

Observações adicionais das propriedades dos raios X

Descritores:

História da Radiologia; W.C. Röntgen – terceira publicação; Raios X.

O primeiro trabalho de Röntgen, de 28 de dezembro de 1895, é uma obra que impressiona pela apurada análise crítica e poder de observação. Ele vivia entre os gigantes da Física. Assistente de grandes físicos, Professor e, naqueles dias, o Reitor da Universidade^[1], repetia experiências de Lenard com os raios catódicos quando observou o detalhe da folha fluorescente. Melhor dizendo, desta vez observou como devia, pois já tinha visto o fenômeno antes^[2] e não percebera a sua importância. Metodicamente, descobriu praticamente tudo o que se sabe sobre os raios X, deixando muito pouco para os outros estudiosos. No segundo, de 9 de março de 1896, o autor acrescenta algumas observações, relatadas após toda a agitação resultante da divulgação de sua descoberta^[3]. E no terceiro, apresentado um ano depois, em 10 de março de 1897, conclui seus estudos sobre os novos raios. Pessoalmente, creio que nem mesmo Röntgen teve a visão do alcance total de sua descoberta, a revolução que causaria na Medicina. Cada vez que leio o assunto, e ainda busco na internet mais e mais informações sobre isso, fico mais satisfeito por esta descoberta não ter sido feita por um mercenário, com visão unicamente mercantil do mundo. Röntgen era considerado um observador meticuloso, sistemático, que seguiria o método lógico para constatar qualquer detalhe. E sua observação diferenciada daquilo que esteve sob os olhos de diversos pesquisadores da época, mas que ninguém viu, demonstra essa perspicácia e sua característica pessoal. Trocando mensagens com o diretor de um museu dedicado à Radiologia e Röntgen, para conseguir os textos originais em alemão — eventuais dúvidas na tradução do inglês poderiam ser tiradas com amigos que entendem alemão e, assim, consegui os arquivos do tipo “pdf” dos três artigos originais —, chegamos a uma conclusão lógica e comum: Röntgen foi realmente um grande sujeito!

Antonio Carlos Pires Carvalho¹

3. Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen; von W. C. Röntgen. (Dritte Mittheilung.)

3. Observações adicionais das propriedades dos raios X; de W. C. Röntgen. (terceiro comunicado)

1. Se alguém coloca uma lâmina opaca entre um aparato de descargas [1] que emite raios X intensos e um cartão fluorescente numa distância tal que a sombra da lâmina cobre totalmente o cartão, ainda se poderá detectar uma certa luminosidade do platinocianureto de bário. Essa luz pode, igualmente, ser vista se o ecrã estiver situado diretamente sobre a lâmina, o que inicialmente leva a pensar que a lâmina é transparente. Entretanto, se o ecrã situado na lâmina é coberto com uma espessa placa de vidro, a luz fluorescente permanece muito mais fraca e desaparece inteiramente se, em vez de uma placa de vidro, o ecrã for colocado em um cilindro de folha de chumbo com 0,1 cm de espessura, o qual terá uma das extremidades fechada pela lâmina opaca e na outra estará a cabeça do observador.

[1] Todos os tubos de descargas mencionados no comunicado a seguir são construídos de acordo com os princípios mostrados no parágrafo 20 do meu segundo comunicado. Eu obtive um grande número deles da firma “Greiner and Friedrichs” de Stützerbach i. Th., à qual eu gostaria de expressar publicamente meus agradecimentos por colocar abundante material à minha disposição gratuitamente.

Recebido para publicação em 27/1/2006. Aceito, após revisão, em 3/5/2006.

Tradução de Antonio Carlos Pires Carvalho, a partir da versão em inglês de Otto Glasser (On a new kind of rays, disponível na internet no link: <http://www.mindfully.org/Nucs/Roetgen-X-Rays28dec1895.htm> e extraída de Glasser O. Wilhelm Conrad Röntgen and the early history of the Röntgen rays. Springfield, IL: Charles C. Thomas, 1945).

¹ Professor Adjunto do Departamento de Radiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Correspondência: Prof. Dr. Antonio Carlos Pires Carvalho. Rua José Higino, 290, ap. 401, Tijuca. Rio de Janeiro, RJ, 20520-200. E-mail: acpcrj@hucff.ufrj.br

O fenômeno descrito pode ter sido produzido por difração de raios de comprimento de onda muito longo ou pelo fato que raios X são emitidos de substâncias envolvendo o aparato de descargas, notadamente do ar irradiado.

A última explicação é a correta e pode facilmente ser demonstrada com o seguinte aparato, entre outros.

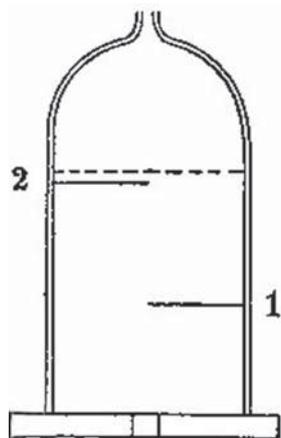


Fig. 1.

