

FRANCISCO MARTINS DE SOUZA NAZARETH

Bacharel em Filosofia

Ionisação dos gases em vaso fechado



Imprensa da Universidade
Coimbra — 1915

Sala 5
Gab. —
Est. 56
Tab. 20
N.º 18

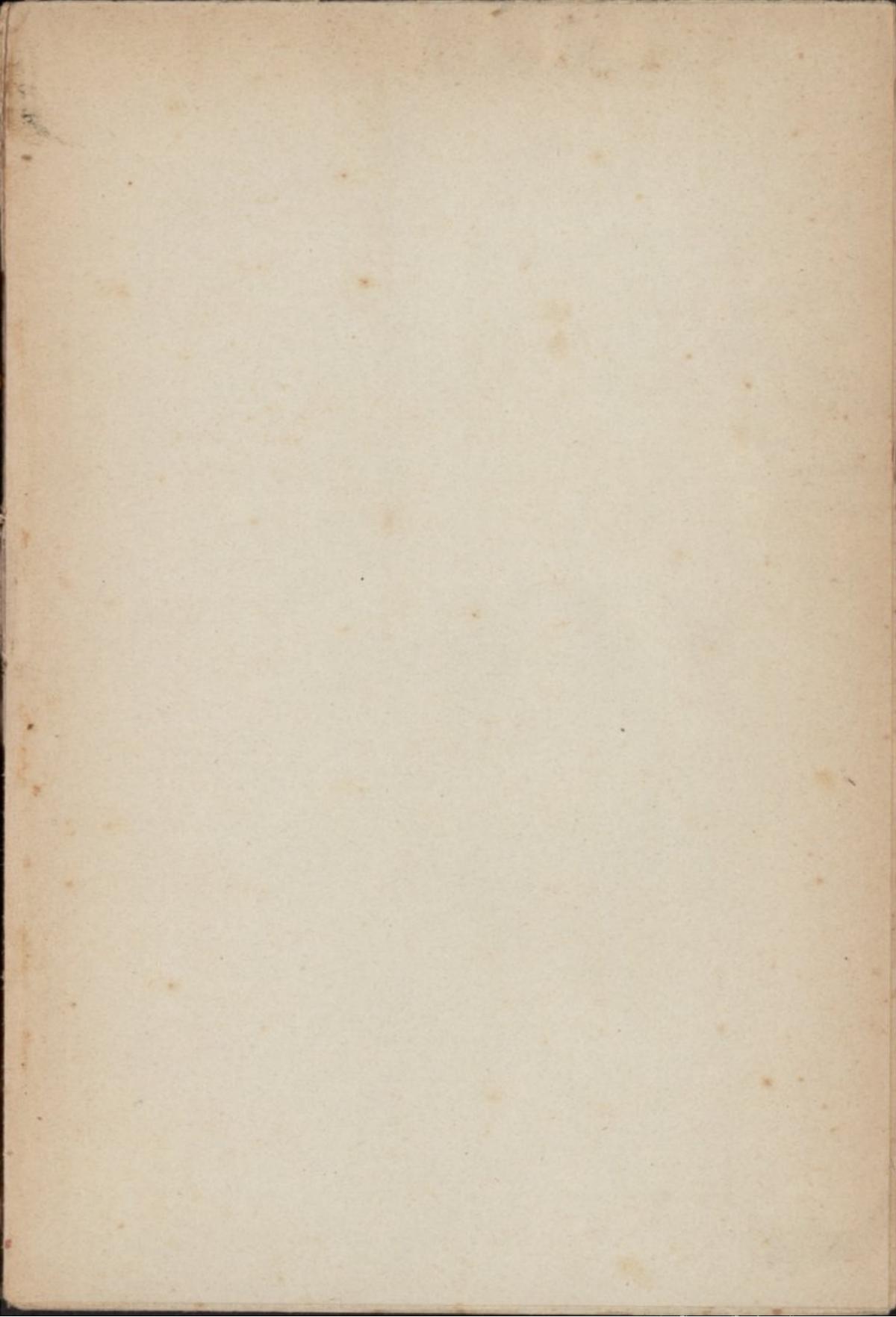
Sala 5

Gab. —

Est. 56

Tab. 20

N.º 18

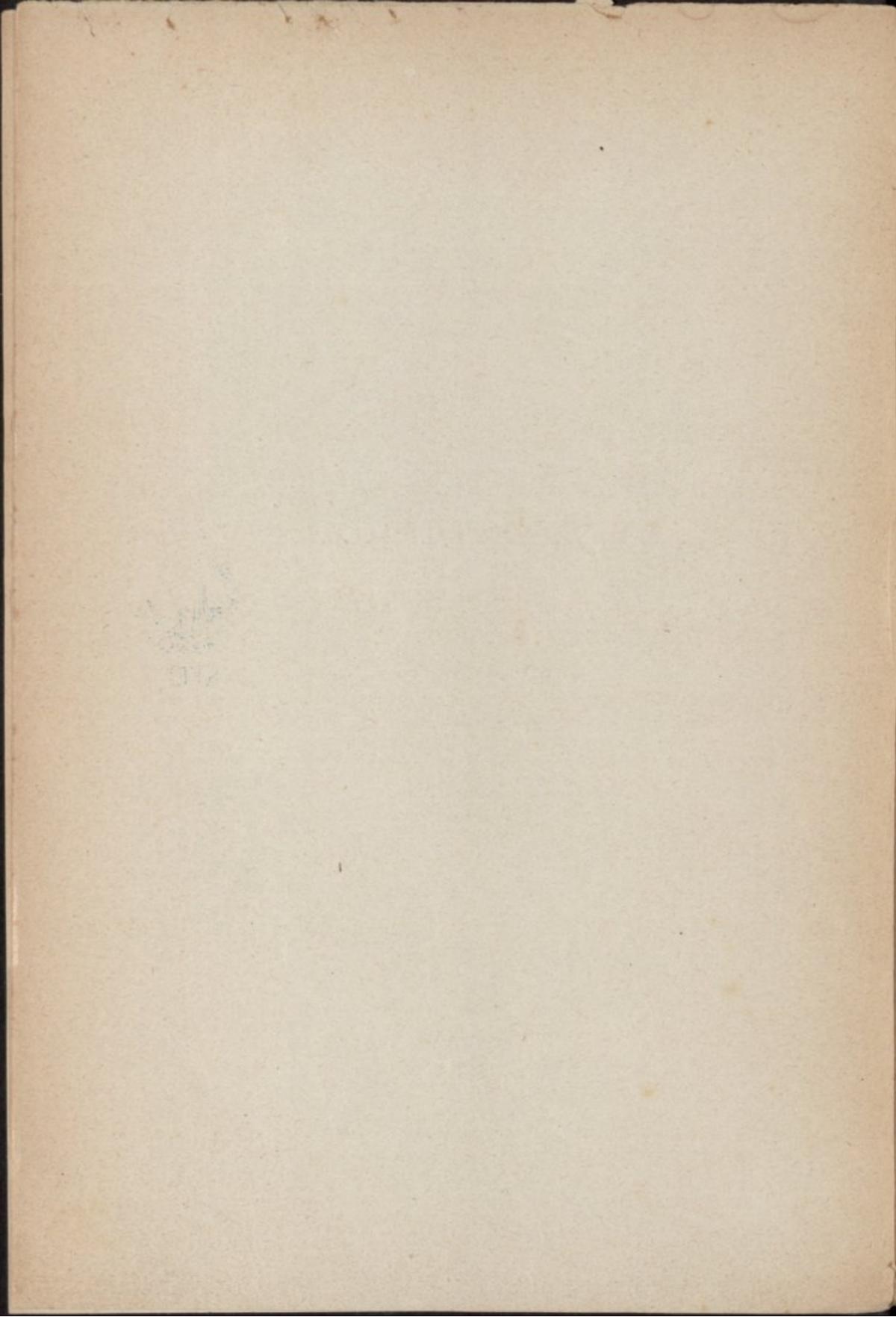




IONISAÇÃO DOS GASES
EM VASO FECHADO



1 40 FEV. 17



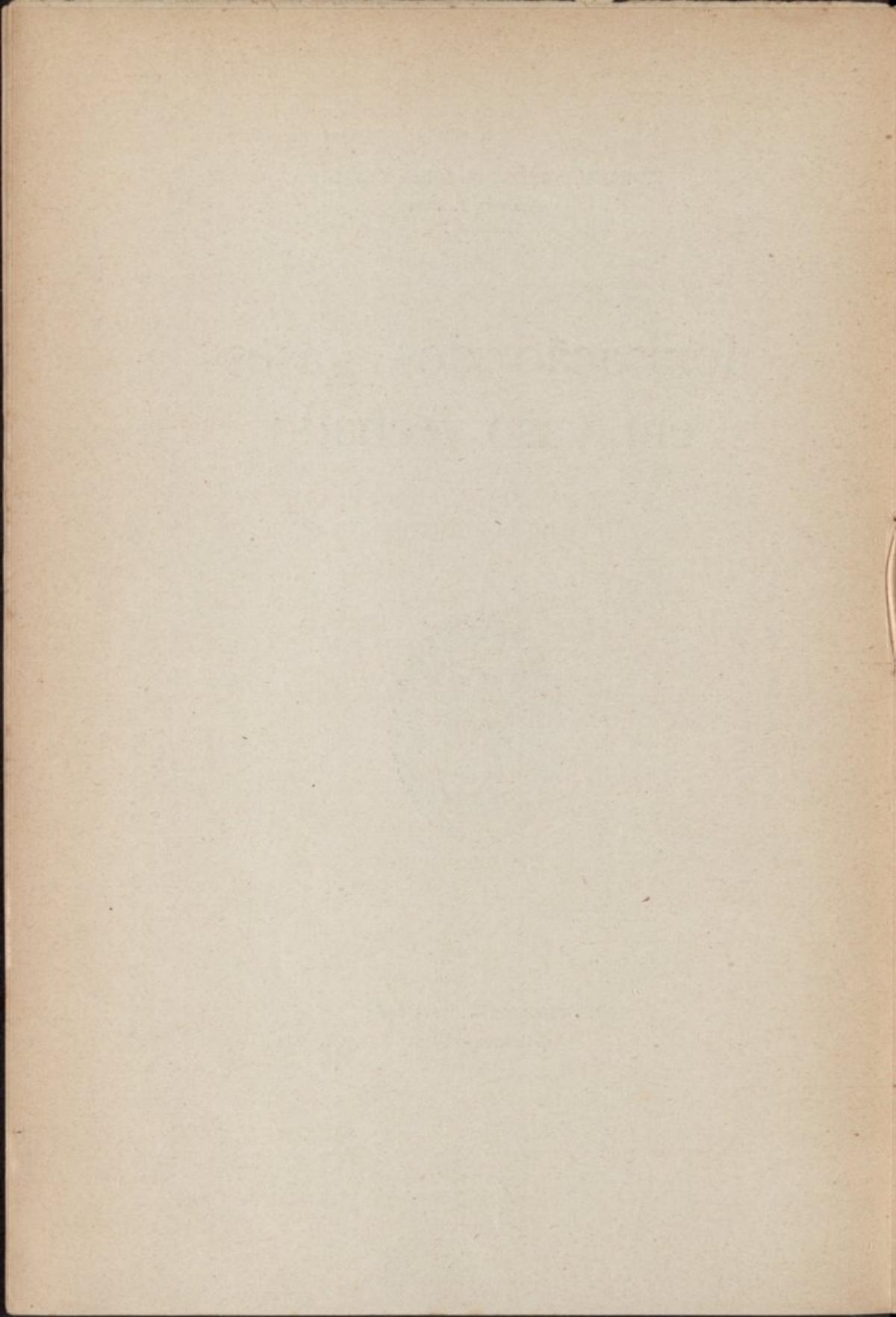
FRANCISCO MARTINS DE SOUZA NAZARETH

Bacharel em Filosofia

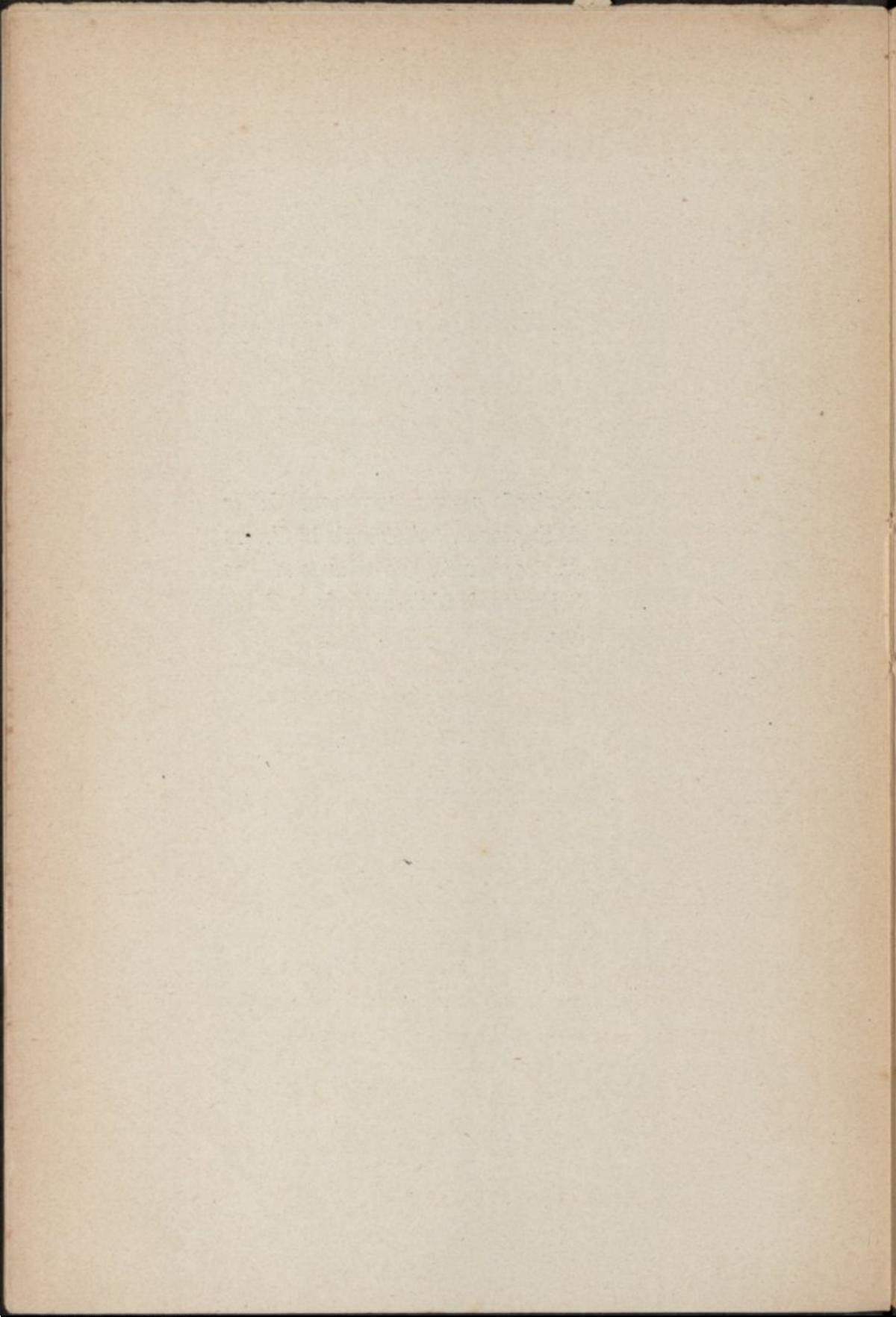
Ionisação dos gases em vaso fechado



Imprensa da Universidade
Coimbra — 1915



*Dissertação para o concurso ao lugar
de Segundo Assistente do 1.º Grupo
da 2.ª Secção, da Faculdade de
Sciências da Universidade de Coim-
bra.*



PRÓLOGO

O estudo da ionisação dos gases em vaso fechado tem sido, nos últimos tempos, objecto de numerosos trabalhos. O ponto de partida destas investigações foi a descoberta feita em 1900, simultâneamente por C. T. R. WILSON e ELSTER e GEITEL, de que a condutibilidade dos gases, encerrados em recipientes fechados, era devida ao facto de êles se encontrarem fracamente ionizados.

Ora, é sabido que a ionisação duma massa gasosa desaparece rapidamente, devido à recombinação dos iões, logo que deixe de actuar a causa que a produzia. O facto dos gases conservarem, em vaso fechado, uma condutibilidade apreciável, implica naturalmente a existência de um agente permanente de ionisação.

A investigação das causas desta ionisação tem sido o principal problema posto aos experimentadores, que de 1900 até hoje se tem occupado desta questão.

Estes estudos tiveram grande desinvolvimento, sobretudo em Inglaterra, e era, nessa época, opinião quasi geral, sustentada sobretudo por J. J. THOMSON e pelos seus alunos, que a ionisação dos gases era devida a uma fraca radioactividade das paredes do recipiente que os continha.

Entretanto descobria-se a existência de substâncias radioactivas no solo e na atmosfera; era natural, portanto, procurar neste facto a explicação da ionisação em vaso fechado.

Porém, verificou-se que, contrariamente ao que primeiro se esperava, as radiações emitidas por estas substâncias radioactivas não podiam explicar a totalidade da ionisação observada.

Para dar conta da fracção da ionisação em vaso fechado, que as substâncias radioactivas contidas no solo e na atmosfera não podem explicar, há hoje uma certa tendência para voltar à antiga hipótese da emissão de radiações pelas paredes do vaso, ou então, a admitir que os gases, devido aos choques entre moléculas, devidos à sua agitação térmica, se encontram, independentemente de qualquer causa exterior, fracamente ionisados.

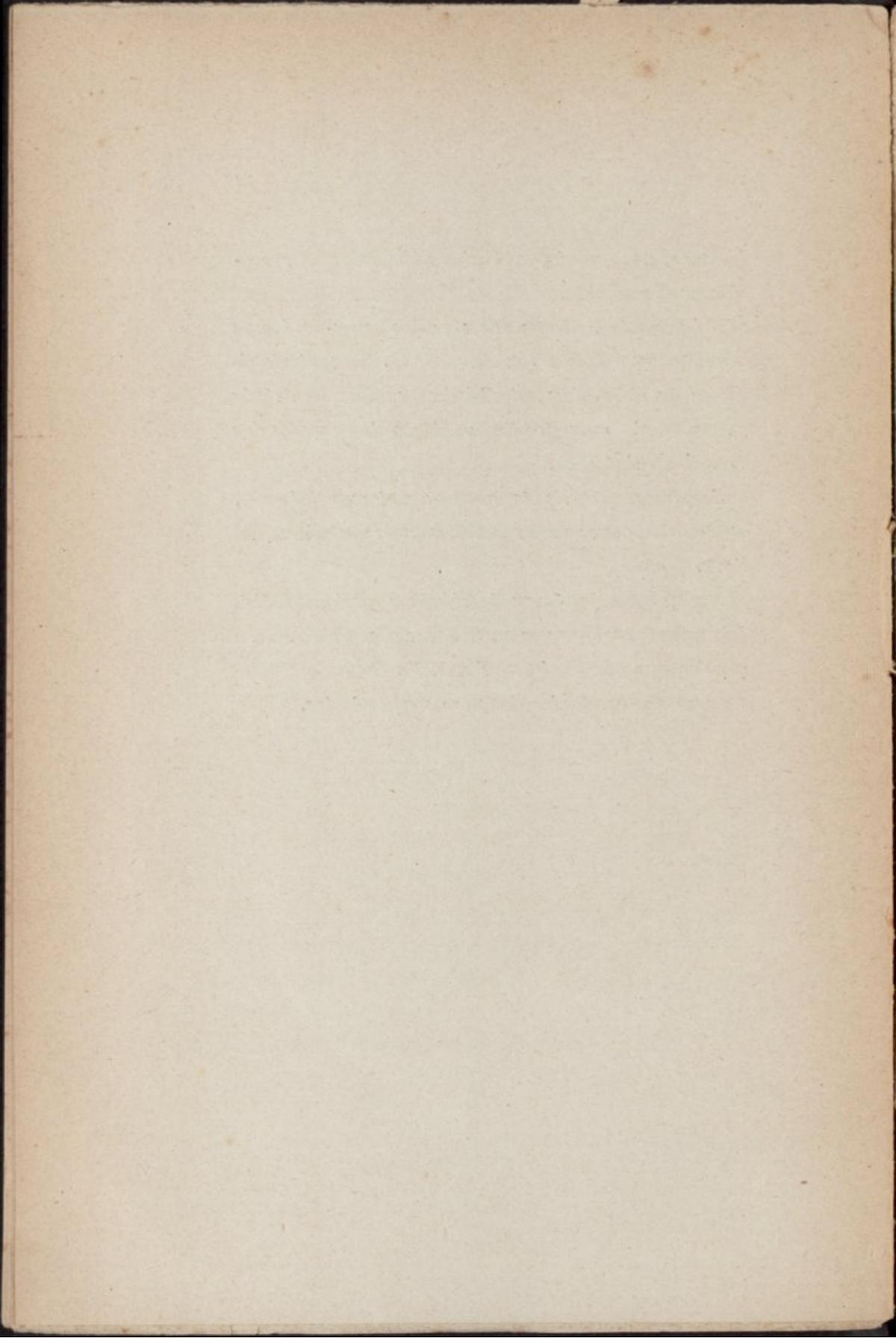
Apesar do grande número de trabalhos até hoje pu-

blicados, esta questão está ainda longe de poder considerar-se resolvida.

