



Sala 4
Est. 4
Tab. 4
N.º 13



$$H = \frac{e \cos \theta}{r^2}$$

$$E = \frac{e}{4\pi r^2} = \frac{e}{r^2} \frac{(1 - (\frac{u}{v})^2)}{(1 - (\cos \theta \frac{u}{v})^2)^{3/2}}$$

$$\frac{M H^2}{8\pi} \approx \infty$$

kinetic energy

$$\frac{M e^2 u^2}{3a}$$

$$m = \frac{2 M e^2}{3e} = \frac{2 M e^2}{3a} = \frac{2}{3v^2}$$

$-\frac{2}{3v^2} \times \text{charge} \times \text{potencial}$

O RADIO

$$\frac{1}{2} \left(m + \frac{2M}{3} \frac{e^2}{a} \right) v^2$$

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA
E DA TÉCNICA

N^o 966





104

INV.- Nº 747



O RADIO

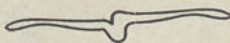
POR



RC
41007
53
RIB

João Evangelista Gomes Ribeiro

Engenheiro de Obras Publicas e de Minas,
Repetidor de Mathematica da Academia Polytechnica do Porto



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA
E DA TÉCNICA

Nº 966



COMPRA

PORTO

Typ. a vapor da «Encyclopedia Portugueza»

Rua Rainha D. Amelia, 47 a 49

1910

DISSERTAÇÃO PARA O CONCURSO
A UMA CADEIRA DA SECÇÃO DE PHILOSOPHIA
DA ACADEMIA POLYTECHNICA
DO PORTO





CAPITULO I

A radioactividade. O radio

A radioactividade — A descoberta da radioactividade da materia, que data de 1896, foi a consequencia d'uma serie de experiencias determinadas pelo estudo dos raios X de Röntgen. Como é sabido, os raios cathodicos, quando vem incidir sobre a parede de vidro da ampôla de Crookes, produzem os raios X; ao mesmo tempo essa parede apparece illuminada com uma bella fluorescencia verde. Apreciando as diversas hypotheses que se apresentavam ao espirito para explicar a natureza d'estes raios, Poincaré perguntava se em todos os casos de fluorescencia intensa os raios luminosos não acompanhariam os raios X. A verificar-se tal hypothese, que agora se sabe ser inexacta, qualquer substancia sufficientemente fluorescente emitiria raios X, podendo assim substituir as ampôlas de Crookes.

Muitos homens de sciencia entregaram-se a experiencias com o intuito de verificarem as supposições de Poincaré. Um d'elles foi H. Becquerel, que lançou mão do sulphato duplo de uranio e potassio, proce-

1896

Viewen glom
sulphato de ur
Becquerel
Tubert. Hent
Le Bon

dendo do modo seguinte. Envolveu uma placa photographica em uma dupla folha de papel negro espesso, sobre ella collocou duas lamellas d'aquelle sal, interpondo entre uma d'ellas e a placa uma moeda. Exposto este conjuncto á luz solar durante algumas horas, os resultados pareceram confirmar a hypothese de Poincaré; a fluorescencia provocada no sal de uranio pela luz do sol desenvolveu raios X, porque o papel negro não impediu que sobre a placa photographica apparecesse o contorno das lamellas e a sombra da moeda. Tratou Becquerel de repetir a experiencia, mas o tempo, apresentando-se nebuloso, não se manifestava favoravel ao bom exito da empresa; as imagens deviam ser necessariamente pouco nitidas. Reveladas as chapas, verificou com grande surpresa que succedera precisamente o contrario; os contornos surgiram com notavel perfeição.

Reconhecendo que a pouca intensidade da luz solar não influira, Becquerel tratou de operar ao abrigo de toda a luz. Para isso collocou, na obscuridade, sobre uma placa photographica envolvida em papel negro differentes saes de uranio, separados do papel por lamellas de vidro muito delgadas; dois dias depois a placa apresentava uma impressão quasi identica para cada um dos saes de uranio. Estava, pois, demonstrado que os saes de uranio emittiam contínua e espontaneamente raios capazes de atravessar os corpos opacos, actuando sobre as chapas photographicas, sem terem sido previamente expostos ás radiações luminosas.

Em todo o caso, poder-se-ia objectar que talvez o uranio, em vez de ser espontaneamente activo, tivesse a propriedade de armazenar as radiações luminosas, quando é insolado, restituindo-as depois muito lenta-

mente. Se assim fosse, a acção iria diminuindo. Ora experiencias repetidas mostraram que tal não succedia. Os saes de uranio, conservados na obscuridade durante semanas, meses e até annos, comportaram-se sempre do mesmo modo; a ultima prova foi obtida depois d'um intervallo de sete annos. Não eram possíveis, portanto, duvidas a tal respeito.

Desde que reconheceu que avançava por um novo caminho, Becquerel tratou de comparar as propriedades dos raios uranicos com as dos raios X; pôde verificar que, como estes, não sómente podiam atravessar os corpos opacos, actuar sobre a placa photographica, tornar luminosos os corpos phosphorescentes, mas tambem tinham uma outra propriedade que foi reconhecida nos raios X pouco depois da sua descoberta, a de ionisar os gazes que atravessam. Procedendo ao estudo das suas propriedades opticas, attribuiu-lhes a refração, a reflexão e a polarisação. Investigações ulteriores de Rutherford mostraram que taes conclusões eram inexactas. O erro provinha d'uma radiação secundaria que se produz, quando os raios encontram um corpo solido. Ainda n'isso os raios uranicos se assemelham aos raios de Röntgen.

Experimentando os differentes saes de uranio, verificou-se em todos elles a radioactividade; além d'isso, a intensidade da radiação era proporcional á quantidade de uranio n'elles contida, o que demonstrava que a radioactividade era uma propriedade do atomo do uranio, que se conserva inalteravel quando o atomo entra em combinação com atomos de outras especies chemicas. Eis as conclusões que Becquerel tirou das suas investigações:

“ O uranio e todos os saes d'este metal emittem

uma radiação invisível e penetrante que produz acções químicas, photographicas e descarrega a distancia os corpos electrificados. Esta radiação parece ter uma intensidade constante, independente do tempo, e não ser influenciada por nenhuma causa excitadora exterior conhecida. Parece pois espontanea. Atravessa os metaes, o papel negro e os corpos opacos para a luz.

“A placa photographica e o electroscope formam as bases dos dois methodos de investigação para estudar a nova radiação. A propriedade radiante está ligada á presença do elemento uranio; é uma propriedade atomica, independente do estado molecular dos compostos.

“Os corpos sobre que incide a nova radiação emittem uma radiação secundaria que impressiona uma placa photographica „.

O radio—Publicados os trabalhos de Becquerel, muitos outros homens de sciencia lhe seguiram no encalço, procurando verificar se se confirmaria a suspeita d'aquelle illustre physico, quando suppunha que as radiações poderiam encontrar-se em outros corpos.

Não levou muito tempo que Schmidt, na Allemanha, reconhecesse que o thorio e os seus compostos são substancias radioactivas, em um grau pouco diferente do uranio. Pela mesma occasião, M.^{me} Curie, não tendo conhecimento dos trabalhos de Schmidt, chegava ás mesmas conclusões.

Nas suas investigações M. e M.^{me} Curie utilisaram um apparelho de grande precisão, que se basea no principio da conductibilidade adquirida pelo ar sob a influencia dos raios uranicos. Essas investigações incidiram sobre muitos corpos simples: gallio, germanio, scandio, rubidio, etc., sem resultado algum.

Experimentaram-se em seguida alguns mineraes; observava-se a irradiação sempre que se tratava de substancias que continham uranio ou thorio.

Um facto, porém, impressionava os Curie; certos mineraes apresentavam uma radioactividade superior á do uranio puro. Assim, a chalcólite accusava um poder de radiação duplo e a pechblenda um poder quadruplo. Esta ultima substancia é um mineral de composição muito complexa, encerrando em media 40 % de oxydo verde de uranio, misturado a muitas outras substancias: arsenio, enxofre, cobre, nickel, bismutho, manganesio, baryo, cobalto, prata, etc., não tendo estas substancias a propriedade de emittir radiações. Os residuos da pechblenda, depois da extração do uranio, conservaram quasi totalmente o seu poder de radiação. Sendo a radioactividade, como ha pouco dissemos, uma propriedade atomica, o phenomeno não podia ser attribuido ao uranio contido n'estes mineraes, mas á presença d'uma outra substancia até então desconhecida mais activa do que o proprio uranio. Para confirmar esta convicção, prepararam chimicamente chalcólite artificial (phosphato de cobre e uranio), obtendo um producto duas vezes e meia menos activo do que o uranio metallico.

Tornava-se, pois, necessario isolar o corpo que assim se manifestava, recorrendo-se para isso aos processos ordinarios da analyse qualitativa. Tarefa ardua era esta, pois que nada se conhecia das propriedades do corpo que se pretendia obter, a não ser a que o tinha denunciado e que traduzia apenas uma hypothese. Lançando mão unicamente dos processos chimicos, nada se poderia fazer. Havia, porém, um processo physico de grande sensibilidade. Como a radioactividade é uma propriedade atomica, o seu

valor está intimamente ligado com a proporção do corpo radioactivo existente na substancia que se examina. Mede-se, pois, a radioactividade do producto; opera-se uma separação chimica, submettem-se á medida da radioactividade todos os grupos obtidos, e assim se verifica se a substancia radioactiva ficou integralmente em um d'elles ou se foi distribuida por todos e em que proporção. Por successivas eliminações, da pechblenda conseguiu-se extrair um grupo de substancias, em que se encontrava o bismutho e um corpo desconhecido a que se deu o nome de polonio, como homenagem ao paiz natal de S. Curie. Este grupo de substancias é 400 vezes mais radioactivo do que o uranio metallico.

Marckwald obteve mais tarde uma substancia analoga ao polonio. Procedeu para isso do seguinte modo. Mergulhou uma haste de bismutho puro em uma solução chlorydrica do bismutho extraído do residuo do tratamento da pechblenda; a haste cobriu-se rapidamente d'um deposito negro muito activo e ao fim d'um certo tempo toda a actividade da solução estava concentrada na haste. Marckwald considerou este deposito negro como um novo corpo radioactivo da familia do tellurio, a que deu o nome de radio-tellurio e, em sua opinião, seria a este corpo que o bismutho extraído da pechblenda deveria a sua actividade. Para M.^{me} Curie não se trataria d'uma substancia diferente do polonio, apesar do radio-tellurio de Marckwald não perder a sua radioactividade com o tempo, como succede com o polonio.

Proseguindo nos seus trabalhos realizados ainda sobre a pechblenda de Joachimsthal, na Bohemia, os Curie, auxiliados por Bemont, conseguiram extrair d'aquelle mineral uma pequena quantidade d'um novo

*com E. Curie
radio-tellurio - Polonio?*

*c. 1 vez
f. 1 vez
chimisthal*

corpo muito activo, analogo chimicamente ao baryo e a elle associado em quasi todas as reacções. Foi dado o nome de radio ao novo corpo, cuja actividade era 900 vezes superior á do uranio. Antes de entrarmos em pormenores relativos á descoberta do corpo, que é o principal objecto d'este trabalho, referir-nos-emos muito de passagem a algumas outras substancias radioactivas.

Da pechblenda, a que nos vimos referindo, extraiu-se, além do polonio e do radio, uma outra substancia a que foi dado o nome de actinio. Deve-se a Debierne a descoberta d'este corpo que no decurso do tratamento acompanhou o grupo do ferro.

Outros physicos tem extraído de differentes mineraes outras substancias radioactivas, mas a natureza de taes substancias é ainda mal conhecida. M. Giesel retirou de pechblenda um producto identico ao actinio, pertencente ao grupo do cerio e precipitando com elle.

Elster e Geitel obtiveram um sulphato de chumbo muito radioactivo. Não está demonstrado, porém, que se esteja em presença d'um novo corpo radioactivo, parecendo antes tratar-se d'uma substancia que contém baryo radifero.

Hoffmann e Strauss extraíram da pechblenda um sulphato de chumbo intensamente activo. Esta substancia apresenta uma propriedade singular; ao fim d'um certo tempo perde uma grande parte da sua actividade que em seguida readquire lentamente. Sob a acção dos raios cathodicos retoma em poucos minutos a actividade. Chimicamente considerado, o chumbo radioactivo não differe do chumbo ordinario.

Já nos referimos, ao fallar no polonio, ao radio-tellurio de Marckwald, que se deposita sobre hastes

actinio

de bismutho ou de antimonio introduzidas na dissolução acida de chloreto de bismutho activo. Consegue-se assim obter 6 decigrammas de radio-tellurio com 850 grammas d'este sal.

Barkerville separou do thorio um novo elemento radioactivo que recebeu o nome de *carolinio*.

Em outras substancias tem sido reconhecidas propriedades radioactivas. Por exemplo, nos saes de potassio e de outros metaes alcalinos. Julga-se mesmo que a radioactividade é uma propriedade geral da materia. Teremos mais tarde de voltar a este assumpto, assim como de fallar de outras substancias radioactivas que estão ligadas com phenomenos que serão tratados em outro capitulo.

CAPITULO II

Extracção do radio. Espectro. Peso atomico

Extracção do radio — A pechblenda, da qual foram retiradas pelos Curie varias substancias radioactivas, é extraída da mina de Joachimsthal, na Bohemia. Este minerio, cuja complexa composição já deixamos indicada, era utilizado para a extracção do uranio. Para isso tritura-se e funde-se a pechblenda com carbonato de sodio; a materia resultante d'este tratamento é lixiviada primeiro com agua quente, depois com acido sulphurico. A solução contem o uranio utilizado, regeitando-se o residuo insolavel que contem as substancias radioactivas, e cuja actividade é quatro vezes e meia a do uranio metallico. Foi d'este residuo, até então sem valor commercial, que o governo austriaco pôz uma tonelada á disposição dos Curie, para as investigações d'estes illustres experimentadores.

Para se fazer uma ideia da difficuldade da tarefa que se empreendeu, basta dizer que, para obter um gramma de sal de radio puro, são precisas muitas toneladas de residuos; cada uma requer cinco toneladas de reagentes diversos e 50.000 litros de agua de lava-

gem. Vamos dar um resumo das diferentes phases da operação.

Os residuos a tratar contem principalmente sulphatos de chumbo e de calcio, silica, aluminio e oxydo de ferro. É tambem sob a fórma de sulphato que se encontra o radio. Em quantidades maiores ou menores existem tambem quasi todos os metaes. O sulphato de radio é o menos soluvel e é n'esse facto que se baseia o methodo empregado. Applica-se primeiro o acido chlorydrico concentrado que dissolve a maior parte dos sulphatos. O residuo, lavado com agua, é misturado a uma solução concentrada e fervente de carbonato de sodio, eliminando-se assim os sulphatos que não foram dissolvidos. Decanta-se o liquido e lava-se o depositô com agua; em seguida adiciona-se acido chlorydrico diluido. Depois da filtração, trata-se pelo acido sulphurico que precipita, sob a fórma de sulphato, o baryo radifero. Para eliminar as impurezas que contem, faz-se actuar de novo o carbonato de sodio, em solução concentrada, com o qual se submete á ebulição. Pela terceira vez se lança mão do acido chlorydrico para transformar o carbonato obtido em chloreto. Lava-se de novo e trata-se ainda pelo carbonato de sodio. O producto, submettido á acção do acido bromydrico, é transformado em brometo de baryo radifero. Obtem-se por este longo tratamento 6 a 8 kilogrammas por tonelada de residuos; a actividade é representada pelo numero 60, tomando para unidade a actividade do uranio metallico. A principio, em vez do brometo, preparava-se o chloreto, mas, segundo M. Giesel, aquelle composto permite obter um maior rendimento.

Procede-se então á concentração por fraccionamento do brometo de baryo radifero. Para isso o bro-

meto é submettido a uma série de crystallisações, primeiro na agua pura e, em seguida, em agua addicionada de acido bromydrico. Aproveita-se assim a maior solubilidade dos saes de baryo, que vão sendo arrasados na solução, tornando-se os crystaes cada vez mais ricos em radio. Consegue-se por este modo cerca de 300 grammas de brometo, cuja actividade é, approximadamente, 1:000 vezes a do uranio metallico.

Continua-se ainda a concentração do seguinte modo. Prepara-se uma solução saturada; esta deixa depositar pelo resfriamento crystaes que chamaremos A; fazendo evaporar separadamente a solução restante, obtem-se outro grupo de crystaes que chamaremos B. Sendo os saes de radio menos soluveis do que os de baryo, succede que os crystaes A são mais ricos em radio do que os crystaes B, o que se póde verificar examinando separadamente as radioactividades dos dois productos A e B.

Procede-se em seguida a uma segunda operação sobre as duas substancias A e B, o que dá quatro porções com percentagens diversas de radio, que se reduzem a tres pela reunião da parte menos activa, retirada de A com a mais activa de B, visto que estas duas partes tem sensivelmente o mesmo grau de radioactividade. Continua-se esta série de successivas fraccionações, mas, para não augmentar exageradamente o numero de productos fraccionados, vão-se pondo de parte as porções que apresentam um grau pequenissimo de radioactividade, assim como se deixa de operar sobre as que manifestam grande poder radioactivo. Torna-se conveniente, n'esta longa série de trabalhos, aproveitar, para a dissolução dos crystaes obtidos em uma operação, a agua-mãe dos crystaes produzida na operação anterior. A medida que

se vão separando as substancias inactivas, para apressar o trabalho, vão-se desprezando os productos menos activos, o que determina, é certo, a perda de algum radio, mas offerece a vantagem da economia do tempo.

Com este moroso processo que abrange, como se vê, pelo ligeiro resumo que ahi fica, uma longa série de operações tão numerosas quanto delicadas, obtem-se um sal de radio puro, com uma actividade que attinge 1.500.000. O rendimento é apenas de 2 a 3 decigrammas por tonelada de residuos.

Comprehende-se, pois, facilmente, o preço elevadissimo que os saes de radio attingem e que sobe a 400:000 francos por gramma. Demais, a producção dos residuos de pechblenda é limitada pelas circumstancias da preparação do uranio, para cuja extracção aquelle minerio é principalmente utilizado. O governo austriaco reserva os residuos, antigamente sem valor commercial, para M.^{me} Curie, á razão de 1:000 francos por tonelada.

Seria, pois, da maior vantagem a descoberta d'outrros minerios d'onde fosse possivel extrair em condições mais economicas o radio, digamos antes os saes de radio, porque o radio metallico não foi possivel ainda isolal-o. Nos Estados-Unidos são extraidas aquellas substancias radioactivas da carnotite, vanadato de uranio e de cobre.

Espectro do radio—Obtidos os saes de radio da maneira que acaba de ser indicada, convinha accumular provas a favor da existencia do novo corpo que se havia descoberto. Um dos processos de que ordinariamente se lança mão para evidenciar, em uma dada substancia, a presença de corpos já conhecidos, ou

for
Curie & Debierne
1910
electrolyse de chloro
amalgama de bismuto
de bismuto

para denunciar a existencia de outros, até então ignorados, é a analyse espectral. Foi commettida a Demarcay, que se notabilisou por trabalhos d'este genero, a tarefa de proceder ao exame espectroscopico da nova substancia.

Os primeiros saes examinados, chloretos de baryo radifero, que continham ainda bastante baryo, revelaram as riscas caracteristicas d'este metal, como não podia deixar de ser, e na região ultra-violeta, uma risca nova de grande intensidade cujo comprimento d'onda é $\lambda = 3814,7$. Ensaíram-se, em seguida, saes mais ricos em radio. Aquella risca tornou-se mais nitida, surgiram outras novas, duas na região azul e duas na ultra-violeta; enfraqueceram as riscas do baryo. Um terceiro exame da substancia mais concentrada em radio evidenciou com mais nitidez os resultados a que já se havia chegado.

Finalmente a observação do sal de radio puro permittiu estabelecer o quadro seguinte em que vão indicados os comprimentos d'onda das riscas caracteristicas e as suas intensidades relativas:

<i>Angstrom</i>	λ	Intensidade
	4826,3	10
	4726,9	5
	4699,8	3
	4692,1	7
	4683,0	14
	4641,9	4
455,42 ←	4533,5	9
	4436,1	8
	4340,6	12
	3814,7	16
	3649,6	12

X
 0,1 n } with
 0,4 n } m
 0,8 n } n
 20 n
 "described"
 "electro"
 "pro. p"

- 3
 $\lambda = 10$
 $0,1 \lambda = 10$
 $\times 10^7$

As indicações do quadro abrangem, como se vê, a região compreendida entre $\lambda = 5000$ e $\lambda = 3500$. Na parte visível do espectro, que não foi photographada, ha uma unica risca a notar, a risca $\lambda = 5665$ que é menos intensa do que a risca $\lambda = 4826,3$.

O espectro apresenta tres riscas $\lambda = 3814,7$, $\lambda = 4683,0$, $\lambda = 4340,6$, cuja intensidade rivalisa com as riscas mais nitidas até hoje conhecidas. A analyse espectral indica ainda duas bandas nebulosas intensas; uma no azul, vae de $\lambda = 4631,0$ até $\lambda = 4621,9$ com um maximo correspondente a $\lambda = 4627,5$; a outra no violeta, esbatendo para o ultra-violeta, começa em $\lambda = 4463,7$, tem um maximo de $\lambda = 4455,2$ até $\lambda = 4453,4$ e termina em $\lambda = 4390$.

Este aspecto, riscas intensas com bandas nebulosas, é caracteristico dos metaes alcalino-terrosos. É, pois, n'este grupo de corpos que se deve incluir o radio, devendo collocar-se em seguida ao baryo no quadro de Mendeleef.

Vem agora a proposito perguntar qual é a sensibilidade do methodo espectroscopico para revelar a presença do radio em um producto radioactivo e se essa sensibilidade é superior ou inferior á que se obtem, estudando as propriedades radioactivas da substancia por meio d'um electroscoopiõ. Para resolver esta questão basta attender ao seguinte. A risca mais intensa, que caracteriza o radio, pôde apresentar-se distincta em um sal que tenha uma actividade 50 vezes superior á do uranio, ao passo que o methodo electrico facilmente denuncia a existencia d'aquelle corpo em uma substancia que tenha uma actividade 100 vezes inferior á do uranio, e um electrometro mais sensivel pôde indicar a presença do radio em um producto cuja actividade seja inferior 10:000 vezes á do uranio.

General
methodo
electrico

$C = \frac{Cd}{300B}$

$d = \dots$
D semelhante a
de p. 100

D'aquí resulta que o exame electrico da radio-actividade é muitos milhares de vezes mais sensível do que o processo da analyse espectral. Eis a razão porque se recorre sempre áquelle processo no estudo dos corpos radioactivos.

Peso atomico do radio — M.^{me} Curie empregou na determinação do peso atomico do radio o methodo que consiste em dosear no estado de chloreto de prata o chloro contido em um peso conhecido de chloreto anhydro. O radio foi considerado como um elemento bivalente, cujo chloreto tem a formula $Ra Cl^2$; os pesos atomicos adoptados para a prata e para o chloro foram respectivamente 107,8 e 35,4.

As primeiras experiencias effectuaram-se com quantidades de chloreto de radio e de baryo que variavam de 0,1 a 0,5 grammas. M.^{me} Curie procedeu, em identicas circumstancias, á determinação do peso atomico do baryo para se assegurar de que o methodo era susceptivel de precisão, apesar de serem muito pequenas as quantidades da substancia utilizada. Os resultados obtidos com chloretos 230 e 600 vezes mais activos do que o uranio metallico não foram sensivelmente differentes d'aquelles a que se chegou para o baryo.

Procedeu-se a uma nova experiencia com um producto muito mais activo, 3500 vezes mais activo do que o uranio, achando-se para peso atomico o numero 140. Proseguindo nas experiencias com minerios, cuja actividade ia successivamente crescendo, foram-se determinando numeros cada vez mais elevados. Este estudo era acompanhado do exame espectral dos saes utilizados. Reproduzimos aqui o quadro em que M.^{me} Curie resume os seus primeiros trabalhos.

Platino
cristal
de baryo
sulphato de
bario
radio
químico

Actividades	Pesos atomicos	Espectro
3500	140	} o espectro do radio é pouco nitido.
4700	141	
7500	145,8	} o espectro do radio é nitido, mas predomina o do baryo.

Ordem de gran- } 173,8 — os dois espectros são eguaes.
deza 10^6 } 225 — o baryo apresenta-se apenas no estado de vestigios.

1902 Uma nova série de experiencias empreheheu M.^{me} Curie com 0,12 grammas d'um chloreto de radio, que foi considerado quasi puro, apesar de no espectro se observarem com certa nitidez as tres riscas principais do baryo. Os numeros achados foram os seguintes:

220,7 223,0 222,8 223,1.

Depois de effectuada uma purificação d'este chloreto, da qual resultou tornarem-se muito fracas as duas riscas principais do baryo, procedeu M.^{me} Curie a outra série de determinações, que levaram aos numeros seguintes:

225,3 225,8 224,0.

D'ahi a conclusão de que o peso atomico era 225.

Em 1907, tendo M.^{me} Curie conseguido obter 4 decigrammas de chloreto de radio perfeitamente puro, recommçou a determinação do peso atomico em condições que considerou muito superiores ás precedentes. Não podemos entrar aqui em minucias sobre as difficuldades que foi preciso vencer para assegurar o maior

rigor a estas experiencias. O methodo empregado foi o mesmo. Os numeros adoptados para pesos atomicos da prata e do chloro foram os que já ficaram indicados.

Eis os resultados obtidos em tres experiencias consecutivas :

226,35 226,04 226,15.

Estes numeros dão para peso atomico do radio o valor medio 226,18.

M.^{me} Curie concluiu dos seus trabalhos que o peso atomico do radio é igual a 226,2, com um erro possivel inferior a 0,5, desde que se adopte a base

Ag = 107,8 e Cl = 35,4.

Adoptando-se a base

Ag = 107,93 e Cl = 35,45,

o numero relativo ao radio torna-se 226,45.

Em 1908, Thorpe procedeu á determinação do peso atomico do radio pelo methodo empregado por M.^{me} Curie, partindo de productos provenientes de 500 kilogrammas de residuos de pechblenda de Joachimsthal, tratados com todas as precauções necessarias para garantir a maior precisão. Os resultados foram os seguintes :

226,8 225,7 227,7.

As duas primeiras determinações foram feitas com o sal extraído dos residuos da pechblenda. Na terceira juntou-se algum sal de proveniencia allemã.

*comp. de
radio
bario
com
de radio*

Os pesos atomicos da prata e do chloro foram respectivamente 107,93 e 35,45.

O valor medio encontrado é 226,7. A concordancia notavel dos resultados obtidos com saes preparados independentemente por Thorpe e M.^{me} Curie permite concluir que o peso atomico do radio é actualmente bem conhecido.

Aquelle numero marca o logar que no quadro de Mendeleef pertence ao radio; em seguida ao baryo na columna dos metaes alcalino-terrosos.

CAPITULO III

Propriedades do radio

Propriedades thermicas do radio — Os saes de radio emittem calor continuamente. A M. M. Curie e Laborde se deve a descoberta d'este facto que foi posto em evidencia do modo seguinte. Tomemos dois vasos identicos A e A' construidos de maneira a preservar o conteudo da irradiação calorifica exterior.

Estes vasos, chamados vasos de Dewar, tem duas paredes, no intervallo das quaes se faz o vazio. No vaso A colloca-se uma pequena ampôla de vidro *r* dentro da qual se introduzem 7 decigrammas do sal de radio a experimentar e ao lado um thermometro de mercurio *t*; fecha-se a abertura dos vasos com algodão. No outro vaso A' introduz-se outra ampôla *b* identica á primeira, mas que, em lugar da substancia radioactiva, contem um corpo inactivo, o

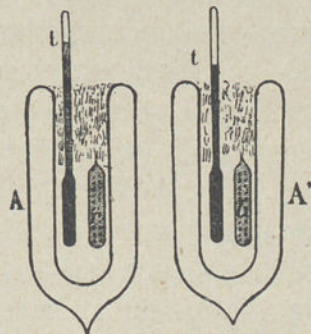


Fig. 1

chloreto de baryo, por exemplo; ao lado colloca-se um thermometro de mercurio t' . Ao fim d'algum tempo, nota-se que o thermometro, que se encontra no vaso onde está a substancia radioactiva, marca uma temperatura cerca de 3° superior á indicada pelo outro thermometro.

Convinha medir a quantidade de calor desenvolvida pelo radio. Foi o que fez M. Curie, empregando para isso um calorimetro de Bunsen. Vejamos em que consiste esta experiencia. Consideremos dois vasos de vidro A e B; A está soldado a B e este é terminado por um tubo graduado C. O vaso B contém mercurio na parte inferior e agua por cima; o vaso A está vazio. Faz-se congelar a agua contida em B por meio d'um apparelho proprio.

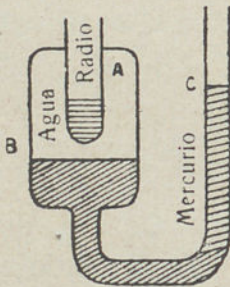


Fig. 2

depois introduz-se em A um fragmento de radio cuidadosamente pesado. Ao fim de algum tempo o gelo funde e o mercurio desce em C.

A descida do mercurio é contínua, o que mostra que o radio desenvolve calor continuamente. Tendo sido o calorimetro graduado previamente, é facil determinar a quantidade de calor desenvolvida, em um tempo dado, pela variação do nivel do mercurio.

Segundo Curie, o calor desenvolvido pelo radio em uma hora seria sufficiente para fundir um peso de gelo um pouco superior ao seu, ou ainda para elevar de cerca de 80° a temperatura d'um egual peso d'agua. Como se vê, a quantidade de calor desenvolvida é relativamente bastante grande.

Varios outros experimentadores se tem consagrado a esta determinação, obtendo numeros que va-

riam desde o que acharam Curie e Laborde até ao numero 134 devido a J. Precht.

Ultimamente Schweidler e Hess procederam a novas medidas, operando com uma quantidade bastante grande de substancia e em magnificas condições experimentaes; utilisaram para isso uma mistura de chloretos de baryo e de radio, contendo 0,7951 grammas de radio metallico. O methodo de que lançaram mão é o methodo do calorimetro differencial, com compensação de calor por uma corrente electrica e medida thermoelectrica das temperaturas feita com uma grande sensibilidade de que se fará ideia sabendo-se que a 1° centigrado correspondiam 1150 divisões da escala do galvanometro. Os calorimetros eram dois pequenos cylindros de cobre dourado, que se introduziam em um duplo vaso de temperatura constante, collocado em uma sala cuja temperatura era convenientemente regulada. O calor de compensação era obtido por meio d'uma corrente electrica devida a uma differença de potencial medida rigorosamente. O tubo com o sal era mettido em um calorimetro e o circuito compensador no outro; ao fim de muitas horas obtinha-se o equilibrio thermico, verificando-se um accrescimo de temperatura de 5°,5.

Depois de tres series de medidas, concluíram Schweidler e Hess que um gramma de radio metallico produz 117,79 calorias por hora.

