

Extractes i Traduccions

ESTUDI PEL METODE D'ABSORCIO DE LA RADIACIO DE RADI I DE LA SEVA RADIACIO SECUNDARIA*

MME. J. S. LATTÉS

Annales de Physique 1926, pàg. 102, París

CAPITOL VI

ANALISI DE LA RADIACIÓ DE RADI EN UN METALL DETERMINAT

Nosaltres mateixos havíem fet l'anàlisi de la radiació total de radi en el plati ⁷. Aquest anàlisi ha estat reprès emprant el plom com a substància absorbent i ha estat portat fins a una filtració de 16 gr/cm².

1. Resultats relatius als raigs γ primaris.

L'examen de les corbes logarítmiques d'absorció dels raigs γ demostra que la concavitat d'aquestes corbes continua dirigint-se vers les intensitats creixents quan s'augmenta molt la massa superficial dels ecrans absorbents. Això equival a dir que, àdhuc en la porció extrema d'aquestes corbes, la radiació γ no és homogènia. Fóra, doncs, il·lusori el voler determinar per a aquesta radiació un coeficient màssic d'absorció $\frac{\mu}{\rho}$ que tingués una significació absoluta. Tot el més, es pot definir per a cada absorbent un coeficient d'absorció entre determinades valors de la filtració, però cal tenir en compte que si es prenen aquests límits numèricament iguals per a les diverses substàncies absorbents, els coeficients d'absorció $\frac{\mu}{\rho}$ observats no seran directament comparables. En efecte: no es referiran a la mateixa *qualitat* de la radiació absorbida, per tal com una certa massa superficial d'un cos lleuger (Al per exemple) deixa passar una radiació menys homogènia que la mateixa massa superficial d'un cos pesant (plom per exemple). A això és degut que l'afebliment de la radiació γ és menor quan ha travessat un cos lleuger que quan ha travessat un cos pesat, amb masses superficials iguals (fig. 21, cap. V., § 1).

Hom podria esperar que una filtració encara molt més gran que la que nosaltres hem emprat permetria observar una radiació homogènia excessivament penetrant; però cap experiència no permet fins ara de preveure-

* Veure CIENCIA. núm. 16, juliol 1927, pàg. 328.

⁷ C. R., 1925, vol. CLXXX, pàg. 1023.

ho. La taula següent dóna una idea del coeficient d'absorció de la radiació al llarg de la corba d'absorció.

Filtració massa superficial	Coeficient massic d'absorció en el plom	RESULTATS ANTERIORS DE			Owen Fleming i Miss Fage ¹¹
		Ahmad ⁸	G. Failla ⁹	Ishino ¹⁰	
Vers 5 gr/cm ²			0,0705		
" 7,5 "	0,063		0,064		
" 10 "		0,0626	0,058	0,042	
" 16 "	0,048		0,051		
" 23 "					0,063

En el capítol IV hem descrit el mètode de descomposició d'una radiació heterogènia en grups principals. Heus ací els resultats d'aquest mètode aplicat a la descomposició de la radiació primària, amb utilització del plom com a substància absorbent.

Hom pot distingir quatre grups principals, les característiques dels quals són les següents:

Designació del grup	Coeficient massic d'absorció en el plom	Intensitat inicial (sense filtració)
γ_{P1}	0,048	59 %
γ_{P2}	0,22	25 %
γ_{P3}	0,93	11 %
γ_{P4}	4	5 %
		100

2. Resultats relatius a la radiació β secundària.

Hem explicat en el capítol III com la variació de la diferència de les intensitats I_s i I_r podia representar l'absorció de la radiació β secundària isolada. Aplicant a aquesta diferència el mateix mètode de descomposició que a la radiació γ primària, trobarem els següents resultats que demostren l'existència de tres grups principals:

Designació del grup	Coeficient massic d'absorció en el plom	Intensitat inicial (a la sortida del radiador de 1,2 gr cm ²)
β_{S1}	10	24 %
β_{S2}	34	20 %
β_{S3}	64	56 %
		100

⁸ Proc. Roy. Soc. 109, pàg. 206 (1925).

⁹ G. FAILLA, loc. cit.

¹⁰ Phil. Mag., vol. 33, pàg. 129 (1917).

¹¹ Proc. Phys. Soc., vol. 36, pàg. 355 (1924).

En el cap. I, § 2, hem estat portats a considerar que el fenomen de radiació secundària en els seus grans trets, podia ésser explicat, establint una correspondència grup per grup entre la radiació γ primària excitatriu i la radiació β secundària excitada. En el paràgraf següent veurem un desglossament relatiu a la determinació de la radiació β primària que justifica una tal correspondència. La taula següent indica com els grups excitadors i excitats es corresponen dos a dos:

Grups de raigs excitadors	Coefficient màssic d'absorció en el plom	Grups de raigs excitats	Coefficient màssic d'absorció en el Pb.
γ_{p1}	0.048	β_{s1}	10
γ_{p2}	0.22	β_{s2}	34
γ_{p3}	0.93	β_{s3}	64
γ_{p4}	4.02	Massa absorbible per ésser decelat	

3. Resultats relatius a la radiació β primària.

1. *Mètode directe.*—Hem vist anteriorment (cap. V, § 2) com la variació de la diferència $I_c - I_b$ podia representar l'absorció de la radiació β primària. Heus ací els resultats de la descomposició d'aquesta radiació:

Designació dels grups	Coefficient màssic d'absorció en el plom	Intensitat inicial (sense filtració)
β_{p1}	6.5	22 %
β_{p2}	26.6	51 %
β_{p3}	113	27 %
		100.

2. *Mètode indirecte.*—L'examen de les corbes A—B, que representa, a la vegada, l'absorció de la radiació β primària i l'absorció i la producció de la radiació β secundària, és a dir, la variació de la radiació corpuscular total, ens permetrà de determinar d'una altra manera la radiació β primària. Nosaltres podem, en efecte, calcular teòricament la intensitat de la radiació β secundària per a cada valor de la massa superficial dels ecrans, admetent la correspondència grup per grup de la radiació β secundària i de la radiació γ primària excitadora, i emprant la fórmula

$$(1) \quad Y = \frac{k \mu I_0}{\mu' - \mu} \left(e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{s}} - e^{-\frac{\mu'}{\rho} \frac{m}{s}} \right)$$

indicada en el cap. I, § 3, com a equació de la intensitat d'un grup de raigs secundaris. Hom escriu, doncs, per a la radiació β secundària total:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{Y} = Y_1 + Y_2 + Y_3 = & \frac{k_1 \mu_1 I_{01}}{\mu'_1 - \mu_1} \left(e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 \frac{m}{s}} - e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho}\right)_1 \frac{m}{s}} \right) \\
 & + \frac{k_2 \mu_2 I_{02}}{\mu'_2 - \mu_2} \left(e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2 \frac{m}{s}} - e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho}\right)_2 \frac{m}{s}} \right) \\
 & + \frac{k_3 \mu_3 I_{03}}{\mu'_3 - \mu_3} \left(e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_3 \frac{m}{s}} - e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho}\right)_3 \frac{m}{s}} \right).
 \end{aligned}$$

Els càlculs són llargs i no poden ésser explicats en detall. Indiquem-ne solament els grans trets.