No presente trabalho são expostos os resultados de algumas experiências que fizemos, no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra, com o fim de pôr em evidência uma possível radiação das paredes dos recipientes metálicos.

Julgámos, no entanto, que não seria sem interesse, expôr, ainda que muito resumidamente, o estado actual desta questão.

Dado o grande número de trabalhos publicados sôbre este assunto, ocupar-nos emos apenas dos principais, o que faremos nos Capítulos I e II. No Capítulo III trataremos dos resultados das nossas experiências.



CAPÍTULO I

História. Fenómenos gerais

Foi COULOMB em 1785 (1) quem pela primeira vez observou que um corpo isolado e carregado de electricidade perde, lentamente ao contacto do ar, a sua carga. COULOMB estudou em detalhe esta questão.

Verificou que essa perda tinha lugar através do ar e ao longo do suporte isolador.

Empregando isoladores convenientes verificou que era através do ar que tinha lugar a perda mais importante. Com o fim de reduzir tanto quanto possível a perda pelo suporte, COULOMB empregava para sustentar a esfera electrizada uma agulha de goma laca que a tocava apenas por uma superfície extremamente pequena. Verificou que, dêste modo, a perda ao longo do suporte era desprezível, observando que esta era a mesma quando a esfera era tocada só por um, ou por três isoladores iguais.

(1) *Histoire et Memoires de l'Academie Royale*, 1785, 612-638.

Dispondo assim de um isolador praticamente perfeito, COULOMB estudou as leis da perda através do ar, servindo-se para isso da sua balança de torsão. As esferas eram carregadas por contacto e eram levadas a uma distância, por exemplo, de 30° sob a acção de uma torsão total de 150° ; esta torsão era em seguida diminuída de 20° e contava-se o tempo que a esfera móvel gastava para chegar novamente à distância de 30° da esfera fixa.

Repetia-se a mesma experiência enquanto o permitia a carga das esferas.

Procedendo assim, COULOMB chegou ao seguinte resultado: *a relação entre a força eléctrica perdida durante um certo tempo e a força média durante esse mesmo tempo é constante.*

Extraímos da memória de COULOMB uma série de medidas que verificam a lei enunciada.

Intervalo entre 2 observações consecutivas	Distância das esferas	Torsão do micrómetro	Perda de f. eléctrica entre 2 observações	Força média entre 2 observações	Relação entre a f. em 1^{a} e a f. média
$5^m \frac{3}{4}$	30	120	20	140	$\frac{1}{40}$
$6^m \frac{1}{4}$	30	100	20	120	$\frac{1}{38}$
$8^m \frac{1}{2}$	30	80	20	100	$\frac{1}{42}$
10^m	30	60	20	80	$\frac{1}{40}$
14^m	30	40	20	60	$\frac{1}{42}$

Seja F a força eléctrica num instante T , e dF a força

perdida durante o tempo dt , temos

$$\frac{dF}{F} = -m \cdot dt$$

ou

$$\frac{dF}{dt} = -mF$$

que é a expressão da lei acima enunciada.

Representando por F_0 a fôrça electrica inicial, temos

$$F = F_0 e^{-mt}$$

Supondo que a perda de carga é igual para ambas as esferas, sendo Q e Q_0 as cargas correspondentes a F e F_0 , temos

$$\frac{T}{T_0} = \frac{Q^2}{Q_0^2}$$

e finalmente

$$Q = Q_0 e^{-2mt}$$

Á constante m chamou COULOMB *coeficiente de dispersão*.

COULOMB observou que o coeficiente de dispersão não era o mesmo em todas as séries de observações e procurou relacionar esta variação com o estado higrométrico do ar, tendo chegado ao seguinte resultado: *o coeficiente m é proporcional ao cubo da quantidade de vapor de água contido no ar por c.c.*

Foram êstes os principais resultados das experiên-

cias relativas à perda de electricidade através do ar. COULOMB estudou também detalhadamente a perda ao longo dos isoladores; não nos ocuparemos desta parte da sua memória que não diz respeito ao objecto do nosso trabalho.

Durante muitos anos nada mais, digno de menção, se publicou sôbre o assunto.

Foi só em 1850 que appareceu um trabalho de MATTEUCI (1), muito notável, sobretudo se atendermos ao tempo em que foi feito. A técnica de MATTEUCI pouco difere da de COULOMB.

O aparelho de medida empregado era ainda a balança de torsão construida segundo as prescrições de COULOMB apenas com os seguintes aperfeiçoamentos.

Em lugar das esferas de medula de sabugueiro, MATTEUCI empregava esferas ou discos de fôlha de prata muito delgada, porque no ar muito sêco, no qual operava quasi sempre, a medula de sabugueiro tornava-se isoladora, o que impedia a distribuição uniforme da electricidade nas esferas.

Para as leituras serem mais exatas, MATTEUCI suspendia ao lado da balança um fio de seda preta com uma bola de chumbo na extremidade, que mergulhava em água para amortecer as oscilações.

A leitura era feita olhando pelo fio e fazendo coïn-

(1) *Mémoire sur la propagation de l'électricité dans les corps isolants, solides et gazeux. Annales de Chimie et Physique*, 3.^a série, 28, pag. 385.

cidir no mesmo plano o centro da esfera e o fio de torsão.

Com estas precauções a balança de COULOMB mostrou-se um instrumento de medida bastante preciso. O ar ou os diferentes gases empregados eram secos. As esferas eram, como nas experiências de COULOMB, isoladas com goma laca, verificando-se que nestas condições a perda de electricidade tinha lugar apenas através do ar.

As conclusões a que chegou MATTEUCI no seu longo trabalho são, em regra, verdadeiras; muitas delas, porém, não teem para nós um grande interêsse.

Da sua extensa memória destacaremos apenas os seguintes resultados que transcrevemos textualmente:

a) «No ar e nos gases tanto quanto possível privados de vapores aquosos a perda da electricidade não segue a lei de COULOMB. Para quantidades de electricidade compreendidas dentro de certos limites, a perda da electricidade é independente da sua intensidade; esta perda é constante, de modo que a relação entre a força electrica perdida e a força electrica total não é constante, como tinha achado COULOMB».

b) «A perda de electricidade é a mesma no ar, no hidrogénio e no gás carbónico, secos e tomados à mesma temperatura e pressão».

c) «A perda absoluta e a lei da perda no ar e nos gases secos e puros são as mesmas para a electricidade positiva e negativa».

d) «No ar tornado a uma temperatura e a uma pressão constante a perda de electricidade aumenta com a

quantidade de vapor de água que êste contêm ; mas este aumento não varia com a lei muito simples que COULOMB tinha deduzido de um pequeno número de observações da proporcionalidade ao cubo do pêso da água contida no ar».

Como se vê, os resultados de MATTEUCI não concordam completamente com os de COULOMB. A principal discordância é no que diz respeito à lei da dispersão. Êste desacordo é mais aparente que real e tem, a nosso ver, uma explicação simples.

Os recipientes empregados por COULOMB e MATTEUCI tinham sensivelmente as mesmas dimensões, mas a sensibilidade da balança de torsão era diferente nos dois casos, sendo bastante maior nas experiências de COULOMB que nas de MATTEUCI. Mas êste ultimo observador empregava para a suspensão da agulha móvel um fio de prata muito mais grosso que o de COULOMB. Neste último caso o potencial estava suficientemente afastado do valor necessário para a saturação, para que a corrente através do ar obedecesse à lei de OHM, que, evidentemente, conduz à lei de dispersão de COULOMB.

Um outro ponto a notar é o que diz respeito à influência que ambos estes observadores atribuíram à presença do vapor de água, no valor da conductibilidade do ar. Como é sabido, a presença de vapor de água numa massa de gás não tem influência sensível na sua conductibilidade, a não ser quando êsse vapor seja quasi saturante, mas neste caso o efeito é inverso do previsto nas experiências acima referidas. A causa

de êrro estava, provavelmente, no facto de se julgar que a perda ao longo dos suportes isoladores era sempre desprezível, mesmo numa atmosfera úmida, o que não era verdade para os isoladores empregados.

Era esta perda ao longo dos suportes que era interpretada como um aumento de conductibilidade do ar.

Esta mesma causa de êrro se faz sentir em outras experiências de MATTEUCI.

Os trabalhos de COULOMB e MATTEUCI não despertaram grande interêsse e assim é que, a não ser os trabalhos de WARBURG (1) e NOHRWOLD (2), que demonstraram respectivamente que nem a umidade nem as poeiras aumentavam a conductibilidade do ar, nada mais digno de nota se publicou sôbre êste assunto até aos fins do século passado.

Foi sómente depois que ROENTGEN descobriu, em 1895, a ionisação do ar pelos raios X e se mostrou que as substâncias radioactivas tinham o mesmo poder de ionisar os gases, que o terreno se encontrou sufficientemente preparado para o desenvolvimento dêstes estudos.

ELSTER e GEITEL na Alemanha e C. T. R. WILSON em Inglaterra, independentemente, atacaram o problema. Apesar da diferença dos métodos experimentais empregados, ambos chegaram à conclusão de que a perda de electricidade era devida a uma ionisação constante do ar.

(1) WARBURG, *Poggend. Annalen* 1872.

(2) NOHRWOLD, *Wiedemann's Annalen*, 1878.

Vamos resumir estes trabalhos e começaremos pelo de ELSTER e GEITEL.

O aparelho empregado por ELSTER e GEITEL (1) nas suas primeiras experiências constava de um electrómetro munido de um corpo de dispersão (Zerstreuungskörper).

O electrómetro de que se serviram era do bem conhecido tipo de Exner convenientemente modificado.

Era necessário tornar o erro, ocasionado pelo isolamento sempre imperfeito dos suportes, tão pequeno quanto possível. Ao mesmo tempo era indispensável poder fazer em cada instante uma ideia exacta da grandeza d'este erro.

Vejamos como se conseguiram estes resultados.

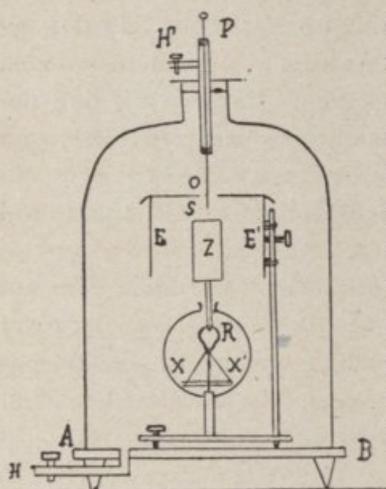


Fig. 1

O aparelho de ELSTER e GEITEL está representado na fig. 1. A placa metálica a que estão ligadas as duas folhas de alumínio é sustentada na sua parte inferior por um isolador de ebonite envernizada que foi mais tarde substituída por âmbar.

(1) ELSTER e GEITEL, *Phys. Zeit.*, 1893, pag. 11.

Esta placa termina na parte superior por uma pequena bola k onde está praticado um orifício em que entra uma haste metálica que sustenta o corpo de dispersão, o qual tem a forma de um cilindro.

As primeiras observações eram feitas ao ar livre e para proteger o cilindro de dispersão contra as variações do campo terrestre, a luz directa do sol e as fortes agitações do ar, fixava-se sôbre o tripé que suporta o electroscópio uma haste metálica à qual estava fixo um cilindro metálico EE' , podendo fechar-se na parte superior por uma tampa.

Para fazer uma medida de dispersão com o aparelho procedia-se do seguinte modo:

O sistema formado pelo electrómetro e pelo corpo dispersor era carregado por meio de uma pilha Zamboni. Passados 5 minutos, tempo julgado suficiente para o isolador de ebonite se carregar ao contato da haste e se polarizar na sua massa, lia-se o potencial V_0 do sistema que era abandonado a si mesmo até se produzir uma diminuição apreciável de potencial. Lia-se de novo o potencial V e notava-se o tempo decorrido entre as duas leituras.

O cilindro Z era em seguida retirado e o electrómetro só de novo carregado ao potencial V'_0 . No fim do tempo T' lia-se novamente o potencial V' .

Supondo verdadeira a lei de COULOMB a expressão

$$e = \frac{1}{t} \log. \frac{V_0}{V} - \frac{n}{t'} \log. \frac{V'_0}{V'}$$

onde n representa a relação entre a capacidade do

electrômetro só e o do electrômetro mais o cilindro de dispersão, servia de medida à quantidade de electricidade perdida durante o tempo t .

A constante n era determinada do seguinte modo:

O electrômetro sem o cilindro de dispersão era carregado a um potencial V e em seguida o cilindro era levado ao contacto do sistema isolado; a divergência das folhas diminuía e tomava um valor correspondente ao potencial V' .

O valor de n era

$$n = \frac{V'}{V}.$$

Os resultados das medidas executadas por êste processo, na verdade muito simples, são difíceis de interpretar. Além disso a protecção do corpo de dispersão pelo cilindro EE' era insufficiente, de modo que os resultados variavam conforme as condições da experiência: vento, variações do campo electrico, etc.

Por estas razões não descrevemos detalhadamente a longa série de experiências feitas segundo êste método.

ELSTER e GEITEL, apesar das dificuldades de interpretação das medidas, tiraram delas a seguinte conclusão: «Os factos interpretam-se da maneira mais simples admitindo que o ar encerra partículas com uma carga positiva e negativa que provocam pelo seu contacto a descarga dos corpos com carga de nome contrário à sua e que existem em quantidades sensivelmente eguaes».

Esta conclusão foi depois confirmada pelos trabalhos

posteriores dos mesmos autores, que sôbre êste assunto publicaram uma longa série de memórias. Destas, a mais importante, foi publicada em novembro de 1900 no *Physikalische Zeitschrift*. Foi nesta memória, que é contemporânea de uma outra de C. T. R. WILSON que versa o mesmo assunto, lida também em novembro do mesmo ano à Sociedade Filosófica de Cambridge, que o mecanismo da condutibilidade electrica do ar atmosférico foi pela primeira vez satisfatoriamente explicado. Nestas experiências ELSTER e GEITEL, em vez de estudarem a dispersão ao ar livre, operavam sôbre uma massa de ar fechada.

O aparelho empregado está representado na fig. 1.

Sôbre uma placa de ferro plana AB repousa o electrómetro acima descrito. Todo êste sistema está colocado debaixo de uma campanula de vidro com o bôrdô rodado que se apoia de um modo estanque sôbre a a placa de ferro AB.

Através da tubuladura superior da campanula penetra uma sonda S, que pode ser abaixada até tocar a base superior do cilindro de dispersão e, depois de carregar êste, ser retirada para cima da abertura O. As medidas eram feitas do modo acima descrito. O resultado das experiências de dispersão feitas nestas condições foi o seguinte. Verificou-se que a lei de COULOMB deixava de ser aplicável e que enquanto a perda de electricidade, avaliada em tantos por cento da carga inicial, se elevava à medida que a carga inicial diminuía, a diferença dos valores dos potenciais lidos a intervalos de tempo iguais era constante.

A experiência mostrou que a quantidade de electricidade que desaparecia do corpo em experiência, num tempo determinado, não era proporcional à carga nesse momento, mas tinha um valor invariável no intervalo de 240 a 80 volts. Esta experiência foi a confirmação do resultado já obtido por MATTEUCI 50 anos antes.

ELSTER e GEITEL deram dêste fenómeno a verdadeira explicação, notando a sua analogia com o facto constatado alguns anos antes (1896) por J. J. THOMPSON e E. RUTHERFORD, que a corrente que atravessa uma massa de gás tornada artificialmente conductora se aproxima de um valor limite — corrente de saturação — quando aumenta a diferença de potencial.

Tendo assim demonstrado a existência de uma corrente de saturação, ELSTER e GEITEL concluíram que nas massas de ar fechadas existia normalmente um certo número de iões, e que além disso estes iões iam sendo regenerados à medida que eram utilizados para o transporte das cargas electricas, visto a conductibilidade do ar se manter sensivelmente constante.

Verificaram ainda que o valor da corrente de saturação era independente do sinal da carga do electrómetro, assim como de estar a massa de ar à luz do dia, na obscuridade, ou iluminada com luz artificial, resultados a que também tinha chegado MATTEUCI.

Vejamos agora as experiências de C. T. R. WILSON, que, como dissemos, foram feitas ao mesmo tempo que estas, tendo sido os resultados de ambas publicados simultâneamente.

C. T. R. WILSON foi levado a ocupar-se desta questão por uma observação que fez, quando em 1896 estudava a condensação do vapor de água sobre os iões produzidos no ar pelos raios de Roentgen.

As suas primeiras experiências (1) provaram que no ar isento de poeiras se encontravam sempre presente alguns núcleos que requeriam, para que o vapor da água se condensasse sobre eles, exactamente o mesmo grau de sobresaturação que os iões produzidos pelos raios Roentgen. WILSON concluiu por isso que eles eram, provavelmente, iões da mesma natureza.

Porém, enquanto que experiências posteriores provaram que os núcleos formados pelos raios Roentgen, ou pelos do urânio, podiam ser removidos pelo campo electrico e eram portanto iões, experiências semelhantes feitas com estes núcleos que aparecem na ausência de qualquer radiação ionisante conduziram a um resultado negativo.

Depois de perder bastante tempo em tentativas infructíferas, WILSON decidiu-se a abandonar este método e a atacar a questão pelo método electrico (2). Os resultados então não se fizeram esperar.

Vamos descrever os aparelhos de WILSON, que bem merecem uma descrição detalhada por isso que, até ao presente, eles são ainda talvez os mais perfeitos que a nosso ver se teem realizado para a medida de fracas correntes.

(1) *Proc. Roy. Soc.*, 1896, pag. 338.

(2) *Camb. Phil. Soc. Proc.*, 1900.

O aparelho utilizado nas últimas experiências de WILSON (1) está representado na fig. 2.

O sistema condutor cuja variação de potencial se media consistia unicamente numa haste de metal à qual estava fixa uma delgada fôlha de ouro. Êste sistema estava colocado no interior de um balão de vidro

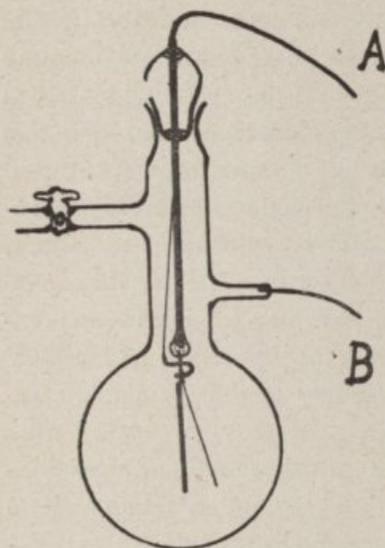


Fig. 2

de 163 c.c. de capacidade; a superfície interior dêste balão era prateada com uma camada de prata tão delgada que a fôlha de ouro podia ver-se através dela.

A parte superior da placa tinha um prolongamento delgado por intermédio do qual estava ligada por uma gota de enxofre fundido de 2^{mm} de diâmetro à extremidade inferior de um suporte de latão. Este último passava através da rôlha de vidro do balão.

O gargalo do balão era prateado com uma camada espessa de prata para assegurar um bom contacto entre a camada delgada interior e um fio de platina soldado na parede do balão. Este fio estava ligado

(1) *Roy. Soc. Proc.*, 1901, pag. 151.

para a terra. A haste de latão era mantida sempre a um potencial constante por intermédio de um condensador não representado na figura, que consistia em placas de zinco mergulhadas em enxôfre fundido. Um electroscópio de Exner ligado a êste condensador permitia verificar que o seu potencial não variava durante a experiência. A leitura dêste electroscópio assim como do aparelho de medida era feita com um microscópio munido de micrómetro ocular.

Para dar ao sistema um potencial inicial, igual ao da haste de latão que servia de suporte, fazia-se um contacto momentâneo por intermédio de um fio de aço fixo à haste suporte junto da extremidade superior e estendendo-se justamente até abaixo da gota de enxôfre onde era dobrado em anel, que rodeava o prolongamento da haste que sustentava a fôlha. Um magnete que se aproximava do exterior atraía o fio de aço até que o anel fosse ao contacto com a haste, que ficava assim ao potencial da armadura do condensador ligada à haste suporte.

