una pellicola radiografica a doppia emulsione, sul cui lato posteriore era posto un rinforzatore. Osserviamo che se non si adopera il rinforzatore si ha un contrasto più grande tra il velo del fondo dovuto alla radiazione diffusa, e le righe; ciò sarebbe interessante per lo studio delle righe deboli, ma purtroppo il tempo di posa diventa troppo grande.

Nelle condizioni indicate una sorgente di 600 millicurie dà in un quarto d'ora le righe più intense dello spettro. Secondo Hulubei e Cauchois, una sorgente di 100 mc. dà, dopo qualche ora, lo spettro delle righe più intense. Si può pertanto concludere che la luminosità è presso a poco la stessa nei due spettrografi.

La misura della posizione di ciascuna riga è fatta mediante il microfotometro Zeiss.

3. - Il problema dell'intensità relativa delle righe può essere affrontato da due diversi punti di vista; o si confrontano le intensità delle righe dello spettro di un solo elemento, oppure si studia il rapporto delle intensità di certe righe degli spettri di diversi elementi. Dato che, a quel che mi consta, non è stata mai fatta dettagliatamente l'analisi dei due aspetti di questo problema, mi soffermo a considerarlo nei suoi particolari.

Comincio col caso del rapporto di intensità fra le righe spettrali di un elemento eccitato mediante la conversione interna della radiazione γ . Prendiamo in considerazione due diverse possibilità, relative a questo caso, che portano a delle conclusioni completamente differenti.

Prendiamo dapprima il caso in cui i quanti γ emessi hanno un'energia sufficiente per espellere degli elettroni dallo strato L, ma inferiore al lavoro di estrazione dal livello K. In queste condizioni gli elettroni espulsi per unità di tempo dai differenti sotto-livelli L saranno nelle proporzioni: 17 (per L_I); 5 (per L_{II}), 1 (per L_{III}) (²). Allora se alla espulsione foto-elettrica segue il passaggio di elettroni dagli strati esterni al livello L si avrà uno spettro tale che l'intensità totale delle righe a livello finale L_I è tre volte e mezzo più grande dell'intensità totale delle righe a livello finale L_{II} , e questa cinque volte più grande di quella di L_{III} . Nello spettro L dei raggi X le righe a livello finale L_I sono $\beta_3, \beta_4, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ quelle che corrispondono a delle transizioni verso L_{II} sono $\beta_1, \gamma_1, \gamma_5, \eta$ e quelle verso L_{III} , $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \beta_5, \beta_6, \beta_7, 1$. Si potrà per conseguenza scrivere:

$$\begin{aligned} I_I &= 3,5 \quad I_{II} = 17 I_{III} & I_I &= \beta_3 + \beta_4 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 \\ & & I_{II} &= \beta_1 + \gamma_1 + \gamma_5 + \eta \\ & & I_{III} &= \alpha_1 + \alpha_2 + \beta_2 + \beta_5 + \beta_6 + \beta_7 + 1 \end{aligned}$$

designando con I_I, I_{II}, I_{III} le intensità totali di ciascuno di questi gruppi.

Ora nello spettro dei raggi X eccitati per bombardamento catodico, le intensità sono nelle proporzioni seguenti:

$$I_I = 11 \qquad I_{II} = 48 \qquad I_{III} = 100$$

Si vede, per conseguenza, che lo spettro di fluorescenza emesso a causa del fenomeno di conversione interna, pur avendo le medesime ri-

ghe dello spettro eccitato in una ampolla a raggi X, presenterà queste righe con delle intensità molto diverse. Bisogna tuttavia fare un'osservazione; i passaggi $L_{II} \rightarrow L_I$ e $L_{III} \rightarrow L_I$ non sono dei passaggi proibiti, e se essi avvengono, evidentemente il rapporto precedente cambia in favore di L_{II} e L_{III} . Nella teoria delle righe satelliti di Coster e Kronig si ammettono questi passaggi; tuttavia non si possiedono dati quantitativi al riguardo.