Es determina primer el coeficient k_1 , subjectant l'expressió Y_1 a les valors experimentals tretes sobre l'extremitat de la corba A—B en la regió en què intervé solament la radiació β secundària més penetrant (14 a 16 gr/cm²); hom traça a sota de la corba A—B, la corba de variació de la radiació secundària Y_1 (fig. 30). S'aplica a les dues corbes A—B i Y_1 el mè-

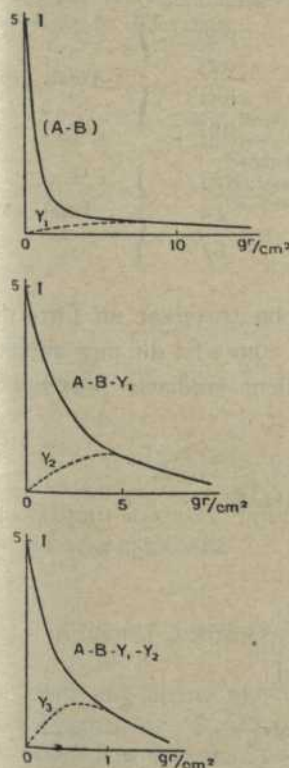


Fig. 30

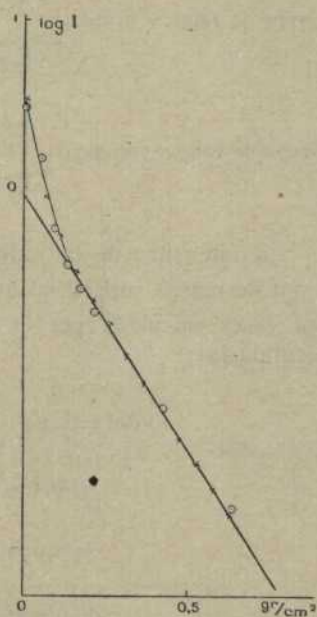


Fig. 31

Absorció de la radiació β primària del Radi en el plom.

tode de sostracció descrit més amunt i es traça la corba de variació de la radiació, privada així del grup més penetrant. Es determina tot seguit el coeficient k_2 , subjectant l'expressió Y_2 a les valors llegides sobre l'extremitat de la corba precedentment traçada.

Sota la corba A—B— Y_1 hom traça la corba de variació de la radiació Y_2 i hom aplica a aquestes dues corbes el mètode de sostracció. Finalment, després d'haver traçat la corba de variació de la radiació β privada dels dos grups penetrants Y_1 i Y_2 , és a dir, A—B— Y_1 — Y_2 , hom determina k_3 , i, subjectant Y_3 a les valors tretes sobre l'extremitat de la corba reduïda dues vegades, hom obté, en definitiva, la corba de la radiació β disminuïda de tots els grups de raigs β secundaris. Aquesta corba ha de representar, doncs, la radiació β primària sola, i com mostra la fig. 31 coincideix molt bé amb la corba obtinguda pel mètode directe. Aquesta coincidència demostra que la manera com hem considerat i calculat la producció i l'absorció de la radiació β secundària és legítima.

En resum, heus ací el repartiment de la radiació *total* en sortir de l'ampolla (l'aparell detector descrit abans és situat a 22 cm de la font). La radiació γ primària total és presa per a unitat d'intensitat.

	Designació dels grups	Coefficient d'absorció	Intensitats	
Grups de raigs γ primaris	γ_{p1}	0.048	0.59	Total, 1.00
	γ_{p2}	0.22	0.25	
	γ_{p3}	0.932	0.11	
	γ_{p4}	4.02	0.05	
Grups de raigs β primaris	β_{p1}	6.51	1.1	Total, 4.9
	β_{p2}	26.6	2.5	
	β_{p3}	113	1.3	

La intensitat de la radiació *total* de radi que ha travessat un filtre de plom de massa superficial qualsevol $\frac{m}{s}$ i mesurada com s'ha dit més amunt, pot ésser calculada per la fórmula algebàrica següent (radiació primària i secundària):

$$\begin{aligned}
 I_{\text{total}} = & 1,1 e^{-6,51 \frac{m}{s}} + 2,5 e^{-26,6 \frac{m}{s}} + 1,3 e^{-113 \frac{m}{s}} + \\
 & + 0,119 \left(e^{-0,048 \frac{m}{s}} - e^{-10 \frac{m}{s}} \right) \\
 & + 0,072 \left(e^{-0,22 \frac{m}{s}} - e^{-34 \frac{m}{s}} \right) \\
 & + 0,026 \left(e^{-0,932 \frac{m}{s}} - e^{-64 \frac{m}{s}} \right) \\
 & + 0,59 e^{-0,048 \frac{m}{s}} + 0,25 e^{-0,22 \frac{m}{s}} + 0,11 e^{-0,932 \frac{m}{s}} + 0,05 e^{-4,02 \frac{m}{s}}
 \end{aligned}$$

Els termes de la primera ratlla representen la radiació β primària; els de l'última línia la radiació γ primària, els termes intermitjos, la radiació β secundària de γ .

Remarca I.—Hom pot remarcar que l'extremitat de la corba logarítmica A—B presenta el mateix pendent de l'extremitat de la corba logarítmica B (fig. 21 i 27). D'acord amb aquest fet, la fórmula (1) anterior mostra que la segona exponencial del parèntesi esdevé negligible per a valors de $\frac{m}{s}$ suficientment grans (veïnes de 15 gr/cm² de plom). És per raó d'aquest fet que el segon mètode de determinació de la radiació β primària és aplicable.

Remarca II.—Les diferents intensitats indicades en les taules del següent capítol no tenen una significació absoluta. Hem vist, en efecte, (cap. I, § 2) que totes les relacions d'intensitat són relatives a l'aparell detector de ionització.

En particular, per als raigs γ els coeficients d'absorció $\frac{\mu}{\rho}$ depenen del dispositiu experimental, que modifica les parts de difusió i absorció veritables. Al contrari, no sembla existir una dependència tan gran per als raigs β .

Heus ací algunes valors del coeficient màssic d'absorció en l'alumini donades per diversos autors per als raigs β del radi E, amb dispositius experimentals diferents :

Diversos autors	Coefficient d'absorció en l'alumini
SCHMIDT	15.4
KOVARIK	16.7
G. FOURNIER	16.9

CAPÍTOL VII

INFLUÈNCIA DE LA NATURALESA DE L'ABSORBENT

Veurem ara com intervé la naturalesa de l'absorbent, per a cada tipus de radiació estudiada.

1. Radiació β primària.

Hem vist abans que la radiació β primària era descomposable en tres grups principals β_{p1} , β_{p2} , β_{p3} . Aquests grups han estat caracteritzats, per llur coeficient màssic d'absorció, en sis cossos simples: C, Al, Ag, Pt, Au, Pb. Heus ací els resultats d'aquesta determinació:

	Número atòmic N	$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1$ Grup β_{p1}	$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2$ Grup β_{p2}	$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_3$ Grup β_{p3}
Carboni	6	3.9	15.9	69
Alumini	13	4.1	16.9	73
Plata	47	5.3	21.7	94
Platí	78	6.3	26.1	113
Or	79	6.4	26.3	114
Plom	82	6.5	26.6	115

L'examen d'aquests resultats demostra:

I. Les valors del coeficient màssic $\frac{\mu}{\rho}$ relatives al grup β_{p2} són molt veïnes de les que havien estat determinades directament per M. Georges FOURNIER ¹², amb els raigs β primaris del Radi E. Aquestes valors són, doncs, donades en funció del número atòmic de l'absorbent, per la fórmula lineal establerta per l'esmentat autor per a aquests raigs:

$$(I) \quad \frac{\mu}{\rho} = 15 + 0.142 N$$

II. Els resultats relatius al grup β_{p1} són compatibles amb la fórmula lineal

$$\frac{\mu}{\rho} = 65 + 0.615 N$$

establerta per al grup absorbible assenyalat anteriorment en la radiació de Ra E (Georges FOURNIER *loc. cit.*).