Afastando o magnete, êste em contacto era desfeito, ficando portanto isolado o sistema de medida. O potencial inicial utilizado regulava por 200 volts. Como o sistema isolado tinha uma capacidade muito reduzida (1,1 U. E. S.) uma pequena variação da carga do sistema produzia uma variação de potencial apreciável. A sensibilidade ao potencial era de cêrca de 0,6 volts por divisão do micrómetro.

Operando dêste modo havia a certeza que toda a perda de carga tinha logar através do ar, por isso que,

a haver um defeito no isolamento da gota de enxôfre, esse defeito traduzir-se-ia por uma diminuição na velocidade com que se perdia a carga.

Esta disposição tem a vantagem de fazer com que o enxôfre suporte apenas a diferença de potencial de alguns volts, o que anula praticamente a perda por defeito de isolamento.

O aparelho descrito é aquele de que se serviu WILSON nas suas últimas experiências. O aparelho primitivo diferia apenas dêste na fôrma do vaso que era cilíndrico com 6 cm. de altura e 5 cm. de raio na base.

É interessante notar que, emquanto ELSTER e GEITEL operavam em recipientes com cêrca de 30^l de ar, WILSON preferia operar com um pequeno volume de ar para o poder privar completamente de poeiras. As condições em que WILSON experimentava eram, assim, bem definidas.

WILSON mediu a capacidade electrostática do sistema isolado que achou igual a 1,1 V. E. S. Conhecendo a capacidade C do electroscópio e medindo a queda de potencial V no tempo t a intensidade da corrente através do ar é

$$i = \frac{CV}{t}.$$

Supondo que a ionisação é uniforme e sendo S o volume do electroscópio, q o número de iões produzidos por centímetro cúbico e por segundo e $e = 4,65 \cdot 10^{-10}$ U. E. S. a carga transportada por um ião, temos

$$i = qSe.$$

Desta expressão tirou WILSON o valor de q , e encontrou $q = 20$.

A corrente através do ar, correspondia portanto à produção de 20 iões por centímetro cúbico e por segundo (1).

WILSON mostrou ainda que a corrente era independente do sinal da carga e era a mesma quer o potencial inicial fosse de 120 ou 290 volts, o que prova que a corrente estava saturada. Estudou além disso a maneira como a corrente variava com a pressão do ar e concluiu das suas experiências que ela era sensivelmente proporcional à pressão.

Mostrou finalmente que a corrente era a mesma, quer o electroscópio se encontrasse na obscuridade ou à luz difusa do dia.

Este trabalho, juntamente com o de ELSTER e GEITEL, estabeleceu definitivamente o verdadeiro caracter da conductibilidade electrica dos gases.

RUTHERFORD e ALLAN (1) repetiram os trabalhos de E. e GEITEL e WILSON, empregando um método de medida um pouco diferente. A corrente de saturação era medida entre dois cilindros concêntricos de latão. O cilindro exterior estava ligado a um dos polos de

(1) O valor de e que WILSON empregou para o seu cálculo era $e = 6,5.10^{-10}$ (J. J. THOMSON). Em todo o presente trabalho adotaremos sempre o valor $e = 4,65.10^{-10}$ (RUTHERFORD) e, para tornar os resultados de todos os observadores comparáveis, reduzimo-los sempre ao que eles seriam se no cálculo se tivesse adotado sempre o número de RUTHERFORD.

(2) RUTH. e ALLAN, *Phil. Mag.*, 1902.

uma bateria de carga que tinha o outro polo ligado para a terra. O cilindro interior, que era cuidadosamente isolado, estava ligado a um dos pares de quadrantes dum electrómetro sensível, com outro polo ligado para a terra.

Nestas condições a agulha do electrómetro desvia-se lentamente da sua posição zero em consequência do aumento de potencial do cilindro interior formando electrodo.

O conhecimento da velocidade do movimento da agulha, assim como da capacidade do sistema, permite calcular a corrente de saturação. A corrente de saturação era obtida com uma diferença de potencial entre os dois cilindros relativamente pequena.

Este método de medida foi depois muito empregado.

Medidas análogas foram em seguida feitas por PATTERSON (1), HARMS (2) e COOKE (3); os resultados foram os seguintes:

Observador	Número de iões produzidos por c.c. e por segundo	Material do vaso
RUTH. e ALLAN	20	Zinco
HARMS	39 a 46	Vidro
PATTERSON	45	Ferro
COOKE	7,5	Latão

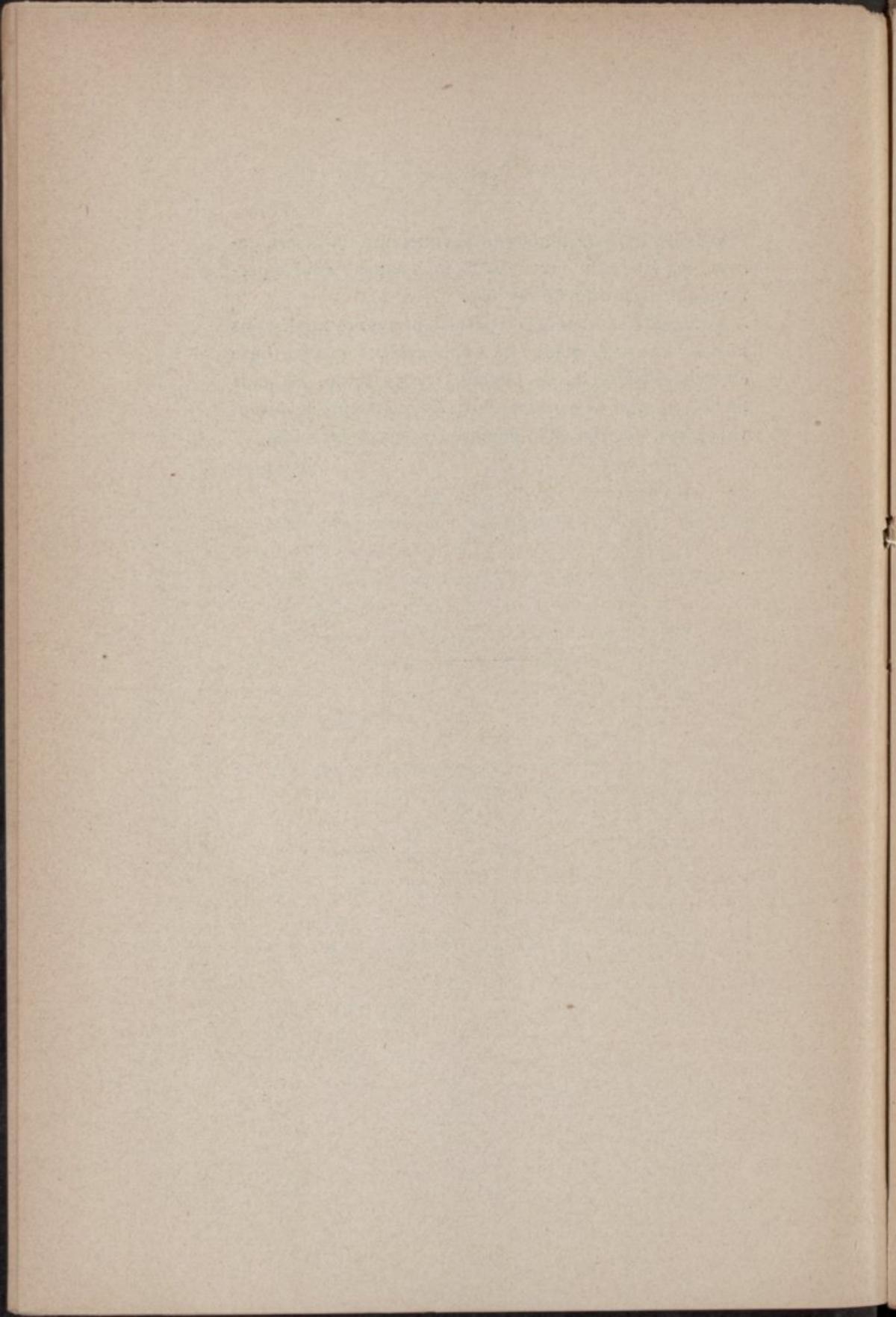
(1) *Phil. Mag.*, 1903.

(2) *Phys. Zeit.*, 1902.

(3) *Phil. Mag.*, 1903.

O facto de uma ionização permanente da massa gaseosa, implica a intervenção de uma causa também permanente de produção de iões.

Em todas as memórias precedentemente analisadas não se encontra nenhuma explicação, com uma base experimental séria, do fenómeno observado. Só mais tarde, quando os estudos de radioactividade se desenvolveram, esta questão começou a ser esclarecida.



CAPÍTULO II

Causas da ionização dos gases em vaso fechado

O estudo da ionização dos gases em vaso fechado pôs em evidência um certo número de causas da ionização observada.

Essas causas são as seguintes:

- 1) A presença de uma pequena quantidade de emanação misturada com o gás;
- 2) Uma actividade superficial do vaso devida à radioactividade induzida produzida pelas substâncias radioactivas presentes na atmosfera;
- 3) Uma radiação penetrante, tipo γ proveniente do exterior do vaso.

Um estudo minucioso da questão mostrou que todas estas causas, se bem que contribuam para a ionização observada, não são suficientes para a explicar completamente.

É possível, como veremos, eliminar todos estes agentes de ionização ou pelo menos determinar numericamente a proporção em que elles contribuem para o efeito observado.

Ora verifica-se que, independentemente da ionização produzida por estas causas conhecidas, os gases manifestam sempre uma ionização residual cuja origem é ainda duvidosa, apesar das tentativas que tem sido feitas para a determinar.

Esta ionização residual pode ser devida a uma ou ambas as seguintes causas mais ou menos hipotéticas :

- 1) A uma ionização espontânea da massa gasosa ;
- 2) A uma fraca radiação das paredes do vaso que contém o gás.

Vamos expôr, resumidamente, o estado actual dos nossos conhecimentos sôbre cada uma destas causas possíveis da ionização em vaso fechado.

Emanação contida no gás

Foram ELSTER e GEITEL que primeiro notaram a influência que tinham, no valor da ionização do ar em vaso fechado, as emanções radioactivas e respectivos productos de desintegração que o ar atmosférico normalmente contém.

O ponto de partida destas experiências foi a observação que ELSTER e GEITEL fizeram de que o ar das grutas, assim como o ar contido no solo, era anormalmente conductor. Esta elevada conductibilidade foi attribuida à presença de uma emanção radioactiva e dos seus productos de desintegração, que se acumulavam nestas massas de ar.

Esta hipótese foi confirmada por uma experiência

que consistia em expôr ao ar um fio carregado negativamente, a um potencial elevado; depois de algumas horas êste fio adquiria uma actividade que podia ser em certos casos bastante elevada e que desaparecia espontâneamente em função do tempo.

Fricionando a superfície dos fios assim activados com um pedaço de coiro embebido em amoníaco e calcinando-o depois lentamente, obtinha-se uma matéria activa que produzia impressões fotográficas e excitava a fluorescência.

A natureza das emanações presentes na atmosfera foi determinada em trabalhos posteriores.

RUTHERFORD e ALLAN (1) estudaram pela primeira vez a lei do decrescimento em função do tempo da actividade dos fios activados na atmosfera e verificaram que essa actividade diminuia de metade em 45 minutos, fosse qual fosse o tempo de exposição e o potencial do fio. A actividade não parecia assim corresponder a nenhuma das emanações conhecidas.

Mais tarde ELSTER e GEITEL (2) mostraram que, durante as duas primeiras horas depois da exposição, a curva de desactivação era idêntica á do depósito activo do rádio.

ALLAN (3) concluiu depois que a actividade dos fios assim obtidos era complexa.

(1) RUTH. e ALLAN, *Phil. Mag.*, 1902.

(2) E. e GEITEL, *Phys. Zeit.*, 1904.

(3) ALLAN, *Phil. Mag.*, 1904.

BUMSTEAD (1) estudando detalhadamente a questão verificou que 3 a 4 horas depois do começo da desactivação a lei de decrescimento era o que caracteriza o depósito activo do thorio. Calculando por extrapolação a actividade dêste depósito durante as primeiras horas e subtraindo esta actividade da actividade total, a actividade restante segue exactamente a lei de decrescimento da emanção do rádio.

Numerosas experiências confirmaram estes resultados, mostrando que as emanções de rádio e thorio se encontram espalhados por toda a parte na atmosfera.

É interessante para nós saber qual é a influência que podem ter estas emanções na conductibilidade do ar em vaso fechado. É possível, como veremos, calcular o número de iões produzidos em vaso fechado, pela emanção introduzida com o gás, apoiando-nos nas determinações numéricas que vários experimentadores tem feito da quantidade de emanção presente na atmosfera.

Foi EVE quem pela primeira vez tentou fazer esta determinação. O método empregado, que era pouco rigoroso, consistia em comparar a actidade de um fio carregado negativamente a um potencial elevado e exposto ao ar, com a que se obtinha repetindo a mesma experiência com uma quantidade conhecida de emanção.

Este processo deu resultados pouco satisfatórios.

(1) BUNSTEAD, *Amer. Journal*, 1994.

Um método mais conveniente foi depois empregado por EVE (1) e SATERLEY (2). Neste método utilizava-se a propriedade que tem o carvão de nós de coco, de absorver parcialmente, à temperatura ambiente, as emanações.

Uma corrente constante e conhecida de ar atravessava um tubo contendo carvão durante um tempo determinado. Este carvão era depois aquecido de modo a libertar a emanação que tinha absorvido, que era introduzida num electroscópio previamente aferido com uma solução padrão de RaBr_2 .

A relação entre a quantidade de emanação absorvida pelo carvão e a quantidade que o tinha atravessado, era determinada aspirando ar através de uma fraca solução de RaBr_2 .

ASHMAN (3) fez esta determinação por um método ainda mais preciso. O ar atravessava um tubo com carvão à temperatura do ar líquido; nestas condições era absorvida toda a emanação, que em seguida era libertada aquecendo o carvão. Os resultados bastante concordantes destas três medidas foram:

EVE 60.10^{-12} curies por metro cúbico.

SATTERLEY 100.10^{-12} curies por metro cúbico.

ASHMAN 89.10^{-12} curies por metro cúbico.

Com estes dados, é agora fácil calcular o número de

(1) EVE, *Phil. Mag.*, 1905.

(2) SATERLEY, *Phil. Mag.*, 1907, 1908.

(3) ASHMAN, *Am. Journ. of Sci.*, 1908.

iões produzidos em vaso fechado pela emanação introduzida juntamente com o gás.

É evidente que só ha a considerar, para êste efeito, a emanação de rádio. Adotando, por exemplo, o número de SATTERLEY, a quantidade de emanação contida em 1 c.c. de ar é 10^{-6} curies.

Ora é sabido que 1 curie de emanação produz num recipiente de dimensões infinitas, em que as radiações emitidas são todas utilizadas, uma corrente

$$i = 6,31.10^6 \text{ U.E.S. (1)}$$

A corrente produzida pela emanação contida em 1 c.c. de ar será, portanto,

$$\begin{aligned} i &= \frac{6,31.10^6}{10^{-16}} \\ &= 6,31.10^{-10} \text{ U.E.S.} \end{aligned}$$

e o número de iões por centímetro cúbico e por segundo

$$n = \frac{6,31.10^{-10}}{4,65.10^{-10}} = 1,4.$$

O número de iões assim produzidos é, portanto, apenas uma pequena fracção da ionisação observada em vaso fechado, que, como veremos, não é, em média,

(1) LÉON KOLOWRAT, *Radium Yan.*, 1913.

muito superior a 10 iões por centímetro cúbico e por segundo.

De resto esta causa de ionisação pode ser facilmente eliminada, fazendo atravessar pelo ar introduzido no recipiente, um tubo contendo carvão de nós de coco à temperatura do ar líquido ou abandonando o ar dentro do recipiente durante alguns dias até que a emanação se tenha destruído.

Se se emprega um gás qualquer em vez do ar atmosférico, podem tomar-se as mesmas precauções, ou, se o gás é preparado na ocasião, verificar que as substâncias empregadas na sua preparação sejam rigorosamente isentas de substâncias radioactivas.

É de esperar que, introduzindo ar atmosférico num vaso fechado e estudando a maneira como varia a ionisação em função do tempo, se observe uma diminuição da ionisação de harmonia com a lei de destruição da emanação do rádio.

Esta experiência foi feita por J. REY (1) e conduziu a resultados bastante nítidos.

O recipiente, no qual o ar foi encerrado sem nenhuma precaução especial, era cilíndrico, de latão com 62^l,560 de volume. Nestas condições J. REY observou que a ionisação aumentava a princípio e passava por um máximo ao fim de 4 dias, começando depois a decrescer segundo uma lei exponencial idêntica à do desaparecimento da emanação do rádio.

(1) J. REY, *Radium*, 1913.

O aumento inicial da ionisação foi atribuído por REY ao depósito progressivo das poeiras arrastadas juntamente com o ar, sôbre as paredes do recipiente.

A ionisação no recipiente com que operava REY era de cêrca de 10 iões por centímetro cúbico e por segundo, e a diminuição total da ionisação no fim de 27 dias, tempo suficiente para que toda a emanação de rádio tivesse desaparecido, era de cêrca de $\frac{1}{10}$ do valor inicial.

Êste número está em bom acôrdo com o cálculo atrás feito, do número de iões produzido pela emanação do rádio contida no ar.

Devemos porêem notar que estes resultados muito nítidos de J. REY nem sempre teem sido obtidos em experiências análogas. Tem-se observado, em certos casos, operando em condições bem defenidas, que a ionisação, em vez de diminuir em função do tempo como seria de prever, aumenta durante alguns dias até atingir um valor limite superior ao seu valor inicial.

ELSTER e GEITEL observaram êste facto, que pelo contrário não foi notado nas experiências de WILSON a que atrás nos referimos, em que a ionisação se mantinha praticamente constante.

JAFFÉ (1), empregando um aparelho semelhante ao de WILSON, de vidro prateado, pôde observar êste aumento da corrente.

(1) JAFFE, *Phil. Mag.*, 1904, pag. 556.

O aumento não foi tão grande como nas experiências de E. e GEITEL, mas notou um aumento de 25 a 30 por cento durante 5 dias, conservando-se a corrente depois constante. Estes resultados foram depois confirmados por CAMPBELL e WOOD (1) e MC. LENNAN (2).

MC. LENNAN, que operou com diferentes recipientes de chumbo, obteve o seguinte resultado: a condutibilidade aumenta com o tempo atingindo um valor limite ao fim de 8 a 10 dias. Renovando em seguida o ar, o valor da condutibilidade diminue, mas não volta ao valor inicial. Para tornar a obter a condutibilidade primitiva é necessário limpar a superfície interior do recipiente, lixando-a e lavando-a em seguida com acido clorídrico, água, amoníaco e alcohol.

MC. LENNAN interpretou os resultados destas experiências admitindo que a condutibilidade era devida a duas causas: a uma emanação difundida no ar, provavelmente proveniente do metal, e a uma alteração das paredes do recipiente. Esta alteração seria resultante da activação das paredes produzida pela emanação.

De facto é esta a maneira mais simples de interpretar os factos observados, mas os dados experimentais para justificar uma tal conclusão parecem-nos insufficientes (3).

(1) CAMPBELL e WOOD, *Phil. Mag.*, 1908.

(2) M. LENNAN, *Phil. Mag.*, 1907.

(3) Tivemos ocasião de observar um facto inteiramente se-

Seria, na verdade, interessante estabelecer se, de facto, este aumento é devido a uma emanação e, no caso afirmativo verificar se essa emanação é idêntica à de alguma substância radioactiva conhecida.

Depósito activo nas paredes do recipiente

A influência de um depósito activo nas paredes do recipiente foi pela primeira vez demonstrada por COOKE (1). Uma limpeza enérgica das paredes do recipiente, que eram lixadas e em seguida lavadas com ácido clorídrico, amoníaco, álcool e água destilada, teve por efeito reduzir a ionização a 60 por cento do seu valor primitivo.

Evidentemente, o efeito duma tal operação, consiste em fazer desaparecer o depósito activo que se forma sobre a superfície do vaso exposta ao ar antes deste ser fechado, que contém, como é sabido, emanações radioactivas. Sobretudo em laboratórios de radioactividade, onde o ar contém sempre uma quantidade anor-

melhante ao que refere MC. LENNAN com um recipiente de latão. A conductibilidade aumentou durante cerca de 8 dias até atingir um valor aproximadamente triplo do valor inicial. Não atribuímos, no entanto, um grande valor a esta observação, que foi feita em 1914 no laboratório de GIF, por julgarmos este laboratório suspeito de contaminação radioactiva.

