

Sala 5
Gab. -
Est. 56
Tab. 19
N.º 70

Sala 5
Gab. 56
Est. 19
Tab. 19
N.º 70

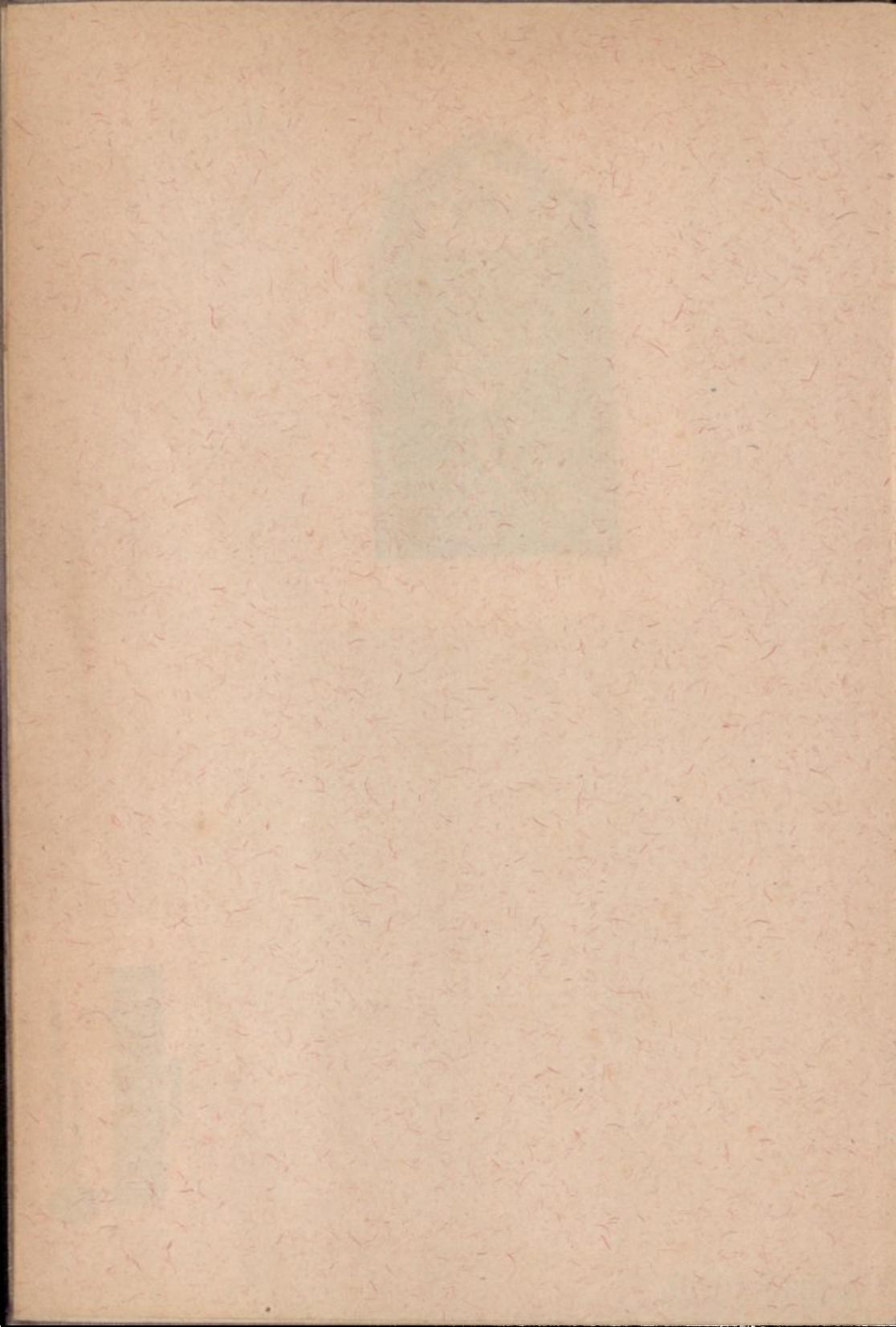


UNIVERSIDADE DE COIMBRA
Biblioteca Geral



1301500029

D17975220

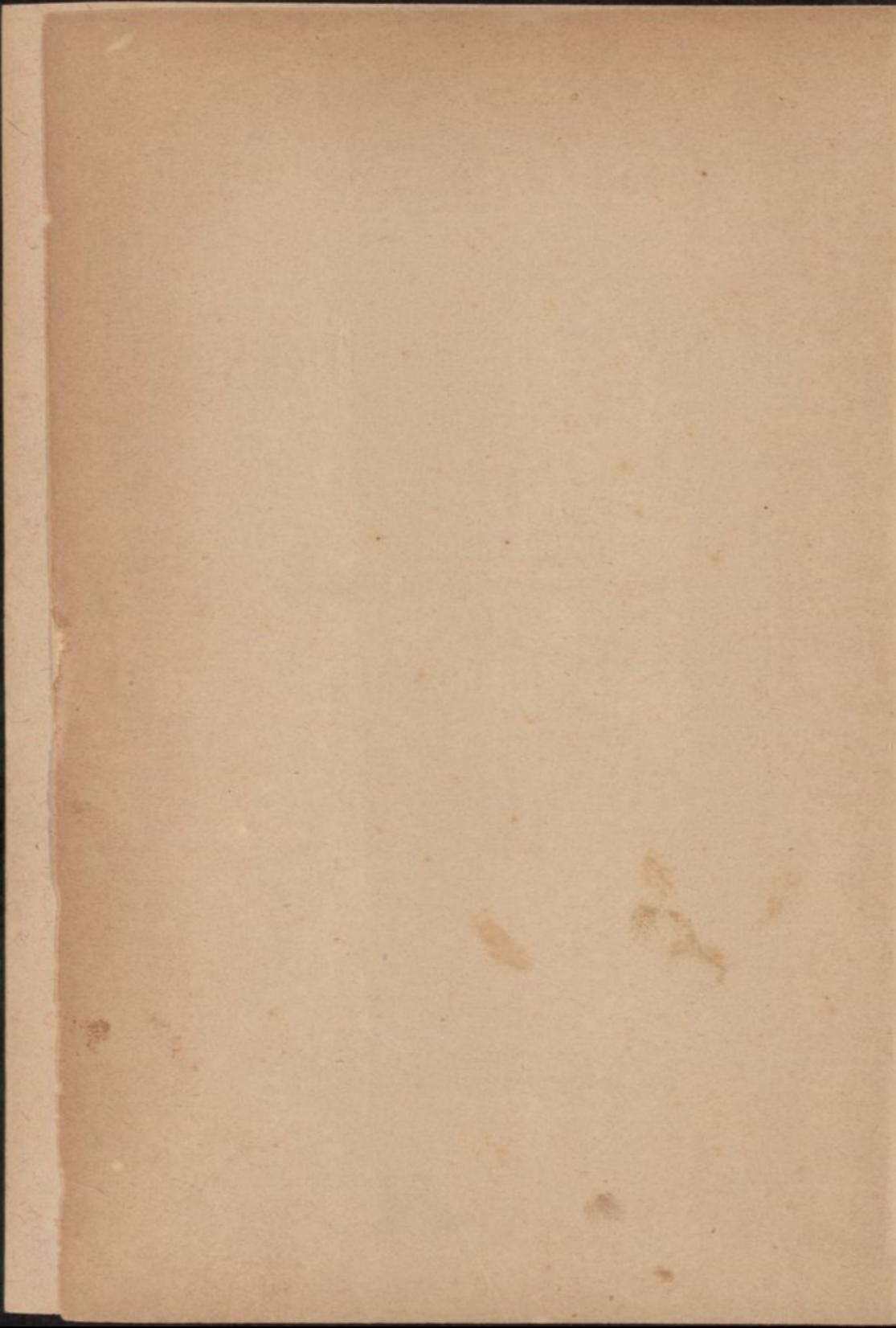


OS

RAIOS CATHÓDICOS

E OS

RAIOS X DE RÖNTGEN.



OS

RAIOS CATHÓDICOS

E OS

RAIOS X DE RÖNTGEN

POR

Álvaro José da Silva Basto,

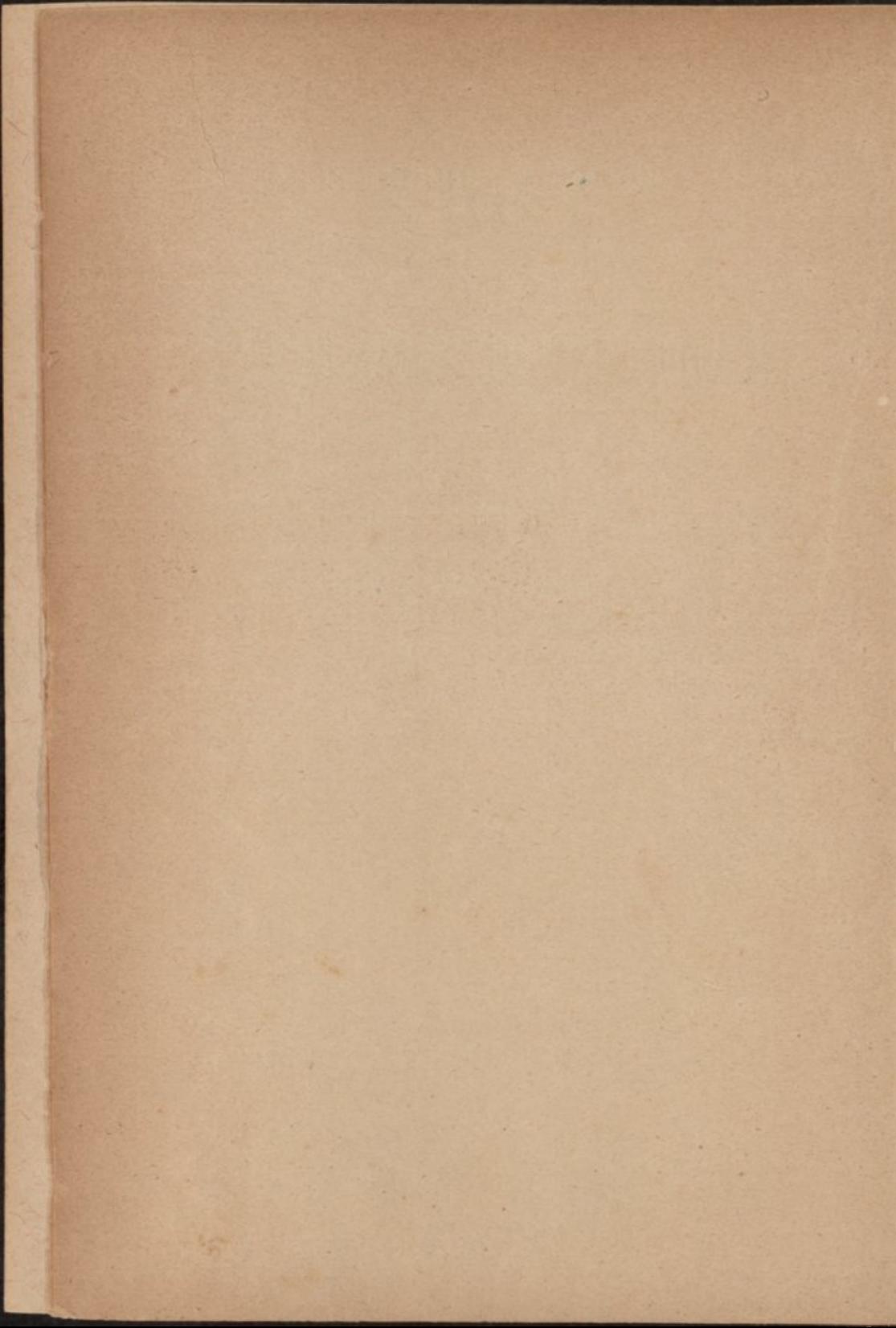
LICENCIADO EM PHILOSOPHIA NATURAL.



COÍMBRA.

Imprensa da Universidade.

—
1897.



DISSERTAÇÃO INAUGURAL

PARA O

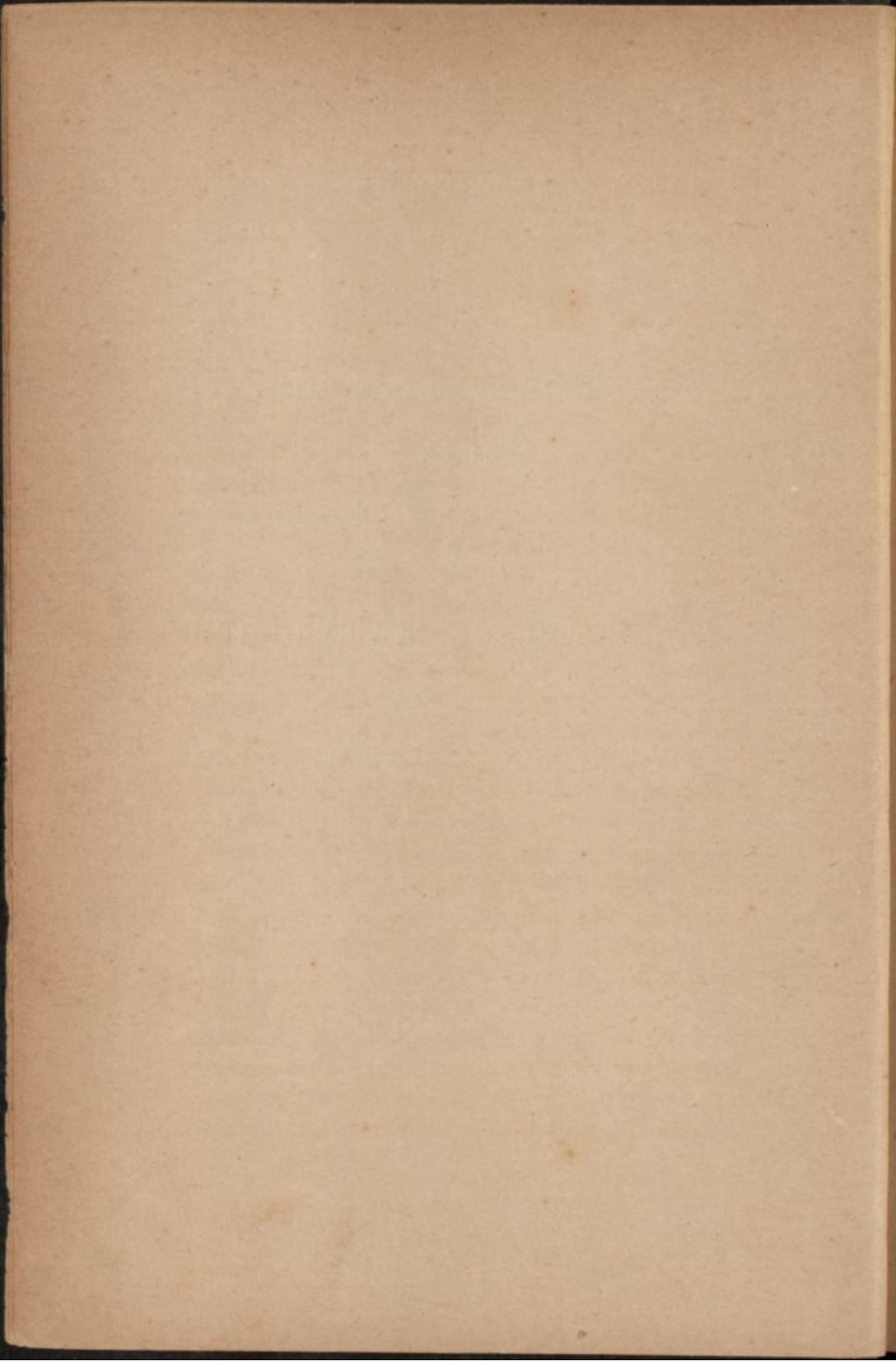
ACTO DE CONCLUSÕES MAGNAS

NA

FACULDADE DE PHILOSOPHIA

DA

UNIVERSIDADE DE COÍMBRA.



Prefácio.

Está ainda na lembrança de todos a immensa curiosidade, que no começo do anno último despertou a descoberta do professor RÖNTGEN.

Se é certo que o seu éxito derivou principalmente do inesperado da descoberta, das suas applicações mais entrevistas do que realizadas, do seu caracter paradoxal, não é menos certo que o tempo volvido desde então só tem feito salientar a sua excepcional importância.

Sob o ponto de vista práctico, a descoberta póde hoje dizer-se consagrada, porque com effeito a «mágica lâmpada» de RÖNTGEN constitue um dos mais poderosos, e tambem dos mais singelos, meios de exploração do corpo humano. Assim é, que muitos hospitaes já possuem installações regulares de fluoroscopia e radiographia, a cujos serviços se recorre em grande número de operações cirúrgicas.

Os interesses scientificos ligados á descoberta de RÖNTGEN não sam porém menos dignos de attenção.

Mesmo deixando em siléncio aquelles phenómenos connexos com os raios X, como as acções photoeléctricas e a emissão por vários corpos de radiações

transversaes novas, cujo estudo foi animado com tanta felicidade pelas investigações de RÖNTGEN, não ha dúvida de que a descoberta constitue um facto de elevada importância científica, sobretudo pelas ideias théóricas, que suggeriu, e que tem feito agitar.

O leitor facilmente se ha de convencer de que não exaggeramos, se apreciar desde já a opinião, que hoje predomina entre os phýsicos, a respeito da natureza dos raios X.

Estas radiações sam geralmente consideradas como luz duma frequência de vibração incomparavelmente maior do que a frequência da luz ordinária. E, como pertencem a um ponto do espectro muitíssimo distante das regiões conhecidas, não falta quem admitta, de harmonia com os princípios da theoria electromagnética da luz, agora tam popular, que os raios X sam devidos a oscillações eléctricas das cargas dos átomos, enquanto que a luz ordinária se cré gerada pelas oscillações mechánicas ou acústicas dos próprios átomos.

Bem sabemos, que esta interpretação do phenómeno de RÖNTGEN faz naturalmente resurgir uma questão de primeira ordem. Occorre perguntar com effeito, com MAXWELL, se um raio luminoso não consiste em alguma coisa mais complexa do que uma símplez oscillação das moléculas do ether em volta das suas posições de equilibrio.

Mas em verdade, para quem se limita a affirmar que os raios X sam provavelmente da natureza dos raios luminosos, a questão é um tanto ociosa. Não deixaremos, no entanto, de dizer o seguinte: que nos parece lógico admittir, que o phenómeno da luz, qual-

quer que seja a sua natureza íntima, possui de alguma sorte a symetria, os caracteres geométricos, dum movimento vibratório, e póde em última análise ser representado pelas equações deste movimento; e que ha por isso toda a vantagem em conservar por enquanto a imagem de FRESNEL.

De resto, não devemos occultá-lo, sente-se que ha uma tendência geral para ligar ás hypótheses moleculares precisas apenas o valor de meros sýmbolos, ou quando muito de representações eschemáticas, que prestam, é certo, serviços á Sciência, mas que se não devem confundir com a realidade. Não é inutil accrescentar, que POINCARÉ ¹, num dos seus philosophicos prefácios, lançando mão das equações de LAGRANGE sobre o movimento dum systema de pontos, demonstra, que «se um phenómeno comporta uma explicação mechânica completa, elle comportará uma infinidade doutras, que darám igualmente bem conta de todas as particularidades reveladas pela experiência».

Posta a questão assim de lado, deve confessar-se, que não ha uma experiência decisiva, um *experimentum crucis*, a favor da natureza luminosa dos raios X, e até da sua natureza ondulatoria. A' parte talvez a descoberta de H. BECQUEREL, de que diversos saes de urânio emittem raios da natureza da luz, possuindo o mesmo poder de penetração, e produ-

¹ H. POINCARÉ, *Électricité et optique: I. Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique et la lumière*, p. xiv. Paris, 1890,

zindo os mesmos effeitos que os raios X, embora differindo delles por várias propriedades ópticas, que os raios X sam rebeldes em manifestar, quasi tudo se reduz a fazer vêr, como diz J. J. THOMSON, que não ha propriedade dos raios X, que não seja partilhada por alguma das luzes conhecidas. Isso, e bem assim o princípio razoavel de não devermos introduzir na Sciência uma hypóthese nova sem estar reconhecida a insufficiéncia das theorias consagradas, sam todos os argumentos dos que consideram os raios X como radiações per-ultra-violetes.

Vê-se pois, pelo que acabamos de dizer, como sam interessantes os problemas, que a descoberta dos raios X fez surgir. E ao mesmo tempo vê-se tambem, como sam instaveis as bases da interpretação mais em vóga do phenómeno de RÖNTGEN. Mas ainda não é tudo.

Certas observações contradictórias, que infelizmente não escasseiam, sam bem difficeis de explicar; além disso vam-se dia a dia accumulando elementos novos sobre o assumpto, o que o põe em via contnua de transformação. Desta sorte não surprehenderia demasiado, que, dum momento para outro, se invertessem as actuaes ideias theóricas sobre o phenómeno, e se modificasse até a própria comprehensão das experiéncias.

Por conseguinte, escolhendo nós para objecto da nossa Dissertação inaugural a exposição dos trabalhos de RÖNTGEN e dos seus continuadores, não duvidamos de que a tentativa ha de parecer pelo menos prematura, apesar dos valiosos motivos que a recommendam.

Mas por um lado tal circunstância contribuirá de certo para desculpar as múltiplas imperfeições das nossas páginas, cuja única ambição é afinal inventariar prudentemente os resultados adquiridos, e bem assim os ensaios de interpretação, que elles têm suggerido. E por outro lado quis-nos parecer, que um trabalho sobre a obra de RÖNTGEN não deixaria de ser acolhido com algum interesse entre nós, onde, apesar da vida scientifica ser quasi nulla, chegou tambem e depressa o ruído da bella descoberta do phísico de Würtzburg.

*
* *

Na falta de modélos, adoptamos o plano, que nos pareceu adequado a uma exposição mais clara, embora não talvez a mais breve.

Fizemos preceder o estudo dos raios X do estudo dos raios cathódicos. Posto que sejam, segundo se crê, phenómenos absolutamente distinctos, e devam vir provavelmente um dia a ser collocados em capítulos bem diversos da Phísica, ha todos os motivos para presentemente os reünir. Sem fallar nas razões de ordem histórica, bastará dizer, que a acção dos raios cathódicos é a única conhecida capaz de produzir os raios X.

Definidos os raios cathódicos e expostas as suas propriedades mais salientes, tractamos das controvérsias a que tem dado logar o problema da sua natureza. E'-nos impossivel registrar neste ligeiro prefácio todos os resultados obtidos. Diremos contudo,

que a maneira mais correcta de interpretar os factos parece consistir em considerar os raios cathódicos como correntes de iões negativos, que, projectados do cáthodo, vam bombardear a parede fronteira, onde produzem o «incêndio» conhecido. E' fundamentalmente a hypóthese de W. CROOKES.

Acompanhamos este estudo de breves referências aos phenómenos e á theoria da descarga nos gazes, da qual os raios cathódicos não sam mais do que um ligeiro episódio. O objecto do nosso trabalho não nos permittiu dar mais desenvolvimento ao assumpto, aliás digno de toda a attenção. Mercê da visibilidade dos phenómenos, tam bellos e tam variados ao mesmo tempo, não ha talvez outro ponto da Phýsica, que mais esperanças dê de se poder chegar algum dia a penetrar o segredo da electricidade e das suas relações com a matéria.

Em seguida aos raios cathódicos, entramos no estudo dos raios X.

Occupámo-nos primeiro das propriedades ópticas dos raios, e depois dos seus effeitos ou acções reveladoras, a saber as acções luminescentes, photographicas, e eléctricas, não esquecendo a propósito destas últimas a importância, que hoje se liga aos phenómenos photo-eléctricos.

A seguir, após um curto estudo doutras radiações recentemente descobertas, em particular dos raios uránicos, discutimos o problema da natureza dos raios X, concluindo pela hypóthese a que já nos referimos.

Não obstante essa conclusão, diremos de passagem, que mais uma vez teve uma curta reaparição

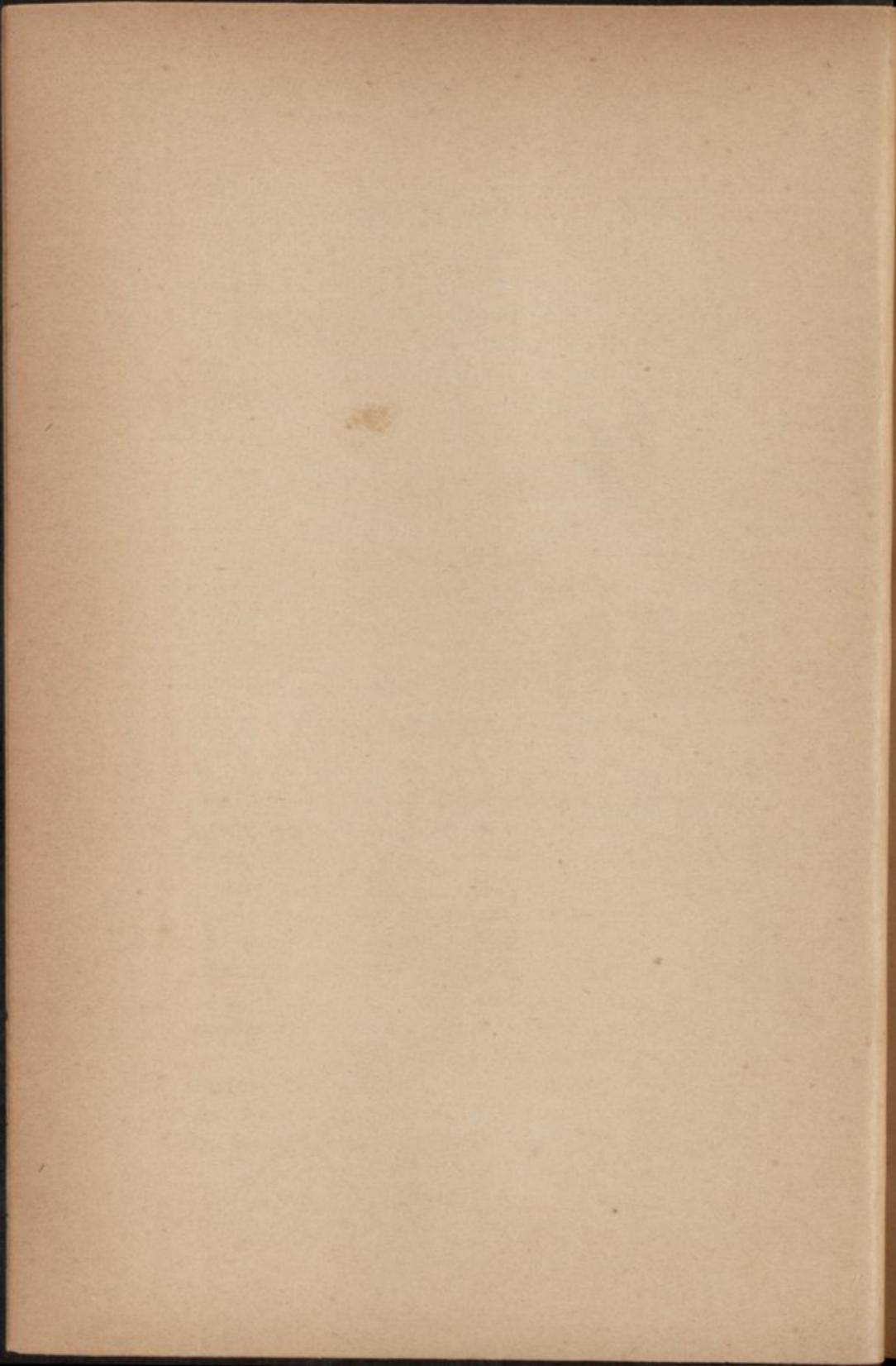
na Phísica a tam agitada questão das ondulações longitudinaes do ether, deixando de novo apenas uma nota importante, que é talvez curioso conhecer. E' sabido, que durante muito tempo se julgou instantânea a propagação da inducção electromagnética, mas que dos admiraveis trabalhos de HERTZ resultou, que essa propagação se faz por ondas transversaes com a velocidade da luz; ora póde ser que um dia se mostre, que a inducção electrostática se propaga com uma velocidade finita, o que arrastaria a existência de ondas longitudinaes. LORD KELVIN¹ propôs, para resolver a questão, experiências engenhosas, que não foram realizadas.

Finalmente, a seguir ao problema da natureza dos raios X, dedicamos algumas páginas á parte práctica e ás applicações.

Como era nosso dever, documentamos tanto quanto possivel as experiências citadas com as respectivas informações bibliográficas. Dadas as collecções de revistas scientificas, que nos foi possivel consultar, temos a esperança, sobretudo pelo que respeita aos raios X, de que o nosso trabalho não será muito incompleto.

Coimbra, maio de 1897.

¹ LORD KELVIN, *On the Generation of Longitudinal Waves in Ether*. (In *Proceedings of the Royal Society*, 13 de fevereiro, 1896, p. 270).



OS
RAIOS CATHÓDICOS
E OS
RAIOS X DE RÖNTGEN.

PRIMEIRA PARTE.

Os raios cathódicos.

CAPÍTULO I.

Descargas nos gazes rarefeitos.

1. Apparáncia da descarga. — O que se conhece da passagem da electricidade nos gazes a diversas pressões fórma actualmente um conjuncto mui extenso, que é impossivel tentar sequer resumir. Bastará dizer, que desde as primeiras observações de FARADAY, ha perto de 60 annos, nunca mais os phýsicos se desinteressáram do estudo das descargas nos gazes, que tem sido e promette ser ainda origem de muitas descobertas.

Por isso vamos referir sómente os factos, que mais se prendem com o objecto do nosso trabalho.

Considere-se um tubo de vidro, que communica por uma derivação lateral com uma bomba pneumática, e em cujo interior penetram dois fios conductores terminados por um

disco metálico. Esses fios constituem os eléctrodos, pontos de entrada e de saída da corrente. Ao eléctrodo positivo dá-se o nome de *ánodo*, e o de *cátodo* ao eléctrodo negativo.

Liguemos os dois fios aos polos dum carrete de RUHKORFF e façamos passar a corrente. Os phenómenos, que se observam, sam mui differentes segundo a pressão do gaz contido no tubo.

A' pressão ordinária, sendo a tensão eléctrica sufficiente, saltam faíscas entre os eléctrodos.

Baixando a pressão, o aspecto da descarga modifica-se gradualmente, até que um momento chega em que os eléctrodos apparecem ligados entre si por um bello cordão luminoso, que no ar é côr de rosa violácea. Se as superficies do ánodo e do cátodo olham em direcções differentes, o feixe luminoso encurva-se dôcemente para ir dum eléctrodo ao outro.

Quando a pressão desce a 1 ou 2^{mm} de mercúrio, como succede nos «tubos de GEISSLER», o cordão luminoso, que a uma observação grosseira parecia continuo, perde toda a apparencia de uniformidade.

Nesta phase da descarga, a primeira que chama a nossa attenção, observam-se, a principiar pelo eléctrodo negativo, os phenómenos seguintes.

Um brilho avelludado mancha irregularmente a superficie do eléctrodo. GOLDSTEIN achou no seu espectro uma certa semelhança com o espectro da luz positiva de que já vamos fallar. Nota-se, que um fio collocado nessa delgada zona de luz projecta sombra sobre o eléctrodo¹.

A' parte esse brilho, não poucas vezes difficil de descortinar, o cátodo é cercado por uma região escura, chamada

¹ A. SCHUSTER, *Proceedings of the Royal Society*, t. XLVII, p. 557; 1890.

«espaço de CROOKES» ou «primeiro espaço escuro», e que é digno de nota por ser o esboço do fenómeno, que num grau de vazio mais elevado constitue os raios cathódicos.

O espaço escuro é limitado por uma superficie luminosa, que se póde definir como o logar das extremidades das retas de igual comprimento normaes ao eléctrodo. A sua fórma é portanto uma consequência da fórma do cathodo. O seu comprimento, contado segundo a normal ao cathodo, augmenta quando a pressão diminue, como se vê por estes dados de PULUJ, obtidos no ar:

Pressão.....	1 ^{mm} ,46	0,51	0,24
Espaço escuro.....	2 ^{mm} ,5	5,8	9,5.