III. Les valors del coeficient relatives al grup β_{p1} , són molt sensiblement donades per una fórmula igualment lineal:

$$\frac{\mu}{\rho} = 3.66 + 0.0348 N$$

El fet que les valors de $\frac{\mu}{\rho}$ relatives als grups β_{p2} i β_{p3} siguin les mateixes que havien estat trobades per al Ra E, mostra que aquests grups, presents en la radiació total del Radi, provenen, en part, del Radi E que conté. S'hi afegeix, probablement, la radiació del Radi B, el coeficient d'absorció de la qual és del mateix ordre de grandària.

En el mateix ordre d'idees direm que el grup β_{p1} sembla constituït, en major part, per raigs β del radi C.

2. Radiació γ primària.

Abans hem fet (cap. VI, § 1) reserves relatives als coeficients màssics d'absorció dels diferents grups de raigs γ . Aquests coeficients no són di-

¹² Georges FOURNIER, *loc. cit.*

rectament comparables d'una substància a l'altra, per la qual cosa donem solament ací les valors dels coeficients de la radiació més penetrant, recordant que el grau d'homogeneïtat d'aquesta radiació no és el mateix en les seves diverses substàncies:

Carboni	0,044
Alumini	0,044
Plata	0,046
Platí	0,047
Or	0,047
Plom	0,048

3. Radiació β secundària.

Les corbes d'absorció de la radiació β secundària que hem descrit més amunt (cap. V, § 2) han estat traçades en dos casos distints:

Primer cas.—El radiador, de substància variada, tenia una massa superficial de 1 gr/cm² a 1,5 gr/cm². L'analitzador era, invariablement, d'alumini. Hom constata en aquest cas que les sis corbes logarítmiques d'absorció així obtingudes (fig. 32) poden ésser portades, per simple traslació,

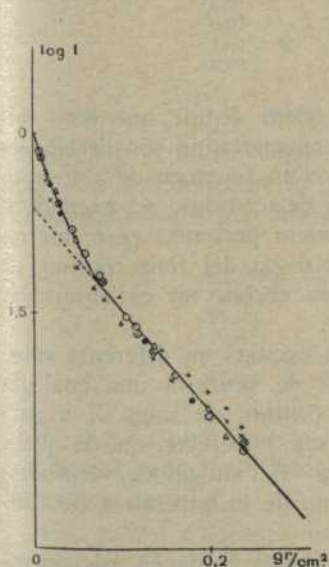


Fig. 32

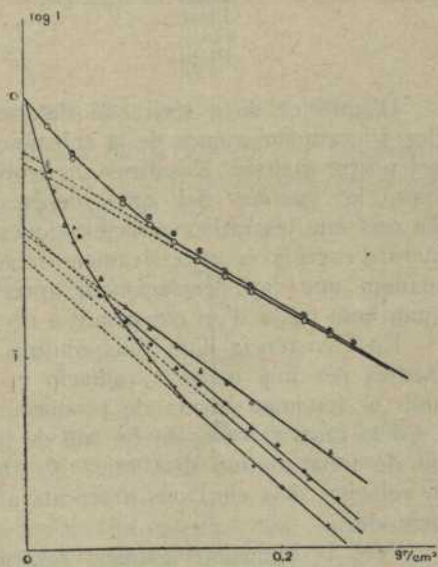


Fig. 33

a superposar-se, d'una manera molt satisfactòria. D'això es pot deduir que les diverses radiacions β secundàries produïdes no difereixen sensiblement en *qualitat*, sinó solament en *quantitat*.

Segon cas.—Com a segona prova de la identitat en la natura de les radiacions β secundàries, remarquem que quan el radiador i l'analitzador són de natura idèntica, si es fa variar aquesta natura (fig. 33) la radiació secundària, que mentrestant ha nascut en els radiadors, es comporta vis a vis de les substàncies analitzants com una única i mateixa radiació. És a

dir, que els diversos grups principals dels quals es compon, són caracteritzats per coeficients d'absorció que obeeixen la llei lineal:

$$\frac{\mu}{\rho} = a + b.N$$

de què hem parlat anteriorment. És així que el més penetrant d'aquests grups és caracteritzat per:

$$\frac{\mu}{\rho} = 5.73 + 0.0547.N$$

d'on resulten les següents valors per als coeficients $\frac{\mu}{\rho}$ relatius a aquest grup i als sis cossos simples estudiats:

Carboni	6,06
Alumini	6,4
Plata	8,3
Platí	10,0
Or	10,1
Plom	10,2

D'aquestes dues sèries de determinacions podem deduir que les "ratlles β " característiques de la substància que les engendra no són decel·lables pel nostre mètode. Nosaltres ens trobem davant d'un fenomen de *fons continu*, la qualitat del qual depèn solament dels raigs γ excitadors. És cert que les ratlles característiques són igualment presents; però llur relació d'energia és excessivament feble vis a vis de la del fons continu, de manera que cap desplaçament apreciable de les corbes no és observable quan hom passa d'un cos pesant a un cos lleuger.

En l'existència d'un fons continu de raigs β excitats en diferents substàncies per una mateixa radiació γ , és possible de veure-hi una analogia amb el fenomen invers de producció del fons continu de raigs X a partir dels raigs catòdics en un tub de buit. Hom sap, en efecte, que la qualitat de fons continu dels raigs X, que es forma en l'anticàtode, depèn de la velocitat dels electrons arrencats al càtode i no de la naturalesa de l'anticàtode.

Però la intensitat d'aquest fons continu de raigs X depèn, al contrari, de la naturalesa de l'anticàtode i creix quan es passa d'un metall lleuger a un metall pesant.

Remarca.—L'examen ràpid d'un espectre que conté ratlles sobre un fons continu dona, sobretot, la impressió del fons continu, car les ratlles són habitualment perceptibles gràcies a un fenomen de contrast. Llur intensitat pròpia és feble comparada amb la del fons continu.