Atualmente esta questão está sendo estudada no laboratório da Universidade de Coimbra, mas os resultados desse estudo não podem ainda ser incluídos no presente trabalho.

(1) H. L. COOKE, *Phil. Mag.*, 1903.

mal de emanação de rádio, êste efeito é particularmente notável.

Este tratamento preliminar da superfície interior do vaso é de prática corrente em medidas desta natureza sempre que se quer operar em condições bem definidas.

Nas nossas experiências, adiante descritas, tomámos sempre esta precaução fazendo êste tratamento quer à superfície interior quer à superfície exterior do recipiente com que operavamos.

Radiação penetrante

Devem-se a RUTHERFORD e COOKE (1) e a MC. LENNAU e BURTON (2), que independentemente chegaram ao mesmo resultado, as primeiras observações do facto notável de que a ionisação no interior de um recipiente fechado provêm em parte de uma radiação muito penetrante do tipo γ proveniente do exterior do vaso.

MC. LENNAN media a conductibilidade natural do ar num grande recipiente cilíndrico, por meio de um electrómetro sensível. O cilindro era colocado no interior de um outro e o espaço intermédio cheio de água. Quando a espessura da camada de água era de 25 cm. a condutibilidade do ar no cilindro interior era apenas 63 por cento do seu valor inicial.

(1) RUTH. e COOK, *Americ. Phys. Society*, 1902.

(2) MC. LENNAN e BURTON, *Phys. Review*. 1903.

Este resultado mostra que parte da ionização no cilindro interior era devida a uma radiação de origem exterior, que era total ou parcialmente absorvida pela água.

RUTHERFORD e COOKE igualmente observaram que a velocidade de descarga de um electroscópio diminuía quando era exteriormente revestido de chumbo.

COOKE (1) mais tarde estudou minuciosamente esta questão. Verificou que uma espessura de chumbo de 5 cm. diminuía a corrente de ionização de 30 por cento. Uma espessura maior de chumbo não produzia maior efeito. Quer o aparelho estivesse rodeado de 5 toneladas de chumbo, quer a espessura deste fosse apenas de 5 cm., o valor da corrente era o mesmo.

Igual resultado se obtinha empregando o ferro em vez do chumbo.

Dispondo o chumbo convenientemente, verificou-se que esta radiação penetrante vinha igualmente de todas as direcções.

Um estudo muito cuidado deste assunto foi feito por WOOD (2), que estudou a diminuição de ionização quando em vez de chumbo se empregavam outras substâncias, tais como metais, papel, cartão madeira, etc. Observou que em todos os casos, a não ser com a madeira se obtinham os resultados que eram de esperar, isto é, que a absorpção era a mesma quando se em-

(1) COOKE, *Phil. Mag.*, 1903.

(2) WOOD, *Phil. Mag.*, 1905.

pregavam as diferentes substâncias em espessuras equivalentes.

O efeito inverso da madeira foi interpretado por WOOD, admitindo que desta partia uma radiação, provavelmente β , que era absorvida por 1^{mm} de chumbo; com efeito, bastava interpôr entre a madeira e o recipiente uma folha de chumbo desta espessura para anular o efeito observado. Um fenómeno análogo foi depois observado com o teijolo (WULF).

Origem da radiação penetrante

Tendo sido demonstrada, por numerosos trabalhos, a existência de emanações radioactivas na atmosfera, assim como de substâncias radioactivas nas rochas das camadas superficiais do solo, é natural procurar neste facto a origem da radiação penetrante. Esta hipótese foi formulada por RUTHERFORD, logo após a descoberta da radiação penetrante.

A quantidade de emanação de rádio presente na atmosfera, assim como de substâncias radioactivas no solo, sendo conhecida com uma certa aproximação, é possível determinar a ordem de grandeza da ionização provocada pelos raios penetrantes a que dão origem.

Efeito da emanação contida no ar

Este ponto foi examinado teoricamente por EVE (1). Seja k o número de iões produzidos pelos raios γ , por centímetro cúbico e por segundo, a 1 cm. de dis-

(1) EVE, *Radium*, 1906.

tância de 1 gr. de brometo de rádio puro, que se supõe concentrado num ponto e de tal modo que todos os raios sejam absorvidos pelo ar.

Nestas condições Q gramas de brometo de rádio produzem a uma distância r um número de iões por centímetro cúbico e por segundo,

$$N = k \frac{Q}{r^2} e^{-\lambda r}$$

sendo λ o coeficiente de absorpção dos raios γ pelo ar.

O valor de k foi determinado experimentalmente observando o número de iões produzidos num recipiente fechado, de alumínio, colocado a uma distância de 303 cm. de um tubo fechado contendo 14,3 mgr. de brometo de rádio envolvido por uma lâmina de chumbo de 7 mm. de espessura.

O número de iões produzidos por centímetro cúbico e por segundo, que foi julgado sensivelmente igual ao que teria sido produzido ao ar livre, foi de 297; logo

$$K = 297 \times \frac{303^2}{0,014} = 1,95 \cdot 10^9.$$

Corrigindo este valor da absorpção em 3 m. de ar e 7 mm. de chumbo, e reduzindo além disso o resultado que foi calculado admitindo $e = 3,4 \cdot 10^{-10}$, ao que êle seria se tivesse sido adotado o valor de $e = 4,65 \cdot 10^{-10}$ será

$$K = 3,8 \cdot 10^9$$

o número de iões produzidos por centímetro cúbico e por segundo por 1 gr. de rádio a 1 cm. de distância.

Seja p o pêso, em gramas, de rádio em equilíbrio com a emanção contida, por centímetro cúbico de ar; vamos calcular o número de iões produzidos nestas condições num ponto P.

Consideremos a ionisação em P como produzida pelos raios γ emitidos por camadas compreendidas entre as esferas de raio r e $r + dr$; o número de iões produzidos, será

$$n = \frac{4\pi r^2 dr pk}{r^2} e^{-\mu r} = 4\pi p k e^{-\mu r} dr$$

e o número total de iões produzidos em P por unidade de volume

$$N = \int_0^{\infty} 4\pi p k e^{-\mu r} dr = \frac{4\pi p k}{\mu} \dots \dots \dots (1).$$

Já vimos que é $p = 10^{-16}$ gr.; além disso é para os raios γ ,

$$\mu = 0,000044.$$

Entrando com estes valores na fórmula encontra-se

$$N = 0,11.$$

Este número diz apenas respeito à emanção do rádio; quanto à emanção do thório faltam os dados numéricos, mas o seu efeito é, certamente, inferior ao

da emanção do rádio, portanto o número

$$N = 0,2$$

representa aproximadamente, um pouco por excesso, o efeito dos raios penetrantes dos produtos radioactivos em suspensão na atmosphéra.

Este efeito é portanto insufficiente para explicar a radiação penetrante.

Efeito do solo

O solo pôde influir no valor da radiação penetrante por duas razões :

1) Pela presença de rádio e thório nas rochas superficiais ;

2) Pelos produtos de desintegração das emanções presentes na atmosfera depositados no solo pelas precipitações atmosféricas ou pela acção do campo eléctrico terrestre.

O primeiro efeito parece ser o mais importante.

Numerosas determinações tem sido feitas, principalmente por STRUTT e JOLY, da quantidade de rádio contido nas rochas superficiais.

Pode-se admitir como valor médio applicável à maior parte dos terrenos, $2 \cdot 10^{-12}$ gr. de rádio por grama de matéria ou $5 \cdot 10^{-12}$ gr. por centímetro cúbico admitindo o valor 2,5 para a densidade das camadas superficiais.

A fórmula (1) que no caso de uma acção superficial se converte em

$$N' = \frac{2\pi}{\mu} pk$$

dá, entrando com o valor $\mu = 0,085$ do coeficiente de absorpção dos raios γ pelo solo de densidade 2,5,

$$N' = 1,5.$$

Este número diz respeito, apenas, ao rádio contido no solo. Como é sabido as rochas superficiaes também contem thório. Determinações de BLANC (1) e JOLY (2), relativas à quantidade de thório presente nas rochas superficiais conduziram a considerar a quantidade de thorio 10^7 vezes superior à de rádio, correspondendo portanto, em média, a $5 \cdot 10^5$ gr. de thório por centímetro cúbico.

A ionização produzida pelos raios γ do thório não é, portanto, desprezível; faltam porém elementos para fazer um cálculo semelhante ao que se fez para o rádio, por ser desconhecido o valor de k no caso do thório.

Se admitirmos, com EVE, que a ionização produzida pelo thório é da mesma ordem de grandeza da que resulta do rádio, o número

$$N'' = 3$$

representa aproximadamente o número de iões produzidos por centímetro cúbico e por segundo, num recipiente fechado, pelos raios penetrantes do solo.

(1) G. BLANC, *Radium*, 1908, pag. 109 e 1909, pag. 306.

(2) J. JOLY, *Phil. Mag.*, 1909 e 1910.

Adiante veremos até que ponto estes resultados são confirmados pela experiência.

O efeito da radíofactividade induzida proveniente da atmosfera e depositada no solo pelas precipitações atmosféricas ou pelo campo eléctrico terrestre, só pode ser analisado pela experiência.

Como veremos êste efeito é bastante inferior ao primeiro.

Vamos agora expôr os principais resultados das numerosas experiências que teem sido feitas a respeito da origem da radiação penetrante.

Este assunto tem dado lugar nos últimos tempos a grande número de trabalhos, dentre os quais destacaremos simplesmente os principais.

Conforme o modo como foram conduzidas as suas experiências, os diferentes autores que se teem occupado da questão teem emitido opiniões diferentes a respeito da importância relativa do efeito da atmosfera e do solo.

Para MC. LENNAN, WULF, WRIGHT, SIMPSON, a radiação γ das camadas superficiais do solo explica a quasi totalidade da radiação penetrante; MACHE e RIMMER, STRONG, GOEKEL, HESS e PACINI inclinam-se sobretudo para uma origem atmosférica do efeito observado.

A origem da radiação penetrante é ainda uma questão aberta, e como veremos está longe de poder receber uma solução definitiva.

WULF (1) fez em 1910 uma série de experiências

(1) WULF, 1910, pag. 171.

muito minuciosas das quais concluiu que a radiação penetrante provinha das camadas superficiais do solo.

O aparelho de que se serviu WULF é um electrómetro, cuja caixa serve ao mesmo tempo de câmara de ionisação. O uso d'êste electrómetro generalizou-se muito, tendo sido depois adotado por grande número de experimentadores.

Este aparelho difere do electroscópio ordinário em ser a folha de ouro substituída por duas fibras de quartzo, paralelas, platinadas para se tornarem condutoras. Este sistema está suspenso de um suporte isolador e as extremidades inferiores das fibras estão ligadas a uma pequena mola de quartzo. Carregando o sistema, as fibras divergem e a divergência é medida com um microscópio munido de micrómetro ocular. A divergência é directamente proporcional ao potencial.

Este aparelho é muito conveniente, sobretudo para medir as correntes de ionisação no mar, ou em quaisquer outras circunstâncias em que êle tenha de se deslocar durante a medida, pois êste deslocamento não altera sensivelmente a divergência das fibras.

A primeira questão que WULF procurou resolver foi saber se a radiação penetrante provinha da atmosfera ou do solo. WULF concluiu que ela provinha do solo, repetindo a experiência de Mc. LENNAN, a que adiante nos referiremos, e que consistia em medir a ionisação quando entre o aparelho e o solo se interpõe uma camada líquida capaz de absorver a radiação da terra.

MC. LENNAN operava, como veremos, no gêlo do lago Ontario, WULF sôbre a água do lago de Maria-Laach. A água de qualquer dêstes lagos não continha substâncias radioactivas em quantidade apreciável.

Medindo a corrente quando o aparelho se encontrava nas margens, ou sôbre o lago a uma certa distância destas, verificava-se que ela era menor no último caso.

A diferença observada era devida à absorpção da radiação penetrante pelas águas do lago.

Sendo a radiação principalmente proveniente do solo, era interessante saber se ela provinha da radioactividade induzida acumulada à superfície ou do interior da terra. Para esclarecer esta questão foi arrancado, numa planície, um pedaço de relva com a terra e aberto um buraco de cêrca de 70 cm. de profundidade no qual foi introduzido o aparelho coberto de 20 cm. de terra. A radiação da superfície não podia, portanto, atingir o aparelho senão através desta camada de terra. Portanto, se a radiação provinha da superfície, a ionisação devia diminuir; no caso dela provir do interior da terra devia aumentar.

Foi de facto o que se observou, tendo aumentado a ionisação de 6 iões por centímetro cúbico e por segundo. Este resultado foi confirmado por muitas experiências.

Para investigar se as substâncias radioactivas, de que provêm esta radiação, existem nas camadas superiores do solo, ou são produtos de desintegração de uma emanção proveniente das camadas profundas, foi feita a seguinte experiência.

Um cilindro de cimento de 1 metro de altura e 90 centímetros de diâmetro foi cheio com os materiais do solo; só no centro ficou apenas um pequeno espaço para o aparelho.

Se a radiação provinha de produtos de desintegração, era de esperar que a ionização no aparelho fosse diminuindo com o tempo, à medida que os mesmos produtos de desintegração se iam destruindo.

As indicações do aparelho eram comparadas com as de outro aparelho testemunha que se encontrava junto do primeiro no interior de um cilindro de cimento análogo, mas vazio.

Não tendo sido observada nenhuma diminuição, ficou assim provado que a radiação não resultava de productos de desintegração de uma emanção proveniente das camadas profundas do solo, mas de substâncias radioactivas existentes nas camadas superficiais.

WULF verificou ainda por uma experiência directa que a acção da emanção contida na atmosfera era insignificante. O aparelho foi enterrado no solo e colocado sobre ele um tonel que podia encher-se de água. Se uma parte apreciável da radiação proviesse do ar ela era dêste modo absorvida.

Verificou-se que quer o tonel estivesse cheio quer vazio a ionização era a mesma e portanto que a emanção contida na atmosfera não tinha nenhuma acção.

A maior parte dos resultados de WULF já tinham sido obtidos por Mc. LENNAN, professor em Toronto, que desde 1903 se ocupa desta questão e tem publicado,

juntamente com os seus discípulos, numerosos e importantes trabalhos.

MC. LENNAN estudou recipientes de chumbo, zinco e alumínio de 30 litros de capacidade, com as paredes limpas pelo processo atrás descrito e cheios de ar filtrado. Nestas condições obtinha cêrca de 17 iões por centímetro cúbico e por segundo com o recipiente de chumbo menos activo e 11 com os recipientes de zinco e alumínio.

Estes valores foram obtidos no laboratório da Universidade de Toronto. Operando com os mesmos recipientes sôbre a neve do lago Ontario (30 cm. de espessura, por 5,6 m. de profundidade), verificou-se que a ionisação diminuía consideravelmente.

Estas experiências de MC. LENNAN (1) foram repetidas em melhores condições por WRIGHT (2), que se serviu dos mesmos aparelhos, mas fez as suas experiências num laboratório novo e, portanto, insuspeito de contaminação radioactiva.

No laboratório de física obteve os seguintes resultados: 11,5 para o chumbo, 10 para o zinco e 9,3 para o alumínio.

No gêlo do lago Ontario a ionisação era apenas de 6,5 para o recipiente de chumbo, 4,5 para o de zinco e 4,9 para o de alumínio.

Como aparelho de medida, MC. LENNAN e seus dis-

(1) MC. LENNAU, *Phis. Review*, 1908.

(2) C. S. WIRGHT, *Phil. Mag.*, 1909, pag. 295.

cíbulos empregavam o electrómetro de WILSON (1) de condensador compensador, que estava ligado a um electrodo isolado que penetrava no interior do recipiente estudado, cuja parede é mantida a um potencial elevado por meio de uma pilha de carga.

Muito recentemente, MC. LENNAN e MURRAY (2) retomaram estes estudos, servindo-se para isso de dois aparelhos, um análogo ao acima descrito, e outro idêntico ao que WULF empregou nas suas experiências atrás referidas.

Estes resultados não diferem essencialmente dos anteriormente obtidos. Com recipientes de zinco a ionização observada era extraordinariamente pequena, pois era apenas de 7,76 para o aparelho de WILSON e 7,66 para o aparelho de WULF, no laboratório, enquanto que na baía de Toronto era respectivamente de 4,65 e 4,38.

Estes valores eram os mesmos quer o recipiente se encontrasse à superfície do lago quer estivesse mergulhado a uma profundidade de 8 metros. Esta experiência mostrou que a acção da atmosfera era nula.

Além destes recipientes MC. LENNAN empregou, e foi esse o ponto mais interessante deste trabalho, um cilindro de neve, no interior do qual mediu a ionização. A ionização neste caso era a mais fraca que se tem observado, pois era apenas de 7,37 no laboratório

(1) *Cambridge Scientific Instrument C.º List. n.º 92.*

(2) MC. LENNAN e MURRAY, *Phil. Mag.*, setembro de 1915.

e 2,6 na⁻baía. A água de que era formado este recipiente era água da canalização.

Julgando poder ainda reduzir mais a ionização, MC. LENNAN empregou depois água destilada num alambique do laboratório de química de Toronto, mas o efeito foi inverso do que se esperava, pois a ionização aumentou (5,5 iões na baía). Esta anomalia foi atribuída por MC. LENNAN a impurezas radioactivas contidas na água de que se serviu. MC. LENNAN pensa repetir as mesmas experiências com água destilada num alambique novo feito com material isento de impurezas radioactivas.

JOLY (1) demonstrou que a quantidade de rádio contida na água do mar é extremamente pequena.

Nestas condições era de esperar que a ionização sobre o mar foi da mesma ordem de grandeza da que se observava sobre o lago Ontario. Foi, de facto, o que se observou. A princípio estas medidas eram muito incertas, pois com os aparelhos de folha de ouro, era quasi impossível fazer boas medidas devido ao balanço do navio.

As primeiras observações feitas em boas condições foram as de SIMPSON e WRIGHT (2) por ocasião da sua viagem ao polo sul.

O aparelho era semelhante ao de MC. LENNAN que serviu nas experiências do lago Ontario; a única dife-

(1) JOLY, *Phil. Mag.*, 1909.

(2) *Proc. Roy. Soc.*, 1911, 175.

rença consistia na substituição do electrómetro de WILSON por um electrómetro bifilar de WULF.

O aparelho está representado na fig. 3. O electrodo C está ligado aos fios do electrómetro; o recipiente R isolado pelos blocos de ebonite EE e o colar da mesma

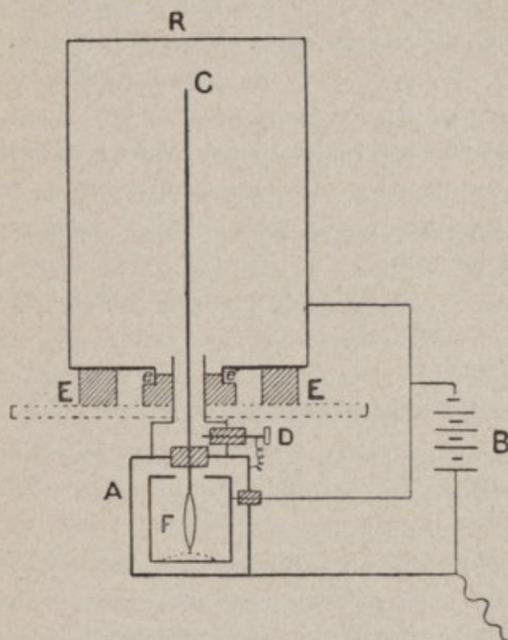


Fig. 3

substância *ee* está em comunicação com a caixa F do electrómetro e com o polo positivo duma bateria de pilhas B. Uma caixa metálica A, ligada para a terra, envolve a caixa F.

Para fazer uma medida o sistema electrodo-electrómetro é ligado para a terra por intermédio da chave

D. Os fios divergem, e uma vez isolados, a diminuição progressiva da divergência dá a medida da corrente de ionização.

O recipiente R, que era de zinco, tinha 27 litros de capacidade. Com êste aparelho SIMPSON e WRIGHT observaram que a ionização diminuía à medida que se afastavam das costas e que a partir de uma certa distância a diminuição era da mesma ordem da que se observava no lago Ontario.

O aparelho empregado por SIMPSON e WRIGHT tinha o inconveniente de não ser perfeitamente estanque e êste facto podia dar origem a uma importante causa de êrro, proveniente de uma troca de ar, entre o interior e o exterior do recipiente, em virtude das variações da pressão atmosférica.

MC. LENNAN (1) repetiu as mesmas experiências com um aparelho perfeitamente estanque e obteve o mesmo resultado. Um trabalho recente de MC. LENNAN e MC. LEOD (2) feito com um aparelho WULF confirmou ainda os resultados precedentes.