Convem notar que um sal de radio, quando acaba de ser preparado, desenvolve uma pequena quantidade de calor. Mas o calor desenvolvido em um tempo dado vae augmentando continuamente, tendendo para um limite determinado, que ao fim d'um mez não está ainda completamente attingido. O mesmo succede quando se dissolve um sal de radio em agua, obser-

1908

1 gr Cl
de chloretos
ViemAugusto
190818
18
moyam

vando-se que, uma vez attingido o estado limite, o sal encerrado em um tubo fechado desenvolve no estado solido a mesma quantidade de calor que em dissolução.

1904
M. M. Curie e Dewar mostraram que este desenvolvimento de calor se manifesta a quaesquer temperaturas. Assim para a temperatura do hydrogenio liquido, — 253°, a experiencia foi disposta do modo seguinte. O aparelho compunha-se d'um tubo A, fechado na parte inferior e envolvido por um isolador thermico de vasio;

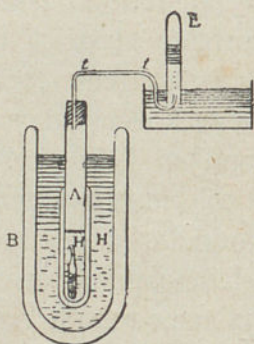


Fig. 3

no tubo havia uma porção de hydrogenio liquido H. No vaso B lançava-se tambem hydrogenio liquido H' para evitar a irradiação do exterior. No tubo A introduzia-se uma ampôla com 7 decigrammas de brometo de radio;

dava-se então um desenvolvimento contínuo de hydrogenio gazoso que, caminhando pelo tubo t, era recolhido na proveta E. Por minuto desenvolviam-se 73 centimetros cubicos de hydrogenio, o que permittia calcular a quantidade de calor emittida.

M. Georgiewski observou um effeito calorifico d'outra natureza. A velocidade de resfriamento d'um corpo quente não varia, quando se ionisa o gaz, que o envolve, por meio dos raios do radio, mas esse resfriamento accelera-se, se o corpo quente estiver electrizado e sobretudo se tiver electricidade negativa. Isto dá-se com o ar e ainda com outros gazes.

Dos phenomenos manifestados pelos saes de radio, o desenvolvimento do calor é um dos mais curiosos. Representa para um atomo gramma nada menos

de 18.000 calorias por hora, quantidade comparavel á que produz a combustão de um atomo gramma de hydrogenio.

Debierno, em um artigo, que sobre o assumpto publicou, diz o seguinte : “ É verosimil que este desenvolvimento de energia date da formação do minerio d’onde se extrae o radio; não podemos avaliar esse tempo, mas é, por certo, superior a milhares de seculos. Um gramma de radio desenvolve cerca de 800.000 calorias em um anno; resulta d’ahi que a quantidade de calor desenvolvida pelo radio, desde a sua formação, é incalculavel „.

“ A ordem de grandeza d’este desenvolvimento permite considerar possivel que a energia solar e a das eŝtrellas, e, talvez em parte, a do centro da terra sejam produzidas por corpos radioactivos; um calculo, feito recentemente por M. Wilson, mostra que a presença d’um gramma de radio por tonelada de materia no sol permite explicar a irradiação total d’este astro „.

Qual a origem d’esta producção contínua de energia, independente de toda a influencia externa, sem diminuição alguma de peso, nem modificação de substancia? Antes de responder a esta pergunta notaremos que não é o radio a unica substancia radioactiva susceptivel de desenvolver calor. Fizeram-se experiencias com o polonio, empregando-se para isso um aparelho constituido por dois recipientes em que se fez o vasio, cheios até meio de ether sulphurico e communicando entre si por um tubo horisontal onde existe uma bolha d’ar, servindo de indice. Em cada um dos recipientes entra um tubo de vidro, servindo de mufla; um d’elles recebe o corpo a experimentar, cujo calor, fazendo elevar a tensão do vapor de ether, obriga a bolha d’ar a

deslocar-se. Por meio d'uma pilha thermo-electrica, absorve-se este calor, compensando o deslocamento. Tem-se o cuidado de evitar o calor externo, envolvendo tudo em um bloco de chumbo.

O calor desenvolvido por 2 decigrammas de polonio é de 0,0117 calorias por hora; esta quantidade de calor é equivalente á desenvolvida por 0,749 milligrammas de brometo de radio. Estas quantidades das duas substancias determinam eguaes effeitos de ionisação, o que permite concluir que o calor desenvolvido pelos corpos radioactivos é devido á destruição da velocidade das particulas, em que adeante fallaremos, chocando contra as paredes do vaso que as encerra.

A ionisação dos gazes pelos corpos radioactivos

— As chammas e os gazes quentes tem a propriedade de tornarem o ar conductor da electricidade. Esta propriedade foi descoberta em 1882 por W. Giese, que, a principio a explicou como sendo um phenomeno de convecção ou o resultado d'uma reacção chimica. Observações ultteriores mostraram-lhe, porém, que eram inaceitaveis taes explicações. Adoptou então uma hypothese analoga á que se refere aos phenomenos de electrolyse. Assim, suppoz que as propriedades conductoras do gaz são devidas á existencia prévia de iões. Esses iões existiriam no gaz á temperatura e á pressão ordinarias em pequena quantidade; a elevação de temperatura determinaria a formação de novos iões e o ar tornar-se-ia conductor logo que esses iões fossem em sufficiente quantidade.

No interior dos gazes produzidos por uma chamma existem atomos isolados ou grupos de atomos não constituindo moleculas, em virtude da temperatura ele-

vada ou de reacções chimicas, de maneira que, quando o gaz resfria, os iões de diversa natureza, encontrando-se, produzem moléculas. Póde, por conseguinte, succeder que, com um rapido abaixamento de temperatura, um gaz fique com um numero de iões superior ao que tem no estado normal e assim ser conductor a uma temperatura a que em condições ordinarias o não é.

Em 1898, Mac Clelland mostrou que, quando os gazes quentes extraídos das chammas descarregam os corpos electrizados, a corrente electrica, que se estabelece entre o corpo que se descarrega e um electrodo ligado a um electrometro, cresce com a differença de potencial, mas tende para um valor limite, que constitue aquillo a que se dá o nome de corrente de saturação.

Em 1887, Hertz mostrou que, illuminando por meio d'uma faísca, ou d'outra qualquer fonte luminosa abundante em raios ultra-violetas, as espheras d'um excitador, póde augmentar-se a distancia explosiva d'essas espheras. Experiencias ulteriores confirmaram este facto que mostra a acção ionisante dos raios ultra-violetas.

O ar atravessado pelos raios cathodicos torna-se conductor da electricidade e essa conductibilidade conserva-se mesmo algum tempo depois de cessar a irradiação cathodica. M. Thomson demonstrou que a acção ionisante dos raios cathodicos não se dá só com o ar, mas tambem com os outros gazes. Tambem n'este caso se observa o phenomeno da cõrrente de saturação.

Em 1896, Benoist e Hurmuzescu mostraram que os raios X determinam effeitos analogos aos produzidos pelos gazes quentes, raios ultra-violetas e raios



cathodicos, isto é, tornam o ar, que atravessam, conductor da electricidade; a descarga seria mais rapida com a electricidade negativa do que com a electricidade positiva. Esta acção dá-se mesmo atravez de placas metallicas.

Thomson e Rutherford confirmaram esta descoberta, concluindo das suas experiencias que os gazes atravessados pelos raios X tornam-se conductores da electricidade; essa conductibilidade não desaparece com o aquecimento dos gazes ionisados; o estado especial produzido pelos raios X sobre os gazes é destruido pela passagem d'uma corrente electrica. Em todos os gazes submettidos á acção dos raios X ha uma corrente de saturação.

Perrin, em 1897, affirmava o seguinte: "Em todos os pontos d'um gaz atravessado pelos raios de Rontgen formam-se quantidades eguaes de electricidade positiva e negativa, isto é, estes raios ionisam o gaz. Se existe um campo electrico, as cargas positivas assim creadas movem-se no sentido do campo e as cargas negativas em sentido contrario. Estes dois sistemas de cargas descrevem assim os tubos de força onde estavam contidas, até que attingem os conductores onde estes tubos terminam. Estes conductores descarregam-se por esta fórma. Se uma superficie isoladora solida ou liquida os detem, carregar-se-á. A acção dos raios X sobre os corpos electrizados apresenta-se pois, não como uma propriedade d'estes raios, mas como uma consequencia necessaria da alteração que estes raios fazem soffrer ao gaz que atravessam,,.

Quer dizer, a passagem dos raios X atravez dos gazes determina uma decomposição das moleculas, o que permite o movimento da electricidade d'um modo identico ao que se dá em um electrolyto.

A ionisação póde ser produzida tambem pelos raios secundarios de Sagnac. Dá-se esta designação aos raios emitidos por qualquer corpo solido sobre que incidam os raios X.

Vê-se pois que os gazes se podem tornar conductores sob a influencia do calor, dos raios ultra-violetas, dos raios cathodicos, dos raios X e dos raios secundarios. Essa conductibilidade electrica admite-se que é devida á presença nos gazes de particulas carregadas de electricidade ou iões, que se deslocarão sob a influencia d'um campo electrico, movendo-se os iões negativos mais depressa do que os positivos.

As cargas que se deslocam, quando o gaz é collocado em um campo electrico, tem a mesma mobilidade, quando a temperatura e a pressão ficam as mesmas.

Quanto á ionisação dos gazes, seria produzida do modo seguinte. A radiação, que torna o gaz conductor, dissocia um certo numero de moléculas em duas partes electrizadas de tamanho desigual; uma mais pequena, o ião negativo; outra maior, que seria a parte restante da molécula dissociada, constituindo o ião positivo.

Estes iões, chocando-se uns com os outros ou com outras moléculas gazosas não dissociadas, podem originar novas moléculas neutras ou novos iões positivos ou negativos.

Emfim, póde dar-se tambem a recombinação de dois iões de cargas electricas contrarias, produzindo-se uma molécula neutra; ou o agrupamento de moléculas neutras em torno d'um ião por attracção eléctrica, formando-se grandes iões de pouca mobilidade.

Indicada ligeiramente a série de observações em que se verificou a ionisação dos gazes por diversos processos, entre os quaes apontamos a acção dos raios

X, e dada a analogia, que, sob certos pontos de vista, estas radiações apresentam com as dos corpos radioactivos, occorre averiguar se estes corpos produzem identicos efeitos. Foi Becquerel quem descobriu que assim succedia; as substancias radioactivas tem a propriedade de tornar os gazes conductores, descarregando a distancia os corpos electrizados. Experiencias simples bastam para o demonstrar. Submettendo um gaz á acção d'uma d'essas substancias e fazendo-o depois incidir sobre um electroscopio carregado, produz-se a descarga do instrumento. Póde dispôr-se a experiencia d'outro modo: submete-se o electroscopio á acção da substancia radioactiva; ao mesmo tempo affasta-se do aparelho por meio d'uma corrente d'ar a massa de gaz conductor que envolve a substancia, verificando-se então que a velocidade de descarga diminue muito. Estas acções dão-se mesmo atravez de placas metallicas. Outra experiencia devida a Becquerel consiste em collocar dentro d'uma ampôla, em que se faz o vasio, uma substancia radioactiva perfeitamente isolada; reconhece-se que a descarga do electroscopio no ar rarefeito é maior do que no ar á pressão ordinaria.

Verificada a nova propriedade dos corpos radioactivos, muitos physicos trataram de a estudar. Assim, em 1897, Lord Kelvin verificou que, collocando um bocado de uranio entre duas placas de zinco e cobre ligadas por um fio, se obtinha uma corrente contínua. Villari reconheceu que, dispondo um fio carregado na proximidade d'ã massa gazosa conductora, esta perdia a conductibilidade exactamente como o que ficou dito a respeito dos raios X.

Foi, porém, Rutherford quem mais avançou no caminho encetado. Este physico attribuiu a conducti-

bilidade adquirida pelos gazes submettidos á acção das substancias radioactivas a uma ionisação identica á produzida pelos raios X. As experiencias a que procedeu levaram-o ás seguintes conclusões:

No gaz submettido ás irradiações formam-se particulas carregadas de electricidade, umas positivas, outras negativas;

A absorpção da irradiação é proporcional á pressão;

A ionisação é proporcional á intensidade dos raios;

Os iões recombinam-se com uma velocidade proporcional ao quadrado do seu numero actual; decorridos 8 segundos depois de ter cessado a acção dos raios, ainda o ar conserva um quarto da sua conductibilidade;

O phenomeno pouco varia com a temperatura, assim como a illuminação da substancia activa não exerce influencia;

A intensidade da corrente produzida cresce com a superficie dos pratos do condensador que é empregado nas experiencias;

Quando a distancia entre os pratos do condensador é pequena em relação ao seu diametro, a intensidade da corrente cresce com ella; para uma distancia sufficientemente grande, a corrente não varia com essa distancia;

A intensidade da corrente augmenta com a differença de potencial que existe entre os pratos do condensador, mas, quando essa differença de potencial attinge um certo valor, a corrente tende para um limite constante, a que se dá o nome de corrente de saturação ou corrente limite.

Sendo pequena a pressão do gaz, demonstrou

Townsend que a corrente passa por tres phases, quando a differença de potencial cresce. Na primeira phase, a corrente cresce com a differença de potencial; na segunda phase, a corrente fica praticamente constante; na terceira phase, a corrente augmenta rapidamente com a differença de potencial. Segundo Townsend, este facto teria a seguinte explicação: a principio, emquanto a força electromotriz é pequena, todos os iões produzidos são recolhidos pelos electrodos e a corrente não depende praticamente do campo. Em um dado momento, quando o campo augmenta, os iões negativos, cuja velocidade é muito maior do que a dos iões positivos, chocando-se com as moleculas do gaz, produzem outros iões; logo que esta nova ionisação começa a produzir-se, a intensidade da corrente augmenta.

Townsend, em uma memoria que publicou em 1903, mostrou que os iões positivos podiam tambem produzir novos iões pelo choque contra as moleculas do gaz, e que os iões positivos e negativos assim obtidos eram identicos aos que o choque dos iões negativos produz.

A acção ionisante das irradiações do radio póde ser aproveitada para facilitar a passagem da faisca electrica entre dois electrodos, observando-se o phenomeno principalmente quando as faiscas são produzidas por uma pequena bobina de inducção. A interposição d'uma folha de chumbo com a espessura de 2^{cm} não impede a acção do radio.

Hemptonne mostrou que, nos tubos em que o vacuo é levado muito longe, a descarga electrica começava a uma pressão maior, collocando na visinhança do tubo um fragmento de radio.

Utilisa-se o radio para medir o potencial atmos-

pherico. Encerra-se a substancia radioactiva em uma caixa, que póde ser constituida por uma placa de cobre de 40 millimetros de diametro e 20 de espessura, em que se abre uma cavidade central para o alojamento da substancia; reveste-se o fundo da cavidade com amianto e cobre-se com uma lamina de ebonite. Fixa-se a caixa na extremidade d'uma haste de metal ligada a um electrometro. O ar ionisa-se proximo da haste e esta toma o potencial da atmosphaera que a envolve.

Acção ionisante sobre os liquidos e os solidos—

Pelo que diz respeito aos liquidos, Curie demonstrou que os dielectricos se tornavam conductores sob a acção dos raios de radio, como acontecia com os gazes. Empregou para isso um aparelho que se compunha de dois cylindros concentricos de cobre entre os quaes se lançava o liquido a experimentar, collocando-se o radio no cylindro interior.

Vimos que, no caso dos gazes, a intensidade da corrente vae augmentando com a differença de potencial, enquanto esta é pequena, mas que, logo que attinge um certo valor, deixa de verificar-se a proporcionalidade; a corrente tende para um limite, que se chama corrente de saturação, correspondente a uma força electromotriz de 100 volts.

Não succede o mesmo com os liquidos. Para forças electromotrices até 450 volts, a intensidade da cor-

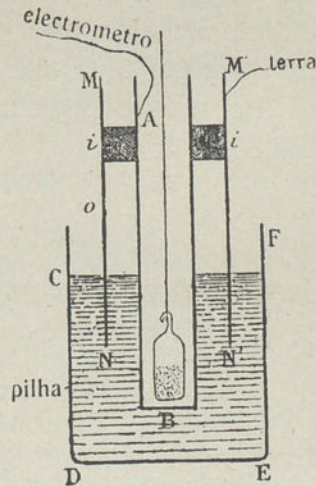


Fig. 4

rente é proporcional á differença de potencial, ainda mesmo que a distancia dos electrodos não exceda 6 millimetros.

Observa-se, porém, que, empregando uma substancia radioactiva menos energica, deixa de verificar-se a proporcionalidade, se bem que a intensidade da corrente augmente consideravelmente, quando a força electromotriz cresce. Assim, por exemplo, com um producto 150 vezes menos radioactivo do que aquelle que Curie primeiro empregou, para differenças de potencial de 50, 100, 200, 400 volts, as correntes eram expressas pelos numeros 109, 185, 255, 335. É licito, pois, suppôr que para os liquidos haja tambem uma corrente de saturação; simplesmente succederá que ella corresponda a um limite muito mais elevado.

No quadro seguinte resumem-se os resultados obtidos :

Substancias	Conductibilidade por centimetro cubico expressa em 10^{-14} megohms
Sulphureto de carbone	20
Ether de petroleo.	15
Amylena	14
Tetrachloreto de carbone	8
Benzina.	4
Ar liquido	1,3
Vaselina	1,6

O ar liquido, a vaselina, o ether de petroleo e a amylena são normalmente isoladores quasi perfeitos. Á temperatura de -17° centigrados, a conductibilidade da amylena e do ether de petroleo é dez vezes menor do que a 0° .

Becquerel demonstrou que a parafina submettida á acção do radio se tornava ligeiramente conductora.

Cessando a acção d'aquella substancia radioactiva, a conductibilidade decrescia como para os gazes.

O selenio, cuja conductibilidade varia com o grau de luz que sobre elle incide, tambem é sensivel á acção do radio.

Energia chimica—A radiação do radio produz diversas acções chemicas. Assim, Becquerel mostrou que o phosphoro branco se transforma em phosphoro vermelho como quando se submete á acção da luz. Em todo o caso, não póde attribuir-se este phenomeno á acção luminosa dos raios do radio, porque se manifesta ainda mesmo quando se intercepta a luz.

Fazendo actuar a radiação do radio sobre uma solução de bichloreto de mercurio e de acido oxalico, (6,5 grammas de bichloreto de mercurio, 12,5 de acido oxalico e 100 d'agua) fórma-se um precipitado de calomelanos. Os raios do radio actuam n'este caso como os raios luminosos.

M. Hardy e Miss Willcock mostraram que, expondo á acção do brometo de radio o iodoformio, esta substancia se decompõe, tomando uma côr purpura devida ao desenvolvimento do iodo.

O anhydrido iodico, segundo as experiencias de Berthelot, é decomposto nos seus elementos pela acção do radio, identicamente ao que se passa com a luz ordinaria. Verificou, porém, o sabio chimico que essa decomposição não se dá, quando se intercepta a luz.

O acido azotico foi tambem decomposto sob a acção do radio por aquelle eminente homem de sciencia, desenvolvendo-se vapores nitrosos.

Os raios do radio transformam o oxygenio em ozono. Parece, porém, que para isso se torna necessaria a communicação directa do ar com o radio. Assim,

se a substancia radioactiva estiver encerrada em uma ampôla fechada, os raios que a atravessam não produzem ozone; abrindo-se a ampôla, pelo cheiro revela-se immediatamente a presença d'aquelle gaz. Para se observar este phenomeno é preciso empregar substancias muito activas.

Uma folha de papel submettida ás radiações radicadas adquire a côr amarella, terminando por ficar crivada de orificios.

O vidro e a porcelana tornam-se corados. A coloração do vidro, muito intensa, é negra ou violeta e dá-se ainda mesmo que na composição do vidro não entre o chumbo. Mantem-se, depois de ter cessado a acção da substancia radioactiva.

Se collocarmos algum radio por baixo d'uma camada de platino-cyaneto de baryo estendida sobre uma folha de papel, esta substancia torna-se luminosa. Colocado na obscuridade, a luminosidade desaparece pouco a pouco e observa-se uma alteração do platino-cyaneto de baryo. Transporta-se para a luz; o platino-cyaneto de baryo regenera-se e na obscuridade a sua luminosidade torna-se outra vez intensa.

Segundo as experiencias de Giesel, os saes haloïdes crystallizados dos metaes alcalinos experimentam, sob a influencia do radio, uma coloração identica á que os raios cathodicos determinam. Esta coloração, affirma M.^{me} Curie, não apresenta grande variedade, sendo geralmente violeta, amarella, negra ou cinzenta. Parece ser devida aos metaes alcalinos. Com saes puros crystallizados, as côres são mais vivas e variadas. A côr que primeiro se apresenta é a branca, apparecendo depois a azul, verde, amarella, escura, etc.

Os compostos radiferos, com o tempo, soffrem mudanças de côr, que devem attribuir-se á acção dos

raios que elles proprios produzem. Assim, por exemplo, os cristaes de baryo radifero, incolores quando se precipitam d'uma soluçãõ, tornam-se depois amarellos, outras vezes cõr de rosa, cõres que desaparecem com a dissoluçãõ. Com os saes de radio puros parece succeder a mesma coisa. Exceptua-se o chloreto de radio que precipita em cristaes d'uma soluçãõ acida.

Curie e Debiarne reconheceram que as soluções dos saes de radio, introduzidas em um tubo onde se fizera o vazio, desenvolviam gazes d'uma maneira continua. Giesel fez identica observaçãõ com o brometo de radio, reconhecendo que os gazes eram o hydrogenio e o oxygenio em proporções pouco mais ou menos eguaes ás da agua. Runge e Bodlander, com 1 gramma de sal radioactivo, obtiveram 3,5 centimetros cubicos de gaz em 16 dias; este gaz continha 88 partes de hydrogenio para 12 de oxygenio.

Ramsay e Soddy, com 50 milligrammas de brometo de radio, conseguiram um desenvolvimento de 0,5 centimetros cubicos por dia, entrando na mistura 71 partes de hydrogenio e 28,9 de oxygenio.

Estes factos explicam-se pela decomposiçãõ da agua em presença dos saes de radio.

Uma das manifestações da energia chimica do radio é a acçãõ que este corpo exerce sobre as placas photographicas. Como já dissemos, foi esta acçãõ das substancias radioactivas que levou Becquerel á descoberta da radiaçãõ do uranio, que abriu um tão vasto campo ás investigações scientificas. Identicamente ao que succede com os raios X, as novas radiações permitem obter radiographias que podem ser muito nitidas, desde o momento que se empreguem disposições apropriadas. Basta para isso collocar entre uma placa photographica envolvida em papel negro

e uma ampôla contendo radio os objectos de que se queira obter as radiographias.

É claro que nem só com o radio se podem obter estes resultados; as outras substancias radioactivas tambem manifestam esta especie de energia, em todo o caso, menos intensamente. Assim, o polonio só actúa a pequena distancia e a acção deixa de se exercer atravez d'uma lamina de vidro de 1 millimetro de espessura. Com o uranio e o thorio são precisas 24 horas para impressionar uma placa photographica, ao passo que os raios do radio, a pouca distancia, dão um resultado immediato, podendo operar-se até á distancia de 2 metros.

Indiquemos alguns numeros para melhor se fazer ideia das circumstancias em que se dá a acção. Alguns centigrammas d'um sal de radio encerrado em uma ampôla de vidro, á distancia de 1 metro da chapa sensivel, em face da qual se acha o objecto, produzem uma radiographia nitida, actuando durante um dia. Se o radio está á distancia de 20 centimetros, basta uma hora. A placa é impressionada instantaneamente, se a chapa está em contacto com a fonte das irradiações.

Apesar do que fica dito, convém operar a distancia e com fontes radioactivas de pequenas dimensões; obtem-se melhores resultados. Mais adiante diremos como se póde augmentar a nitidez das imagens.

A propriedade de impressionar as chapas photographicas fornece um processo simples e pratico de reconhecer as substancias mineraes radioactivas. Póde operar-se do seguinte modo: colloca-se no fundo d'uma caixa qualquer uma placa sensivel embrulhada em um papel negro para evitar a acção chimica do contacto. Sobre essa placa deposita-se a substancia

a examinar. Fecha-se a caixa de modo a evitar com todo o cuidado a entrada da luz e deixa-se actuar durante um tempo menor ou maior conforme a natureza da chapa; 5 a 6 horas para as chapas extrarapidas, 10 a 12 para as que são menos sensíveis. Se houver substancias radioactivas, manifestar-se-ão por manchas brancas nas photographias obtidas.

É mais conveniente reduzir as substancias a pó fino. Assim se evitam os resultados negativos que no primeiro caso se poderiam obter, se as partes activas do minerio ficassem na região mais afastada da chapa.

Póde-se com este processo, que está ao alcance de todos, e com uma unica chapa photographica, fazer o ensaio de doze ou vinte fragmentos de minerio. Para isso emprega-se uma lamina de chumbo de alguns milímetros de espessura em que se abrem cavidades onde se collocam os minerios a examinar.

Por meio do methodo photographico é possível distinguir os diamantes das imitações. Estas são opacas, ao passo que o diamante deixa passar as radiações. Identica applicação se póde fazer com as outras pedras preciosas que são mais transparentes do que as falsas.

Luminescencia. Phosphorescencia. Fluorescencia

—As radiações emittidas pelos saes de radio provocam a phosphorescencia ou a fluorescencia em um grande numero de corpos. É sabido que tanto em um como em outro d'aquelles phenomenos a energia é fornecida do exterior; a phosphorescencia, porém, persiste durante um tempo maior ou menor, quando cessa a causa que a provocou, ao passo que a fluorescencia desaparece immediatamente.

Entre as substancias sensíveis, encontram-se os

saes dos metaes alcalinos e alcalinos-terrosos, com os quaes Bary fez experiencias; os raios X exercem sobre estes saes a mesma acção que exercem os raios do radio. São tambem fluorescentes o algodão, o papel e a pelle.

Fazendo actuar o radio, atravez d'uma folha d'aluminio, sobre uma camada de platino-cyaneto de baryo, este corpo adquire uma bella phosphorescencia verde. A sensibilidade d'esta substancia é tão grande que o radio actúa sobre ella a distancias que attingem 2 a 3 metros e até atravez do corpo humano.

O sulphureto de zinco é tambem fluorescente, dando-se com este composto um curioso phenomeno. Observando-o com uma lupa, vê-se um grande numero de pontos brilhantes apparecer e desaparecer continuamente. Foi William Crookes, o primeiro que observou este phenomeno.

Notou o illustre physico que, deixando caír parcelas insignificantes d'um sal de radio sobre um diaphragma de sulphureto de zinco, este sal apparecia semeado de pequenos pontos illuminados com luz verde. Examinando, com um microscopio, estes pontos brilhantes, em uma camara escura, reconheceu que cada um d'elles apresentava um nucleo escuro rodeado d'um halo de luz diffusa e, fóra do halo, a superficie do diaphragma apresentava-se sulcada de faiscas luminosas que appareciam e desapareciam, sem se notar nenhum movimento de translacção.

Quando, simplesmente, se aproxima o sal de radio do sulphureto, veem-se alguns pontos luminosos rodeados de faiscas brilhantes. Approximando mais o sal de radio, as scintillações tornam-se mais numerosas e mais brilhantes, e, quando a substancia radioactiva está a uma distancia inferior a um millimetro, as

faiscas succedem-se com uma tal rapidez que o diaphragma toma o aspecto *d'um mar luminoso em furia*, na phrase de Crookes.

Outras substancias radioactivas produzem o mesmo effeito, mas com menor intensidade. O vazio em nada modifica o phenomeno; o mesmo succede com as baixas temperaturas.

Segundo Crookes, o phenomeno seria devido a uma desaggregação do atomo. "É provavel que, n'estes phenomenos, o que nós vemos, na realidade, seja o bombardeamento do diaphragma pelos iões positivos lançados pelo radio com uma velocidade analoga á da luz. "

O sabio inglez inventou um aparelho, chamado *spinthariscopio*, que permite observar a fluorescencia do sal de zinco. Consiste em um simples tubo de lãtão, tendo em uma das extremidades um diaphragma movel de sulphureto de zinco, a pequena distancia do qual se encontra uma fracção de milligramma d'um sal de baryo radifero. Na outra extremidade ha uma forte lupa. A experiencia é feita na escuridão.

O platino-cyaneto de potassio manifesta a phosphorescencia com a côr azul. Os metaes não são phosphorescentes. Os especialistas americanos Kuntz e Bakersville fizeram experiencias com muitos minerios, reconhecendo que os minerios de zinco apresentam grande sensibilidade; assim, a willemite, orthosilicato de zinco, adquiriu uma phosphorescencia que durou 24 horas. Um sal de baryo radifero, cuja actividade era expressa pelo numero 300.000, exerceu acção sobre este minerio a uma distancia de 100 pés. Citam ainda a kunzite, descoberta na California, silicato d'alumina e de lithina, de côr amethysta.

O diamante é muito phosphorescente, o que per-

mitte distinguil-o das imitações, poisque o quartzo é pouco sensivel. A fluorina fica phosphorescente durante 24 horas depois de ter cessado a acção do radio.

Todas as especies de vidro, principalmente o vidro da Thuringia, e a porcelana são muito phosphorescentes.

Além da phosphorescencia, o vidro soffre colorações sob a influencia do radio. Já nos occupamos d'este assumpto ao tratar das manifestações de energia chimica; sobre elle diremos agora mais alguma coisa.

As mudanças de côr observam-se em todas as qualidades de vidro, que tornam a readquirir a primitiva côr, quando aquecidos á temperatura de 500°, ao mesmo tempo que emittem luz. A faculdade de se tornarem phosphorescentes, que, sob a acção do radio, tinha diminuido pouco a pouco, regenera-se.

Nem só com o vidro se dão as mudanças de côr. O chloreto de sodio torna-se amarello e o chloreto de potassio violeta, desapparecendo estas côres quando cessa a acção do radio. O platino-cyaneto de baryo adquire a côr escura que se attenua com a exposição á luz. O sulphato duplo de uranio e potassio torna-se amarello. O bicarbonato de sodio e o meta-bisulphito de potassio tomam a côr amethysta; esta coloração leva 24 horas a manifestar-se.

Para se obter mais rapidamente a mudança de côr, introduz-se no sal pulverisado uma ampôla com o radio. Segundo as experiencias de Goldstein, fundindo ou levando ao rubro o sal a córar, mais facil ainda é a operação. Assim o sulphato de potassio fundido torna-se rapidamente azul esverdeado, passando pouco a pouco a verde escuro.

Ha mineraes muito sensiveis; a kunzite torna-se

côr de rosa salmão; os crystaes de quartzo transparente transformam-se pouco a pouco em quartzo defumado, com uma longa exposição de muitos dias. Já se chegou a córar o diamante.