CAPITOL VIII

RENDIMENTS I COEFICIENTS DE TRANSFORMACIÓ

Ens resta solament veure com la intensitat de la radiació secundària varia amb la naturalesa de l'absorbent. Observem, en primer terme, que a partir d'una massa superficial suficientment gran, la intensitat de la radiació β decreix d'una manera exponencial i que, com hem remarcat abans (cap. VI, rem. 3) el coeficient $\frac{\mu}{\rho}$ d'aquesta exponencial és el de la radiació primària excitadora. La intensitat de la radiació β secundària no tendeix, doncs, vers un límit; però, en canvi, hi tendeix la relació entre aquesta intensitat amb la de la radiació γ primària. Designem aquesta relació per $\frac{q_s}{\gamma_p}$. Es té

$$\frac{q_s}{\gamma_p} = \frac{k\mu}{\mu' - \mu} \frac{\left(e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{s}} - e^{-\frac{\mu'}{\rho} \frac{m}{s}} \right)}{e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{s}}} = \frac{k\mu}{\mu' - \mu} \left(1 - e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho} - \frac{\mu}{\rho}\right) \frac{m}{s}} \right)$$

i el límit és $\frac{k\mu}{\mu' - \mu}$, valor pràcticament assolida per a una filtració de 15 gr/cm². Nosaltres podem donar a aquest límit el nom de "rendiment límit" de la transformació de radiació γ en radiació β secundària. Heus ací, per als sis cossos estudiats, la valor d'aquest límit:

Carboni	0,050
Alumini	0,080
Plata	0,126
Platí	0,137
Or	0,170
Plom	0,200

Hom veu que aquesta valor límit és una funció creixent del número atòmic del radiador. Però la forma d'aquesta variació no permet una interpretació senzilla.

Les valors d'aquests límits ens permeten de calcular les valors dels coeficients de transformació k , que intervenen en la fórmula:

$$q_y = \frac{k_1 \mu_1 I_{01}}{\mu_1' - \mu_1} \left(e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 \frac{m}{s}} - e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho}\right)_1 \frac{m}{s}} \right) + \frac{k_2 \mu_2 I_{02}}{\mu_2' - \mu_2} \left(e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2 \frac{m}{s}} - e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho}\right)_2 \frac{m}{s}} \right) + \frac{k_3 \mu_3 I_{03}}{\mu_3' - \mu_3} \left(e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_3 \frac{m}{s}} - e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho}\right)_3 \frac{m}{s}} \right)$$

per tal com coneixem els coeficients massics d'absorció $\frac{\mu}{\rho}$ i $\frac{\mu'}{\rho}$. Heus ací les valors de k_1 (grup més penetrant) en diversos absorbents:

Carboni	6,85
Alumini	11,6
Plata	22,6
Platí	29
Or	36,4
Plom	42,3

El coeficient de transformació k és una funció creixent del número atòmic del radiador; però sobre aquest objecte, ens cal fer la mateixa observació que per als raports límits.

Veus ací les valors dels coeficients k_1, k_2, k_3 , en el plom:

$$k_1 = 42,3 \quad k_2 = 41,7 \quad k_3 = 15,7$$

Podem, encara, calcular la tangent a l'origen de la corba de producció-absorció de la radiació β secundària en el plom. Hom té, en efecte, segons la fórmula (1) anterior (pàg. 145).

$$\frac{dY}{d\frac{m}{s}} = \frac{k_1 \mu_1 I_{01}}{\mu_1 - \mu_1} \left[\left(\frac{\mu'}{\rho} \right)_1 e^{-\left(\frac{\mu'}{\rho} \right)_1 \frac{m}{s}} - \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_1 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_1 \frac{m}{s}} \right] + \dots$$

i per a $\frac{m}{s} = 0$:

$$\left(\frac{dY}{d\frac{m}{s}} \right)_0 = k_1 I_{01} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_1 + k_2 I_{02} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_2 + k_3 I_{03} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_3 = 5,14.$$

Donem solament les valors de k_2 , de k_3 i de la tangent a l'origen pel plom, per tal com és únicament amb aquesta substància que nosaltres hem pogut portar les corbes d'absorció prou lluny perquè el pendent de la corba A—B esdevingui el mateix que el de la corba B. La taula següent mostra, en efecte, que els coeficients d'absorció de les corbes B i A—B, àdhuc per a una filtració molt gran, sols es poden identificar per al plom. Per a les altres substàncies, els pendents de les corbes B i A—B són diferents.

	Coeficient massic d'absorció per a una filtració compresa entre 6 i 8 gr. cmq		Coeficient massic d'absorció per a una filtració compresa entre 14 i 16 gr. cmq	
	Corba A	Corba A-B	Corba A	Corba A-B
Carboni	0.052	0.121	0.044	0.074
Alumini	0.047	0.104	0.044	0.060
Plata	0.049	0.089	0.046	0.058
Platí	0.060	0.104	0.047	0.058
Or	0.061	0.092	0.047	0.053
Plomb	0.063	0.073	0.048	0.048

Recordem que la corba B d'absorció dels raigs γ continua manifestant-se, entre les abscisses 14 i 16 gr/cm^q, de manera que els nombres de l'avant darrera columna de la taula última sols són coeficients mitjans. És possible que en la radiació de radi existeixin raigs γ primaris encara més penetrants, amb un coeficient d'absorció encara més petit, i, paral·lelament, és possible que hi hagin raigs secundaris encara més ràpids que els que hem pogut obtenir experimentalment. En el nostre mètode hi ha, doncs, almenys teòricament, una incertitud quan fa correspondre grup per grup els raigs γ primaris excitadors i els raigs β secundaris excitats. Els resultats exposats més amunt i el desglossament que permeten, mostren que, pràcticament, el mètode emprat és, almenys, perfectament legítim.

CAPITOL IX

EL FENOMEN DE NECROSI TISSULAR ESTUDIAT DEL PUNT DE VISTA FÍSIC

Referirem un estudi fet en 1923 i que ha servit de punt de partida al treball que acabem d'exposar.

1. Dues categories d'efectes de la radiació de radi sobre els teixits vivents.

Recordem breument, en primer terme, les dues formes d'acció de les radiacions β i γ reunides quan actuen juntes sobre els teixits vivents.

A. *Efecte electiu.*—Quan una font de raigs β i γ actua a distància, constituint un fogar exterior de radiació separat de l'animal vivent per la interposició d'alguns centímetres d'una matèria poc densa, la radiació γ penetrant intervé gairebé sola (si hom admet—i això per altra banda és exacte—que la radiació β secundària eixida del filtre és poc important).

Hom observa, aleshores, efectes ineguals sobre les diverses categories d'elements cellulars, segons sigui llur radiosensibilitat. Aquest efecte electiu ha estat posat en evidència per DOMINICI en 1908 i estudiat per ell de 1908 a 1914.

Es manifesta per la destrucció de les cèl·lules que són més radio-sensibles. D'ací la seva utilització en la terapèutica dels càncers per a la destrucció dels teixits cancerosos que es mostren, sovint, particularment radiosensibles.

B. *Efecte necrosant.*—A la superfície dels teguments que reben una irradiació dels raigs β , γ (o X), hom observa un efecte de destrucció designat sota el nom de *radiotermita*. Un efecte anàleg es produeix igualment en la massa d'un teixit si hom hi introdueix un tub amb la substància radioactiva de manera que constitueixi el fogar interior.

Des del començament de la utilització del radi en terapèutica, hom ha tractat de destruir els tumors cancerosos amb l'ajuda d'aquest mètode, els avantatges del qual semblen múltiples a primera impressió i són:

I. Utilització de la totalitat de l'esfera d'irradiació.

II. Contacte directe del fogar amb el teixit a destruir, d'on deriva un guany d'energia notable.

III. Eliminació dels perills de radiotermites.

Aquest mètode, preconitzat d'ençà de 1905, fou momentàniament abandonat perquè la introducció brutal de tubs, fortament voluminosos, contenint radi, comportava complicacions operatòries. Però la utilització de l'emanació de radi o *radon*, en permetre la reducció dels fogars a un volum mínim, ho simplificà tot.