O livre percurso médio das moléculas é muito menor que o comprimento do espaço escuro; assim por exemplo á pressão de 1^{mm},46, o livre percurso médio, segundo a theoria cinética, é sómente 0^{mm},04 ou 60 vezes menor que o espaço escuro.

Este espaço augmenta ligeiramente com a intensidade da corrente. Varia tambem com a natureza do gaz e do eléctrodo, quando este não é metálico.

Ao espaço de CROOKES segue-se uma zona luminosa, denominada a «luz negativa». O seu espectro exhibe particularidades, que em geral se não encontram noutros pontos da descarga. A sua luminosidade, que se vai degradando com a distância ao cathodo, é interceptada por um corpo qualquer, conductor ou isolador, como se emanasse do eléctrodo negativo.

O seu comprimento é muito variavel, mesmo a pressão constante, segundo a intensidade da corrente.

A experiência mostra, que a região descripta, a região negativa, é independente do comprimento do tubo e da posição do anodo, contanto porém que este eléctrodo não cáia dentro do espaço de CROOKES.

2. Em seguida observa-se um espaço relativamente não luminoso, chamado «espaço de FARADAY» ou «segundo espaço escuro». E' de comprimento muito variavel, chegando ás vezes a desaparecer por completo.

Serve de transição entre a região negativa e a região luminosa, que apparece immediatamente prolongando-se até ao ánodo. Esta região, conhecida pelo nome de «columna ou luz positiva», fórma a parte mais extensa da descarga. O que ella tem de mais notavel é a «estratificação» habitual da sua luminosidade.

Os estratos sam limitados do lado do cáthodo por superficies brilhantes, planas ou convexas, com uma degradação de luz no sentido opposto, sendo em geral separados por intervallos sombrios. Quando o gaz é uma mistura, CROOKES¹ mostrou que cada estrato é formado de várias camadas, de tintas e de espectros differentes, correspondendo cada uma a um elemento da mistura.

Os estratos sam quasi sempre animados de um movimento de translação, de sorte que não raro só por meio do espelho gyrante, como SPOTTISWOODE mostrou, se consegue pôr em evidência a estratificação.

A columna positiva e os estratos, que ella encerra, estão ligados á posição do ánodo, donde parecem emanar para se dirigirem ao cáthodo pelo caminho mais curto. Eis a propósito uma bella experiência. Sendo a pressão no tubo bastante fraca de modo a produzir um pequeno número de estratos, se se deixa entrar o gaz duma maneira lenta, vêem-se bolhas luminosas destacar-se successivamente do ánodo e marchar no tubo onde vam formar novos estratos; ao mesmo tempo os estratos antigos sam repellidos e a sua distância

¹ W. CROOKES, *Les décharges électriques dans les gaz raréfiés et la constitution de la matière.* (In *Revue générale des Sciences*, 30 de março e 15 de abril, 1891).

diminuída. Se em vez disso conservarmos a pressão, e por um arranjo particular movermos o cáthodo, a região negativa permanece inalterada, enquanto a columna positiva vae variando.

As estratificações foram pela primeira vez assignaladas por ABRIA (1834). Mas não obstante as investigações a que tõem dado logar, ainda hoje se desconhece o mechanismo da sua producção.

Qualquer porém que elle seja, tem-se concluido do seu estudo, que a corrente através do gaz é intermitente, ainda no caso em que o tubo está no circuito duma pilha.

Mas nem todos os phýsicos estam de accórdo sobre esta questão fundamental da theoria da descarga. Assim HERTZ¹, numa antiga mas importante Memória sobre os raios cathódicos (1883), chegou á conclusão contrária.

Entretanto notemos com FITZGERALD, que em caso algum estamos absolutamente certos de que a corrente é absolutamente continua. Tudo leva a crêr, por exemplo, que a continúidade da corrente num electrólito é apenas apparente.

Ora sob tal ponto de vista, factos vários nos levam a admitir, que a corrente nos tubos de descarga é realmente descontinua, embora duma descontinúidade que o mais veloz espelho gyrante é incapaz de denunciar. Diremos apenas, que a interposição dum telephónio no circuito faz ouvir um som manifesto, signal da periodicidade do phenómeno (MASCART).

J. J. THOMSON² crê que os eléctrodos actuum, á pressão

¹ H. HERTZ, *Miscellaneous Papers*. Tr. by JONES and SCHOTT. London, 1896. (Vid. análise de FITZGERALD na *Nature*, de Londres, 5 de novembro, 1896, p. 6).

² J. J. THOMSON, *Recent resarches in Electricity and Magnetism*. Oxford, 1893. A maior parte das experiéncias relatadas, sem citação, no presente capítulo sam extrahidas desta excellente obra.

do tubo, como condensadores, que se carregam e descarregam com extraordinária rapidez.

Em summa, a descarga num tubo actuado por uma pilha parece ser dum character intermittente, e as estratificações não sam provavelmente mais do que uma manifestação desse character.

3. Propagação da descarga. — Os factos citados, da região negativa ser independente do comprimento do tubo e da posição do ánodo, além doutros, que seria longo relatar, mostram que a columna positiva é que realmente transporta a descarga através do gaz, e que o espaço escuro negativo e a luz negativa sam effeitos meramente locais, dependentes da transferéncia da electricidade dum gaz para o cáthodo.

Esta transferéncia já se revela um phenómeno complexo á pressão ordinária. Quando se examina o phenómeno da faisca por meio dum espelho gyrante, como fez J. J. THOMSON, observa-se que a luminosidade sae do ánodo e dirige-se com enorme velocidade para o cáthodo; mas antes de entrar, como que pára um momento, dando-se na vizinhança do eléctrodo uma accumulacão de electricidade positiva, que faz subir a queda de potencial a 200 ou 300 volts.

Sendo assim, imagine-se quanto seria interessante saber a direcção em que marcha a luminosidade na columna positiva, e qual a velocidade da progressão.

Passando em silêncio uma observação antiga de WHEATSTONE, em que o sentido da propagação ficou indeciso, citaremos as notaveis experiéncias de J. J. THOMSON¹.

O illustre phýsico, lançando mão de um tubo de 15^m de comprimento e de 5^{mm} de diámetro, achou pelo método do espelho gyrante, que a descarga se dirige do ánodo para o cáthodo, e que a sua velocidade através do ar á pressão de

¹ J. J. THOMSON, *Recent researches*, p. 116.

0^{mm},5 é cerca de metade da velocidade da luz. As experiências foram repetidas em condições variadas sempre com o mesmo resultado.

Por outro lado ZAHN reconheceu pelo método de DÖPPLER-FIZEAU, que, se existe um deslocamento das partículas luminosas, esse deslocamento é inferior a 7500^m por segundo.

Podemos pois concluir, que a columna luminosa não consiste em partículas movendo-se com a velocidade da descarga.

Adeante se apreciará o valor theórico destes factos.

4. Raios cathódicos. — Deixemos a phase da descarga, que vimos de examinar, e continuemos a rarefazer o gaz no tubo.

O espaço escuro, sabe-se, vai augmentando. Quando a pressão fór sufficientemente pequena (cerca de 0^{mm},001 ou menos ainda), esse espaço torna-se o maior possível. A luz negativa desaparece, e na parede do tubo fronteira á superficie cathódica desenvolve-se uma bella luminescência, que é verde-limão no vidro da Bohémia. O espectro de riscas do gaz é substituido pelo espectro contínuo da luz fluorescente.

Qual é o agente que produz a fluorescência?

Qualquer que seja a sua natureza, o que é certo, é que elle se propaga em «linha recta» do cathodo á parede do tubo. Se com effeito se interpõe no seu percurso um objecto sólido, uma cruz de mica por exemplo, este obstáculo detem-o e projecta sobre a parede illuminada uma sombra em fórma de cruz, como se o cathodo fosse uma fonte luminosa. Foi esta propagação rectilínea, que fez dar ao phenómeno o nome, proposto em 1883 por WIEDEMANN e hoje consagrado, de *raios cathódicos*.

Por meio da projecção de sombras póde estudar-se a marcha destes raios.

Assim vê-se, que elles «emanam da superficie do cathodo, normalmente a esta superficie». Não dependem pois senão

da fôrma e da posição do cathodo: a posição do ânodo parece não ter sobre elles influencia sensivel, como a não tinha sobre o espaço escuro.

Vê-se ainda, que é a região determinada na parede do tubo pelas normaes á superficie cathódica, e á qual se dá o nome de «anticathodo», que se torna fluorescente. Algumas vezes o ar rarefeito brilha, no trajecto dos raios, duma ténue claridade azulada.

Adeante se verá, que estas leis, duma grande simplicidade constituem realmente uma primeira approximação.

A descoberta dos raios cathódicos é fundamentalmente devida a HITTORF (1874). Todavia CROOKES (1879) estabeleceu algumas das suas principaes propriedades por meio de experiéncias mui brilhantes, e para as interpretar emittiu uma theoria simplez, que foi abraçada pelos phýsicos inglêses. Não admira pois, que o seu nome ande ligado a taes phenómenos, e que os tubos onde se observam sejam conhecidos pelo nome de «tubos de CROOKES».

Mas desde 1876 GOLDSTEIN estudava as descargas nos gazes rarefeitos. A este phýsico se devem observações importantes, que o levaram a combater as vistas de CROOKES, e fôram o ponto de partida de idéas novas sobre o phenómeno cathódico, idéas que os sábios allemães adoptaram.

Occupar-nos-hemos da lucta entre as duas escolas no fim da primeira parte do nosso trabalho. Antes disso é necessário expôr miüdamente os factos em volta dos quaes a lucta se desenvolveu, tractando de interpretá-los á luz da descoberta de Röntgen.

5. Os raios cathódicos correspondem ao espaço de CROOKES. A luz negativa, é evidente que não pôde formar-se. Resta saber o que é feito da columna positiva, da qual a única região apparente se reduz, quando muito, a uma ligeira luminosidade vizinha do ânodo.

Apesar de invisivel, esta columna é que agora constitue por assim dizer toda a descarga.

Com effeito HERTZ¹, estudando por meio de um íman quasi astático a marcha da corrente num tubo de CROOKES largo e achatado, em que o ánodo occupava uma posição lateral qualquer, chegou á conclusão de que a electricidade se propagava do ánodo ao cáthodo, como se o tubo fosse um conductor de duas dimensões. Não havia pois ligação entre a descarga e os raios cathódicos.

O mesmo resultado parece deduzir-se dos curiosos trabalhos de KOWALSKI² sobre a emissão desses raios.

Segundo este phísico, a génese dos raios cathódicos, além de não estar ligada necessariamente, o que era sabido, á presença de electrodos metálicos, tem logar em todos os pontos do tubo, em que a corrente possui densidade sufficiente, como sam os estrangulamentos; desses pontos, os raios dirigem-se tangencialmente ao fluxo da corrente, mas em sentido contrário. O auctor cita tambem uma experiência antiga de GOLDSTEIN onde se revela o mesmo facto.

Daqui concluiremos, que, embora os raios cathódicos acompanhem a descarga e não possam produzir-se sem ella, sam distinctos desta descarga, que segue um caminho differente, geralmente curvo, do ánodo ao cáthodo.

E' possível por conseguinte estudar separadamente a descarga e o phenómeno cathódico.

No entanto vêr-se-ha que esta conclusão, practicamente exacta, é todavia um pouco absoluta.

Quanto ao desaparecimento da luminosidade das linhas de descarga, pôde explicá-lo a diminuição da pressão e o facto da columna positiva, ao afastar-se do fluxo cathódico, se espalhar por uma extensão maior chegando até a adherir ás paredes do tubo³.

¹ H. HERTZ, loc. cit.

² KOWALSKI, *Comptes rendus de l'Acad. des Scien. de Paris*, 14 de janeiro, 1895, p. 76.

³ Vid. J. J. THOMSON, *Recent researches*, p. 160.

6. Acabamos de estudar a descarga á pressão em que se formam os raios cathódicos.

Prosigamos na rarefacção do gaz. A fluorescência das paredes do tubo não tarda a diminuir. Dentro em pouco extingue-se, e a descarga cessa de passar.

Ao mesmo tempo póde reconhecer-se por meio de um excitador de faiscas collocado em derivação no circuito, que a partir de um certo ponto a conductibilidade do tubo diminue quando o vazio augmenta.

Daqui a crença, hoje geral, de que o vazio absoluto é isolador, o que aliás é confirmado por muitas outras experiências, que seria longo descrever.

As objecções de alguns phísicos tem a sua explicação no facto da resistência de um tubo não ser apenas função do grau de vazio. Assim não ha dúvida de que a resistência á passagem da descarga diminue quando se supprimem os eléctrodos; mas a existência duma pressão crítica nos tubos sem eléctrodos está hoje perfeitamente averiguada.

Por outro lado, se nós acceitamos a theoria electromagnética da luz, o vazio não póde ser conductor, ou então seria opaco e nós não receberíamos luz alguma do Sol nem das estrellas.

Escusado será dizer, que as correntes nos dieléctricos (por exemplo a oscillação muito frequente da electricidade entre as esferas de um oscillador) não sam de modo algum comparaveis ás correntes de «conducção» num fio metálico. Para aquellas reservou MAXWELL o nome de correntes de «deslocamento», cuja característica é serem, no mesmo sentido, de uma duração pequeníssima.

7. Estado eléctrico dos tubos de descarga. — A respeito da distribuição do potencial, o tubo de descarga apresenta um contraste notavel com um fio metálico. Enquanto que, segundo a lei de OHM, a queda de potencial é uniforme ao longo de um fio, num tubo é variavel em extremo.

Para fazer o estudo eléctrico dos tubos usa-se de «sondas eléctricas», isto é de eléctrodos auxiliares, que se põem em comunicação com um electrómetro.

E' claro, que sendo o phenomeno intermittente, só é possível determinar valores médios.

Notemos além disso, que as sondas encontram-se num meio fortemente illuminado, o que, como se verá mais tarde, tem uma grande influencia na descarga dos corpos electrizados. Daqui uma causa de erro desconhecida na significação verdadeira dos potenciaes que se observam.

A' parte esta reserva, eis os resultados a que chegou HIRTORF.

Em todos os casos as differenças de potencial sam notavelmente maiores no principio da experiencia do que no regimen regular das descargas.

Em tal regimen a queda de potencial, pequena na vizinhança do ánodo, é ainda mais lenta e quasi uniforme ao longo da columna positiva. Nesta região a queda é independente da força da corrente, mas diminue com a pressão, embora menos depressa.

Na vizinhança do cáthodo a queda é muito rápida e quasi independente da força da corrente e da pressão do gaz. Assim VARBURG achou, que no hydrogénio, com eléctrodos de alumínio, a queda no cáthodo ficava constante e igual a 190 volts, ainda que a pressão passasse de 9^{mm},5 a 0^{mm},8 e a corrente de 0^{amp},006 a 0^{amp},0005.

Esta queda de potencial depende em alto grau da natureza do metal do eléctrodo e sobretudo do gaz. Vestigios de impurezas no gaz produzem muitas vezes grandes variações.

A passagem da electricidade dum gaz para um eléctrodo negativo parece exigir alguma coisa equivalente a uma combinação chymica entre os átomos carregados do metal e os átomos do gaz, que provavelmente, como veremos, sam quem transporta a descarga (J. J. THOMSON).

A descarga continúa pois a mostrar-se mui asymétrica.

8. Falta conhecer o signal da electrização.

Num tubo de gaz á pressão de 1 ou 2^{mm}, graças decerto á sua grande conductibilidade, o estado de electrização superficial é inapreciavel.

Nos tubos de CROOKES existe uma carga positiva em toda a superficie, excepto no anticáthodo e nas vizinhanças do fio cathódico, onde a carga é negativa. Quando o fluxo cathódico é detido interiormente por um diaphragma, a carga superficial é totalmente positiva.

A determinação da electrização interior é bem mais difficil. CROOKES¹ foi levado a admittir, que no interior o primeiro espaço escuro se acha electrizado negativamente e o resto do tubo positivamente. Sendo assim a região dos raios cathódicos deve revelar electrização negativa.

Não póde dizer-se porém, que CROOKES conseguisse estabelecer estes resultados ao abrigo de toda a objecção.

A experiência não é facil. Quando se explora o interior do tubo com um polo auxiliar, sem nenhuma precaução, recolhe-se sempre uma carga positiva. Este effeito, segundo CROOKES, é devido ao contacto do polo auxiliar com a superficie do tubo positivamente electrizada. Mas para isso deve concorrer tambem a difficuldade, que a electricidade encontra em passar de um gaz para um metal.

Apezar de tudo, as conclusões de CROOKES acham-se hoje bem estabelecidas. Adeante se descreverá uma experiência rigorosa de PERRIN, que pôs a questão fóra de dúvida.

¹ W. CROOKES, loc. cit.

CAPÍTULO II.

Propriedades dos raios cathódicos.

9. Acções luminescentes. — Sabe-se, que certas substâncias, chamadas phosphorescentes, ficam luminosas na obscuridade durante algum tempo, sem que todavia a sua temperatura diffira de uma maneira apreciavel da temperatura do ambiente.

O sulfureto de zinco, o sulfureto de cálcio, o vidro de urânio, etc., sam exemplos clássicos.

O phenómeno distingue-se de uma simplez reflexão difusa da luz excitante por estas duas circumstâncias: a luz phosphorescente é geralmente de um comprimento de onda superior ao da luz excitante (lei de STOKES), e além disso persiste durante algum tempo, uma fracção de segundo ás vezes, após a extincção desta.

Embora a natureza do phenómeno não pareça depender da sua persistência, reserva-se ordinariamente o nome de fluorescência para designar a phosphorescência de pequena duração.

Manifestações análogas, senão idénticas, se podem produzir sob a acção de outros agentes, como a electricidade, o calor, etc.

Para essas manifestações, qualquer que seja a sua origem, propôs WIEDEMANN o nome, que hoje tende a espalhar-se, de *luminescência*.

Ora os raios cathódicos possuem, como os raios luminosos, a propriedade de tornar os corpos luminescentes. Graças a esta acção é que a sua existência nos foi revelada.

Póde ajunctar-se, que possuem essa propriedade num grau bem mais eminente do que a luz. Sob a sua influencia illuminam-se muitas substancias, que não sam sensivelmente excitadas pela luz.

Assim o vidro torna-se luminescente sob a acção dos raios cathódicos. O próprio ar brilha na sua passagem, e é o que provoca aquella fraca luz azul, que se observa ao longo do trajecto dos raios, e que se não deve confundir com os próprios raios.

Nos corpos que a luz tambem excita, o effeito é muito enérgico e persistente. Um simplez fragmento de cré emite uma luz intensa; em certos óxydos raros, na ytria, no diamante e noutras pedras preciosas, o clarão é resplandecente.

Neste sentido, isto é por meio de ondas unicamente luminosas e não calorificas, é que TESLA e outros phísicos têm procurado resolver o problema da illuminação.

EDISON¹ affirma, que com o tungstenato de cálcio se obtém uma lâmpada muito regular, em que a fluorescência é branca, mas não desagradavel, mercê da abundância de radiações vermelhas, que o espectroscópio revela na sua luz.

Devem-se a WIEDEMANN e a SCHMIDT² os estudos mais extensos sobre a luminescência cathódica das substancias.

Estes phísicos recommendam especialmente certas soluções sólidas em que uma das substancias entra em proporção diminutissima. A côr da luminescência dessas soluções depende sobretudo do dissolvente, isto é, da substancia mais abundante na mistura. Sam particularmente notaveis os sulfatos e carbonatos dos metaes alcalino-terrosos, addicio-

¹ Vid. W. J. MORTON, *The X Ray*, p. 177. London, 1896.

² E. WIEDEMANN e G.-C. SCHMIDT, *Wied. Ann.*, t. XLI e LVI, 1895. (Vejam-se as análises de BOUTY no *Journ. de Phys.*, (3), t. V, pp. 325 e 361; 1896).

dados de uma pequena quantidade dos saes correspondentes de magnésio, de urânio ou de cobre.

Os mesmos phísicos estudaram tambem a luminescência cathódica de muitos corpos orgânicos.

Um facto importante, já notado por CROOKES, é a não-phosphorescência dos conductores.

10. Uma propriedade dos raios cathódicos, que se cre geral, é que os pontos dos sólidos feridos por elles tornam-se centros de emissão de raios X.

Vér-se-ha, que esse phenómeno tende a ser considerado uma phosphorescência invisível.

11. Acções chymicas e photographicas. — Os saes haloides dos metaes alcalinos mudam de cor sob o fluxo cathódico. Assim o chloreto de lítio cora-se de violeta á superficie. ELSTER e GEITEL¹ attribuem essa mudança de cor a uma dissociação do sal, que põe em liberdade o halogénio. E' certo pelo menos, que o sal se torna alcalino.

WIEDEMANN e SCHMIDT mostraram, que vários corpos orgânicos escurecem á luz cathódica, e que muitos corpos inorgânicos sam decompostos.

Segundo os mesmos auctores, a luminescência das dissoluções sólidas é acompanhada de acções chymicas. Attribuem os effeitos luminosos ao desdobramento de um composto instavel formado entre o dissolvente e a substância dissolvida. Casos ha com effeito, em que tal composto é estavel á temperatura ordinária, sendo necessário o aquecimento para que se desdobre e emitta luz (thermoluminescência).

12. E' de esperar que os raios cathódicos actuem sobre as placas photographicas, visto que decompõem os corpos com facilidade.

¹ Vid. *Nature*, 8 de outubro, 1896, p. 567.

Entretanto não se vê como estabelecê-lo nitidamente.

Já em 1880, GOLDSTEIN afirmava que os raios cathódicos ennegrecem o papel sensível.

Mas o que resta saber, é se a impressão obtida resulta de uma acção específica, ou se se tracta apenas dum effeito secundário dos raios X ou até da luz fluorescente.

Expondo aos raios cathódicos uma placa sensível, protegida contra a luz por uma folha de papel preto sobre que assentam fios delgados de vidro, e protegida contra as acções electrostáticas por uma grelha metálica, BATTELLI¹ obteve, sobre um fundo fortemente impressionado, as sombras dos fios de vidro e as dos fios metálicos, embora estas um pouco mais nítidas. Variando as condições da experiência e entrando em conta com o effeito perturbador dos raios X, BATTELLI julga ter demonstrado a acção photographica directa dos raios cathódicos.

13. Acções mechánicas e caloríficas. — Sam bem conhecidas as experiências, em que CROOKES pôs em evidência a acção mechânica dos raios cathódicos pelo movimento impresso a uma pequena roda de alumínio, e bem assim a reacção do cathodo pelo seu próprio movimento.

Os raios cathódicos aquecem os corpos sobre que cáem, podendo chegar a produzir a incandescência e a fusão. Succede ás vezes perfurar-se a região anticathódica de um tubo de CROOKES, que se tem em actividade durante muito tempo; e EDISON conta, que ao cabo de um aquecimento intenso o espectroscópio lhe revelou em muitos tubos o sódio proveniente da decomposição do vidro.

14. Deve-se a GOUY² uma observação interessante. Num tubo de CROOKES a parede interna exposta aos raios cathó-

¹ Vid. *Journ. de Phys.*, julho, 1896, p. 306.

² Gouy, *Compt. rend.* de 30 de março, 1896, p. 775.

dicos apresenta superficialmente, ao fim de um certo tempo, uma tal ou qual alteração.

O microscópio e ás vezes a simplez vista dam a razão disso. A parede mostra-se cheia de pequeninas bolhas gazosas, que é facil fazer destacar amollecendo o vidro pelo calor.

15. Acções eléctricas. — As observações de CROOKES faziam presumir, que os raios cathódicos transportam electricidade negativa, mas foi PERRIN¹ quem o demonstrou completamente.

Num tubo alongado existe um cylindro metálico, dirigido segundo o eixo, ligado por uma das bases a um electroscópio exterior, e tendo na outra uma pequena abertura voltada para o cáthodo distante. Concêntricamente existe um cylindro de FARADAY em communicação permanente com o solo. Este cylindro tem uma abertura fronteira á abertura do cylindro interno, mas está isolado deste último.

Logo que se faz passar a descarga, o electroscópio accusa uma electrização negativa.

Mas se tivermos desviado os raios cathódicos da abertura do cylindro (o que se consegue, como logo se verá, pela acção de um iman collocado transversalmente), o cylindro interno permanecerá no estado neutro.

Num ensaio quantitativo PERRIN achou, que a electricidade correspondente a uma interrupção do circuito primário elevava uma capacidade de 600 unidades C. G. S. a um potencial de 300 volts.

Fazendo cáthodo do cylindro de FARADAY, recolhia uma quantidade muito menor de electricidade positiva.

No interior do cylindro o gaz póde actuar, e provavelmente actua, por inducção, sem haver passagem de electricidade do gaz para o metal do cylindro.

Se se tractasse dum effeito semelhante áquelle que a luz

¹ J. PERRIN, *Compt. rend.*, de 30 de dezembro, 1895, p. 1130.

ultra-violete produz, quando cae sobre a superficie de um metal electronegativo, o electroscópio não devia ser affectado, por isso que tal processo não altera a quantidade total de electricidade existente no interior do cylindro.

Deve pois concluir-se da experiência de PERRIN, e este resultado é de altissima importância, que os raios cathódicos transportam electricidade negativa.

16. Acção de um campo magnético. — A sensibilidade magnética dos raios cathódicos constitue uma das suas propriedades características.

De ha muito (DAVY, 1821; LA RIVE, 1849) é conhecida a influencia do íman sobre as descargas nos gazes.

Foi porém HITTORF o primeiro, que estudou o phenómeno nos gazes mui rarefeitos. Eis a maneira elegante como elle resume as suas observações: o raio cathódico em presença dum magnete comporta-se como um fio de aço, delgado, rectilíneo, percorrido por uma corrente, fixo por uma das extremidades — a que está ligada ao cathódó, e movel pela outra.

Assim, quando as linhas de força dum campo magnético cortam os raios cathódicos, os raios sam deflectidos numa direcção ou noutra, segundo a polaridade das linhas de força. Para o verificar, toma-se um íman rectilíneo, e colloca-se ao lado do tubo com o eixo perpendicular ao fluxo cathódico; observa-se então um deslocamento da mancha fluorescente do anticathodo.

Se as linhas de força magnética sam parallelas aos raios, estes não soffrem deflexão sensível. E' o que se pôde vêr, collocando convenientemente um tubo de CROOKES entre os polos afastados de um forte electroíman.

Eis agora uma experiência notavel de BIRKELAND ¹.

¹ BIRKELAND, *Arch. des Scienc. phys. et nat. de Genève*, junho, 1896, p. 497.

Tomemos um tubo, cujo cáthodo, formado por um disco plano fixo pelo bordo no meio do tubo, emite raios cathódicos por ambas as faces.

Submettendo o feixe de raios a acção de um íman rectilíneo de eixo normal ao cáthodo, observa-se o seguinte. O feixe, que se afasta do polo, torna-se divergente, adquire ao longo do seu trajecto uma intensa luminosidade azulada e vae produzir no fundo uma grande mancha fluorescente com o centro sombrio. O feixe, que se dirige para o polo, torna-se convergente e também muito brilhante; se a distância fór proporcionada, a mancha fluorescente reduz-se a um fóco nítido, que facilmente funde o vidro.

O phenómeno não muda, quando se invertem os polos do íman. Vêr-se-ha adeante a importância theórica desta nota.

BIRKELAND descreve uma outra experiência digna de registar-se. Se em vez dum disco circular se toma para cáthodo por exemplo uma cruz de Malta, nota-se, que as duas imagens da cruz, que se obtém nas paredes oppostas do tubo, apparecem torcidas uma a respeito da outra.

Esta fórma espiralada, que os raios cathódicos podem adquirir sob as acções magnéticas, era conhecida já de HITTOFF e de CROOKES¹.

17. PAULSEN, distincto metereólogo dinamarquês, emittiu recentemente a hypóthese de que as auroras polares provêem duma phosphorescência do ar, devida aos raios cathódicos originados pelo Sol nas altas regiões da atmosphaera.

A descoberta de BIRKELAND, da propriedade que os polos magnéticos possuem de sugar os raios cathódicos, fornece uma confirmação notavel das ideias de PAULSEN.

18. Heterogeneidade dos raios cathódicos. — BIRKELAND²

¹ Vid. J. J. THOMSON, *Recent researches*, pp. 134 e 139.

² BIRKELAND, *Sur un spectre des rayons cathodiques*. (In *Compt. rend.* de 28 de setembro, 1896, p. 492).

fez da sua experiência uma bella applicação. Demonstrou, que um cathodo emite ao mesmo tempo um certo número de grupos diversos de raios, que as forças magnéticas permitem separar.

A separação póde effectuar-se, fazendo convergir um feixe cathódico por meio de um polo magnético. Variando a distância do polo ao tubo, a mancha fluorescente produzida varia até se tornar pontual; depois é substituída por uma nova mancha, que a seu turno varia tambem, e assim por deante. Os diversos grupos de raios cathódicos formam pois focos diversos.

Mas BIRKELAND fez ainda uma separação mais perfeita.

Um tubo cylindrico está ligado a uma ampóla esphérica. Na extremidade afastada do cylindro ha um cathodo plano. Na outra extremidade existe uma lâmina com uma fenda estreita, separando o cylindro da esphera e servindo de anodo. No diâmetro equatorial da esphera, perpendicularmente a fenda, collocam-se dois pequenos electroímans.

Pondo o tubo em actividade, mas não os electroímans, obtém-se uma faixa fluorescente, amarella, que é muito nítida, quando o ánodo se liga á terra. Para uma pressão muito fraca e uma tensão muito forte, a faixa desdobra-se em 2 ou 3 riscas, uma das quaes se desloca pela símplez approximação dum dedo.

Excitando os electroímans, obtém-se todo um espectro de faxas amarellas, mais ou menos distanciadas da faixa primitiva.

Quando se examina o espectro, á medida que a intensidade da corrente de descarga vae crescendo, nota-se, que as faxas consecutivas apparecem súbitamente umas após outras. Além disso as faxas vam-se desdobrando em riscas mais finas. Nota-se mais, que várias riscas apresentam pequenos movimentos oscillatórios.

Os raios cathódicos formam pois um conjuncto mui heterogénio.

Mas a heterogeneidade das emanções cathódicas é duma ordem ainda mais elevada.

Resulta com effeito das experiências de BATTELLI¹ e de PRECHT², de Heidelberg, que as radiações dum cathodo sam altamente complexas. Ao lado das radiações sensiveis ao iman, propriedade característica dos raios por nós estudados, existem radiações que não soffrem a acção magnética.

A questão requer porém um estudo mais profundo.

19. Acção dum campo electrostático. Experiências de Jaumann. — Acreditava-se geralmente, que os raios cathódicos não soffriam desvio electrostático sensivel. HERTZ, por exemplo, nunca logrou pô-lo em evidência.

Todavia JAUMANN³, por umas experiencias mui notadas, que fez no anno ultimo, julga tê-lo conseguido.

Este phísico guiou-se nos seus trabalhos pela ideia de que a ausência de desvio nas condições ordinárias resulta da intensidade dos raios e das cargas superficiaes do tubo.

Tractou pois de enfraquecer as radiações. Para isso mergulha em azeite a ampola de CROOKES e o ánodo, que tirou para fóra do tubo. O cathodo é levemente cóncavo.

Nestas condições a luminescência do anticathodo é tenuissima. Consta duma mancha circular e duma figura, menos luminosa, em fórma de anel, separadas por um espaço mais escuro.

A figura annullar permanece immovel perante as acções electrostáticas. Mas, ao invés disso, a mancha circular é extremamente sensivel, deslocando-se á menor variação do campo eléctrico.

E' contudo para notar, que o desvio não seja estavel; a

¹ Vid. *Journ. de Phys.*, julho, 1896, p. 306.

² Vid. *Nature*, 4 de março, 1897, p. 418.

³ JAUMANN, *Wied. Ann.*, n.º 10, 1896. (Vid. *Compt. rend.* de 4 de maio, 1896, p. 988).

mancha volta quasi immediatamente, após ligeiras oscillações, á posição primitiva.