Nem todas as substancias se comportam do mesmo modo em presença dos raios luminosos, dos raios X e dos raios do radio. Ha substancias que são sensíveis ás tres especies de radiações; está n'este caso o sulphato duplo de uranio e potassio. Outras não; por exemplo, o diamante, sensível ao radio, é insensível aos raios X. O mesmo succede com a blenda hexagonal.

Becquerel procedeu a medidas photometricas para avaliar como variavam com a distancia os effeitos luminosos devidos ás substancias radioactivas. Para isso collocava a substancia radioactiva, coberta por uma lamina d'aluminio, para evitar a acção da luz, em um suporte movel; os diaphragmas phosphorescentes eram constituídos por laminas de vidro ou mica cobertas com as substancias a experimentar. Reconheceu, com esta disposição simples, que a intensidade das acções luminosas diminuia mais depressa do que o quadrado da distancia, o que denota uma absorpção da radiação pelo ar, absorpção que varia com a distancia.

Dizem-se thermo-luminescentes as substancias que se tornam luminosas, quando se aquecem acima da temperatura necessaria para as levar á incandescencia. Está n'este caso a fluorina, que emite uma bella luz verde. Pouco a pouco, porém, perde essa propriedade que se regenera pela acção do radio, o qual produz o mesmo effeito da faisca electrica, como Becquerel reconheceu.

Todos os compostos de radio e de baryo radifero são espontaneamente luminosos; os saes haloides, an-

hydros e seccos, emittem uma luz sufficientemente intensa para que com ella se possa lêr. A luz faz lembrar a d'um pyrillampo. Póde observar-se em uma meia escuridão ou em aposento illuminado a gaz. A luz provem de toda a massa da substancia e não apenas da superficie. Ao ar humido notou Giesel que a luminosidade diminue, reaparecendo quando os corpos radio-activos seccam.

A luminosidade parece não diminuir com o tempo; ao fim de alguns annos, conservando os corpos em tubos fechados no escuro, não houve modificação alguma.

A luminescencia varia com a actividade da substancia, sendo menor com um sal de radio puro do que com um sal de baryo radifero. A luminescencia do chloreto de baryo radifero diminue; a luz muda de côr, tornando-se mais violacea; para o regenerar basta dissolver-o em agua e seccal-o em seguida.

As soluções dos saes radioactivos são tambem luminosas, ainda que pouco; quando na solução existem saes, distingue-se a sua luminescencia mais forte.

A luminosidade dos saes de radio póde attribuir-se a uma phosphorescencia excitada pelos raios emittidos por estes saes.

Sobre a influencia da temperatura nos phenomenos que ficam indicados fez Curie algumas experiencias. Collocou no ar liquido um tubo de vidro com baryo radifero; a luminosidade manteve-se, parecendo mesmo, pelo que se observou ao retirar o tubo do ar liquido, que era maior do que no ar ambiente. A fluorescencia do sulphato de uranylo e potassio produzida pelo radio manifesta-se no ar liquido. Reconheceu Curie que o radio á temperatura do meio ambiente, ou

encerrado em um recinto á temperatura do ar liquido, possui a mesma intensidade radioactiva.

Vejamos agora o que succede com as altas temperaturas. O chloreto de baryo radifero, depois de fundido, á temperatura de 800°, persiste radioactivo e luminoso. Comtudo, um aquecimento demorado faz baixar de 75 por cento a radioactividade d'aquella substancia. Dois mezes depois de cessar o aquecimento, o radio recupera a sua actividade.

Acções physiologicas — As radiações do radio exercem acções muito interessantes sobre a materia viva.

M. Dauphin, que se consagrou ao estudo da acção do radio sobre os cogumelos, reconheceu que a radiação impedia o crescimento do mycelio e a vegetação dos esporos no cogumelo *Mortierella*. Esta acção cessava, quando se subtrahia a planta á influencia do radio.

Giesel submetteu algumas folhas de plantas ás radiações, verificando que ellas amarelleciam. Matout fez experiencias sobre a acção que poderia ter o radio nas faculdades germinativas das sementes das plantas, chegando á conclusão que essas faculdades eram destruidas.

Os resultados a que se tem chegado, pelo que diz respeito ás numerosas experiencias feitas sobre os fermentos, são muito diversos. Para alguns, a actividade diminue, com outros não soffre mudança e, casos ha, em que se nota um augmento.

Datam de 1899 e são devidas a Pacinotti e Porcelli as primeiras experiencias sobre a influencia bactericida das substancias radioactivas. Essas experiencias referiram-se ao uranio e mostraram que as suas radiações destruiam culturas de staphylococcus injectados

sob a pelle das orelhas dos coelhos. Freund repetiu sem resultado estas experiencias.

Aschkinass e Caspari verificaram que, em tres dias, o radio destruia os esporos do carbunculo, e que tambem exercia uma acção notavel sobre os bacillos do typho e do cholera. O desenvolvimento d'estes bacillos pára sob a acção dos raios absorviveis do radio; interpondo uma delgada lamina de aluminio entre a cultura e o radio, o desenvolvimento prosegue. Collocando o radio a uma distancia superior a 6 centimetros da cultura, termina a acção bactericida. Estes resultados foram confirmados por experiencias ulteriores feitas por London, Danysz e muitos outros homens de sciencia.

Phisalix demonstrou que a influencia do radio diminua a virulencia do veneno da vibora, tornando-o inoffensivo ao fim de 58 horas.

Bohn reconheceu que as radiações impediam o crescimento das larvas das rãs e dos sapos. Danysz produziu a paralyisia ao fim de 24 horas e a morte dois dias depois, em larvas de insectos encerradas com radio em um tubo de vidro.

Danysz applicou um centigramma de chloreto de baryo radifero com uma actividade igual a 500000, durante 24 horas, sobre a pelle de cobaias e coelhos; essa applicação provocou n'aquellas a destruição da pelle, ao passo que n'estes excitou o crescimento do pello. A acção sobre os intestinos, durante quatro mezes, foi nulla.

Sobre o systema nervoso a influencia é muito sensivel; determina a paralyisia e em seguida a morte, ao fim d'um tempo que varia com a natureza e a idade do animal. A acção a distancia determina tambem a morte por hemorragia interna, que se dá tanto mais

depressa quanto menor é a distancia, conforme notou London.

Resultados analogos foram verificados em outros animaes por diferentes observadores.

Vejamos agora os effeitos das substancias radio-activas no corpo humano. Os raios emittidos por essas substancias produzem acções muito energicas sobre os tecidos, podendo determinar até profundas lesões difficeis de curar. Giesel collocou no braço, durante duas horas, uma pequena quantidade de baryo radifero, envolvida em uma folha de celluloides; pouco tempo depois notou uma vermelhidão e ao fim de tres semanas produzia-se uma inflammação e a pelle cahia.

Curie repetiu esta experiencia. O sal empregado era pouco activo, 5000 vezes mais do que o uranio, e actuou durante dez horas. Apareceu a rubefacção immediata e em seguida uma chaga que destruiu a epiderme, levando quatro mezes a curar. Em outra experiencia, o contacto foi apenas de meia hora; appareceu uma queimadura ao fim de quinze dias e a cura levou duas semanas. Em uma terceira experiencia, o contacto durou apenas oito minutos; ao fim de dois mezes formou-se uma ligeira mancha vermelha sem outras consequencias.

Becquerel experimentou tambem a acção dos raios do radio. Guardou no bolso do collete, durante seis horas, alguns decigrammas d'um sal 800000 vezes mais activo do que o uranio, encerrado em um tubo de vidro fechado; o tubo estava embrulhado em papel e mettido em uma caixa de cartão. Dez dias depois, Becquerel notou uma mancha vermelha, que se tornou mais nitida nos dias seguintes, até que ao fim de nove dias a epiderme cahiu, produzindo-se suppuração abundante. A chaga levou quarenta e nove dias a curar e,

dois annos e meio depois, ainda eram evidentes os vestigios que a pelle apresentava.

Trinta e quatro dias antes de se ter dado o facto narrado, o tubo tinha sido guardado em outro canto do bolso, apenas durante uma hora. Pois isto determinou uma nova mancha vermelha, que appareceu pouco antes de curada a primeira, e que seguiu a mesma marcha, mais rapidamente, é certo, mas deixando tambem vestigios que duraram longo tempo.

Poussef fez uma experiencia em que a substancia actuou durante seis horas; passados seis dias, formou-se uma mancha branca, orlada de vermelho, com o diametro de 35 millimetros, que, onze dias depois, se transformou em uma ulcera atonica, que só ao fim de cinco mezes e meio tendeu para a cicatrização por meio da luz branca.

As pessoas que trabalham com os saes de radio soffrem a esfoliação quasi completa dos dedos, que se torna dolorosa; essa dôr persiste por vezes durante dois mezes. As partes em contacto com as substancias radioactivas endurecem e apresentam cicatrizes.

Vê-se pelas experiencias descriptas que a produção das lesões da pelle só se dá depois d'um periodo de incubação, que varia com a intensidade da acção e com a quantidade de substancia que actúa, sendo tanto maior quanto mais fraca é essa intensidade e menor a porção do corpo radioactivo. As lesões não são dolorosas e as ulceras, que se formam em seguida á queda da pelle, são de cicatrização muito demorada.

Kienboeck explica estes factos admittindo que nos tecidos se dá uma modificação chimica, produzida pelos raios absorvidos, por analogia com a transformação dos raios ultra-violetas e da luz do arco electrico

em energia chimica. Formar-se-iam substancias anormaes e venenosas, verdadeiras toxinas, que, accumulando-se nos tecidos, durante o periodo de incubação, dariam em resultado uma inflammacão com intoxicacão geral séguida de febre.

Uma das mais interessantes accões do radio é a que se exerce sobre o aparelho visual. Se na obscuridade se colloca deante do olho uma caixa fechada com paredes opacas, dentro da qual se introduziu um sal de radio, percebe-se uma especie de luar que parece vir de todos os lados. Foram Giesel e Javal que primeiro observaram este phenomeno. Mais tarde, Himsstedt e Nagel reconheceram que os raios do radio, atravessando as paredes da caixa, tornavam fluorescentes todos os meios do olho, dando assim a explicacão d'aquella curiosa accão. Javal e Curie verificaram que os olhos doentes são sensiveis ás radiações radicas, desde que tenham conservado a retina intacta.

Os raios emittidos pelos saes de radio tem sido experimentados na cura de certas doenças cutaneas. O dr. Danlos tem feito, no Hospital de S. Luiz, em Paris, applicações coroadas de exito em casos de lupus. A substancia radioactiva, ordinariamente em pó, era introduzida em um tubo de vidro fechado á lampada, que se mettia em uma caixa de madeira com uma das faces recoberta de chumbo. As curas foram numerosas, mas em alguns casos deu-se a recidiva.

Goldberg e London ensaiaram tambem com exito o novo processo de tratamento em dois casos de lupus, depois das experiencias do dr. Danlos. O professor Gussenbauer e o dr. Holtzknecht obtiveram resultados favoraveis no tratamento de affecções cutaneas diversas: epitheliomas, carcinoma do ceu da bocca, etc.

O dr. Mackensie-Davidson, de Londres, tratou

com exito varios casos de lupus, mas outro tanto não lhe succedeu com os casos de cancro.

O dr. Plimmer não obteve resultado em dezesete casos de cancro. M. Esner conseguiu melhoras em seis casos de cancro do esophago.

Em resumo, parece não restar duvida no que diz respeito á efficacia da applicação do radio em certos casos de affecções cutaneas, principalmente tratando-se de lesões superficiaes. No caso de cancros profundos, os resultados são muito problematicos.

O dr. Darier reconheceu que o radio, em applicações externas, é um analgesico dos mais poderosos, com o qual acalmou nevralgias, dôres dos cancros inoperaveis, etc.

Soddy propôz a applicação da radioactividade ao tratamento das affecções pulmonares sob a fórmula de inalação; dissolve-se o corpo radioactivo na agua, fazendo respirar ao doente o ar que atravessa o liquido. O dr. Gondon Sharp, de Leeds, applicou este methodo de tratamento a dois doentes com successo. A applicação durava uma hora em cada dia.

CAPITULO IV

Estudo e natureza da radiação

Composição da radiação — Reconhecidos os efeitos devidos aos corpos radioactivos, era natural estudar a natureza da radiação que assim se manifestava. As radiações conhecidas são devidas a ondas propagadas pelo ether ou ao movimento de particulas electrizadas. Estão no primeiro caso os raios luminosos, os raios calorificos, os raios ultra-violetas e os raios Rontgen; no segundo os raios cathodicos, que são attribuidos ao movimento de particulas electrizadas negativamente.

É facil distinguir umas das outras, porque nas primeiras não deve exercer acção um campo electrico ou magnetico, ao contrario do que deve succeder com as segundas radiações, poisque a trajetoria das particulas electrizadas póde modificar-se sob a influencia do campo, excepto sendo muito grande a velocidade d'ellas.

Vê-se, pois, d'aqui como se foi naturalmente levado a fazer actuar um campo electrico ou magnetico sobre as substancias radioactivas, para se reconhecer

a natureza dos raios emitidos. A complexidade da radiação foi reconhecida no fim de 1899 por Giesel, depois por Meyer e Schweidler.

Uma experiencia simples a põe em evidencia. Introduce-se um fragmento de radio em uma cavidade praticada em um bloco de chumbo, que se colloca em um campo magnetico uniforme e muito intenso, pro-

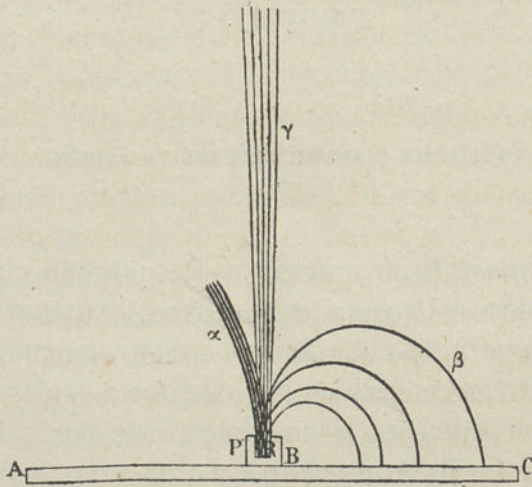


Fig. 5

duzido por um electro-iman potente. O electro-iman está disposto de maneira que o seu polo N fica para diante do plano da figura e o polo S para traz. Da cavidade em que está o radio sáe um feixe de raios que se separam em tres grupos que Rutherford chama raios α , β e γ .

Raios α — Estes raios são os menos penetrantes; são absorvidos por uma lamina de aluminio de algumas centesimas de millimetro de espessura. São tambem absorvidos pelo ar, que, sob uma camada superior a 10 centimetros, não os deixa passar. Encerrando

um sal de radio em uma ampôla de vidro fechada á lampada, os raios α não saem.

Formam, os raios α a maior parte da radiação. A principio julgou-se que sobre elles não exercia acção o campo magnetico. Não é assim; são desviados, ainda que pouco, como os raios cathodicos, mas em sentido inverso. Verificou-se que os raios α são analogos aos raios canaes de Goldstein, que tem origem na parte posterior d'um cathodo atravessado de pequenas aberturas.

Compõe-se de pequenas particulas ou projecteis carregados de electricidade positiva e lançados com uma velocidade cerca de vinte vezes inferior á da luz; a sua massa é da mesma ordem de grandeza do atomo do hydrogenio. O numero d'estes projecteis é enorme; segundo os calculos de Wien ou os de Rutherford e Mac Clung attingiria 80 a 100 milhares de milhões por segundo-gramma, gerando uma quantidade de energia igual a $\frac{4}{6}$ da pequena calorica.

Os curiosos phenomenos observados com o spinthariscopio, a que atraz nos referimos, seriam devidos a estes projecteis, que determinariam um verdadeiro bombardeamento.

Raios β —Estes raios são fortemente desviados pelo iman; descrevem trajetorias circulares cujos raios de curvatura são menores do que os das trajetorias dos raios α . O desvio faz-se no mesmo sentido que os raios cathodicos. Formam um feixe heterogeneo de raios, que se distinguem pela desigualdade de penetração e de desvio. Ha alguns que são absorvidos por uma lamina de aluminio de algumas centesimas de milimetro de espessura, isto é, são tão absorviveis como os raios α ; outros, pelo contrario, atravessam uma la-

mina de chumbo de muitos millímetros de espessura. Becquerel demonstrou que os mais penetrantes são os menos desviáveis. Recebendo sobre uma placa photographica um feixe de raios β sob a acção do campo magnetico, a impressão obtida constitue um verdadeiro espectro formado pelos diversos raios.

Já dissemos que os raios β se desviam no mesmo sentido que os raios cathodicos, mas não está só n'isso a analogia com esta especie de radiações. Como os raios cathodicos, transportam electricidade negativa, conforme foi demonstrado experimentalmente por M. e M.^{me} Curie. Os raios β consideram-se constituídos de particulas muito pequenas ou electrons, carregados de electricidade negativa, cuja massa seria duas mil vezes inferior á do atomo do hydrogenio; a velocidade com que são projectados é comparavel á da luz. Quanto ao numero, demonstrou-se que era quatro vezes inferior ao das particulas que constituem os raios α . Para o radio seria de 20 a 25 milhares de milhões por segundo-gramma.

Raios γ — Estes raios são muito penetrantes e não soffrem desvio algum sob a influencia do campo magnetico; são analogos aos raios X. Foram postos em evidencia por Villard.

A sua potencia é tal que podem ser perceptíveis, depois de terem atravessado uma espessura de ferro de 30 centímetros.

Vem agora a proposito indicar o processo de tornar nitidas as radiographias obtidas com os saes de radio. Para isso detem-se os raios α por meio de um diaphragma de aluminio e desviam-se os raios β pela acção d'um campo magnetico, deixando actuar só os raios γ .

O radio e o actinio são as unicas substancias que emittem raios γ ; o polonio só emittite raios α ; o uranio e o thorio produzem raios α e β .

As tres especies de radiações que o radio desenvolve, ao encontrarem um corpo solido, geram raios secundarios que são mais desviaveis, sob a acção do campo magnetico, do que aquelles que lhes deram origem.

Acção do campo magnetico — Quasi, ao mesmo tempo que Giesel, Meyer e Schweidler, Becquerel reconheceu a influencia do campo magnetico sobre os raios emittidos pelas substancias radioactivas. No estudo d'este phenomeno empregou o methodo radiographico, utilisando uma disposição analogá á indicada na pag. 56. O bloco de chumbo, que encerrava o radio em uma cavidade, repousava sobre uma placa photographica envolvida em papel negro. Todo o conjuncto estava collocado entre os polos d'um electro-iman.

A parte BC da placa apparecia impressionada; as trajetorias circulares dos raios β vinham cortical-a normalmente, produzindo uma faixa diffusa, como que um espectro contínuo de raios desegualmente desviaveis. Quando se cobria a placa photographica com diaphragmas absorventes, reconhecia-se que a parte do espectro a que correspondiam os raios mais desviados, isto é, os que tinham trajetorias de menor raio, desapparecia, o que mostrava que as radiações, que soffriam maior desvio, eram mais absorviveis.

Vamos agora descrever as experiencias de Curie que d'este phenomeno fez um estudo muito completo pelo methodo electrico.

O corpo radioactivo A está collocado entre as massas de chumbo B B' B" e as armaduras d'um ele-

ctro-iman que em EEEE estabelece um campo magne-
tico normal ao plano da figura. As radiações seguem a
dircção AD, entre os pratos d'um condensador PP';
o prato P é mantido ao potencial
de 500 volts, o prato P' está ligado
a um electrometro e a um quartzo
piezo-electrico.

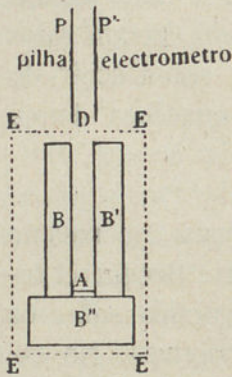


Fig. 6

Desde o momento que o ele-
ctro-iman não funcione, as radia-
ções tornam' o ar conductor, visto
seguirem a dircção A D, provo-
cando a passagem da corrente que
é medida convenientemente. Logo
que o electro-iman entra em acção,
os raios soffrem desvio, são absor-
vidos pelas massas de chumbo e a corrente é inter-
rompida.

Os resultados a que estas experiencias levaram
dependem da distancia que separa o corpo radioactivo
do condensador. Com effeito, os raios α são absorvidos
por uma camada de ar de 70 millimetros de espessura,
de modo que a uma distancia superior a esta terão
desapparecido aquelles raios e a percentagem dos raios
desviados será grande. O contrario succederá para dis-
tancias inferiores a 70 millimetros. Assim, verificou-se
que, n'aquelle caso, 90 por cento dos raios são desvia-
dos e supprimidos por um campo de 2500 unidades.
Quando a distancia é inferior a 65 millimetros, uma
percentagem menos importante dos raios é desviada
por um campo de 2500 unidades e a proporção não
augmenta, se a intensidade do campo cresce até 7000
unidades, o que prova a facilidade de desvio dos
raios β .

Para pequenas distancias os raios não desviados

contem os raios α e γ ; para distancias superiores a 70 millimetros, tendo sido absorvidos os raios α e desviados os raios β , restam os raios γ .

Para distancias comprehendidas entre 14 centimetros e 1^m,57, com um fragmento de radio muito activo, obteve-se 11 a 12 por cento de raios não desviaveis, constituídos quasi só de raios γ .

No caso das distancias serem pequenas, não ha maneira de distinguir os raios α dos raios γ , visto que aquelles são pouco desviaveis e não são absorvidos por pequenas camadas d'ar. É preciso então recorrer ao emprego d'uma lamina d'aluminio para absorver esses raios, deixando passar apenas os raios γ . São necessarias duas laminas de aluminio, cada uma de um centesimo de millimetro de espessura, para produzir a absorpção em distancias comprehendidas entre 34 e 50 millimetros; basta uma d'essas laminas para distancias superiores a 51 millimetros.

Os raios α , que constituem a maior parte das radiações do radio, são devidos principalmente á camada superficial. Se augmenta a espessura da substancia radioactiva, torna-se maior a proporção dos raios β , como indicam os seguintes numeros, que se referem a uma distancia de 50 millimetros ao condensador.

Espessura da camada	Irradiação total	Percentagem dos raios β
0 ^{mm} ,4	28	29 por cento
2 ^{mm} ,0	102	45 " "

Carga electrica dos raios β —É sabido que os raios cathodicos transportam cargas electricas negativas; deve-se a Jean Perrin a descoberta d'este facto. Com os raios β do radio dá-se um facto analogo; as cargas electricas, como succede com aquellas radiações, atra-

vessam envolveros metallicos ligados á terra e dielectricos, produzindo um desenvolvimento de electricidade negativa nos meios atravessados. O facto foi demonstrado experimentalmente por M. e M.^{me} Curie.

As primeiras experiencias a que procederam para pôr o facto em evidencia não deram resultados satisfactorios; a circumstancia de os raios α tornarem o ar conductor impedia a observação do phenomeno, visto que a carga communicada a um corpo se perdia atravez do ar. Tornava-se, pois, necessario isolar bem o corpo que recebia a carga electrica, pondo-o ao abrigo do ar, o que podia fazer-se de duas maneiras: encerrando-o em um tubo no qual se tivesse realisado um vazio perfeito, ou protegendo-o com um bom dielectrico solido. Foi a este ultimo processo que recorreram M. e M.^{me} Curie.

O aparelho empregado era constituído por um disco metallico, de cobre, de chumbo ou de zinco MM, ligado a um electrometro por uma haste metallica; o disco e a haste estão envolvidos por um bom dielectrico solido *iiii*, de parafina ou de ebonite. Uma caixa

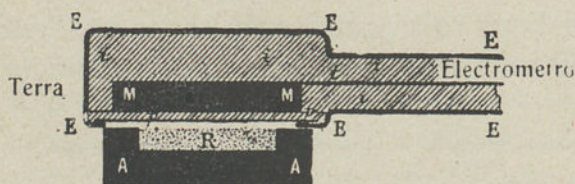


Fig. 7

metallica EEEE, ligada com a terra, protege todo o conjuncto. O sal de radio R está encerrado em uma tina de chumbo AA que se colloca em face da caixa metálica EEEE. O dielectrico e o envolvero da caixa, na parte que se acha em frente do sal de radio, são

muito delgados. Os raios emitidos pelo sal de radio atravessam o envolucro metallico e a camada isoladora *pp* e vão ser absorvidos pelo disco *MM*, determinando assim um desenvolvimento contínuo de electricidade negativa accusada pelo electrometro.

Com um chloreto de baryo radifero muito activo, formando uma camada de 2,5 centimetros quadrados de superficie e 2 millimetros de espessura, a corrente indicada pelo aparelho foi da ordem de grandeza de 10^{-11} ampères, sendo o dielectrico a ebonite com a espessura de 3 millimetros em face do sal de radio, e o envolucro metallico o aluminio com a espessura de 0,01 millimetros. Como se vê, a corrente é muito fraca.

A natureza do disco *MM* e do dielectrico não tem influencia alguma sobre a intensidade da corrente, que apenas diminuia, quando se affastava a substancia radioactiva ou quando se empregava um producto de menor actividade.

Comprehende-se que o sal de radio se carregará positivamente, á medida que emite a electricidade negativa, o que poderia ser reconhecido, com uma disposição inversa da precedentemente indicada, isto é, fazendo communicar o corpo radioactivo com o electrometro. *M.* e *M.^{me}* Curie fizeram essa experiencia. Para isso, a tina de chumbo que continha o sal de radio estava cercada pela substancia isoladora, e o conjunto envolvido pela caixa metallica em communicação com a terra. A tina estava ligada ao electrometro que accusava uma carga electrica positiva igual em grandeza á carga electrica negativa da experiencia anterior.

Os raios α não intervem, porque são absorvidos immediatamente pela substancia isoladora e a caixa metallica que cercam a tina.

Reconhece-se, pois, que os raios β do radio trans-

portam cargas electricas negativas. Analogamente ao que succede com os raios cathodicos, consideram-se os raios β constituídos por particulas muito tenues carregadas de electricidade negativa, arremessadas com uma velocidade comparavel á da luz.

Resulta do que fica dito que, se encerrarmos uma certa quantidade de radio em um envolucro perfeitamente isolado, carregar-se-á espontaneamente a uma alta tensão. Uma circumstancia fortuita permittiu reconhecer que assim é. Tendo Curie encerrado um fragmento d'um sal de radio muito activo em um tubo de vidro, ao cortar este com uma lima, produziu-se uma faisca, reconhecendo-se que ella perforára o vidro no lugar onde o traço da lima o adelgacára.

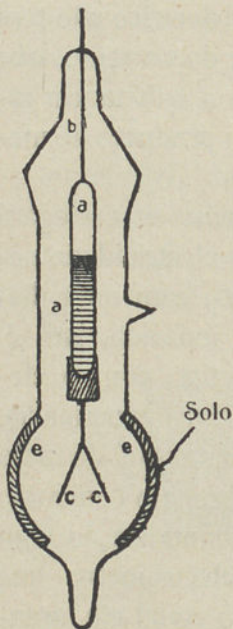


Fig. 8

Strutt imaginou um aparelho que põe nitidamente em evidencia o desenvolvimento contínuo de electricidade por meio do radio. Em um recipiente de vidro, hermeticamente fechado, e em que se faz o vasio, dispõe-se um pequeno tubo *a* fechado, no qual se introduz o corpo radioactivo. Este tubo está fixo a um isolador de quartzo fundido *b*, e a superficie está coberta d'uma camada conductora; d'elle acham-se suspensas duas folhas de ouro *cc*, constituindo um electroscope.

N'estas condições nota-se que as folhas estão animadas d'um movimento contínuo muito lento. Vão-se pouco a pouco affastando até tocarem em uma folha de estanho *ee*, que reveste interiormente o recipiente, e que com-

munica com o solo; depois cáem rapidamente como se se tivessem descarregado, para se affastarem de novo. Póde explicar-se este effeito do seguinte modo: a electricidade positiva dos raios α absorvidos pelo tubo carregam as folhas, ao passo que as cargas negativas são transportadas para longe com os raios β .

Acção do campo electrico sobre os raios β —Dorn e Becquerel reconheceram que um campo electrico exerce uma acção de desvio sobre os raios β , como é licito suppôr desde que se saiba que estes raios são particulas materiaes electrizadas negativamente. Este desvio é muito pequeno; Becquerel, utilizando um campo electrico de 10200 volts, obteve um desvio de 4 millimetros em uma placa photographica collocada á distancia de alguns centimetros.

Imaginemos um raio que atravessa o espaço comprehendido entre os pratos d'um condensador, parallelamente á direcção d'esses pratos; sob a acção do campo electrico, o raio desviar-se-á para o prato electrizado positivamente, e a sua trajectoria tomará a fôrma parabolica, continuando em linha recta tangente ao arco de parabola, logo que sáe do espaço considerado. Sobre uma placa photographica collocada normalmente á direcção primitiva, póde medir-se o desvio d , isto é, a distancia entre os pontos de intersecção do raio, quando a acção é nulla e quando o campo actua. Sendo h a distancia da placa ao condensador, F o valor do campo, l o trajecto do raio no condensador, m a massa, e a carga e v a velocidade da particula em movimento, o desvio d é dado pela formula

$$d = \frac{e F l \left(\frac{l}{2} + h \right)}{m v^2}$$

Velocidade e relação da carga para a massa nas partículas electrizadas negativamente — Sob a acção d'um campo magnetico uniforme, cada particula material descreve em um plano normal ao campo e dirigido segundo a sua velocidade inicial, um arco de circulo, cujo raio ρ está ligado com a intensidade do campo H , a massa m , a carga e e a velocidade v pela formula

$$H \rho = \frac{m}{e} v.$$

Por meio d'esta relação e da que dá o desvio em um campo electrico, podem determinar-se os valores de v e de $\frac{e}{m}$.

As experiencias, que Becquerel realisou, levaram-o a estabelecer para v um valor igual a $1,6 \times 10^{10}$, para $\frac{e}{m}$ um valor igual a 10^7 unidades electromagneticas absolutas, resultados que são da mesma ordem de grandeza dos estabelecidos para os raios cathodicos.

Segundo as experiencias de Kaufmann, a velocidade, no caso dos raios de radio, é muito superior á dos raios cathodicos e a relação $\frac{e}{m}$ vae diminuindo á medida que a velocidade augmenta. Os resultados obtidos por Kaufmann são os seguintes :

$\frac{e}{m}$	v	
$1,865 \times 10^7$	$0,7 \times 10^{10}$	raios cathodicos (Simon)
1,31	2,36	} raios do radio (Kaufmann)
1,17	2,48	
0,97	2,59	
0,77	2,72	
0,63	2,83	

Os valores de $\frac{e}{m}$ são expressos em unidades electromagneticas, os de v em centimetros por segundo.

Kaufmann admite que o valor limite de $\frac{e}{m}$ para os raios de velocidade muito pequena seria igual ao valor que tem esta relação no caso dos raios cathodicos.

Aquelle homem de sciencia concluiu das suas experiencias que alguns dos raios β do radio tem uma velocidade proxima da velocidade da luz.