Del mètode de STEVENSON (1914), el Dr. REGAUD derivava en 1919, el mètode descrit per ell sota el nom de *radiumpunctura*. El "fogar interior" era constituït per una fina agulla de platí que contenia una ampolla de vidre filiforme on s'havia introduït radon. Un cert nombre d'aquests fogars era deixat *in situ* durant un temps determinat en la massa del teixit a destruir. En 1918, JANEWAY introduïa els tubs de radon en el teixit, sense envoltura metàl·lica i els hi deixava. L'estructura i l'evolució de la lesió així creada en un teixit irradiat, han estat descrites en el que fa referència al múscul de conill ¹⁸.

En una zona de forma cilíndrica que té per eix l'ampolla de radon—zona que volta immediatament el tub—hom observa una destrucció particular, *sigui quina sigui, per altra banda, la radiosensibilitat del teixit considerat*.

La radiació més absorbible que emergeix del tub té, en aquesta regió, una acció necrosant. L'estudi microscòpic d'un tall, fet en un pla perpendicular a l'eix del tub, ha demostrat, sense excepció, que totes les cèl·lules contingudes en aquesta zona cilíndrica eren destruïdes; aquesta zona posseeix un límit extern perfectament net, més enllà del qual l'efecte electiu de la radiació més penetrant s'exerceix sol.

2. Factors que influeixen sobre el fenomen de necrosi.

El treball esmentat més amunt (LACASSAGNE, *loc. cit.*) conté l'examen dels factors que influeixen sobre el fenomen de necrosi.

El factor més important sembla ésser la dosi de radon aplicada. Sembla que el temps d'irradiació (i la quantitat de radon destruïda que li és directament lligada) sols intervenen en segon terme. L'extensió de l'esfera d'acció de la radiació necrosant ha estat, doncs, estudiada en funció de la dosi inicial aplicada. D'aquest estudi resulta que el radi del cilindre de teixit necrosat creix amb aquesta dosi tant més depressa com la radiació és menys filtrada. Amb les ampolles no voltades de platí, és a dir, introduïdes sense embolcall metàl·lic en el teixit, tracem la corba que representa la radiació de radi R del cilindre necrosant, en funció de la valor inicial S de la font, expressada en millicuries de radon.

$$R = f(S)$$

¹⁸ LACASSAGNE, *Journal de Radiologie et Electrologie*, vol. V., abril 1921, pàg. 160.

Aquesta corba és tangent a l'origen a l'eix de les R. (fig. 34). Si, pel contrari, l'ampolla de radon és voltada d'un filtre espès, la corba $R = f(S)$ és sensiblement lineal en gairebé tot el seu recorregut, dins els límits de l'experiència. Per a filtracions intermitges, les corbes es reparteixen amb perfils graduats, com mostra la fig. 34.

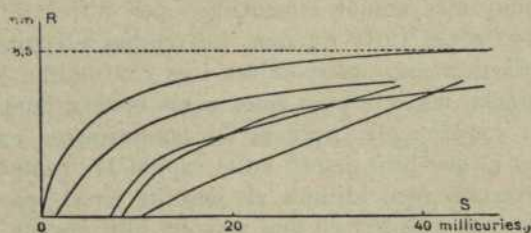


Fig. 34.

Hom observa, per altra banda, que el radi R del cilindre necrosat assoleix, com a màxim, la valor de 8,5 mm; aquest límit no és assolit del tot si l'ampolla és voltada de platí, al menys per a les dosis inicials emprades.

Tals son, en el treball esmentat, els elements que nosaltres retindrem per servir de base a l'examen que ens proposem fer del fenomen de necrosi.

3. Caracterització de la radiació necrosant per l'estudi de l'absorció de la radiació de radi dins el múscul.

Farem remarcar ací que l'estudi d'una radiació per absorció fa intervenir el corrent creat per la radiació en l'aire de la cambra de ionització. Aquest corrent és proporcional al nombre de ions produïts per unitat de temps, com ho ha fet observar G. FAILLA (*loc. cit.*): "aquest mètode de la

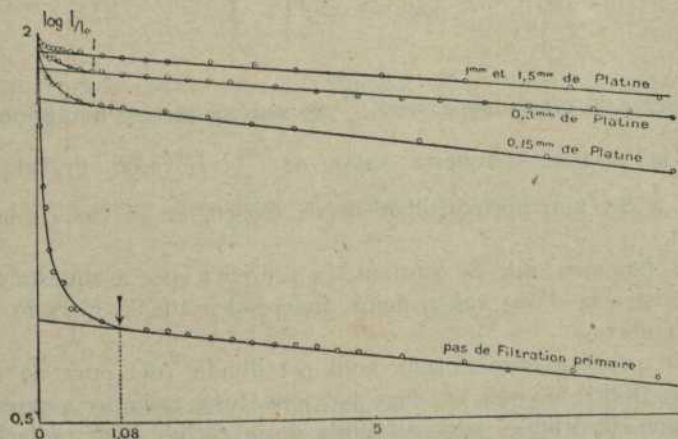


Fig. 35.

mesura del corrent de ionització ofereix una bona base per a la correlació entre els factors físics de la radiació i els efectes fisiològics produïts per aquesta..., per tal com l'acció fisiològica d'una radiació depèn, en una proporció considerable, de la quantitat d'energia absorbida pels teixits..."

Nosaltres hem estudiat l'absorció de la radiació de radi a través del múscul de bou congelat. La radiació era, o no, filtrada—com en les observacions biològiques més amunt esmentades—per filtres de platí de gruixos variats: 0.15; 0.30; 1.0 i 1.5 mm. Les corbes efectuades amb 1 mm i 1.5 mm són pràcticament superposables i es confondran, quan, per facilitar llur comparació, les referirem totes a un mateix punt d'origen.

El dispositiu experimental utilitzat en les primeres experiències era, en part, semblant al que hem descrit en el capítol II: cambra de ionització, electroscopi i protecció eren idèntics als descrits en els par. 3, 4 i 6 d'aquest capítol. La font consistia en una ampolla filiforme de vidre prim que contenia 5.89 mg de radi element. Era situada a 9 cm de la cambra de ionització. Cap camp magnètic no havia estat establert. Les làmines absorbents eren situades contra la finestra de la cambra de ionització.

La fig. 35 mostra les corbes logarítmiques d'absorció:

$$\log. \frac{I}{I_0} = f \left(\frac{m}{s} \right)$$

obtingudes així, on $\frac{m}{s}$ és, com sempre, la massa superficial de les làmines absorbents. L'examen d'aquestes corbes porta als resultats següents:

I. Sigui quina sigui la filtració prèvia, *la porció rectilínia de la corba*

$$\log. \frac{I_0}{I} = f \left(\frac{m}{s} \right)$$

comença per a la massa superficial $\frac{m}{s}$ de múscul atès al maximum en cada cas per la necrosi. (Aquesta valor de $\frac{m}{s}$ és 1.06 gr/cm², el què correspon a 8.5 mm aproximadament de múscul en el cas de la radiació no filtrada.)

Aquest fenomen, que és constant, fa preveure, per a aquesta acció biològica, l'existència d'una causa única, independent de la filtració i *responsable* de la necrosi.