Notemos tambem, que o desvio é de sentido contrário ao que se podia esperar suppondo o raio cathódico dirigido segundo as linhas de força negativas. Com effeito um corpo electrizado positivamente repelle o raio, quando se aproxima do tubo.

Deixemos a discussão da experiência, que parece ter uma significação differente da que lhe dá JAUMANN, e á qual mais longe nos havemos de referir. Os desvios têm o character de phenomenos de indução, e, como nota POINCARÉ, podem explicar-se pelo movimento dos corpos electrizados.

Não faltam porém observações, que mostram a influencia da electricidade sobre os raios cathódicos.

HILDEBRAND¹ affirma ter produzido deflexões permanentes dos raios pela acção de pedaços de metal collocados no tubo.

Por outro lado mil factos revelam a influencia dos conductores aonde chega um fluxo continuo de electricidade.

Já GOLDSTEIN dizia, e outros auctores o têm verificado, que as sombras cathódicas se contraem ou se alargam conforme a placa, que produz a sombra, se electriza positiva ou negativamente.

Uma experiência mais recente de WIEDEMANN e EBERT, que não tardaremos a descrever, mostra á evidencia a repulsão que um cathodo exerce sobre os raios cathódicos saídos dum cathodo vizinho.

DESLANDRES², conhecido astrónomo francês, com o intuito de verificar a hypóthese, que emittiu, de que os raios da coróa solar não sam mais do que raios cathódicos originados na parte superior da chromosphaera, tem trabalhado com os

¹ Vid. *Nature*, 12 de novembro, 1896, p. 47.

² DESLANDRES, *Compt. rend.* de 29 de março, 1897, p. 678.

tubos de CROOKES. Ora numa das suas observações achou, que, se um dos cáthodos da experiência de WIEDEMANN se converte em ánodo, ha attracção dos raios cathódicos.

De resto já JAUMANN havia provado, que a posição da mancha circular do anticáthodo dependia da posição do ánodo.

20. Na mesma ordem de ideias achamos conveniente descrever aqui outras experiências de JAUMANN, embora o auctor as apresentasse com um fim muito differente.

O sábio phísico austriaco notou, que nos pontos de encontro de dois feixes cathódicos se fórma uma plaga luminosa.

Empregando dois cáthodos, um plano e outro filiforme e paralelo ao plano do primeiro, a região luminosa é um cylindro parabólico de que os eléctrodos sam os elementos focal e directriz.

Com dois cáthodos planos tem-se uma superficie, que se reduz ao plano bissector dos cáthodos.

Vê-se pois, que a superficie luminosa é o logar dos pontos igualmente distantes dos dois cáthodos. Os raios dos feixes cathódicos produzem luz ao encontrarem-se, e como que se curvam proseguindo o seu curso ao longo da superficie de luminosidade.

JAUMANN notou, que a espessura da superficie luminosa depende da differença de marcha da perturbação eléctrica, que chega aos dois cáthodos.

Junctemos os dois cáthodos por fios differentes ao polo negativo do carrete de inducção, e intercalemos um interruptor de faiscas.

A superficie luminosa será nitida e fina enquanto os dois fios tiverem o mesmo comprimento. Mas á medida que a differença de comprimento fór augmentando, a região luminosa torna-se mais espessa, enche dentro em pouco todo o espaço entre os dois cáthodos, para afinal se reduzir a uma camada contigua áquelle dos cáthodos, cujo fio conductor é mais curto.

JAUMANN considera as apparencias observadas como phenomenos de *interferencia* dos raios, que elle attribue a ondulações do ether.

Vêr-se-ha depois, que essa interpretação é inadmissivel.

Segundo POINCARÉ¹, os phenomenos observados não sam mais do que uma fôrma nova do desvio electrostático observado por GOLDSTEIN e por CROOKES: os raios cathódicos emanados dum cáthodo sam repellidos pelo outro. E' a este titulo, que nós os descrevemos aqui.

Quando se vai dum ao outro cáthodo, o potencial cresce primeiro (em valor relativo) até um certo máximo, para decrescer em seguida.

Se não ha differença de marcha, o potencial é o mesmo nos dois cáthodos, e o máximo é attingido a meio caminho dos cáthodos. Os raios afastam-se do cáthodo, e continuam o seu trajecto enquanto o potencial cresce; quando começa a decrescer sam desviados. Resulta daqui uma como concentração dos raios na região onde o máximo é attingido: é essa região que se illumina.

Supponhamos agora, que ha differença de marcha. Sendo periódica a perturbação eléctrica, a differença de potencial dos dois cáthodos não será sempre nulla, mas variará periódicamente em volta de zero. O máximo de potencial entre os dois cáthodos oscillará pois em volta duma posição média. Por conseguinte a superficie luminosa occupará posições differentes nos differentes instantes do periodo, de sorte que ao observador parecerá augmentar de espessura.

Tal é a interpretação, que POINCARÉ dá das experiencias de JAUMANN.

21. Para deixar este ponto, resta-nos examinar a questão da repulsão mútua dos raios cathódicos.

¹ H. POINCARÉ, *Les rayons cathodiques et la theorie de Jaumann*. (In *L'Éclairage électrique*, 7 de novembro, 1896, p. 241).

Na extremidade dum tubo cylíndrico dispôs CROOKES dois cáthodos, e logo adiante um diaphragma com dois orifícios por onde passam respectivamente os dois feixes cathódicos. Os dois feixes, produzidos separadamente, formam duas manchas a certa distância uma da outra na parede do tubo. Quando os dois feixes se produzem ao mesmo tempo, as manchas afastam-se. CROOKES concluiu que os raios cathódicos se repellem mutuamente.

WIEDEMANN e EBERT¹ mostraram porém, que o trajecto de qualquer dos feixes era o mesmo, quer estivesse fechado, quer estivesse aberto, o orifício por onde passava o outro feixe. A differença observada por CROOKES deve pois attribuir-se ás acções dos cáthodos sobre os feixes e não dos feixes entre si.

Ha todavia certas observações, que nos levam a crer na repulsão mútua dos raios cathódicos.

Assim se pôde explicar por exemplo o facto notado por COLARDEAU², do feixe emittido por um cáthodo esphérico se concentrar além do centro de curvatura da esphera.

Devemos dizer que muito antes havia chamado WEBER a attenção para factos análogos.

22. Propagação no interior do tubo: direcção e velocidade, reflexão e transparência. — Vimos já, que os raios cathódicos se propagam em linha recta, segundo as normaes á superficie cathódica (4).

GOLDSTEIN contestou a generalidade desta lei. Sem querer exagerar o valor da observação, é verdade, que differentes causas ainda mal estudadas vêm por vezes perturbar a lei; por exemplo: pôde-se deslocar o fóco de um cáthodo esphérico intercalando faíscas no circuito exterior.

¹ Vid. Ch.-Éd. GUILLAUME, *Les rayons X*, p. 59. Paris, 1896.

² Vid. *Rec. gén. des Scienc.*, 15 de outubro, 1896, p. 841.

Com que velocidade se propagam os raios ?

E' este dado importante, que J. J. THOMSON ¹ mediu com todo o rigor em 1894.

Num tubo cylindrico foram dispostos dois receptores luminescentes a 15^{cm} e 20^{cm} do cathodo. Interiormente o tubo era ennegrecido, á excepção de duas fendas situadas na mesma generatriz. Era excitado por uma disposição especial, o que tornava as imagens das fendas mais nítidas.

Por meio dum espelho gyrante o illustre phísico inglês conseguiu medir o intervallo de tempo, que decorre entre o apparecimento da phosphorescência nos dois receptores. Achou para os raios cathódicos uma velocidade de 200 chilometri por segundo, que é portanto mui inferior á velocidade da própria descarga, a qual é cêrca de metade da velocidade da luz (3).

Tem-se aqui uma nova prova de que os raios cathódicos sam na descarga um phenómeno secundário.

23. Ha bastantes annos já, que GOLDSTEIN fez a seguinte experiência. Dirigindo um feixe de raios cathódicos sobre uma lâmina de mica, notou, que os corpos phosphorescentes vizinhos se illuminavam, e concluiu que «os raios cathódicos soffrem uma reflexão diffusa, ao ferirem um corpo situado no seu trajecto».

E' de crêr porém, que fossem os raios X os agentes da phosphorescência observada por GOLDSTEIN.

SEGUY ² julgou provar a reflexão regular dos raios cathódicos pelo vidro e pelo metal, do modo que vamos dizer.

No centro de um tubo esphérico uma estrella de alumínio servia de ánodo. A extremidade do diámetro perpendicular á estrella era occupada por um disco servindo de cathodo.

¹ J. J. THOMSON, *Phil. Mag.* [4], t. XXXVIII, p. 358; 1894.

² SEGUY, *Compt. rend.* de 20 de janeiro, 1896, p. 134.

Ligando o tubo ao carrete de indução, vê-se a sombra da estrella no anticathodo fluorescente; e no fundo opposto, sobre uma escassa luminescência, a sombra engrandecida da estrella, tendo ao centro a imagem da mesma estrella ligeiramente illuminada.

SEGUY attribue o phenómeno á reflexão regular dos raios cathódicos pelo ánodo e pelo anticathodo.

Não vimos ainda a experiência contestada. Quer-nos todavia parecer, que o phenómeno é devido ao funcionamento cathódico do ánodo, no momento em que se fecha o circuito inductor. Não faltam exemplos de perturbações produzidas pela imperfeita polaridade do carrete de indução. BIRKELAND (loc. cit., p. 504) explica dessa maneira um phenómeno análogo ao de SEGUY.

A par dos phenómenos de reflexão diffusa, GOLDSTEIN affirma, que de numerosas substâncias submettidas á experiência, lâminas delgadissimas de vidro, de quartzo, de mica, nenhuma mostrou o menor signal de transparência para os raios cathódicos. Pelliculas de collódio depositadas por soluções ethéreas muito diluidas produziam no anticathodo sombras negras como tinta.

Todavia, posteriormente, WIEDEMANN e EBERT (1891) assignaláram, que os raios cathódicos atravessavam um depósito de platina opaco á luz.

Quasi ao mesmo tempo fazia HERTZ¹ a notavel descoberta, de que os raios cathódicos atravessam espessuras apreciaveis de differentes metaes.

24. Propagação no exterior do tubo. Experiências de Lenard. — A descoberta da permeabilidade das folhas metálicas foi o ponto de partida das notaveis experiências

¹ Vid. J. J. THOMSON, *Recent researches*, p. 126.

realizadas em Bonn, em 1894, por PH. LENARD¹, distincto discípulo do illustre HERTZ.

LENARD, aproveitando essa descoberta, tractou de estudar os raios fóra do tubo, onde se produzem.

Para isso fez na parede anticathódica uma fenda de 1^{mm},7 de largura, fechando-a herméticamente por uma folha de alumínio de 3^a de espessura.

Afim de evitar acções eléctricas perturbadoras, protegia a face interna da folha por uma cápsula metálica com uma pequena abertura, e envolvia o tubo inteiro num cylindro metálico, que estava em comunicação com a janella de alumínio, com a cápsula e com a terra.

Logo que a descarga passa, o ar circunvizinho illumina-se dum luz azulada, tam ténue, que é inapreciavel ao espectroscópio.

As acções luminescentes mostram-se análogas ás dos raios cathódicos interiores com a vantagem de se poderem estender aos líquidos: o petróleo, por exemplo, apresenta uma bella luminescência azul. LENARD, nas suas observações, usava dum diaphragma muito sensível: um papel de seda embebido em pentadecylparatoluylicetona.

As acções photographicas revelam-se muito enérgicas.

Umás e outras observam-se ainda numa certa extensão, além dos pontos em que a luminosidade do ar se extingue. A interposição dum folha delgada de alumínio entre o ar luminescente e a placa não projecta sombra sensível.

Uma vez de posse dos meios reveladores, afim de estudar a propagação em boas condições experimentaes, LENARD fez construir vários tubos de fórma alongada, abertos numa das extremidades, e podendo adaptar-se perfeitamente ao seu aparelho.

¹ PH. LENARD, *Wied. Ann.*, t. LI e LII; 1894. A nossa exposição é um resumo feito sobre a obra: ED. THOMPSON, *Röntgen Rays*, pp. 53 a 67. New-York, 1896.

Desta fórma era possível observar as propriedades dos raios em diferentes gazes e a diversas pressões.

Comecemos pelo estudo no vazio.

Verifica-se, que os raios se propagam no vazio perfeito, tam perfeito quanto o podem fazer as bombas de mercúrio, tendo ainda a precaução de condensar os vapores mercuriaes por meio duma mistura refrigerante.

Num tal vazio é impossível produzi-los, e todavia propagam-se com facilidade. Assim LENARD observou, que a acção fluorescente se faz sentir ainda a cêrca de 1^m da janella, como o comprovava a extincção parcial da luminescência pela *deflexão magnética*.

Nota-se, que a janella de alumínio transforma o feixe parallelo interior num feixe divergente exterior. Dahi a necessidade do uso de diaphragmas.

O exame das manchas produzidas num papel fluorescente a distâncias diversas do diaphragma mostra, que num tal meio o percurso dos raios é rectilíneo.

As membranas delgadas não sam todas igualmente transparentes. Assim enquanto as folhas de ouro, de prata, etc., sam bastante permeáveis, uma pellicula de quartzo ou de mica é-o bem menos.

25. Augmentemos a pressão gradualmente.

O primeiro phenómeno visivel é a luminosidade do gaz á saída da janella. LENARD pensa, que, ao menos em parte, essa luz é devida á acção eléctrica do metal vizinho. O que é certo, é que ella se desloca pela simplez approximação da mão, o que não succede á mancha fluorescente, que os raios produzem.

Eis um outro factó importante: quando se diaphragma o feixe cathódico por um disco perfurado, a mancha obtida é formada por um halo diffuso, em cujo centro se desenha um contorno mais escuro e uniforme. No vazio elevado, o halo desaparece.

LENARD concluíu, que os gazes, mesmo rarefeitos, sam

para os raios meios perturbadores. De resto, o desvio da propagação rectilínea por *diffusão* é evidente, quando se comparam as manchas obtidas a distâncias diferentes: o halo alarga-se mais rapidamente do que a distância cresce.

LENARD, recebendo um feixe luminoso sobre uma placa sensível através dum copo com leite diluído, obteve um fenómeno análogo. O habil phísico notou também, que a *diffusão* era acompanhada de absorpção. E, coisa notável, achou mediante medidas muito precisas, que a absorpção era sensivelmente proporcional á densidade do gaz atravessado.

A acção do campo magnético sobre os raios de LENARD deu margem a observações deste phísico, que sam hoje dum grande interesse.

O feixe de raios era diaphragmado duas vezes por lâminas opacas com orifícios ao centro. LENARD recolhia num receptor photographico a mancha produzida pelo feixe, antes e depois da applicação do íman.

A imagem antes do desvio magnético era formada dum halo *diffuso* com um núcleo escuro ao centro. Sob a acção dum íman mesmo fraco, a imagem é muito differente: só o halo parece desviado, chegando ás vezes a isolar-se totalmente do contorno escuro¹.

Enfim LENARD diz, que os raios têm o poder de descarregar os corpos electrizados positiva ou negativamente. Um electroscópio isolado por uma caixa de fio metálico descarrega-se rapidamente sob a acção dos raios cathódicos. Esta acção é sensível a muito maior distância do que a luminescência.

26. Não resta dúvida de que LENARD obteve e estudou os raios cathódicos fóra do tubo onde se produziam.

¹ A figura desenhada por LENARD, que sentimos não ter podido reproduzir, é realmente muito suggestiva sob o ponto de vista da theoria. (Vid. CH.-ÉD. GUILLAUME, *Les rayons X*, p. 67).

Mas as radiações estudadas por esse phísico seriam um simplez feixe de raios cathódicos?

Hoje, depois da descoberta de RÖNTGEN, pôde afirmar-se, que as radiações de LENARD eram uma mistura de raios cathódicos e de raios X.

Mas pôde ir-se mais longe: pôde garantir-se, que LENARD separou experimentalmente as duas espécies de raios.

O distincto phísico reconheceu com effeito por várias vezes, que além dos raios cathódicos ordinários, que eram retidos por placas de espessura superior a um certo limite, havia, misturada com elles, uma outra espécie de raios para os quaes as substâncias eram muito mais transparentes. Segundo conta STOKES¹, LENARD menciona algures por incidente, que «os raios cathódicos ainda eram um tanto perceptíveis através da mão».

Mas a separação mais nítida, que fez LENARD, foi nas suas experiências sobre a deflexão magnética. Ahi reconheceu á evidência, que no feixe estudado, além de raios fortemente, mas desigualmente, deflexíveis, havia um outro feixe não menos abundante, inflexível.

Sendo assim, como comprehender que lhe escapasse a descoberta mêses depois annunciada pelo prof. RÖNTGEN?

«A separação das duas espécies de raios, não a havia ainda feito LENARD no seu espirito» (GUILLAUME).

Sem dúvida que o facto de operar de cada vez durante alguns segundos apenas, e bem assim a exiguidade da janella do seu aparelho, deviam ter contribuido para lhe occultar as maravilhosas propriedades dos raios X.

¹ STOKES, *Nature*, 3 de setembro, 1896, p. 428.

CAPÍTULO III.

Natureza dos raios cathódicos.

27. **Theoria da conducção molecular.** — Sobre o phenomeno cathódico duas theorias oppostas têm feito carreira igualmente brilhante.

Uma considera os raios cathódicos correntes de corpúsculos materiaes electrizados. Emittida em 1879 por CROOKES (theoria da conducção molecular), e modificada posteriormente por J. J. THOMSON e SCHUSTER (theoria da conducção electrolítica), foi adoptada por muitos phýsicos inglêses (LORD KELVIN, STOKES, LODGE, FITZGERALD, etc.).

A outra considera os raios cathódicos um movimento ondulatório do ether. Nascida em 1880 com GOLDSTEIN, tem sido defendida successivamente por WIEDEMANN, HERTZ, LENARD, JAUMANN e outros phýsicos allemães (excepto HELMHOLTZ; a excepção tem sua importância).

Este último modo de vér, que ainda não ha muito parecia marchar triumphante, perde hoje terreno a olhos vistos. Mas vamos primeiro á theoria inglêsa, mostrando como ella interpreta bem os factos.

Já dissémos, que a presença duma certa quantidade de matéria parece essencial á passagem contínua da electricidade nos tubos de vazio (6). Por outro lado ensina-nos a theoria cinética, que as moléculas dum gaz se deslocam em todas as direcções com velocidades muito grandes e continuamente variaveis, chocando-se sem cessar entre si; ora comprehende-se, que a baixas pressões os movimentos mo-

leculares possam ser orientados, sob a acção por exemplo do impulso eléctrico.

Estas simplez considerações é que leváram CROOKES a suppór, que a conducção da electricidade nos gazes era connectiva. Não seremos tam exclusivos. Tractaremos sobretudo de mostrar, que essa ideia explica regularmente o phenómeno cathódico.

Mas a titulo de curiosidade sempre diremos da fórma engenhosa como o habil phýsico illustrou o phenómeno da descarga estratificada.

«E' um facto sabido, que numa rua muito frequentada a multidão não se distribue uniformemente pela calçada, mas fórma uma série de grupos separados por espaços relativamente vazios.

«Concebe-se o modo por que se fórmam taes grupos, notando que as pessoas, que marcham mais lentamente do que a média, retardam o movimento das outras, que se deslocam na mesma direcção ou na direcção opposta.

«Verifica-se um phenómeno semelhante imprimindo um movimento rýthmico a particulas suspensas na água, num tubo horizontal.

«Comprehende-se pois, que as moléculas dum gaz rarefeito, sob a influéncia do rýthmo eléctrico, se disponham em estratificações bem definidas. As porções luminosas indicam as regiões onde o movimento como que pára, onde ha fricções moleculares, enquanto que nos intervallos sombrios a travessia das moléculas faz-se com menor número de choques».

Embora esta concepção da descarga estratificada não pareça exacta (3), ella merece ser mencionada, pelo menos em homenagem ao seu auctor.

Mas deixando a phase da descarga estratificada, prosigamos na rarefacção do gaz.

CROOKES admite, que as moléculas residuaes, attrahidas pelo cáthodo e carregadas de electricidade negativa, sam

fortemente repellidas em seguida, e caminhando com enorme velocidade vam bombardear a parede opposta, onde produzem o «incêndio» conhecido.

Os raios cathódicos seriam pois correntes de moléculas carregadas de electricidade negativa. Por tal modo de vêr explicam-se muito bem os effeitos dos raios cathódicos: luminosos, mechânicos, thérnicos e eléctricos. Os effeitos chýmicos, sejam primários ou secundários, tambem não surprehendem demasiado.

Ficam igualmente explicadas as acções magnéticas e electrostáticas.

Sustentam alguns phýsicos, PULUJ por exemplo, que os effeitos observados se devem ás particulas arrancadas ao cáthodo. A perda de matéria pelo eléctrodo negativo, se existe na realidade em vários casos, não é essencial ao phenómeno; CROOKES mostrou com effeito, que os raios ainda se fórman, quando os eléctrodos sam calottes metálicas applicadas á superficie externa do tubo.

28. Theoria da conducção electrolytica. — A hypóthese da dissociação electrolytica das moléculas dos gazes não é nova, mas só após os trabalhos da eschola de Leipzig sobre a existéncia de iões livres nas soluções diluidas, é que a ideia da electrólise dos gazes e dos vapores adquiriu a extensão dominadora, que hoje possui.

E' sobretudo aos notaveis estudos, tanto experimentaes como theóricos, dos phýsicos inglêses J. J. THOMSON e SCHUSTER, que se deve a applicação da hypóthese electrolytica aos phenómenos da conducção nos gazes.

Não pensamos, é claro, em referir aqui os factos, que servem de fundamento a essa hypóthese, e bem assim as discussões, que ella levanta¹. Isso levar-nos-hia muito longe.

¹ Póde lêr-se com interesse o *compto-rendu* da sessão da Soc.

No entanto não deixaremos de dizer, que entre os phísicos tende a espalhar-se a ideia de que a molécula dum gaz não pôde receber uma carga eléctrica, e que o átomo é que é o vehículo natural da electricidade livre nos gazes. Entre muitas outras razões, que ha para o crér, citaremos apenas esta razão curiosa: o vapor, que se desenvolve dum liquido electrizado, não arrasta nenhum traço de electricidade.

Demais J. J. THOMSON affirma, que em todos os casos em que um gaz lhe revelou grande conductibilidade, foi possível demonstrar pela análise chymica a sua decomposição; o que está de harmonia com este facto digno de notar-se, que uma primeira descarga num gaz facilita a passagem das descargas subsequentes ¹.

Por outro lado a ideia da electrólise não introduz nenhuma difficuldade adicional na hypóthese dum transporte convectivo.

O próprio CROOKES confessa, que tal modo de vér apresenta um certo character de evidência. Referindo-se ao caso dos gazes monoatômicos, nos quaes o phenómeno é o mesmo, recorda a ignorância em que estamos da natureza do átomo. «O vapor de mercúrio, o argon, o hélio, apresentando-nos espectros complexos, fazem-nos crér na existência dum conjuncto atômico tambem complexo, de natureza material ou talvez de natureza eléctrica, se quisermos, dada a identidade das oscillações eléctricas e das radiações luminosas, comparar as moléculas a excitadores e resoadores de HERTZ».

Tractemos pois de applicar a hypóthese ao phenómeno cathódico, mas antes disso permitta-se-nos que fallemos um momento da imagem suggestiva, que dá o prof. J. J. THOM-

phísica de Londres de 22 de janeiro de 1897. (*Nature*, 28 de janeiro, 1897, p. 307).

¹ Leia-se sobre estas observações: J. J. THOMSON, *Recent researches*, pp. 53, 126 e 190. — *Proc. Roy. Soc.*, t. LVII, p. 244, 1895.

SON¹, da descarga nos gases, descarga que é dalguma sorte independente dos raios cathódicos (5).

Para aquelle phísico, a passagem da electricidade num gaz, bem como num electrólito, e, segundo o pensa o auctor, tambem num metal, é acompanhada e effectuada por mudanças chýmicas, que podem ser grosseiramente representadas pelas que, na theoria da electrólise de GROTTUS, se supõem occorrer no que se chama uma cadeia de GROTTUS.

A formação de taes cadeias comprehende-se como o resultado da acção polarizante do campo eléctrico sobre as moléculas, acção comparavel á que um campo magnético exerceria num grande número de pequenos magnetes, á parte as differenças provenientes do estado cinético, em que se encontram as moléculas de um gaz.

O mecanismo da descarga no gaz é então facil de representar. Na cadeia de GROTTUS a molécula vizinha do ânodo é dissociada, o ião negativo dirige-se para o eléctrodo positivo, e o positivo actua sobre o ião opposto da molécula immediata provocando uma decomposição e uma recomposição consecutiva. Esta acção, propagando-se ao longo da cadeia, é que constitue a descarga.

A concepção de J. J. THOMSON faz-nos vêr como a velocidade da descarga pôde ser tam grande, enquanto a velocidade individual das moléculas é tam pequena, segundo resulta das observações espectroscópicas (3). Suppondo instantânea a propagação da inducção electrostática, pôde admittir-se, que as recomposições sam simultâneas ao longo da cadeia. Nestas condições a velocidade da descarga excederia a dos átomos na relação do comprimento da cadeia para a distância entre dois átomos adjacentes de moléculas vizinhas.

J. J. THOMSON considera um estrato como um feixe de cadeias de GROTTUS, correspondendo as partes brilhantes

¹ J. J. THOMSON, *Recent researches*, pp. 188 a 207.

às extremidades da cadeia e as partes escuras ao meio. Em tal modo de vêr a descarga total consistiria numa série de descargas succedendo-se com extrema rapidez. E' a conclusão a que por vias differentes haviam chegado muitos phísicos (SPOTTISWOODE, MOULTON, GOLDSTEIN), que têm estudado as descargas nos gazes.

O tempo falta-nos para levar mais longe o exame da theoria, que, como mostra o seu illustre auctor, se adapta muito bem aos factos conhecidos. Passemos pois ao phenómeno cathódico.

29. Sob a acção das forças eléctricas e dos choques mútuos as moléculas sam dissociadas, dirigindo-se os iões positivos para o cáthodo e os negativos na direcção opposta.

Ao mesmo tempo, se o grau de vazio fôr sufficiente, estabelece-se juncto do cáthodo uma queda rápida de potencial, que alimenta continuamente a dissociação iónica.

Os iões positivos é que formam a ténue auréola luminosa assente sobre o cáthodo, o que parece confirmado pelo factum objecto interposto nessa luz projectar sombra sobre o eléctrodo e ainda por uma certa semelhança espectral, que GOLDSTEIN achou entre essa luz e a luz positiva (1).

Os iões negativos dirigem-se em direcção opposta, com enorme velocidade, ao longo do espaço escuro até encontrarem o fluxo positivo vindo do ánodo. E' do conflicto, que provém a luz negativa.

E' claro, que a theoria não tem, nem póde ter, a pretensão de explicar todos os pormenores do phenómeno. Mas continuemos.

Quando o vazio augmenta, o espaço escuro alarga-se. Num dado momento esse espaço attinge a parede opposta, e os raios cathódicos, correntes de iões negativos, acham-se constituidos.

A razão da asymetria da descarga, isto é, da existência dos raios cathódicos, encontra-se na forte queda de potencial, que se estabelece juncto do cáthodo.

E qual a razão de tal queda?

Seria necessário, para podermos responder, que conhecessemos melhor as leis, que regulam a passagem da electricidade dum gaz para um sólido e dum sólido para um gaz. E' ahí sem dúvida, que está a razão das apparencias differentes da descarga no cáthodo e no ánodo.

SCHUSTER¹, theorizando sobre a questão, intende, que as electrizações positiva e negativa affectam dum modo diverso as forças moleculares. Assim admite, que os iões negativos se diffundem mais rápidamente do que os positivos.

«Se por analogia com a electrólise dos líquidos, diz aquelle phísico, uma certa força se exige para se effectuar a troca de electricidade no eléctrodo, uma camada sufficiente de iões deve cobri-lo. Ora imaginemos, que a camada de iões positivos é, para a mesma densidade superficial e portanto para a mesma força, mais espessa do que a camada de iões negativos. Resulta, que a rápida queda de potencial no cáthodo é uma consequência da espessura da camada polarizante».

Esta concepção deixa vêr o motivo por que o phenómeno cathódico não passa, como mostra a observação, dum leve episodio da descarga num tubo de CROOKES.

Todavia a funcção exacta dos raios cathódicos na descarga permanece duvidosa. Quem sabe, suggere J. J. THOMSON, se elles constituem uma contra-corrente em virtude da qual os átomos, que levam a descarga ao eléctrodo negativo, deixam de se accumular na sua vizinhança? E' de esperar que o futuro illucide a questão.

30. Ainda sobre a natureza material dos raios cathódicos. — Ha muitos outros factos, que confirmam a hypóthese de que os raios cathódicos sam correntes de particulas materiaes.

¹ SCHUSTER, *Proc. Roy. Soc.*, t. XLVII, p. 551, 1890.

A velocidade de 200 chilómetros, ainda que 200 vezes superior á maior que a Balística moderna consegue attingir, é perfeitamente explicavel na theoria electrolytica, como mostrou J. J. THOMSON¹ por um cálculo elementar.

As bolhas microscópicas do gaz residual, que GOUY observou exclusivamente na parede interna do anticathodo, sam um factio bem comprehensivel.

BURKE², a suggestão do prof. J. J. THOMSON, quebrou ampólas vazias com pancadas séccas, conseguindo produzir uma ligeira fluorescência no vidro. E' pois de crêr, que a fluorescência do tubo seja devida á acção mechânica dos raios cathódicos.

Na conhecida experiéncia de BIRKELAND, sobre a convergência e torsão dos raios cathódicos pela acção dum polo magnético, baseou POINCARÉ³ uma brilhantissima confirmação da theoria do bombardeamento. Por uma análise elementar, que nos abtemos de reproduzir, o eminente homem de sciéncia provou, que, considerando os raios cathódicos correntes de partículas materiaes electrizadas, elles devem, sob a acção dum polo magnético, convergir segundo as linhas geodésicas dum cone de revolução. Mostrou tambem, que o phenómeno não muda, quando se invertem os polos do íman.

Ora todos esses detalhes se encontram na experiéncia de BIRKELAND. «Se a hypóthese de CROOKES não é verdadeira, parece que tudo se passa como se o fosse» (POINCARÉ).

31. Examinemos, para terminar, algumas objecções á theoria exposta.

A antiga objecção de GOLDSTEIN, baseada em que o méthodo de DÖPPLER-FIZEAU não denuncia movimento apre-

¹ J. J. THOMSON, *Phil. Mag.*, [4], t. XXXVIII, p. 358; 1894. — Vid. GUILLAUME, loc. cit., p. 100.

² Vid. *Journ. de Phys.*, julho, 1896, p. 330.

³ H. POINCARÉ, *Compt. rend.* de 5 de outubro, 1896, p. 530.

ciavel no gaz luminescente, resultou duma errónea interpretação dos factos. Os raios cathódicos sam invisíveis: a luz diffusa do ar no seu trajecto, quando existe, resulta da fluorescência, que os raios provocam no gaz atravessado (9).

Eis uma outra objecção.

HERTZ tomou um tubo cylíndrico, cujo cáthodo era atravessado no centro por um fio (isolado do cáthodo), que servia de ánodo. Nestas condições notava, que um pequeno imán collocado próximo dos raios cathódicos não soffria desvio algum, ao invés do que succedia, quando o ánodo occupava uma posição lateral. HERTZ interpretava o facto dizendo, que, como a corrente se fechava por assim dizer completamente, não exercia acção magnética no exterior. Concluía ao mesmo tempo, que os raios cathódicos não exercem acção magnética sobre o exterior, e que portanto não sam correntes de partículas electrizadas.

Todavia lembra dizer, que «a corrente transportada pelos raios cathódicos, qualquer que seja, deve ser compensada por uma corrente opposta». Póde ser tambem, que a acção sobre o magnete seja inapreciavel (FITZGERALD). E' possível ainda, que o gaz, que envolve o fluxo cathódico, constitua, mercê da sua conductibilidade, um diaphragma á acção electromagnética emanada dos raios (J. J. THOMSON).