Do que fica dito conclue-se que o efeito do solo contribui com cêrca de 4 iões por centímetro cúbico e por segundo (MC. LENNAN) para a ionização num recipiente de zinco.

Como dissemos, êste efeito pode ser devido a duas causas: à presença de substâncias radioactivas no solo

(1) MC. LENNAN, *Phli. Mag.*, 1912, 520.

(2) MC. LENNAN e MC. LEOD, *Phil. Mag.*, 1913, 740.

ou ao depósito activo proveniente da atmosfera e acumulado à superfície da terra. É muito difficil separar estes dois efeitos que contribuem ambos para a radiação penetrante do solo.

Apesar das experiências de WULF, que levariam a admitir que o segundo efeito é desprezível em frente do primeiro, há factos que conduzem a uma conclusão contrária.

As únicas indicações que temos a respeito da influencia dos depósitos activos acumulados à superfície da terra resultam do estudo das variações da ionização em vaso fechado, que parecem estar relacionadas com certos elementos meteorológicos.

Vamos expôr, resumidamente, o pouco que actualmente se sabe a êsse respeito.

Variações da ionização em vaso fechado

A par das variações lentas, que já estudámos e que se explicam, provavelmente, pela presença de emanações, misturadas com o gás, muitos autores teem observado outras mais rápidas mas de muito menor amplitude, que são atribuidas a variações da radiação penetrante.

Este facto foi pela primeira vez notado por JAFFÉ (1) e mais tarde estudado por WOOD e CAMPBELL (2) numa série de medidas, obtidas registando fotografí-

(1) JAFFÉ, *Phil. Mag.*, 1904.

(2) WOOD e CAMPBELL, *Phil. Mag.*, 1907, 265.

camente durante 5 meses seguidos a ionisação num recipiente fechado. Estas medidas eram feitas pelo chamado método de desvio constante (1) que, como é sabido, consiste no seguinte :

O sistema electrómetro-electrodo é posto em comunicação com a terra por intermédio de uma resistência de Bronson. As indicações do electrómetro são então, para pequenas variações, directamente proporcionais à corrente.

O electrómetro empregado era um Dolezaleck. Este trabalho é o mais importante que se tem publicado sobre este assunto. De todas as curvas obtidas, resalta muito nitidamente uma dupla periodicidade diurna. Há um máximo muito nítido entre as 9 e 11 horas da noite e um mínimo entre o meio dia e as 3 horas.

Encontra-se também sempre, um máximo secundário entre as 8 e 11 horas e um segundo mínimo entre as 2 e 6 horas.

Estas variações notavam-se com vasos de chumbo, estanho e zinco, no ar, gás carbónico ou gás de iluminação.

Procurando relacionar o caracter periódico da ionisação com outros elementos meteorológicos, de variação também periódica, WOOD e CAMPBELL notaram o seu paralelismo com as variações do campo eléctrico terrestre registadas simultâneamente.

(1) RUTHERFORD, *Radioactive Substances and Their Radiations*, pag. 101.

Estas variações foram atribuídas à radiação penetrante, e, como não é natural admitir que a radiação das substâncias radioactivas contidas no solo, varie durante o dia, a variação diurna só pode ser explicada supondo que a matéria activa presente na atmosfera é depositada à superfície da terra em quantidade variável conforme as horas do dia. A dupla oscilação diurna e o seu paralelismo com as variações do campo electrico, observado nas experiências de CAMPBELL, levariam a admitir que era principalmente o campo electrico que, provocando o depósito de matéria activa à superfície da terra, dava origem à variação diurna.

A relação destas variações com o campo terrestre foi também observada por WULF (1) e por MACHE e RIMMER (2). Outros observadores porém, e estes são talvez a maioria, embora tenham notado estas variações, não observaram o seu paralelismo com as do campo electrico.

Entre estes contam-se GOCKEL (3) e WULF (4) num trabalho posterior ao que precedentemente citamos, que relacionam estas variações com as da pressão atmosférica. Das suas experiências resulta que um aumento ou diminuição da pressão atmosférica produz uma diminuição ou aumento na ionisação.

Este facto explicar-se-ia do modo seguinte: um au-

(1) WULF, *Phys. Zeit.*, 1909, 152.

(2) MACHE e RIMMER, *Radium*, 1906, 289.

(3) GOCKEL, *Phys. Zeit.*, 1909, 845.

(4) WULF, *Radium*, 1910, 171.

mento de pressão impeliria para as camadas mais profundas a emanação acumulada nos interstícios das rochas superficiais, resultante das substâncias radioactivas que elas contem, provocando assim uma diminuição da radiação penetrante. Uma diminuição de pressão produziria um efeito inverso.

Noutras observações, porém, não tem sido possível constatar variações diurnas da radiação penetrante.

Algumas destas observações, como as de C. S. WRIGHT (1) e G. A. CLINE (2) feitas em Toronto, merecem toda a confiança.

SIMPSON e WRIGHT (3) sobre o Oceano também não notaram esta variação.

Em vista da diversidade dos resultados obtidos é prematuro formar sobre este assunto uma opinião. Os dados experimentais são, por ora, muito insuficientes e nem todos merecem muita confiança.

Variação da radiação penetrante com a altitude

Como vimos, pode-se considerar como estabelecido que a radiação penetrante provém, praticamente na sua totalidade, do solo. Nestas condições é de esperar que o seu valor diminua com a altitude.

EVE (4) estudou a questão teoricamente numa memória já citada.

(1) C. S. WRIGHT, *Phil. Mag.*, 1909, 295.

(2) G. A. CLINE, *Phy. Rev.*, 1910, 35.

(3) SIMPSON e WRIGHT, *Proc. Roy. Soc.*, 1911.

(4) EVE, *Phil. Mag.*, 1911, 26.

Vejamos quais foram os resultados a que chegou EVE.

Seja P. (fig. 4) um ponto a uma altura h acima da superfície da terra suposta plana.

Seja Q a quantidade de rádio, em gramas, contida por centímetro cúbico do solo. Consideremos um anel elementar de raio x e a uma profundidade y abaixo da superfície da terra.

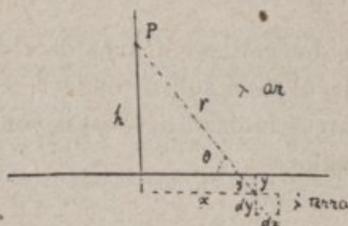


Fig. 4

A ionização em P será

$$N = \iint \frac{2\pi x dx dY QK}{(r+y)^2} e^{-\lambda y} e^{-\lambda r}$$

onde y é muito pequeno em frente de k .

$$\begin{aligned} N &= \int_0^x \int_0^{\pi/2} 2\pi Qk \frac{h \cot \theta \cdot h \operatorname{cosec}^2 \theta d\theta}{h^2 \operatorname{cosec}^2 \theta} e^{-\lambda h \operatorname{cosec} \theta} e^{-\lambda' y \operatorname{cosec} \theta} \\ &= 2\pi Qk \int_0^{\pi/2} \frac{\cot \theta \cdot d\theta}{\lambda' \operatorname{cosec} \theta} e^{-\lambda h \operatorname{cosec} \theta} \\ &= \frac{2\pi Qk}{\lambda'} \int_0^{\pi/2} \cos \theta e^{-\lambda h / \operatorname{sen} \theta} d\theta \end{aligned}$$

pondo $z = \operatorname{sen} \theta$

$$N = \frac{2\pi Qk}{\lambda'} \int_0^1 e^{-\lambda h/z} dz.$$

Para avaliar êste integral EVE traçou a curva

$$y = e^{-\lambda h/z}$$

e determinou a área de $z=0$ a $z=1$ para vários valores de h substituindo λ , λ' , Q e K pelos valores já atrás indicados. Nestas condições obteve os seguintes valores:

Altura em metros	Intensidade relativa
0	1,00
1	0,98
10	0,83
100	0,36
1000	0,001

Êstes resultados indicam uma diminuição com a altitude que é relativamente rápida e que podia ser observada já a 100 metros. Numerosas experiências teem sido feitas neste sentido, mas os seus resultados não concordam com os do cálculo de EVE.

MC. LENNAN (1), em Toronto, obteve, com um recipiente de zinco, na base e no cimo de uma torre de 64 metros de altura, respectivamente 15,1 e 12,1 iões e portanto uma diferença de 3 iões por centímetro cúbico e por segundo. Este resultado, que concordava

(1) MC. LENNAN, *Phil. Mag.*, 1911, 639.

suficientemente com a teoria, não foi confirmado em experiências posteriores.

As experiências de WULF (1) executadas em Paris, na base e no cimo da Torre Eiffel (300 metros), indicam também uma diminuição da radiação penetrante.

A diferença observada é, porém, muito pequena, se a comparamos com os resultados do cálculo de EVE.

BERGWITZ, nas suas experiências numa torre de 84 metros de altura, obteve um resultado análogo ao de WULF.

Todos estas experiências estão sujeitas a uma causa de erro muito importante: sob a acção do campo electrico, sempre muito intenso, na vizinhança do cimo das torres (2), os depósitos activos acumulados nestes pontos devem ser consideráveis.

Em consequência destes depósitos activos o valor da radiação penetrante é muito mais elevado que num ponto isolado da atmosfera, à mesma altitude.

Experiências ulteriores feitas em balão, principalmente por GOCKEL (3) e HESS (4), conduziram a resultados ainda mais difíceis de interpretar. A diminuição da ionisação, em vaso fechado, foi neste caso insignificante ou mesmo nula.

A 1000 metros de altitude era sensivelmente a mesma

(1) WULF, *Radium*, 1910, 340.

(2) Segundo CHAUVEAU é de cerca de 3000 volts na vizinhança do cimo da Torre Eiffel.

(3) GOCKEL, *Phys. Zeitschr*, 1910, 280.

(4) HESS, *Phys. Zeitschr*, 1911, 298.

que ao nível do solo. Este resultado não recebeu, até ao presente, uma explicação satisfatória.

GOCKEL admite, com ARRENIUS, a existência de uma radiação cósmica, possivelmente proveniente do sol, que produziria a altitudes elevadas a ionização observada. A altitudes menores esta radiação e a que provêm da terra seriam parcialmente absorvidas pelo ar e da sobreposição dos dois efeitos resultaria uma compensação aproximada.

Esta compensação, segundo GOCKEL, não poderia ser perfeita e a altitudes inferiores a 200 metros predominaria o efeito da radiação penetrante terrestre. Dêste modo se explicaria a diminuição observada por MC. LENNAN, WULF e BERGWITZ.

Do que fica dito conclui-se que nem a radiação penetrante, nem a emanção introduzida com o gaz, nem o depósito activo nas paredes do vaso, podem produzir a totalidade da ionização observada em vaso fechado. Quando se eliminam todas estas causas de ionização, como por exemplo nas experiências de MC. LENNAN no lago Ontário, esta conserva ainda um valor muito apreciável sobretudo nos recipientes metálicos.

Vamos agora ocupar-nos dessa ionização residual.

Ionização residual

Para explicar a ionização residual não se vêem outras causas além das seguintes :

- 1) Uma radiação própria das paredes do vaso ;

2) Uma ionização espontânea do gás.

Vamos examinar sucessivamente estas duas hipóteses.

Radiação das paredes do vaso

A influência da natureza das paredes do vaso no valor da ionização foi pela primeira vez posta em evidência por STRUTT (1), que obteve os seguintes valores para a corrente, expressos no número de divisões de micrómetro, percorridas por hora, pela folha de ouro :

Estanho.....	3,3 a 2,3
Zinco.....	1,2
Alumínio.....	1,4
Chumbo.....	2,2
Cobre.....*	1,7 a 2,3
Platina.....	2 a 3,9.

Como se vê neste quadro, observam-se diferenças consideráveis na ionização, conforme a natureza das paredes do vaso. Estas diferenças eram atribuídas por STRUTT a uma fraca radioactividade dos metais.

Este modo de ver era sustentado nessa época por J. J. THOMSON e pelos seus discípulos, a quem se devem os poucos trabalhos em que se tem tentado pôr em evidência o efeito de uma radiação própria das paredes do vaso.

(1) STRUTT, *Phil. Mag.*, 1903.

Pondo de parte bastantes trabalhos que nada mais foram que a repetição das experiências de STRUTT, vamos ocupar-nos de uma importante memória de A. WOOD (1), onde êste assunto é desinvolvidamente tratado.

O fim das experiências de WOOD era decidir se o efeito das paredes era devido a uma radiação intrínseca do metal, ou a um efeito secundário devido à radiação penetrante proveniente do exterior.

O método empregado consistia em determinar, em recipientes de diferentes substâncias, a redução que se obtinha rodeando-os de uma espessa camada de chumbo.

Se a radiação das paredes é um fenómeno primário, a presença do envólucro de chumbo não a deve afectar; para um vaso de metal bastante activo, a redução relativa da ionisação deve ser, portanto, pequena comparada com a que deve ter logar quando o vaso é formado de um metal pouco activo.

Pelo contrário, se a radiação das paredes é um fenómeno secundário, excitado pela radiação penetrante exterior, é de esperar que ambas estas radiações sejam absorvidas na mesma proporção e, portanto, mesmo que a radiação secundária possa diferir em valor absoluto de metal para metal, a redução relativa deve ser a mesma para todos.

(1) A. WOOD, *Phil. Mag.*

Os resultados destas experiências foram os seguintes :

	Redução absoluta	Redução relativa
Pb	0,053	10 0/0
Sn	0,212	22,5 0/0
Fe	0,067	23,5 0/0
Al	0,035	13,5 0/0
Zn	0,068	26,5 0/0

Os números dêste quadro mostram que a redução observada não corresponde a nenhuma das hipóteses extremas atrás consideradas.

WOOD concluiu do seu trabalho que a ionização era devida: uma parte a uma radiação penetrante e a um efeito secundário das paredes, outra parte a uma radiação própria das mesmas.

WOOD considerou êste resultado «uma forte probabilidade em favor da radioactividade geral da matéria». Na hipótese de uma radiação própria das paredes, seria do maior interêsse poder determinar qual a sua natureza.

Foi o que tentou fazer CAMPBELL (1) num trabalho que, a nosso ver é o mais interessante de todos os que se tem publicado sôbre a ionização dos gases em vaso fechado.

O princípio do método é o seguinte. Suponhamos uma caixa com duas faces planas e paralelas, consti-

(1) N. R. CAMPBELL, *Phil. Mag.*, 1906, 206.

tuidas pela substância cuja radiação se quer examinar; estas faces são móveis e a sua distância pode variar continuamente.

CAMPBELL fez uma série de medidas da ionização

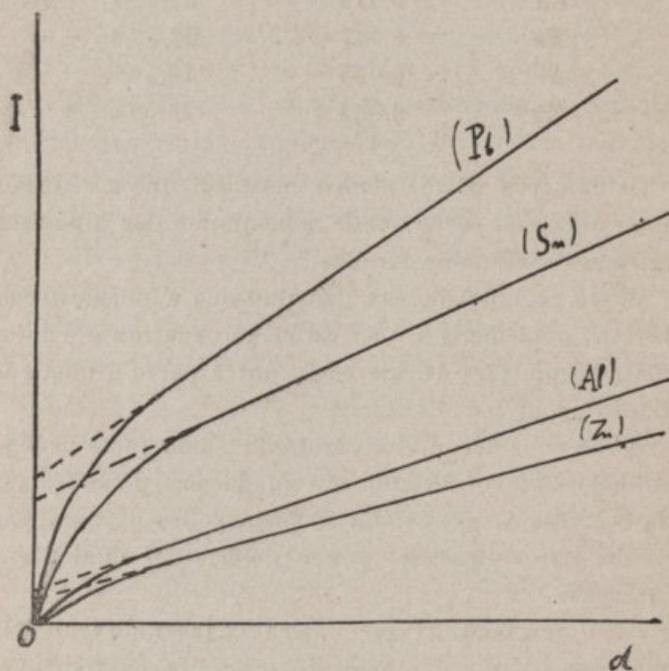


Fig. 5

no interior da caixa, partindo com as placas quâsi ao contacto e aumentando-lhes em seguida a distância.

Nestas condições, obteve as curvas representadas na fig. 5.

CAMPBELL interpretou estes resultados admitindo

que a radiação emitida pelas paredes metálicas era de duas espécies : uma radiação penetrante capaz de atravessar a maior distância entre as placas sem absorpção apreciável, outra radiação que era absorvida por alguns centímetros de ar.

A ionização devida à radiação penetrante é proporcional à distância entre as duas placas e é, portanto, representada gráficamente por uma recta passando pela origem.

A ionização devida à outra radiação pouco penetrante é, para pequenas distâncias das placas, proporcional a essa distância; mas, quando esta é superior ao percurso dos raios, a ionização torna-se constante.

As curvas da fig. 5 são a sobreposição destes dois efeitos.

CAMPBELL repetiu as suas experiências rodeando o recipiente de uma camada de chumbo, que absorvia parcialmente a radiação penetrante.

Observou que, nestas condições, a forma geral das curvas não era alterada. Para a maior parte dos metais, a curva representativa da diferença entre os valores da ionização no primeiro e no segundo caso não se afastava sensivelmente de uma linha recta.

Isto prova que a ionização produzida pela radiação secundária por ella excitada é aproximadamente uniforme.

CAMPBELL, discutindo os resultados das suas experiências, foi levado a admitir que todos os metais emittiam uma radiação própria, do género α , de um per-

curso determinado, e variável com a natureza do metal.

O valor do percurso dêstes raios era deduzido da forma das curvas obtidas, mas, dada a incerteza das medidas, não se deve atribuir uma importância demasiada aos resultados.

Sem entrarmos em detalhes sobre o modo como CAMPBELL fez a análise das curvas que obteve, limitamo-nos a indicar os resultados relativos ao percurso dos raios emitidos pelos diferentes metais:

Pb.....	12 cm.
Cu.....	8,5 »
Al.....	8 »
Sn.....	8,5 »
Zn.....	10 »
Fe.....	13 »

CAMPBELL nota que o facto de o percurso dos raios variar de metal para metal é uma prova de que estes raios não proveem de uma impureza radioactiva; além disso mesmo o número mais fraco obtido para o percurso dos raios (8 cm.) é bastante superior ao dos raios α das substâncias radioactivas conhecidas. Portanto, tudo parece indicar que se trata de uma emissão de radiações pelas paredes metálicas. Porém, devido a várias razões que passamos a expôr, os resultados destas experiências não merecem inteira confiança.

Em primeiro lugar CAMPBELL notou variações bruscas na corrente que media, o que, como êle próprio

reconhece, tornava difíceis as observações sistemáticas.

Estas variações (*jumps*) por vezes atingiam 50 %.

CAMPBELL confessa não encontrar uma explicação satisfatória para este facto.

A causa dessas variações não tem sido, de facto, elucidada; adiante discutiremos mais detalhadamente este assunto quando tratarmos dos nossos trabalhos.

Um outro ponto importante a notar nas experiências de CAMPBELL é que a ionisação observada era extremamente elevada comparada com a que se tem obtido em trabalhos posteriores, em que se opera em condições mais bem definidas.

A ionisação era cêrca de 6 vezes superior ao valor mínimo a que se consegue reduzi-la. Este facto tira bastante valor às conclusões de CAMPBELL, pois faz-nos suspeitar de contaminação radioactiva dos seus recipientes, o que nada teria de inverosímil, porque estas experiências foram feitas no laboratório de J. J. THOMSON, onde se manipulavam substâncias radioactivas.

CAMPBELL não tinha o cuidado de privar as paredes do recipiente de qualquer depósito activo, pelo processo atrás descrito, limitando-se apenas a passá-las com lixa; como as medidas relativas a cada curva levava alguns dias a fazer e o recipiente não era estanque, é muito possível que sôbre as paredes se formasse algum depósito activo.

Estas experiências nunca foram repetidas. Só muito

recentemente, já depois de concluído o nosso trabalho que exporemos no capítulo seguinte, apareceu uma memória, onde MC. LENNAN e TRELEAVEN (1) retomam esta questão.

O método empregado é mais indirecto que o de CAMPBELL, e consiste em observar a ionisação residual sobre o gêlo do lago Ontário, num recipiente de zinco contendo respectivamente, ar, gás carbónico, hidrogénio, etileno, óxido nitroso e acetileno.

Vejamos como procedeu MC. LENNAN.

Em primeiro lugar determinou, no laboratório, o número de iões que produziam no recipiente contendo os diferentes gases, os raios α de uma preparação de polónio, os raios β do urânio e os raios γ de uma ampola de rádio.

MC. LENNAN observou que a ionisação produzida no gás carbónico pelos raios α , β e γ e a ionisação residual no lago eram respectivamente 80,4, 156, 157 e 110,3, representando por 100 os mesmos valores no caso do ar.