II. En primera aproximació, hom pot dividir (del punt de vista biològic) la radiació del radi en dues porcions: una radiació necrosant heterogènia, molt absorbible (part curvilínia de la corba); una radiació no necrosant, menys heterogènia i molt penetrant (part rectilínia de la corba).

Operant sobre aquestes corbes la descomposició descrita en el cap. IV, § 3, la radiació necrosant pot ésser caracteritzada per un coeficient màssic d'absorció en l'alumini, comprès entre límits determinats.

Aquests límits són

$$\frac{\mu}{\rho} = 3,56$$

$$\frac{\mu}{\rho} = 41,21$$

Considerem, ara, la fig. 36 que representa les corbes logarítmiques d'absorció en el múscul fetes amb les filtracions següents:

Corba (1)	0,00 mm de plati
Corba (2)	0,15 mm "
Corba (3)	0,30 mm "
Corba (4)	1,00 mm "
Corba (5)	1,50 mm "

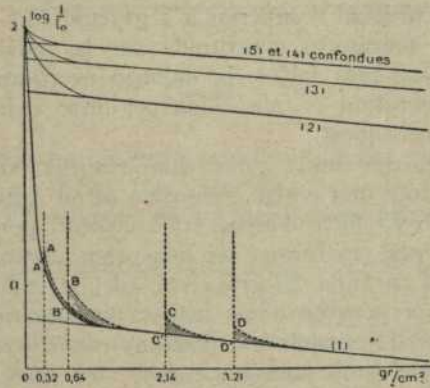


Fig. 36

Aquestes corbes donen com a coeficient d'absorció dels raigs γ en el múscul, les valors següents, molt poc diferents les unes de les altres:

Filtració plati en mm	Coeficient d'absorció màssic en el múscul de la radiació
0.	0.060
0.15	0.054
0.30	0.045
1 mm i 1,5 mm	0.040

En primera aproximació negligirem les diferències de pendent de les corbes (1), (2), (3) i (4) i farem sobre aquestes corbes, suposant-les paral·leles, una construcció que posi en evidència la porció de radiació necro-

sant que en cada una d'elles és d'origen secundari. Sotmetem, en primer terme, les corbes (2), (3) i (4) a una translació vertical de manera que coincideixin llurs porcions rectilínies amb la porció rectilínia de la corba (1). Desplacem de seguida cada una d'aquestes corbes per una translació horitzontal, fins que cada corba (2), (3) i (4) tingui el seu origen en un punt d'abscissa corresponent a la massa superficial del filtre de platí corresponent. L'origen de (2) serà, així, portat al punt A, d'abscissa igual a 0.32 gr/cm² (el que correspon a 0.15 mm de platí); l'origen de (3) a B ($\frac{m}{s} = 0.64$ gr/cm²);

l'origen de la corba relativa a 1 mm, al punt C ($\frac{m}{s} = 2.14$ gr/cm²); en fi,

l'origen de la corba relativa a 1.5 mm al punt D ($\frac{m}{s} = 3.21$ gr/cm²).

Si el filtre intervé únicament pel seu poder absorbent, i no pel seu poder emissiu, aquesta construcció portaria els orígens de les corbes (2), (3), (4)..., no a A, B, C, D, sinó a A', B', C', D', punts situats sobre la corba (1). Les diferències AA', BB', CC', DD', ens informen, en cada cas, sobre la importància de la porció de radiació necrosant d'origen secundari. Hom veu que per a una filtració igual o superior a 1 gr/cm² (0,5 mm de platí) la radiació necrosant és únicament constituïda per la radiació engendrada pel filtre. Per a filtracions més febles, la radiació necrosant és la suma de la radiació primària necrosant no absorbida pel filtre i de la radiació secundària engendrada per aquest.

Hom sap que el cos humà conté una quantitat d'aigua considerable. Era necessari comparar una corba d'absorció en el múscul amb una corba d'absorció en l'aigua. El filtre d'aigua era constituït per una cubeta de parafina, el fons de la qual era format per una prima làmina de celofan extesa humida i soldada a la parafina. El gruix era calculat per pesades. Les corbes així obtingudes es superposaven d'una manera satisfactòria a les obtingudes en el múscul. Corbes fetes amb les mateixes condicions amb suro i amb paper coincidien també amb aquestes corbes; les corresponents a l'alumini eren diferents, però veïnes. Al contrari, hom constata una separació entre aquestes corbes i les obtingudes amb els cossos pesants, plom, platí, etc., degut a la influència de la radiació secundària.

4. La radiació necrosant del radi és en la seva major part corpuscular.

Aquesta primera sèrie d'experiències no ens podia informar sobre la naturalesa de la radiació responsable de la necrosi, i sí, solament sobre els límits del seu coeficient d'absorció; per tant, ha estat feta una investigació especial amb l'ajuda del camp magnètic.

El dispositiu descrit més amunt ha estat reprès amb l'afegiment d'un electroimant situat tal com ha estat indicat en el cap. II, par. 5. El camp emprat era de 1800 gauss i els filtres d'alumini situats sota la cambra de ionització. En una primera sèrie de mesures, l'ampolla no era recoberta per cap filtre; en les següents, la font era recoberta de làmines de platí de gruixos que variaven entre 0,15 mm a 1,5 mm. (Remarquem que la pri-

mera sèrie de mesures correspon a la que hem designat en el cap. III, par. 6, sota el nom de posicions C i D, mentre que totes les següents corresponen a les posicions E i F.)

En aquestes condicions, les corbes obtingudes tenien la forma general descrita en el cap. V, par. 2. En aquestes corbes hom constata que l'obtinguda amb el camp magnètic (fig. 37) és—llevat la seva part curvilínia

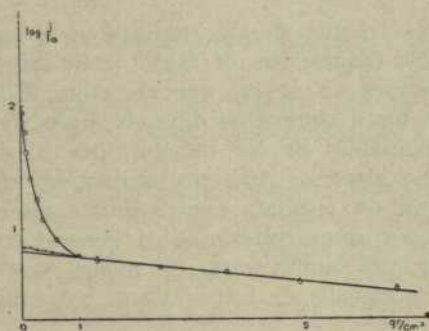


Fig. 37

del començament, que correspon a una molt petita quantitat de radiació molt absorbible—, una dreta que coincideix amb la part rectilínia de la corba sense camp. El contacte de les dues corbes de la primera sèrie té lloc per a un punt, l'abscissa del qual ($\frac{m}{s} = 1,06$ gr/cm² aproximadament) té la valor l'interès de la qual he assenyalat en el paràgraf precedent. Les concordàncies de les dues corbes amb i sense camp de les sèries següents s'efectuen per a abscisses una mica inferiors, el què s'ave amb les dades de la biologia.

D'això resulta que si es negligeix la porció absorbent de la radiació γ (començament de la corba obtinguda amb camp) que representa solament el 0,6 % de la radiació total, hom pot dir que la radiació necrosant és constituïda per la radiació β .