In ogni modo abbiamo per il controllo di questo ragionamento un dato di ordine sperimentale. La trasmutazione $RaD \rightarrow RaE$ è l'esempio di una trasmutazione in cui si ha emissione solamente di radiazioni γ di energia compresa fra E_K e E_L . Ora, analizzando col metodo di assorbimento la radiazione emessa dal RaD , Amaldi e Rasetti hanno verificato che per una radiazione $L\beta$ abbastanza intensa non si poteva rivelare alcuna emissione $L\alpha$; se si nota che nello spettro naturale l'intensità $L\beta$ è 96 per una intensità $L\alpha$ eguale a 112, si conclude che la radiazione corrispondente a L_{III} è nettamente più debole. In conseguenza, benchè possano accadere dei passaggi $L_{II} \rightarrow L_I$ ed $L_{III} \rightarrow L_I$, questi passaggi non avvengono in quantità sufficiente da influire sul risultato delle nostre considerazioni.

Passo ora all'analisi del caso in cui si ha emissione di quanti aventi tutti una energia superiore ad E_K . In queste condizioni le intensità delle righe dello spettro β corrispondenti sono nel rapporto seguente:

$$100 \text{ fotoelettroni } K : 17 \text{ fotoelettroni } L_I$$

L'intensità delle righe corrispondenti ai fotoelettroni L_{II} e L_{III} è in questo caso trascurabile ⁽³⁾. Gli elettroni del livello K verranno sostituiti da elettroni di L_{III} , L_{II} , M_{III} , M_{II} , N_{III} (righe $K\alpha_1$, α_2 , $\beta_{1,3}$, β_2 dello spettro di raggi X) nelle proporzioni seguenti:

$$100 (\alpha_1) : 50 (\alpha_2) : 35 (\beta_{1,3}) : 15 (\beta_2) \text{ } ^{(4)}$$

Cioè, di 100 elettroni K emessi la metà è sostituita da elettroni di L_{III} e la quarta parte di elettroni di L_{II} . Vi saranno per conseguenza per unità di tempo e nei tre livelli L_I , L_{II} , L_{III} i seguenti posti vuoti:

$$17 L_I$$

$$25 L_{II}$$

$$59 L_{III}$$

Per conseguenza in questo caso il rapporto tra le intensità totali delle righe $\rightarrow L_{II}$ e $\rightarrow L_{III}$ è uguale a quello che si trova nello spettro naturale e le righe $\rightarrow L_I$ hanno una intensità tre volte più grande.

Nessuno studio è stato fatto fino ad ora, per controllare questo ragionamento e questo controllo è appunto lo scopo di questa ricerca.

Si potrebbe ora avanzare l'ipotesi dei corpi emettenti dei raggi γ di quanti superiori e inferiori a E_K , ma in base a quanto ho detto sembra non essere necessario tanto più che in questo caso bisognerà tener conto volta a volta delle relative intensità.

4. - L'altro problema, al quale abbiamo già accennato è quello del rapporto di intensità tra le righe degli spettri dei differenti elementi. Consideriamo le trasmutazioni $A \rightarrow B$, e $B \rightarrow C$, trasmutazioni accompagnate da emissione γ e in conseguenza dagli spettri di raggi X caratteristici dei numeri atomici rispettivamente B e C.

L'intensità totale delle righe dello spettro dei raggi X emessi da ogni elemento e per ogni unità di tempo sarà proporzionale al numero di atomi che si disintegra per unità di tempo, al numero di quanti emessi per ogni atomo, al coefficiente di conversione interna dei quanti emessi. Il prodotto di questi tre fattori è a sua volta uguale al numero dei fotoelettroni emessi per unità di tempo. A questo numero bisogna evidentemente sottrarre tutti i fotoelettroni degli strati esterni a L e ancora tutti i quanti $\rightarrow L$ che producono effetto Auger. Finalmente occorrerà per i fotoelettroni K prendere solamente, come abbiamo visto prima, tre quarti del numero emesso.

Pertanto bisogna osservare che la determinazione dell'intensità totale dello spettro L è, per ragioni di ordine sperimentale, estremamente difficile. Bisogna contentarsi di fare il paragone tra certe righe di uno spettro e dell'altro.