O outro argumento de HERTZ, baseado na ausência de sensibilidade dos raios á approximação dum campo electrostático, sabe-se estar experimentalmente destruído (19).

A conclusão de HERTZ, de que a descarga não passa pelos raios cathódicos, deve pois ser modificada. Parece que a verdade é, que os raios cathódicos não transportam senão uma pequeníssima parte da descarga.

BJERKNES pensa, que a experiência de BIRKELAND sobre o espectro dos raios cathódicos contraria a ideia de CROOKES. E' mais razoavel suppór, que as partículas em movimento se compõem dum numero variavel de átomos, cada risca correspondendo a conglomerados compostos dum número dif-

ferente de átomos ou, por outras palavras, a iões negativos diferentes.

Deixamos para o fim as experiências de LENARD, que durante um momento se julgaram fataes para a hypóthese de CROOKES.

Não deve admirar-nos a relativa facilidade com que os raios cathódicos atravessam, real ou aparentemente, as folhas metálicas. Ha uma experiência de ARONS¹, da qual resulta, que na electrólise dos liquidos os iões atravessam folhas metálicas delgadas sem resistência apreciavel. E todavia a velocidade dos iões em solução é incomparavelmente menor do que a dos iões cathódicos.

O prof. J. J. THOMSON² suggeriu, que os raios cathódicos, com que experimentou LENARD, provinham, não do interior através da janella metálica, mas da própria janella, actuando esta como cáthodo intermediário.

STOKES³ tambem não se inclina a acreditar na permeabilidade das membranas metálicas para os raios cathódicos. Quer antes admittir uma espécie de transmissão de movimento, sendo os novos raios formados já de particulas projectadas da superficie exterior da folha de alumínio, já de particulas do gaz exterior.

Póde ser, accrescenta o illustre sábio, que haja ahí um phenómeno análogo ao que se dá na electrólise do sulfato de cobre entre eléctrodos de cobre. Se um terceiro eléctrodo delgado é introduzido entre elles, verifica-se, que os iões de cobre sam depositados dum lado e removidos do outro.

Aos experimentadores é que compete resolver o problema, que, como se vê, nada offerece de extraordinário.

Muitos outros factos, casos de enorme transparência,

¹ Vid. GUILLAUME, loc. cit., p. 31.

² J. J. THOMSON, *Recent researches*, p. 126.

³ STOKES, *On the Röntgen Rays*. (*Nature*, 3 de setembro, 1896, p. 427).

descarga dos corpos electrizados positiva ou negativamente, realmente extranhos na hypóthese de CROOKES, estão hoje explicados, graças á descoberta do DR. RÖNTGEN.

Finalmente a diffusão rápida dos raios e a proporcionalidade da sua extincção á massa atravessada sam consequências esperadas da hypóthese.

A theoria material da descarga tem pois a seu favor um conjuncto imponente de argumentos. Mas esta theoria, a confirmar-se, está longe de ser uma theoria mechânica completa da descarga. Sabemos nós porventura, o que é um ião? E' sem dúvida, ao que se refere LORD KELVIN naquella imaginosa phrase, em que nos diz, que na passagem da electricidade através dum tubo de CROOKES «a matéria é certamente essencial, mas é de crêr, que o ether seja tambem essencial, e que o seu papel não seja apenas telegraphar aos nossos olhos dizendo-nos de que se occupam os átomos e as moléculas».

32. Theoria das ondulações transversaes. — De harmonia com as suas propriedades luminescentes, chýmicas, photographicas, com a permeabilidade das folhas metálicas, etc., muitos sábios allemães consideram os raios cathódicos como luz ultra-violete de mui pequeno comprimento de onda.

Mas em consequência de vários factos, entre outros os seus effeitos mechânicos e caloríficos, admittem vários desses phýsicos, junctamente com o movimento ondulatorio do ether, a existência dum transporte de matéria, embora como phenómeno secundário. WIEDEMANN illustra tal concepção dizendo, que o transporte da matéria não tem com o phenómeno mais do que o trajecto duma balla com o som, que acompanha o tiro.

A pequena velocidade dos raios e além disso a sua sensibilidade magnética e electrostática sam difficuldades inventiveis nesta maneira de vér.

HERTZ tinha suggerido, que o desvio magnético era um phenómeno comparavel ao phenómeno de HALL. Mas FITZGERALD recorda, que neste phenómeno é essencial a presença da matéria.

Deve-se a GARBASSO¹, conhecido phísico italiano, uma nota importante sobre a theoria dos raios cathódicos.

GARBASSO parte deste principio: se em certas condições um raio de luz é curvilíneo, é que o índice de refração do meio varia ao longo da curva.

Ora demonstra-se, que um raio cathódico, considerado como uma corrente de particulas electrizadas, toma no caso geral, sob a acção dum campo magnético uniforme, a figura helicoidal, que em casos particulares a experiência confirma.

Suppondo que o raio cathódico é devido a uma onda de vibrações transversaes, pergunta-se: póde construir-se uma função das coordenadas tal que, igualando-a ao índice de refração, o raio tome a fórma duma hélice?

GARBASSO demonstra, que não existe tal função. E portanto «a hypóthese das vibrações transversaes não se presta a explicar a deflexão magnética dos raios cathódicos».

J. J. THOMSON raciocina ainda mais simplesmente.

A experiência mostra, que num campo magnético uniforme o raio cathódico é curvilíneo. Se o raio é devido a ondas do ether, a curvatura significa, que a velocidade de propagação varia de ponto para ponto do seu percurso. Isto é, a velocidade de propagação destas ondas não é sòmente affectada pelo campo magnético, é affectada differentemente nos differentes pontos do campo. Mas num campo uniforme o que é que differencia um ponto doutro, de maneira a dar

¹ GARBASSO, *Atti della R. Accad. dei Lincei*, 4 de outubro, 1896, p. 250.

conta da variação da velocidade de propagação da onda num tal campo?

33. Theoria das ondulações longitudinaes. — Em 1895, pouco antes da descoberta de RÖNTGEN, apresentou JAUMANN uma theoria dos raios cathódicos, que despertou certo interesse, embora hoje já um tanto apagado.

Faremos uma rápida exposição desta theoria, segundo a Memória que POINCARÉ¹ lhe consagrou.

Para o sábio phísico austríaco os raios cathódicos sam ondulações longitudinaes do ether. Dada a ignorância, em que estamos, das propriedades das ondas longitudinaes, se é que existem, comprehende-se, que esta idéa devesse seduzir.

Mas é justo confessar, que JAUMANN appoiava a sua maneira de vér em duas ordens de provas experimentaes.

Uma dellas é baseada na acção das radiações sobre a faisca eléctrica.

Segundo JAUMANN, uma vibração facilita a explosão da faisca apenas pela sua componente normal ao eléctrodo.

Por consequente, se a vibração é transversal e polarizada, para que a radiação produza o máximo effeito, é preciso que o plano de polarização seja tangente ao conductor.

A verificação foi feita por WANKA (1892), de Praga, para os raios hertzianos.

Convinha verificá-lo para as radiações do espectro.

Era difficil operar com raios muito refrangiveis. Mas ELSTER e GEITEL mostráram, que a luz visivel actua sobre os eléctrodos formados de amálgamas de metaes alcalinos, como a luz ultra-violete sobre os eléctrodos ordinários. Esses phísicos mostráram, que num gaz rarefeito a acção

¹ H. POINCARÉ, *Les rayons cathodiques et la théorie de Jaumann*. (In *L'Éclairage électrique*, 7 de novembro, 1896, p. 241).

é máxima, quando os planos de polarização e de incidência sam perpendiculares entre si, e mínima, quando os dois planos sam paralelos. Mas este mínimo, que segundo JAUMANN deveria ser nullo, não o é. Para explicar a divergência, suppõe JAUMANN, que nos gazes rarefeitos a luz ordinária é acompanhada duma componente longitudinal.

Tendo LENARD mostrado, que os raios cathódicos provocam a descarga disruptiva, JAUMANN concluiu, que estes raios sam devidos a uma vibração eléctrica. E como por outro lado a acção parece máxima, quando os raios cathódicos sam normaes ao eléctrodo, conclue que estes raios sam devidos a ondas longitudinaes.

A segunda prova invocada por JAUMANN é fundada naquelles phenómenos luminescentes, que se observam na vizinhança de dois cathodos (20), e que esse phísico considera como resultado da interferência dos raios cathódicos.

Quando a differença de marcha das ondas, que chegam aos cathodos, é nulla, a superficie de interferência é um plano. Se a differença de marcha não é nulla, a superficie de interferência torna-se espessa, o que JAUMANN considera como um espectro de superficies de interferência, devidas a raios cathódicos de comprimento de onda variavel.

Por considerações baseadas sobre a grandeza da differença de marcha, JAUMANN é levado a attribuir aos raios cathódicos um comprimento de onda igual ao dos raios hertzianos. E como não sam idénticos, conclue que os raios cathódicos sam longitudinaes.

Em seguida procura JAUMANN dar conta da possibilidade théorica das vibrações longitudinaes.

Aquelle phísico admite, que a propagação da perturbação electromagnética faz variar o poder dieléctrico dos corpos, e que estas variações sam sobretudo notaveis nos gazes rarefeitos e sam proporcionaes á carga eléctrica.

Introduzindo esta hypóthese nas equações de MAXWELL

da propagação da perturbação, e applicando-as ao caso dum campo eléctrico intenso, deduz-se, que um tal meio, além das ondas transversaes ordinárias, é capaz de propagar ondas longitudinaes, mas num sentido único. Os raios cathódicos seriam devidos a estas ondulações.

Taes sam as engenhosas vistas de JAUMANN.

34. Vejamos agora, ainda segundo a Memória citada, como POINCARÉ combate a theoria.

Primeiro que tudo este sábio não acceta a interpretação das experiências, que JAUMANN attribue a phenómenos de interferência.

A applicação das fórmulas ordinárias das interferências leva com effeito a esperar, não uma superficie nítida e delgada, mas um máximo mal definido; e se o periodo é pequeno, vários máximos. Havendo sobreposição de diversos raios cathódicos de periodo differente, a superficie de interferência seria deslocada e não alargada.

Não é tudo porém. Observa-se, que na superficie de interferência os raios não sam sómente tornados mais intensos, mas sam desviados, de sorte que vam excitar regiões onde não penetrariam se não houvesse senão um único cathodo. Ora não se comprehende, que um ponto do tubo seja attingido por uma perturbação resultante, que na hypóthese das interferências seria a simplez sobreposição de duas componentes, das quaes cada uma separadamente não attingiria este ponto.

POINCARÉ attribue pois esses phenómenos a desvios electrostáticos.

Mas ha mais. POINCARÉ, levando o cálculo de JAUMANN até ao fim, mostrou, que os raios cathódicos devem seguir as linhas de força eléctrica. «Iriam pois do cathodo ao ánodo; não seriam rectilíneos.»

JAUMANN, em defeza, diz, que num tubo de CROOKES as linhas de força devem tender a ser rectilíneas, provavelmente em virtude da velocidade dos raios e da distribuição

elétrica, que elles determinam á superficie do tubo. Considera os desvios passageiros, que os raios debeis soffrem sob as influências elétricas, como uma prova de tal modo de vér.

E' notavel porém, que esses desvios tenham logar em sentido contrário ao sentido theórico. Eis o que JAUMANN diz a este respeito.

«Como as experiências, que déram o sentido do desvio, foram comprehendidas sobre o fundamento de que os raios cathódicos seguem as linhas de força electrostáticas, estou muito longe de repudiar esse fundamento por causa da discordância de signal. Deve-se ao contrário procurar tirar novas conclusões.

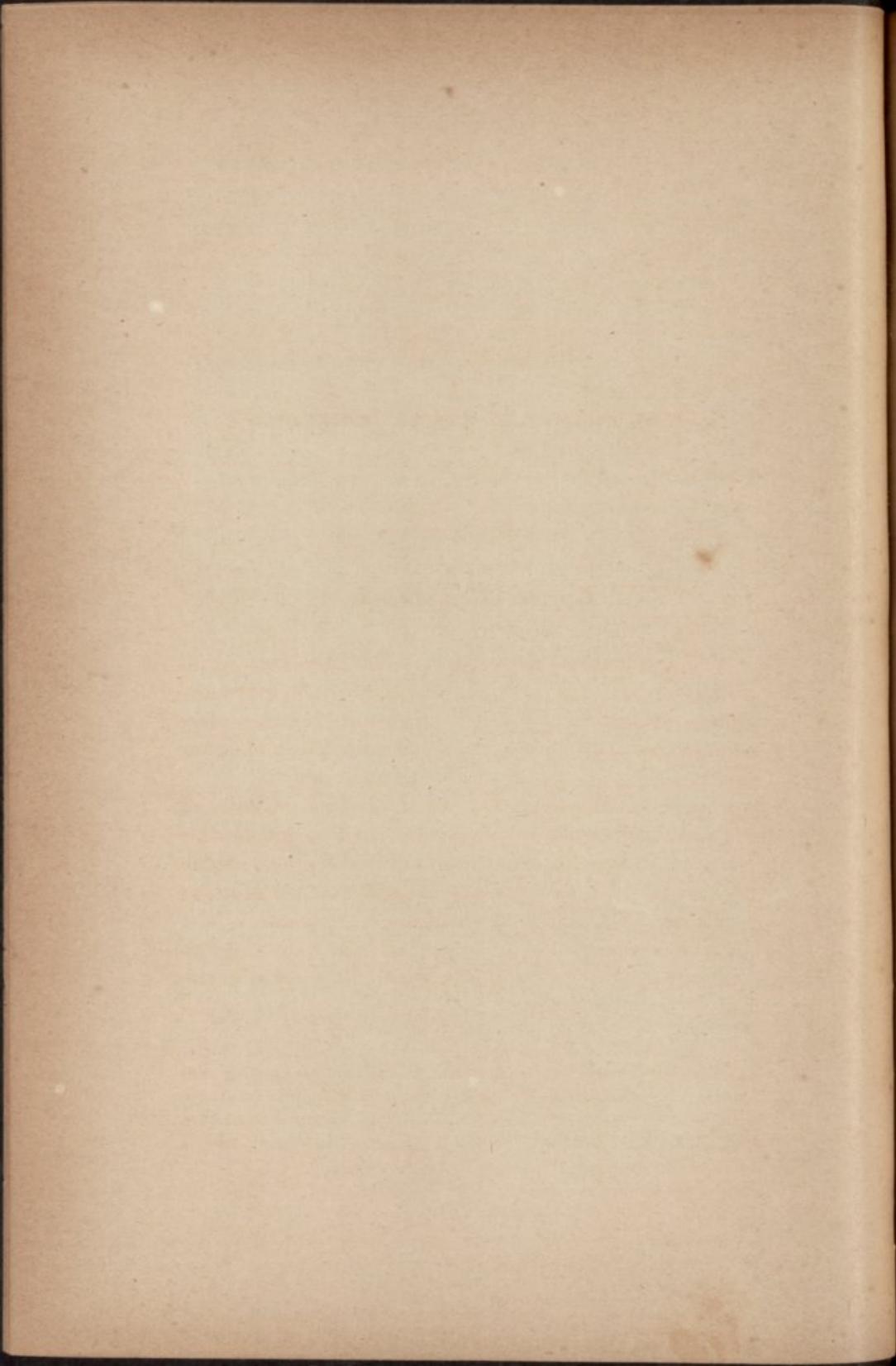
«Como as linhas de força negativas devem ser repellidas pela approximação dum corpo carregado negativamente, e como se vê por outro lado que os raios cathódicos, que seguem estas linhas, sam attrahidas por este corpo, deve-se concluir, que estamos mal informados sobre o signal dum qualquer dos phenómenos, que se passam no tubo. O mais simplez sería admittir, que do cáthodo partem linhas de força, não negativas, mas notavelmente positivas.»

Esta maneira de raciocinar parecerá sem dúvida pouco convincente.

Por estes motivos, além doutros, POINCARÉ rejeita a interpretação óptica das experiências de JAUMANN.

Resta uma objecção capital. POINCARÉ mostra, que, segundo a theoria de JAUMANN, os raios cathódicos não seriam desviados pelo iman. E' o golpe mortal nas theorias ondulatorias.

Os desenvolvimentos analyticos vêm claramente expostos na Memória citada.



SEGUNDA PARTE.

Os raios X de Röntgen.

CAPÍTULO IV.

Óptica dos raios X.

35. A descoberta de Röntgen. — Foi em dezembro de 1895, que o prof. RÖNTGEN, da Universidade de Würtzbourg, numa sessão memorável da Sociedade de Phýsica médica da pequena cidade allemã, annunciou a descoberta, que tam depressa levou o seu nome a todo o mundo culto ¹.

RÖNTGEN, tendo envolvido em papel preto um tubo de CROOKES, e operando na obscuridade, notou, que um diaphragma fluorescente de platinocyaneto de báryo se illuminava desde que o tubo entrava em actividade. A luminescência era ainda visivel a 2^m do tubo.

Era necessário admittir pois a existência dum agente novo, capaz de atravessar o papel preto, differente por con-

¹ W. K. RÖNTGEN, *Sitzungsberichte der Würzburger physik. medic. Gesell.*, dezembro de 1895. — Em março de 1896 publicou RÖNTGEN, em continuação da Memória de dezembro, o resultado de novas investigações. Póde lêr-se a traducção francêsa das duas partes da Memória no *Journ. de Phys.*, pp. 101 e 189, 1896.

seguinte da luz visível e ultra-violete, embora susceptível como a luz de produzir a fluorescência de certos corpos.

Ao agente novo, que vinha de descobrir, deu o sábio phísico de Würtzbourg o nome, hoje corrente e ainda hoje próprio, de «raios X». «Tinha sido servido por um feliz acaso, mas por um destes acasos como cada um de nós encontra talvez de tempos a tempos, sem mesmo o suspeitarmos, e de que só os mais clarividentes sabem tirar partido».

RÖNTGEN fez das novas radiações um cuidadoso estudo, que o pôs a par das suas principaes propriedades, e lhe fez perceber depressa o alcance extraordinário da sua descoberta.

Antes de passar ao exame desenvolvido das propriedades dos novos raios, indiquemos rápidamente (porque mais longe profundaremos esse estudo) as fórmias sob que elles se nos revelam, visto que não sam directamente visiveis.

A *fluorescência*, origem da descoberta de RÖNTGEN, não é a única acção apreciavel dos raios X.

Estes raios tambem *impressionam as placas photographicas* subtrahidas a luz ordinária por um invólucro de papel preto.

Mas é a propriedade, que os raios X possuem, de *descarregar os corpos electrizados* positiva ou negativamente, que fornece o melhor método para o seu estudo.

Enquanto as acções luminescentes e photographicas sam mencionadas pelo prof. RÖNTGEN na 1.^a parte da sua Memória, outro tanto não succede a respeito das acções eléctricas.

Estas últimas acções foram descobertas, quasi simultaneamente, por BENOIST e HURMUZESCU em França, J. J. THOMSON em Inglaterra e RIGHI na Italia.

Parece porém, que já eram conhecidas de RÖNTGEN, a avaliar pelas seguintes palavras (§ 18 da sua Memória): «no momento da minha primeira publicação, eu sabia, que os raios X possuíam a propriedade de descarregar os corpos electrizados, e supponho, que é aos raios X (e não aos raios cathódicos que nas experiências de LENARD atravessavam sem

modificação a janella do seu apparatus), que se deve attribuir a acção sobre os corpos electrizados distantes, que LE-NARD observou» (25).

Taes sam os meios, actualmente conhecidos, de revelação dos raios X. E' pela sua applicação, que chegaremos a conhecer as propriedades desses raios, e a apreciar as suas semelhanças e differenças com os raios já conhecidos.

36. Um dos primeiros phenómenos, que maravilhou RÖNTGEN, foi o vér illuminar-se o diaphragma fluorescente através dum livro encadernado de cêrca de mil paginas.

O poder de penetração dos novos raios é com effeito uma das suas propriedades mais notaveis. Mas não indicaremos por agora como esse poder varia com a natureza e com a espessura da substância atravessada.

Basta uma símplez referéncia aos corpos, que sam de uso corrente nas experiéncias sobre os raios X.

O papel, o panno, a madeira, sam muito transparentes. O vidro da Bohémia é mais transparente do que o crystal.

Com o papel de estanho ha uma ligeira absorpção. O alumínio ainda deixa passar alguns raios sob a espessura de 1^{cm}. Os outros metaes porém, mesmo sob pequenas espessuras, sam quasi impermeaveis.

Comprehende-se pois, que placas de differentes corpos, collocadas no pècurso dos raios, projectem sobre o diaphragma fluorescente sombras mais ou menos carregadas.

Ora o exame destas sombras permite reconhecer, que a *marcha das novas radiações é rectilínea* (RÖNTGEN, § 14).

E' o que justifica o nome de *raios* dado ao novo agente.

Nós iremos precisando successivamente as condições experimentaes a adoptar para o estudo das propriedades dos raios X.

37. **Emissão.** — «Os raios X emanam em todas as direcções dos pontos, em que um corpo sólido qualquer é ferido pelos raios cathódicos. Não encontrei nenhum facto, que po-

desse fazer-me crer, que os líquidos e os gazes não se comportariam do mesmo modo» (RÖNTGEN, §§ 12, 13 e 20). Das observações posteriores, que não fizeram mais do que confirmar os resultados de RÖNTGEN, citaremos apenas as de PERRIN¹ e as de M'BERTY², que sam modélos de engenho e de rigor.

Num tubo ordinário é do anticáthodo, que irradiam os raios X, de fórmula que por meio duma câmara escura (isto é, opaca aos raios X) a imagem, que se obtém, é a da região batida pelos raios cathódicos.

Como os raios X partem dos pontos interiores da parede anticathódica, e têm portanto de atravessar o vidro para se revelarem no exterior, ha vantagem em que as paredes do tubo sejam da máxima transparência. Os tubos de crystal têm um rendimento pequeno, porque esse vidro absorve fortemente os raios: sam de fluorescência azulada. Ao contrario, os vidros de fluorescência verde-limão sam muito transparentes: taes sam os vidros, cuja base é a soda, a potassa ou a cal.

Algumas observações, a do principe GALITZINE³ entre outras, que fallam dum centro de emissão de origem anódica, ficáram isoladas. E' possível, que a polaridade dos electrodos não fosse constante (23). Em vários casos sabe-se com certeza, que a confusão proveio de que não é indifferente que o anticáthodo seja ou não o ánodo. LODGE⁴ provou com effeito, que o rendimento em raios X varia entre largos limites com o estado eléctrico do anticáthodo, sendo a producção muito maior quando a electrização do anticáthodo é positiva.

¹ J. PERRIN, *Compt. rend.* de 23 de março, 1896, p. 716.

² Vid. ED. THOMPSON, *Röntgen Rays*, p. 106.

³ GALITZINE, *Compt. rend.* de 9 de março, p. 608; id. de 23 de março, p. 718, 1896.

⁴ Vid. ED. THOMPSON, loc. cit., p. 108.

A fluorescência verde, que nos tubos ordinários acompanha a emissão dos raios X, é apenas um phenómeno concomitante, mas de modo algum essencial. Quando o anticáthodo é metálico, por exemplo de alumínio ou platina, não ha fluorescência apreciavel, e todavia os raios X produzem-se facilmente.

38. Conhecidos os centros de emissão dos raios X, é necessário saber quaes as «leis» dessa emissão.

Segundo os ensaios de RÖNTGEN (§ 20 da sua Mem.), não é indifferente a substância, que fórma o anticáthodo, parecendo ser a platina o corpo, que emite raios X mais intensos. E' um resultado de importância práctica.

Nós dissemos, que a emissão dos raios X tem logar em todas as direcções a partir dos pontos de emissão, sendo portanto uma verdadeira «fluorescência invisivel».

Eis alguns caracteres dessa fluorescência:

Os observadores estam de accordo em que a duração de extincção, senão é nulla, é perfeitamente inapreciavel, podendo pois dizer-se, que a fluorescência, que constitui os raios X, termina com a descarga excitadora¹.

Mas o que essa fluorescência offerece de mais curioso, é o ser uniforme em todas as direcções. IMBERT e BERTIN-SANS² foram os primeiros, que mostráram que a intensidade dos raios X é constante até 35° ou 40° da normal ao anticáthodo; em seguida Gouy³ estendeu a regra até a emissão rasante.

Este phenómeno, em apparencia paradoxal, explica-se facilmente pela circumstância de que os raios cathódicos, que dam origem aos raios X, sam fortemente absorvidos pela camadá superficial do anticáthodo, enquanto que os raios X

¹ J. CHAPPUIS, *Compt. rend.* de 7 de abril, 1896, p. 810.

² A. IMBERT e H. BERTIN-SANS, *Compt. rend.* de 9 de março, 1896, p. 607.

³ GOUY, *Journ. de Phys.*, agosto, 1896, p. 345.

excitados sam-o muito menos. Não se tem pois uma «superfície» de emissão, mas um «volume» de emissão, e por conseguinte a lei do coseno deixa de ser verdadeira ¹.

RÖNTGEN (§ 20) cita uma experiência em harmonia com tal interpretação. «Fazendo cair os raios cathódicos sobre uma placa, metade da qual é formada por uma lâmina de platina de 0^{mm},3 de espessura, e a outra metade por uma lâmina de alumínio de 1^{mm} de espessura, observa-se, tomando uma imagem photographica desta placa na câmara escura, que a lâmina emite pela face exposta aos raios cathódicos muitos mais raios X do que a lâmina de alumínio do mesmo lado. Pelo contrário, sobre a outra face, os raios X não têm na platina senão uma intensidade por assim dizer nulla, enquanto que partem muitos do alumínio. Os raios neste caso tiveram origem nas camadas anteriores da lâmina de alumínio, atravessando-a em seguida».

A emissão dos raios X não é pois comparavel á emissão de luz por uma lâmina incandescente. Enquanto a emissão duma lâmina incandescente se faz segundo a lei de LAMBERT ou lei do coseno, e é portanto menor nas direcções obliquas, um anticathodo emite raios X igualmente em todas as direcções.

39. Lei de propagação — RÖNTGEN (§ 10) verificou pelo método dos diaphragmas fluorescentes, com o auxilio do photómetro de WEBER, que a intensidade dos raios X, a partir do tubo, diminue próximamente na razão inversa do quadrado das distâncias, o que demonstra a transparência quasi perfeita do ar atmosphérico.

MESLIN ², pelo estudo comparado da fluorescência produzida pelos raios X e pela luz ordinária, verificou a mesma

¹ GUILLAUME, *Compt. rend.* de 7 de setembro, 1896, p. 450.

² G. MESLIN, *Journ. de Phys.*, maio, 1896, p. 202.

lei; o aparelho, que construiu para esse fim, constitue um photómetro relativo dos raios X, que permite explorar o campo. O método photographico¹ e o método eléctrico² levaram ao mesmo resultado.

Alguns observadores, MÜLLER³ e PUPIN⁴ entre outros, assignaláram uma diffusão muito sensível dos raios pelo ar. Dever-se-ha explicar o facto pela heterogeneidade dos raios, ou terá outra origem?

40. Reflexão. — A maior parte dos observadores não conseguiram pôr em evidência a reflexão regular dos raios X, ao menos num grau apreciável.

Mas o que todos averiguáram, é que esses raios, ao ferirem uma superficie opaca, parecem experimentar uma «reflexão irregular ou diffusa», como resultava já da seguinte engenhosa experiência de RÖNTGEN (§ 8). Uma placa photographica envolvida em papel negro tem as costas voltadas para o tubo; na sua face sensível assentam peças de platina, zinco e alumínio. Desenvolvida a placa nota-se, que a impressão é muito mais forte em frente dos metaes (o alumínio exceptuado), e que houve portanto reflexão sobre as superficies metálicas. IMBERT e BERTIN-SANS⁵ foram dos phýsicos, que primeiro mostráram a generalidade desse phenomeno.

Mas tractar-se-ha realmente duma simplez reflexão diffusa á superficie dos corpos?

RÖNTGEN foi levado a crêr, que «os corpos sam para os raios X o mesmo que os meios perturbadores para os raios

¹ A. M. MAYER, *Amer. Journ. of Sci.*, junho, 1896, p. 473.

² L. BENOIST e D. HURMUZESCU, *Compt. rend.* de 17 de fevereiro, 1896, p. 379.

³ Vid. *Nature*, 10 de abril, 1896, p. 456.

⁴ PUPIN, *Science*, 10 de abril, 1896, p. 572.

⁵ IMBERT et BERTIN-SANS, *Compt. rend.* de 2 de março, 1896, p. 524.

luminosos». Portanto não seria só á superfície de separação de dois meios, que se daria a reflexão irregular; os raios penetrariam no corpo até uma certa espessura, e em seguida seriam reenviados em todos os sentidos.

Vários factos porém levam a modificar ligeiramente este modo de vêr. Sabe-se por exemplo, que a superfície dos corpos não influe na sua transparência; assim o vidro moído não é menos transparente aos raios X que o vidro homogéneo (RÖNTGEN, § 7). IMBERT e BERTIN-SANS concluíram das suas observações, que «o grau da diffusão depende mais da natureza do corpo do que do grau de polidez da superfície».

Uma mera diffusão harmonizar-se-ha facilmente com estes factos?

E' mais crível, como pensa STOKES¹, que não se tracte duma simplez reflexão diffusa, mas duma espécie de «fluorescência» ou entam duma mistura dos dois phenómenos. Sendo assim parte dos raios, que vêm das moléculas, não seriam talvez exactamente da mesma natureza que os raios incidentes, embora possam merecer ainda o nome de raios X.

Esta ideia, que se desenvolveu pouco a pouco, coordena bem muitas observações.

Sendo tam frequente a fluorescência visivel produzida pelos raios X, que admira que provoquem a fluorescência invisivel? Demais a transformação total ou quasi total dos raios X em radiações invisiveis de espécie differente está verificada em muitos casos. E' de notar, que, antes da ideia da transformação surgir, já vários phýsicos haviam chamado a attenção para a differença de penetrabilidade dos raios incidentes e dos raios reflectidos; mas nós veremos depois, ao tractarmos das acções luminescentes, que os raios X, quando ferem por exemplo o espatho-fluor, provocam uma emissão de luz ultraviolete (WINKELMANN e STRAUBEL).

¹ STOKES, *On the Röntgen Rays*. (*Nature*, 3 de setembro, 1896, p. 427).

A lei de emissão dos raios transformados, que pôde ser differente da dos raios X, depende essencialmente da relação dos coefficients de absorpção do corpo para as duas espécies de raios.

Contudo é possível, e mesmo provavel, que parte das radiações incidentes sejam realmente reflectidas sem transformação.

Não faltam até observadores, que admittam a existência da reflexão metálica, regular, dos raios X, embora em muito pequena proporção.

LORD KELVIN¹ convenceu-se disso pelo exame dumas photographias, que lhe enviou LORD BLYTHSWOOD. As experiências de TESLA² sam tambem dignas de citar-se.

Mas as observações mais completas sobre a reflexão especular dos raios X sam do prof. americano ROOD³. Os raios X, antes de attingirem a placa sensível, atravessavam duas folhas de alumínio, sobre as quaes assentava uma réde de arame. O espelho era uma superficie brilhante de platina, e a disposição era tal, que uma reflexão diffusa podia attingir toda a placa sensível. Ora a imagem da réde só se produzia nos pontos, que podiam ser attingidos por uma reflexão especular, como foi directamente verificado substituindo os raios X pela luz ordinária. ROOD variou muito as experiências, chegando sempre á mesma conclusão. Com um espelho plano a proporção dos raios reflectidos regularmente era inferior a 1%; mas com um espelho cylindrico a percentagem era bem maior.

MAYER⁴ conta, que os negativos de ROOD foram examinados por vários phísicos da Academia de Sciências de

¹ LORD KELVIN, *Proc. Roy. Soc.*, 18 de junho, 1896, p. 332.

² Vid. Ed. THOMPSON, loc. cit., p. 152.

³ ROOD, *Amer. Journ. of Sci.*, setembro, 1896, p. 174.