Energia dos raios β —M. e M.^{me} Curie acharam que a quantidade de electricidade emittida por uma superficie de 2^{cmq},5 de chloreto de baryo radifero muito activo com uma espessura de 2 millimetros tinha por ordem de grandeza 10^{-11} ampères, o que dá por centimetro quadrado de superficie 4×10^{-12} ampères por segundo. Se designarmos por N o numero de particulas emittidas por segundo, teremos evidentemente

$$N e = 4 \times 10^{-12}.$$

A energia total será

$$E = \frac{1}{2} N m v^2$$

que se póde escrever sob esta fórma

$$E = \frac{1}{2} N e \times \frac{m}{e} v \times v.$$

Fazendo as substituições, vem

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-12} \times 10^{-7} \times 1,6 \times 10^{10} \times 1,6 \times 10^{10} \\ &= 5,1 \text{ unidades C. G. S.} \end{aligned}$$

factura

3,2
1,6
19,2
3,2
5,1

Esta energia corresponde a algumas decimas milionesimas de watt.

Natureza dos raios α ; velocidade e relação da carga para a massa — Experiencias feitas por Rutherford sobre a acção que um campo magnetico ou electrico exerceria sobre os raios α , permittiram-lhe concluir que estes raios soffrem um desvio como se fossem constituídos por particulas carregadas de electricidade positiva e animadas de grande velocidade. Aquelle illustre physico tratou de determinar a grandeza da relação $\frac{e}{m}$ e da velocidade, encontrando que v é igual a $2,5 \times 10^9$ centimetros por segundo, e $\frac{e}{m}$ é da ordem de grandeza 6×10^3 .

Becquerel procedeu a experiencias que confirmaram os resultados a que chegou Rutherford, verificando, além d'isso, que os raios α soffrem todos o mesmo desvio, não formando, por conseguinte, espectro magnetico. Becquerel reconheceu que os raios do polonio são analogos, sob este ponto de vista, aos raios α do radio, tomando até a mesma curvatura.

Des Coudres fez tambem experiencias que determinaram os resultados seguintes :

$$v = 1,65 \times 10^9 \text{ centimetros por segundo}$$

$$\frac{e}{m} = 6400 \text{ unidades electromagneticas.}$$

Temos assim que a velocidade dos raios α é cerca de 20 vezes inferior á da luz, como já anteriormente ficou dito. A relação da carga para a massa do atomo do hydrogenio na electrolyse é $\frac{e}{m} = 9650$, de modo que para os raios α essa relação é da mesma ordem

de grandeza. Ora as experiencias de Thomson e de Townsend levaram-os a concluir que as particulas que formam os raios α tem uma carga electrica igual á do atomo do hydrogenio na electrolyse. Sendo isto assim, a massa da particula seria comparavel á do atomo do hydrogenio, como já dissemos.

Para os raios β de velocidade muito pequena e para os raios cathodicos a relação $\frac{e}{m}$ é, como vimos, igual a $1,865 \times 10^7$, isto é, cerca de 2000 vezes maior do que a da electrolyse, de modo que, sendo a carga da particula igual á do atomo do hydrogenio, a massa para aquelles raios é 2000 vezes menor do que a do atomo do hydrogenio.

Absorção dos raios—Quando cresce a distancia a um corpo radioactivo, a percentagem dos raios β vae augmentando. Procedeu M.^{me} Curie a experiencias que demonstraram este facto. Essas experiencias, feitas pelo methodo electrico, levaram a resultados numericos que vamos indicar. Na primeira série de experiencias operou a pequenas distancias, que não permittiam abstrair dos raios α ; assim os raios não desviados comprehendiam os raios α e γ . Designando por d a distancia expressa em centimetros e suppondo que é 100 a corrente no caso de não haver campo magnetico, a experiencia dá os numeros seguintes:

d	3,4	5,1	6,0	6,5
Percentagem de raios não desviados	74	56	33	11

A segunda série de experiencias é feita a maiores distancias com um corpo muito mais activo; os raios α

foram absorvidos, os raios não desviáveis são do grupo γ .

d	14	30	53	80	98	124	157
Percentagem de raios não desviados	12	14	17	14	16	14	11

Na terceira série de experiencias o radio era metido dentro d'um tubo de vidro collocado parallelamente aos pratos do condensador. Nas experiencias anteriores só o ar separava a fonte radiante do aparelho electrico; agora era o ar e o vidro.

d	2,5	3,3	4,1	5,9	7,5	9,6	11,3	13,9	17,2
Percentagem de raios não desviados	33	33	21	16	14	10	9	9	10

Vê-se d'aqui que a percentagem de raios não desviados tende para um limite, quando cresce a distancia, limite que n'estas ultimas experiencias é attingido mais rapidamente do que nas anteriores, porque os raios α são absorvidos pelo vidro.

Uma outra experiencia fez M.^{me} Curie que mostra que os raios α são absorvidos por uma lamina de aluminio. Procedeu do seguinte modo: collocou o sal de radio á distancia de 5 centimetros do condensador, reconhecendo que a percentagem dos raios não desviáveis era representada pelo numero 71. Interpondo uma delgada lamina de aluminio com a espessura 0^{mm},01, verificou que os raios eram quasi todos desviados.

Alguns dos resultados a que se chega pelo methodo electrico parecem estar em contradicção com os que se obtem pelo methodo radiographico. Por aquelle methodo, reconhece-se que cerca de nove decimos dos raios que se propagam no ar ás maiores distancias a

que se observa são raios β , o que mostra o grande poder de penetração d'estes raios; segundo as experiencias de Villard, quando sobre uma pilha de chapas photographicas incide um feixe de raios de radio, sob a acção d'um campo magnetico, os raios β só impressionam a primeira d'estas chapas, quer dizer, estes raios parece terem um diminuto poder de penetração. Este facto explica-se pela diffusão que os raios β experimentam ao encontrarem a primeira chapa photographica.

O estudo da absorpção dos raios das substancias radioactivas tem sido objecto de numerosas experiencias devidas a Becquerel, Curie, Meyer e von Schweidler, Rutherford, etc. Vamos resumir os resultados d'essas experiencias.

A propagação dos raios de radio no ar e no vazio faz-se em linha recta. Um facto muito simples o prova: a nitidez e a fórma das sombras produzidas pelos corpos opacos á irradiação sobre uma chapa sensível ou um diaphragma fluorescente, desde o momento que se empregue uma fonte radiante de pequenas dimensões. Essa propagação no ar fáz-se até distancias que podem attingir dois a tres metros, manifestando-se por phenomenos de ionisação, por effeitos de fluorescencia e de radiographia; para taes distancias exige-se o emprego de substancias de intensa radioactividade. Para grandes distancias não intervem os raios α , que constituem, como já dissemos, a maior parte da radiação; estes raios são absorvidos por uma camada de ar da espessura de 7 centimetros.

M.^{me} Curie fez actuar sobre um condensador de pratos o radio encerrado em um pequeno vaso de vidro; fazendo variar a distancia d da fonte ao aparelho e medindo a corrente de saturação, reconheceu

que, a partir d'uma certa distancia, a intensidade da corrente variava na razão inversa do quadrado da distancia ao condensador. Os resultados d'estas experiencias, em que d é expresso em centímetros, são os seguintes :

d	i	$(i \times d^2) \times 10^{-11}$
10	127	13
20	38	15
30	17,4	16
40	10,5	17
50	6,9	17
60	4,7	17
70	3,8	19
100	1,65	17

Se fossemos a comparar, sob este ponto de vista, o radio com o polonio, reconheceríamos diferenças profundas; o polonio emite raios muito absorvíveis que não se propagam a distancias superiores a 6 centímetros no ar e que só podem atravessar diaphragmas muito delgados. O radio emite raios que atravessam uma grande espessura d'uma substancia solida: alguns centímetros de chumbo ou de vidro. Estes raios que são muito penetrantes, não podendo, por assim dizer, ser inteiramente absorvidos, constituem, é certo, uma pequena percentagem de irradiação.

M.^{me} Curie applicou o methodo electrico á medida da absorpção produzida por uma lamina de aluminio com a espessura d'uma centesima de millimetro, collocada immediatamente por cima da substancia radioactiva. Eis os resultados d'essas medidas, em que a designa a actividade do corpo radioactivo, referida á do uranio :

	<i>a</i>	Fracção da radiação transmittida pela lamina
Chloreto de baryo radifero	57	0,32
Brometo "	43	0,30
Chloreto "	1200	0,30
Sulphato "	5000	0,29
Sulphato "	10000	0,32
Bismutho polonifero		0,22
Compostos de uranio		0,20
Compostos de thorio em camada delgada .		0,38

Nota-se que os compostos de thorio são os mais penetrantes, seguindo-se os do radio que, apesar de serem de natureza e de intensidade diferentes, dão resultados identicos; depois o polonio e finalmente o uranio.

M.^{me} Curie provou com experiencias, cuja descrição seria longa, que os raios do polonio são tanto mais absorviveis quanto maior é a espessura de materia que atravessaram. Com os raios α do radio succede uma coisa analoga.

Assim, fazendo variar a distancia d da substancia radioactiva ao condensador, reconhece-se que a percentagem dos raios transmittidos por uma lamina de aluminio de 0^{mm},01 de espessura é a que indica o quadro seguinte:

d em millimetros	60	51	34
Percentagem dos raios transmittidos	3	7	24

Isto é, quanto maior é a distancia atravessada pelos raios maior é a absorpção observada, como succede com os raios do polonio.

Rutherford e Miss Brooks fizeram experiencias para determinar a fracção da radiação absorvida por

folhas de aluminio sobrepostas com a espessura de 0,0034 millimetros. Os resultados para o radio e o polonio estão resumidos na seguinte tabella:

N.º de folhas de aluminio	INTENSIDADE	
	Radio	Polonio
0	100	100
1	48	41
2	23	12,6
3	13,6	2,1
4	6,4	0,14
5	2,5	0
6	0,9	—
7	0	—

Vê-se que bastam 7 folhas de aluminio com a espessura de 0,0238 millimetros para absorver integralmente os raios α do radio.

A lei de decrescimento é da fórmula

$$I_t = I_0 e^{-\lambda t}$$

em que I_t é a intensidade da corrente correspondente á espessura t do diaphragma, I_0 a intensidade inicial, e a base dos logarithmos neperianos, λ uma constante, cujo valor varia com a natureza da substancia radio-activa e do diaphragma empregado. Esta lei, porém, não subsiste até ao fim; o decrescimento torna-se mais rapido, quando a absorpção é quasi completa.

Rutherford determinou os valores de λ para o aluminio e para o ar. São os seguintes:

	Aluminio	Ar
Thorio	1250	0,69
Radio	1600	0,90
Uranio	2750	1,6

Rutherford determinou ainda os valores da relação $\frac{\lambda}{d}$ em que d representa a densidade do aluminio e do ar; são os seguintes:

	Aluminio	Ar
Thorio	480	550
Radio	620	740
Uranio	1060	1300

Vejamos agora o que succede com os raios β e γ . Para estes grupos de raios as coisas passam-se de maneira bem diversa. Meyer e Schweidler provaram que para a radiação radica no seu conjunto o poder de penetração cresce com a espessura da materia atravessada, como acontece com os raios X. Ora póde considerar-se este facto uma característica dos raios β e γ , porque os raios α são absorvidos pelos diaphragmas.

M.^{me} Curie fez muitas experiencias a este respeito de que vamos indicar os resultados.

Em uma primeira série de experiencias encerrava o radio em uma ampôla de vidro, de modo que os raios tinham de atravessar esta substancia, além d'uma camada de ar com 30^{cm} de espessura, indo incidir sobre uma série de laminas de vidro cada uma das quaes tinha a grossura de 1^{mm},3. A primeira lamina transmittia 49 por cento da radiação recebida; a segunda transmittia 84 por cento; a terceira transmittia 85 por cento.

Em uma segunda série de experiencias collocava-se uma ampôla de vidro, encerrando o radio, a uma distancia de 10^{cm} do condensador; sobre esta ampôla

dispunha-se uma série de diaphragmas de chumbo identicos, cada um com a espessura de $0^{\text{mm}},115$. A radiação transmittida por cada uma das laminas, está para a radiação recebida na relação que indicam os numeros seguintes:

0,40 0,60 0,72 0,79 0,89 0,92 0,94 0,94 0,97

Reconhece-se que, a partir da nona lamina, a quasi totalidade da radiação que resta é transmittida; não ha por assim dizer absorpção.

Empregando quatro diaphragmas de chumbo de $1^{\text{mm}},5$ de espessura cada um, encontrou M.^{me} Curie que a relação da radiação transmittida para a que as laminas recebiam era indicada pelos numeros seguintes:

0,09 0,78 0,84 0,82.

Verificou ainda M.^{me} Curie que uma lamina de chumbo com $1^{\text{cm}},8$ de espessura transmite 2 por cento da radiação recebida; um diaphragma do mesmo metal com $5^{\text{cm}},3$ transmite 0,4 por cento. Quer dizer, os raios desviaveis são capazes de atravessar não só camadas de ar de grande espessura, mas também substancias solidas, como o chumbo, com uma grande grossura.

M.^{me} Curie fez também experiencias relativas á acção d'uma lamina de aluminio com a espessura de $0^{\text{mm}},01$ sobre a totalidade da radiação do radio, fazendo variar a distancia da substancia radiante ao condensador. Quando a distancia era grande, os raios « não faziam sentir a sua influencia, por conseguinte a absorpção era pequena, e grande, pelo contrario, a penetração. Para pequenas distancias dava-se o contra-

rio; em uma distancia intermedia havia um minimo de penetração e um maximo de absorpção. São os seguintes os numeros correspondentes a esta experiencia:

distancia	7,1	6,5	6,0	5,1	3,4
Percentagem de raios transmittidos	91	82	58	41	48

Como acaba de vêr-se pelas experiencias que ficam indicadas, os raios desviaveis β e os raios não desviaveis γ são muito differentes dos raios α . Contudo, nem só differenças se podem assignalar; experiencias ha que manifestam analogias entre o grupo α e o grupo β . É sabido, como já atraz referimos, que para os raios α a acção absorvente d'um diaphragma solido augmenta com a distancia do diaphragma ao corpo radioactivo. Dá-se o mesmo com os raios β . Este factó foi reconhecido por Becquerel, operando pelo methodo photographico. Meyer e von Schweidler, utilizando o methodo fluoroscopico, verificaram-o tambem, assim como Curie e M.^{me} Curie que para isso applicaram o methodo electrico.

A lei de absorpção dos raios β e γ é, como para os raios α ,

$$I_t = I_0 e^{-\lambda t}$$

Os valores das constantes são, segundo as experiencias de Rutherford:

Diaphragmas	Raios β (Uranio)		Raios γ	
	λ	$\frac{\lambda}{d}$	λ	$\frac{\lambda}{d}$
Agua	—	—	0,033	0,033
Vidro	14	5,7	0,086	0,035
Ferro	44	5,6	0,28	0,036
Zinco	—	—	0,28	0,039
Cobre	60	7,7	0,31	0,035
Estanho	96	13,2	0,38	0,052
Chumbo	122	10,8	0,77	0,062
Mercurio	—	—	0,92	0,068

Depois de indicarmos em resumo as experiencias realizadas com o fim de estudar a absorpção e a penetração dos diversos grupos de raios emittidos pelo radio, convém abordar uma outra questão. A radiação radica soffrerá apenas uma absorpção por parte das substancias que constituem os diaphragmas experimentados ou dar-se-á uma transformação ao atravessar esses diaphragmas? Occorria fazer esta pergunta, desde que se sabe que os raios cathodicos soffrem mudanças de velocidade e diffundem-se ao atravessarem um diaphragma de aluminio; dão origem aos raios X, e estes por seu turno produzem raios secundarios, quando uns e outros são interceptados. Encontrando-se na radiação emittida pelo radio uns raios comparaveis aos raios cathodicos e outros analogos aos raios de Rontgen poderia suspeitar-se que alguma coisa de semelhante áquelles phenomenos se deveria observar.

M.^{me} Curie fez experiencias com o polonio, empregando dois diaphragmas sobrepostos de metaes

diferentes; reconheceu que a ordem de sobreposição dos diaphragmas tinha uma grande importancia sobre a intensidade da corrente transmittida, o que é indício seguro de que a radiação é modificada quando atravessa um diaphragma solido.

Eis os resultados d'algumas experiencias :

Diaphragmas empregados	Espessura	Corrente observada
Aluminio.	0,01	} 17,9
Latão.	0,005	
Latão.	0,005	} 6,7
Aluminio.	0,01	
Aluminio.	0,01	} 150
Estanho	0,005	
Estanho	0,005	} 125
Aluminio.	0,01	
Estanho	0,005	} 13,9
Latão.	0,005	
Latão.	0,005	} 4,4
Estanho	0,005	

Com o radio a inversão dos diaphragmas tem produzido resultados quasi insignificantes. M.^{me} Curie experimentou os seguintes systemas de diaphragmas :

Diaphragmas	Espessura	Diaphragmas	Espessura
Aluminio	0,55	Platina	0,01
"	0,55	Chumbo.	0,1
"	0,55	Estanho.	0,005
"	1,07	Cobre	0,05
"	0,55	Latão.	0,005
"	1,07	Latão.	0,005
"	0,15	Platina	0,01
"	0,15	Zinco.	0,05
"	0,15	Chumbo.	0,1

Só no caso do agrupamento chumbo-alumínio é que o phenomeno se evidenciou, mas com pequena intensidade; aquelle agrupamento mostrou-se mais absorvente do que quando se dispunham os dois metaes em ordem inversa.

Raios secundarios — É sabido que os raios de Rontgen, quando encontram um obstaculo, dão logar á formação de raios secundarios. Becquerel demonstrou que os corpos radioactivos originam tambem raios secundarios. A experiencia foi feita do seguinte modo. Sobre uma chapa photographica collocava-se um bloco de chumbo, contendo em uma ranhura superior um corpo muito radioactivo; obtinha-se não só um effeito muito intenso sobre a chapa photographica situada por baixo, mas ainda effeitos sobre outras chapas photographicas collocadas aos lados do bloco.

A influencia dos raios é sensivel atravez de espessuras que podem ir até 20^{mm}. A irradiação torna-se muito intensa principalmente com o chumbo. É um phenomeno correspondente ao da phosphorescencia ou da fluorescencia para a luz. A penetrabilidade dos raios secundarios é mais fraca do que a dos raios primarios e analoga á dos raios secundarios que derivam dos raios de Rontgen.

Spinthariscopio — Não encerraremos este capitulo sem fallarmos de novo do spinthariscopio de Crookes, que permite observar um dos mais bellos effeitos do radio. Como já dissemos, com este aparelho póde vêr-se, por meio d'uma lupa, sobre um diaphragma de sulphureto de zinco phosphorescente collocado na extremidade d'um tubo fechado, uma série de pontos brilhantes, semelhantes a uma chuva de estrellas ca-

dentes, produzidos por uma pequenissima quantidade de radio collocada dentro do tubo a uma distancia de $0^{\text{mm}},5$ do diaphragma.

Poderemos agora dizer a que se attribue este curioso phenomeno. Parece que são os raios α que o produzem e póde admittir-se que os pontos luminosos observados são devidos ao choque de particulas provenientes dos corpos radioactivos, verdadeiros projecteis bombardeando o diaphragma. Segundo Becquerel, as scintillações seriam devidas á clivagem dos crystaes que formam a camada phosphorescente; obtem-se, com effeito, resultados analogos, esmagando o corpo entre duas placas de vidro. Como quer que seja, este singular phenomeno luminoso do spinthariscopio parece ser devido, indirectamente, ao bombardeamento produzido pelos raios α sobre o corpo phosphorescente.

CAPITULO V

Radioactividade induzida. Emissão produzida pelos corpos radioactivos

Diversas experiencias — Quando se fazem experiencias com o radio ao ar livre, reconhece-se que qualquer substancia solida, liquida ou gazona que se encontre na sua visinhança, durante algum tempo, se torna radioactiva, isto é, adquire, por um tempo mais ou menos longo, a propriedade de descarregar os corpos electrizados e de tornar luminosos os corpos fluorescentes, com uma intensidade que póde ser 10000 vezes maior do que a do uranio. É a este phenomeno que se dá o nome de radioactividade induzida, e observa-se com os metaes, madeira, vidro, papel e até com os proprios operadores.

A radioactividade induzida foi descoberta por M. e M.^{me} Curie para o radio, no decurso de experiencias a que com esta substancia procederam. Ter-se-ia podido suppôr que esta interessante propriedade era devida a um transporte de materia activa, sob a fórma de vapores ou de poeiras, que fossem cair sobre a materia inactiva. Reconheceu-se, porém, que esta supposi-

ção nada tinha de verdadeira, poisque não permittia explicar a desactivação absolutamente regular que se observa.

Demais, póde empregar-se como materia activa o chloreto de baryo radifero que é soluvel; procedendo a uma cuidadosa lavagem, com agua, do corpo activado, reconhece-se que não houve diminuição da radioactividade induzida; o aquecimento do corpo á temperatura do rubro tambem não faz desapparecer a radioactividade.

As primeiras experiencias de M. e M.^{me} Curie foram feitas com laminas de diversas substancias, collocadas na proximidade dos saes de radio; a radioactividade d'essas laminas era determinada pelo methodo electrico. Os resultados a que chegaram os illustres experimentadores foram os seguintes :

1.º A actividade d'uma lamina exposta á acção do radio augmenta com o tempo de exposição, approximando-se d'um certo limite, segundo uma lei assymptotica.

2.º A actividade d'uma lamina submettida á acção do radio e subtrahida em seguida a esta acção desapparece em alguns dias. Esta actividade induzida tende para zero em funcção do tempo, segundo uma lei assymptotica.

3.º Em egualdade de circumstancias, a radioactividade induzida produzida por um mesmo producto radifero sobre diversas laminas é independente da natureza da lamina. O vidro, os metaes, o papel, activam-se com a mesma intensidade.

4.º A radioactividade induzida determinada em uma mesma lamina por diversos productos radiferos tem um valor limite tanto mais elevado quanto mais activo é o producto.

Rutherford, estudando os compostos de thorio, reconheceu que estas substancias tambem davam lugar a phenomenos de radioactividade induzida. Já antes d'isso, Owens havia notado certa irregularidade na acção ionisante dos raios do oxydo de thorio, que attribuiu á influencia das correntes de ar. Assim, em vaso fechado, a radioactividade ia augmentando continuamente até um certo limite constante, bastando uma corrente d'ar para determinar uma notavel diminuição.

Rutherford repetiu estas experiencias, verificando que uma corrente d'ar, que passa sobre o oxydo de thorio, mantem a conductibilidade durante cerca de 10 minutos.

Mostrou tambem que, com o thorio, os corpos carregados de electricidade negativa activavam-se mais energicamente do que os outros. Fez a seguinte experiencia: um fio de platina mantido a um potencial negativo de 500 volts está collocado na visinhança do thorio, ligado electricamente com a terra. A radioactividade induzida concentra-se no fio; tratando-o pelo acido sulphurico e evaporando a solução, obtem-se um residuo muito mais activo do que o thorio.

Para dar a explicação dos phenomenos observados, o illustre physico foi levado a admittir que os compostos de thorio emittem uma emanação material radioactiva, carregada de electricidade positiva, que se espalha na atmospheria ambiente. Esta emanação, que póde ser detida por uma delgada folha de mica collocada sobre a substancia radioactiva, seria a causa da radioactividade induzida.

A acção ionisante dos raios emittidos pelos compostos de thorio é assim accrescentada com a da emanação. A emanação passa atravez de rolhas de algodão ou dos liquidos, conservando a sua actividade, no que

differe dos iões que a radioactividade faz desenvolver nos gazes, os quaes perdem, em circumstancias analogas, as suas cargas electricas. Atravessa egualmente cartões espessos, o que mostra que não é composta de particulas solidas.

Para observar a emanação do thorio, faz-se passar sobre este corpo o ar que tenha atravessado um vaso com acido sulphurico, que se apodera das poeiras. No

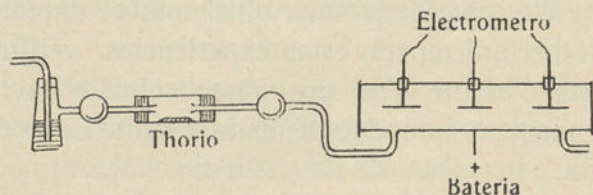


Fig. 9

tubo onde passa a emanação interpõe-se um tampão, para impedir a passagem dos iões que se encontram no ar. As medidas, que são effectuadas pelo methodo electrico, dão os resultados seguintes, por onde se vê que a corrente augmenta rapidamente:

Numero de segundos	Corrente
23	25
53	49
96	67
125	76
194	88
304	99
484	100

Quando se impede a passagem da emanação, a corrente decresce, seguindo uma marcha symetrica. Nota-se que, se o sal de thorio fórma uma camada da espessura de alguns millimetros, a quantidade da emanação é-lhe proporcional; não succede assim, se a camada é mais espessa.

Os phenomenos da radioactividade induzida apresentam-se ao ar livre com uma certa irregularidade. Em vaso fechado, produzem-se com mais regularidade e maior intensidade. Se o sal activante se encontra em solução na agua, os resultados são melhores do que estando o sal no estado solido.

Curie e Debierne estudaram a radioactividade induzida em um vaso fechado, utilizando laminas de chumbo, cobre, aluminio, vidro, ebonite, cera, cartão e parafina. Reconheceram que a natureza da lamina não influencia na intensidade do phenomeno. A actividade das laminas era tanto maior quanto maior era o espaço livre em frente d'ellas.

A rapidez da activação depende do espaço que existe entre os corpos activados. Assim, por exemplo, com laminas de cobre distantes 1^{mm} , a activação faz-se lentamente; se a distancia é de 3^{mm} , a activação é rapida. A rapidez é proporcional á distancia que separa as laminas.

A radioactividade induzida transmite-se no ar da substancia activante á materia visinha, d'esta á seguinte, e assim successivamente; transmite-se tambem atravez dos tubos capillares, mas mais lentamente.

Quanto menor fôr o recinto em que se encontram os corpos submettidos á acção das substancias radioactivas, tanto mais rapidamente se dá a activação, tendendo a actividade induzida para um limite mais ou menos elevado, conforme o corpo, que produz o phenomeno é mais ou menos activo.

A radioactividade induzida limite é a mesma, qualquer que seja a natureza e a pressão do gaz contido no recinto fechado. Quando se opera com uma solução, a radioactividade induzida limite depende da quantidade de radio empregada, parecendo ser-lhe proporcional.

Ha substancias que se tornam luminosas, quando collocadas em um recinto activante; taes são os corpos phosphorescentes e fluorescentes, o vidro, o papel, o algodão, a agua, as soluções salinas.

Os gazes, que se encontram em um recinto fechado, onde existe um corpo radioactivo no estado solido ou em solução, são radioactivos, mantendo-se essa radioactividade mesmo que estes gazes sejam aspirados e recolhidos em uma proveta. As paredes d'esta proveta tornam-se radioactivas e luminosas; a actividade e a luminosidade desapparecem lentamente, podendo ainda observar-se ao fim d'um mez.

Como dissemos, Rutherford suppôz que os corpos radioactivos desenvolvem uma emanção ou fluido material que transporta a radioactividade. Ora, no inicio dos seus trabalhos, M. e M.^{me} Curie verificaram que a pechblenda, aquecida no vazio, fornecia productos de sublimação muito activos, em pequena quantidade. Recolhendo os productos de sublimação e encerrando-os em um tubo de vidro, comportaram-se como um corpo radioactivo. Determinaram phenomenos de ionisação do ar e impressões photographicas. Pouco a pouco essa actividade decresceu, desapparecendo por completo. A analyse espectral indicou as riscas do oxydo de carbone.

Observa-se uma outra fórma de radioactividade induzida, quando os corpos tem estado muitos mezes no recinto activante. Retirados esses corpos, a sua actividade decresce muito depressa como nos outros casos, mas, attingido um certo valor, diminue insensivelmente, chegando por vezes a augmentar. M.^{me} Curie observou casos em que a radioactividade induzida durou mais de seis mezes.

Desactivação ao ar livre— Quando um corpo induzido é retirado do recinto activante, vae perdendo pouco a pouco as propriedades que adquiriu, isto é, desactiva-se. As experiencias feitas por Rutherford com o thorio mostraram que, se a acção é sufficientemente prolongada, a desactivação realisa-se sensivelmente do mesmo modo que a activação. Eis o resultado de algumas d'essas experiencias, em que o corpo activado era uma haste de bronze :

ACTIVAÇÃO		DESACTIVAÇÃO	
Numero de horas	Intensidade	Numero de horas	Intensidade
1,58	6,3	0	100
3,25	10,5	7,9	64
9,83	40	11,8	47,4
14,00	59	23,4	19,6
23,41	77	29,2	13,8
29,83	83	32,6	10,3
47,00	90	49,2	3,7
72,50	95	62,1	1,86
96,00	100	71,4	0,86

Se a acção do thorio fôr de curta duração, a desactivação opera-se de maneira diversa; a radioactividade induzida augmenta antes de decrescer. Eis os resultados das experiencias de desactivação de Rutherford, expondo durante quarenta e um minutos á acção d'aquella substancia uma folha de aluminio; decorreu um intervallo de cinco minutos antes da medida da intensidade inicial.

Tempo	Intensidade
0 minutos	1
21 "	1,6
31 "	1,8
57 "	2
70 "	2,2
91 "	2,5
2 horas	2,9
3 "	2,9
22 "	1
49 "	0,21

Vejamos agora o que succede com o radio. Rutherford e Miss Brooks procederam a experiencias para o caso d'uma acção muito curta. Durante os dez primeiros minutos, a actividade diminue rapidamente até 18⁰/₀, tendo quasi desaparecido ao fim de duas horas.

Curie e Danne procederam a experiencias, fazendo actuar o radio durante intervallos de tempo que variaram de dez segundos até seis dias. Quando o radio actúa por mais de vinte e quatro horas, a lei de desactivação é expressa pela formula seguinte:

$$I = I_0 \left[a e^{-bt} - (a - 1) e^{-ct} \right]$$

em que I_0 é a intensidade inicial da radiação no momento em que se subtráe a lamina á acção do radio, I a intensidade no tempo t , a , b e c são constantes que tem respectivamente os valores 4,2; 0,000413 e 0,000538. Duas horas depois de começar a desactivação, esta lei simplifica-se, reduzindo-se á primeira exponencial, poisque a segunda passa a ter um valor pouco sensível. A actividade então reduz-se a metade em 28 minutos.

A lei de desactivação é muito mais complexa, quando a acção do radio dura menos de 24 horas.

Assim, por exemplo, quando aquella substancia actúa apenas durante alguns segundos, a actividade soffre primeiro um rapido abaixamento, depois augmenta, passa por um maximo, começando em seguida a diminuir. Ao fim de duas horas, o phenomeno segue a marcha normal.

As substancias induzidas podem emittir uma certa quantidade de emanação, quando são subtrahidas á acção do radio, como se ficassem impregnadas da emanação que d'esta substancia se desenvolve. Ha substancias para as quaes a emissão dura 20 minutos, mas com outras, como, por exemplo, a parafina, celluloides, cautchuc, o phenomeno observa-se durante muitas horas e mesmo dias.