Proviamo allora a stabilire il rapporto di intensità tra le due righe $L\alpha_1$ (transizione $\rightarrow L_{III}$) dei due spettri. Ammettiamo per esempio (è questo il caso che a noi interessa) che nelle due trasmutazioni l'azione fotoelettrica sullo strato L_{III} sia nulla o trascurabile. In questo caso, tutti i posti vuoti di L_{III} proverranno dai passaggi di $L_{III} \rightarrow K$ (sempre trascurando la possibilità $L_{III} \rightarrow L_I$) e per conseguenza il rapporto tra le in-

tensità delle due righe $L\alpha_1$ sarà il rapporto tra i numeri dei fotoelettroni K espulsi per unità di tempo nelle due trasmutazioni. Non è necessario far intervenire l'effetto Auger poichè per due elementi a numero atomico vicino il coefficiente Auger è, come si può ammettere, il medesimo. Di conseguenza si avrà:

$$\frac{\text{Intensità } L\alpha_1 \text{ (trasm. } A \rightarrow B)}{\text{Intensità } L\alpha_1 \text{ (trasm. } B \rightarrow C)} = \frac{\text{numero di fotoelettroni K (trasm. } A \rightarrow B)}{\text{numero di fotoelettroni K (trasm. } B \rightarrow C)}$$

5. - Passiamo allora all'analisi dei risultati sperimentali tentando di controllare le previsioni che abbiamo fatto.

Nella regione da 700 a 1300 U.X vi sono tre righe molto più intense di tutte le altre; con l'aiuto degli spettri di raggi X di confronto (serie K del tungsteno in diversi ordini e limiti di assorbimento di Ag e Br) ho potuto identificare queste tre righe come le $L\alpha_1$, β_1 , γ_1 dello spettro di un elemento di numero atomico 83 (Bi). Essendo arrivato a questa conclusione, d'accordo del resto, con i risultati precedenti sia di Rutherford e Wooster come pure di Hulubei e Cauchois, ho usato queste tre righe come righe campione per la misura, al microfotometro, della lunghezza di onda delle altre righe. Ho adottato per lunghezza d'onda di queste tre righe i valori ottenuti da Idei nel suo studio dello spettro L del Bi (83) isotopo del RaC: $\alpha_1 = 1141,5$; $\beta_1 = 950,0$; $\gamma_1 = 811,4$ U.X.

Ho così misurato un certo numero di righe che io attribuisco allo spettro d'un elemento 83 in seguito alle loro lunghezze d'onda; dò quindi nella tabella seguente sia queste righe come pure i valori di Idei per lo spettro del bismuto.

In questa tabella ho attribuito tutte le righe alla trasmutazione $RaB \rightarrow RaC$, ma è evidente che ogni trasmutazione che conduce all'elemento 83 può causare tali emissioni. Noto pertanto che la trasmutazione $RaD \rightarrow RaE$ (83) non ha alcuna parte a causa del lungo periodo del RaD.

Torniamo ora al problema delle intensità. Se si fa per la trasmutazione $RaB \rightarrow RaC$ il calcolo dei posti vuoti in ognuno dei sotto-livelli L per unità di tempo, si trova il rapporto:

$$100 L_{III} : 54 L_{II} : 43 L_I$$

TABELLA I.

Transizione	Riga	Lunghezza d'onda in U.X	
		Idei spettro di Bi (83)	Valadares RaB → RaC (83)
L _I M _{II}	β_4	975,0	975
M _{III}	β_3	936,7	937
N _{II}	γ_2	794,0	793
N _{III}	γ_3	789,5	789 (*)
O _{III}	γ_4	759,3	760
L _{II} M _I	η	1056,5	1055
N _I	γ_5	837,7	838
M _{IV}	β_1	950,0	[950,0]
N _{IV}	γ_1	811,4	[811,4]
O _{IV}	γ_6	788,7	789 (*)
L _{III} M _I	l	1313,7	1315
O _I	β_6	991,3	992
N _I	β_7	933,0	933
M _{IV}	α_2	1153,0	1153
M _V	α_1	1141,5	[1141,5]
N _V	β_2	953,2	952
O _{VI,V}	β_5	923,6	924

(*) Nelle figure queste due righe non sono separate.

Di conseguenza per una medesima intensità → L_{III} le righe di transizione L_I devono avere una intensità quattro volte più grande (⁵).