⁴ MAYER, *Science*, 8 de maio, 1896, p. 705.

Washington, ROWLAND entre outros, tendo sido considerada decisiva a prova da reflexão regular.

A questão exige porém mais amplas investigações.

41. Refracção. — A refracção dos raios X, se existe, é para nós insensível (RÖNTGEN, § 7); o que de resto as experiências posteriores confirmaram plenamente.

PERRIN, segundo uma comunicação pessoal feita a RAVEAU¹, mas que não chegou a publicar, julgou ter encontrado um desvio pequeno, mas nítido, com um prisma de alumínio. O índice seria igual a 0,999.

Este resultado porém não se verificou.

GOUY², em observações de alta precisão, que foram muito apreciadas, feitas sobre substâncias muito transparentes (alumínio, ebonite, cera), achou, que os desvios não ultrapassavam os erros admissíveis. Os índices, que obteve, excediam a unidade num algarismo da sexta ou sétima casa decimal.

Diremos a propósito, que esse phísico usa duma fonte de raios X, muito intensa e estreita, que convém conhecer. Supponhamos, que se toma para anticáthodo uma lâmina de platina inclinada 45° sobre a normal ao centro do cáthodo; nestas condições existe um hemisphério de emissão. Ora resulta da lei de GOUY, que se olharmos a lâmina de platina sob uma incidência muito oblíqua, esta lâmina não nos emitirá senão um feixe muito delgado de raios RÖNTGEN; como a sua intensidade total permanece a mesma que sob a incidência normal, a sua «densidade» será muito maior.

42. Difracção. — RÖNTGEN (§ 15) diz, que «procurou produzir a interferência dos raios X, mas sem resultado, talvez

¹ RAVEAU, *Rev. gén. des Sci.*, 15 de março, 1896, p. 250.

² GOUY, *Journ. de Phys.*, agosto, 1896, p. 345.

por causa da sua fraca intensidade». Ultimamente o DR. J. PRECHT¹, de Heidelberg, affirmou ter conseguido interferir os raios directos com os raios reflectidos, obtendo comprimentos de onda variaveis, mas da ordem dos da luz visivel; ora como os raios X sam distinctos desta luz, concluiu, que sam devidos a vibrações longitudinaes. Embora esta tentativa de interferência por meio da reflexão seja digna de notar-se, o resultado precisa de ser confirmado.

Por outro lado tem-se procurado em vão produzir franjas de difracção com os raios X: ou porque elles não tenham character vibratório, ou porque o seu comprimento de onda esteja abaixo do limite das nossas medidas, elles mostram-se rebeldes á difracção.

A verdade é, que a propagação rectilínea dos raios X tem-se mostrado cada vez mais perfeita, á medida que tem augmentado a precisão das observações. PERRIN² não obteve o menor signal de franjas nos bordos da imagem duma fenda muito estreita. SAGNAC³ concluiu das suas observações, que, se os raios X possuem character vibratório, o seu comprimento de onda é inferior a $0\mu,04$. E segundo GOUY⁴, «se a difracção existe, o comprimento de onda dos raios X é consideravelmente menor que $0\mu,005$; nada prova porém que exista, podendo a apparencia observada explicar-se pelas dimensões da fonte, pelo grão da camada sensivel e pelos ligeiros movimentos do apparatus durante a exposição de 4 horas».

Apesar disso convém dar noticia das observações contradictórias de CALMETTE⁵ em França, e de FOMM⁶ na Allema-

¹ Vid. *Nature*, 4 de março, 1897, p. 414.

² PERRIN, *Compt. rend.* de 27 de janeiro, 1896, p. 187.

³ SAGNAC, *Compt. rend.* de 30 de março, 1896, p. 783.

⁴ GOUY, *Compt. rend.* de 26 de julho, 1896, p. 43.

⁵ CALMETTE, *Compt. rend.* de 20 de abril, 1896, p. 877.

⁶ Vid. *Nature*, 14 de agosto, 1896, p. 355.

nha; os dois phísicos affirmam ter obtido aparências de difracção, donde deduziram para os raios X comprimentos de onda maiores que os da luz ordinaria, embora differentes entre si. Mas como mostra SAGNAC¹, estas apparências devem muito verosimilmente incluir-se entre as frequentes illusões, que acompanham a formação das penumbras.

E a propósito diremos, que SAGNAC mostrou ter uma origem análoga o facto mui curioso e paradoxal, que vamos descrever.

Quando se examina a sombra dum objecto opaco, observa-se uma plaga escura cercada duma auréola esfumada, E'-se tentado a suppór, como o foi VILLARI², que os raios experimentam uma deflexão nos bordos do corpo. BUGUET³ todavia notou, que, pregando alfinetes na placa sensivel, as suas sombras eram dirigidas do centro para a periphéria, o que está de accôrdo com a explicação de SAGNAC, aliás confirmada pelo facto de ROITI⁴ ter produzido com a luz phenómenos análogos.

43. Polarização. — Têm falhado as tentativas para polarizar os raios X.

Não se pôde pensar em polarizá-los por meio da refracção.

Conviria tentar polarizá-los pela reflexão, se sam correctos os resultados do prof. ROOD, mas não ha experiências nesta direcção.

Resta pois um meio — a absorpção.

Neste sentido, o único resultado positivo é o do príncipe GALITZINE⁵. Elle julgou observar, que a acção photochýmica dum feixe de raios, que atravessava duas placas de turma-

¹ SAGNAC, *Compt. rend.* de 23 de novembro de 1896, p. 880.

² E. VILLARI, *Compt. rend.* de 31 de agosto, 1896, p. 418.

³ A. BUGUET, *Compt. rend.* de 2 de novembro, 1896, p. 689.

⁴ ROITI, *Rend. della R. Acc. dei Lincei*, janeiro, 1897, p. 29.

⁵ GALITZINE, *Compt. rend.* de 23 de março, 1896, p. 717.

lina, era menor quando estavam cruzadas do que quando estavam paralelas. A posição relativa das placas foi mudada várias vezes afim de eliminar a influência da desigualdade de espessura ou da falta de homogeneidade.

Os ensaios de todos os outros observadores têm sido negativos.

J. J. THOMSON¹ e BECQUEREL² experimentaram sem resultado com a turmalina. SAGNAC³ experimentou também sem êxito com quartzo, espatho, mica e ferro-cyaneto de potássio. MAYER⁴ nada conseguiu com a herapathite, «a mais poderosa substância polarizante, que se conhece».

Deverá attribuir-se o resultado do príncipe russo GALITZINE a um erro de observação? Ou conseguiria realmente polarizar os raios X graças ao uso duma variedade especial de turmalina, ou á heterogeneidade dos raios com que trabalhou?

E' impossivel responder.

O que é certo, é que os resultados negativos não decidem da questão. Compreende-se com effeito, que o comprimento de onda dos raios X seja tam pequeno, que os nossos meios sejam muito grosseiros para obter a polarização.

44. Velocidade. — E' sem dúvida, actualmente, o dado mais promettedor, que se poderia esperar para decidir da natureza dos raios RÖNTGEN.

Os raios já se têm obtido a grandes distâncias do tubo. TESLA⁵, por meio do seu carrete de correntes alternativas, conseguiu revelar os raios a 18^m do aparelho, e DAVIES⁶, com um tubo especial, pôde illuminar diaphragmas a 20^m.

¹ J. J. THOMSON, *Nature*, 27 de fevereiro, 1896, p. 391.

² H. BECQUEREL, *Compt. rend.* de 30 de março, 1896, p. 762.

³ SAGNAC, *Compt. rend.* de 30 de março, 1896, p. 783.

⁴ MAYER, *Amer. Journ. of Sci.*, junho, 1896, p. 467.

⁵ Vid. ED. THOMPSON, loc. cit., p. 146.

⁶ DAVIES, *Nature*, 23 de julho, 1896, p. 281.

Apesar destes resultados, a proporção dos raios, que se reflectem regularmente, torna inapplicavel o método de FIZEAU ou de FOUCAULT para a medida da velocidade da luz.

E' possível talvez por outros processos obter limites inferiores da velocidade. Assim por meio do phosphoroscópio de BECQUEREL póde decidir-se se a velocidade é ou não muito grande (GUILLAUME).

Mas o melhor meio de avaliar a velocidade parece consistir em a comparar com a da corrente num fio, aproveitando a acção eléctrica dos raios.

Os phísicos italianos SELLA e MAJORANA¹ tentáram experiências nessa direcção, embora sem grande éxito. O método, que empregavam, consistia em produzir pela mesma descarga uma emissão de raios X, e uma onda eléctrica propagando-se ao longo dum fio até um excitador de faiscas submettido á acção dos raios, que, como veremos, favorecem a descarga. Ora variando convenientemente a distância da ampóla e a grandeza do circuito do excitador, comprehende-se como seja possível comparar as velocidades.

45. Transparência e opacidade. — Como já tivemos occasião de dizer, o poder de penetração dos raios X é uma das suas propriedades mais notaveis e origem das mais importantes applicações. Todavia, enquanto não houver meio de caracterizar um feixe homogéneo, os coefficients de transmissão dos raios não têm valor absoluto.

Limitemo-nos pois a simplez indicações de interesse práctico.

RÖNTGEN (§ 2) reconheceu, que os metaes eram permeaveis quando em lâminas mui delgadas. A platina, o ouro e o chumbo, sob espessuras de 1^{mm}, sam prácticamente opacas. O zinco, a prata, o cobre sam mais transparentes. O alumí-

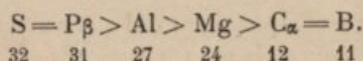
¹ A. SELLA e Q. MAJORANA, *Atti della R. Accad. dei Lincei*, março, 1896, p. 168.

nio é 200 vezes mais transparente do que a platina, deixando ainda passar alguns raios sob a espessura de 15^{mm}. O papel de estanho projecta apenas uma ligeira sombra; mas quando se dobra várias vezes sobre si mesmo, a opacidade augmenta rapidamente.

NOVÁK e SULC¹ examináram sob este ponto de vista 300 substâncias, chegando a relações curiosas.

O character metálico ou não-metálico dos corpos simplez pareceu-lhes sem influéncia immediata. Segundo esses phýsicos o peso atómico é o principal factor da permeabilidade. A elevados pesos atómicos corresponderiam grandes opacidades, e os pequenos pesos atómicos coïncidiriam com maior transparéncia.

Em vários grupos de corpos reconheceram á evidéncia a diminuição da permeabilidade com o augmento do peso atómico. Eis um exemplo, pela ordem do podêr decrescente de absorpção :



Os saes do mesmo ácido, sólidos ou em solução, apresentam uma variação parallela aos pesos atómicos dos respectivos metaes.

Saes de ácidos differentes e do mesmo metal fórmam tambem uma série regular. Ex.:

Sulfatos > Nitratos > Carbonatos.

Nestas comparações, o podêr absorvente dum radical composto será representado pelo peso atómico médio. Por exemplo, o ammónio, NH₄, [(14 + 4)/5 = 3,6], dá uma absorpção menor da que o lithio, [7].

¹ Vid. *Nature*, 30 de abril, 1896, p. 613.

Este modo de vêr coordena muitos factos.

O vidro, cuja base é a soda, a potassa ou a cal, tem um poder absorvente muito menor do que o crystal, cuja base é o óxydo de chumbo¹.

Os compostos orgânicos, cujos elementos C, H, O e N sam de pequeno peso atómico, apresentam-se muito transparentes². Quando na molécula se introduzem elementos mineraes como Cl, Br, I, P, Ca, a opacidade augmenta. E' o que explica a differença de permeabilidade dos óssos e dos tecidos molles.

Explica-se do mesmo modo, que o diamante seja muito mais transparente do que as suas imitações.

RÖNTGEN concluiu das suas experiências, que a absorpção augmenta com a densidade; e como a absorpção augmenta tambem com a espessura, o sábio phýsico tractou de vêr se a absorpção seria proporcional á massa atravessada. Por algumas medidas sobre metaes mostrou, que a absorpção augmenta muito mais rápidamente do que a massa atravessada (§§ 3, 4 e 5).

A densidade, como índice de absorpção, parece ter um valor práctico inferior ao que deriva do peso atómico médio, embora os dois índices estejam longe de serem independentes.

E' curioso registrar, que o quartzo e o espatho fazem excepção á regra de RÖNTGEN.

46. Deve-se a WINKELMANN³, de Jena, uma observação nova e importante.

Este phýsico collocou uma lâmina espessa de chumbo diante dum tubo de CROOKES, e na sua sombra geométrica um receptor luminescente, que, como era de esperar, ficava

¹ V. CHABAUD, *Compt. rend.* de 9 de março, 1896, p. 603.

² M. MESLANS, *Compt. rend.* de 10 de fevereiro, 1896, p. 309.

³ Vid. *Journ. de Phys.*, agosto, 1896, p. 363.

insensível. Se porém se lhe approximava uma prancha de madeira, o receptor illuminava-se. Variando as experiências, o auctor concluiu, que os corpos, que apresentam uma semi-transparência aos raios X, emittem estes raios não só da superficie, mas do interior, em todas as direcções ¹.

O phenomeno foi verificado na paraffina, no cauchú endurecido, no vidro, em lâminas de ferro zincado, etc.

Póde suppôr-se com STOKES, que os raios absorvidos põem as moléculas em vibração, e que estas os emittem, transformados, em todas as direcções, como na fluorescência.

47. Não será talvez deslocado fallar aqui da acção dos raios X sobre a retina.

ROCHAS e DARIEX ² mostráram, que os meios do olho, em especial o crystallino, absorvem os raios. Seria o bastante para explicar a sua invisibilidade.

Mas as pessoas operadas de cataracta «verám» os raios X?

E' de crêr, que os raios RÖNTGEN não fíram directamente a retina.

Sabe-se, é certo, que as radiações do espectro immediatas ao violeta extremo (risca $h = 0^{\mu},410$) não sam percebidas por causa da absorpção. Mas sabe-se tambem, que as pessoas, que soffreram a ablação do crystallino, vêem as radiações ultra-violetes até á risca $S = 0^{\mu},301$ com uma côr azulada; e não mais além, embora não haja absorpção.

Comprehende-se no entanto, que os raios X possam soffrer no interior do olho uma transformação, que lhes permitta impressionar a retina. Seria a melhor explicação do facto, que se conta, do DR. BRANDES, de Halle, ter encontrado uma rapariga sem crystallino, cujo olho era sensível aos raios X ³.

Parece até, que a observação não ficou isolada.

¹ Vid. *Journ. de Phys.*, agosto, 1896, p. 363.

² ROCHAS e DARIEX, *Compt. rend.* de 24 de fevereiro, 1896, p. 458.

³ Vid. *Rev. gén. des Sci.*, 15 de novembro, 1896, p. 897.

48. Heterogeneidade. — Numerosas experiências provam, que ha várias espécies de raios X. «Estamos em presença dum mundo novo, de que não suspeitamos a variedade; tal seria, em face da luz ordinária, um homem cujos olhos não distinguissem as côres».

Com o prisma ou com a rede pôde-se analysar a luz branca; estes dois meios falham com os raios RÖNTGEN, rebeldes ao mesmo tempo á refração e á difracção. Mas se ha raios X de várias espécies, certas substâncias poderão ser transparentes para uns e relativamente opacas para outros. E' o único processo, que nos permittirá talvez distinguí-los e separá-los.

Do tubo empregado e das condições operatórias é que depende principalmente a permeabilidade dos raios, que se produzem.

EDISON¹ foi o primeiro, que estudou o effeito do abaixamento da temperatura. Mergulhando o tubo num vaso cheio de óleo de paraffina, e envolvendo o vaso em gelo, observou EDISON, que os raios produzidos tinham maior poder de penetração.

Sabe-se, que, operando nas condições ordinárias, a interposição da mão faz sombra sobre o diaphragma fluorescente, e que no interior da sombra da mão se desenha com uma tinta mais carregada a sombra dos ossos; ora com a disposição de EDISON, a sombra da mão é ligeiríssima e quasi uniforme. Os corpos apresentam-se muito mais transparentes.

Mais tarde PORTER², de Londres, estudou o effeito do aquecimento do tubo sobre o character dos raios, obtendo um resultado inverso do que obteve EDISON: na sombra da mão, que era carregada, não se distinguíam os ossos. Dum modo

¹ Vid. MORTON, loc. cit., p. 179.

² T. C. PORTER. *Nature*, 4 de junho, p. 110; id. de 18 de junho, p. 144. 1896.

geral, os corpos apresentavam-se muito mais opacos do que habitualmente.

Muitas outras condições, além da temperatura, affectam o caracter dos raios.

O grau de vazio, por exemplo, tem uma influencia notavel¹. «Para uma rarefacção moderada os raios X não penetram a carne com exclusão dos ossos tam livremente como os raios, que sam emittidos, quando o vazio é levado mais longe. Por outra parte, quando o vazio é exagerado, os raios X penetram não sómente a carne, mas tambem os ossos. Ha pois uma certa condição de vazio, para a qual a differença entre a transparência dos ossos e a da carne é máxima».

A natureza do anticathodo tambem não parece indifferente. «O vidro é mais transparente aos raios X emittidos pela platina, do que aos raios emittidos pelo próprio vidro» (SYLVANUS-THOMPSON).

A introducção de resistências no circuito produz variações da mesma natureza (PORTER). E é até o melhor meio de graduar, com o auxilio do fluoroscópio, a imagem do esqueleto da mão.

Aproveitando a absorpção selectiva, que algumas substâncias exercem, tambem se tem estudado a composição das radiações emittidas por um tubo nas condições habituaes. Collocando duas lâminas de aluminio da mesma espessura uma adiante da outra, vé-se, que a proporção das radiações transmittidas pela primeira é menor do que a proporção das transmittidas pela segunda².

Eis uma outra prova da absorpção selectiva dos metaes. ROITI³, tendo ajustado placas de cobre, de aluminio e de es-

¹ SYLVANUS-THOMPSON, *Compt. rend.* de 7 de abril, 1896, p. 807. — A. C. SWINTON, *Proc. Roy. Soc.*, 8 de abril, 1897.

² BENOIST e HURMUZESCU, *Compt. rend.* de 17 de fevereiro, 1896, p. 379.

³ ROITI, *Atti della R. Accad. dei Lincei*, 6 de setembro, 1896, p. 153.

tanho, da mesma opacidade vistas ao fluoroscópio, obteve ainda sombras equivalentes sobrepondo uma placa de cobre a uma de alumínio ou duas de cobre; mas a sombra era mais carregada, quando uma placa de alumínio se sobrepunha a uma de estanho.

M'CLELLAND¹, pelo método eléctrico, achou uma absorção selectiva na fuchsina e na eosina. Julgou provar também, que para um vazio menos perfeito o feixe de raios é mais homogéneo, embora menos abundante.

E' necessário estar prevenido contra os erros provenientes de reflexões possíveis nas paredes do gabinete de trabalho.

Com effeito DAVIES com um tubo especial chegou, como já dissemos, a obter effeitos a 20^m do aparelho; ora esse physico notou com surpresa, que a estas distâncias a mão não produzia sombra sensível, o que não succedia nas proximidades do tubo. DUPRÉ² demonstrou depois, que se tractava de reflexões nas paredes do laboratório, para as quaes aliás já TESLA³ havia chamado a attenção.

Sente-se apesar de tudo, que nesta questão capital da heterogeneidade resta muitissimo a fazer.

49. Acção do iman. Efeito Lafay. — Uma das características dos raios cathódicos é a sua deflexão pelo iman. Convém pois estudar a propagação dos raios X num campo magnético, embora a differença de transparência dos corpos para as duas espécies de raios fosse sufficiente para os distinguir.

RÖNTGEN (§ 11) «não conseguiu observar o menor desvio dos raios X mesmo em campos magnéticos intensos»; mas o sábio physico não descreve a disposição, que adoptou.

¹ M'CLELLAND, *Proc. Roy. Soc.*, 30 de setembro, 1896, p. 153.

² DUPRÉ, *Nature*, 13 de agosto, 1896, p. 354.

³ Vid. ED. THOMPSON, loc. cit., p. 157.

ROBINSON¹, a suggestão de LODGE, confirmou por uma experiência muito rigorosa a conclusão de RÖNTGEN. Essa conclusão foi verificada no ar e no vazio.

50. LAFAY² pretende ter demonstrado, que os raios X são affectados por um campo magnético, se elles têm passado através duma placa electrizada. Este resultado teria mui grande importância, se fosse exacto.

Parece porém ser falsa a interpretação, que LAFAY deu ás suas observações. Pelo menos é o que resulta das experiências do illustre phísico inglês LODGE, e das do habil observador francês PERRIN.

Como refere LODGE³, as experiências sobre o desvio magnético comportam uma causa de erro capital: o campo dum íman póde actuar sobre os raios cathódicos do tubo mesmo a grande distância deste, e póde assim modificar a posição da fonte dos raios X. Nas experiências, que realizou, o sábio professor evitou essa causa de erro. «Concluo pois, até que os detalhes duma experiência positiva sejam publicados, que não é possível electrizar os raios X pela sua passagem através duma superficie electrizada, qualquer que seja a densidade eléctrica sobre esta superficie, e quer o meio seja o ar, quer seja o vidro».

O próprio LAFAY descreve uma observação, que diminue muito o valor da sua primeira experiência. LAFAY⁴ diz, que «é indifferente, para desviar os raios RÖNTGEN, electrizá-los antes ou depois da sua passagem através do campo magnético».

Mas ha mais. LAFAY affirma, que repetindo a conhecida experiência de PERRIN sobre os raios cathódicos (15) reco-

¹ Vid. *Rev. gén. des Sci.*, 15 de março, 1896, p. 253.

² LAFAY, *Compt. rend.* de 23 de março, 1896, p. 713.

³ Vid. *L'Éclairage électrique*, 20 de junho, 1896, p. 549.

⁴ LAFAY, *Compt. rend.* de 13 de abril, 1896, p. 837.

nheceu, que os raios X electrizados transportam electricidade. PERRIN¹ porém, que nas suas investigações sobre a descarga pelos raios X dos corpos electrizados teve occasião de fazer uma experiência idêntica á de LAFAY, obteve o resultado contrário.

E' possível e até provavel, que LAFAY fosse tambem illudido pelos phenómenos eléctricos, a que dam logar os raios X.

Diremos pois, até nova ordem, que em nenhuma circumstância os raios X sam desviaveis pelo iman.

Quanto á acção dos campos electrostáticos e electromagnéticos, todos os observadores estão de accordo em que é nulla.

¹ J. PERRIN, *Journ. de Phys.*, agosto, 1896, p. 351.

CAPÍTULO V.

Acções luminescentes e photographicas
dos raios X.

51. Fluorescência visível. — Os raios X excitam a luminescência em grande número de substâncias. Mercê desta propriedade é que a sua existência nos foi revelada.

Os platino-cyanetos sam corpos mui sensiveis. A maior parte dos observadores preferem, com RÖNTGEN, o platino-cyaneto de báryo: cuja fluorescência é de côr verde-absintho. SYLVANUS-THOMPSON affirma, que o de potássio é muito mais luminescente: é porém de fluorescência azul, o que póde ser uma desvantagem.

Certas soluções sólidas, estudadas por WIEDEMANN sob o ponto de vista da luminescência, dam bons resultados. Aquelle phísico recommenda em especial os saes de cálcio addicionados de pequena quantidade dos saes correspondentes de manganésio.

EDISON¹ fez tambem experiências a este respeito, chegando pelo exame de 1800 corpos á conclusão, de que o tungstenato de cálcio ultrapassa em sensibilidade todos os saes conhecidos. Todavia os primeiros ensaios feitos na Europa com tungstenato puro deram resultados mediocres. Por exemplo MACINTYRE², habil experimentador inglès, «apesar de ter ensaiado o tungstenato tanto amorpho como crystal-

¹ Vid. MORTON, loc. cit. p. 174.

² Vid. *Nature*, 2 de abril, 1896, p. 523.

lizado, persiste na opinião de que o platino-cyaneto de potássio é o melhor sal».

Nós veremos mais longe, quando fallarmos dos receptores luminescentes, a melhor maneira de preparar o tungstenato de cálcio. GUILLAUME¹ acha provavel, que o tungstenato, com que trabalhou EDISON, contivesse vestígios do sal de manganésio, que é de resto uma impureza quasi constante nos saes de cálcio, aconselhando por isso o addicionamento duma pequena porção deste sal.

Sem dúvida que a origem de muitas divergências entre os diversos observadores sobre o podêr luminescente dos corpos se deve procurar nas impurezas, cuja importância resulta dos trabalhos de WIEDEMANN. Não é raro até, que o mesmo observador encontre diferenças no mesmo corpo segundo a sua proveniência. O estado do sal tem tambem influência na sua luminosidade; assim não é indifferente, que seja amorpho ou crystallino, pulverizado ou granulado.

De resto não se deve esquecer, que a sensibilidade dum diaphragma não pôde ser definida senão em connexão com um tubo determinado, vista a heterogeneidade dos raios.

Segundo EDISON, o tungstenato de cálcio é seis vezes mais luminescente do que o platino-cyaneto de báryo. O tungstenato de estrôncio é menos fluorescente. O de báryo e o de chumbo quasi que não fluorescem.

Eis uma série de saes e mineraes fluorescentes: chloreto mercurioso, iodeto de potássio, brometo de chumbo, sulphato de chumbo, fluorite, crystal pulverizado, pectolite, salycilato de cálcio.

As substâncias seguintes fluorescem menos: chloretos de sódio, mercúrio, cádmio, prata e chumbo; sulfato, phosphato e azotato de urânio; andaluzite, apatite, calcite.

Não se conhecem saes fluorescentes dos seguintes me-

¹ GUILLAUME, loc. cit., p. 86.

taes: alumínio, antimónio, arsénio, beryllio, bismutho, chrómio, cobalto, cobre, ouro, irídio, magnésio, nickel, estanho.

Não se póde dizer, que os saes, que mais absorvem os raios, sejam os mais fluorescentes.

Devem-se ainda a EDISON várias notas importantes.

O sal gemma, práticamente transparente á luz e ao calor radiante, absorve poderosamente os raios X, e dá uma forte fluorescência. Está no mesmo caso a fluorite.

Em geral a fluorescência excitada pelos raios X não tem duração apreciavel depois da extincção do excitante. Mas EDISON achou, que a fluorite faz excepção a esta regra: ainda emite luz durante alguns minutos. Observou o mesmo phenomeno com o tungstenato de cálcio em camadas espessas.

Na fluorite, a phosphorescência penetra a placa lentamente, como se reconhece por uma secção transversal.

52. Entre as substâncias, que não fluorescem á luz ordinária, mas sim aos raios X, citaremos as seguintes, pela ordem decrescente: o crown-glass, o flint-glass, o vidro ordinário e mais particularmente o crystal, a porcelana, a *faenza* esmaltada, o diamante lapidado. Estes exemplos foram assignalados por RADIGUET¹, que provavelmente os obteve, mercê de circumstâncias experimentaes particulares. RADIGUET realizou por meio duma lâmina de vidro de faces trabalhadas um diaphragma fluorescente, que apresenta imagens muito mais finas do que os diaphragmas ordinários, nos quaes a grandeza dos crystaes é uma condição necessária para obter resultados brilhantes.

Mas a observação de RADIGUET, além do interesse próprio, parece ter vindo illucidar uma questão importante.

Consideremos um tubo de CROOKES, cujo anticathodo, fazendo de ánodo, é uma pequena lâmina central de platina

¹ RADIGUET, *Compt. rend.* de 25 de janeiro, 1897, p. 179.

(tubo *focus*). Quando passa a corrente de inducção, a porção da parede do tubo atravessada pelos raios RÖNTGEN illumina-se duma luz uniforme de côr esverdeada.

Qual a origem desta fluorescência?

Excluindo a ideia duma reflexão, mesmo parcial, dos raios cathódicos na folha de platina, reflexão que aliás se não concilia com a uniformidade da fluorescência, resta a hypóthese de que o fluxo de raios emittidos pelo anticáthodo é muito heterogéneo, de sorte que parte delles sam absorvidos pelo vidro e transformados na luz fluorescente. Este modo de vér, além de confirmado pela uniformidade do fluxo röntgeniano, parece adquirir certo caracter de evidência pelas observações de RADIGUET.

GUILLAUME¹, expondo ultimamente á Soc. francêsa de Phýsica os trabalhos de RADIGUET, levou a hypóthese precedente até ás últimas consequências. Pensa, que a luz emittida pelos objectos collocados no percurso dos raios cathódicos é devida aos raios X, que estes corpos emittem; a fluorescência não seria pois uma circumstância concomitante, mas simplesmente uma consequência da emissão dos raios X.

Digamos entretanto, que ha uma experiéncia de SYLVANUS-THOMPSON², que, se exacta e bem interpretada, leva a modificar radicalmente a explicação, que demos, da fluorescência do tubo-focus. Este distincto observador inglês conta, que approximando um iman dum tubo-focus viu deslocar-se o bordo da fluorescência do vidro, sem todavia o bordo da região fluorescente produzida sobre um diaphragma fluorescente mudar de logar. Por conseguinte, conclue o auctor, a lâmina de platina emittie pelo menos duas espécies de raios — uns atravessam o vidro e não sam desviados

¹ Vid. *Rev. gén. des Sci.*, 30 de março, 1897, p. 289.

² Vid. *L'Éclairage électrique*, 16 de janeiro, 1897, p. 124.

pelo íman: sam os raios RÖNTGEN; os outros sam desviados pelo íman, produzem a fluorescência do tubo e não lhe atravessam a parede. SYLVANUS-THOMPSON considera-os novos, de natureza ethérea especial. Deu-lhes o nome de «raios internos». A observação será de importância fundamental, se porventura se confirmar.

53. Fluorescência invisível. — Dissémos já, que phenómenos diversos tinham levado STOKES a considerar a chamada reflexão diffusa dos raios X como um caso de fluorescência invisível (40).

E' occasião de estudar algumas observações, que demonstram em determinados casos a transformação dos raios X noutros raios da parte invisível do espectro.

A observação mais perfeita deve-se ao phísico allemão WINKELMANN ¹. Collocando um pedaço de espatho-fluor em contacto com uma camada sensível, que os raios X atravessavam antes de attingir o espatho ², os pontos da camada vizinhos do crystal foram impressionados muito mais vigorosamente do que os pontos affastados.

WINKELMANN avaliou, que o espatho centuplicava a acção dos raios, o que era sufficiente para affastar a idéa duma simplez reflexão. Mas WINKELMANN, interpondo uma folha de cartão entre o espatho e a camada sensível, notou que se annullava o effeito. Equivale a ter demonstrado, que a acção do espatho consistia em transformar os raios X numa espécie differente de raios, visto que não gosavam da propriedade de atravessar o papel.

O illustre auctor não fez um estudo profundo dos raios emittidos pelo espatho-fluor, quando excitado pelos raios X. Conseguiu entretanto provar, que elles se refractam através

¹ Vid. *Journ. de Phys.*, agosto de 1896, p. 363.

² E' o processo de RÖNTGEN para o estudo da reflexão.

dum prisma da mesma substância. Admittindo, o que era provavel, que se tractava de raios de vibrações transversaes, elle concluiu do valor do indice de refração, apoiado nos cálculos de SARASIN, que o comprimento de onda desses raios era vizinho de $0\mu,219$, pertencendo por isso á região ultra-violete já conhecida do espectro ¹.

O phýsico belga DERY ² observou phenómenos semelhantes com o collódio e differentes metaes. Quando interpunha uma folha de papel entre a placa sensivel e a substância a examinar, uma forte proporção de raios «reflectidos» eram interceptados. Naturalmente eram radiações ultra-violetes.

E' provavel, que o exame das radiações emittidas pelos corpos, que os raios X excitam, consiga prolongar a parte conhecida do espectro do lado violete.

Basta recordar-nos de que as investigações de BECQUE-REL, de que adiante tractaremos, provam, que muitos saes de urânio e até o urânio metálico emittem radiações, cujas propriedades ópticas levam a considerar como ultra-violetes. Todavia em virtude do seu poder de penetrabilidade devem estar muito além da parte conhecida.