O número que representa a ionisação residual está compreendido e os que representam respectivamente a ionisação pelos raios α e pelos raios β ou γ ; nestas condições, MC. LENNAN admite que a ionisação é produzida pelos raios α e β ou γ provenientes das paredes do vaso.

A percentagem X da ionisação produzida pelos raios

(1) *Phil. Mag.*, set. 1915.

α é, neste caso, dada pela equação

$$X \cdot 80,4 + (100 - X) 156 = 100 \cdot 110,3$$

d'onde

$$X = 60,4.$$

Com todos os outros gases, excepto com o acetileno, o número que representa a ionização residual está sempre compreendido entre o que representa a ionização pelos raios α e o que representa a ionização pelos raios β ou γ .

Fazendo para cada gás um cálculo semelhante ao que fizemos para o gás carbónico, Mc. LENNAN obteve para a percentagem da ionização produzida pelos α :

Gás carbónico	60,4 %
Hidrogénio	23,4 %
Etilena	14,4 %
Óxido nitroso	49,2 %

$$\text{Média} = 39,6 \%$$

Com o acetileno observou Mc. LENNAN uma anomalia de que adiante nos ocuparemos.

Variação da ionização com a pressão do gás

O estudo da variação da ionização com a pressão do gás pode fornecer-nos indicações muito interessantes a respeito de uma possível radiação das paredes do vaso.

Com efeito no caso de haver uma radiação pouco penetrante, proveniente das paredes, a lei da variação da corrente com a pressão deve ser representada por uma curva análoga às da fig. 5.

Sendo esta radiação totalmente absorvida a uma certa pressão, com a diminuição da pressão a distância percorrida antes da completa absorpção será cada vez maior, mas, enquanto os raios não atingirem a parede oposta do vaso, a ionisação total será constante.

A partir do momento em que a pressão baixar o suficiente para que a parede oposta seja atingida pelos raios, a ionisação deve variar proporcionalmente à pressão.

Convém notar, porém, que a maior parte dos experimentadores que se ocuparam dêste assunto não orientaram as suas experiências no sentido de pôr em evidência uma tal acção.

C. T. R. WILSON (1) foi quem pela primeira vez se ocupou desta questão. As suas experiências foram feitas com o seu electroscópio de vidro prateado, atrás descrito.

WILSON experimentou com o ar, gás carbónico, hidrogénio, gás sulfuroso e clorofórmio a pressões que iam até uma atmosfera.

A ionisação variava proporcionalmente à pressão do gás. Exceptuando o hidrogénio, para todos os outros gases, a ionisação mostrou-se sensivelmente proporcional à sua densidade, para uma dada pressão.

(1) *Proc. of the Roy. Society*, jan., 1902.

Estas leis verificavam-se, sensivelmente, para pressões baixas; porém a pressões mais altas (superiores a 30 cm. de mercúrio) a ionização crescia mais lentamente que a pressão.

WILSON, que julgava a ionização em vaso fechado, uma ionização espontânea dos gases, embora não pusesse completamente de parte a hipótese de uma radiação das paredes, explicava este facto, admitindo que só às baixas pressões a corrente estava saturada, e que às pressões mais altas havia recominação dos iões, de modo que a corrente observada já não media a ionização. WILSON julgava prematuro admitir que houvesse uma acção das paredes.

Uma experiência muito interessante foi feita mais tarde por PATTERSON (1). O recipiente empregado era de ferro, cilíndrico e tinha 30 cm. de diâmetro por 20 de altura. Verificou que a corrente de saturação, que, à pressão atmosférica, correspondia à produção de cerca de 50 iões por centímetro cúbico e por segundo, variava proporcionalmente à pressão, para pressões inferiores a 8 cm. de mercúrio, mas a partir de 30 cm. era independente da pressão.

Estes resultados estavam em desacôrdo com os de WILSON.

W. WILSON (2), experimentando com um electroscópio que colocava num recipiente que podia suportar

(1) PATTERSON *Phil. Mag.*, agosto, 1903.

(2) W. WILSON, *Phil. Mag.*, 1909.

pressões até 45 atmosferas, verificou que a corrente era aproximadamente proporcional à pressão do gás, mas observou importantes anomalias, aliás dificilmente explicáveis, mas que êle interpretou admitindo que misturada com o gás se encontrava uma emanção radioactiva.

Recentemente, J. REY (1) em vista do desacordo dos resultados de PATTERSON com os de todos os outros experimentadores, repetiu esta experiência procurando colocar-se nas mesmas condições em que operava PATTERSON: vaso de grandes dimensões e ionisação muito elevada.

As suas experiências, feitas com um recipiente em que a ionisação era excepcionalmente elevada, pois era de 100 iões por centímetro cúbico e por segundo, confirmaram o resultado de PATTERSON.

Passando em revista o que temos dito a respeito das experiências conduzidas no sentido de pôr em evidência uma radiação própria das paredes do vaso, vemos que, exceptuando as experiências recentes de Mc. LENNAN, só no caso de uma ionisação extremamente elevada (N. R. CAMPBELL, PATTERSON, J. REY) se obtiveram resultados positivos.

Tal era o estado desta questão, quando em 1913 nos começamos a ocupar dela. Pareceu-nos ser do maior interesse averiguar se, de facto, as paredes do vaso emitiam ou não uma radiação própria, mas empre-

(1) J. REY, *Radium*, abril, 1913.

gando para isso recipientes em que a ionisação tivesse valores comparáveis aos mais fracos que se tem obtido.

Com efeito, experiências como as acima referidas, em que o valor da ionisação é cêrca de 10 vezes superior ao valor médio obtido para a ionisação em vaso fechado, tem pouca significação, pois o valor anormalmente elevado da corrente, faz-nos suspeitar da existência de impurezas radioactivas nas paredes do vaso.

Os resultados das nossas experiências serão expostos no capítulo seguinte, mas desde já podemos dizer que êles são francamente positivos.

Ionisação espontânea dos gases

A hipótese de uma ionisação espontânea dos gases, apesar de não se conhecer, até à data, nenhum facto experimental bem averiguado, em que ela assente, tem sido formulada por vários autores, para explicar a ionisação residual.

LANGEVIN e REY (1) estudaram teoricamente esta questão. Supondo uma massa gasosa em equilibrio térmico, cujas moléculas estão animadas de velocidades repartidas segundo as leis de MAXWELL, calcularam o número de choques que, por unidade de tempo e por unidade de volume se efectuavam, entre as moléculas, com uma componente normal à esfera de choque, superior a um certo limite.

(1) LANGEVIN e REY, *Radium*, 1913, 142.

Representando por Γ o número de choques por unidade de tempo e por unidade de volume, LANGEVIN e REY obtiveram

$$\Gamma = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{2 \omega^2 h}{\pi \eta}} e^{-\frac{hmv^2}{2}}$$

onde

$$h = \frac{2RT}{N}$$

m é a massa da sua molécula;

ω a pressão do gás;

η a viscosidade do gás;

T a temperatura absoluta do gás;

N o número de Avogadro;

R a constante dos gases perfeitos;

v a componente normal de choque.

Como vimos, a ionização residual pode supor-se, em média, igual a 4 iões por centímetro cúbico e por segundo.

LANGEVIN e REY calcularam nesta hipótese, partindo da fórmula acima, qual o valor que devia ter $\frac{mv^2}{2}$ para que fosse $\Gamma = 4$. Quando $T = 300$, $\omega = 10^6$ e $\eta = 2.10^{-4}$, tendo encontrado $\frac{mv^2}{2} = 3,7 \cdot 10^{-12}$ ergs.

Este número é muito próximo, como ordem de grandeza, da energia necessária a um corpusculo para ionisar uma molécula.

A mesma fórmula mostra que o número de choques excepcionais diminui com a pressão o que concorda com a experiência.

Mas quando a temperatura se eleva de 10 graus a fórmula teórica prevê um aumento do número de choques de 4 para 30.000, o que está em desacordo com as experiências de PATTERSON (1), que provou que a corrente de ionização não varia quando a temperatura se eleva desde 20 a 400 graus.

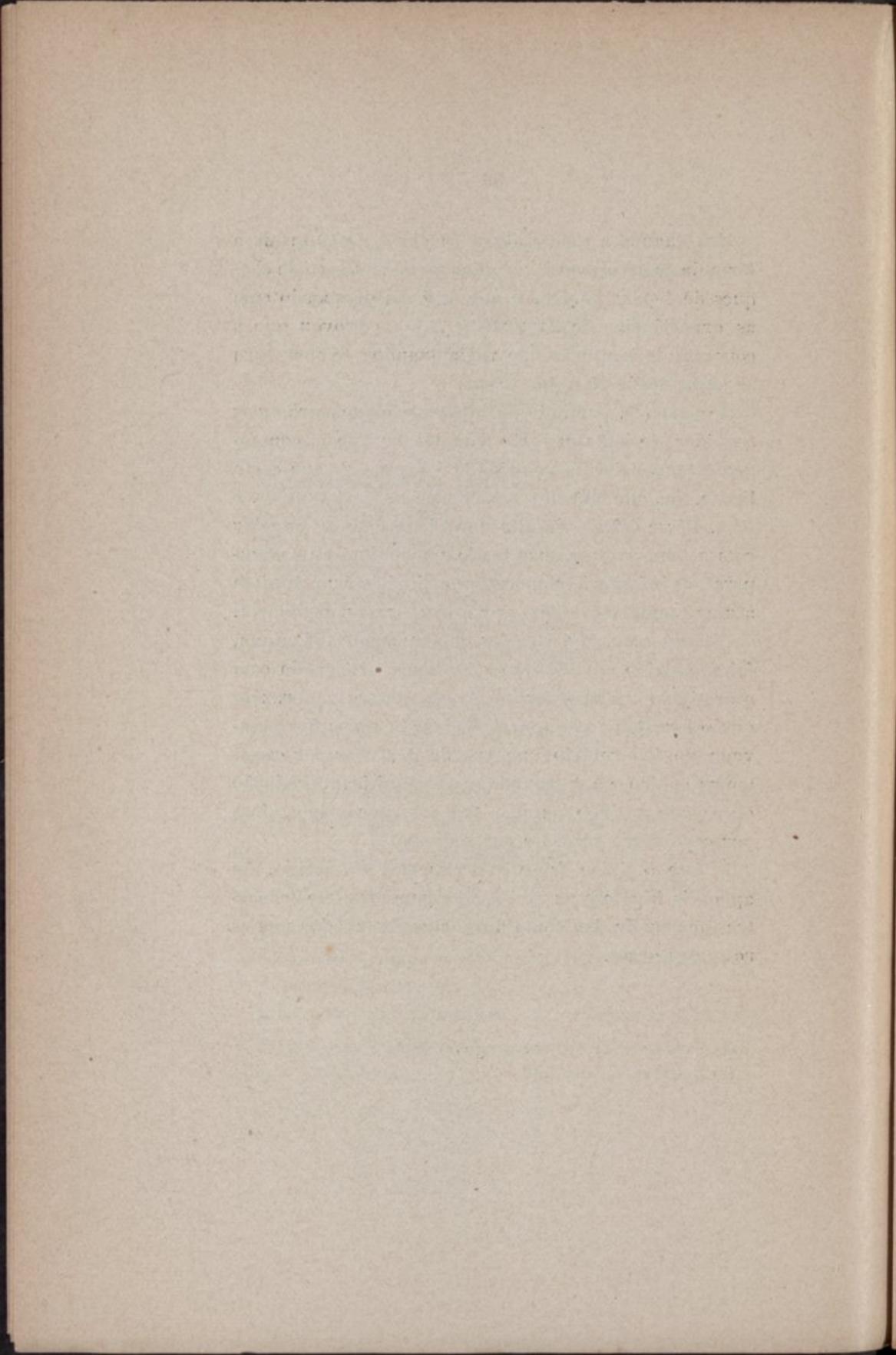
WOLFKE (2), partindo da hipótese de que os choques seguidos de ionização são aqueles em que a componente tangencial da velocidade é superior a um certo limite, fez um cálculo semelhante ao de LANGEVIN e REY. Dêsse cálculo resulta que a ionização deve variar com a temperatura, mas tendo um máximo a uma temperatura inferior à temperatura ordinária e um mínimo a uma temperatura superior à temperatura ordinária.

Ultimamente, MC. LENNAN, numa memória já citada, foi conduzido admitir que a ionização observada com o acetileno era uma ionização espontânea. As razões que o levaram a isso foram: a elevada ionização observada no laboratório que era de 27,9 iões por centímetro cúbico e por segundo, e a insignificante redução observada no lago Ontario, que era apenas de 0,9 iões por centímetro cúbico e por segundo.

É este o único facto experimental conhecido, em apoio da hipótese da ionização espontânea que se mostra incapaz de dar conta dos factos observados com os restantes gases.

(1) PATTERSON, *Phil. Mag.*, agosto, 1913.

(2) *Radium*, agosto, 1913.



CAPÍTULO III

Experiências sôbre a variação da ionisação com a pressão do gás

O objecto das nossas experiências é fazer um estudo sistemático da variação da ionisação em vaso fechado com a pressão do gás, tendo em vista averiguar qual a influência da natureza da parede do vaso, na lei desta variação.

Como veremos, um estudo desta natureza permite esclarecer alguns pontos do problema, ainda tão obscuro, da influência das paredes na ionisação em vaso fechado. Vamos em seguida descrever os aparelhos e métodos de medida que empregamos.

Aparelhos e métodos de medidas

Nas nossas experiências servimo-nos de dois aparelhos que passamos a descrever (1).

(1) Todos os aparelhos de que nos servimos, excepto um electrómetro de DOLEZALECK, foram construídos no Laboratório de Física da Universidade.

Primeiro aparelho

O método que julgamos mais conveniente para a medida de fracas correntes é o que foi empregado por C. T. R. WILSON, em 1900, nas experiências a que atrás nos referimos.

Entretanto, tendo tido necessidade de estudar a curva de saturação da corrente, montámos o aparelho

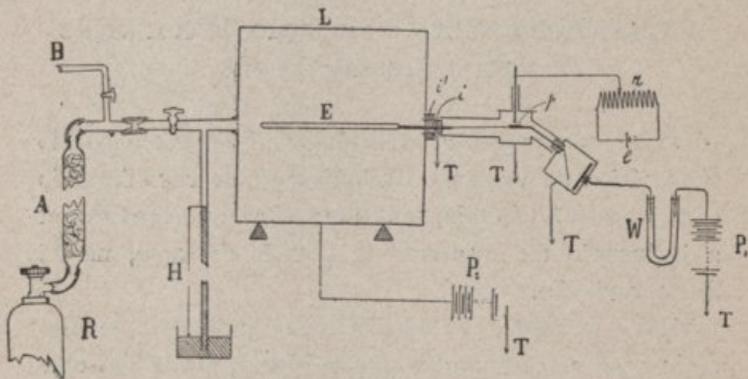


Fig. 6

representado na fig. 6, pois o método de WILSON não conviria neste caso particular.

Esta montagem, que funcionou sempre muito bem, serviu-nos depois para muitas outras experiências e com ela fizemos uma grande parte do nosso trabalho.

Um electrodo convenientemente isolado E, penetra no interior do recipiente L que contém o gás cuja conductibilidade se quer estudar. O isolador *i*, que é atravessado pelo electrodo E, é de ambar ou ebonite, e munido de um anel de guarda.

Este electrodo é posto em comunicação com o electrómetro, por meio de um fio convenientemente protegido das influências electrostáticas.

O sistema electrodo-electrómetro pode ser posto em comunicação com a terra por meio de uma chave munida de uma ponta de platina, que faz contacto com uma pequena placa p igualmente de platina.

Esta mesma chave permite também verificar comodamente antes de cada medida a sensibilidade do electrómetro, por meio de um elemento de pilha e que tem um dos polos ligado para a terra, e de um potenciometro r . O electrómetro empregado foi a princípio um DOLEZALECK; êste aparelho, cujo funcionamento não era muito satisfatório, devido ao mau estado de um isolador, foi depois substituído por um electrómetro inclinado de WILSON que está representado na figura.

O recipiente convenientemente isolado é mantido a um potencial elevado por meio de uma bateria de pilhas P_2 .

Verificava-se que êste potencial se mantinha rigorosamente constante, com um electroscópio de EXNER não representado na figura.

A sensibilidade desta montagem, que era grande, devido à sua pequena capacidade electrostática e à sensibilidade do electrómetro, permitia reduzir muito a duração das medidas.

A duração de cada medida era de cerca de um minuto. O bom funcionamento do aparelho era sempre verificado do seguinte modo:

O recipiente L era ligado para a terra, e o sistema

electrodo-electrômetro, ao qual se comunicava por meio da pilha *e*, uma pequena carga, era isolado.

Nestas condições a posição de equilíbrio da fôlha de ouro devia manter-se invariável durante um tempo superior à duração da medida. Se assim não sucedia, era sinal que algum isolador não se encontrava em bom estado, e era imediatamente limpo ou substituído (1).

Para fazer uma medida, isolava-se o sistema electrodo-electrômetro e observava-se o tempo que a fôlha de ouro gastava a percorrer um certo número de divisões da escala. Conhecida a capacidade do sistema e a sensibilidade do electrômetro, pode medir-se a corrente em unidades absolutas.

Segundo aparelho

Como atrás dissemos, a disposição que conduz a resultados mais precisos é a primitiva disposição de WILSON.

As vantagens desta disposição sôbre a anterior são as seguintes:

1) Não existir a importante causa de erro que pode resultar de uma variação da pilha de carga durante a medida, que num aparelho muito sensível pode oca-

(1) Para limpar um isolador basta, na maior parte dos casos, lavá-lo com alcohol e água destilada, tendo o cuidado de não o tocar depois com as mãos. Antes de o pôr no seu lugar é conveniente sempre deselectrizá-lo, cuidadosamente, com a chama de um bico de BUNSEN.

sionar importantes perturbações devidas ao facto de a parede do recipiente actuar por influência sobre o sistema electrodo-electrômetro.

2) Não haver nenhuma parte do sistema isolado ao contacto do ar atmosférico, sempre um pouco ionizado, sobretudo nos laboratórios de radioactividade.

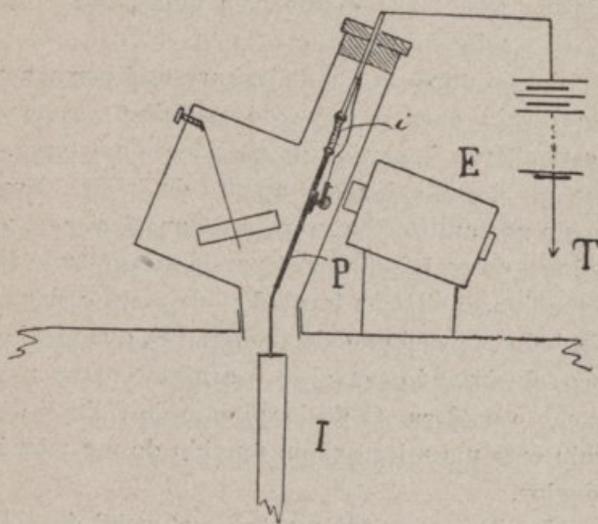


Fig. 7

3) Reduzir os isoladores a um só.

O inconveniente deste método consiste em ser muito grande a duração das medidas, o que é devido à pequena sensibilidade ao potencial dos electroscópios de fôlha, ou mesmo dos aparelhos de WULF que os podem substituir. Num aparelho que montámos (fig. 7) não se nota este inconveniente.

Este aparelho não é mais que uma modificação do

electrômetro de WILSON. Uma placa inclinada P está fixa por meio de um isolador de quartzo, a uma haste de latão que atravessa um isolador de ebonite e comunica com uma bateria de carga. Esta haste de latão está permanentemente em contacto com a placa por intermédio de um fio de aço terminado por uma ponta de platina que faz contacto com uma placa também de platina soldada em P.

A fôlha de ouro de 1^{mm} de largura está permanentemente ligada para a caixa do aparelho que por sua vez está ligada à parede do recipiente e à terra. As dimensões desta caixa são apenas de $4 \times 5 \times 2$ centímetros e portanto o seu volume desprezível em frente do volume do recipiente (8¹) Quando se pretende fazer uma medida, o sistema formado pela placa e electrodo S é isolado por meio do electro-iman E, que atrai o fio de aço, desfazendo portanto o contacto entre a pilha de carga e a placa. O deslocamento da fôlha é determinado com um microscópio munido de um micrómetro ocular.