A la distància de l'ampolla en què es trobava la cambra de ionització, la radiació que entrava en aquesta darrera tenia la composició següent:

Totalitat de raigs β , tots certament necrosants	92,2 %
Raigs γ absorbibles, necrosants o no, d'importància reduïda ...	0,6 %
Raigs γ penetrants, certament no necrosants	7,2 %

Remarquem que la composició que trobem ací és diferent de la que hem donat en un precedent article (C. R., vol. CLXXX, pàg. 1023, 1925) on els raigs β són indicats com constituint el 83 % de la radiació total; però hom observarà que la distància de la font a la cambra és reduïda ací a 9 cm (en lloc de 22). És això el que explica que la radiació β , que és menys absorbible en l'aire, afecta una intensitat més gran amb relació a

la radiació total, la radiació γ essent molt poc absorbida pel mateix espessor d'aire.

La qüestió de saber si la feble proporció de raigs γ absorbibles té una acció necrosant o no, no té una importància pràctica, al menys ací, per tal com aquests raigs γ són eliminats pels filtres a l'ensem que els raigs β del mateix poder penetrant; aquesta qüestió té, no obstant, una importància teòrica, però cap experiència no permet treure conclusions sobre aquest punt.

Considerant el cas en què aquesta radiació γ absorbible assoliria una intensitat no negligible (aquest cas és assolit amb raigs X poc penetrants i poc filtrats), és permès de pensar que els raigs X o γ , els coeficients d'absorció dels quals foren compresos dins els límits assignats més amunt, són, potser, els responsables de les radiotermites, i, d'una manera general, dels fenòmens no electius; però per afirmar-ho caldrien experiències especials. Sota reserva de resultats experimentals ulteriors, direm que el fenomen de necrosi pot ésser considerat en general com produït:

1. D'una manera que sembla *certa* (al menys dintre els límits de les dosis emprades en els treballs de LACASSAGNE) pels raigs β més lents que aquells, el coeficient màssic d'absorció dels quals $\frac{\mu}{\rho}$ en l'alumini és 3,56.

Tots els grups de raigs β primaris i secundaris citats en els paràgrafs 1 i 2 del cap. VII entren en aquesta categoria; per tant, *tots els raigs β de radi són necrosants*.

2. D'una manera que sembla *probable*, pels raigs γ poc penetrants caracteritzats per un coeficient d'absorció màssic en l'alumini comprès entre els límits citats més amunt.

Però és cert que més enllà d'aquests límits els raigs γ penetrants poden, encara, produir la necrosi tissular si la dosi aplicada és suficientment gran.

L'experiència biològica demostra, en efecte, amb la més sencera evidència, que hom pot produir la necrosi dels teixits, àdhuc dels menys radiosensibles (és a dir, la necrosi massiva) amb radiacions electromagnètiques corresponents a potencials d'emissió elevats, i, àdhuc, amb els raigs X o γ els més penetrants i els més exhaurits per filtració, sempre que hom faci absorbir als teixits una dosi suficient d'aquests raigs.

Hom produeix, amb raigs γ filtrats per 1,5 mm de platí, una radiotermita idèntica a la que produeixen els raigs de radi no filtrats (β i γ) amb tal que la dosi sigui prou gran.

És molt probable que la necrosi massiva sigui deguda a l'acció dels raigs β secundaris formats a l'interior dels teixits; la radiotermita de què hem parlat tindria el mateix origen.

Sigui el què sigui, no existeix cap fita netament definida per a la llargada d'onda de la radiació γ capaç de produir la mort dels teixits. Totes les llargades d'onda són necrosants si la dosi absorbida és suficient.

Del costat dels febles voltatges, el domini dels raigs electromagnètics necrosants és, probablement, molt limitat pel poder de penetració d'aquests raigs, incapaços, més avall d'un cert voltatge, de sortir de l'aparell en què s'han produït.

És sensible que no tinguem resultats experimentals que puguin llençar alguna llum sobre el mecanisme íntim d'acció de la radiació sobre les cèl·lules vivents i informar-nos, per exemple, de si la radiació electromagnètica actua directament o per mediació de la radiació secundària que produeix.

CAPITOL X

CONSEQÜÈNCIES I APLICACIONS BIOLÒGIQUES I TERAPEUTIQUES

Dels fets exposats més amunt és possible treure'n algunes conclusions útils en terapèutica; algunes faran comprendre millor els usos ratificats per la pràctica:

I. Eliminant per filtres apropiats els raigs (primaris i secundaris) que nosaltres hem definit sota el nom de *necrosants*, hom es posarà a l'abric del fenomen de necrosi. Per eliminar aquests raigs basta disposar entre els teixits vivents i la font de radiació:

A.—En primer terme, un filtre dit *filtre primari*, de metall pesat, destinat a operar una primera selecció.

B.—Tot seguit un filtre, dit *filtre secundari*, destinat a suprimir els raigs necrosants eixits del filtre primari. Aquest filtre secundari serà constituït per una substància de densitat veïna de 1 i de *gruix al menys igual*, en cada cas determinat, a l'espessor màxima de múscul que podria ésser atès per la radiació necrosant. La radiació que el filtre secundari engendra inevitablement al seu torn, no pot ésser notablement diferent de la que es produeix normalment en el sinus mateix del teixit, més enllà de l'espessor màxima del qual es pot observar la necrosi. No pot tenir, doncs, una acció necrosant.

II. L'examen de la fig. 36 ens ha mostrat (cap. IX, § 3) que si hom posa sobre la font un filtre de natura qualsevol, però de massa superficial igual o superior a 1 gr/cm², aproximadament, la radiació β que n'emergeix és únicament constituïda per la radiació secundària. Si hom no desitja, doncs, emprar especialment una radiació γ particularment penetrant (tractament de lesions superficials, per exemple), hom pot considerar com avantatjosa la filtració que dona un gruix de plati de 1 gr/cm² (0,5 mm aproximadament).

Heus ací els gruixos de diferents substàncies estudiades, realitzant totes la massa superficial de 1 gr/cm²:

Carboni	5,5
Alumini	3,85
Plata	0,95
Plati	0,47
Or	0,52
Plom	0,88

III. Per a disposar de la radiació γ més o menys penetrant, és necessària una filtració més o menys gran, obtinguda amb l'ajuda d'un metall pesat.

En resum, d'una manera general, hom pot dir que no hi ha cap incon-

venient a exagerar la importància de la filtració secundària; però que no és avantatjós—llevat en casos especials—de sobrepassar les filtracions primàries de l'ordre de 1 gr/cm² d'un cos pesat.

4.º Les corbes de la figura 27 (cap. V) mostren, tal com hem fet remarcar en el cap. VII, que per a una filtració de l'ordre de 1,80 gr/cm², d'una substància qualsevol, filtració que pot ésser també realitzada, per altra banda, amb l'ajuda d'una substància o de diverses substàncies juxtaposades, la radiació β que emergeix de la font, té la mateixa intensitat en tots els casos. Aquesta circumstància és posada en evidència per la forma general de les corbes experimentals. Heus ací els gruixos de les diferents substàncies estudiades que ralitzen la massa superficial de 1,80 gr/cm²:

Carboni	9,00
Alumini	6,92
Plata	1,71
Platí	0,84
Or	0,94
Plom	1,58

5.º Recordem allò que ha estat dit en el capítol VII, paràgraf 3, sobre la *identitat* dels raigs β secundaris eixits de les diverses substàncies. Se'n segueix que els diversos fenòmens biològics observats amb les radiacions secundàries β dels diferents cossos, tradueixen diferències de *quantitat* i no de *qualitat*.