Naturalmente a redução da exposição photográfica por meio de substâncias phosphorescentes, que os raios X atravessam antes ou depois da placa sensivel, tem explicação semelhante. Porém o estudo das radiações transformadas está por fazer.

Foi CHARLES HENRY ³ o primeiro phýsico, que mostrou, que uma substância fluorescente ($Zn S_2$) collocada no percurso dos raios X augmenta muito o seu effeito. Demais as radiações actinicas deste corpo atravessam o papel preto e

¹ Os raios de menor comprimento de onda, que se têm medido, são emittidos pelo alumínio incandescente: esse menor comprimento é $0\mu,1$ (SCHUMANN).

² Vid. *Nature* de 13 de agosto de 1896, p. 356.

³ CHARLES HENRY, *Compt. rend.* de 10 de fevereiro, 1896, p. 312.

sam por conseguinte duma penetrabilidade maior do que a dos raios do espatho.

54. Acções photographicas. — Sob o ponto de vista das analogias dos raios X e da luz é importante saber, se a sua acção sobre as placas photographicas é directa, ou resultado duma fluorescência despertada.

RÖNTGEN (§ 6) pôs a questão sem a resolver.

A idéa duma acção directa é tanto mais accetavel, quanto é certo, que os raios X sam capazes de produzir acções chymicas. JACKSON¹, examinando ao espectroscópio a luz fluorescente do platino-cyaneto de potássio, reconheceu as riscas deste metal. A fluorescência das soluções sólidas é acompanhada de acções chymicas (WIEDEMANN).

Por outro lado sabe-se ter BERTHELOT demonstrado, que a decomposição dos saes de prata na placa é exothérmica.

Mas vários outros factos nos levam a crêr, que os raios X sam capazes de impressionar directamente as placas. COLSON², reunindo pelas costas, em cruz, duas placas de gelatino-brometo, não pôde por quaesquer differenças de impressão denunciar a existência de radiações secundárias. WINKELMANN fez uma experiência análoga, donde tirou a mesma conclusão. E LODGE³ mostrou, que não havia differença sensível, quer a pellicula se assente sobre o vidro, quer se use de placas do genero das que servem para a daguërreotypia.

Um outro facto, que appoia esta opinião, é a grande transparência das pelliculas photographicas. LUMIÈRE⁴ conseguiu com uma exposição de 10 minutos impressionar 150 pelliculas sobrepostas. Se os raios X ao ferirem a substân-

¹ Vid. GUILLAUME, loc. cit., p. 86.

² COLSON, *Compt. rend.* de 27 de abril, 1896, p. 922.

³ Vid. *Nature* de 30 de abril, 1891, p. 613.

⁴ A. e L. LUMIÈRE, *Compt. rend.* de 17 de fevereiro, 1896, p. 382.

cia sensível, ou o seu suporte, se transformassem, não era de esperar uma tamanha transparência.

Isto não quer dizer, é claro, que o suporte não tenha influência. Já até no último parágrafo tivemos ocasião de nos referirmos ao emprego das substâncias fluorescentes com o fim de reduzir o tempo de exposição. O espatho-fluor parece ser uma das mais satisfactorias a esse respeito. SYLVANUS-THOMPSON, que também estudou o assumpto, recomenda o platino-cyaneto atrás da placa sensível; aconselha ainda esmaltar o anticathodo com sulfureto de cálcio. Todavia o uso das substâncias fluorescentes com tal fim vai já passado. Além da irregularidade da sua acção, tem-se conseguido por outros meios o mesmo resultado.

CAPÍTULO VI.

Acções eléctricas dos raios X.

55. Acção sobre os corpos electrizados. — Esta acção é talvez a propriedade mais importante dos raios X e sem dúvida a melhor estudada. Mas é também, a que tem dado logar a mais longas controvérsias. Nós resumiremos tanto quanto possível.

Esta acção foi descoberta quasi simultaneamente por muitos phísicos. Dado o interesse, que ha annos a esta parte, se tem ligado aos phenómenos photo-eléctricos, era natural, como diz RIGHI, ensaiar esse estudo com os raios X.

Os phísicos, que mais illustráram o assumpto, foram BENOIST e HURMUZESCU, J. J. THOMSON, RIGHI, RÖNTGEN e PERRIN. Todavia póde dizer-se, com RÖNTGEN, que a prioridade da descoberta pertence a LENARD (25).

Em todas as experiéncias relativas aos effeitos eléctricos dos raios X é essencial evitar acções electrostáticas perturbadoras sobre osapparelhos de estudo. Para isso encerra-se o carrete de inducção e o tubo de CROOKES numa caixa inteiramente coberta de papel de estanho. O feixe a estudar é definido por uma pequena janella de aluminio talhada numa espessa placa de chumbo, que se adapta a uma das faces da caixa.

Alguns phísicos preferem encerrar na caixa metálica os apparelhos de observação. Geralmente equivalente á primeira, esta disposição é todavia menos commoda.

Para as observações qualitativas, a que nos limitaremos

neste parágrafo, basta ligar um disco electrizado ás folhas dum electroscópio.

Isto posto, a observação fundamental, primeiro registada, é, que um corpo electrizado, exposto á acção directa dos raios X, perde mais ou menos rápidamente a sua carga positiva ou negativa. E' indifferente, que o corpo seja conductor ou isolador.

O phenómeno será comparavel ao que a luz provoca?

E' sabido de ha muito (HALLWACHS, 1888), que a luz ultraviolete descarrega os corpos electrizados, mas sòmente quando a carga é negativa. Por seu lado, ELSTER e GEITEL mostráram, que a luz visivel produz uma acção idéntica sobre certos metaes; acháram, que, quanto mais electro-positivo é o metal, tanto maior é comprimento de onda da luz necessária para produzir a descarga.

E' certo, que vários observadores, BRANLY em particular, pretendem ter provado, que a luz é capaz de dissipar as cargas positivas. Mas ELSTER e GEITEL mostráram, que se tractava em todos os casos dum phenómeno secundário, devido á dissipação de cargas negativas vizinhas; que a acção própria, se existia, devia ser extremamente pequena¹.

Mas não é só pelo que respeita á influencia do signal da carga, que a acção dos raios X differe da da luz. Os raios X pôdem produzir o seu effeito sem incidirem sobre o corpo electrizado, o que não parece tér-se observado com a luz conhecida. Foi J. J. THOMSON² quem primeiro entreviu o facto, que depois se apurou perfeitamente. O que impressionou este phísico, foi o ter notado, que a descarga se produzia sem grande differença, quer fosse perpendicular, quer fosse paralelo aos raios, o plano do disco electrizado.

¹ Veja-se sobre estes factos o bem documentado artigo: E. MERRITT, *The influence of Light on the discharge of electrified bodies* (*Science*, 11 e 18 de dezembro de 1896).

² J. J. THOMSON, *Nature* de 27 de fevereiro, 1896, p. 391.

Não se deve pois considerar a acção dos raios X como uma acção sobre os corpos electrizados, ou pelo menos considerá-la como tal sómente; tracta-se sobretudo duma acção sobre o ar ambiente, que nem mesmo parece exigir a existência prévia dum campo eléctrico.

Eis a experiência típica: um condensador é descarregado, quando entre as suas armaduras, mas sem as tocar, se faz passar um feixe de raios X.

Demais J. J. THOMSON e depois RÖNTGEN (§ 18) mostraram, que o ar atravessado pelos raios conserva ainda durante algum tempo a propriedade de descarregar os corpos electrizados. Por exemplo, se por meio dum tubo se projecta o ar atravessado sobre uma carga distante, a acção é evidente.

Differentes experiências contribuem para a comprehensão do phenomeno.

VILLARI¹ notou, que uma corrente de ar projectada sobre o conductor accelera ou retarda a dispersão, segundo é dirigida de modo a favorecer ou a impedir a chegada ao conductor do ar, que soffreu a acção dos raios X. O mesmo phýsico diz, que o ar atravessado pelos raios póde perder rápidamentee a propriedade adquirida fazendo-o passar por um ozonizador². J. J. THOMSON e RUTHERFORD³ mostraram, que a passagem duma pequena corrente eléctrica bastava para diminuir muito a conductibilidade dum gaz atravessado pelos raios X; um pequeno augmento da corrente destrua por completo a conductibilidade.

56. RIGHI⁴ observou descargas produzidas em corpos

¹ E. VILLARI, *Rend. della R. A. dei Lincei*, 19 de julho, 1896, p. 35.

² E. VILLARI, *Compt. rend.* de 15 de março, 1897, p. 558.

³ Vid. *Nature* de 8 de outubro, 1896, p. 565.

⁴ Veja-se o conjuncto dos trabalhos de RIGHI na sua extensa Memória: *Sulla propagazione dell'Eletricità nei gas attraversati dai raggi Röntgen*. Bologna, 1896.

collocados na sombra geométrica duma placa impermeavel aos raios. Pensando que o phenomeno não era da mesma ordem que o observado por J. J. THOMSON e RÖNTGEN, aventou para o explicar a hypóthese duma acção dispersiva do ar sobre os raios.

Embora differentes factos parecessem confirmar a opinião de RIGHI (42) uma bella Memória de PERRIN¹ permite dar-lhe uma interpretação diversa.

O habil phýsico francés, por uma série de experiências engenhosas, demonstrou, que a condição necessária e sufficiente para que os raios X, que se propagam através dum gaz em repouso, produzam a descarga dum corpo electrizado, é que elles córtem linhas de força emanadas deste corpo. A diffusão do gaz desempenha um papel práticamente nullo.

Eis algumas experiências de PERRIN :

1) Consideremos um condensador plano de armaduras P e Q. Cortemos em P uma placa rectangular P', e liguemo-la á agulha dum electrómetro; no princípio da experiência P' está tambem ligado ao resto da armadura P, que desempenha assim o papel de anel de guarda. Carrega-se o condensador; córta-se a communicação entre P' e P, e introduz-se entre as armaduras, mas sem as tocar, um feixe de raios X perpendicular ás linhas de força do campo. Passando com o feixe ao longo do campo verifica-se, que só ha descarga, quando as linhas de força sam cortadas pelos raios.

2) Um plano de prova ao potencial do solo, encerrado num recinto metálico munido duma estreita abertura, recebe um feixe de raios X, que tem prèviamente atravessado uma placa de aluminio carregada a um potencial elevado; os raios entram no recinto pela abertura sem afflorar os bor-

¹ J. PERRIN, *Journ. de Phys.*, agosto de 1896, p. 350.

dos. Nestas condições o plano de prova não troca nenhuma carga com a placa de alumínio.

PERRIN resume assim o notavel resultado, que obteve: «os raios X, independentemente da existência dum campo eléctrico, alteram o gaz, que atravessam. Esta alteração é tal que, se em seguida a massa do gaz está situada sobre o trajecto dum tubo de força, as massas eléctricas situadas nas extremidades do tubo desaparecem, quando o tubo de força é inteiramente contido no gaz. Isto é as coisas passam-se, como se o tubo de força se tornasse conductor».

O resultado de PERRIN precisa as condições experimentaes. Não basta envolver o tubo e o carrete numa caixa metálica, é necessário tambem, que a caixa seja opaca aos raios, excepto, é claro, na região, que define o feixe a estudar.

Para a exposição dos factos convém apresentar desde já a seguinte hypótese a respeito da acção dos raios X sobre os gazes, que logo veremos ser a mais verosimil. Admittiremos, que os raios ao atravessarem os gazes dissociam um certo número de moléculas em iões positivos e negativos. Os iões, se não houver campo eléctrico, um momento diffundidos, recombinar-se-ham em breve. Se ao contrario houver campo eléctrico, caminharão ao longo das linhas de força, em direcções oppostas conforme o signal, indo produzir as acções eléctricas. Tal é a idéa defendida desde os primeiros momentos por J. J. THOMSON.

Agora seria facil coordenar as experiéncias, que citamos. E' particularmente curiosa a acção duma corrente sobre o gaz atravessado pelos raios: o effeito é semelhante ao que a corrente produziria numa solução muito diluída dum electrólito.

57. J. J. THOMSON tinha annuciado, que a descarga se produz tambem, quando o corpo electrizado mergulha num dieléctrico líquido e até sólido.

Entretanto todas as experiéncias desse phýsico, que mais

tarde podéram ser devidamente verificadas por outros observadores (RIGHI, RÖNTGEN, PERRIN), têm uma interpretação diversa.

Submettendo um conductor electrizado envolvido em paraffina á acção dos raios, nota-se, é certo, que o potencial do conductor diminue; mas RIGHI pôde verificar, que o effeito é devido á carga de nome contrario á do conductor, que se accumula á superficie do dieléctrico. E' tambem o que resulta das experiências de LORD KELVIN, BEATTIE e SMOLAN ¹.

Não ha pois descarga, mas um simplez effeito de condensação. «Quando uma parte do tubo de força está situada num dieléctrico liquido ou sólido, o effeito é o mesmo, que se a porção do tubo de força contida no gaz se tornasse conductora» (PERRIN).

Convém dizer, que apesar de tudo J. J. THOMSON persiste na sua opinião ².

58. Leis da acção eléctrica. — Passemos agora a estudar o phenomeno sob o ponto de vista quantitativo. Lançaremos assim as bases do methodo eléctrico para o estudo dos raios X, methodo muito mais sensivel e sobretudo mais preciso do que o methodo photographico.

Uma das melhores disposições experimentaes consiste em um condensador de ar, cujas armaduras planas se ligam aos polos duma bateria. Num dos fios de ligação intercala-se um galvanómetro. As armaduras do condensador collocam-se parallelamente aos raios dum feixe bem definido, que se faz passar entre ellas. Logo que o feixe de raios X passa, o galvanómetro accusa uma corrente.

J. J. THOMSON e MAC CLELLAND ³ primeiro, e J. J. THOM-

¹ Vid. *Nature*, 25 de março, 1897, p. 498.

² J. J. THOMSON, *Nature*, 29 de abril, 1897, p. 606.

³ Vid. *Nature*, 23 de abril, 1896, p. 581.

SON e RUTHERFORD¹ mais tarde, estudaram a influência das intensidades do campo e dos raios na intensidade da sua acção eléctrica.

A corrente através do gaz começa por augmentar com a força electromotriz, mas attinge rapidamente um máximo independente do campo. As curvas obtidas, tomando para abscissa a força electromotriz, fazem lembrar as curvas de magnetização.

Quando o máximo é attingido, a corrente diz-se «saturada». Nós vimos já (55), que a passagem da corrente destrõe a conductibilidade do gaz devida aos raios; por conseguinte a saturação será attingida, quando a corrente fornecida pela bateria fôr sufficiente para destruir a conductibilidade, á medida que ella é produzida pelos raios RÖNTGEN. Na concepção electrolytica a corrente antes de saturada não occupa todos os iões, cujo número depende apenas da intensidade dos raios.

Essa mesma hypóthese explica um facto paradoxal observado primeiro pelo DR. RIGHI. Collocando as armaduras do condensador perpendicularmente ao feixe RÖNTGEN, e substituindo por uma folha delgada de alumínio a que é ferida primeiro pelos raios, pódem observar-se, como era de esperar, os factos já descriptos. Mas RIGHI notou, que para uma dada força electromotriz a corrente augmenta até um certo limite, quando augmenta a distância das armaduras, para em seguida deminuir. O phenómeno porém nada offerece de extranho, se nos recordarmos, que o número de iões é sensivelmente proporcional á camada de ar atravessada. J. J. THOMSON e RUTHERFORD mostráram com effeito, que a deminuição da corrente tem logar, quando deixa de ser saturada.

¹ J. J. THOMSON e E. RUTHERFORD, *Philos. Magaz.*, novembro de 1896, p. 392.

Achou-se também, que, se a intensidade dos raios é alterada, a alteração na corrente não é a mesma nos diferentes pontos da curva, que a representa. Quando a intensidade dos raios diminue, a corrente de saturação diminue também, mas diminue numa proporção mais forte do que a corrente, para pequenas forças electromotrices. E' o que a consideração dos iões permite explicar. A diminuição de intensidade dos raios era obtida, nas experiências de J. J. THOMSON, pela interposição de lâminas de alumínio.

E' evidente, que a corrente de saturação se póde tomar como medida da intensidade dum feixe, quando este é todo aproveitado. PERRIN¹ provou a proporcionalidade dos dois valores: fazendo passar no condensador cônes de raios, de ângulos sólidos 1, 2, 3, 4, obteve correntes saturadas proporcionaes a 1, 2, 3, 4.

Utilizando sobre um mesmo cône de raios comprimentos proporcionaes a 1, 2, 3, obteve correntes proporcionaes a 1, 2, 3. E' uma lei análoga á lei newtoniana das distâncias.

Theóricamente póde dizer-se, que «a quantidade de raios X», irradiada no interior dum cône tendo a fonte por vertice, é proporcional ao número de iões dissociados neste cône por unidade de comprimento, num gaz dado, a uma pressão e a uma temperatura dadas.

59. Já dissemos, que práticamente o signal da carga não tinha influéncia. Todavia, segundo RIGHI, expondo directamente o conductor aos raios X, parece existir uma ligeira superioridade da dispersão da carga — sobre a da carga +, quando se opéra a baixos potenciaes. A confirmação da differença equivaleria a approssimar os raios X dos raios ultra-violetes.

60. BENOIST e HURMUZESCU² mostráram, que a natureza

¹ J. PERRIN, *Compt. rend.* de 10 de agosto, 1896, p. 351.

² L. BENOIST e M. D. HURMUZESCU, *Compt. rend.* de 30 de março, 1896, p. 780. — Vid. *Rev. gén. des Sci.*, 15 de maio, 1897, p. 395.

dos corpos feridos pelos raios intervém na velocidade da descarga. RIGHI confirmou o resultado para baixos potenciaes. Essa influência porém não é grande.

E' necessário pois distinguir no estudo dos effeitos eléctricos dos raios X duas acções, que se sobrepõem: uma no gaz ambiente, e outra á superficie do corpo electrizado.

Esta última acção deve perturbar, ainda que ligeiramente, as leis símples acima dadas. Várias divergências não têm provavelmente outra origem.

O estudo dessa influência foi profundado por PERRIN¹, que a explica por uma dissociação mais intensa da camada de gaz adherente ao corpo. PERRIN separa o «effeito gaz» do «effeito metal», mostrando, que aquelle é independente da direcção das linhas de força e da inclinação dos raios X. Numa das suas experiências achou, que o effeito metal era 0,4 do effeito total, e que variava na razão inversa da raiz quadrada da distância á fonte.

E' possível, que a transformação dos raios ao contacto do disco electrizado também intervenha.

61. Estudemos emfim outras influências.

J. J. THOMSON², e BENOIST e HURMUZESCU³, chegaram á conclusão, de que em qualquer gaz a velocidade da descarga era proporcional á raiz quadrada da pressão.

Essa lei refere-se ao effeito total, como foi verificado por PERRIN⁴. Este phísico, estudando separadamente o effeito gaz, achou uma lei diversa: o effeito gaz é proporcional á pressão. Subtrahindo do effeito total o effeito gaz, não achou para o effeito metal isoladamente uma lei símples.

Como em cada ponto a massa específica do gaz é propor-

¹ J. PERRIN, *Compt. rend.* de 1 de março, 1897, p. 455.

² J. J. THOMSON, *Nature*, 26 de março, 1896, p. 502.

³ BENOIST e HURMUZESCU, *Compt. rend.* de 27 de abril, 1896, p. 926.

⁴ J. PERRIN, *Compt. rend.* de 23 de novembro, 1896, p. 878.

cional á pressão, resulta das conclusões de PERRIN¹, que, a uma temperatura constante e para um mesmo gaz, «a quantidade de electricidade dissociada por unidade de massa é independente da pressão». Segundo as experiências de BENOIST a lei tem logar, qualquer que seja o gaz.

Operando numa caixa fechada, PERRIN verificou, que as variações de temperatura não influem sobre a corrente. Ora em cada ponto do condensador, a temperatura variavel, a massa especifica é inversamente proporcional á temperatura absoluta. Portanto, como a corrente fica fixa, «a quantidade de electricidade dissociada por unidade de massa é proporcional á temperatura absoluta».

Mas segundo a theoria cinética dos gazes, a energia da molécula é tambem independente da pressão e proporcional á temperatura absoluta.

Por conseguinte diremos, que «o número de moléculas dissociadas é proporcional ao número de moléculas encontradas, qualquer que seja o seu afastamento, e proporcional á sua energia média».

A natureza do gaz tem tambem influéncia importante na grandeza da corrente limite, que segue grosseiramente uma lei de densidade. O vapor de mercúrio achou-se ser o melhor conductor. Vêm depois os halogénios. O hydrogénio sulfurado conduz melhor do que o oxygénio.

62. Mechanismo do phenómeno. — Não resta dúvida de que no caso dos raios X, como no da luz, a electricidade é transportada por partículas materiaes, ao longo das linhas de força emanadas dos corpos electrizados. E' o que resulta das bem conhecidas experiências de RIGHI sobre as sombras eléctricas. Os deslocamentos das sombras produzidos pela

¹ Vejam-se os artigos ha pouco citados.

projecção de correntes de ar afasta a idéa dum phenómeno semelhante á conducção metálica.

Qual é o vehículo da electricidade?

No caso em que os raios X actuam sobre o ambiente, é sem dúvida o gaz, que transporta as cargas. A acção eléctrica tem-se com effeito observado na ausência de toda a poeira. Ora não se vê maneira de explicar o phenómeno senão admittindo, que os raios X dissociam a electricidade neutra determinando a formação dum certo número de particulas positivas e dum egual número de particulas negativas, as quaes, deslocando-se ao longo das linhas de força, vam produzir os effeitos conhecidos.

Resta saber, se essas particulas carregadas sam moléculas ou iões. Se formalmente os phenómenos sam por igual explicados em qualquer das hypótheses, tende hoje a preferir-se a segunda, pelos motivos que apresentamos a propósito dos raios cathódicos. Nós vimos já os serviços, que essa hypóthese nos prestou; mas ha mais. «Essa theoria foi ensaiada por medidas quantitativas, e os resultados estão em concordância satisfactória com a theoria» (J. J. THOMSON e RUTHERFORD).

FRANKLAND e MAC GREGOR¹ fizeram uma experiéncia, que parece contradizer a hypóthese electrolytica. Um corpo ópticamente activo está dissolvido num liquido, que o dissocia parcialmente; parece, que a menor causa adicional de dissociação deve produzir uma acção sensivel. Ora os auctores não observáram nenhuma mudança no poder rotatório da solução, mesmo depois duma acção prolongada dos raios X. Todavia a experiéncia perde muito do seu valor, desde que se saiba, que J. J. THOMSON e RUTHERFORD, partindo da quantidade de electricidade transportada pelos iões em so-

¹ Vid. *Nature*, 16 de abril, 1896, p. 564.

lução, calculáram para o hydrogénio a proporção do gaz dissociado, e acháram uma fracção pequeníssima: $1/3 \times 10^{12}$.

Os mesmos phýsicos deduziram da ausência de polarização, que os iões dam facilmente a sua carga aos eléctrodos de metal. E todavia sabe-se, como é difficil transferir uma carga dum gaz para um metal, a não ser que o metal esteja exposto a uma radiação. Os auctores julgam pois provavel, que os gazes expostos aos raios irradiem. Mas deve dizer-se, que da verificação tentada concluíram, que «essa radiação é muito fraca, ou differe dos raios X em não tornar os gazes conductores».

63. Sabe-se, que os raios X exercem uma acção eléctrica superficial sobre os corpos electrizados, a qual é explicada por PERRIN, conforme o exemplo dalguns phýsicos a respeito da luz ultra-violete, por uma dissociação intensa da camada de gaz adherente ao corpo.

Qualquer que seja porém o phenómeno inicial, o que parece certo, é que é o gaz o vehiculo da electricidade.

E' verdade, que LENARD e WOLF foram levados a crêr, no caso da luz ultra-violete, que se dava uma pulverização do metal. Embora seja uma coisa sabida, que em várias circumstâncias os metaes podem soffrer uma desintegração superficial, o que é certo, é que nenhuma das experiências daquelles phýsicos é decisiva. A mais importante consistia em seguir o trajecto da electricidade a partir da superficie metálica, graças á condensação dum jacto de vapor saturado. Ora AITKEN e HELMHOLTZ haviam mostrado, que o ar se póde sobresaturar de humidade, sob a condição de estar isempto de poeiras; e que, se estas existissem, ellas se tornariam centros de condensação do vapor. Daquí tiráram LENARD e WOLF a sua conclusão.

Mas a interpretação póde ser completamente differente. E' uma coisa sabida com effeito, que os iões se podem tornar centros de condensação do vapor de água, e tem-se até baseado sobre esta ideia uma theoria da formação das nu-

vens, na qual o ar é ionizado pelas radiações ultra-violetes do Sol. Em apoio desse modo de ver diremos, que WILSON¹ provou, que num espaço atravessado pelos raios X a condensação do vapor de água era muito mais intensa do que normalmente.

Mas ha mais. LODGE² procurou ver se reconhecia signaes do metal na vizinhança do disco, que se descarregava. Usou de metaes facilmente desintegraveis: prata, ferro e sódio. Nem o microscópio, nem o iman, nem o espectroscópio, denunciaram o menor vestigio de evaporação metálica.

Inclinámo-nos pois a admittir, que os raios X, como a luz, dissociam intensamente a camada de gaz adherente ao corpo sobre que incidem, e que sam os iões os agentes de descarga.

Dada a difficuldade da passagem da electricidade dum gaz para um metal, é de crêr, que a funcção das radiações seja tambem facilitar a passagem.

Resta explicar, porque no caso da luz a acção é sensivel apenas sobre as cargas negativas. J. J. THOMSON recorda a hypóthese de HELMHOLTZ: os corpos attrahem a electricidade com graus differentes de intensidade. ELSTER e GEITEL baseiam a explicação no character electropositivo do metal. SCHUSTER lança mão da sua theoria do phenómeno cathódico (29). A questão requer, como se vê, novas investigações; mas não é sem interesse dizer-se, que a difficuldade é commum á theoria electrolytica e á theoria de LENARD e WOLF.

64. Acções eléctricas diversas. — 1) RIGHI mostrou, que os raios X, como os ultra-violetes, influem na differença de potencial de contacto entre placas de metal no ar. As placas comportam-se como se fossem ligadas por um eléctrolyto.

¹ WILSON, *Proc. Roy. Soc.*, 18 de junho, 1896, p. 338.

² OLIVER LODGE, *Light and Electrification*. (In *Science Progress*, agosto, 1896, p. 417).

Este resultado póde applicar-se á medição das forças electromotrices de contacto.

2) Esse mesmo phísico italiano descobriu, que os raios ultra-violetes produzem uma carga positiva sobre os corpos não electrizados.

Expondo aos raios X um disco metálico muito afastado doutros conductores, RIGHI conseguiu pôr em evidência, que o disco adquiria uma pequena carga positiva da ordem das forças electromotrices de contacto.

3) Segundo SWYNGEDAuw¹ os raios X abaixam os potenciaes explosivos conforme as mesmas leis geraes que as radiações ultra-violetes.

Os phísicos italianos SELLA e MAJORANA² confirmáram o parallelismo nos effeitos das radiações X e ultra-violetes, mas chegáram ao mesmo tempo a um resultado muito notavel. A uma certa distância explosiva o effeito de qualquer das duas radiações sobre o eléctrodo negativo facilita a passagem da fuisca, e sobre o eléctrodo positivo é nullo. A' medida que augmenta a distância explosiva, o último effeito permanece nullo, e o primeiro vae diminuindo. Um momento chega, em que a acção é totalmente nulla. Augmentando ainda a distância explosiva o phenómeno inverte-se: a acção sobre o polo negativo torna-se nulla, e sobre o polo positivo difficulta a passagem da fuisca.

A descoberta de SELLA e MAJORANA veio trazer um dado novo ao phenómeno electro-óptico descoberto por HERTZ.

Notemos, que a alteração do potencial explosivo é acompanhada de alteração nos phenómenos de descarga.

4) Alguns auctores explicam certos *effeitos physiológicos* dos raios X pelas suas propriedades ionizantes.

¹ SWYNGEDAuw, *Compt. rend.*, de 17 de fevereiro, 1896, p. 374.

² SELLA e MAJORANA, *Rend. della R. Acc. dei Lincei* de 26 de abril, 1896, p. 323.—Q. MAJORANA, *La Scarica Elettrica attraverso i gas e i raggi Röntgen*, Pisa, 1896.

Uma exposição prolongada a esses raios produz uma alteração da derme com subsequente queda da epiderme e dos pêlos. Póde até chegar a haver inflammação.

A acção varia muito dum individuo a outro.

Deminuem-se estes effeitos cobrindo a pelle com um inducto gordura ou glicerina ¹.

As acções sobre as bactérias tẽem sido contestadas.

65. Energia dos raios X. — VILLARI tentou em vão obter a acção dos raios X sobre um receptor thérnico. Este resultado negativo póde ser consequência quer duma falta de sensibilidade do aparelho, quer duma irradiação immediata do receptor.

RÖNTGEN (§ 6) já havia ensaiado sem éxito uma experiência análoga.

GOSSART ² julgou ter descoberto uma acção mechânica dos raios X sobre o radiómetro. Mas FONTANA ³ provou, que essa acção era devida ao campo eléctrico creado pelo tubo de CROOKES.

¹ Vid. *Compt. rend.* de 12 de abril, p. 826; id. de 20 de abril, p. 855 1897.

² GOSSART, *Compt. rend.* de 17 de fevereiro, 1896, p. 315.

³ FONTANA, *Compt. rend.* de 13 de abril, 1896, p. 840.

CAPÍTULO VII.

Outras radiações novas.

66. As fontes de raios X. — Convém dizer, que os raios X não foram encontrados na luz do Sol, apesar da observação ter sido feita em regiões elevadas, e a horas em que esse astro está próximo do meridiano. «E' provavel, diz LODGE, que os raios X sejam um producto artificial introduzido pelo homem nas operações da natureza».

A luz do arco voltaico e a luz do magnésio tambem não parecem conter as radiações RÖNTGEN.

67. Raios Becquerel. — A suggestão de POINCARÉ¹, de que era possivel, que os corpos phosphorescentes emittissem alguma coisa de análogo aos raios X, foi origem de numerosas experiências de elevada importância scientifica.

NIEWENGLOWSKI² conseguiu impressionar uma placa sensivel envolvida em papel preto, collocando sobre ella sulfureto de cálcio phosphorescente do commercio, previamente exposto ao Sol.

BEQUEREL³ ensaiou em seguida os saes de urânio. As suas observações mais interessantes foram realizadas com sulfato duplo de uranylo e de potássio: $\text{SO}_4(\text{UO})\text{K} + \text{H}_2\text{O}$.

¹ H. POINCARÉ, *Rev. gén. des Sci.*, 30 de janeiro, 1896, p. 52.

² G. H. NIEWENGLOWSKI, *Compt. rend.* de 17 de fevereiro, 1896, p. 385.

³ H. BEQUEREL, *Compt. rend.*, t. CXXII, pp. 420, 501, 559, 689, 762, 1086; t. CXXIII, p. 855. 1896.—Id. t. CXXIV, pp. 438, 800. 1897.

Um crystal dessa substância, collocado sobre uma placa photographica coberta de papel preto, impressiona a placa, mesmo através de certos corpos opacos á luz conhecida, por exemplo através duma folha delgada de alumínio.

A hypóthese duma acção directa foi excluída pela interposição duma lâmina delgada de vidro.

A emissão dessas novas radiações apresenta caracteres curiosos e importantes.

O crystal só produz phosphorescência visivel depois de ter sido exposto á luz; essa phosphorescência extingue-se uma pequena fracção de segundo (1/100) após a extincção da luz excitadora. Pelo contrário, emite os novos raios na obscuridade durante immenso tempo, sem enfraquecimento apreciavel. BECQUEREL teve occasião de verificar, que a emissão ainda durava no fim de mais dum anno de persistência ao abrigo de toda a radiação conhecida. A emissão não deixa de existir, quando o corpo se prepara na obscuridade.

Não é mesmo certo, pelo menos em vários casos, que a luz augmente a intensidade do phenomeno. E' tambem o que affirmam ELSNER e GEITEL¹, que verificáram por completo os resultados do phísico francês. Demais BECQUEREL verificou a emissão no urânio metálico e em muitos saes uranosos, que todavia não sam susceptiveis de fluorescência visivel.