Regulando convenientemente o potencial da placa e sua inclinação, consegue-se obter uma sensibilidade que pode ir até cêrca de 100 div. por volt, no aparelho mais sensível que construímos. Uma sensibilidade tão elevada não é necessária, e seria até inconveniente para a maior parte das medidas. Uma sensibilidade de 20 a 30 divisões por volt é a que mais convêm na maior parte dos casos e reduz a duração de cada medida a pouco mais de um minuto, com o recipiente de que nos serviamos.

Com recipientes cujo volume seja inferior a um litro, a placa e a fôlha de ouro podem colocar-se directamente dentro do recipiente; esta disposição não pode adoptar-se com recipientes de grande capacidade, devido às correntes de ar, de convecção, que tornam instável a posição da fôlha.

As propriedades dêste aparelho são as mesmas do bem conhecido electrómetro de WILSON. Há, para uma dada inclinação da placa, um potencial acima do qual o equilíbrio da fôlha é instável; para potenciais bastante inferiores o desvio é proporcional à variação de potencial da placa, e é possível encontrar um potencial intermédio para o qual se tem uma grande sensibilidade, combinada com a estabilidade em toda a região da escala.

Na fig. 8 estão representadas três curvas de sensibilidade correspondentes a êstes três casos típicos. Num dos eixos está representada a variação do potencial da placa e no outro o deslocamento correspondente da fôlha.

O quartzo assegura um excelente isolamento ao aparelho que funciona de um modo muito satisfatório.

A sensibilidade determina-se fazendo variar o potencial da pilha de carga, tirando ou intercalando um elemento, ou, para obter menores variações, com um potenciómetro.

A medida da corrente faz-se determinando a queda de potencial da placa, que está ligada a um electrodo que penetra no recipiente, durante um tempo conhecido.

A capacidade electrostática do aparelho é muito pequena.

Para a medida das correntes em unidades absolutas era necessário o conhecimento da capacidade dos apa-

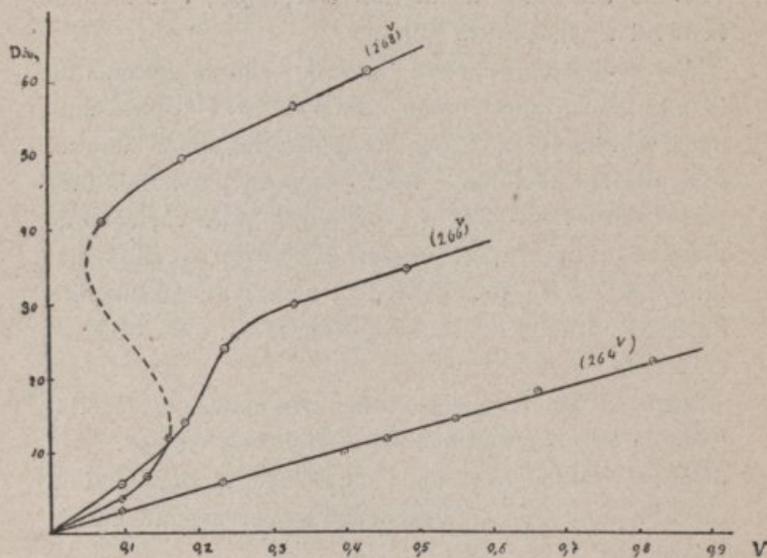


Fig. 8

relhos que foi medida pelo método, bem conhecido, da corrente constante, servindo-nos para isso de um condensador cilíndrico de 37,3 U.E.S. de capacidade.

Encontrou-se assim a capacidade do primeiro aparelho igual a 9,1 U.E.S., e a do segundo igual a 7,6 U.E.S. A corrente em U.E.S. era

$$I = \frac{CV}{t}$$

onde C é a capacidade do sistema e V a variação de potencial no tempo t .

Medidas

Depois de várias experiências preliminares e alguns insucessos que seria longo e pouco interessante relatar, fixámo-nos na técnica que vamos descrever.

Tivemos sempre o cuidado de operar em condições muito bem definidas, precaução sem a qual os resultados destas experiências, que são na verdade muito delicadas, não são nunca comparáveis.

O recipiente com que sempre operamos era de latão e tinha a forma de um cubo de 20 cm. de aresta. Uma das faces era aparafusada de modo a poder abrir o recipiente, quando era necessário. As experiências eram feitas forrando interiormente este recipiente com placas do metal com que se queria experimentar.

O recipiente era estanque de modo a poder sustentar o vazio. Os gases empregados nas nossas experiências foram o ar atmosférico e o gás carbônico proveniente de um cilindro R (fig. 6) onde se encontrava sob pressão. O gás introduzido no recipiente era privado de poeiras, fazendo-o atravessar um tubo A contendo algodão de vidro embebido em glicerina.

A pressão do gás no recipiente era medida com um manómetro de mercúrio H.

Antes de todas as medidas, o recipiente assim como os metais com que era forrado interiormente eram lixados e lavados com ácido azótico, ácido clorídrico,

amoníaco e água destilada, para fazer desaparecer qualquer depósito activo que existisse nas paredes.

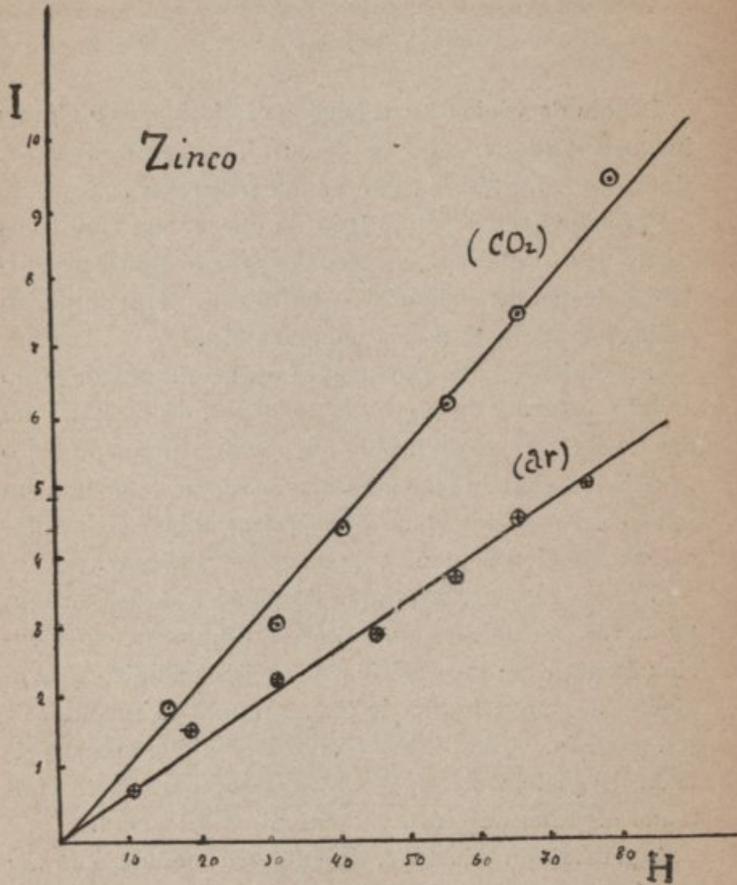


Fig. 9

O potencial a que era mantido o recipiente pela pilha P₂ era sempre positivo, para evitar o depósito de

radioactividade induzida proveniente da atmosfera, sobre as paredes.

As medidas começavam sempre cêrca de duas horas

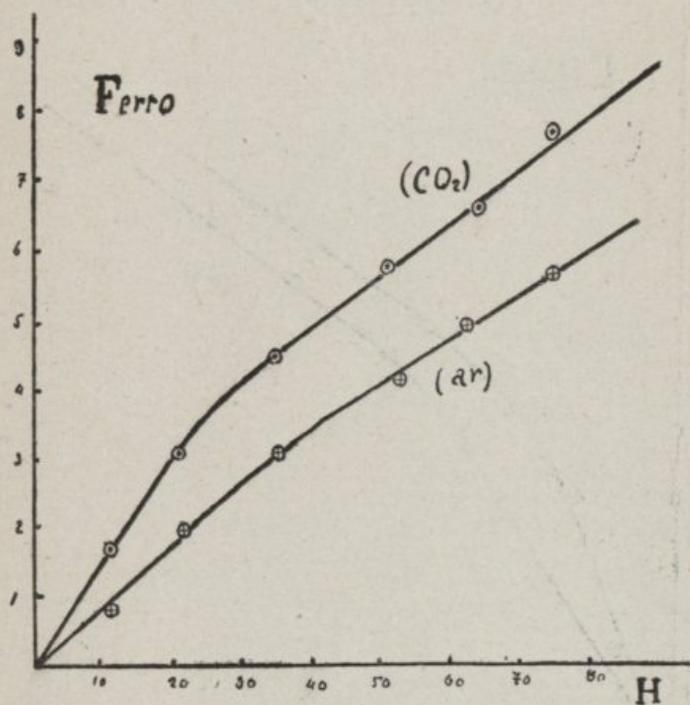


Fig. 10

depois da introdução do gás e a duração de cada série de medidas para a construção de uma curva nunca era superior a uma hora e meia. Reconhecemos a necessidade de operar rapidamente, para nos pormos ao abrigo da causa de êrro, que provinha das variações lentas da ionização a que atrás nos referimos, e que,

como vimos, são, em parte, a consequência de uma alteração superficial das paredes do vaso. Este fenómeno produz-se principalmente nos recipientes de

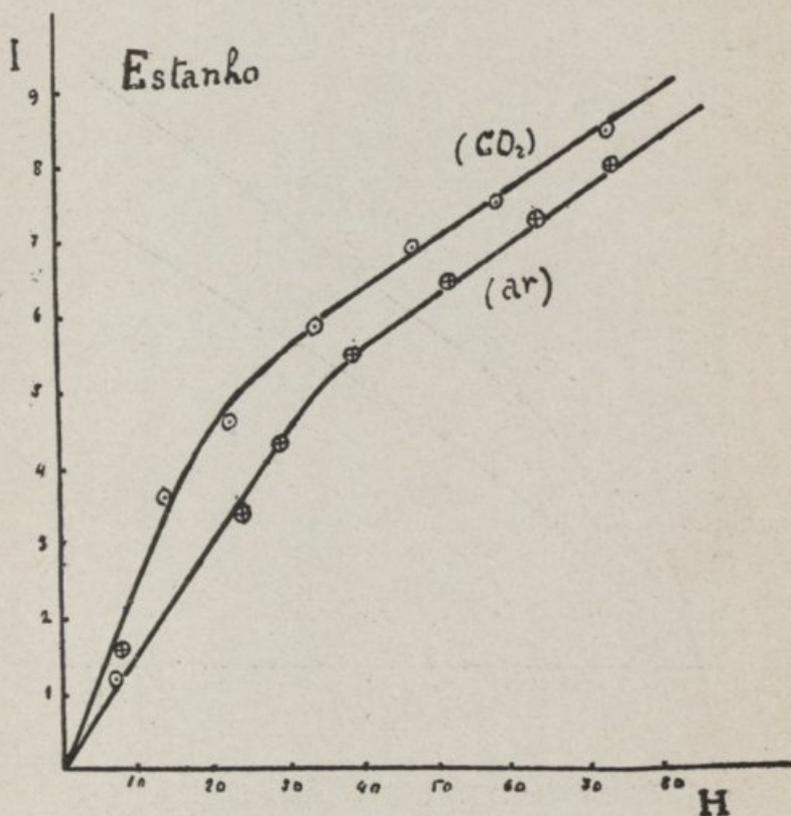


Fig. 11

chumbo e estanho. Cada ponto marcado nas curvas, é a média de um número de observações compreendido entre 6 e 10.

A ionisação, nos nossos recipientes, era muito fraca e os seus valores comparáveis aos menores que se tem obtido.

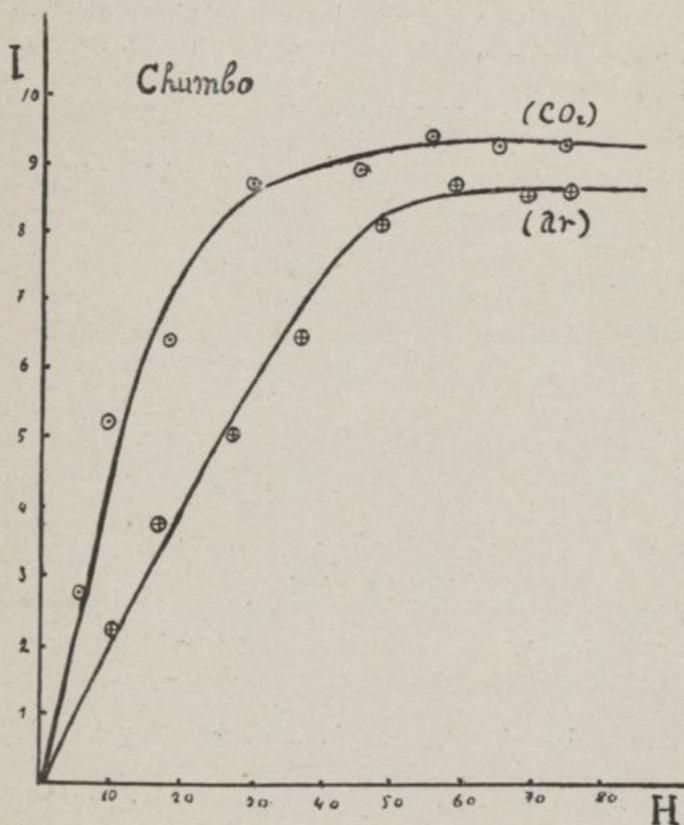


Fig. 12

O número de iões por centímetro cúbico e por segundo era de 13,5 no recipiente de zinco, 14,5 no de ferro, 17,5 no de estanho e 22,5 no de chumbo.

As observações eram feitas para pressões do gás compreendidas entre a pressão atmosférica e 100 mm. de mercúrio.

Os resultados vão indicados nos seguintes quadros e representados nas figuras 9, 10 11 e 12 sob a forma de curvas.

Recipiente de zinco

Ar		Gás carbónico	
Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.	Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.
75	$5, \cdot 10^{-5}$	80	$9,3 \cdot 10^{-5}$
66	$4,5 \cdot 10^{-5}$	65	$7,4 \cdot 10^{-5}$
57	$3,7 \cdot 10^{-5}$	55	$6,1 \cdot 10^{-5}$
46	$2,9 \cdot 10^{-5}$	41	$4,4 \cdot 10^{-5}$
32	$2,2 \cdot 10^{-5}$	31	$3, \cdot 10^{-5}$
19	$1,6 \cdot 10^{-5}$	16	$1,9 \cdot 10^{-5}$
11	$0,9 \cdot 10^{-5}$		

Recipiente de ferro

Ar		Gás carbónico	
Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.	Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.
76	$5,4 \cdot 10^{-5}$	76	$7,5 \cdot 10^{-5}$
65	$4,7 \cdot 10^{-5}$	65	$6,3 \cdot 10^{-5}$
51	$4 \cdot 10^{-4}$	51	$5,5 \cdot 10^{-5}$
35	$3 \cdot 10^{-5}$	35	$4,2 \cdot 10^{-5}$
20	$2 \cdot 10^{-5}$	20	$2,9 \cdot 10^{-5}$
11	$0,8 \cdot 10^{-5}$	11	$1,6 \cdot 10^{-5}$

Recipiente de estanho

Ar		Gás carbônico	
Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.	Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.
75,5	$1,8 \cdot 10^{-5}$	74,4	$8,1 \cdot 10^{-5}$
65	$7,1 \cdot 10^{-5}$	60,5	$7,3 \cdot 10^{-5}$
52,2	$6,3 \cdot 10^{-5}$	48	$6,7 \cdot 10^{-5}$
39,5	$5,4 \cdot 10^{-5}$	34	$5,6 \cdot 10^{-5}$
29	$4,2 \cdot 10^{-5}$	22,5	$4,4 \cdot 10^{-5}$
24,5	$3,3 \cdot 10^{-5}$	14	$3,5 \cdot 10^{-5}$
8,5	$1,6 \cdot 10^{-5}$	7,5	$0,9 \cdot 10^{-5}$

Recipiente de chumbo

Ar		Gás carbônico	
Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.	Pressão em cm. de mercúrio	Corrente em U. E. S.
77,5	$8,4 \cdot 10^{-5}$	75	$9,1 \cdot 10^{-5}$
69	$8,4 \cdot 10^{-5}$	65	$9,1 \cdot 10^{-5}$
59	$8,5 \cdot 10^{-5}$	56	$9,3 \cdot 10^{-5}$
48	$8 \cdot 10^{-5}$	46	$8,9 \cdot 10^{-5}$
37,5	$6,4 \cdot 10^{-5}$	30	$6,3 \cdot 10^{-5}$
16	$3,7 \cdot 10^{-5}$	19	$5,2 \cdot 10^{-5}$
10	$9 \cdot 10^{-5}$	9	$2,7 \cdot 10^{-5}$

Convêm notar que nas nossas experiências há sempre uma causa constante de ionização, que provém da radiação penetrante.

Como se tratava apenas de investigar a existên-

cia de uma radiação que era absorvida por alguns centímetros de ar, a presença da radiação penetrante, que dava lugar a uma ionização uniforme, não influiu sensivelmente na forma geral das curvas. Evidentemente que teria sido preferível operar em condições em que não existisse a radiação penetrante. Para isso o único meio que tínhamos ao nosso alcance era rodear exteriormente o aparelho por uma espessura de chumbo não inferior a 5 cm.; porê, dadas as grandes dimensões, o pêso de chumbo necessário seria enorme.

Como efeito da radiação penetrante só seria incômodo se desse lugar a raios secundários pouco penetrantes, preferimos, em vez de empregar o chumbo, verificar que a ionização provocada no interior do vaso por raios penetrantes tipo γ , variava proporcionalmente à pressão do gás.

Para isso estudámos a maneira como variava, com a pressão do ar, a ionização provocada no recipiente por uma ampôla contendo cêrca de 1 mgr. de rádio envolvido por 2 cm. de chumbo. O resultado está representado na curva da fig. 13, por onde se vê que a ionização é rigorosamente proporcional à pressão.

É evidente que, no caso de se tratar de uma ionização uniforme, o que teria lugar se ela fosse produzida por raios γ , por raios β penetrantes, ou fosse uma ionização espontânea, a lei da sua variação com a pressão seria representada por uma linha recta.

No caso de uma ionização produzida por radiações totalmente absorvidas pelo ar, a lei da sua variação

com a pressão seria representada por uma curva análoga à curva (I) da fig. 14.

No caso de coexistirem estas duas espécies de ra-

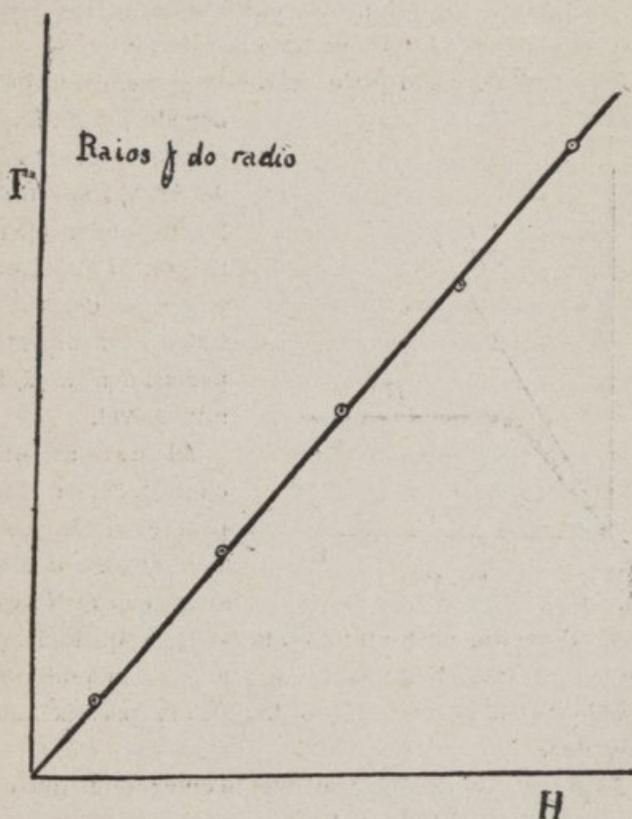


Fig. 13

dições a curva deve ser a sobreposição de duas curvas como as (I) e (II) da fig. 14. O exame dos resultados obtidos mostra-nos que a primeira hipótese se verifica

com o zinco, a segunda com o chumbo e a terceira com o ferro e estanho.

Portanto, resulta destas experiências que as paredes do recipiente emitem nestes casos uma radiação que é absorvida em alguns centímetros de ar.