Se si desidera confrontare le intensità delle righe, la cui lunghezza d'onda è molto diversa, si corre il rischio di commettere dei grandi errori, perchè si conoscono male o non si conoscono affatto i fattori seguenti: assorbimento dei diversi raggi nella parete di vetro dell'ago di radon, potere riflettente del salgemma per le diverse lunghezze d'onda, variazione della sensibilità della pellicola radiografica con l'energia dei quanti. Si deve, quindi, limitare l'analisi a dei raggi la cui lunghezza d'onda è sufficientemente prossima perchè si possa ammettere che questi fattori abbiano, presso a poco, un valore costante. Notiamo ancora che in questa zona spettrale si trova il limite di assorbimento K del bromo (918 U.X) e che, per conseguenza, il confronto tra le intensità delle righe situate da una parte e dall'altra di questo limite, anche per lunghezze d'onda vicine, rischia di essere molto falsato.

Tra i diversi rapporti che ho potuto stabilire ve n'è uno particolarmente dimostrativo. Si tratta del rapporto di intensità tra β_5 e β_3 . Questi due raggi hanno, nello spettro dei raggi X eccitato per bombardamento

catodico, presso a poco, la stessa intensità, pure essendo β_5 leggermente più intenso di β_3 . Ora, nello spettro di fluorescenza in istudio β_5 è molto più debole di β_3 ; il microfotogramma mette in evidenza questo fatto molto chiaramente.

Usando vari tempi di posa ho determinato che il rapporto di intensità tra la β_5 e la β_3 è uguale a $1/3$. Si vede, quindi, che per una stessa intensità della β_3 (transizione $\rightarrow L_I$) la riga β_5 (transizione $\rightarrow L_{III}$) è diventata

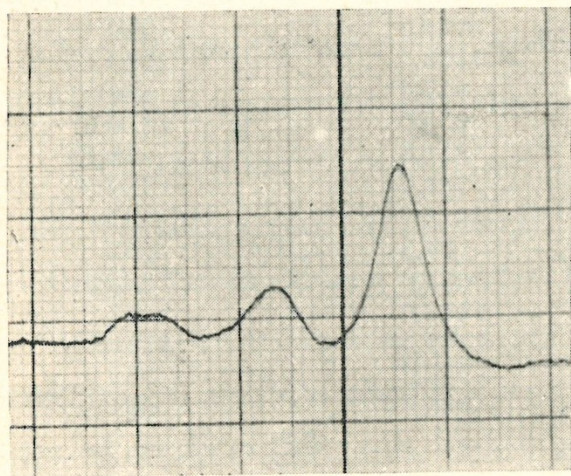


FIG. 1.

tre volte più debole il che corrisponde all'ordine di grandezza dell'indebolimento previsto. Notiamo che in questo rapporto le cause di errore di cui abbiamo parlato sono poco importanti poichè si tratta di righe molto vicine e se, d'altra parte si dovesse fare una correzione (diverso assorbimento nelle pareti dell'ago di radon) questa correzione si dovrebbe fare nel senso di aumentare β_3 .

Stabilisco ora il rapporto tra le intensità di alcune altre coppie di righe, ma in ogni modo l'esempio β_5 , β_3 è il più significativo.

6. - Ho affrontato il secondo problema proposto, cioè il rapporto tra le intensità delle righe di spettri diversi, determinando il rapporto tra le intensità della $L\alpha_1$ 83 e $L\alpha_1$ 84, che corrispondono rispettivamente alle trasmutazioni $RaB \rightarrow RaC$ e $RaC \rightarrow RaC'$; poichè queste due righe hanno lunghezze d'onda vicine, le cause d'errore cui abbiamo accennato precedentemente sono trascurabili.

Le due trasmutazioni sono del tipo presentato al paragrafo 4 e per conseguenza:

$$\frac{\text{Intensità } L\alpha_1 (84)}{\text{Intensità } L\alpha_1 (83)} = \frac{\text{numero di fotoelettroni } K(RaC \rightarrow RaC')}{\text{numero di fotoelettroni } K(RaB \rightarrow RaC)}$$

Evidentemente per determinare questo rapporto bisogna avere le intensità dello spettro beta (originato nel livello K) per unità di tempo oppure, il che è lo stesso in questo caso di sostanze in equilibrio, per lo stesso numero di atomi disintegrati. Nei lavori di Ellis e Wooster, di Ellis e