Os resultados obtidos com os sulfuretos de cálcio e de zinco não sam menos curiosos. TROOST, com sulfureto de zinco recentemente preparado (blenda hexagonal), obteve excellentes effectos; mas ao fim dalguns dias o sulfureto perdia rápidamente todas as suas propriedades. BECQUEREL observou o mesmo facto com o sulfureto de cálcio de fluorescência azul ou verde-azulada. Este phísico não conseguiu

¹ Vid. *Rev. gén. des Sci.*, 15 de maio, 1897, p. 361.

por nenhum modo restituir a actividade aos sulfuretos, que se tornavam inactivos.

Parece, que estes corpos accumulam em si, desde o momento em que se fórmam, uma provisão de energia, que vam dissipando mais ou menos lentamente sob a fórmula de radiações, mas que os agentes exteriores não podem renovar. Ao contrário a energia, que é gasta sob a fórmula de luz visível, esgota-se rápidamente, mas póde ser renovada pelos agentes exteriores.

Convém dizer, que BECQUEREL verificou, que a emissão não augmentava sob a acção dos raios X.

Apesar disso parece, que devemos approximar destes phenomenos a fluorescência invisível produzida pelos raios RÖNTGEN. Se em certos casos essa radiação fluorescente é luz invisível, mas conhecida, como WINKELMANN mostrou (53), não o é em muitos outros.

Digamos enfim, que diferentes observadores acháram, que os pyrillampos e outros seres phosphorescentes emittem conjunctamente com a luz visível radiações capazes de atravessar o papel preto ¹.

68. Infelizmente o exame das propriedades dessas radiações invisíveis está quasi por fazer. Ha apenas um estudo, mas esse bastante completo, das radiações emittidas pelo urânio e pelos seus saes. Deve-se a BECQUEREL. Daqui o nome usual dos raios, a que o illustre phísico francês havia chamado «uránicos».

Algumas das propriedades dos raios BECQUEREL approxiam-os dos raios X.

Possuem um grande poder de penetração. Atravessam folhas de alumínio e doutros metaes. O quartzo foi achado mais transparente do que para os raios X, o que é tanto mais curioso, quanto é certo, que o quartzo apresenta aos

¹ Vid. *Nature*, 31 de dezembro, 1896, p. 214.

raios X uma opacidade maior do que era de esperar da sua densidade. Um facto análogo se dá com o espatho-fluor, que todavia é duma transparência perfeita em toda a extensão do espectro explorada até hoje. Póde talvez admittir-se, que este corpo possui uma faixa de absorpção numa região muito afastada do ultra-violete conhecido ¹.

Phenómenos de absorpção selectiva mostram, que os raios uránicos não são homogéneos.

Actuam sobre o papel photographico, propriedade que os revelou ao seu auctor.

A sua acção sobre os corpos electrizados é em tudo semelhante á dos raios X, resultado mui notavel porque outro tanto não tem logar com a luz ultra-violete. Assim, BECQUEREL repetiu com os seus raios a experiência, pela qual J. J. THOMSON e RÖNTGEN communicaram ao ar a propriedade de descarregar os corpos electrizados.

BECQUEREL prosegue actualmente o estudo eléctrico dos raios uránicos com muito éxito ².

Outras propriedades porém afastam-os dos raios RÖNTGEN, e permitem fixar ao certo a sua natureza.

Com effeito os raios uránicos reflectem-se e refractam-se. Enfim BECQUEREL conseguiu polarizá-los por meio da turmalina.

Os raios Becquerel são pois devidos a vibrações transversaes.

Embora a fraca intensidade da radiação não permitisse ainda determinar-lhes o comprimento de onda, ninguém duvida, pelo conjuncto das suas propriedades, de que pertencem a uma região ultra-violete mui distante da região conhecida. Convinha aproveitar a propriedade da refracção para augmentar a sua intensidade pelo uso das lentes.

¹ E. CARVALLO, *Ann. de Chim. et de Phys.*, janeiro, 1895, p. 1.

² H. BECQUEREL, *Compt. rend.* de 1 de março, p. 438; e de 12 de abril, p. 800. 1897.

SYLVANUS-THOMPSON, que estudou também a emissão de radiações invisíveis em vários corpos, propôs para o phenomeno o nome de «hyperphosphorescência». Dir-se-ha então, que um corpo é hyperphosphorescente, quando emite raios não incluídos na região até agora conhecida do espectro.

69. Raios de descarga. — Tem-se fallado muito, a propósito da descoberta de RÖNTGEN, nos raios de descarga, a que WIEDEMANN¹ se refere numa Memória de 1895. Segundo este phísico a fásca emite radiações, que impressionam os diaphragmas thermoluminescentes: não atravessam o espatho-fluor, nem sam sensíveis ao íman.

HOFFMANN², retomando as experiências de WIEDEMANN, reconheceu, que esses raios não atravessam a mica, o quartzo e outros sólidos, não impressionam o papel photographico e não sam reflectidos. Singulares radiações, que sam caracterizadas quasi sòmente por propriedades negativas!

BORGMANN³ verificou alguns dos resultados de HOFFMANN, mostrando que os raios de descarga provocam a thermoluminescência da mistura $\text{CaSO}_4 + 5\% \text{MnSO}_4$ através duma caixa de aluminio. Notemos, que segundo o mesmo phísico igual effeito se produz pela acção dos raios BECQUEREL e dos raios X, mas não pela acção dos raios duma lâmpada de arco.

Mais interessantes sam talvez as experiências sobre photographias através de corpos opacos sem tubos de CROOKES.

LORD BLYTHSWOOD⁴, envolvendo em velludo negro uma chapa photographica, e collocando-a entre os eléctrodos duma poderosa máchina de WIMSHURST, mas fóra do tracto da descarga, obteve impressões muito nitidas. LORD

¹ Vid. GUILLAUME, *Les rayons X*, p. 68.

² Vid. *Nature*, 13 de fevereiro, 1897, p. 381.

³ BORGMANN, *Compt. rend.* de 26 de abril, 1897, p. 895.

⁴ Vid. *Nature*, 13 de fevereiro, 1896, p. 340.

KELVIN suggeriu-lhe a idéa de repetir as experiências com uma caixa de alumínio completamente fechada e ligada á terra, afim de excluir a hypóthese duma acção eléctrica directa ou de faíscas secundárias. Ainda nestas condições a experiência deu resultado.

Será necessário pois admittir, que a faísca eléctrica póde, mesmo á pressão ordinária, communicar ao ar uma fluorescência invisível, análoga á que constitue os raios X?

Seria temerária a affirmação em qualquer sentido.

70. Raios Le Bon (?). — GUSTAVE LE BON, no principio do anno de 1896; logo depois de se divulgar a descoberta de RÖNTGEN, descreveu uma extranha experiência. Assentou uma folha metálica sobre um cliché negativo poisando num papel sensível; após uma exposição de algumas horas a uma fonte luminosa de certa intensidade o papel é impressionado, e obtém-se um positivo. Esta acção seria devida a um agente novo, «a luz negra».

Alguns observadores podéram repetir a experiência de LE BON, outros porém, não o tendo conseguido, opináram, que o auctor se havia deixado enganar pela «luz branca».

A questão despertou, como era natural, bastante curiosidade; todavia mesmo após as frequentes notas¹, que no anno último a Academia de Ciências de Paris recebeu sobre o assumpto, não se havia apurado senão uma coisa: é que as condições determinantes do phenomeno não estavam ainda bem estabelecidas. E quer se tractasse, quer não, de radiações novas, era certo, que o phenomeno LE BON era um phenomeno a explicar.

Ultimamente porém a questão parece ter-se aclarado.

LE BON², afim de afastar, segundo elle próprio diz, as

¹ G. LE BON, *Compt. rend.*, t. CXXII, pp. 188, 232, 233, 385, 386, 462, 463, 500, 522, 684 e 1054. 1896.

² G. LE BON, *Compt. rend.* de 5 de abril, 1897, p. 755.

objecções oppostas aos seus resultados anteriores, realizou a seguinte experiência:

Uma placa sensível é coberta duma folha delgada de ebonite, sobre a qual se collocáram letras recortadas numa folha de metal. Expondo a ebonite, pela sua face descoberta, durante três horas á luz diffusa, encontra-se, depois do desinvolvimento, as imagens das letras em negro sobre fundo cinzento. LE BON admite, que a luz ordinária, ferindo as folhas metálicas, se transforma na «luz negra», que as atravessa e vai impressionar o papel sensível.

PERRIGOT¹, que pôde repetir a experiência de LE BON, contestou a sua interpretação, attribuindo-os factos observados á transparência da ebonite para a luz ordinária.

LE BON, no referido artigo sobre as suas novas investigações, diz que o prof. HEEN, que muito o auxiliou, demonstrou ser uma condição essencial para o éxito das experiências, que o papel sensível fosse previamente exposto á luz durante um momento.

E' neste facto, que se funda PERRIGOT para explicar os resultados de LE BON, ligando-os ao phenomeno da inversão das imagens photographicas, que, como é sabido, consiste no seguinte: a redução do brometo de prata cresce primeiro rapidamente com a duração da exposição, depois attinge um máximo, e decresce em seguida até um certo limite, a partir do qual nenhuma modificação parece produzir-se, por mais prolongada que seja a exposição.

Isto posto notemos, que a exposição prévia da placa produz uma certa opacidade. A luz, que atravessa a ebonite, deve começar por augmentar essa opacidade; mas comprehende-se, que, se a exposição é muito prolongada, se dê o phenomeno da inversão, e que por conseguinte as imagens das letras appareçam mais negras do que o resto do papel.

¹ PERRIGOT, *Compt. rend.* de 20 de abril, 1897, p. 857.

H. BECQUEREL¹ completou a explicação de PERRIGOT. Mostrou, que uma nova experiência, que LE BON² havia opposto á conclusão de PERRIGOT, era antes uma confirmação de que a luz negra não é mais do que luz conhecida.

Mas mostrou tambem, que a luz de LE BON não era a luz branca no sentido ordinário da palavra, mas era formada de radiações vermelhas e infra-vermelhas vizinhas da risca A, sòmente para as quaes a ebonite é transparente. E' certo, que estas radiações não tõem por si sós acção sobre as placas sensiveis. Mas, como nota BECQUEREL, sabe-se que a luz infra-vermelha é capaz de continuar a acção photographica da luz branca. Esta luz branca é sem dúvida a luz da exposição prévia de que falla LE BON.

¹ H. BECQUEREL, *Compt. rend.* de 10 de maio, 1897, p. 984.

² G. LE BON, *Compt. rend.* de 26 de abril, 1897, p. 892.

CAPÍTULO VIII.

Natureza dos raios X.

71. Theoria da emissão. — Dada a insensibilidade dos raios X á acção magnética, não ha logar de suppór que esses raios sejam correntes de partículas materiaes electrizadas.

Mas admittida a hypóthese de que o phenómeno cathódico é uma radiação electrolytica, não poderia pensar-se, sobretudo depois das experiéncias de LENARD, que a radiação röntgeniana é um bombardeamento de partículas que se descarregáram de todo ao atravessarem as paredes do tubo?

E' a hypóthese de TESLA ¹, para a qual a experiéncia de LAFAY fez derivar a attenção durante um momento. Todavia, ainda que se admittisse a realidade, que tem sido contestada, do phenómeno descripto por LAFAY, a observação deste phýsico de que o magnete desvia os raios que «vam» ser electrizados, tirar-lhe-hia todo o valor confirmativo.

Por outro lado, além de que essa hypóthese não explica os caracteres da emissão dos raios X, as suas acções eléctricas, etc., a enorme permeabilidade da maior parte dos corpos para esses raios, em opposição aos raios cathódicos, cõstitue uma difficuldade invencivel da sua theoria materialista.

E' porisso, que a hypóthese das ondulações, ou pelo menos dum processo, que se passa no ether, se impós desde os primeiros momentos.

¹ Vid. *Scientific American*, julho, 1896, p. 179

72. Theoria das ondas longitudinaes. — RÖNTGEN (§ 17), concluindo das suas observações a ausência de reflexão regular, de refração, e de polarização, e uma tal ou qual relação entre o poder absorvente dos corpos e a sua densidade, emittiu, ainda que timidamente, a opinião de que os raios X sam de vibração normal á onda.

Esta hypóthese seria provavel se certas experiências de difracção se viessem a confirmar (42).

Mas pondo-as de reserva, a primeira questão, que a hypóthese levanta, é se o ether é susceptivel de oscillações longitudinaes análogas ás ondas sonoras do ar.

«Em vão se invocaria, que as equações de MAXWELL sam incompatíveis com semelhantes ondas. Tem-se posto nestas equações, o que se tem querido, e se se escrevem sob a sua fórma actual, é justamente porque, não se tendo nunca observado vibrações longitudinaes, se tem querido escrever, que as não ha. Se a experiência nos ensinasse o contrario, bastaria mudar as equações com um traço de penna»¹.

LODGE, o illustre professor inglès, esforça-se por mostrar num bello artigo², que nada, no estado actual dos nossos conhecimentos, se oppõe em absoluto á existencia de ondas longitudinaes do ether. LODGE vae até ao ponto de estabelecer, theóricamente é claro, algumas das propriedades provaveis dessas ondulações; assim assigna-lhes uma velocidade, que está para a da luz, como a da luz está para a do som.

Mas essas ondas existirám realmente?

Numa phrase arrojada, LODGE diz, que o ether deve ser compressivel (e portanto capaz de vibrar longitudinalmente),

¹ H. POINCARÉ, *Les rayons cathodiques et les rayons Röntgen*, p. D. 3. (In *Annuaire du bureau des longitudes* para o anno de 1897).

² Tr. de *The Electrician* na *Rev. gén. des Sci.*, 15 de março, 1896, p. 253.

se é verdade, como é, que propaga uma perturbação periódica com uma velocidade finita.

Ora «se o ether é compressível, a luz não pôde reflectir-se, nem refractar-se, sem dar origem a ondas de condensação» (LORD KELVIN).

Mas se é certo, que em várias Memórias clássicas de LORD KELVIN e de STOKES é mencionada uma componente longitudinal da luz, não é menos certo, que a menção é feita somente para mostrar, que de harmonia com os factos essa componente, se existe, deverá ser muito pequena em relação ao movimento transverso. Daqui o pouco interesse, que se lhe havia ligado.

A questão porém renasceu nos últimos tempos com grande vivacidade, a propósito de vários phenomenos.

Entre os factos, que se tem tentado explicar por uma vibração longitudinal do ether, conta-se a gravitação e a coesão, idéa que tem as suas raízes em NEWTON. E' possível contudo, que essas mysteriosas forças impliquem apenas um estado de deformação estática ou de tensão. Mas não deixaremos de recordar, que LAPLACE¹ affirma, que os resultados da Mechânica celeste não se oppõem á existência duma velocidade finita de propagação da força attractiva.

Quando tractamos dos raios cathódicos, dissemos como JAUMANN foi levado a admittir, que nos gazes rarefeitos a luz ordinária é acompanhada duma componente longitudinal.

Discutindo as condições de geração das ondas eléctricas, FITZGERALD² considera certa a existência da fórma longitudinal de propagação, pelo menos em certos pontos e ao longo de certas linhas isoladas dessas ondas.

¹ Vid. H. FAYE, *Cours d'Astronomie* p. xiv. Paris, 1896.

² G. F. FITZGERALD, *On the longitudinal component in Light.* (*Philos. Mag.*, setembro, 1896, p. 260).

Julgou-se durante muito tempo, que a propagação da indução electro-magnética era instantânea, mas em 1888 HERTZ, procurando confirmar as vistas de MAXWELL, provou, que essa propagação se fazia com a velocidade da luz. Ora talvez se venha a mostrar também, que a indução electrostática se propaga com uma velocidade finita; nesse dia ficaria demonstrada a existência de ondulações longitudinaes do ether.

O método de HERTZ consistiu em imitar tam fielmente quanto possível, com uma disposição eléctrica, as oscillações periódicas impressas ao ether pelas fontes luminosas. LORD KELVIN¹, inspirando-se numa ordem correlativa de idéas, propôs, para resolver a questão relativa á indução electrostática, experiências, que não foram realizadas.

Apesar do que acabamos de dizer, admittir a existência de ondas longitudinaes do ether para explicar os raios RÖNTGEN é introduzir uma nova hypóthese na Sciência. E qualquer que seja a sua verossemelhança, o recurso a uma nova hypóthese em presença dum factó novo só é justificavel, desde que se reconheça a insufficiéncia das theorias consagradas.

Ora tal insufficiéncia não está de modo algum reconhecida.

Entretanto, como diz LODGE, «era justo escutar aquelle que viu no meio dos phenómenos».

73. Theoria dos turbilhões. — Sabe-se, que foi LORD KELVIN quem popularizou na Phýsica a idéa do átomo-turbilhão, que sob uma fôrma diversa parece encontrar-se já no systema cosmogónico de DESCARTES.

Essa brilhante hypóthese tem tido até hoje uma carreira accidentada, apparecendo e desapparecendo alternadamente com as necessidades scientificas.

¹ LORD KELVIN, *On the generation of longitudinal waves in Ether.* (*Proc. Roy. Soc.*, 30 de abril, 1896, p. 270).

Corresponde a uma destas aparições a idéa, que considera os raios X como turbilhões no ether, succedendo-se aos violentos impulsos das partículas cathódicas ¹.

E' certo, que não está de modo algum estabelecido, que os raios X sejam uma perturbação periódica propagando-se com uma velocidade finita. E assim se comprehende, que sir STOKES ², dada a incerteza da existência da difracção, tenha oscillado entre a idéa duma perturbação periódica e a idéa de correntes no ether.

Como quer que seja, a crítica pela qual terminamos o exame da theoria longitudinal dos raios X, estende-se naturalmente á idéa de MICHELSON.

74. Theoria das ondas transversaes. — A idéa de que os raios X sam devidos a vibrações transversaes de extrema frequência, de que sam, como se diz, radiações *per-ultra-violetes*, parece dar uma interpretação simplez dos factos.

Vamos examinar por extenso esta opinião, que é presentemente a do maior número de phísicos.

E' sabido, que as radiações de ondas transversaes estudadas até hoje pódem ordenar-se numa espécie de escala, segundo a ordem dos comprimentos de onda decrescentes, ou, o que é o mesmo, segundo os números crescentes de vibrações por segundo.

Na base da escala encontram-se as oscillações hertzianas, cuja analogia com a luz está hoje bem estabelecida, e que se tem realizado com comprimentos de onda de 6^m a 6^{mm} .

Vêem em seguida os raios invisiveis infra-vermelhos ou caloríficos, immediatamente os raios visiveis, e depois os raios invisiveis ultra-violetes, que nos foram revelados pelas suas acções luminescente e photográphica (30^{μ} a $0^{\mu},1$).

¹ MICHELSON, *Nature*, 21 de maio, 1896, p. 66.

² G. STOKES, *Nature*, 3 de setembro, 1896, p. 427.

Não devemos pois admirar-nos de ver augmentar esta série com alguns termos novos. E' o que succedeu com a descoberta dos raios BECQUEREL, e provavelmente com a dos raios X de RÖNTGEN.

E' certo, que não ha uma experiência crucial, ou, para ser menos exigente, um argumento grave a favor da theoria ultra-violete dos raios X e até da sua theoria ondulatoria. A defeza da hypóthese corrente reduz-se quasi a mostrar, como diz J. J. THOMSON, «que os raios RÖNTGEN não possuem nenhuma propriedade, que não seja partilhada por uma ou outra das luzes conhecidas».

Começando pelos seus effeitos, diremos, que as acções luminescentes e photographicas sam por assim dizer propriedades esperadas dos novos raios.

A falta de parallelismo, nas acções eléctricas, dos raios X e dos raios ultra-violetes constituiu a principio uma pequena difficuldade. Mas BECQUEREL mostrou, que os raios urânicos, que sam de vibração transversal, possuem propriedades eléctricas idénticas ás dos raios RÖNTGEN (68). Esta notavel descoberta, communicada em 23 de novembro do anno último á Academia de Sciéncias de París, faz das propriedades eléctricas dos raios RÖNTGEN um argumento precioso a favor da sua theoria ultra-violete.

O poder de penetração dos novos raios foi sem dúbida a propriedade, que mais surprehendeu, mas não a que mais embaraça o phísico, que tenta explicá-la.

E' um facto de observação vulgar, que um dado corpo não apresenta a mesma transparéncia para as diversas radiações. Um vidro vermelho deixa passar os raios vermelhos, e retém os raios verdes, e é justamente por isso, que é vermelho. A água é opaca para os raios infra-vermelhos e transparente para as radiações visiveis; o inverso succede com a solução de iode em sulfureto de carbonio.

Em geral os dieléctricos sam transparentes para as ondas eléctricas.

A transparência dos metaes para os raios X levanta, é verdade, certas difficuldades theóricas, porque segundo MAXWELL elles deviam ser opacos para toda a especie de luz; mas era mais para admirar, se ha muito se não soubesse, que por exemplo a prata, opaca para os raios visiveis, se deixa atravessar, quando em folhas delgadas, pelos raios ultra-violetes. Explica-se o facto admittindo uma estrutura, cujo grão não seja fino de mais em relação á grandeza das ondas luminosas. Nós não tocaríamos em semelhante questão, se por ventura não tivéssemos a dizer, que a explicação precedente acaba de receber do prof. THRELFALL um appoio experimental de elevada importância; este phísico provou com effeito, que o oiro em pó muito fino refracta a luz como um não-conductor ¹.

Desta propriedade dos metaes em relação aos raios X, tendo em conta o seu pequeno comprimento de onda, póde talvez approximar-se o facto dos raios serem fortemente absorvidos pelos corpos em cuja molécula entram átomos metállicos.

A propriedade, que impressionou RÖNTGEN, da absorpção pelos differentes corpos depender sobretudo da sua densidade, ainda que estivesse mais perto de ser exacta do que está, e não perdesse muito do seu valor pelas considerações anteriores, não seria isolada. As soluções de fuchsina e de anilina comportam-se dum modo análogo perante a luz ordinaria: a absorpção da luz por essas soluções é proporcional á concentração ².

Finalmente fechemos por onde talvez deveresemos principiar, recordando que os raios BECQUEREL apresentam tambem um extraordinário poder de penetração.

¹ Vid. J. J. THOMSON, *On the nature of Röntgen rays* (In *Nature*, 17 de setembro, 1896, p. 472).

² Vid. GOLDHAMMER, *On the nature of the X-ray* (In *Amer. Journ. of Sci.*, junho, 1896, p. 485).

75. Passemos ás propriedades ópticas.

Tocaremos primeiro numa das difficuldades maiores da theoria ultra-violete dos raios X, mas onde tambem o triumpho da interpretação não podia ser mais completo.

E' sabido, que todas as luzes conhecidas se inflectem, quando passam dum meio a outro, e todavia os raios X não se refractam.

Digamos já, que se conhecem casos nos quaes certos raios de luz atravessam certas substâncias sem soffrerem refracção. KUNDT por exemplo verificou, que certos raios podiam atravessar o oiro sem serem refractados; entre as riscas D e F ha, segundo o mesmo phýsico, radiações, que se não desviam na passagem através do cobre. STENGER achou, que certos raios azues atravessam a fuchsina sem desvio. PFLÜGER obteve um resultado análogo com as côres da anilina no estado sólido¹.

Mas para melhor reconhecermos, que não repugna admitir uma espécie de luz incapaz de se refractar, diremos, que várias theorias da dispersão, ha muito tempo estabelecidas, prevêem precisamente para ondas de período extremamente curto semelhante propriedade.

Foi RAVEAU² quem primeiro fez esta observação fundamental.

Das differentes theorias existentes (LORD KELVIN, KETTLER, DRUDE, etc.) a mais notavel é sem dúvida a que HELMHOLTZ³ estabeleceu em 1893, e que é exclusivamente baseada na theoria electromagnética da luz, hoje tam popular.

¹ Estes factos e outros, de que já vamos fallar, relativos á dispersão anómala, encontram-se em — J. J. THOMSON, *Nature*, 17 de setembro, 1896, p. 472. — Cf. GUILLAUME, *Les rayons X*, p. 15.

² RAVEAU, *Les rayons X e les rayons ultra-violetes* (In *Journ. de Phys.*, março, 1896, p. 113).

³ HELMHOLTZ, *Wied. Ann.*, t. XLVIII, 1893. — Vid. J. J. THOMSON, *Nature*, 17 de setembro, 1896, p. 430.

O eminente sábio procurou os desvios experimentados por luzes de frequências diversas nas suas passagens através duma substância simplez, ideal, cujas moléculas têm um periodo natural de vibração, e um único. Chegou a uma fórmula, que dá o índice de refração expresso muito simplesmente na frequência da luz. Eis em resumo os resultados principaes e os dados confirmativos:

Partamos dum valor da frequência da luz inferior á frequência da vibração natural da substância.

Quando a frequência augmenta, o índice de refração augmenta igualmente; é o caso normal bem conhecido.

Desde que a frequência da luz ultrapassa a frequência de vibração molecular, o índice diminue bastante rapidamente para pequenos augmentos da frequência da luz, até atingir o valor zero. Existem vários exemplos deste phenomeno de inversão conhecido pelo nome de «dispersão anómala»; o ferro e platina (KUNDT), a cyanina e o vermelho de Magdala (PFLÜGER), sam bons exemplos. A experiência mostra, que a anomalia tem sempre logar nas vizinhanças duma faixa de absorpção; é tambem nesta região, que se encontram alguns dos exemplos, que demos, de radiações, que não sam refractadas, ou que têm o índice igual á unidade.

Continuemos. Segundo a fórmula, o índice vai augmentando a partir de zero quando a frequência da luz augmenta. Conhecem-se casos, que representam a phase em que o índice é inferior á unidade, como KUNDT mostrou com o oiro, a prata, o cobre, e PFLÜGER com o violete de HOFMANN.

Além dum certo valor da frequência o índice aproxima-se e permanece extremamente vizinho da unidade.

Admittida esta theoria, não ha pois praticamente desvio para as ondas, cuja frequência ultrapassa um certo limite. E' provavelmente a esta região, que pertencem os raios RÖNTGEN.

Assim a ausência de refração, longe de ser um argumento contra a natureza luminosa dos raios X, é exacta-

mente o que se devia esperar, se o seu comprimento de onda é extremamente pequeno.

Accrescentaremos, que uma imagem approximada do phenómeno consiste em suppôr, o que é natural, que a luz, quando a sua frequência se approxima da frequência de vibração da substância, é retardada por effeitos de resonância das moléculas. Se a sua frequência se torna extra-rápida, a luz atravessará o meio, que se póde então considerar de estructura grosseira, sem embaraço apreciavel (Lodge). Nestas condições os meios opacos para os raios devem ser considerados, não tanto como meios absorventes, mas sim como meios perturbadores, em que uma certa percentagem da energia é dispersada em todas as direcções ao encontro de cada obstáculo; tal seria a origem da reflexão diffusa (RAVEAU).

Logo veremos, como se póde comprehender, que em vez de reflexão diffusa haja hyperfluorescência.

Quanto á reflexão regular, é sabido, que vários observadores sustentam a sua existência embora em proporção pequeníssima; portanto é para sentir, que não se tenha insistido na tentativa de PRECHT (42) de interferir os raios por meio da reflexão, pois talvez se conseguisse demonstrar a sua natureza ondulatória. Ainda que, sendo inapreciavel, senão nulla, a duração de extincção dos raios, é bem possível, como insinua SCHUSTER¹, que as perturbações, que se succedem aos choques das particulas cathódicas, não possuam a regularidade sufficiente para revelarem a periodicidade pela interferência. Assim se vai grande parte da esperança de o conseguir.

Resta fallar da polarização. Neste caso, como no caso da interferência, um resultado negativo nunca seria decisivo. O método de polarização para uma espécie de luz póde

¹ SCHUSTER, *On Röntgen's Rays* (In *Nature*, 23 de janeiro, 1896, p. 268).

muito bem não se applicar a outra espécie. Enrolando fios excessivamente finos, ao lado uns dos outros sobre um quadro, RUBENS e DU BOIS podéram polarizar as ondas de calor radiante, cujos comprimentos sam grandes comparados aos comprimentos das ondas de luz visivel, para cuja polarização aquelle meio era grosseiro. E' possível, e até provavel, que a estructura da turmalina, ainda que bastante fina para polarizar a luz ordinaria, não seja sufficiente para a polarização dos raios X.

De tudo o que dissemos, resalta a superioridade da theoria ultra-violete dos raios X sobre as outras theorias expostas. E' todavia possível, que a verdadeira seja alguma em que ainda não pensamos.

76. E' claro, que, se os raios RÖNTGEN sam raios de luz, o seu comprimento de onda deve ser duma ordem inteiramente differente do da luz visivel.

E' contudo digno de notar-se, que a theoria electromagnética prevê dois typos de vibração, se nós suppozermos, que os átomos na molécula possuem cargas eléctricas.

Um destes typos seria devido ás oscillações mechánicas ou acústicas dos átomos; é provavelmente o que dá origem á luz ordinária. O outro typo seria devido ás oscillações hertzianas das cargas nos átomos. Segundo LODGE a frequência destas oscillações deve ser cêrca de 100:000 vezes maior que a das primeiras, sendo este número a relação entre a velocidade da luz e a velocidade média do som nos sólidos; tal seria a origem dos raios X ¹.

Neste modo de ver a hyperfluorescência seria causada por uma resonância hertziana dos átomos, differente da sua resonância acústica.

E' facil completar a imagem representando o mecanismo da producção do phenómeno.

¹ Esta suggestão foi feita primeiro por SCHUSTER no artigo citado.

Os iões projectados do cáthodo devem actuar mechânicamente pela sua massa em movimento, e eléctricamente pela carga que possuem.

Certos factos [experiência de BURKE (30), luminescência produzida pela percussão, etc.] levam a crêr, que a luz visível é devida á acção dynâmica dos iões.

E como por outro lado, quando o anticáthodo é uma placa de metal, apesar de não haver fluorescência visível continúa a haver emissão de raios X, é de crêr, que seja a carga dos iões cathódicos quem excite o oscillador atómico. Assim se explica, que a electrização positiva do anticáthodo favoreça a emissão (37).

Mas qualquer que seja o valor, que se ligue a esta concepção da origem dos raios X, o que é certo, é que ella faz comprehender a razão do facto singular desses raios estarem confinados num ponto do espectro tam distante das regiões até hoje exploradas, facto que contudo não poderia pesar na opinião, que se tivesse sobre a natureza dos raios X. A sciência é na verdade tam caprichosa nas suas descobertas, que não nos deveria surprehender demasiado a grande lacuna [$0\mu,1$ a $0\mu,00001$ (?)] existente na parte ultraviolete do espectro, lacuna aliás já interceptada pela descoberta dos raios BECQUEREL. Recordemos sômente, que entre as ondas eléctricas e as ondas calorificas existe tambem uma lacuna bem grande ($6^{\text{mm}} = 6000\mu$ a 30μ).

CAPÍTULO IX.

Técnica e applicações dos raios X¹.

77. A fonte de electricidade. — A produção dos raios X exige o emprego de correntes eléctricas de alta tensão e fraca intensidade. O phísico americano TROWBRIDGE² conta, que nas suas experiências só conseguiu obter os raios X com correntes de mais de 100:000 volts.

As máchinas estáticas pôdem satisfazer a essa condição; todavia, embora uteis para os estudos theóricos como fontes de corrente contínua, só muito excepcionalmente se usam na práctica. E, como a maior parte dos outros geradores primários de electricidade fornecem correntes de baixo potencial, é indispensavel recorrer ao emprego de transformadores. Tal é a razão, porque hoje na produção do raios X é quasi exclusivamente usado o carrête de indução de RUHMKORFF.

E' necessário, que o carrête dê faíscas, que tenham pelo menos 60^{mm} de comprimento; para a observação através de grandes espessuras, como o tronco humano, exigem-se carrêtes, que dêem faíscas de 200 a 300^{mm}. A voltagem da corrente primária deve naturalmente ser baixa: uma pequena bateria de pilhas de bichromato de potássio basta em geral para alimentar o carrête.