Debiérne reconheceu que o actinio tambem determina phenomenos de radioactividade induzida; a desactivação n'este caso pôde representar-se pôr uma lei exponencial approximada da que se verifica para o radio, operando-se comtudo mais lentamente.

Desactivação em recinto fechado — Curie estudou a desactivação em um recinto fechado, por meio d'um tubo na parte inferior do qual collocou a solução aquosa d'um sal de radio; o ar da parte superior do tubo carregou-se de emanação. No fim de alguns dias, separaram-se as duas partes, fechando á lampada a parte intermedia. Para medir a radioactividade, empregou-se o methodo electrico.

Rutherford e Soddy procederam a experiencias em que a diminuição de actividade se operou da maneira seguinte:

Numero de horas	Actividade
0	100
20,8	85,7
187,6	24
354,9	6,9
521,9	1,5
786,9	0,19

A lei de desactivação é tambem dada por uma exponencial

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\theta}}$$

em que I_0 é a intensidade da radiação inicial, I a intensidade da radiação no tempo t , θ uma constante de tempo, isto é, $\theta = 4,970 \times 10^5$ segundos. No fim de quatro dias $I = \frac{I_0}{2}$.

A desactivação effectua-se segundo uma lei muito menos rapida do que no ar livre. O tubo de vidro das experiencias de Curie conserva-se activo durante muito tempo; tornado luminoso, a sua luminosidade mantem-se por mais de seis mezes. Succede o mesmo com um balão contendo sulphureto de zinco, que produz um curioso phenomeno de luz fria.

Esta lei de desactivação é rigorosa e absolutamente independente das condições em que a experiencia é effectuada: dimensões do recinto, natureza das suas paredes, pressão e natureza dos gazes que n'elle estão encerrados, duração da activação. As variações de temperatura entre -180° e 450° tambem não exercem influencia alguma.

Quando se faz o vazio ou quando se substitue o ar contido no recinto fechado pelo ar não activado, a desactivação dá-se do mesmo modo que ao ar livre,

reduzindo-se a radioactividade a metade em 28 minutos.

Com o thorio, a radioactividade reduz-se a metade em 1 minuto e 10 segundos. Com o actinio, bastam alguns segundos para que a reduçãõ se dê n'esta proporção.

Propriedades e natureza da emanação — Foi Rutherford, conforme dissemos, que descobriu a emanação no thorio, considerando-a um fluido material que se desprendia d'aquella substancia radioactiva e que seria a causa da radioactividade induzida. Pouco depois Dorn descobriu a emanação do radio.

Para verificar a hypothese de Rutherford, Curie e Danne fizeram a seguinte experiencia.

Enche-se até meio uma ampôla de vidro A com a solução d'um sal de radio; esta ampôla communica por um tubo capillar *t*, munido da torneira R, com um reservatorio B, que tem as paredes cobertas de sulphureto de zinco. Enquanto a torneira R se conserva fechada, a emanação accumula-se em A, mas, logo que se abre R, a emanação diffunde-se pelo reservatorio B, provocando a luminescencia do sulphureto que permite lêr á distancia de 20 centimetros. Curie verificou que a lei, que preside a este escoamento de emanação atravez d'um tubo capillar, é a mesma que regula os phenomenos de diffusão dos gazes e que a emanação obedece ás leis de Mariotte e Gay-Lussac. A velocidade de escoamento é proporcional á quantidade de emanação que se encontra no reservatorio, varia proporcionalmente á

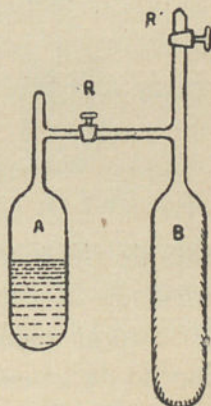


Fig. 10

secção do tubo capillar e na razão inversa do seu comprimento. No ar, o coeficiente de diffusão é 0,10 á temperatura de 10° ; o do anhydrido carbonico é de 0,15, pouco differente, como se vê.

Rutherford e Soddy realisaram a condensação da emanção, por um abaixamento de temperatura, como se se tratasse d'um gaz, reconhecendo que a 150° abaixo de zero de novo se vaporisava. A experiencia foi feita do seguinte modo: no reservatorio de vidro A

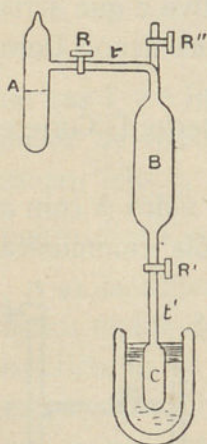


Fig. 11

reservatorio communica com dois outros B e C, por meio de tubos t e t' munidos de torneiras R e R'. As ampôlas B e C estão cobertas interiormente de sulphureto de zinco phosphorescente, depois de n'ellas se ter feito o vazio. Colloca-se o aparelho na obscuridade com a torneira R fechada; o reservatorio A apresenta-se illuminado pouco intensamente. Logo que se abre a torneira R, a emanção é aspirada para a ampôla B, provocando a phosphorescencia do sulphureto de zinco. Abre-se em seguida a torneira R', illuminando-se então a ampôla C, ao mesmo tempo que B se torna menos luminosa, o que é devido á distribuição da emanção pelas duas ampôlas. Mergulha-se a ampôla C no ar liquido; a emanção condensa-se ahi, a luminosidade augmenta, desaparecendo quasi por completo de B, o que indica que esta ficou sem emanção. Fechando a torneira R', póde retirar-se o aparelho do ar liquido, ficando toda a emanção em C. A emanção apresenta, pois, como esta experiencia

indica, uma grande analogia com os gazes, condensando-se á temperatura de 150° abaixo de zero.

Curie e Danne procederam a experiencias para a determinação da temperatura da condensação da emanação do thorio, reconhecendo que essa temperatura varia entre 100° e 150° abaixo de zero.

Segundo os calculos de Rutherford, 1 gramma de radio produz um numero de particulas da emanação igual a $1,2 \times 10^6$, representando um volume de 0,000330 centimetros cubicos, nas condições normaes de pressão e temperatura.

Experiencias de Rutherford e Barnes mostraram que a maior parte do calor desenvolvido pelo radio era devida á emanação. Para pôr este facto em evidencia, expulsaram d'uma substancia radioactiva, pela acção do calor, a emanação n'ella contida, condensando-a em um tubo encerrado em ar liquido. Procederam depois a medidas das quantidades de calor desenvolvidas pela substancia radioactiva e pela emanação, verificando que eram respectivamente 30 e 70 por cento da quantidade total.

W. Ramsay e Robert Graw conseguiram recentemente liquefazer e solidificar a emanação do radio por compressão. Vamos indicar alguns dos resultados das experiencias feitas com pequenas quantidades de emanação sufficientemente pura. As pressões e as temperaturas são as seguintes:

— 74°,5	100 mm
— 66°,1	200 "
— 53°,6	500 "
— 48°,5	760 "
— 43°,1	1000 "
-- 31°	2000 "
— 12°,8	5000 "
+ 1°,5	10000 "

A emanação entra em ebulição á temperatura de $48^{\circ},5$ abaixo de zero, á pressão atmospherica, apresentando uma phosphorescencia pouco intensa. A emanação liquida é incolor. Resfriada por meio do ar liquido, a emanação illumina-se com uma coloração branca que passa a amarello e depois a alaranjado. Examinada ao microscopio a luz é d'um azul d'aço, semelhante á do arco voltaico. Retirando o ar liquido, succedem-se as mesmas côres em ordem inversa, notando-se uma côr azul que se modifica, como se os crystaes d'um solido se desagregassem.

Segundo Ramsay e Graw a densidade do liquido é 7, calculada approximadamente.


Espectro da emanação—Ramsay e Collie foram os primeiros que em 1904 reconheceram o espectro da emanação do radio, affirmando a existencia de riscas nitidas e brilhantes. Novas observações feitas em 1908 por Cameron e Ramsay permittiram apresentar uma lista com 54 riscas, obtidas pela photographia. Finalmente, Rutherford e Royds, quasi ao mesmo tempo que aquelles physicos, determinaram um espectro com 73 riscas, empregando a emanação proveniente de 130 milligrammas de radio, condensada por meio do ar liquido em um tubo de Plucker de electrodos de platina, com 50 millimetros cubicos de capacidade. Um tubo com helio fornecia o espectro de comparação.

Os resultados das experiencias de Rutherford e Royds differem muito d'aquelles a que chegaram Cameron e Ramsay. Royds, procurando determinar a causa de tão accentuada divergencia, verificou que as principaes riscas do espectro determinado por Cameron e Ramsay pertenciam ao espectro do xenon. Quiz, em seguida, averiguar se nas suas experiencias teria de al-

guma maneira intervindo aquelle gaz, mas reconheceu que não succedera tal. Assim, só havia a concluir que, nas experiencias de Cameron e Ramsay, o xenon tinha sido uma causa de erro. Pondo de parte as riscas do xenon, ficam no espectro obtido por Cameron e Ramsay 11 riscas, 8 das quaes pertencem ás principaes riscas do espectro de Rutherford e Royds. Este physico suppõe, comtudo, que as riscas devidas á emanação do radio devem ser 16. Eis aqui as principaes riscas do espectro, segundo Rutherford e Royds; os comprimentos de onda são avaliados em unidades Angström.

Comprimento de onda em U. A.	Intensidade
5582,2	8
Provavel 5084,45	4
4721,70	5
Possivel 4680,92	10
4644,29	10
Possivel 4625,58	8
4609,40	7
4508,68	9
Possivel 4460,0	10
Possivel 4435,25	8
4349,81	15
4308,3	10
4203,39	10
4166,6	20
4017,9	10
3981,83	12
3971,71	9
3957,30	7

Transformação da emanação em helio—Experiencias feitas por Curie e Dewar levaram á conclusão de que a emanação do radio podia transformar-se em helio. Vejamos como se realisaram essas experiencias.



Em uma ampôla, que communicava com um tubo de Geissler, foram encerrados 4 decigrammas de brometo de radio, cujos gazes oclusos tinham sido eliminados por fusão a temperatura elevada, ao mesmo tempo que se fazia o vazio por meio de uma bomba de mercurio, que expulsava completamente os gazes. Separou-se, em seguida, o aparelho da bomba, por fusão ao maçarico, deixando-se em repouso durante algumas semanas, ao fim das quaes se examinou o espectro dado pela descarga electrica no tubo; esse espectro era do helio puro. É evidente que o helio provinha do radio encerrado na ampôla em communicação com o tubo.

W. Ramsay e Soddy procederam tambem a experiencias que levaram ás mesmas conclusões. Condensaram no ar liquido a quantidade maxima de emanação fornecida por 50 milligrammas de brometo de radio. Depois, obrigaram a circular atravez do aparelho uma corrente de oxygenio; fizeram o vazio; pela segunda vez o aparelho foi atravessado por uma corrente de oxygenio; fizeram de novo o vazio e fecharam á lampada: O espectro obtido não apresentava as riscas caracteristicas do helio, mas, ao fim de quatro dias, estas appareceram, podendo observar-se no quinto dia a risca amarella, a verde, duas azues e a violeta. Ramsay e Soddy concluíram d'esta experiencia que a decomposição da emanação produz helio.

N'esta experiencia reconheceu-se tambem que a emanação se apresentava sob a fórma d'um gaz submettido á lei de Mariotte, possuindo ainda uma tensão de vapor á temperatura do ar liquido.

A conclusão a que se chegava implica a transmutação d'um elemento em outro, e, por conseguinte, não deveria admittir-se senão no caso de ser impossivel explicar por outro modo a aparição do helio. Ora os



minerios de uranio encerram aquella substancia, a qual poderia ser arrastada pela emanação, sendo o seu espectro, a principio, encoberto pelo d'esta, apparecendo, apenas, quando a emanação se depositava sobre as paredes do tubo. N'esta experiencia nada demonstra que assim não tenha succedido.

Indrikson recolheu em um tubo, em que previamente se fizera o vazio, os gazes provenientes da dissolução na agua de 10 milligrammas de brometo de radio. Decorridos 15 dias, julgou observar as riscas vermelha e verde, uma risca azul e a risca violeta do helio; faltava a risca amarella. Aqui tambem não havia a certeza de que não tivesse sido arrastado o helio dos minerios, visto que fôram utilizados os gazes fornecidos pela dissolução do sal de radio.

Himstedt e Meyer realisaram experiencias que se podem considerar isemptas d'esta causa de erro. Em um tubo em U, soldado a um tubo de vacuo, fôram introduzidos 50 milligrammas de brometo de radio muito puro. Fez-se o vazio mais perfeito possivel, depois collocou-se o tubo de vacuo no ar liquido e carregaram-se os electrodos a um potencial negativo de 4000 volts. Em seguida, fez-se circular hydrogenio muito puro durante 72 horas, separou-se o tubo de radio do tubo de vacuo, fechando-se no ar liquido. Muito luminoso na obscuridade, o tubo continha uma grande quantidade de emanação, mas não apresentava vestigios de helio, mesmo depois de 10 dias. Ao fim de 8 semanas, ainda se não haviam apresentado signaes da presença d'aquelle corpo. Depois de 4 mezes, começaram a distinguir-se as riscas verde e amarella; até que o espectro do helio se apresentou nitidamente.

É muito pouco provavel que n'esta experiencia tenha sido arrastado o helio que houvesse nos mine-

rios, poisque se começou por fazer o vazio para expulsar todos os gazes e recolheu-se a emanação em uma corrente de hydrogenio á pressão atmospherica, sem aquecer e sem dissolver na agua.

Fez-se uma segunda experiencia com 25 milligrammas de brometo de radio, em um aparelho identico ao da experiencia anterior. Feito o vazio, obrigou-se a passar uma corrente de hydrogenio puro, repetindo-se dez vezes esta operação. Obteve-se uma pequena quantidade de emanação que, ao fim de tres mezes, produziu o espectro do helio.

Em uma terceira experiencia, empregou-se o sulphato de radio. Ainda n'este caso o helio apparecia, verificando-se que a intensidade do espectro diminuia, quando se aquecia ao rubro vivo o tubo que continha a emanação, e augmentava, logo que se introduzia no ar liquido.

CAPITULO VI

Transformações do radio

Primeiros productos da transformação— Varias theorias teem sido apresentadas para explicar as propriedades dos corpos radioactivos. Entre ellas, a hypothese, que consiste em admittir a desaggregação dos atomos d'aquellas substancias e a transmutação dos elementos, é a que mostra mais caracteres de verosimilhança, sendo hoje acceita por um grande numero de physicos e de chimicos. Esta hypothese deve-se a Rutherford e Soddy, que, desde o principio das suas experiencias, admittiram que as emanações e as radioactividades induzidas são constituídas por particulas materiaes provenientes da desaggregação dos corpos radioactivos; os factos observados parecem justificar-a plenamente. Curie, no inicio das suas investigações, enunciou esta hypothese entre as que permitem explicar os phenomenos radioactivos. M.^{me} Curie, em uma conferencia realisada em 1900, na Societé des Amis des Sciences, indicou as consequencias da hypothese, a que nos estamos referindo, e as supposições relativas á vida limitada dos elementos radioactivos. Contudo, na incerteza em que então estavam ainda os

physicos, achou preferível não precisar nenhuma das hypotheses que se offerciam n'esta ordem de ideias. Curie e Debiérne mostraram que, no estudo dos phenomenos de radioactividade induzida e das emanações, se podia avançar muito, admittindo, apenas, que existem, sob diversas fórmulas successivas, centros de energia radioactiva, sem precisar previamente qual é o suporte d'esta energia.

A condensação das emanações a temperaturas muito baixas, as descobertas de Ramsay e Soddy relativas á pressão da emanação do radio e á producção do helio por aquelle corpo, constituem poderosos argumentos a favor da hypothese da desaggregação, que admitte que o radio emite uma emanação gazosa, material e radioactiva, a qual se desaggrega a seu turno, dando materias radioactivas solidas, que determinam os phenomenos da radioactividade induzida.

A lei da desaparição da emanação M do radio é, dada, em funcção do tempo, pela equação exponencial

$$M = M_0 e^{-m t}$$

em que

$$m = 2,012 \times 10^{-6}$$

segundo a qual a emanação diminue de metade em 4 dias. A quantidade $\frac{1}{m}$ representa a vida média da emanação, que é de 5,75 dias.

Vejamos agora as leis da desaparição da radioactividade induzida, estudadas por Curie e Danne. Começa-se por deixar um corpo solido activar-se durante muitos dias em presença da emanação do radio, e estuda-se, em seguida, a sua desactivação ao ar livre. Des-

prezando o que se passa durante os primeiros cinco minutos, a lei achada é a seguinte:

$$I = I_0 \left[K e^{-ct} - (K - 1) e^{-bt} \right] \quad (1)$$

onde

$$\begin{aligned} K &= 4,2 \\ b &= 0,000538 \\ c &= 0,000413 \end{aligned}$$

sendo o tempo expresso em segundos e I_0 a intensidade da irradiação inicial.

Como interpretar esta lei? Admitte-se que, durante todo o tempo em que a emanção actúa sobre o corpo solido submetido á experiencia, dá origem, com uma velocidade constante, a uma primeira substancia radioactiva B, que se desaggrega espontaneamente, segundo uma lei exponencial

$$\frac{dB}{dt} = -bB \quad \text{e} \quad B = B_0 e^{-bt}$$

em que b é um coefficiente caracteristico da velocidade de desagregação da substancia.

A substancia B, desagregando-se, transforma-se em uma segunda substancia radioactiva C, que por sua vez se desaggrega e desapareceria, se estivesse só, segundo uma lei exponencial da fôrma

$$C = C_0 e^{-ct}$$

em que c é um coefficiente caracteristico. Mas, como a substancia C é mantida pela substancia B, varia segundo uma lei mais complexa.

Se subtraírmos o corpo solido á acção da emanação, as substancias B e C existirão á sua superficie em uma certa proporção que varia com o tempo. Basta agora admittir que a irradiação da substancia C, durante a sua desagregação é mais importante do que a que é devida á quantidade correspondente de B, para achar que a irradiação do corpo solido submettido á experiencia é dada pela formula (1).

No caso particular em que B não emite raios e em que só C irradia, a theoria indica que se deve ter

$$K = \frac{b}{b - c} = \frac{0,000538}{0,000538 - 0,000413} = 4,3.$$

Ora a experiencia dá para K o valor 4,2, d'onde se vê que se pôde admittir que só C irradia.

Consideremos agora a lei segundo a qual se activa um corpo solido, a partir do momento em que é posto bruscamente em contacto com um volume d'ar, encerrando uma proporção constante de emanação. Diz a experiencia que a lei segundo a qual a irradiação I do corpo tende para a irradiação final I_0 é igual á lei de decrescimento da actividade d'um corpo subtraído á acção da emanação. Assim, temos

$$I_0 - I = I_0 \left[K e^{-ct} - (K - 1) e^{-bt} \right]$$

em que as constantes tem os valores já indicados.

Ha ainda um caso interessante a considerar; é aquelle em que o corpo solido está submettido á acção da emanação durante um intervallo de tempo relativamente curto. Agora a lei de desactivação é muito mais complexa do que no caso precedente. Vejamos o que a experiencia indica. Tendo sido o corpo submettido á

acção da emanção, por cinco minutos apenas, a irradiação durante a desactivação começa primeiro por decrescer muito rapidamente, passando, depois de alguns minutos, por um mínimo; em seguida, a irradiação aumenta e passa, ao fim de meia hora, por um máximo, que é finalmente seguido por um decrescimento exponencial com o coefficiente $c = 0,000413$.

Como explicar estes phenomenos complexos? A hypothese das duas substancias não basta. Temos então de admittir a existencia de tres substancias A, B e C sobre os corpos submettidos á irradiação do radio. Estas tres substancias são caracterisadas pelas leis de desagregação seguintes :

$$A = A_0 e^{-at}$$

$$B = B_0 e^{-bt}$$

$$C = C_0 e^{-ct}$$

em que

$$a = 0,00401$$

$$b = 0,000538$$

$$c = 0,000413.$$

A substancia A é creada directamente pela emanção do radio; desaparece rapidamente; a sua vida media é 4,3 minutos. A quantidade de A diminue de metade em 2,9 minutos.

Desagregando-se, esta substancia A dá origem á substancia B que, quando está só, se destroe espontaneamente ao fim de 33 minutos, que é a sua vida média. A substancia B diminue de metade em 21 minutos.

A substancia C é mantida por B, reduzindo-se a metade em 28 minutos e tendo de vida média 39 minutos.

As substancias A e C irradiam e ionizam o ar; B não irradia.

D'uma maneira geral, quando um corpo foi submettido, durante o tempo θ , á acção da emanação do radio e que se desactiva, em seguida, ao ar livre, a sua irradiação é dada, em funcção do tempo, pela formula seguinte :

$$I = I_1 \left[\lambda (1 - e^{-a\theta}) e^{-a t} - \frac{c}{b - c} \cdot \frac{a}{a - b} (1 - e^{-b\theta}) e^{-b t} + \frac{b}{b - c} \cdot \frac{a}{a - c} (1 - e^{-c\theta}) e^{-c t} \right]$$

em que

$$\lambda = 1,28$$

$$a = 0,00401$$

$$b = 0,000538$$

$$c = 0,000413.$$

Todas as formulas aqui apresentadas são symetricas em relação a b e c , de modo que os phenomenos de activação e de desactivação podem explicar-se suppondo

$$b = 0,000538 \qquad c = 0,000413$$

ou

$$b = 0,000413 \qquad c = 0,000538$$

Comtudo, physicamente, as duas interpretações são differentes: no primeiro caso, a substancia B, que não irradia, é a primeira a desaparecer, ao fim de 2 a 3 horas, do corpo que se desactiva; a substancia C fica então só e desaparece segundo uma lei exponencial simples.

No segundo caso, a substancia B mantém C; ao fim de 2 a 3 horas, as substancias B e C estão em uma

relação constante sobre o corpo que se desactiva e desaparecem ambas ao mesmo tempo, segundo uma mesma lei exponencial simples.

A radioactividade induzida torna-se volatil ás temperaturas elevadas e distilla d'um corpo quente para um corpo frio. O estudo d'este phenomeno levou á conclusão que a primeira hypothese é a que convem, poisque a substancia B é mais volatil do que a substancia C.

Curie e Danne procederam a experiencias sobre a desactivação de laminas de platina que, depois de submettidas á acção da emanção do radio, foram aquecidas a temperatura elevadas. A actividade desaparece muito mais rapidamente do que operando á temperatura ambiente. A actividade distilla para os corpos visinhos.

Para estudar a lei de desactivação dos corpos activados por distillação colloca-se um fio activado no eixo d'um cylindro de platina; eleva-se a uma alta temperatura por meio d'uma corrente electrica; o cylindro fica assim activado; affasta-se o fio e estuda-se a lei de desactivação do cylindro estendido em fôrma de lamina. Podem-se tambem effectuar dois aquecimentos successivos do fio em dois cylindros differentes, estudando depois a actividade distillada durante o segundo aquecimento.

Os resultados obtidos n'estas experiencias mostram que, quando se aquece uma lamina activada a 215, 540 e 630 graus, a substancia B distilla, de maneira que a proporção de C vae augmentando sobre a lamina aquecida. Ultrapassada a temperatura de 630°, sobre a lamina só existe a substancia C e a lei de desactivação é uma exponencial simples.

Durante o aquecimento ás temperaturas inferior-

res a 600° , B distilla para os corpos visinhos, transforma-se em C que desaparece, produzindo radiações. A quantidade da substancia C, que existe sobre o corpo activado por distillação, é a principio nulla, passa por um valor maximo no fim de 35,7 minutos, depois tende para zero. Succede o mesmo com a irradiação.

Nos dois aquecimentos successivos, nota-se que o radio B distillou quasi completamente no primeiro aquecimento até 500° , o radio C distilla na maior parte no segundo aquecimento a 700° , de maneira que as laminas activadas pela segunda distillação comportam-se como se contivessem apenas o radio C.

Quando se aquece, durante um instante, um corpo activado a uma temperatura superior a 700° , o radio C parece modificar-se; a constante do tempo da lei de desaparecimento da actividade induzida não é a mesma. Parece estar-se em presença d'um facto inteiramente novo. Depois veremos a sua explicação.

Transformação lenta do radio—Acabamos de vêr como o atomo do radio soffre uma desintegração que o transforma em uma nova substancia, a *emanação*, a qual se destroe rapidamente, dando origem a um corpo novo, o *radio A*, que se precipita no estado solido sobre os corpos mergulhados na emanação. O radio A, por sua vez, fornece um novo producto de desintegração, o *radio B*, que se transforma ainda em *radio C*. O curioso phenomeno da desintegração dos atomos não pára, porém, aqui; reserva-nos novas surpresas com o apparecimento de outras substancias. Vamos descrever as experiencias realisadas por Rutherford, e que levaram este illustre physico a completar a série de corpos que o radio origina por successivas transformações.

Deixando uma lamina durante algum tempo, em

presença da emanação do radio, logo que se retira, nota-se que a sua actividade, medida pelos raios α , β e γ , diminua rapidamente com o tempo. Depois de 24 horas, os radios A, B e C tem quasi desaparecido, ficando, apenas, uma fraca actividade residual, constituida pelos raios α e β . Esta actividade, dependendo da quantidade da emanação e do tempo de exposição, é da ordem de grandeza da millionesima da actividade inicial.

A irradiação α , a principio fraca, cresceu quasi proporcionalmente ao tempo, durante um periodo que foi além de nove mezes. A irradiação β , examinada um mez depois da lamina ter sido retirada da emanação, indicou uma sensivel constancia durante nove mezes. Tratou-se de verificar o que succederia com esta irradiação, nos primeiros tempos. Para isso submetteu-se uma lamina de platina, durante 38 dias, a uma grande quantidade de emanação, procedendo-se, 24 horas depois, a medidas da irradiação β , empregando uma disposição apropriada para absorver os raios α .

A irradiação β , fraca a principio, foi augmentando com o tempo até attingir um maximo ao fim de 40 dias. A actividade I_t no fim do tempo t póde representar-se pela equação

$$\frac{I_t}{I_0} = 1 - e^{-\lambda t}$$

em que I_0 é a actividade maxima. A actividade attinge metade do seu valor final em cerca de 6 dias. O valor da constante λ é $0,115$ (dia) $^{-1}$. Esta lei de variação indica que a actividade β é devida a um producto que é por metade transformado em 6 dias, e que é fornecido sob uma fórma constante por uma fonte primaria, que se transforma com grande lentidão. Os resultados mostram ainda que a irradiação β não é devida á fonte pri-

maria, mas ao seu producto de transformação. Já vimos que a irradiação α , medida logo depois de retirada a lamina, é muito fraca. É licito, por conseguinte, concluir que a substancia primaria é desprovida de raios; as irradiações α e β são devidas aos productos de transformação.

Á substancia que não emite raios deu Rutherford a designação de *radio D*; ao corpo que d'este deriva e que produz raios β chamou *radio E*. A fonte de raios α , que primeiro recebeu o nome de *radio E*, designar-se-á *radio F*. Vêr-se-á mais tarde que este é produzido pela substancia que emite raios β .

Vejamos agora o methodo empregado por Rutherford para isolar o radio E e medir directamente a sua velocidade de transformação. Uma lamina de platina coberta d'um deposito activo e aquecida a 1000° perde quasi toda a sua actividade α , ao passo que a actividade β se mantém. Esta lamina, examinada dois mezes depois, mostrou que a actividade β se reduzira a uma pequena fracção do seu valor primitivo. Foi a observação d'estes factos que suggeriu a Rutherford o methodo de separação, que foi posto em pratica do seguinte modo. Em um forno electrico, aqueceu durante 4 minutos, a uma temperatura de cêrca de 1000°, uma lamina de platina coberta d'um deposito activo formado havia dois mezes. Por meio do electroscoPIO verificou-se o desaparecimento da actividade α , indicio de que o radio F se havia volatilizado. Quanto á actividade β , não soffrera alteração immediata com o aquecimento, mas diminuiu progressivamente com o tempo.

A actividade baixou até cêrca d'um quarto do maximo, ficando depois constante. Abstraíndo d'este valor constante, o decrescimento da actividade seguiu a lei exponencial, reduzindo-se a metade em 4,5 dias,

Conclue-se d'aqui que o radio F, assim como a maior parte do radio D, se volatilisaram á temperatura de 1000° ou a temperaturas inferiores. Ficava intacto o radio E, mas, como a maior parte da substancia d'onde provém, tinha desaparecido por volatilisação, a sua actividade ia diminuindo, explicando-se a actividade residual constante pelo facto de algum radio D não ter sido expulso.

Rutherford accentúa que este methodo de separação mostra a utilidade que se póde tirar da differença das propriedades physicas dos productos de que estamos tratando.

Outras experiencias indicam que o radio D e o radio F são volateis. Assim, reconhece-se que a actividade α d'uma lamina de platina, que foi submettida á temperatura de 1000°, não augmenta com o tempo tanto como a d'uma lamina que não soffreu identico tratamento. Este facto explica-se pela volatilisação do radio D, que o aquecimento determina.

Tambem pelas experiencias de aquecimento se reconhece que o radio E produz o radio F. Para isso, mede-se a actividade α da lamina de platina, em seguida ao aquecimento por periodos de tempo eguaes. Verifica-se que a actividade cresce muito mais depressa nas duas primeiras semanas do que, mais tarde, em um egual periodo de tempo. Este facto tem uma explicação facil. O rapido augmento, que a principio se observa, é determinado pela tranformação do radio E em radio F. O periodo de crescimento lento é devido á producção de radio F pelo radio E, este ultimo formado continuamente pelo residuo não volatisado do radio D.

Por conseguinte, parece não restar duvida de que os tres productos de desintegração do radio, a que Rutherford deu as designações de radio D, radio E e

radio F, se succedem pela ordem por que são indicados.

As primeiras experiencias de Rutherford levam á conclusão que o radio D se transforma por metade em 40 annos. Vamos reproduzir aqui um quadro com as propriedades physicas e chimicas dos tres productos de desintegração do radio. N'elle se indica a possibilidade do radio E emittir, além dos raios β , raios γ , que poderiam ter ficado occultos nas medidas a que se procedeu, por terem uma intensidade fraca em relação áquelles.

Deposito radioactivo de transformação lenta	Radiações	Tempo necessario para se effectuar a transformação de metade	Propriedades physicas e chimicas
Radio D	nada	40 annos	Solúvel nos ácidos fortes; não se deposita sobre o bismutho; volátil abaixo de 1000° C.
Radio E	β e talvez γ	6 dias	Não volátil a 1000° C.; solúvel nos ácidos; não se deposita sobre o bismutho.
Radio F	α	143 dias	Volátil a 1000° C.; precipita-se sobre o bismutho; solúvel nos ácidos.