Aston vi sono le intensità dei raggi emessi nelle trasmutazioni $\text{RaB} \rightarrow \text{RaC}$ e $\text{RaC} \rightarrow \text{RaC}'$ calcolati riferendosi a una stessa unità, il che ci permette di determinare il rapporto precedente. Se si prende l'intensità totale delle righe che, in seguito all'analisi dello spettro γ , sappiamo provenire dallo strato K, si trova:

$$\frac{\text{Intensità } L\alpha_1 (84)}{\text{Intensità } L\alpha_1 (83)} = \frac{16,5}{275} = 6 \%$$

Bisogna notare che vi sono molte righe dello spettro beta sia relative al passaggio $\text{RaB} \rightarrow \text{RaC}$ sia a $\text{RaC} \rightarrow \text{RaC}'$ che non sono comprese nell'analisi dello spettro γ . Se si ammette, allora, che tutte queste righe siano dovute a fotoelettroni K, il rapporto precedente assume il valore 8 %.

Il microfotogramma 2 mostra le righe $L\alpha_1 (84)$ e $L\alpha_1 \alpha_2 (83)$. Come si vede $L\alpha_1 (84)$ è un po' meno intensa di $L\alpha_2 (83)$, la quale a sua volta, ha un'intensità che è il 12 % di quella di $L\alpha_1 (83)$. In seguito al confronto di numerose pellicole fatte con sorgenti di diverse intensità e con diversi tempi di posa ho trovato che la intensità di $L\alpha_1 (84)$ è in confronto a $L\alpha_1 (83)$ il 9 %.

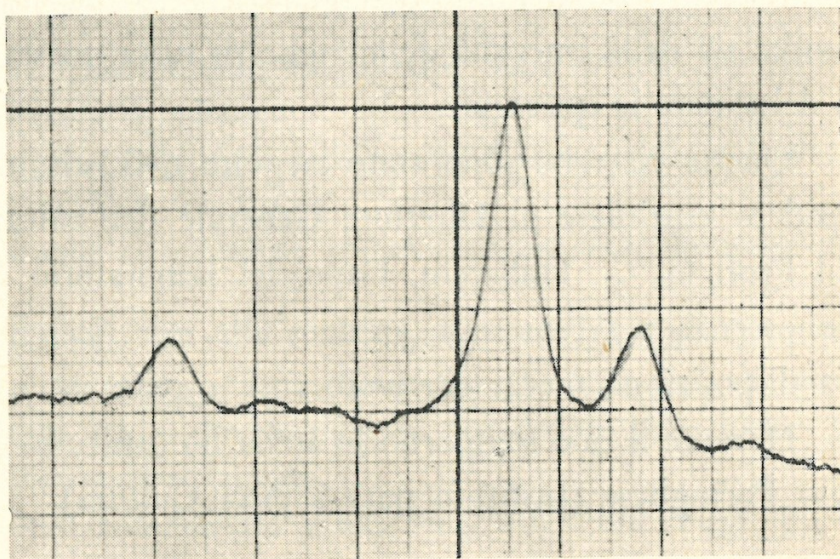


FIG. 2.

L'accordo, data la precisione sia del calcolo fatto, sia della determinazione sperimentale è del tutto soddisfacente. Vi è tuttavia una differenza tra i miei risultati e quelli di Hulubei e Cauchois. Secondo questi Autori: « L'emissione L dell'84 avviene, in relazione a quella dell'83, con un'intensità molto più debole di quella che ci saremmo dovuta aspettare in seguito ai risultati conosciuti degli spettri dei raggi β o γ ».

Questo disaccordo tra il mio risultato e quello degli Autori citati mi ha spinto a studiare se il rapporto tra le intensità delle righe α_1 dell'ele-

mento 83 e dell'84 variava con l'età della sorgente. Ho fatto la seguente esperienza: si determina lo spettro subito dopo la preparazione dell'ago di emanazione (posa di 24 ore), si prende un'altra pellicola dopo quattro giorni, e un'altra ancora quando la sorgente ha otto giorni. Ho trovato sempre lo stesso rapporto; anche quando nelle due serie di misure che ho fatto sembrava piuttosto che l'intensità della α_1 (84) crescesse in rapporto alla α_1 (83). In ogni caso la variazione rimane nell'ordine di grandezza degli errori possibili e d'altra parte se questo effetto esiste si oppone evidentemente a spiegare la discordanza tra i risultati di Hulubei e Cauchois e i miei.