¹ Para mais amplas informações sobre o objecto deste capítulo, veja-se: W. J. MORTON, obra cit. — J. L. BRETON, *Rayons cathodiques et rayons X*. Paris, 1897.

² J. TROWBRIDGE, *Amer. Journ. of Sci.*, maio, 1897, p. 358.

Em vez de correntes polarizadas, continuas como as geram as máchinas estáticas, ou interrompidas como as das carrêtes de inducção, pôde usar-se das correntes alternativas hoje tam empregadas nas applicações industriaes. As disposições de TESLA ou de D'ARSONVAL, que produzem correntes de alta tensão e de alta frequência, dam bons resultados, mas sam difficeis de regular, e perfuram com facilidade a ampóla, se não ha um cuidado vigilante.

Querendo utilizar a força electromotriz, geralmente elevada, numa canalização de corrente contínua ou de correntes alternativas, é necessário o emprego de transformadores apropriados.

78. O tubo. — Construem-se actualmente ampólas de CROOKES de fórmas variadissimas¹, mas todas pretendem realizar um certo número de condições, que correspondem a outros tantos aperfeiçoamentos, e de que vamos dar uma rápida idéa.

A fonte dos raios X deve ter a extensão dum ponto, tanto quanto possível, afim de obter a máxima nitidez nos contornos. Daqui a fórma cóncava, que se dá ao cáthodo, e cujo fim é concentrar o feixe cathódico num ponto ou fóco, o que por outro lado augmenta a intensidade da radiação.

O anticáthodo, que se deve collocar no fóco, convém que seja, por várias razões, de natureza metálica.

Com effeito, o vidro metalliza-se com facilidade tornando-se opaco aos raios, e além disso resiste menos ao aquecimento produzido pelo bombardeamento cathódico, o que não succede, quando o anticáthodo é metálico; então pôdem empregar-se correntes mais intensas, ser maior o número de interrupções da corrente primária, e ser mais pro-

¹ Pódem vêr-se os desenhos e as descripções de 32 modelos na *Nature*, 28 de janeiro, 1897, p. 296.

longado o uso do tubo. Sem dúvida que os efeitos do aquecimento continuam a ser uma das causas de limitação da potência duma ampóla; e daqui vem o terem-se proposto ampólas em que o anticathodo está em contacto permanente com uma corrente de água fria; mas esta disposição, além de embaraçosa, parece que diminue a intensidade da radiação (SYLVANUS-THOMPSON), e bem assim que torna os raios dum caracter mais penetrante, o que pôde não ser util (48). Demais, sendo metálico o anticathodo, é facil electrizá-lo positivamente e augmentar assim a intensidade da emissão: basta para isso ligá-lo ao anodo (37).

A lâmina anticathódica de platina, que é o metal mais recommendado (37), convém evidentemente, que seja collocada com uma inclinação de 45° sobre a normal ao centro do cathodo.

Em Inglaterra é que primeiro se adoptáram as disposições, que vimos de descrever (JACKSON e PORTER), e foi lá que se começou a dar o nome de tubos «focus» ás ampólas construídas segundo tal norma.

Com o uso, o vazio do tubo vai diminuindo, e bem assim a emissão dos raios; ao mesmo tempo a resistência do tubo augmenta, como se verifica por meio do excitador de faíscas, e se não ha o cuidado necessário, o aquecimento exagerado das paredes e dos eléctrodos pôde chegar a inutilizar a ampóla. E' este o maior defeito práctico dos tubos de CROOKES, actualmente em uso.

O melhor meio de accudir á sobrerarefacção consiste em manter a bomba ligada ao tubo; mas é pouco práctico. Tem-se proposto, embora sem acceitação, a substituição da platina pelo alumínio.

Segundo Gouy o phenómeno é devido á absorpção dos gazes pelos eléctrodos e pelas paredes (14), o que suggere várias indicações. Assim convém, que o volume interior da ampóla não seja muito pequeno, porque então a diminuição do vazio será menos sensível; e ha vantagem, quando o phe-

nómeno se fizer sentir, em aquecer o tubo á lâmpada de alcohol, para libertar as bolhas de gaz incluídas nas paredes (LAFAY). Um meio, que tem sido adoptado com algum éxito, consiste em collocar numa dilatação lateral da ampóla um corpo, que por aquecimento ligeiro liberte uma certa quantidade de gaz; tem sido usado o carbonato de potássio (CROOKES), o palládio contendo hydrogénio ocluso (GUILLAUME e CHABAUD), um filamento de carvão com as extremidades no exterior (MORTON), etc.

A melhor fórma do tubo é a que se aproxima da esphera, porque a um maior volume corresponde menor superficie.

As extremidades exteriores dos eléctrodos devem ser bastante afastadas, para que se não dê a descarga pelo exterior, havendo pois vantagem em que os fios penetrem no tubo por meio de tubuladuras. Demais, afim de evitar fôcos secundários de raios X, convém que o cáthodo feche quasi a bóca da respectiva tubuladura (COLARDEAU).

Parece que a existencia dum segundo ánodo favorece a emissão. Foi SÉGUY, quem introduziu as ampólas bi-anódicas.

Quando se usam correntes alternativas, cada eléctrodo é um ano-cáthodo. Convém pois, que estejam dispostos de fórma que os feixes cathódicos vam ferir o mesmo ponto dum único anti-cáthodo.

Por meio de correntes de alta tensão e de alta frequência, D'ARSONVAL conseguiu obter raios com uma lâmpada eléctrica, que já havia sido posta de parte; mas a nitidez do contorno é muito prejudicada. Com as mesmas correntes TESLA obtém effeitos a 20^m do apparelho.

79. Condições operatórias.— E' necessário, que o observador se familiarize com o uso do diaphragma luminescente afim de velar pela boa emissão dos raios.

Uma das coisas, que importa fixar, é, como mostrou CHAPPUIS, o número de interrupções da corrente primária.

Quando esse número augmenta, a acção dos raios tende a augmentar; por outro lado a potência das correntes induzidas diminue, o que tende a produzir um effeito inverso. Ha pois um número de interrupções, que corresponde a um máximo de producção, e que deve ser determinado experimentalmente.

Quando se dispõe duma bomba pneumática, determina-se o melhor grau de vazio pelo método fluoroscópico.

Reconhece-se facilmente, que ha um grau de vazio a que corresponde um máximo de producção. Em volta deste ponto, embora a producção não soffra senão ligeiras variações, o character dos raios muda um pouco; o seu poder de penetração augmenta com o vazio (48). E' uma circumstância, a que o operador póde recorrer.

50. Fluoroscopia. — O método mais simplez de utilizar os raios X, consiste na visão directa das sombras, que os corpos interpostos no seu percurso, projectam sobre os diaphragmas illuminados pelos raios.

Duma maneira geral prepara-se um diaphragma luminescente pincelando com uma substância adhesiva uma folha transparente aos raios (cartão, mica, cellulóide, etc.), e espalhando em seguida sobre a folha a substância luminescente reduzida a pó muito fino.

Já anteriormente nos referimos ás substâncias mais usadas (51). Eis uma maneira de preparar o tungstenato de cálcio por meio do tungstenato de sódio, que é um producto commercial barato:

A uma solução aquosa de tungstenato de sódio juncta-se uma solução de chloreto de cálcio. Lava-se o precipitado branco obtido, e aquece-se numa cápsula de porcelana a calor brando. Em seguida funde-se sobre carvão á chamma do maçarico oxhídrico, e faz-se ferver durante alguns segundos. Finalmente deixa-se solidificar, e assim se obtém o corpo desejado. GUILLAUME recommenda, que se addicione

à solução de chloreto de cálcio uma pequena porção de chloreto de manganésio.

Para facilitar a observação das sombras pôde usar-se de qualquer das disposições seguintes:

SALVIONI¹ usa do *cryptoscópio*: é um tubo com a superfície interior pintada de preto, fechado numa das extremidades por um diaphragma luminescente com a face sensível voltada para dentro, e tendo na outra uma lente. Edison construiu um aparelho análogo, ao qual chamou *fluoroscópio*: está adaptado à visão binocular, e a distância do olho à sombra pôde fazer-se variar à vontade.

O objecto deve collocar-se próximo do diaphragma.

Para evitar sombras parasitas provenientes da descarga e de faíscas secundárias, recommenda-se cobrir o aparelho com um panno preto, que, como se sabe, não impede a acção dos raios.

81. Radiographia. — Quando entre a fonte de raios X e a placa photographica se interpõe um objecto opaco aos raios, obtém-se em negro sobre fundo claro, depois da revelação, o contorno ou melhor a *silhouette* do objecto: é o que se chama a sua radiographia, que, como se vê, differe totalmente da photographia ordinária.

A disposição experimental embora exija alguns cuidados, é todavia muito simplez. Tem-se em vista a nitidez da prova e a rapidez.

A óptica geométrica ensina-nos, que a penumbra de toda a sombra é tanto mais estreita e os contornos tanto mais nítidos, quanto a fonte é mais pequena, quanto a sua distância ao objecto é maior, e a do objecto á placa menor.

Por isso o objecto applica-se, sendo possível, contra a placa photographica depois de envolvida em papel preto. E

¹ SALVIONI, *Nature*, 5 de março, 1896, p. 424.

como não pôde afastar-se demasiado a placa da fonte dos raios, porque o tempo de exposição augmenta, convém sobretudo deminuir a extensão da fonte, porque o uso dos diaphragmas prejudica a rapidez.

E' claro, que tanto a nitidez como o tempo de exposição dependem em grande parte do objecto a radiographar. Com os tubos actualmente em uso alguns segundos bastam para obter a sombra do esqueleto da mão; para a cabeça e para o tronco a exposição é bem mais longa.

Cada operador deve fazer o estudo do seu tubo pelo exame comparado das acções fluoroscópicas e photographicas.

82. Aplicações cirúrgicas. — Foram principalmente estas applicações, que popularizaram a descoberta de RÖNTGEN, e sam ellas, pôde-se dizê-lo sem exaggêro, que fazem desta descoberta uma das grandes conquistas do homem neste século.

Seria ocioso tentar referir todos os casos, em que os raios X pôdem prestar serviços ao cirurgião. Bastará fallar dos mais geraes e por assim dizer tÿpicos.

O exame das affecções ósseas com o auxÍlio dos raios RÖNTGEN é particularmente vantajoso, porque essas affecções importam em geral uma destruição ou alteração do tecido e portanto uma deminuição da sua densidade, o que será revelado na sombra, que os raios produzem. Esta applicação dos raios permite sobretudo de limitar com bastante precisão a área invadida, o que nem sempre é possível doutra maneira; pôde assim contribuir para estabelecer ou confirmar o diagnóstico. Foram desse género as primeiras applicações feitas em França. LANNELONGUE¹, por meio da radiographia dum femur, pôde confirmar a sua opinião de que na osteomyelite a alteração se produz do centro para a su-

¹ LANNELONGUE, *Compt. rend.* de 27 de janeiro, 1896, p. 159.

perficie do osso e não inversamente como muito tempo se suppôs.

Ao mesmo grupo de applicações liga-se naturalmente o estudo das deformações congénitas do esqueleto (o que pôde muitas vezes guiar a intervenção cirúrgica), e o exame das ancyloses, onde pôde ser necessário decidir se a sua origem está no crescimento do osso ou no crescimento do tecido molle. Pôde ainda usar-se na cirurgia dentária, pelo facto da densidade dos dentes ser superior a dos ossos.

Um outro grupo de applicações refere-se aos casos de fracturas e deslocamentos, onde os raios X constituem um poderosíssimo meio de exploração. Não é só porém para auxiliar o trabalho da reducção, que é util o seu emprêgo; por meio da «lâmpada» de CROOKES o olhar do cirurgião pôde penetrar a derme e acompanhar, com segurança e sem soffrimento para o paciente, os progressos da consolidação.

Mas um dos mais valiosos serviços, que a descoberta de RÖNTGEN pôde prestar á cirurgia, é sem dúvida o que se refere á localização dos objectos extranhos, como ballas, agulhas, etc., alojadas no corpo. Imagine-se sobretudo os serviços, que os raios X poderám prestar em campanha. De resto a prova está feita: já no anno último, o Ministério da guerra inglês mandou para o alto Nilo com a sua expedição militar algunsapparelhos completos de raios X¹. Com mais razão diremos, que um hospital regularmente installado não pôde dispensar um apparelho completo de radiographia e de fluoroscopia; e, pôde accrescentar-se, que não será das máchinas do seu arsenal, a que menos occasião terá de ser usada.

Como é util em muitas circumstâncias fazer uma observação estereoscópica, indicaremos em poucas palavras a maneira de operar.

¹ Vid. MORTON, loc. cit., p. 152.

Supponhamos, para fixar idéas, que se tracta dum objecto alojado na mão. Colloca-se entre a mão e o papel sensível, com uma certa inclinação, um diaphragma metálico munido dum abertura, e tira-se a radiographia. Em seguida dá-se ao diaphragma uma inclinação inversa da primeira e tira-se uma nova radiographia. As duas imagens assim obtidas, collocadas a uma distância conveniente num estereoscópio ordinário, dam com bastante nitidez a sensação do relêvo e por conseguinte a situação do corpo extranho ¹.

Melhor ainda é o methodo de BUGUET. Tractando-se por exemplo dum agulha introduzida num braço, dirigem-se sobre a respectiva região os raios X de duas ampólas; a recta, que une os centros de emissão, deve encontrar-se sobre o plano, que passa pela extremidade da agulha, e que é perpendicular á sua projecção sobre a placa sensível, em que poisa o braço; mede-se a distância dos pontos entre si e a sua distância commum á placa; medindo depois a distância das duas imagens da extremidade da agulha, é facil por um cálculo simplez determinar a distância desta extremidade á placa sensível, e por conseguinte a sua distância á epiderme. Póde repetir-se a operação para a outra extremidade, mas em geral é dispensavel.

83. Em muitos casos os raios X poderám fornecer preciosas indicações para os diagnósticos puramente médicos.

BOUCHARD ², por exemplo, serviu-se com éxito da fluoroscopia num caso de derramamento pleurético, que se accusava no diaphragma luminescente por uma mancha escura do lado do pulmão doente; repetindo diáriamente as operações, BOUCHARD viu esta mancha desaparecer pouco e pouco, á medida que a reabsorpção progredia. Todavia percebeu a persistência dum zona escura num doente, que

¹ IMBERT e BERTIN-SANS, *Compt. rend.* de 30 de março, 1896, p. 786.

² BOUCHARD, *Compt. rend.* de 28 de dezembro, 1896, p. 1234.

possuía uma infiltração tuberculosa não suspeitada; num outro, em que o exame micrográfico dos escarros nada tinha indicado, viu ao cabo dalguns dias produzir-se uma opacidade e depois todos os symptomas de tuberculose.

Imagine-se pois quanto os raios X podem ser uteis a um clínico experimentado na observação fluoroscópica dos seus doentes.

§4. Aplicações diversas. — Mas os raios X sam susceptíveis das mais variadas applicações, embora as cirúrgicas mereçam pela sua importância o primeiro logar.

Entre as mais interessantes contam-se as que dizem respeito aos estudos anatómicos.

Assim, para a comprehensão das relações dos ossos nas articulações, para o conhecimento das phases successivas da ossificação, para o estudo da distribuição dos vasos numa dada região do cadaver injectada com uma substância opaca aos raios, para o exame da estructura dos pequenos vertebrados e doutros animaes inferiores, os raios X podem ser dum grande auxílio.

Numa das radiographias mais curiosas, que tive occasião de vêr, compara-se o esqueleto dum pé descalço com o esqueleto do mesmo pé comprimido no calçado. As phalanges dos dedos acham-se neste último numa posição de verdadeira tortura, tam deslocados estão ¹.

E' lícito pois dizer-se, que numa certa medida a photographia pelos raios X póde substituir tanto a dissecção como a vivisecção.

Nas applicações de que temos fallado quasi sómente se tem aproveitado a differença de opacidade dos ossos e dos tecidos molles. Uma differença do mesmo género noutras substancias póde, em determinados casos, fazer dos raios X um reagente práctico de certa utilidade.

¹ Vid. J. L. BRETON, loc. cit., pp. 36 e 37.

E' assim, que GIRARD e BORDAS ¹, no laboratório municipal de Paris, têm conseguido por meio dos raios RÖNTGEN denunciar engenhos anarchistas em muitos invólucros suspeitos.

No mesmo principio se funda o reconhecimento de certas falsificações, o que não é dos usos menos interessantes dos raios X. Citaremos dois exemplos e com elles fecharemos o nosso trabalho.

O estudo do grau de transparência das pedras preciosas pôde fornecer aos joalheiros uma maneira rápida de descobrir muitas imitações. Assim é facil, num aderêço de brilhantes, saber se ha alguns que sejam falsos: enquanto os verdadeiros, que sam carbono crystallizado, projectam apenas uma ligeira sombra no papel sensível, as imitações, geralmente de natureza mineral como vidro de óxydo de chumbo, produzem uma sombra carregada.

RANWEZ ², radiographando amostras de diferentes substâncias vegetaes, pôde descobrir facilmente, pelo carregado da sombra produzida, falsificações de origem mineral. A análise radiográfica denunciou, por exemplo, numa amostra de açafião, a presença duma substância mineral, que a análise chymica mostrou ser o sulfato de báryo.

¹ CH. GIRARD e F. BORDAS, *Compt. rend.* de 2 de março, 1896, p. 528.

² F. RANWEZ, *Compt. rend.* de 13 de abril, 1896, p. 841.

Índice das matérias

Prefácio.....	PAG. VII
---------------	-------------

PRIMEIRA PARTE.

Os raios cathódicos.

CAPÍTULO I.

Descargas nos gazes rarefeitos.

1-2. Aparência da descarga.....	1
3. Propagação da descarga.....	6
4-6. Raios cathódicos.....	7
7-8. Estado eléctrico dos tubos de descarga.....	10

CAPÍTULO II.

Propriedades dos raios cathódicos.

9-10. Acções luminescentes.....	13
11-12. Acções chymicas e photographicas.....	15
13-14. Acções mechánicas e caloríficas.....	16
15. Acções eléctricas.....	17
16-17. Acção de um campo magnético.....	18
18. Heterogeneidade dos raios cathódicos.....	19

	PAG.
19-21. Acção dum campo electrostático. Experiências de JAU- MANN.....	21
22-23. Propagação no interior do tubo: direcção e velocidade, reflexão e transparência.....	25
24-26. Propagação no exterior do tubo. Experiências de LE- NARD.....	27

CAPÍTULO III.

Natureza dos raios cathódicos.

27. Theoria da conducção molecular.....	32
28-29. Theoria da conducção electrolytica.....	34
30-31. Ainda sobre a natureza material dos raios cathódicos..	38
32. Theoria das ondulações transversaes.....	42
33-34. Theoria das ondulações longitudinaes.....	44

SEGUNDA PARTE.

Os raios X de Röntgen.

CAPÍTULO IV.

Óptica dos raios X.

35-36. A descoberta de Röntgen.....	49
37-38. Emissão.....	51
39. Lei de propagação.....	54
40. Reflexão.....	55
41. Refracção.....	58
42. Difracção.....	58
43. Polarização.....	60
44. Velocidade.....	61
45-47. Transparência e opacidade.....	62
48. Heterogeneidade.....	66
49-50. Acção do íman. Efeito LAFAY.....	68

CAPÍTULO V.

Acções luminescentes e photographicas
dos raios X.

	PAG.
51-52. Fluorescência visível	71
53. Fluorescência invisível	75
54. Acções photographicas	77

CAPÍTULO VI.

Acções eléctricas dos raios X.

55-57. Acção sobre os corpos electrizados.....	79
58-61. Leis da acção eléctrica.....	84
62-63. Mechanismo do phenomeno.....	88
64. Acções eléctricas diversas	91
65. Energia dos raios X	93

CAPÍTULO VII.

Outras radiações novas.

66. As fontes de raios X	94
67-68. Raios BECQUEREL.....	94
69. Raios de descarga.....	98
70. Raios LE BON (?).....	99

CAPÍTULO VIII.

Natureza dos raios X.

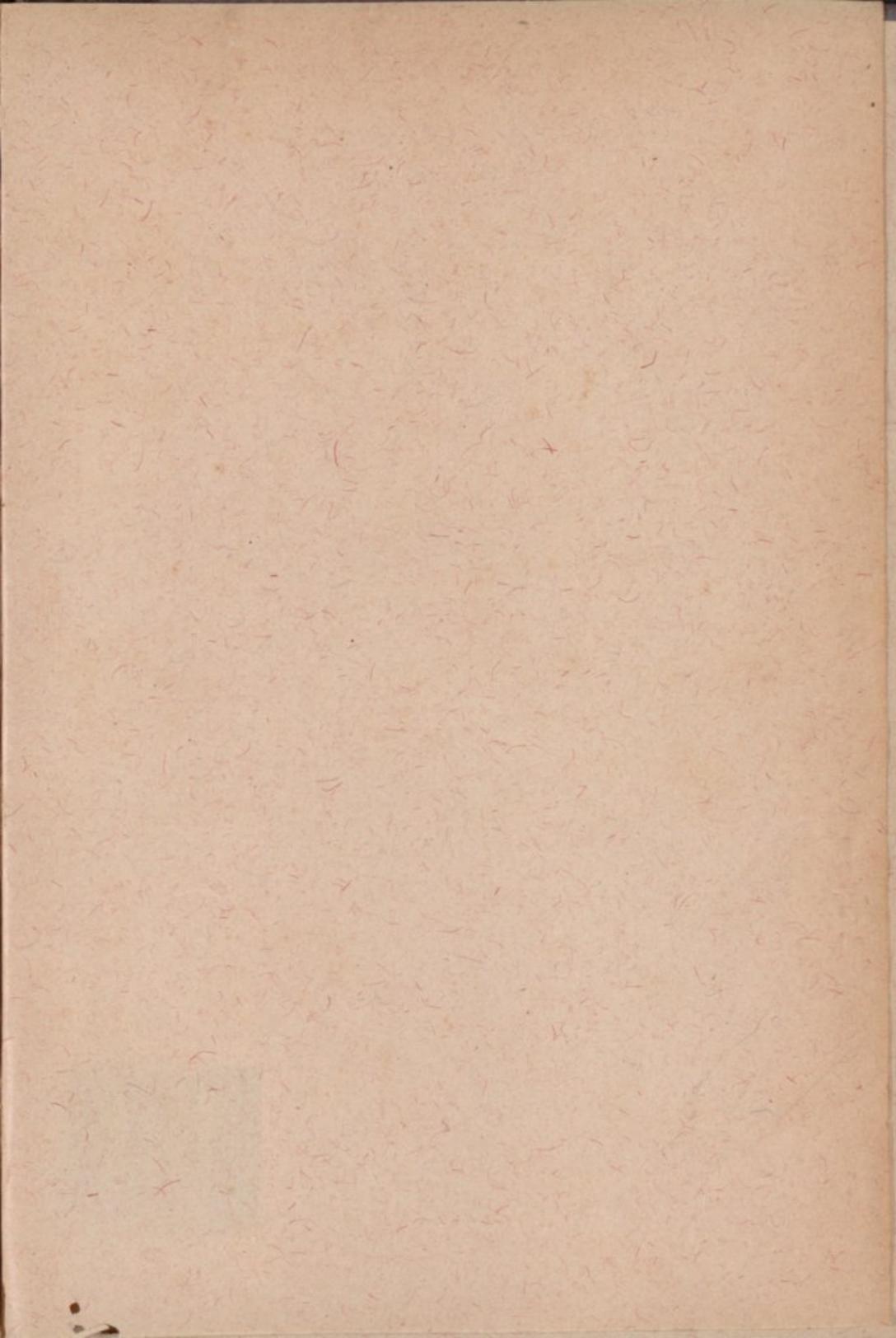
71. Theoria da emissão.....	102
72. Theoria das ondas longitudinaes	103
73. Theoria dos turbilhões.....	105
74-76. Theoria das ondas transversaes.....	106

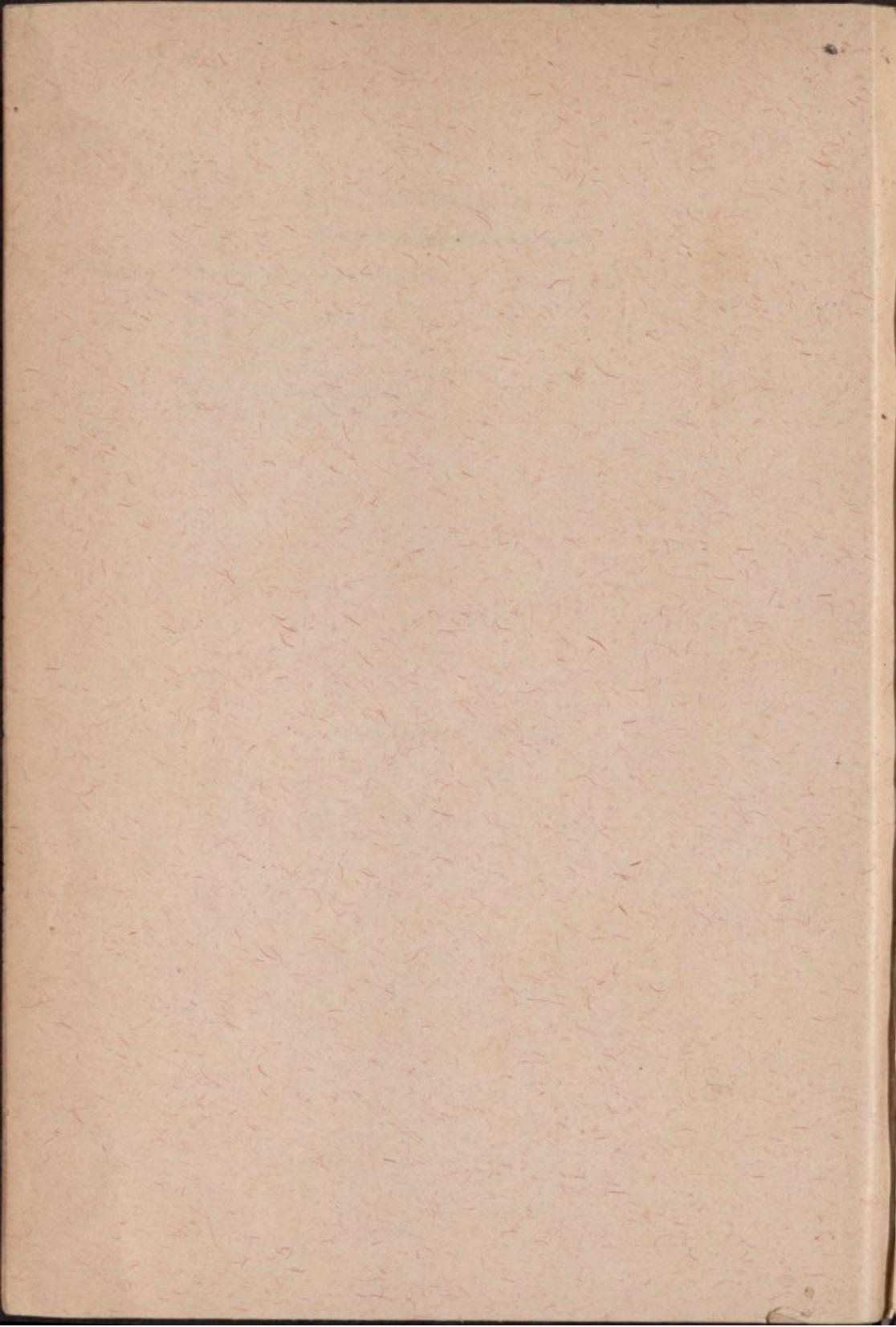
CAPÍTULO IX.

Técnica e applicações dos raios X.

	PAG.
77. A fonte de electricidade.....	114
78. O tubo.....	115
79. Condições operatórias.....	117
80. Fluoroscopia.....	118
81. Radiographia.....	119
82-83. Applicações cirúrgicas.....	120
84. Applicações diversas.....	123

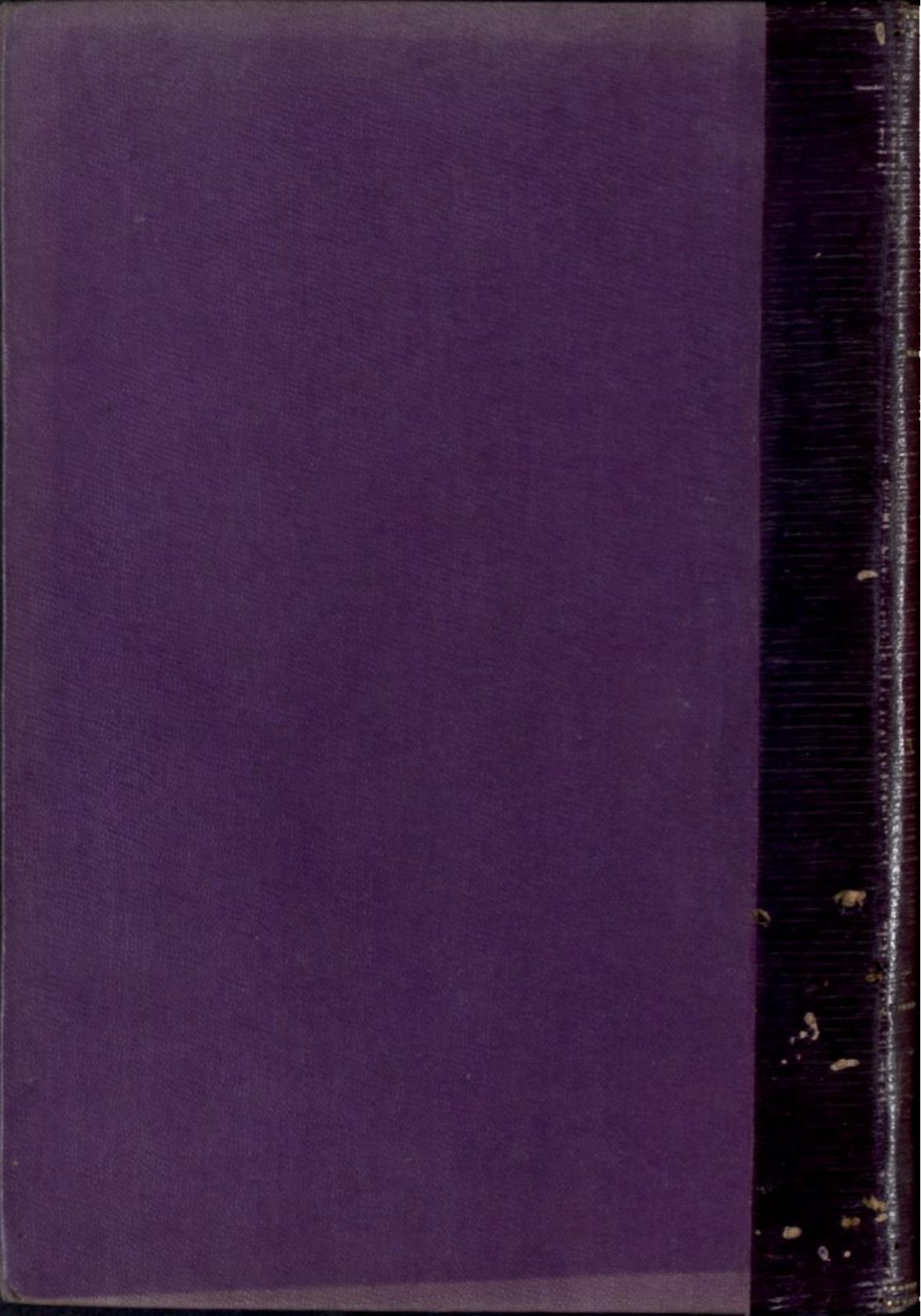
FIM DO ÍNDICE DAS MATÉRIAS.







60984 81800



1895

S. BASTO - DISSERTAÇÃO INAUGURAL

EM FÍSICA

FEITA EM 1908

EM ACADEMIA DE CIÊNCIAS

DE LISBOA

COM O TÍTULO DE

DEBATE

DE

DE