Esta radiação não pode deixar de ser emitida pelas

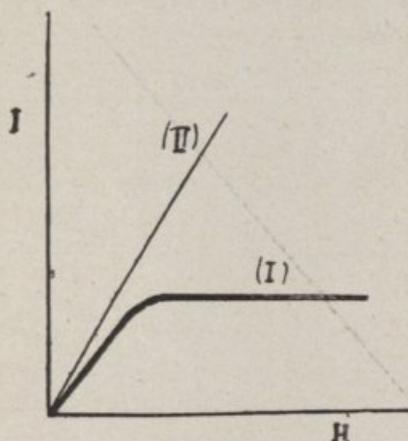


Fig. 14

paredes, pois não pode provir do exterior do vaso, dado o seu fraco poder penetrante. Esta interpretação dos resultados experimentais parece-nos a única admissível.

Alguns autores contestaram a interpretação análoga que PATTERSON deu da sua experiência,

atrás descrita, sustentando que o facto da ionização aumentar mais lentamente que a pressão podia ser devido a uma recombinação dos iões às pressões mais elevadas.

As nossas experiências mostram claramente que esta explicação é inadmissível.

Comparemos, com efeito, as curvas obtidas com o gás carbónico, respectivamente no caso do zinco e do chumbo.

Vê-se que, partindo do mesmo valor da ionização,

à pressão atmosférica, a lei da variação com a pressão é inteiramente diferente nos dois casos, e, portanto, que a causa do fenómeno reside na parede do vaso e não no gás.

Estabelecida, assim, a existência de uma radiação pouco penetrante emitida por alguns metais, vejamos se será possível obter algumas indicações a respeito da sua natureza.

O seu percurso no ar e no gás carbónico e a forma das curvas, bastante análoga à das que GEIGER e NUTALL (1) obtiveram, nas mesmas condições, com os raios α de diferentes substâncias radioactivas, fazem-nos imediatamente pensar em raios do tipo α .

Esta hipótese dá conta, como veremos, de todas as particularidades das nossas experiências. O melhor argumento em seu favor resulta do estudo da forma da curva de saturação da corrente, com os diferentes metais.

É sabido que as correntes de ionização produzidas por raios α são muito difíceis de saturar; pelo contrário, a voltagem necessária para obter a saturação no caso de raios β ou γ é nas mesmas condições muito menor.

Estudámos o modo como variava a corrente com o

(1) RUTHERFORD, *Radioactive substances and their radiations*, pag. 163.

pôtencial, para os diferentes metais, tendo obtido os seguintes resultados relativos ao chumbo e zinco :

Chumbo		Zinco	
Potencial em volts	Corrente em U. E. S.	Potencial em volts	Corrente em U. E. S.
60	$6,05 \cdot 10^{-5}$	10	$2, 7 \cdot 10^{-5}$
90	$7,05 \cdot 10^{-5}$	30	$4,35 \cdot 10^{-5}$
130	$7, 7 \cdot 10^{-5}$	50	$4, 6 \cdot 10^{-5}$
170	$8, 4 \cdot 10^{-5}$	90	$5 \cdot 10^{-5}$
210	$8,45 \cdot 10^{-5}$	150	$4, 9 \cdot 10^{-5}$
250	$8,35 \cdot 10^{-5}$	200	$5 \cdot 10^{-5}$

Na fig. 15 estão representadas as curvas de saturação no caso do zinco e do chumbo, e ainda no caso da ionisação produzida pelos raios γ do rádio; esta última curva está representada numa escala 100 vezes menor.

Vê-se que a corrente no caso do chumbo é relativamente difícil de saturar, exigindo para isso um potencial muito mais elevado que a corrente, cêrca de 100 vezes maior, produzida pelos raios γ do rádio. Com o zinco, que é o único metal, entre os que experimentámos, que parece não emitir raios α , a saturação é muito mais fácil. Com o estanho e ferro obteem-se resultados intermediários entre os do zinco e chumbo.

Êste facto é um bom argumento em favor da hipótese da emissão de raios α pelas paredes do chumbo, estanho e ferro. A influência da natureza do gás na

forma das curvas das figuras 9, 10, 11 e 12 interpreta-se também muito simplesmente, como vamos ver, admitindo a hipótese dos raios α .

Vejamos em primeiro lugar a relação entre os valo-

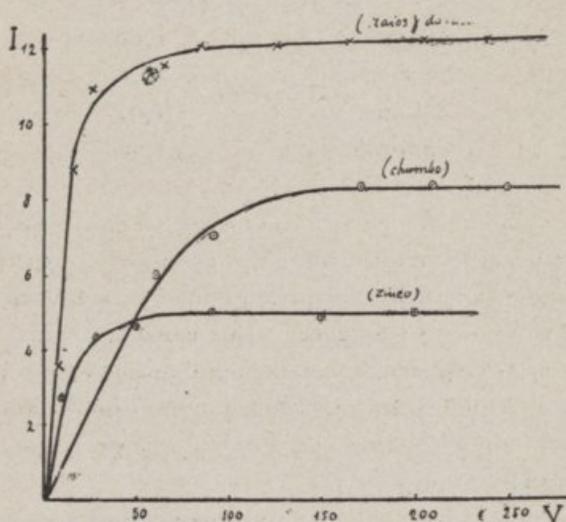


Fig. 15

res da ionização no ar e no gás carbônico, para os diferentes metais.

Representando por 1 a ionização uniforme produzida pelos raios β ou γ , e a ionização total produzida pelos raios α das substâncias radioactivas no ar, teríamos no gás carbônico respectivamente os valores de 1,6 e 1,03 (1).

(1) RUTERFORD, *loc. cit.*, pag. 62 e seg.

Representando igualmente por 1 o valor da corrente produzida no ar, à pressão atmosférica, nos recipientes dos diferentes metais, temos no gás carbónico à mesma pressão, respectivamente os valores:

Zinco	1,65
Ferro	1, 3
Estanho	1,07
Chumbo	1,06

Estes números mostram que a ionização no recipiente de zinco é uniforme; nos recipientes de estanho e chumbo, neste último principalmente, a ionização é quasi totalmente produzida pelos raios α .

No caso do ferro, a par de uma ionização pelos raios α , há uma ionização uniforme, por isso que o número 1,3 fica compreendido entre os valores correspondentes aos raios α e β ou γ .

Notemos, finalmente, que as curvas mostram que a pressão para a qual os raios pouco penetrantes são totalmente absorvidos, é menor no gás carbónico que no ar. Este resultado está ainda de harmonia com a nossa interpretação, como vamos vêr.

O percurso dos raios α das substâncias radioactivas no ar é 1,37 vezes superior ao seu percurso no gás carbónico (1). Portanto, a pressão para a qual os raios são totalmente absorvidos deveria ser nas nossas ex-

(1) RUTHERFORD, *loc. cit.*, pag. 166.

periências cêrca de 1,37 vezes maior no ar que no gás carbônico.

Esta verificação numérica não pode fazer-se com exatidão, porque é difícil marcar nas curvas o ponto correspondente à absorpção completa dos raios, mas uma simples inspecção mostra que a relação das duas pressões não deve afastar-se muito do valor acima.

Por esta mesma razão não é possível deduzir, das nossas curvas, o valor do percurso dos raios à pressão de 760^{mm}. No entanto, sobretudo no caso do chumbo, vê-se que êste percurso é muito grande, comparado com o dos raios α das substâncias radioactivas conhecidas, o que exclui a hipótese dêstes raios serem provenientes de uma impureza radioactiva.

Em resumo: todos os resultados das nossas experiências se interpretam bem, na hipótese de haver uma emissão de raios α pelo chumbo, ferro e estanho.

Oscillações da corrente

A corrente de saturação está, como temos visto, sujeita a variações. Já vimos que em certos casos ela varia lentamente com o tempo, observando-se àlêmdisso uma variação diurna, periódica.

Alêmdestas variações lentas a ionisação em vaso fechado pode sofrer variações bruscas, muito consideráveis, cuja causa, até à data, não foi determinada.

A esta categoria pertencem provavelmente os *jumps* de CAMPBELL. Recentemente esta questão foi exami-

nada por J. REY (1), que chegou à conclusão que estas variações eram tanto maiores quanto menor era a duração da medida, verificando também que elas não eram devidas a uma causa conhecida tal como: variação da voltagem da bateria de carga, correntes de convecção no interior do electrómetro, etc.

Admitindo a nossa hipótese, atrás formulada, da emissão de partículas α pelas superfícies metálicas, estas oscilações da corrente teem uma explicação muito simples. Vamos vêr que são uma consequência necessária da nossa hipótese, da qual elas são mais uma confirmação.

É sabido que o número n de átomos de uma substância rádioactiva, transformados por segundo é proporcional ao número N de átomos presente

$$n = \lambda N.$$

Ora, SHWEIDLER mostrou que as transformações rádio-activas estão sujeitas às leis do acaso e que o valor de n deve oscilar em tórno do valor médio dado por esta expressão.

O erro médio de um grande número N de observações de dois acontecimentos P e Q , cujas probabilidades são p e q , é dado por

$$\varepsilon = \pm \sqrt{Npq}$$

(1) J. REY, *Radium*, 1913.

Seja τ um intervalo de tempo pequeno em frente de λ . O número de átomos transformados no tempo τ é $\tau\lambda N$ e o número de átomos restantes, $(1 - \tau\lambda)N$. A probabilidade de que um dado átomo se transforme no tempo τ é $\lambda\tau$, e a probabilidade de que o mesmo átomo exista no fim do tempo τ é $1 - \lambda\tau$. Por tanto o erro médio

$$\varepsilon = \pm \sqrt{N\lambda\tau(1 - \lambda\tau)}$$

ou desprezando o quadrado de $\lambda\tau$

$$\varepsilon = \pm \sqrt{N\lambda\tau}.$$

Ora, $N\lambda\tau$ é o número Z de átomos transformados no tempo τ ; portanto

$$\varepsilon = \pm \sqrt{Z}$$

e o erro relativo

$$\varepsilon_1 = \pm \frac{1}{\sqrt{Z}}.$$

Vemos, portanto, que ε e ε_1 estão relacionados com Z_1 e como, na maior parte dos casos, tratando-se de uma emissão de raios α , o número de átomos transformados é igual ao número de partículas α emitidas, a corrente de saturação deve estar sujeita a oscilações em torno de um valor médio. No caso de uma ionização por raios β , esta teoria aplica-se igualmente, mas neste caso, para uma dada ionização, a oscilação da

corrente é muito pequena em frente da que teria lugar no caso de raios α . Com efeito ε_1 diminui com Z , que para uma dada corrente é muito maior no caso dos raios β que no caso dos raios α , devido ao facto de o número de iões produzidos por uma partícula α ser muito grande em frente do número produzido por uma partícula β .

Dada a nossa hipótese da emissão de raios α pelas paredes do vaso, era pois natural supôr que as oscilações observadas na corrente de saturação não eram mais que oscilações de SHWEIDLER.

Para justificar esta interpretação das oscilações da corrente, é necessário verificar que o valor de ε_1 observado coincide com o valor teórico calculado a partir da teoria de SHWEIDLER. Vejamos como se pode fazer esta verificação.

Vimos que no recipiente de chumbo por nós empregado, a ionização é, praticamente, na sua totalidade, produzida por raios α ; êste recipiente estava portanto nas melhores condições para fazer esta verificação.

A ionização observada com êste recipiente, no ar, à pressão atmosférica, correspondia a uma corrente de cêrca de $8,5 \cdot 10^{-5}$ U. E. S.

Admitindo que cada partícula α produz $2 \cdot 10^5$ iões que é o número médio de iões produzidos pelas partículas α das substâncias ràdioactivas, o número de partículas emitidas por segundo pela parede do vaso é

$$\frac{8,5 \cdot 10^{-5}}{4,6510^{-10} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,9.$$

Este número é, no entanto, bastante inferior ao verdadeiro porque grande parte das partículas emitidas não são totalmente absorvidas no ar, já porque, sobretudo nos cantos do recipiente, atingem a parede do vaso antes de terminado o seu percurso, já porque sofrem uma absorpção por parte da própria parede que as emite, pois nem todas as partículas são provenientes da superfície do metal, podendo algumas delas provir da espessura da parede.

O valor de ε_1 , estando, como vimos, relacionado com Z , é possível determinar a partir de ε_1 , o número z de partículas α emitidas por segundo, e verificar se esse valor concorda com o que acima encontrámos.

Estas observações foram feitas com os dois aparelhos atrás descritos. Era necessário, para que estas medidas tivessem significação, assegurarmo-nos de que as variações da corrente não provinham de um mau funcionamento do aparelho.

A principal causa de erro a recear era, com o primeiro aparelho, uma variação da pilha de carga ou uma instabilidade na posição de equilíbrio da fôlha.

Para evitar estas causas de erro a pilha que servia para manter a placa do electrómetro a um potencial de cerca de 200 volts era a mesma que estava ligada para o recipiente.

Dêste modo, verificando que a posição de equilíbrio da fôlha era perfeitamente estável, o que sempre sucedia, tínhamos a certeza de estar ao abrigo das causas de erro acima apontadas.

Verificava-se também sempre que, uma vez isolado

o sistema, estando a parede do recipiente ligada para a terra, a posição da folha era rigorosamente invariável.

Com o segundo aparelho a principal causa de erro a temer, que era a variação da pilha de carga, não era para reccar, fazendo-se, portanto, as medidas em melhores condições. Cêrca de 500 medidas foram feitas com os dois aparelhos tendo os resultados concordado suficientemente.

A sensibilidade dos electrómetros era, neste caso, de cêrca de 60 divisões de micrómetro por volta.

Media-se o tempo necessário para que a fôlha percorresse um certo número de divisões; a duração da medida era de cêrca de 30 segundos.

Os resultados eram agrupados em séries de 10, e determinado o erro médio

$$\delta = \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{n-1}}$$

onde Δ é a diferença entre cada uma das observações e a média e n o número de observações.

Sendo Z o número de partículas emitidas durante o tempo médio, t será o erro relativo

$$\frac{\delta}{E} = \frac{1}{\sqrt{Z}}$$

e o número de partículas α emitidas por segundo

$$z = \frac{t}{\delta^2}$$

O cálculo de z , a partir de uma destas séries, está indicado no seguinte quadro :

t	Δ	Δ
30	0,7	0,49
26	3,3	10,9
31	1,7	2,9
27,5	1,8	3,25
32	2,7	7,3
28	1,3	1,7
31	1,7	2,9
25	4,3	18,5
35	5,7	32,5
27,5	1,8	3,25
$t = 29,3$		$\Sigma \Delta^2 = 83,96$

$$\delta^2 = \frac{\Sigma \Delta^2}{n-1} = 9,3$$

$$z = \frac{t}{\delta^2} = 3,1.$$

A média de 50 valores de z assim determinados, que variavam entre 1,5 e 6,1 foi de

$$z = 3,3.$$

Vimos que o número de partículas α calculado a partir da corrente de saturação era de cerca de 1; no entanto, o acôrdo pode considerar-se suficiente, sobre-

tudo se atendermos à dificuldade das medidas desta natureza.

KOHLRAUSH (1), empregando o mesmo método para contar as partículas α emitidas por uma preparação de polônio, obteve um erro de 50 % no mesmo sentido do nosso.

O estudo das oscilações da corrente fornece, pois, mais um argumento em favor da hipótese da emissão de raios α pelos metais, particularmente pelo chumbo.



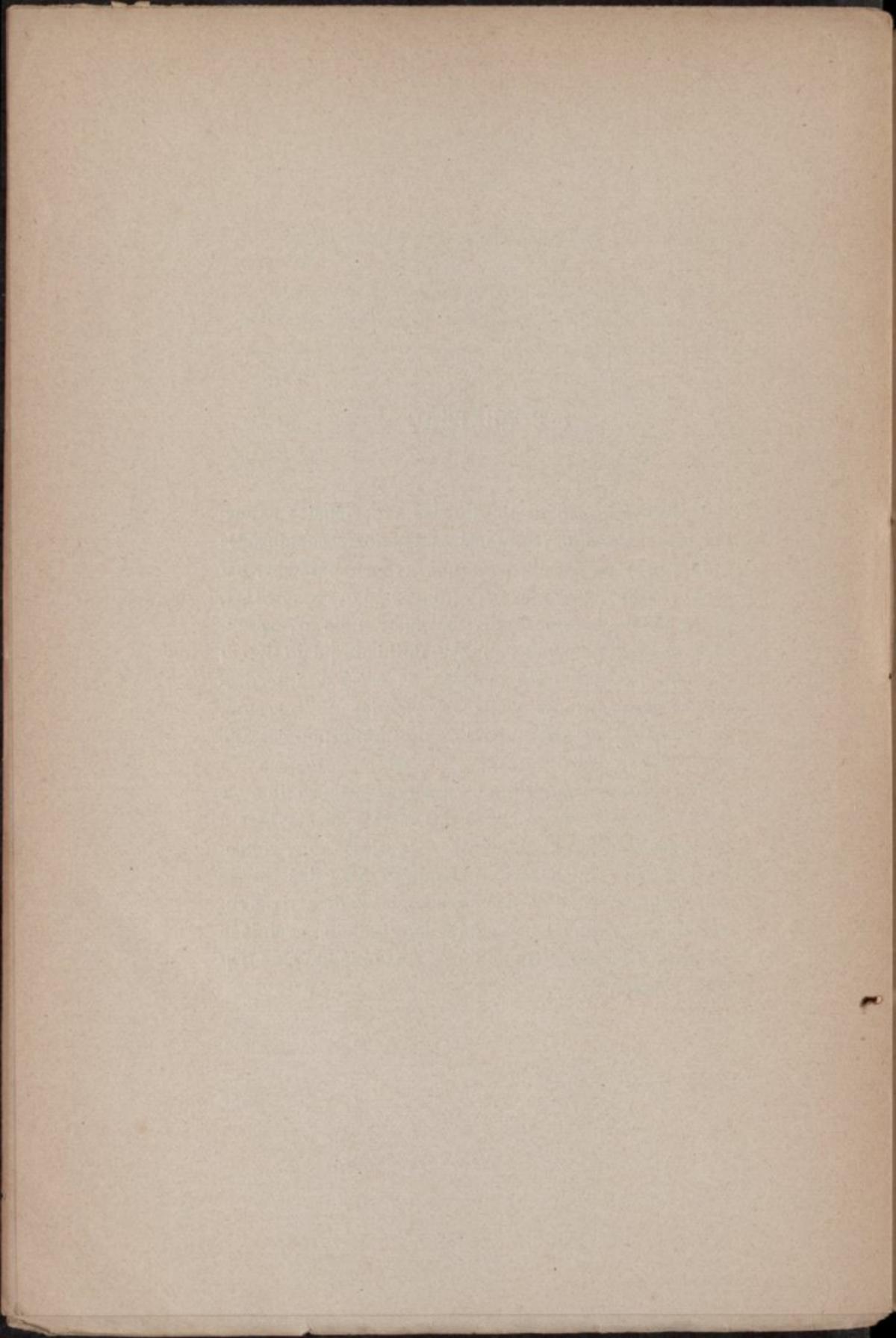
(1) *Phys. Zeit.*, pág. 11, 1912.

CONCLUSÃO

A discussão dos resultados das experiências expostas neste trabalho levou-nos às seguintes conclusões:

- 1) Todos os metais com que experimentámos, excepto o zinco, emitem uma radiação pouco penetrante, que é absorvida em alguns centímetros de ar, radiação que, segundo todas as probabilidades, é do tipo α ;
- 2) Na hipótese desta emissão de raios α , interpretam-se muito bem as oscilações rápidas da corrente, em torno de um valor médio, admitindo que elas são oscilações de SHWEIDLER.

Uma questão importante a resolver é determinar se estas radiações são próprias dos metais, ou devidas a qualquer impureza radioactiva. Já vimos que, sobretudo no caso do chumbo, o percurso dos raios parece ser muito superior ao das substâncias radioactivas conhecidas, o que, uma vez bem averiguado, excluía a segunda hipótese. Este ponto será examinado num trabalho futuro.



ÍNDICE

	Pág.
PRÓLOGO.	VII
CAPÍTULOS:	
I. — História. Fenómenos gerais.	1
II. — Causas da ionização dos gases em vaso fechado	21
Emanação contida no gás	22
Depósito activo nas paredes do recipiente	30
Radiação penetrante	31
Origem da radiação penetrante	33
Efeito da emanação contida no ar.	*
Efeito do solo	36
Variações da ionização em vaso fechado	47
Variação da radiação penetrante com a altitude.	50
Ionização residual.	54
Radiação das paredes do vaso	55
Variação da ionização com a pressão do gás	63
Ionização espontânea dos gases	67
III. — Experiências sôbre a variação da ionização com a pressão do gás	71
Aparelhos e métodos de medidas	»

	Pág.
Primeiro aparelho	72
Segundo aparelho	74
Medidas	79
Oscilações da corrente	93
Conclusão	101



FEV. 17



60984 81800



SAFELY