Desactivação do radio F—Como se vê pelo quadro que reproduzimos, o radio F precipita sobre uma lamina de bismutho das soluções que contém o deposito radioactivo, para o que basta deixar uma lamina d'aquelle corpo na solução, durante algumas horas. Os raios emittidos pelo bismutho assim activado pertencem ao grupo α . Tem-se d'este modo um facil processo

de separar o radio F dos outros productos de desintegração, radio D e radio E, que não precipitam.

Vejamos como se pôde obter a solução do deposito activo. Recolhe-se a emanação proveniente de 30 milligrammas de brometo de radio em um tubo que se fecha em seguida. Decorrido um mez, abre-se o tubo e introduz-se-lhe acido sulphurico diluido, que dissolve quasi totalmente o deposito que se fórma sobre o vidro. Evapora-se a solução a secco em um balão e abandona-se durante nove mezes, formando-se n'este tempo uma grande quantidade de radio F á custa da substancia primitiva, o radio D; depois d'isso, torna-se a dissolver o deposito em acido sulphurico.

Preparada a solução, Rutherford introduziu n'ella tres discos de bismutho, que se cobriram de radio F; por meio d'estes discos estudou a desactivação durante nove mezes. Os resultados a que chegou mostraram que a actividade diminuia com o tempo, segundo a lei exponencial. A actividade d'um disco diminuia de metade em 150 dias; a d'outro em 136 dias e a do terceiro em 142, ou seja em média 143 dias que representam o periodo de tempo em que a actividade do radio F se reduz a metade.

No principio, notava-se em dois discos uma diminuição mais lenta da actividade, o que poderia ser devido a ter-se depositado sobre o bismutho uma pequena quantidade de radio D, que iria originando radio F, estabelecendo-se assim uma compensação na desactivação d'este producto.

Augmento da actividade α do deposito radioactivo

— A actividade α do deposito radioactivo formado sobre uma lamina de platina augmenta quasi uniformemente durante os primeiros 60 dias, segundo as pri-

meiras experiencias de Rutherford. Observações feitas, durante um periodo de tempo maior, nove mezes, confirmaram até certo ponto os primeiros resultados a que chegou o illustre physico, como se pôde vêr no seguinte quadro :

Tempo em dias	Actividade α em unidades arbitrárias
9	0,127
43	0,57
135	1,44
163	1,65
196	1,85
290	2,17

Vê-se que a actividade augmenta sempre, se bem que com maior rapidez no principio. Outras observações foram feitas com um deposito formado havia 15 mezes. A actividade augmenta ainda, mas lentamente, tendendo para um maximo; ao fim de 290 dias ter-se-ia um valor correspondendo a 75 por cento do maximo.

A explicação completa do augmento da actividade α só pôde fazer-se com o auxilio das tres mudanças successivas, pois que a substancia que primeiro se deposita, o radio D, transforma-se em radio E e este em F, que é o unico a emittir raios α . Comtudo, como o producto intermedio, que se reduz a metade em 6 dias, tem uma duração muito pequena relativamente ao radio F, cujo periodo de redução a metade é de 143 dias, pôde abstrair-se d'elle nos calculos, considerando a transformação directa do radio D em radio F.

Segundo Rutherford, o numero q de atomos de radio F, que existem em um dado instante t , é expresso pela formula

$$q = \frac{n_0 \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_3 t} \right)$$

em que n_0 é o numero de atomos de radio D depositados no principio, λ_1 e λ_3 as constantes de tempo do radio D e do radio F.

A actividade a em um instante qualquer é proporcional a q , e o valor maximo é attingido no tempo T , tal que

$$\lambda_1 e^{-\lambda_1 T} = \lambda_3 e^{-\lambda_3 T}$$

Os valores de λ_1 e λ_3 são

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0,0173 \text{ (anno)}^{-1} \\ \lambda_3 &= 1,77 \text{ (anno)}^{-1} \end{aligned}$$

e o valor de T correspondente ao maximo é $T = 2,7$ annos.

Origem do Polonio e do Radiotellurio— Nas suas experiencias sobre as substancias radioactivas, M.^{me} Curie descobriu um corpo a que foi dado o nome de polonio. As propriedades, que a illustre professora encontrou nas preparações que continham este corpo, foram observadas por Marckwald em uma substancia preparada de maneira um pouco differente, que recebeu o nome de *radiotellurio*. Durante algum tempo se discutiu se havia differença entre as duas substancias, ou se,

pelo contrario, a dois nomes differentes correspondia, apenas, um unico corpo radioactivo. M.^{me} Curie, partidaria d'esta segunda maneira de vêr, reconheceu certas propriedades chemicas que permitem, senão isolar o polonio, pelo menos separal-o, por fraccionaço, do bismutho e da maior parte dos outros elementos. O radiotellurio de Marckwald apresenta as mesmas reacções chemicas com maior nitidez, podendo isolar-se a substancia d'um modo mais perfeito.

O argumento mais importante para mostrar que polonio e radiotellurio são a mesma substancia tira-se da comparaço das constantes de transformaço. M.^{me} Curie procedeu a medidas rigorosas com o fim de determinar, o mais exactamente possivel, a constante caracteristica do tempo de desactivaço do polonio, empregando para isso a materia activa collocada em recipientes especiaes, de modo a ter, durante toda a duraço das observaçoes, superficies livres sempre identicas.

A radioactividade era obtida, medindo, por meio do electrometro e do quartzo piezoelectrico, a corrente de saturaço produzida entre os dois pratos d'um condensador pelo ar ionisado sob a influencia da radiaço. Verificou M.^{me} Curie que a intensidade da radiaço diminue com o tempo, segundo uma lei exponencial simples da fórmula

$$I = I_0 e^{-at}$$

em que I_0 representa a intensidade inicial, I a intensidade no fim do tempo t , e a uma constante, que tem o valor $a = 0,00495$, sendo o tempo expresso em dias, o que corresponde a uma diminuico da metade da actividade em 140 dias.

Ora Marckwald achou para o radiotellurio a mesma constante de tempo, o que basta para demonstrar que as duas substancias não são diferentes, independentemente da identidade da sua radiação.

Afinal, o proprio Marckwald abandonou a designação de radiotellurio, dando assim razão a M.^{me} Curie, que, desde o principio, affirmava não se tratar d'uma nova substancia.

As investigações de Rutherford fornecem indicações importantes sobre a natureza do radiotellurio. Ao mesmo tempo que procedia a experiencias sobre o radio F depositado sobre uma lamina de bismutho, o sabio professor norte-americano observava a desactivação d'um fragmento do radiotellurio de Marckwald, preparado pelo dr. Sthamer, de Hamburgo. A actividade d'esta substancia diminuia exponencialmente com o tempo, reduzindo-se a metade em 143 dias. No decurso d'estas experiencias, resultados analogos foram publicados por Meyer e Schweidler, que verificaram que a actividade se reduz a metade em 135 dias. Entretanto, Marckwald encontrava que o periodo de tempo necessario para a actividade se reduzir a metade é de 139 dias. Estes numeros apresentam uma notavel concordancia, se attendermos a que é muito difficil fazer observações de desactivação, durante largos periodos de tempo. Póde, pois, tomar-se, como numero medio, 140 dias, periodo em que a actividade do radiotellurio se reduz a metade.

Já nas primeiras experiencias a que havia procedido, Rutherford tinha suspeitado que o constituinte activo do radiotellurio era o radio F. As razões em que se baseiava eram as seguintes: as duas substancias tem as mesmas propriedades physicas e chimicas; tanto uma como outra apenas emitem raios α , e são precipitadas

das suas soluções pelo bismutho; os raios α do radio F e do radiotellurio tem o mesmo poder de penetração.

A suspeita de Rutherford foi confirmada pelas experiencias em que se determinou a constante de desactivação do radiotellurio. Aos argumentos de que já se estava de posse a favor da identidade das duas substancias, accrescentou-se um novo e da maior importancia. Já dissemos que o periodo de tempo necessario para a actividade do radio F se reduzir a metade é de 143 dias, valor, como se vê, muito proximo do que foi achado para o radiotellurio. Parece, pois, não restar duvida de que o elemento activo d'esta substancia é um producto de transformação do radio, sendo o radiotellurio extraído dos minerios radioactivos derivado da decomposição do radio que estes minerios contém.

A quantidade de radiotellurio extraído dos minerios radioactivos deve ser sempre proporcional á quantidade de radio que n'elles se encontra, assim como á do uranio, pois está demonstrado, por varias experiencias, que nos minerios radioactivos ha proporcionalidade entre as quantidades de radio e de uranio. As experiencias de Boltwood levaram á conclusão que a proporção do radio correspondente a um gramma de uranio contido em um minerio era de $7,4 \times 10^{-7}$ grammas.

As proporções relativas do radio e do radio F nos minerios radioactivos, é deduzida por Rutherford do seguinte modo. Seja N_1 o numero dos atomos de radio F por gramma de substancia radioactiva, N_2 o numero dos atomos de radio; seja λ_1 e λ_2 as constantes de transformação respectivamente do radio F e do radio. Em um minerio radioactivo antigo, as quantidades de radio e de radio F tem attingido o regimen permanente e o

mesmo numero de atomos dos dois corpôs é desaggregado por segundo. Assim teremos

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2.$$

Ora o radio F transforma-se, reduzindo-se a metade, em 0,38 annos, e o radio em 1200 annos, portanto

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{0,38}{1200} = 3,2 \times 10^{-4}$$

É provavel, além d'isso, que os pesos atomicos do radio e do radio F não sejam muito differentes. Por conseguinte o peso do radio F contido em um minerio é 0,00032 vezes o peso do radio. Ora a cada gramma de uranio corresponde quasi uma millionesima de gramma de radio. Portanto, uma tonelada de minerio, que contém em média 50 por cento de uranio, encerra 0,16 milligrammas de radio F.

Vejamos se estes resultados, a que Rutherford chegou por considerações theoricas, estão de harmonia com aquelles que a experiencia indica. Marckwald operou com 5 toneladas de residuos de uranio, correspondendo a 15 toneladas de minerio de Joachimstal, para lhes extrair o radiotellurio (radio F). Os methodos de separação, que empregou, permittiram-lhe obter 2 milligrammas d'uma substancia de grande actividade.

O rendimento theorico devia ser 2,1 milligrammas, poisque o minerio contém quasi 50 por cento de uranio. Não é, porém, para estranhar a differença que se observa, a qual póde attribuir-se a uma incompleta separação. Marckwald verificou que a substancia era muito activa. Uma lamina de cobre com uma camada

de 0,01 milligramma da substancia, preparada por immersão em uma solução activa, illuminava um diaphragma de sulphureto de zinco a uma distancia sufficiente para se tornar nitidamente visivel na obscuridade a 15 metros. Vê-se, portanto, que a pratica está em concordancia com o que a theoria determina.

Radio D e radiochumbo (chumbo radioactivo) — Experiencias realisadas por Hoffmann e Strauss sobre a pechblenda levaram estes physicos a affirmar que tinham obtido preparações de chumbo radioactivo. Suppôz-se a principio que a radioactividade, que assim se revelára, seria devida a vestigios de algumas das substancias radioactivas já conhecidas, mas teve de abandonar-se semelhante modo de vêr. As investigações de Rutherford suggeriram-lhe a ideia de que o radio D seria o constituinte primario do chumbo radioactivo. Uma d'estas investigações incidiu sobre um fragmento de chumbo preparado havia 4 mezes. Reconheceu-se que a actividade β não havia mudado durante 6 mezes, ao passo que a actividade α havia augmentado d'uma maneira constante, precisamente como deveria succeder com o radio D. Com effeito, o radio E estando em equilibrio radioactivo, a radiação β deve manter-se constante; o radio F, em producção contínua, deve dar origem a um augmento de raios α .

Hoffmann, Gonder e Wölfl demonstraram a presença de dois constituintes radioactivos no chumbo. Vejamos estas experiencias. A uma solução de chumbo radioactivo juntaram pequenas quantidades de chloretos de metaes da familia da platina; depois de muitas semanas, fez-se a precipitação por meio da formalina ou da hydroxylamina. Todas as substancias, depois da separação, emittiam ao mesmo tempo raios α e raios β .

Estes ultimos desapareciam em grande parte ao fim de seis semanas, aquelles ao fim d'um anno. A actividade β deve attribuir-se ao radio E, que se reduz a metade em seis dias; a actividade α ao radio F. Aquecendo ao rubro vivo, a actividade α desaparece em alguns segundos; é sabido que o radio F se volatilisa a cerca de 1000°, de modo que isto confirma aquella conclusão.

Juntaram-se ao chumbo radioactivo saes d'ouro, de prata e de mercurio; depois de precipitados, emitiam apenas raios α , o que mostra que estas substancias sómente arrastam o radio F. Por outro lado, os saes de bismutho revelaram, a principio, as duas radiações, desaparecendo depressa os raios β , o que concorda com as experiencias de M.^{me} Curie sobre o bismutho radioactivo, que, a principio, emite raios α e β , durando pouco tempo a actividade β .

As radiações α e β do chumbo radioactivo diminuem com a precipitação pelos saes de bismutho, regenerando-se com o tempo. Este resultado está de harmonia com a supposição de no chumbo existirem os radios D, E e F. Estes dois ultimos são arrastados pelo bismutho, mas, ficando na solução o radio D, d'onde aquelles provém, forma-se nova quantidade dos dois productos ultimos da desintegração do radio.

Parece, pois, em face d'estas experiencias que pôde estabelecer-se o quadro seguinte:

Productos contidos
no chumbo radioactivo velho

- | | |
|---|---|
| { | Radio D: producto contido no chumbo radioactivo novo, sem raios, transforma-se, reduzindo-se a metade, em 40 annos. |
| | Radio E: raios β , arrastado pelo bismutho e pelo iridio, transforma-se, reduzindo-se a metade, em 6 dias. |
| | Radio F: contido no polonio ou radiotelurio, raios α , transforma-se, reduzindo-se a metade, em 143 dias. |

Muitas outras experiencias tem sido feitas, todas tendendo a demonstrar a existencia dos radios D, E e F no chumbo radioactivo. Para terminar, citaremos as experiencias de Elster e Geitel, que indicam a presença dos tres productos no chumbo ordinario. Operaram estes physicos sobre dois kilos de chumbo de commercio, que foi tratado como que para a extracção do bismutho (dissolução do acetato na agua, precipitações successivas pelo acido sulphurico e o hydrogenio sulphurado, tratamento do ultimo precipitado pelo acido azotico, evaporação a secco e nova dissolução em agua). Se introduzirmos em alguns centimetros cubicos do liquido obtido uma lamina de cobre, durante vinte e quatro horas, esta lamina recolhe quasi toda a actividade contida na solução. Póde tambem partir-se do chloreto, mas as laminas mais activas obtem-se pelo tratamento do acetato.

Se depois da preparação d'uma primeira lamina, se mergulha immediatamente uma outra na solução, esta segunda lamina não recolhe nada, mas, esperando algumas semanas, obtem-se de novo uma lamina activa, isto é, a solução comporta-se como um liquido que contem, ao lado do radio F, as substancias que produzem os radios D e E.

Como a constante de tempo do radio D é 40 annos, é legitimo suppôr que o chumbo com 100 a 120 annos deve ter perdido a maior parte da sua actividade. Foi o que se verificou com um bloco de chumbo de Harz, com mais de 100 annos, que, tratado pelo methodo indicado, não deu coisa alguma. Deve-se, todavia, notar, que o chumbo novo de Harz não dá mais do que $\frac{1}{150}$ da actividade do chumbo do commercio. Parece que a pequena actividade dos minerios de chumbo de Harz deve attribuir-se a não estarem associados a minerios

de uranio. Em summa, o chumbo ordinario apenas difere do radiochumbo extraído dos minerios de uranio pelo grau menor de actividade, devido a uma percentagem menos importante de radios D, E e F. Foi, sobretudo, o radio F que se depositou sobre as laminas de cobre no tratamento chimico indicado.

Evidenciou-se este ultimo facto por dois modos. Um d'elles consistiu em medir em diferentes laminas a constante de desactivação, achando-se numeros concordantes com os que correspondem ao polonio.

Em seguida, procurou-se medir o percurso dos raios α no ar. O emprego de folhas de aluminio mostrou que o percurso é equivalente a 0,012 centimetros de aluminio. Um methodo differente levou a um percurso de 3 a 4 centimetros; por um terceiro methodo achou-se um percurso ligeiramente inferior a 4 centimetros, o que corresponde ao que se sabe dos raios α do polonio.

A familia dos productos de desintegração do radio, com o tempo que leva cada um d'elles a transformar-se, reduzindo-se a metade, póde representar-se pela figura seguinte:

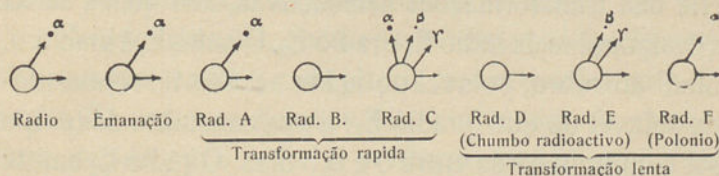


Fig. 12

Radio E₁ e radio E₂—Experiencias de Meyer e Schweidler parecem mostrar que o radio E não é um corpo unico. Estes physicos procuraram separar por electrolyse os differentes constituintes do chumbo ra-

radioactivo, com o fim de estudarem com maior minuciosidade o radio E. Uma solução de acetato de chumbo radioactivo não deu no cathodo, com uma corrente de $4,10^{-6}$ amperes, senão polonio; com 10^{-5} amperes, obteve-se uma mistura de radio E e radio F; a partir de 10^{-4} amperes, recolheram-se os tres productos: radio D, radio E e radio F.

Entre as numerosas preparações de radio E assim obtidas por electrolyse, um certo numero davam curvas de desactivação perfeitamente rectilneas e a constante de tempo correspondente era 4,86, 4,87, 5,05, 4,86 e 4,96 dias. Uma outra preparação deu uma curva que já não é linear. Para os dez primeiros dias tem-se uma porção rectilnea (correspondente a 5,02 dias), do decimo ao vigesimo quinto dia tem-se uma outra porção rectilnea incontestavelmente menos inclinada (5,2 dias). Esta particularidade é ainda mais accentuada com outras curvas, e as constantes de tempo médias correspondentes ás duas partes da curva são respectivamente 4,8 dias e 6 a 6,5 dias.

Estes factos parecem indicar, na opinião de Meyer e Schweidler, que o radio E não é um corpo unico, mas sim que se compõe de dois corpos, que se seguem na serie das transformações radioactivas, aos quaes se dá as designações de radio E_1 e radio E_2 . O radio E_1 é inactivo, volatil ao rubro, soluvel no acido acetico fervente, menos soluvel do que o radio E_2 ; a sua constante de tempo está comprehendida entre 6 e 6,5 dias. O radio E_2 emite raios β , o seu periodo é de 4,8 dias, não é volatil ao rubro, e colloca-se, sob o ponto de vista electrochimico, entre o polonio e o radio E_1 . Explica-se assim o ligeiro desaccordo entre os numeros obtidos por diversos experimentadores para a constante de tempo do radio E.

Os raios β do radio E_2 são metade absorvidos por

uma espessura de aluminio igual a 0,016 centimetros, ou de estanho igual a 0,0045 centimetros. Não são acompanhados de raios γ em quantidade apreciavel.

Propriedades dos diferentes productos de desintegração do radio — As primeiras experiencias realizadas por Curie e Danne levaram á conclusão que o radio B não emittia raios. Schmidt, porém, mostrou que não era assim; a transformação do radio B em radio C não é uma transformação sem raios. É acompanhada por uma radiação, cujo poder de penetração é intermediario entre o dos raios α e β do radio C. Estes resultados foram confirmados por Bronson e Duane, tendo este ultimo concluido, do facto da carga espontanea tomada por um fio activado, a existencia de uma radiação lenta β , que acompanha a transformação do radio B.

Para verificar se a radiação emittida pelo radio B se compõe de particulas carregadas de electricidade, Schmidt empregou o methodo de desvio magnetico, reconhecendo que transportam electricidade negativa.

Harvey, em uma obra que publicou sobre a radiação do radio B, aponta entre outras conclusões o facto de aquella substancia emittir raios α de percurso muito pequeno (2,6 a 3 millimetros no ar).

As experiencias, que levaram a esta conclusão, consistiram em medir a radiação de fios activados na emanação do radio, o que revelou a presença de raios α . Para decidir qual seria o producto d'onde provinham estes raios, observou-se o deposito activo 30, 40, 60 e 140 minutos depois da exposição dos fios á emanação. Ao fim de 30 minutos, a radiação era muito forte; passados 50 minutos, mais fraca; depois de 60 minutos, ainda mais fraca, e, finalmente, decorridos 140 minutos, havia desaparecido. O facto de se manifestar

ao fim de 30 minutos, provava que não era devida ao radio A. O facto de haver desaparecido passados 140 minutos, mostrou que não resultava do radio C. Logo provinha do radio B.

Os resultados a que Harvey chegou, são rebatidos pelas seguintes objecções:

Bronson e Hahn, estudando a mesma questão, chegaram um e outro, por caminhos inteiramente diferentes, a um resultado negativo;

Em experiencias de desvio magnetico dos raios α , Rutherford não obteve nenhuma indicação de semelhantes raios provenientes do radio B;

As curvas experimentaes de desactivação estão em perfeita concordancia com o que a theoria prevê, admittindo que o radio B não emite raios α .

Apesar d'isto, Bronson julgou conveniente submeter ainda uma vez á verificação experimental as conclusões de Harvey. Em uma primeira serie de experiencias, serviu-se de uma camara de ionisação constituida por um condensador plano de 1,5 millimetros de affastamento, cuja armadura inferior era formada por uma tela metallica ou por uma delgada folha de aluminio. Póde fazer-se variar a distancia d'este condensador ao fio de cobre activado, collocado sobre um prato paralelo. As curvas de desactivação obtidas não indicaram a existencia dos raios α .

A experiencia é ainda mais nitida, se, deixando invariavel a distancia do condensador á preparação radioactiva, se faz progressivamente o vazio no aparelho. Na hypothese de o radio B emitir raios α , dever-se-ia attingir uma pressão critica em que a ionisação augmentasse de repente. Em vez d'isso, a ionisação mostrou-se rigorosamente proporcional á pressão entre 76 e 3 centimetros de mercurio.

Deve-se, pois, pôr em duvida a existencia dos raios α de pequeno percurso que seriam emittidos pelo radio B.

Makower realisou experiencias com o fim de determinar a temperatura a que se volatilizam os radios A, B e C. O methodo empregado consistiu em expôr um fio de nickel á emanção do radio, durante dez minutos, a differentes temperaturas, e examinar a natureza do deposito assim recolhido sobre a haste, estudando por meio do electrometro de quadrante a actividade d'este fio, medida pelos raios α , e a lei de decrescimento d'esta actividade. N'estas condições, ás temperaturas ordinarias, ha uma diminuição rapida de actividade durante cerca de quinze minutos, desde o instante em que se subtráe a haste á emanção; depois d'este periodo, a actividade fica constante durante meia hora, antes de decrescer de novo. É sabido que a rapida baixa, que a principio se manifesta, é devida ao decrescimento do radio A que tem um periodo de desactivação de tres minutos. Se, portanto, se impedisse por um meio qualquer o deposito de radio A sobre a haste, verificar-se-ia que, não sómente a actividade d'esta haste depois da exposição á emanção seria menor, mas ainda, examinando o deposito, vêr-se-ia que não havia queda inicial de actividade. Realisar-se-ão estas condições, se a haste, exposta á emanção, fôr levada a uma temperatura superior ao ponto de volatilisação do radio A; por conseguinte, medindo a actividade da haste depois da exposição á emanção a differentes temperaturas, poder-se-á determinar o ponto de volatilisação do radio A, procurando a temperatura immediatamente acima da qual o producto deixa de se depositar sobre a haste.

Fizeram-se experiencias por este methodo ás temperaturas de 15° , 710° , 840° , 885° , 925° e 990° . Quando

a temperatura se mantém a 710° , observa-se ainda a queda inicial de actividade devida ao decrescimento do radio A, mas a actividade, antes de se tornar constante, cõe a um valor um pouco menor do que aquelle que corresponde ao caso da exposiçõe á temperatura ambiente. Isto é devido a que a temperatura de 710° é superior ao ponto de volatilisaçõe do radio B, que não póde, portanto, depositar-se sobre a haste. Curie e Danne, em experiencias anteriores, haviam achado que o radio B se volatilizava á temperatura de 600° . A 840° a queda inicial da actividade é menos nitida que ás temperaturas mais baixas; a 885° a queda inicial quasi desaparece; a 925° já não se observa, o que mostra que a esta temperatura não ha radio A depositado sobre a haste. Pode-se, pois, concluir que o radio A começa a ter uma tensõe de vapor apreciavel a 800° e que a 900° se volatiliza completamente.

Para determinar a volatilidade do radio C, Makower recolheu a actividade induzida do radio sobre laminas de substancias diversas, expondo-as durante muitas horas á emanaçõe do radio. Depois de ter subtraído a emanaçõe e esperado o tempo sufficiente para que o radio A se tenha reduzido a uma quantidade inapreciavel, a materia é submettida a uma temperatura conhecida, collocando-a durante cinco minutos em um forno de revestimento de platina aquecido electricamente. Verificou-se que, com laminas de platina, de nickel e de quartzo, a volatilisaçõe começa entre 700° e 800° , mas, ao passo que com as duas primeiras substancias a volatilisaçõe está completa a 1200° , com o quartzo não o está nem mesmo a 1300° , o que mostra que a volatilidade do radio C depende, até certo ponto, da natureza da superficie sobre que se deposita.

A actividade induzida do radio dissolve-se no acido

chloridrico sobre a superficie onde se deposita. Makower procurou saber se a volatilidade do radio C seria a mesma antes e depois da dissolução ou se o acido determinaria uma acção chimica capaz de alterar a volatilidade. As experiencias a que procedeu não permittiram, porém, reconhecer variação alguma.

O radio A proveniente da emanação, em condições normaes, está carregado de electricidade positiva, d'onde resulta que um conductor electrizado negativamente e exposto á emanação attráe quasi todo o radio A que ahí se deposita. Makower fez experiencias com o fim de averiguar se o radio C está carregado do mesmo modo, depois de ter sido produzido pelo radio B.

Vimos que o radio A se volatilisa a 900° , e que o radio B se volatilisa a uma temperatura mais baixa, de modo que seria impossivel que estes dois productos de desintegração do radio se depositassem sobre um fio, cuja temperatura ultrapassasse 900° . Já não succederia o mesmo com o radio C que se volatilisa a cerca de 1200° . Por conseguinte, para saber se o radio C está carregado no momento da sua producção pelo radio B, Makower fez actuar um campo electrico sobre uma haste de platina mantida á temperatura de 925° . Os resultados d'esta experiencia permittiram-lhe affirmar que o radio C não possui carga na occasião em que é produzido.

As constantes radioactivas, que resultam das experiencias feitas nos ultimos tempos, acham-se reunidas no quadro seguinte, onde se veem alguns numeros que differem dos indicados anteriormente:

	Peso atômico	Constante de tempo λ	Período de desativação T	Vida média	Constituição da radiação	Percurso dos raios α no ar em cm.
Radio	226,5	$1,07 \times 10^{-12}$	2000 annos	2900 annos	α	3,50
Emanação	"	$2,08 \times 10^{-6}$	3,86 dias	5,57 dias	α	4,35
Radio A	"	$3,85 \times 10^{-3}$	3 minutos	4,33 minutos	α	4,82
Radio B	"	$4,33 \times 10^{-4}$	26,7 "	38,5 "	β	
Radio C	"	$5,93 \times 10^{-4}$	19,5 "	28,1 "	α, β, γ	7,08
Radio D	"	$1,79 \times 10^{-10}$	12 annos	17,3 annos	Sem raios	
Radio E ₁	"	$1,30 \times 10^{-6}$	6,2 dias	8,95 dias	Sem raios	
Radio E ₂	"	$1,68 \times 10^{-6}$	4,8 "	6,9 "	β	
Radio F	"	$5,62 \times 10^{-8}$	143 "	206 "	α	3,86

A segunda columna dá os valores da constante de tempo λ que entra na formula

$$I = I_0 e^{-\lambda t}$$

em que I_0 é a actividade da substancia no tempo 0 e I a actividade no tempo t expresso em segundos.

A terceira columna representa o periodo de desactivação. Exprime o tempo que deve decorrer para a actividade I attingir metade do seu valor inicial. Tem-se então

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$$

ou

$$T = \frac{1}{\lambda} \log 2 = \frac{1}{\lambda} \times 0,693$$

A quarta columna indica a vida media do radio e dos seus productos de desintegração, a qual offerece um interesse especial por dar ideia da velocidade com que se destroem as substancias.

A sexta columna refere-se ao percurso dos raios α no ar, á pressão normal e á temperatura de 16°.

Vamos agora apresentar um outro quadro com os principaes caracteres physicos e chimicos dos diversos productos de desintegração.

	Caracteres physicos	Caracteres chimicos
Radio . . .	Espectro caracteristico. Espontaneamente luminoso. Produz helio.	Analogo ao Ba. Chloreto e brometo mais soluveis.
Emanação .	Comporta-se como um gaz. Espectro caracteristico. Condensa-se a -150° . Coefficiente de diffusão 0,100.	Gaz inerte.
Radio A . .	Comporta-se como um solido. Concentra-se no cathodo em um campo electrico. Volatil a 1000° .	Solúvel nos acidos fortes.
Radio B . .	Como A. Volatil á temperatura ordinaria.	Como A. Precipita pelo $BaSO^4$.
Radio C . .	Como A. Volatil acima de 1100° .	Como B. Deposita-se sobre o Cu e Ni. Arrastado com o cobre precipitado.
Radio D . .	Volatil abaixo de 1000° .	Solúvel nos } acidos fortes. } Solúvel no } acido acetico quente. } Reacções analogas ás do Pb.
Radio E ₁ . .	Volatil ao rubro.	
Radio E ₂ . .	Não volatil ao rubro.	Reacções analogas ao Bi.
Radio F . .	Volatil proximo de 1000° .	Deposita-se das suas soluções sobre Bi, Cu, Sb, Ag, Pt. Os productos D, E ₁ , E ₂ e F podem separar-se por electrolyse.

CAPITULO VII

Carga electrica e natureza das particulas α

Valor de $\frac{E}{M}$ para as particulas α do radio C—

A emissão das particulas α tem uma importancia capital nas transformações radioactivas, visto que a desintegração do atomo das substancias que manifestam os phenomenos da radioactividade se traduz, ao que parece, na perda d'essas particulas. Se as particulas α tiverem a mesma massa, qualquer que seja a sua origem, serão ellas o elemento constitutivo dos atomos das substancias radioactivas, caracterisados por uma radiação α homogenea, cujas particulas tem todas, para uma dada substancia, a mesma velocidade e o mesmo percurso effectivo no ar. Este percurso e aquella velocidade variarão com os diversos elementos.