En conseqüència, si s'arribés a poder emprar focus radioactius d'importància molt més superior a la dels utilitzats fins ara, convindria preocupar-se de la qüestió de la "fita d'acció". En efecte, no és pas, després del què precedeix, pel fet de què la radiació β secundària eixida de la capa íntima de les cèl·lules del cilindre necrosat, no té poder necrosant, que el fenomen de destrucció es detura allí, sinó perquè la dosi mínima per a l'acció necrosant (dosi que és la "fita d'acció") no és assolida, al menys en els límits de les experiències esmentades. Però si la quantitat de substància activa continguda en l'ampolla, esdevingués 10, 100, 1000 vegades més gran, tot porta a pensar que la regió atesa per la necrosi devindria de més en més profunda, sense que fos possible, en cap cas, d'assignar-li *a priori* un límit superior. Fóra indispensable tractar novament cada cas particular.

Basat sobre el principi dels fogars interiors, ha estat proposat per diversos autors un mètode seductor, sota el nom de " β . teràpia" per a "la producció de raigs β destructors en el sinus mateix dels teixits, mitjançant la introducció de partícules metàl·liques que juguen el rol de radiadors". Aquest mètode utilitza la radiació β secundària fornida per les partícules metàl·liques injectades, sota l'acció d'una radiació γ exterior. (Veure sobre aquest particular les informacions bibliogràfiques contingudes en l'article següent: SANSANOW, *Paris Médical*, 2 febrer 1924, pàg. 108). Aquest mètode ha trobat crítiques greus i motivades que no hem de reproduir ací per

tal com són d'ordre exclusivament mèdic, que han disminuït considerablement el seu interès. A continuació donem una taula de conversió dels gruixos de diverses substàncies (en mil·límetres), a masses superficials (gr/cm²).

Masses superficials en gr/cm²

Epessors en mm	Carboni $\rho = 2$	Alum·ni $\rho = 2.6$	Plata $\rho = 10.5$	Plati $\rho = 21.4$	Or $\rho = 19.2$	Plom $\rho = 11.4$
1	0.2	0.26	1.05	2.14	1.92	1.14
2	0.4	0.52	2.10	4.28	3.84	2.28
3	0.6	0.78	3.15	6.42	5.76	3.42
4	0.8	1.04	4.20	8.56	7.68	4.56
5	1.	1.30	5.25	10.70	9.60	5.70
6	1.2	1.56	6.30	12.84	11.52	6.84
7	1.4	1.82	7.35	14.98	13.44	7.98
8	1.6	2.08	8.40	17.12	15.36	9.12
9	1.8	2.34	9.45	19.26	17.28	10.26
10	2.	2.60	10.50	21.40	19.20	11.40
11	2.2	2.86	11.55	23.54	21.12	12.54
12	2.4	3.12	12.60	25.68	23.04	13.68
13	2.6	3.38	13.65	27.82	24.96	14.82
14	2.8	3.64	14.70	29.96	26.88	15.96
15	3.	3.90	15.75	32.10	28.80	17.10
16	3.2	4.16	16.80	34.24	30.72	18.24
17	3.4	4.42	17.85	36.38	32.64	19.36
18	3.6	4.68	18.90	38.52	34.56	20.52
19	3.8	4.94	19.95	40.66	36.48	21.66
20	4.	5.20	21.	42.80	38.40	22.80

Remarca.—Els resultats que hem anunciat en el present capítol estan en perfecte acord amb les indicacions fornides per les aproximacions successives de l'experimentació terapèutica. És interessant de constatar que dos camins tan diferents han conduït a les mateixes conclusions pràctiques.

CONCLUSIONS

En resum: Aquest treball conté l'exposició del mètode d'anàlisi per absorció d'una radiació complexa β i γ .

1.º Nosaltres hem introduït, en primer terme, la noció de "grups principals", que s'aplica tan bé als raigs primaris com als raigs secundaris. Un grup principal és caracteritzat pel fet que un coeficient d'absorció màssic

$\frac{\mu}{\rho}$ independent de la massa superficial de l'ecran travessat, pot ésser-li atribuït per a una substància donada;

2.º El fenomen de producció de radiació secundària ha estat totseguit envestit teòricament; la seva formació pot ésser útilment representada per la relació:

$$(1) \quad Y = \frac{k \mu I_0}{\mu' - \mu} \left(e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{s}} - e^{-\frac{\mu'}{\rho} \frac{m}{s}} \right)$$

en la qual $\frac{\mu}{\rho}$ i I_0 es refereixen a la radiació excitadora, $\frac{\mu'}{\rho}$ a la radiació excitada.

3.º Un desglossament que s'exposa en el capítol VI, per a la determinació de la radiació β primària a partir de la radiació β total, servint-se de càlculs basats sobre la relació (1), ha mostrat la legitimitat del raonament adoptat.

4.º Nosaltres hem donat tot seguit la descripció del dispositiu experimental; l'exposició de la tècnica, que amb l'ajuda d'experiències d'absorció, amb i sense camp magnètic, permet de posar de relleu les diverses categories de raigs: γ primaris, β total, β secundaris, β primaris; en fi, el traçat de corbes i llur utilització per evidenciar els resultats descrits en els capítols següents.

5.º Nosaltres hem donat la descomposició de la radiació de radi (exceptuada la radiació α), utilitzant com a substància absorbent el plom. Hom ha pogut així distingir 4 grups de raigs γ primaris, 3 de raigs β primaris i 3 de raigs β secundaris.

6.º El mateix anàlisi ha estat efectuat amb l'ajuda de sis substàncies absorbents diverses: plom, or, platí, plata, alumini, carboni.

En particular, els resultats obtinguts per als raigs primaris mostren que els coeficients màssics d'absorció $\frac{\mu}{\rho}$ en diverses substàncies i relatius a un mateix grup principal de raigs, són lligats al número atòmic N de l'absorbent per la relació lineal: $\frac{\mu}{\rho} = a + bN$, posada en evidència per M. Georges FOURNIER.

7.º La comparació dels resultats relatius a la radiació β secundària posa en clar l'existència d'un fons continu de raigs β secundaris, dels quals la *quantitat* sola varia quan hom passa d'una substància a una altra i mentre que llur *qualitat* sols depèn de la naturalesa de la radiació γ excitadora.

8.º Nosaltres hem posat en evidència el fet experimental següent: la radiació β excitada pels raigs γ del radi i eixida d'un cert espessor de matèria (1.8 gr/cm^q) és idèntica sigui quina sigui la substància absorbent considerada.

9.º Nosaltres hem determinat les valors numèriques del coeficient de transformació k que figura en la relació (1), així com les valors dels rendiments de la transformació de la radiació γ excitadora en radiació β secundària excitada.

10. Nosaltres hem consagrat els dos darrers capítols d'aquest treball a l'exposició de la qüestió de la necrosi tissular i dels factors que intervenen en la seva producció. Hom hi defineix la radiació responsable d'aquest fenomen. Pel que es refereix a la radiació de radi, la radiació necrosant és, en sa major part, corpuscular. Segueixen consideracions diverses relatives a les conseqüències i a les aplicacions biològiques i terapèutiques del treball efectuat, així com exemples numèrics relatius a diversos casos típics de filtració, alguns dels quals són utilitzables en terapèutica.

R. P., trad.