7. - Continuo ora l'analisi delle righe deboli in modo da classificarle o come raggi γ o come raggi di fluorescenza di numero atomico diverso da 83. Alcune di queste righe potrebbero essere interpretate come appartenenti allo spettro di raggi X di elementi di numero atomico 87 e 85 tuttavia solo lo studio dettagliato che sto facendo sia delle lunghezze d'onda, sia della intensità delle righe di tutta questa regione spettrale potrà delucidare la questione.

Queste ricerche sono state eseguite nell'Istituto di Sanità Pubblica. Desidero esprimere al Direttore Generale dell'Istituto, Prof. D. Marotta e al Prof. G. C. Trabacchi, Capo del Laboratorio di Fisica la mia viva riconoscenza per l'interesse prestato alle mie ricerche e per aver messo a mia disposizione mezzi di lavoro così importanti.

Durante il mio soggiorno in Italia ho usufruito di mezzi forniti dallo Stato Portoghese (Istituto para a Alta Cultura).

RIASSUNTO

L'Autore riferisce sui primi risultati riguardanti lo spettro dei raggi γ e X molli emessi dal Radon e dai suoi derivati. Egli mette in particolare in evidenza l'importanza che in questa analisi ha l'intensità relativa delle righe poichè, in realtà, queste presentano intensità molto diverse da quelle di uno spettro a raggi X eccitato per bombardamento catodico. Alcune righe deboli possono essere interpretate come provenienti da elementi a numero atomico 87 e 85.

SUMMARIUM

Auctor recentes rerum exitus ad spectrum γ et X mollium pertinentes, qui a « Radon » eiusque extractis emissi sunt, exponet.

Ab Auctore particulatim profertum est pondus quod, vis extrinseca spectri linearum in hac explicatione habet, quia istae, enim, vires dissimillimas ab illis spectri quod radiis X productum est atque electronum collisu contra catodum exhibent.

Lineae spectri aliquae debiles venientes ex elementis, numero atomico 87 et 85, interpretari possunt.

Roma. — Istituto di Sanità Pubblica - Laboratorio di Fisica.

BIBLIOGRAFIA

(¹) Secondo gli Autori questo spettro 82 potrebbe essere dovuto, almeno in parte, al piombo che canalizzava la radiazione.

(²) Ho preso come esempio delle righe dello spettro β emesse dalla radiazione di 54 ekV nella trasmutazione $\text{RaB} \rightarrow \text{RaC}$.

(³) Ho preso come esempio la radiazione 354 ekV emessa nella trasmutazione $\text{RaB} \rightarrow \text{RaC}$.

(⁴) I lavori di Frilley (famiglie del radio e dell'attinio) e miei (famiglie del radio e del torio) hanno mostrato che nello spettro di fluorescenza K degli elementi radioattivi, il rapporto di intensità fra le diverse righe è il medesimo dello spettro di raggi X ottenuto per bombardamento catodico.

(⁵) Nel calcolo precedente non abbiamo tenuto conto dell'effetto Auger perchè questo darebbe luogo ad atomi doppiamente ionizzati e quindi a righe satelliti.

1. AMALDI e RASETTI, Ric. Scient., 10, 111 (1939).
2. COSTER and KRONIG, Physica, 2, 13 (1935).
3. ELLIS and ASTON, Proc. Roy. Soc. A, 129, 180 (1930).
4. ELLIS and WOOSTER, Proc. Roy. Soc. A, 114, 276 (1927).
5. FRILLEY, Thèse, Paris, 1928, Journ. Phys., [8], 1, 34 (1940).
6. HULUBEI et CAUCHOIS, C. R., 209, 39 (1939).
7. IDEI, Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ., 19, 559 (1930).
8. RUTHERFORD and ANDRADE, Phil. Mag., 27, 854; 28, 262 (1914).
9. RUTHERFORD and WOOSTER, Proc. Camb. Phil. Soc., 22, 834 (1925).
10. VALADARES, Thèse, Paris, 1933.