Vê-se d'aqui a necessidade de calcular com rigor a relação $\frac{E}{M}$ e a velocidade V das particulas α dos diversos corpos radioactivos, para verificar se é accetavel aquella hypothese. Foi Rutherford quem primeiro demonstrou, em 1902, pelo methodo electroscopico, que as particulas α do radio estão carregadas de electrici-

dade positiva e são desviadas por um campo electrico ou magnetico intensos. Achou para $\frac{E}{M}$ o valor 6×10^3 e para V o valor maximo $2,5 \times 10^9$. Pouco depois, Des Coudres, pela applicação do methodo photographico ao brometo de radio puro, achou para $\frac{E}{M}$ o valor $6,3 \times 10^3$ e para V o valor medio $1,65 \times 10^9$. Mais tarde Mackenzie, pela applicação do mesmo methodo de Des Coudres, mas com desvios mais fortes, achou para $\frac{E}{M}$ o valor $4,6 \times 10^3$ e para velocidade média $1,37 \times 10^9$ centimetros por segundo.

Rutherford repetiu as suas experiencias, operando com raios α perfeitamente homogeneos, taes como os que são emittidos por uma camada muito delgada de radio C. Estes raios, depois de terem atravessado uma delgada lamina de mica equivalente a 3,5 centimetros de ar, penetravam em um cylindro metallico, passavam entre dois pratos isolados que se podiam ligar aos polos d'uma bateria de acumuladores, e iam encontrar uma placa photographica. Mediu-se o desvio electros-tatico em cinco campos de intensidade crescente.

A média d'estas experiencias conduziu ao valor

$$\frac{MV^2}{E} = 4,87 \times 10^{14} \text{ unidades electromagneticas.}$$

As medidas de desvio magnetico dos raios α do radio C tinham determinado

$$\frac{MV}{E} = 4,6 \times 10^5 .$$

Reduzindo este numero na proporção 0,763 para attender ao poder de absorpção da mica, acha-se um valor que,

combinado com o resultado das medidas de desvio electrostatico, leva aos numeros seguintes para a velocidade inicial e para a relação $\frac{E}{M}$ das particulas α emittidas pelo radio C:

$$V = 1,57 \times 10^9 \text{ centimetros por segundo}$$

$$\frac{E}{M} = 5,07 \times 10^3 \text{ unidades electromagneticas.}$$

Para verificar se a relação $\frac{E}{M}$ seria modificada pela passagem da particula α atravez da materia, fizeram-se experiencias de desvio magnetico e electrostatico com um fio activado descoberto, com o fio recoberto pelo diaphragma de mica como ficou indicado e, finalmente, com o fio recoberto por um duplo diaphragma de mica e de aluminio equivalente a 6,5 centimetros de ar. Os resultados obtidos foram os seguintes: no primeiro caso, $\frac{E}{M} = 5,70 \times 10^3$, no segundo caso, $\frac{E}{M} = 5,07 \times 10^3$, no terceiro caso, $\frac{E}{M} = 4,08 \times 10^3$. Rutherford concluiu d'aqui que os valores achados permitem affirmar que o valor de $\frac{e}{m}$ não soffre modificações quando os raios α atravessam a materia.

Valor de $\frac{E}{M}$ para as particulas α do radio A—

As experiencias offercem para o radio A, uma certa difficuldade, em virtude da rapidez com que este producto se transforma, poisque se reduz a metade em 3 minutos. Por conseguinte, para obter impressões photographicas sufficientemente nitidas, foi necessario empregar até vinte fios successivos, que se activavam collocando-os durante dois minutos em um vaso cheio de

emanação, e que se deixavam em seguida seis minutos no aparelho de desvio. As medidas realizadas, deram o resultado expresso pelo seguinte numero:

$$\frac{MV^2}{E} = 2,67 \times 10^{14}$$

Quanto ao desvio magnetico, as experiencias conduziram ao seguinte valor:

$$\frac{E}{M} = 2,19 \times 10^3$$

Entrando em linha de conta com as difficuldades a que nos referimos, Rutherford conclue que se póde tomar para o valor de $\frac{E}{M}$ do radio A o numero

$$\frac{E}{M} = 5,6 \times 10^3$$

que é sensivelmente o mesmo que para o radio C. Estes dois corpos emittem, pois, particulas α que tem a mesma massa e só differem pela velocidade de projecção. A velocidade inicial dos raios α do radio A é

$$V = 1,22 \times 10^9 \text{ centimetros por segundo.}$$

Valor de $\frac{E}{M}$ para o radio F—As experiencias sobre o radio F foram feitas com uma haste de bismutho coberta de radiotellurio. Hoje, com effeito, já não restam duvidas de que o radio F seja o constituinte activo d'aquella substancia. Em seguida a experien-

cias de medida do desvio electrostatico, obteve-se o numero

$$\frac{MV^2}{E} = 5,63 \times 10^{14}$$

Para valor de $\frac{MV}{E}$ tomou-se a média entre os numeros $3,2 \times 10^5$ achado theoreticamente por Rutherford e $3,3 \times 10^3$ obtido experimentalmente por Mackenzie. D'aqui deduz-se para V e $\frac{E}{M}$ os valores

$$V = 1,73 \times 10^9 \quad \frac{E}{M} = 5,3 \times 10^3$$

Os raios α do radio F são, por conseguinte, identicos em natureza aos do radio A e do radio C.

Valor de $\frac{E}{M}$ para o actinio—Chegou-se á mesma conclusão com os raios α do actinio. Fizeram-se experiencias com um fio coberto de radioactividade induzida (actinio A e actinio B); o actinio B é o unico activo. N'este caso não se fez uma medida directa; comparou-se o desvio magnetico dos raios α do actinio B com o dos raios do radio C, utilizando-se o mesmo diaphragma de mica para recobrir as duas substancias. Chegou-se ao seguinte resultado:

$$\frac{MV}{E} = 2,56 \times 10^5$$

O numero que assim se obteve, concorda com aquelle a que se chegou por um outro methodo. Ru-

therford estabeleceu uma formula que liga a velocidade de uma particula α com o seu percurso no ar. E' a seguinte:

$$\frac{V}{V_0} = 0,348 \sqrt{r + 1,25}$$

em que V_0 é a velocidade maxima dos raios α do radio C (percurso 7,06 cm.).

A applicação d'esta formula ás experiencias de que nos estamos occupando leva a um valor da velocidade sensivelmente igual ao que resulta da expressão anterior, se admittirmos que a relação $\frac{E}{M}$ é a mesma para os raios α do actinio B e do radio C. A identidade dos valores da velocidade é, pois, uma prova indirecta da invariabilidade d'esta relação.

Não se ficou, porém, só com a prova indirecta. Fizeram-se medidas de desvio electrostatico que levaram aos seguintes numeros:

$$\frac{E}{M} = 4,7 \times 10^3$$

e

$$V = 1,21 \times 10^9 \text{ centímetros por sêgundo.}$$

Valor de $\frac{E}{M}$ para o thorio—Este caso foi tratado por Rutherford, de collaboração com Hahn. Em vez de se empregar o thorio, recorreu-se ao radiothorio por ser muito mais activo. D'um modo identico ao que havia sido feito com o actinio, effectuaram-se as medidas de desvio por comparação com o

radio C. A radioactividade induzida do thorio compõe-se de dois productos que emittem raios α , o thorio B e o thorio C; por conseguinte as imagens photographicas obtidas apresentam os traços de tres feixes pertencentes ao thorio B, ao thorio C e ao radio C. Estes tres feixes são sufficientemente affastados para permittirem medidas precisas.

Muitas series de medidas foram effectuadas com o fio nú ou coberto de diaphragmas absorventes, dos quaes se conhecia o equivalente no ar. Applicando a formula de Rutherford, a que atraz nos referimos, deduziu o illustre physico norte-americano da medida dos desvios magneticos a velocidade de cada grupo de particulas α referida á velocidade dos raios α do radio C. Os numeros assim obtidos apresentam uma notavel concordancia entre si e podem servir para mostrar a constancia da relação $\frac{E}{M}$ para as differentes especies de raios α . As medidas directas de desvio electrostatico para o thorio C levaram ao seguinte resultado:

$$\frac{E}{M} = 5,6 \times 10^3 \quad V = 1,98 \times 10^9$$

Como se vê, ha uma concordancia notavel entre os valores indicados da relação $\frac{E}{M}$. Esta relação e, por conseguinte, a massa M das particulas α é a mesma para o radio A, radio C, radio F, actinio C, thorio B e thorio C. É licito suppôr que com os outros corpos radioactivos succeda o mesmo e que, portanto, a particula α seja identica para todos elles, differindo, apenas, na velocidade maior ou menor com que é projectada. Sendo assim, essa particula seria o elemento essencial,

o que constituiria o atomo radioactivo. Em face dos raios α , os raios β e γ desempenhariam um papel perfeitamente secundario.

Cargas electricas da particula α e do atomo do hydrogenio—A carga electrica das particulas α póde calcular-se partindo da hypothese que a accção calorifica do radio mede a energia cinetica das particulas expulsas, hypothese que é confirmada pelo facto de os raios β e γ produzirem juntamente um effeito calorifico apenas igual a algumas centesimas do effeito produzido pelos raios α . Seja M a massa e V a velocidade inicial de uma particula α , a sua energia cinetica será

$$\frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2} \frac{MV^2}{E} \cdot E$$

Ora Rutherford determinou os valores de $\frac{1}{2} \frac{MV^2}{E} \cdot E$, achando que a energia cinetica das particulas α emitidas por um gramma de radio é $4,15 \times 10^5 \times NE$ ergs, sendo N o numero de atomos destruidos por segundo. Verificou-se tambem que o effeito calorifico da preparação de radio era equivalente a $1,28 \times 10^6$ ergs por segundo. Temos, pois,

$$4,15 \times 10^5 \times NE = 1,28 \times 10^6$$

Substituindo N pelo valor $3,4 \times 10^{10}$, obtido por Rutherford, vem

$$E = 9,1 \times 10^{-10}$$

Vejamos agora como se póde calcular a carga do

atomo do hydrogenio. Seja P o numero de atomos contidos em um gramma de hydrogenio; será $\frac{P}{226,5}$ o numero de atomos de radio contidos em um gramma d'esta substancia, desde que 226,5 é o seu peso atomico. O numero de atomos destruidos por segundo e por gramma de radio será $\frac{\lambda P}{226,5}$, designando-se por λ a constante de transformação do corpo radioactivo. Admittindo que cada atomo ao destruir-se expulsa uma particula α , aquelle numero será igual a N , isto é, teremos

$$\frac{\lambda P}{226,5} = 3,4 \times 10^{10}$$

Mas, por outro lado, a electrolyse da agua dá

$$Pe = 2,88 \times 10^{14} \text{ unidades electrostaticas}$$

sendo e a carga de um atomo de hydrogenio. Substituindo λ pelo seu valor $1,09 \times 10^{-11}$, obtido por Boltwood, temos

$$e = 4,1 \times 10^{-10}$$

Experiencias de Rutherford levaram, porém, a adoptar para E e e os valores

$$E = 9,3 \times 10^{-10} \quad e = 4,65 \times 10^{-10}$$

isto é, a carga transportada pela particula α dos corpos radioactivos é dupla da carga transportada por um atomo de hydrogenio.

Natureza das particulas α —Vimos já que o va-

lor de $\frac{E}{M}$, relação da carga para a massa d'uma partícula α tem um valor sensivelmente constante. Seja $5,07 \times 10^3$ esse valor. Para o atomo de hydrogenio libertado na electrolyse da agua a relação da carga para a massa é $\frac{e}{m} = 9,63 \times 10^3$. Acabamos tambem de vêr que $E = 2 e$. Por conseguinte, teremos

$$\frac{E}{M} = \frac{2 e}{M} = 5,07 \times 10^3$$

e

$$\frac{e}{m} = 9,63 \times 10^3$$

d'onde

$$\frac{2 m}{M} = \frac{5,07}{9,63}$$

e

$$M = 3,79 m$$

isto é, o peso atomico d'uma partícula α é 3,79. Ora o peso atomico do helio é 3,96. Attendendo, porém, aos erros que são inherentes a experiencias d'esta natureza, pode-se concluir que uma partícula α é um atomo de helio ou antes que uma partícula α , depois de perder a sua carga positiva, é um atomo de helio.

D'esta affirmação pôde concluir-se immediatamente qual seja o peso atomico dos differentes productos de desintegração do radio. Parece, com effeito, que cada modificação da radiação, no caso do

radio, corresponde á supressão, em cada atomo, d'uma particula α . Por conseguinte, visto que o peso atomico do radio é 226,5, o da emanação será 222,5, o do radio A 218,5, e assim por deante. Convem notar que experiencias de Perkins para a determinação do peso molecular da emanação deram o numero 235. É provavel, porém, que isso resultasse de erros experimentaes devidos á incerteza do methodo empregado.

Lei de producção do helio pelo radio — Dewar procedeu a medidas directas com o fim de determinar a quantidade de helio produzida pelo radio, empregando nas suas experiencias 70 milligrammas de chloreto de radio. O volume do apparelho em que essas experiencias foram feitas era approximadamente de 200 centimetros cubicos; a determinação da pressão no apparelho permittia calcular facilmente o volume actual do gaz produzido, medido á pressão atmospherica e á temperatura do laboratorio, e, por conseguinte, a producção do helio. Este resultado, referido ao peso de radio empregado dava o augmento em millimetros cubicos do gaz por gramma de radio e por dia.

Durante os tres primeiros dias o augmento de pressão era pequeno; correspondia a uma producção de 0,3 millimetros cubicos por gramma de radio e por dia. O laboratorio em que se faziam as experiencias esteve fechado durante quinze dias. Ao fim d'este intervallo de tempo a pressão attingiu um valor correspondente ao accrescimo observado nos tres primeiros dias. Este valor manteve-se constante nos dois dias seguintes. Continuando a experiencia, verificou-se que, ao fim de 1100 horas, a quantidade de gaz produzido correspondia a um accrescimo de 0,417 millimetros

cubicos por gramma de radio e por dia, contados durante todo o periodo.

Em uma segunda serie de experiencias, notou-se, nos cinco primeiros dias, um augmento de pressão correspondente a um accrescimo de cêrca de 0,3 millimetros cubicos por gramma de radio e por dia. Prolongando a experiencia durante 45 dias, observou Dewar um desenvolvimento constante de 0,37 millimetros cubicos de helio por gramma de radio e por dia.

Os resultados a que Dewar chegou estão em contradicção com as indicações de Cameron e William Ramsay, os quaes para valor da relação entre a quantidade de helio produzida e a emanação do radio indicaram o numero 3,18. Ora como a quantidade de emanação era de cêrca de um millimetro cubico por gramma de radio e por dia, o helio resultante deveria atingir tres millimetros cubicos ou seja oito vezes a producção achada nas experiencias precedentes.

Rutherford, por considerações theoricas, chega a um numero que está em concordancia com os resultados das experiencias de Dewar. Vejamos essas considerações. Desde que se sabe que uma particula α é um atomo de helio, o numero de atomos d'este gaz produzido em um segundo por um gramma de radio será $4 \times 3,4 \times 10^{10}$, poisque o numero de particulas α emittidas em um segundo por um gramma de radio é $3,4 \times 10^{10}$. O factor 4 resulta de, no radio, haver quatro productos, cada um dos quaes emite por segundo o mesmo numero de particulas α . Por conseguinte, o volume do helio produzido por um gramma de radio em um segundo é 5×10^{-9} centimetros cubicos, poisque em um centimetro de gaz á temperatura e pressão normaes ha $2,72 \times 10^{19}$ moleculas. Em um dia será 0,43 millimetros cubicos e em um anno 157 millimetros cubicos.

Numero de particulas α emittidas pelo radio—

Em uma das paginas anteriores, referindo-nos ao numero de particulas α emittidas por um gramma de radio em um segundo, dissemos que esse numero havia sido determinado por Rutherford.

Poderia utilizar-se para uma tal determinação a propriedade conhecida de as particulas α produzirem scintillações em uma preparação de sulphureto de zinco phosphorescente. Com o auxilio d'um microscopio, não seria muito difficil contar o numero de scintillações que apparecem por segundo em um diaphragma de superficie conhecida exposto a uma fonte de raios α . Restaria, porém, saber se cada particula α produz uma scintillação. Assim não se poderia ter confiança alguma em um tal methodo, a não ser para um calculo minimo. Quando muito serviria para confirmar os resultados obtidos por outro processo.

Rutherford e Geiger recorreram a um methodo de amplificação automatica do effeito produzido por uma unica particula, utilizando o principio da producção de novos iões pelos choques. Indicaremos apenas o principio em que se baseia esse methodo sem entrarmos em minudenciãs sobre a sua applicação. Em uma serie de memorias, Townsend estudou as condições em que os iões podem ser produzidos pelos choques contra as moleculas neutras do gaz em um campo electrico intenso. O effeito é mais facil de pôr em evidencia nos gazes á pressão de alguns millimetros de mercurio. Supponhamos que se observa a corrente entre dois pratos collocados em um gaz a baixa pressão, no caso em que este gaz está ionisado pelos raios X. A corrente atravez do gaz, quando a differença de potencial é fraca, cresce a principio com o campo e attinge um valor de saturação como se observa nos gazes ionisados á pre-

são atmospherica. Todavia, quando o campo sobe acima d'um certo valor, a corrente cresce rapidamente. Townsend mostrou que este effeito é devido á producção de novos iões pelos choques dos iões negativos contra as moleculas do gaz. Para um maior augmento do campo, proximo do valor necessario para produzir uma descarga, os iões positivos produzem tambem novos iões, mas em um grau menor do que os negativos. Em taes condições, a fraca corrente atravez do gaz, produzida pela fonte exterior de ionisação, póde facilmente tornar-se maior alguns centos de vezes. O augmento da corrente depende da voltagem applicada aos pratos.

Nas experiencias feitas para revelar uma unica particula α , a disposição era tal que as particulas α eram projectadas em um gaz a baixa pressão, submetido a um campo electrico elevado. D'este modo, a fraca ionisação produzida por uma particula α , ao atravessar o gaz, podia ser amplificada alguns milhares de vezes. A corrente produzida bruscamente atravez do gaz pela chegada d'uma particula α ao aparelho de medida era assim sufficientemente augmentada para dar um deslocamento capaz de ser medido pela agulha d'um electrometro ordinario.

Pela applicação do methodo, cujo principio fica exposto, achou Rutherford que um gramma de radio, e cada um dos seus productos de raios α em equilibrio com elle, emittem $3,4 \times 10^{10}$ particulas α por segundo. O numero total das particulas emittidas no mesmo periodo de tempo pelo radio em equilibrio com os seus tres productos de raios α será, portanto, $13,6 \times 10^{10}$. Se admittirmos como hypothese mais simples e mais provavel que um atomo de radio, ao destruir-se, emittie uma particula α , conclue-se que em um gramma de radio destroem-se por segundo $3,4 \times 10^{10}$ atomos.

Depois d'isto, Rutherford procedeu a experiencias com o fim de comparar o numero de scintillações produzidas sobre o sulphureto de zinco com o numero de particulas α contadas pelo methodo electrico, para verificar se cada scintillação correspondia a uma d'essas particulas. Em uma primeira serie de observações a relação entre o numero de scintillações e o numero de particulas α foi, em média, 0,99; em uma outra serie, essa relação foi, em média, 0,96.

Attendendo ao erro provavel em experiencias d'esta natureza, a concordancia entre os dois numeros é notavel. Vê-se d'aqui que cada particula α produz uma scintillação. Temos assim dois methodos para achar o numero de particulas α emittidas pelo radio, o methodo electrico e o methodo optico.

Volume da emanação — É facil deduzir do que dissemos o volume da emanação produzida por um gramma de radio em um segundo. Com effeito, um atomo de radio, ao destruir-se, emite uma particula α e cria um atomo de emanação, por conseguinte o numero de atomos d'este primeiro producto de desintegração do radio será igual ao das particulas α que é $3,4 \times 10^{10}$ por gramma e por segundo. Ora um centimetro cubico d'um gaz á temperatura e pressão normaes contem $2,72 \times 10^{19}$ moleculas. Uma simples proporção dará, portanto, para volume da emanação correspondente ao gramma por segundo $1,25 \times 10^{-9}$ centimetros cubicos. O volume maximo da emanação é igual á velocidade de producção dividida pela constante radioactiva $\lambda = \frac{1}{468000}$, o que dá o numero 0,585 millimetros cubicos.

O volume da emanação determinado por Ramsay

e Soddy e mais tarde por Ramsay e Cameron differem muito d'aquella a que se chegou por considerações theoricas. Assim, estes physicos encontraram para volume da emanação 7,07 millimetros cubicos. Parece, porém, que o numero elevado, que estes experimentadores obtiveram, era devido á presença de gazes estranhos.

Rutherford, para esclarecer este assumpto, procedeu a varias experiencias. A primeira d'essas experiencias não deu resultados satisfactorios, porque a emanação era impura. Repetindo a operação com as precauções indispensaveis, verificou que o volume, que, a principio, era de 0,171 millimetros cubicos, descera, ao fim de 17 horas, a 0,069 millimetros cubicos. O volume inicial correspondia a 1,32 millimetros cubicos por gramma de radio; o volume final a 0,59 millimetros cubicos. Decorridas 257 horas, o volume attingira 0,125 millimetros cubicos, ao mesmo tempo que o espectro indicava a presença do helio. A explicação do facto é a seguinte. Como vimos, as particulas α são atomos de helio; este corpo estaria ocluso no vidro, apparecendo ao fim de algum tempo para augmentar o volume da emanação.

Em uma terceira experiencia, o volume inicial era 0,126 millimetros cubicos, correspondendo a 0,97 millimetros cubicos por gramma de radio. Este volume mantinha-se constante durante 20 minutos, diminuía depois lentamente, e ao fim de 17 horas reduzia-se a 0,076 millimetros cubicos, o que equivalia a 0,66 millimetros cubicos por gramma.

Finalmente, a ultima experiencia deu para volume inicial 0,083 millimetros cubicos, correspondendo a 1,05 por gramma. Estes volumes reduziam-se, depois de 4 horas, respectivamente, a 0,046 e 0,58 millimetros cubicos.

Como se vê, estes numeros estão em concordancia com o que se deduz da theoria, tomando para volume da emanação o que se deduz do volume final.

CAPITULO VIII

Desintegração do uranio, do thorio e do actinio. O ionio

Desintegração do uranio—Vimos, em um dos capitulos anteriores, que o atomo do radio experimenta successivas transformações, que dão origem a diversos productos, differindo pelas suas propriedades physicas e chimicas. Não é o radio a unica substancia radioactiva em que se observa a desintegração atomica. O mesmo succede com o uranio, o actinio e o thorio. Faremos uma succinta exposição do que acontece com estes corpos, poisque os phenomenos de radioactividade estabelecem uma tal connexão entre os corpos radioactivos que é quasi impossivel tratar d'um sem ter de fallar de todos os outros.

Em 1900, William Crookes tratou pelo carbonato de ammoniaco uma solução d'um sal de uranio até dissolver em um excesso de reagente o precipitado que primeiro se formára. O ligeiro residuo, que ficou, foi examinado pelo methodo photographico, depois de filtrado, reconhecendo-se que era muito activo; pelo contrario o sal primitivo era inerte. Crookes deu o nome de uranio X ao producto activo que assim tinha sido

separado do sal de uranio. A actividade do uranio X diminue segundo a lei exponencial, reduzindo-se a metade em 22 dias.

Empregando o methodo electrico em vez do methodo photographico, notou-se que o uranio perdeu os raios β mas não os raios α ; o uranio X emite os primeiros, e não os segundos.

Becquerel obteve o uranio X, partindo do nitrato de uranio dissolvido na agua e addicionado de chloreto de baryo. Depois de ter deixado os dois saes em contacto durante algum tempo, juntou acido sulphurico que precipitou o baryo sob a fórma de sulphato. Uma parte do uranio X foi arrastado com o precipitado. Repetindo a operação muitas vezes, conseguiu a separação completa. Este processo é de mediocre rendimento e fornece productos muito impuros.

Outros methodos tem sido modernamente empregados para separar as duas substancias. Dissolvem-se em 60 centimetros cubicos de acetona 5 grammas de nitrato de uranio crystallizado. A solução fica ligeiramente turva. Filtra-se este residuo, lava-se tres vezes com acetona, depois ensaia-se pelo methodo photographico, verificando-se que é muito radioactivo.

O nitrato de uranio filtrado experimentado sobre a placa photographica mostrou-se fracamente activo. Se filtrarmos o residuo insolavel e no liquido lançarmos uma pequena quantidade de hydrato de ferro humido, o nitrato de uranio fica isempto de uranio X.

Póde tambem operar-se do modo seguinte. Dissolvem-se na acetona cinco grammas de nitrato e, sem filtrar, lança-se no liquido hydrato de ferro humido. Filtrando a solução e lavando o residuo com acetona, vê-se que contêm toda a actividade β do fragmento primitivo, ao passo que o uranio obtido na filtração

não tem efeito algum sobre a placa photographica depois de uma exposição de cinco dias.

Outros dissolventes podem ser empregados para separar do uranio o uranio X. Dispensar-nos-emos de os enumerar, visto que o nosso intuito é apenas mostrar que os phenomenos de desintegração do atomo não são exclusivos do radio, mas tambem se observam no uranio. Accrescentaremos, comtudo, que, ao contrario do que as primeiras experiencias indicaram e atraz ficou dito, o uranio X emite igualmente raios α e β , qualquer que seja o dissolventé empregado. Rutherford e Grier reconheceram que, na separação pelo carbonato de ammoniaco, os raios α constituem a principio cerca d'um terço da actividade total. As radiações β diminuem de metade em 22 dias approximadamente, segundo uma lei exponencial; as radiações α decrescem igualmente e nas mesmas proporções. Com outros dissolventes as proporções dos raios α e β são variaveis.

Em 1909, Danne procedendo á separação e concentração do uranio X contido em 20 kilogrammas de nitrato de uranio, foi conduzido a caracterisar uma substancia radioactiva nova que considerou como intermediario entre o uranio e o uranio X. Danne deu-lhe o nome de *radiouranio*.

Não entraremos em pormenores do tratamento chimico empregado por Danne. Depois d'uma longa serie de reacções, o illustre physico obteve dois productos; um, contendo o uranio X, tinha uma actividade igual a 63 vezes a do uranio e pesava 0,5 grammas; o outro, contendo ferro, tinha uma actividade igual a 0,51 e pesava 0,4 grammas. Decorridos alguns meses, Danne notou que este ultimo producto se tornára 10 vezes mais activo. Procedeu então do seguinte modo.

O producto secco a 150° foi dissolvido de novo em agua quente; a parte insolvel, constituida sobretudo pelo oxydo de ferro, formou o producto B_1 . O liquido foi agitado com o hydrato ferrico precipitado de fresco; este hydrato lavado e secco constituiu o producto B_2 . Emfim, o liquido evaporado até á secco deu o producto B_3 .

Determinada a actividade d'estas tres substancias, viu que B_1 e B_2 tem actividade decrescente, B_3 tem actividade crescente. A actividade do producto B_2 decrescia segundo uma lei exponencial, de maneira a reduzir-se a metade em 22 dias, o que é a caracteristica do periodo de desactivação do uranio X. Segundo Danne, estes resultados só podem explicar-se suppondo que o producto primitivo continha com o uranio X o seu immediato antecessor. A separação effectuada repartiu as duas substancias em quantidades desiguaes em cada um dos tres productos B_1 , B_2 e B_3 ; o producto B_1 contém o radiouranio, com um excesso de uranio X; o producto B_2 contém o uranio X com uma pequenissima quantidade de radiouranio; o producto B_3 contém o radiouranio com uma pequena quantidade de uranio X.

Desintegração do thorio—Rutherford e Soddy foram os primeiros que, em 1902, obtiveram um producto de desintegração do thorio. Para isso, addicionaram ammoniaco ao azotato de thorio, obtendo um precipitado de oxydo de thorio, metade menos activo do que o oxydo de thorio ordinario. Em compensação, o liquido restante possuia uma certa actividade; evaporado o liquido, deixou um residuo com uma actividade 2500 vezes maior do que o oxydo de thorio. Esta substancia recebeu o nome de thorio X; o producto, assim obtido, do mesmo modo que o thorio, desen-

volve emanação. Ao fim de tres semanas a actividade do thorio X tinha decrescido notavelmente, segundo a lei exponencial. Deve, comtudo, notar-se que, no decurso do primeiro dia, a actividade do thorio X experimentava um sensível augmento.

No começo do anno de 1904, Ramsay submetteu a experiencias um fragmento de minerio proveniente de Ceylão. Este minerio, de apparencia bastante homogenea, tinha uma densidade superior a 9, côr escura e produziu á temperatura do rubro cerca de 9 centimetros cubicos de helio por gramma. Era muito radioactivo, parecendo constituido por uma mistura de terras raras, em que predominava o thorio. Dunstan deu-lhe o nome de thorianite.

Por esta occasião, o Dr. Hahn, um dos alumnos de Ramsay, procurando separar o radio pela crystallisação fraccionada dos brometos, suspeitou da existencia d'um novo corpo radioactivo. Depois de effectuar algumas crystallisações, reconheceu que uma outra substancia radioactiva estava misturada ao brometo de radio, e que a sua solubibilidade era mesmo superior á do brometo de baryo; além d'isso, a radioactividade augmentava nas fracções extremas, decrescendo nas fracções intermedias. Emquanto que a radioactividade das partes menos soluveis era evidentemente causada pelo radio, visto que a sua emanação era a d'este corpo, não havia duvida de que a radioactividade das partes mais soluveis era identica á do thorio. Tornava-se preciso, pois, operar a separação das duas substancias radioactivas, operação penosa e delicada a que o Dr. Hahn procedeu.

Não seguiremos esse trabalho, apontando apenas as suas conclusões, que confirmaram as previsões do Dr. Hahn. Ao novo corpo deu-se o nome de radiotho-

rio. Dá um oxalato que não se dissolve no oxalato de ammonio, mas soluvel no acido chlorydrico diluido. Com o ammoniaco dá um precipitado semelhante ao thorio hydratado.

No estado de hydroxydo ou de sal dissolvido na agua, produz continuamente uma emanação com as mesmas propriedades da do thorio. Como succede com a emanação do thorio, a sua radioactividade diminue de metade em 55 segundos. As differentes preparações da nova substancia tem poderes radioactivos differentes, segundo o methodo de tratamento; por exemplo, os productos aquecidos são menos activos do que aquellos que não tem sido levados ao rubro. O producto, depois de ter sido fortemente aquecido, brilha na obscuridade, mas sem aquecimento prévio não manifesta este phenomeno.

Collocadas por baixo d'um diaphragma phosphorescente, as preparações de radiothorio, envolvidas em papel, deixam escapar a emanação do thorio que sobe no ar e que produz no diaphragma uma luz bastante intensa; examinada á lupa, esta luz resolve-se em scintillações semelhantes ás do radio.

Procedendo a medidas da radioactividade do thorio, o Dr. Hahn achou que alguns milligrammas de radiothorio em solução dão uma quantidade de emanação, que só poderia ser produzida por uma quantidade de thorio meio milhão de vezes maior. Concluiu d'aqui que é muito provavel que o poder radioactivo do thorio seja devido á presença d'uma substancia especial que se pôde separar em um estado de pureza approximada, o radiothorio. Temos assim na serie do thorio já quatro corpos: thorio inactivo, radiothorio, thorio X, emanação.

Dadourian occupou-se em medir a actividade es-

pecifica d'um certo numero de compostos que encerram o thorio. Daremos apenas as conclusões a que chegou e a interpretação dos factos observados.

O radiothorio é o primeiro producto de desintegração do thorio e essa desintegração faz-se sem raios. Do radiothorio resulta o thorio X e d'este a emanação da qual provem outras substancias: o thorio A e o thorio B. Este ultimo producto de desintegração é complexo e compõe-se de dois productos de radiação α , com percursos differentes no ar.

Novas experiencias do Dr. Hahn permittiram tirar identicas conclusões quanto ao thorio B. Na opinião d'este physico, o thorio B não é uma substancia homogenea, poisque dá logar a dois feixes de raios α com percursos distinctos. Acompanha-se d'um novo producto radioactivo que emite por unidade de tempo sensivelmente o mesmo numero de raios α que o thorio B, o que indica que estes dois corpos são os productos successivos d'uma mesma transformação radioactiva. A explicação mais simples é admittir a existencia d'um novo elemento, o thorio C, que proviria do thorio B e não directamente do thorio A, como mostra o estudo d'uma lamina de nickel que desloca das soluções do thorio, ao mesmo tempo, o thorio B e o thorio C.

Resumiremos no quadro seguinte os differentes productos de desintegração do thorio, indicando a natureza dos raios que emittem e o seu percurso no ar.

Producto	Percurso dos raios α	Natureza dos raios
Thorio		Sem raios
Radiothorio	3,9 cm	Raios α
Thorio X	5,7 "	"
Emanação	5,5 "	"
Thorio A		Sem raios
Thorio B	5 "	Raios α
Thorio C	8,6 "	Raios α, β, γ

Boltwood procedeu a medidas da variação de actividade de certas preparações de thorio, concluindo pela existencia d'um producto intermediario, de transformação lenta e que não emite raios α , entre o thorio e o radiothorio.

A separação d'este producto, o *mesothorio*, póde effectuar-se de differentes maneiras. O ammoniaco precipita da solução d'um sal de thorio de preparação antiga o thorio e o radiothorio, deixando em solução o thorio X e o mesothorio; depois da evaporação até á seccura, forma-se um novo precipitado. A actividade do residuo diminue a principio com o tempo; ao fim de 30 dias torna-se muito fraca e fica estacionaria. Augmenta, em seguida, muito e o producto desenvolve uma emanção identica á do thorio; contem, portanto, radiothorio que se fórma por desintegração do mesothorio.

O thorio e o radiothorio encontram-se sempre juntos na serie das operações chemicas effectuadas sobre o sal; o thorio X e o mesothorio separam-se facilmente. A precipitação do sulphato de baryo na solução

d'um sal de thorio arrasta o mesothorio, que dá ulteriormente nascença ao radiothorio.

Antes da descoberta do radiothorio e do mesothorio, admittia-se na serie do thorio quatro corpos dotados de raios α : o thorio, o thorio X, a emanação e o thorio B. A descoberta do radiothorio, que Hahn mostrou ser dotado da radiação α , fez considerar o thorio como corpo inactivo, Ao mesmo tempo Hahn fazia vêr que a radioactividade induzida do thorio possui duas radiações α distinctas, e que ao lado do thorio B se deve admittir o thorio C, como já ficou dito, egualmente dotado de actividade α .

Experiencias posteriores de Hahn mostraram-lhe que existia um sexto corpo dotado de radiação α na serie do thorio; é o proprio thorio. Pelo que diz respeito á radiação β , admittia-se com Levin que só os thorios B e C emittem particulas β . Lerch, porém, demonstrou que o thorio A possui tambem uma radiação β lenta. Hahn verificou que o mesothorio emittes raios β , tanto por experiencias directas effectuadas sobre preparações d'aquella substancia, como, indirectamente, seguindo as variações de actividade β dos saes de thorio de idade differente.

Hahn descobriu nas preparações do mesothorio um novo corpo a que chamou *mesothorio 2*. O mesothorio é inactivo e de longa duração e dá por desintegração o mesothorio 2 que emittes raios β e cujo periodo é de 6,2 horas. Este corpo só póde isolar-se convenientemente partindo d'uma solução de mesothorio já muito pura. O reagente mais efficaç é o chloreto de zirconio em solução ammoniacal; o mesothorio 2 precipita com o zirconio.

Assim teremos finalmente o quadro seguinte dos productos da familia do thorio:

Thorio	Raios α
Mesothorio	
Mesothorio 2	" β
Radiothorio	" α
Thorio X.	" α
Emanação	" α
Thorio A.	" β lentos
Thorio B }	" α, β, γ
Thorio C }	

Desintegração do actínio—Debieerne, estudando o actínio, reconheceu que este corpo tem a propriedade de excitar em vaso fechado uma actividade induzida, cuja causa foi attribuida, a principio, aos *iões activantes* ou, como depois se chamou, á emanção emittida por aquella substancia. A emanção desaparece, segundo uma lei exponencial com uma rapidez extrema, reduzindo-se a metade em 3,9 segundos. Alem d'esta emanção de decrescimento tão rapido, Debieerne encontrou vestigios d'uma outra emanção de transformação lenta.

Em 1902, Giesel observou com algumas preparações provenientes de impurezas de radio e dotadas de fraca irradiação, uma propriedade notavel da emanção. Esta determinava sobre um diaphragma de blenda de Sidot uma viva phosphorescencia que se deslocava facilmente sob a influencia da corrente d'ar. Não se conhecendo n'esta epoca nenhuma substancia dotada de semelhante emanção, Giesel procurou o corpo que lhe dava origem, ao qual deu o nome de *emanio*. Mais tarde, este physico emittiu a hypothese da identidade do emanio com o actinio de Debieerne, hypothese que recebeu plena confirmação com o estudo das constantes de tempo dos productos de transformação dos dois corpos.

Em 1904, Rutherford indicou o facto de os productos de desintegração do actinio formarem uma serie identica á do thorio. Semelhantemente ao que succede com este corpo radioactivo, o actinio produz o actinio X que se transforma em emanação, a qual por sua vez dá origem successivamente aos actinios A, B e C.

Dada a analogia que existe entre o thorio e o actinio, Godlewski ensaiou o mesmo methodo que permitiu separar o thorio X. Dissolvia-se em acido chlorydrico diluido cerca de 15 centigrammas de emanio. Addicionava-se ammoniaco em excesso, filtrava-se o precipitado obtido, do qual se media a actividade. O liquido filtrado e evaporado era aquecido em uma capsula de platina até ao completo desenvolvimento dos fumos ammoniacaes; o diminuto residuo obtido tinha uma côr negra que uma calcinação ulterior fazia passar a branco. Resfriada a capsula, media-se a actividade do residuo; a principio tinha uma actividade intensa que ia perdendo com o tempo segundo uma lei exponencial; no primeiro dia augmentava de 15 por cento, reduzindo-se a metade em 10,2 dias. Alem d'isso, o tratamento pelo ammoniaco fazia com que o actinio em seguida á precipitação perdesse a radiação, que recuperava com o tempo. Estas propriedades são analogas ás do thorio X; d'ahi o nome de actinio X.

O augmento da actividade inicial do actinio X é devido á formação da radioactividade induzida. Esta radioactividade é soluvel no ammoniaco e volatil; quando se precipita o actinio pelo ammoniaco, reune-se ao actinio X no liquido filtrado. Sendo, porém, volatil, ao calcinar-se esta substancia, a radioactividade desaparece, ficando só o actinio X. Mas este produz constantemente emanação que de novo se transforma em radioactivi-

dade induzida. A actividade d'esta é capaz de compensar, e exceder até, a destruição lenta do actinio X, fazendo assim crescer a actividade total.

Por outro lado, o actinio precipitado pelo ammoniaco perdeu não só o actinio X mas tambem a radioactividade induzida. A actividade deve, pois, começar por crescer e isto por dois motivos; forma-se de novo actinio X que a seu turno dá origem a radioactividade induzida.

O actinio X emite raios α , β e γ . Poder-se-ia supôr que os raios β e γ são devidos á radioactividade induzida, visto que a medida da actividade d'aquella substancia implica a medida da radioactividade induzida. Adoptando, porém, precauções especiaes, reconhece-se que tal suposição não é verdadeira.

Identicamente ao que succede com o thorio, a emanação é produzida pelo actinio X. Experiencias cuidadosas mostraram que o actinio, logo depois da separação do actinio X, quasi não emite emanação e que o poder de emanação d'aquelle producto de desintegração diminue com o tempo segundo a mesma lei e com a mesma velocidade que a sua actividade. O facto da emanação depender da presença do actinio X e a circumstancia de ella ser proporcional á sua massa mostram que é d'este producto que immediatamente deriva a emanação.

Godlewski, depois de separar o actinio X pelo ammoniaco, reconheceu que o actinio que restava era uma substancia quasi desprovida de raios, isto é, com uma actividade α muito fraca. Levin repetiu as experiencias de Godlewski, mas chegou a resultados um pouco differentes. A actividade α do actinio nunca descia abaixo de 28 por cento do seu valor maximo. Este facto não podia attribuir-se á presença do actinio X,

nem á radioactividade induzida porque a radiação β era muito fraca.

Um resultado inesperado se observou por esta occasião com outra preparação de actínio. As radiações α e β iam ambas crescendo rapidamente e attingiam um maximo depois de 20 dias em vez de 60, como de ordinario. A metade do maximo era attingida ao fim de 4 dias, e não de 10 como deveria ser se o effeito resultasse da formação do actínio X. N'este caso tambem a actividade β inicial era muito fraca, mas a actividade α era de 40 por cento, valor incompativel com o que se sabia acerca dos productos de desintegração do actínio.

Foi então que Hahn, ao repetir estas experiencias, chegou á conclusão de que existia um novo producto de raios α do actínio, intermediario entre este e o actínio X, ao qual deu o nome de radioactínio. Este producto emite raios α e tem uma constante de tempo de 20 dias. Hahn separou o radioactínio do actínio por meio d'um precipitado de enxofre que arrasta aquella substancia, e mostrou que o actínio recupera a sua actividade em um periodo de cerca de 20 dias. Provou tambem que o radioactínio dá origem ao actínio X. A actividade do radioactínio attinge um maximo em 20 dias aproximadamente, depois decresce segundo uma lei exponencial, com um periodo de 20 dias. O accrescimento é devido á formação do actínio X e dos seus productos, como Hahn provou separando o actínio X d'uma preparação de radioactínio de muitas semanas.

Esta descoberta explica as anomalias que Levin tinha achado. A radiação α era devida ao novo producto achado por Hahn. O maximo attingido em 20 dias era devido ao radioactínio e não ao actínio.

Quando tratamos dos productos de desintegração

do thorio, fallamos do thorio A e do thorio B. Tambem para o actinio existem substancias analogas: o actinio A e o actinio B. Estes productos podem obter-se por electrolyse, partindo do actinio X. Electrolysando uma solução d'este corpo no acido chlorydrico, Levin obteve no catodo o actinio B. Antes d'este physico, Giesel tinha conseguido este mesmo resultado, sem comtudo identificar o producto separado. Miss Broockes procedeu tambem com exito a operações de electrolyse sobre a solução da actividade induzida, formando-se no catodo o actinio B.

Levin, empregando uma força electromotriz maior, em uma solução de actinio X em acido azotico, conseguiu obter no catodo não só o actinio B, mas tambem o actinio A.

Levin procedeu a experiencias sobre as propriedades electroquimicas dos productos de desintegração do actinio, empregando metaes mergulhados nas soluções. O zinco, o chumbo, o cobre e a prata depositam o actinio B das soluções acidas do actinio X. Os mesmos metaes, exceptuando a prata, depositam o actinio A e talvez o actinio B das soluções ammoniacaes.

Levin tambem fez experiencias sobre a volatilisação dos ultimos productos de transformação do actinio, de que nos estamos occupando. Verificou que o actinio A não é volatil abaixo de 400 graus. Acima d'esta temperatura começa a volatilisação que cresce com a temperatura. A 750 graus, durante 10 minutos, volatilisa totalmente. Proximo de 700 graus começa a volatilisação do actinio B, não podendo fazer-se com rigor a determinação d'esta temperatura por causa da grande velocidade de transformação d'esta substancia.

Hahn e Meitner, estudando as curvas de desactivação do actinio A e do actinio B, suspeitaram da

existencia d'um novo producto, o actinio C, de desintegração muito rapida, que emittiria raios β . Procuraram verificar se assim era. Para isso purificaram com o maior cuidado o actinio, preservando-o de todas as impurezas, principalmente do radio. Depois d'isso preparou-se a radioactividade induzida sobre laminas metallicas ou em solução. D'ahi se procurou, por varios processos, isolar a substancia hypothetica. Pela acção do negro animal e do negro de platina, conseguiram-se productos pouco activos, cuja radiação β não tinha o periodo de tempo dos actinios A e B, mas um periodo de 5 minutos approximadamente. Ensaiou-se a distillação fraccionada a 400 graus por aquecimento ao massarico. Sabe-se que assim se expulsa o actinio A. As laminas tratadas por este processo, deram uma queda rapida de actividade β (5 minutos). A actividade observada não podia provir do actinio β cuja desaparição se faz em 2,15 minutos. Pareceu a Hahn que o actinio B não emittia raios β e que estes provinham d'um novo corpo. Esta supposição foi confirmada pela seguinte experiencia. Dividiu-se em duas partes a lamina aquecida; em uma estudou-se a radiação α , em outra a radiação β . A primeira deu um decrescimento com o periodo caracteristico do actinio B, 2,15 minutos. A segunda mostrou primeiro um augmento com um maximo, depois um decrescimento que se faz com um periodo de 5,1 minutos. Não se póde, pois, duvidar da existencia do actinio C.

Sendo assim, o quadro seguinte reunirá os diversos productos de desintegração do actinio, com a radiação que os caracteriza, as constantes de tempo e as distancias maximas de ionisação das particulas α .

Producto	Natureza dos raios	Tempo	Percurso em cm.
Actinio	Sem raios	?	
Radioactinio	α	19,5 dias	4,8
Actinio X	α	10,2 dias	6,55
Emanação	α	3,9 segundos	5,8
Actinio A	Sem raios	36 minutos	
Actinio B	α, γ	2,5 minutos	5,50
Actinio C	β	5 minutos	

O *ionio*—Resta-nos fallar d'um outro corpo descoberto por Boltwood e ao qual este physico deu o nome de *ionio*. Esta substancia foi extraída d'um minerio de uranio, a carnotite, que se dissolve em acido chlorydrico. Juntam-se-lhe alguns grammas de terras cericas sob a fôrma de chloretos; separam-se as terras raras pelo ammoniaco e tratam-se em seguida pelo thiosulfato de sodio que precipita o thorio e o ionio, os quaes se purificam em seguida por muitas precipitações successivas com auxilio do mesmo reagente. A substancia assim obtida tem uma actividade alguns milhares de vezes maior do que a d'um peso igual de uranio puro. Contém ao principio um pouco de uranio X que desaparece ao fim de algum tempo.

O ionio emite particulas α cujo percurso no ar á pressão normal é de 2,8 cm. Emite tambem raios β menos penetrantes do que os do uranio X. As propriedades chimicas do ionio estudadas até hoje são muito identicas ás do thorio. O ionio é, na opinião de Boltwood, um producto de desintegração do uranio, intermediario entre o uranio X e o radio.

CAPITULO IX

Alguns problemas da radioactividade

Constituição dos corpos radioactivos—Acabamos de vêr no capitulo anterior que não era só o radio que soffria transformações. Em todos os corpos em que se manifestam os phenomenos de radioactividade se observa a desintegração atomica, parecendo obedecer a principios geraes, como é, por exemplo, a lei exponencial característica que regula os phenomenos de desactivação.

Rutherford considera as transformações operadas nos corpos radioactivos de natureza atomica, isto é, os corpos radioactivos são elementos chimicos verdadeiros, cujos atomos se iriam desintegrando pouco a pouco, dando origem por um lado a electrons, por outro lado a atomos d'um typo novo. Ora a tendencia actual conduz a considerar a radioactividade como uma propriedade geral da materia. A ser assim, o electron, uma realidade puramente energetica, seria o principio unico constitutivo do universo.

Blanc, professor da Universidade de Roma, formúla outra hypothese, levado pelas seguintes considerações. Os processos radioactivos distinguem-se dos processos

chimicos por dois factos: independencia dos processos radioactivos em relação a todos os agentes physico-chimicos conhecidos, differença na ordem de grandeza das quantidades de energia postas em acção.

Quanto ao primeiro, algumas experiencias de Makower parecem mostrar uma certa influencia da temperatura em phenomenos de natureza radioactiva. Se bem que não se possa fazer affirmações categoricas, em todo o caso ha já logar a duvidas. Ficamos, pois, reduzidos ao segundo facto, a differença na ordem de grandeza das quantidades de energia. A emanação do radio, por exemplo, quando se transforma em radio A, desenvolve uma quantidade de energia mais d'um milhão de vezes superior á que se desenvolve na mais energica das reacções chimicas. D'ahi o admittir-se que os processos radioactivos interessam não as ligações moleculares mas as ligações atomicas e, portanto, se a radioactividade é uma propriedade geral da materia, somos levados a considerar o electron como o seu elemento constitutivo.

Diz, porém, Blanc que, em primeiro logar, se em alguns metaes tem sido observados os raios de Becquerel, em muitos gazes nada se tem notado.

Por outro lado, entre os constituintes dos corpos radioactivos, encontram-se os gazes chimicamente inertes, como, por exemplo, o helio de cuja producção pelo radio não é licito duvidar. Debieerne assegura mesmo que aquelle gaz é um dos productos de desintegração do actinio. Além d'isso, Moureu notou que, entre os gazes evolados de fontes mineraes em que se encontram corpos radioactivos, existem não só o helio mas tambem outros gazes inertes. Experiencias de Ramsay parecem indicar que na presença da emanação do radio se observa, em alguns casos, producção de helio e de

outros gazes inertes, como o neon, o argon, e tambem corpos não inertes, como o lithio.

Sendo assim, poder-se-ia admittir que o radio, a sua emanção e todas as substancias radioactivas são compostas de elementos chimicamente inertes, como o helio, o neon, o argon, unidos a outros elementos. A inercia chimica d'alguns d'estes corpos constitutivos da substancia activa poderia fazer suppôr que a formação d'esta necessitou de quantidades de energia muito grandes em relação ás que ordinariamente se observam nas reacções chimicas, o que explicaria tambem a independencia dos processos radioactivos em relação aos agentes de que podemos dispôr.

Poder-se-ia, pois, admittir que os corpos radioactivos são formados de agrupamentos de atomos de certos typos de materia fundamentaes e indestructiveis, ligados entre si por forças senão qualitativamente pelo menos quantitativamente differentes das affinidades chimicas ordinarias.

Genealogia dos corpos radioactivos— Adoptando, para explicar os phenomenos da radioactividade, a hypothese da desintegração atomica de Rutherford, é natural que se procure saber qual a ordem de filiação que liga os corpos radioactivos. No estudo d'esta questão dever-se-á partir do uranio, por ser a substancia radioactiva que tem um peso atomico maior 238,5. D'este corpo derivarão as outras substancias radioactivas por desintegrações successivas.

Experiencias de Strutt e Boltwood mostraram que em um grande numero de minerios radioactivos se verifica a proporcionalidade entre as quantidades de uranio e de radio, d'onde é licito concluir a intima relação que existe entre estas substancias. Resta saber se do

uranio, ou antes do ultimo dos seus productos de des-integração, provirá immediatamente o radio, ou se estará de permeio alguma das outras familias dos corpos radioactivos.

Rutherford era de opinião que entre a familia do uranio e a do radio se interpunha a do actinio. Ora o peso atomico do uranio é 238,5 e o do radio 226,7; por conseguinte, estes dois corpos differem de 11,8 unidades. Sendo o peso atomico do corpusculo α 3,79, vê-se que para passar do primeiro para o segundo ha apenas a emissão de tres particulas α , o que faz regeitar a opinião de Rutherford, poisque na familia do actinio ha mais de tres productos de radiação α .

Pelo que diz respeito aos productos que se seguem ao radio não se está mais esclarecido. A principio julgou-se que do ultimo producto de desintegração d'aquella substancia radioactiva resultava o chumbo. Esta supposição era, até certo ponto, appoiada pelas experiencias de Boltwood, que verificou em todos os minerios radioactivos a presença do chumbo em quantidade proporcional á quantidade de radio que n'esses minerios existia. Ha, porém, que attender ao seguinte. Na familia do radio ha, pelo menos, seis productos que emittem raios α , e dizemos pelo menos porque, se existe uma velocidade critica abaixo da qual os raios α não se manifestam, é possivel que alguns corpos considerados inactivos na realidade o não sejam. O producto que segue o radio F deveria ter, portanto, o peso atomico 201,2, ao passo que o peso atomico do chumbo é 206,5.

Resta fallar da familia do thorio. N'esta familia encontram-se pelo menos seis elementos que emittem raios α capazes de ionisar o ar. O peso atomico do

producto final deveria ser, pois, 208,2, valor proximo do peso atomico do bismutho.

A desintegração artificial—A desintegração do radio é acompanhada d'um grande desenvolvimento de energia, que, segundo os calculos de Rutherford, pôde ser um milhão de vezes maior do que a que se manifesta nas reacções chemicas mais energicas. Se os phenomenos de radioactividade se manifestarem em toda a materia, e com identico desenvolvimento de energia, estaremos em presença de fontes de energia consideraveis. Ocorre, pois, averiguar se essas fontes de energia poderiam á nossa vontade ser aproveitadas, isto é, se poderá provocar-se de alguma maneira a desintegração atomica. Comprehende-se facilmente o alcance que apresenta esta face do problema da radioactividade. Além d'isso, teriamos a considerar a vantagem que se tiraria da producção de substancias que tivessem peso atomico inferior á de outras que se podessem desintegrar. Em todo o caso, o proveito que d'isso se tiraria é de secundaria importancia em face do desenvolvimento consideravel de energia que tinhamos á disposição.

O agente physico que primeiro lembra, n'esta ordem de ideias, é o calor. A principio, suppoz-se que a temperatura em nada influia sobre a radioactividade. Comtudo, experiencias de Makower, a que já nos referimos, parecem indicar que isso não é inteiramente exacto; a uma temperatura superior a 1000 graus, a desintegração d'um dos productos da serie do radio é accelerada.

Quanto ao magnetismo, é sabido que um campo magnetico tem acção sobre os electrons em movimento, deformando-lhes as trajectorias no interior do atomo.

Poderia uma tal acção intensificar-se a ponto de chegar a abrir essas trajectórias, destruindo as ligações inter-atómicas?

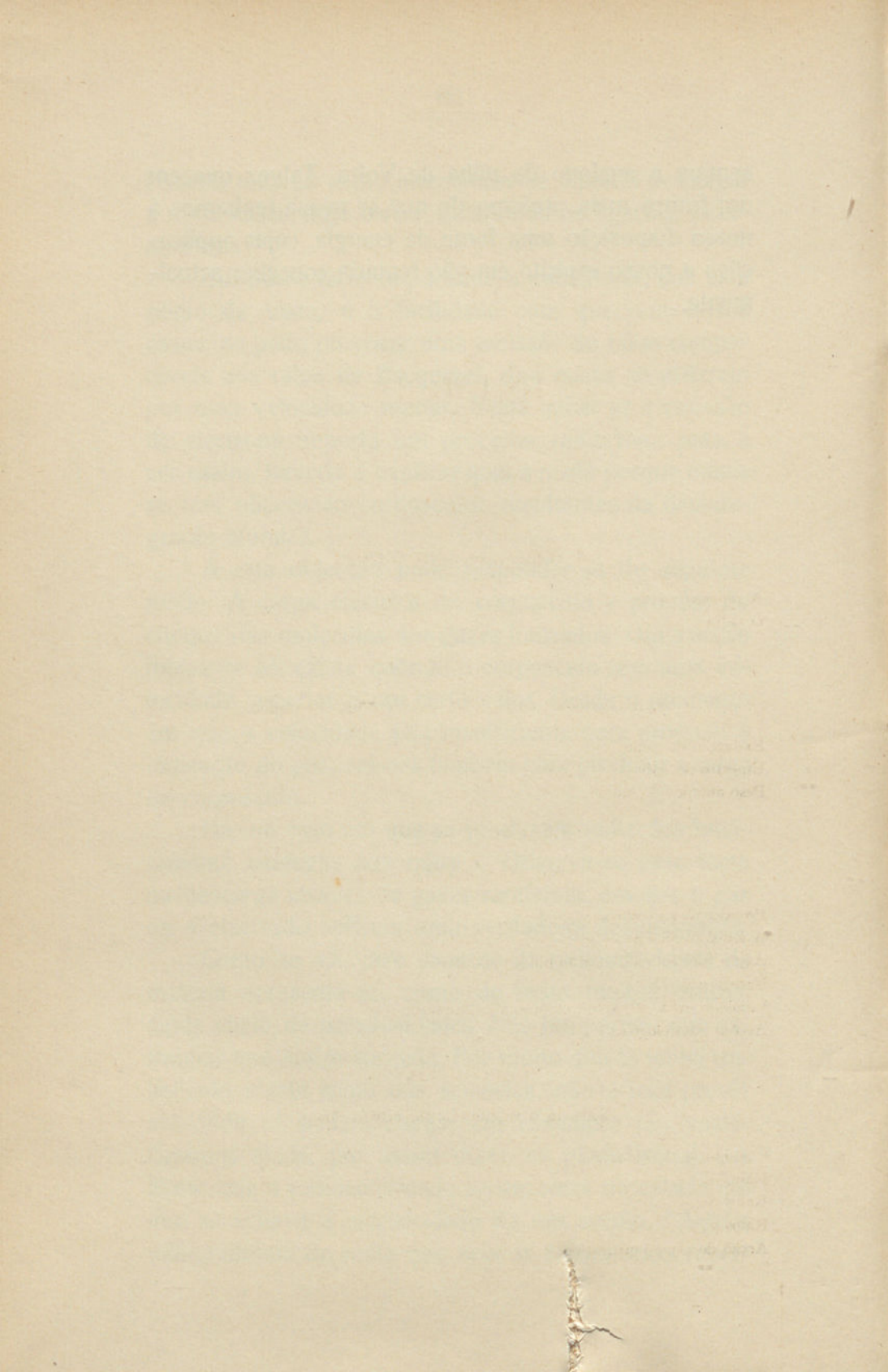
Um outro facto importante a considerar, sob este ponto de vista, é a facilidade com que, em certos casos, se pôde provocar uma emissão de raios comparáveis aos raios de Becquerel, dos quaes só differem por uma velocidade menor. Resta saber se a emissão de electrons importa um processo radiactivo, mas, a ser assim, haveria a explicar qual a razão porque nunca se tem observado corpusculos resultantes da desintegração atomica.

A esta objecção pôde responder-se do seguinte modo. A carga electrica do corpusculo α provém do choque das moleculas dos gazes ionisados. Ora a acção ionisante só existe quando o corpusculo tem uma velocidade superior a um certo valor. Desde o momento em que a velocidade seja insufficiente para produzir a ionisação do gaz, sel-o-á tambem para produzir a carga do corpusculo.

Ha um caso em que se produzem radiações inteiramente analogas aos raios α . Observa-se esse facto na descarga atravez de gazes rarefeitos, em que o gaz ou o electrodo soffrem uma verdadeira desintegração.

Como se vê, este capitulo da radioactividade da materia apresenta-se, como de resto muitos outros, ainda cheio de nebulosidades. Não ha, porém, que estranhar que assim succeda. Por muito que se tenha trabalhado n'este ramo das sciencias, não é facil prevêr até onde se poderá chegar em assumpto tão vasto. Estamos ainda, por assim dizer, na phase inicial. Diz Blanc que a radioactividade se encontra no estado em que se achava a electricidade ha um seculo. "Alguns milligrammas de radio nos nossos laboratorios repre-

sentam o analogo da pilha de Volta. Talvez que em um futuro mais proximo do que se pensa tenhamos á nossa disposição uma fonte de energia, cujas applicações o nosso espirito em vão tentaria conceber actualmente.,,



INDICE

CAPITULO I

A radioactividade. O radio

A radioactividade.	7
O radio	10

CAPITULO II

Extracção do radio. Espectro. Peso atomico

Extracção do radio	15
Espectro do radio.	18
Peso atomico do radio	21

CAPITULO III

Propriedades do radio

Propriedades thermicas do radio	25
A ionisação dos gazes pelos corpos radioactivos	30
Acção ionisante sobre os liquidos e os solidos	37
Energia chimica	39
Luminescencia. Phosphorescencia. Fluorescencia	43
Acções physiologicas.	49

CAPITULO IV

Estudo e natureza da radiação

Composição da radiação.	55
Raios α	56
Raios β	57
Raios γ	58
Acção do campo magnetico	59

Carga electrica dos raios β	61
Acção do campo electrico sobre os raios β	65
Velocidade e relação da carga para a massa nas particulas electrizadas negativamente	66
Energia dos raios β	67
Natureza dos raios α ; velocidade e relação da carga para a massa	68
Absorção dos raios	69
Raios secundarios	80
Spinthariscopio	80

CAPITULO V

**Radioactividade induzida. Emissão produzida
pelos corpos radioactivos**

Diversas experiencias	83
Desactivação ao ar livre.	89
Desactivação em recinto fechado	91
Propriedades e natureza da emissão	93
Espectro da emissão	96
Transformação da emissão em helio	97

CAPITULO VI

Transformações do radio

Primeiros productos da transformação	101
Transformação lenta do radio	108
Desactivação do radio F	112
Augmento da actividade α do deposito radioactivo	113
Origem do Polonio e do Radiotellurio	115
Radio D e Radiochumbo (chumbo radioactivo)	120
Radio E ₁ e radio E ₂	123
Propriedades dos diferentes productos de desintegração do radio	125

CAPITULO VII

Carga electrica e natureza das particulas α

Valor de $\frac{E}{M}$ para as particulas α do radio C.	133
Valor de $\frac{E}{M}$ para as particulas α do radio A	135
Valor de $\frac{E}{M}$ para o radio F	136
Valor de $\frac{E}{M}$ para o actinio	137
Valor de $\frac{E}{M}$ para o thorio	138

Cargas electricas da particula α e do atomo do hydrogenio	140
Natureza das particulas α	141
Lei de produção do helio pelo radio	143
Numero de particulas α emittidas pelo radio	145
Volume da emanação	147

CAPITULO VIII

Desintegração do uranio, do thorio e do actinio. O ionio

Desintegração do uranio.	151
Desintegração do thorio.	154
Desintegração do actinio	160
O ionio.	166

CAPITULO IX

Alguns problemas da radioactividade

Constituição dos corpos radioactivos.	167
Genealogia dos corpos radioactivos	169
A desintegração artificial	171



INSTITUTO DE FÍSICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO





RÓ
MU
LO

CENTRO CIÊNCIA VIVA
UNIVERSIDADE COIMBRA



132965845X