A Figura 1 representa um vaso em forma de sino com parede de vidro muito espessa, de 20 cm de altura e 10 cm de largura, que é fechado e selado com uma folha pesada de zinco. Em 1 e 2 são inseridos segmentos circulares de folhas de chumbo que são um pouco mais largos que metade da seção de corte do vaso e que irão impedir os raios X que entrem no vaso através da abertura na folha de zinco, que é coberta com uma película de celulóide, de passarem em linha reta ao espaço acima do disco 2. No lado de cima do disco de chumbo é fixado um pequeno ecrã de platinocianureto de bário, que quase preenche toda a seção de corte do vaso. Este não pode ser atingido por raios diretos, mas por aqueles que tenham sofrido uma reflexão primária difusa em uma substância sólida (por exemplo, a parede de vidro). O vaso é preenchido com ar limpo, livre de poeira, antes de cada experimento. Se os raios X entram no vaso, primeiro de modo que sejam bloqueados pela lamina de chumbo 1, não será vista nenhuma fluorescência próxima da lâmina 2; somente quando o vaso é inclinado de modo que raios diretos possam entrar no espaço entre 1 e 2 o ecrã fluorescente mostra alguma iluminação da metade não coberta pelo segundo disco de chumbo. Se o vaso é conectado a um aspirador de água, nota-se que a fluorescência permanece gradualmente mais fraca quando a evacuação progride. Se o ar é readmitido, a intensidade aumenta novamente.

Desde então, como observado anteriormente, o mero contato com ar que tenha sido irradiado há pouco não produz nenhuma fluorescência observável do platinocianureto de bário, pode-se concluir do experimento descrito que o ar emite raios X em todas as direções enquanto está sendo irradiado.

Se nosso olho fosse tão sensível aos raios X como é para a luz, um aparato de descargas apareceria para nós como uma chama queimando em uma sala que está uni-

formemente preenchida por fumaça de tabaco; talvez a cor da irradiação direta e aquela proveniente das partículas de ar possam ser diferentes.

Eu ainda não fui capaz de responder a questão sobre se os raios que são emitidos de substâncias irradiadas são da mesma espécie que aqueles que incidem nelas, ou, em outras palavras, se a reflexão difusa ou fenômeno similar à fluorescência é a causa desses raios; que os raios vindos do ar são fotograficamente efetivos pode facilmente ser provado; na verdade, o efeito é notável, algumas vezes de uma maneira desagradável ao observador. Para evitar isto, é freqüentemente necessário, especialmente para longos períodos de exposição, que placas fotográficas sejam guardadas em recipientes adequados de chumbo.

2. Para comparar a intensidade da radiação de dois tubos de descargas e para outros experimentos eu usei um dispositivo que é adaptado posterior do fotômetro Bouguer e que chamaria simplesmente de fotômetro. Uma folha de chumbo retangular, 35 cm de altura e 150 cm de comprimento e 0,15 cm de espessura, é colocada verticalmente no centro de uma longa mesa e apoiada por tábuas. De cada lado dela é colocado um tubo de descargas que pode ser movido ao longo da mesa. Em uma extremidade da faixa de chumbo um ecrã fluorescente [2] é afixado de modo que cada metade recebe perpendicularmente os raios de apenas um dos tubos. As medidas foram ajustadas para se obter igual intensidade da fluorescência em ambas as metades.

Algumas observações do uso deste instrumento devem ser feitas aqui. Primeiro, deve ser estabelecido que ajustes são freqüentemente muito difíceis de fazer por causa da inconstância da fonte de radiação; o tubo responde a cada irregularidade na interrupção da corrente primária, como ocorre com o interruptor de Deprez e notadamente com o de Foucault. É aconselhável fazer repetidos ajustes.

Em segundo lugar, eu gostaria de indicar os fatores que regem o brilho de um dado ecrã fluorescente que é bombardeado por raios X em tão rápida sucessão que o olho do observador pode não detectar a intermitência da radiação. O brilho depende: (1) da intensidade da radiação emitida da placa de platina do tubo; (2) muito provavelmente do tipo de raios que atin-

[2] Neste e em outros experimentos o ecrã fluorescente de Edison mostrou-se muito útil. Consiste em uma caixa similar a um estereoscópio, que pode ser apertado na cabeça do observador e cujo cartão é coberto com platinocianureto de bário. Edison usa tungstato de cálcio em vez de platinocianureto de bário, mas eu prefiro este último por várias razões.

gem o ecrã, uma vez que nem todos os tipos de radiação causam o mesmo grau de fluorescência (ver abaixo); (3) a distância do ecrã ao ponto de emissão dos raios; (4) a absorção dos raios no caminho para o platinocianureto de bário; (5) o número de descargas por segundo; (6) da duração de cada descarga; (7) da duração e intensidade do brilho do platinocianureto de bário; e (8) a radiação originada em materiais envolvendo o tubo de descargas e incidindo no ecrã. Para evitar enganos, deve-se sempre lembrar que, em geral, estas condições são similares a uma comparação da ação fluorescente produzida por duas fontes de luz intermitentes de cores diferentes que são envolvidas por um envelope absorvente e colocadas dentro de material turvo ou fluorescente.

3. Em acordo com o parágrafo 12 de minha primeira comunicação [3], a parte do aparato de descargas que é atingida por raios catódicos é o ponto de emissão dos raios X que se espalham “em todas as direções”. Agora é interessante aprender como a intensidade dos raios varia com a direção. Para esta investigação, os aparatos de descargas esféricos com placas de platina suavemente polidas às quais os raios catódicos atingem em um ângulo de 45° são os mais adequados. Iguamente sem instrumentos pode-se reconhecer do brilho uniforme da fluorescência na parede hemisférica de vidro em cima da placa de platina que não há grandes variações na intensidade em diferentes direções e que, portanto, a lei de Lambert de emissão não pode considerada aqui; apesar disso, essa fluorescência podia, ainda, ser produzida em grande parte pelos raios catódicos.

Em um teste mais acurado, a intensidade da radiação emitida em diferentes direções de vários tubos foi examinada com o fotômetro; além disso, com o mesmo propósito expus filmes fotográficos curvados em forma de semicírculo (raio de 25cm) com a placa de platina do aparelho de descargas em seu centro. Em ambos os procedimentos, entretanto, a variação na espessura das diferentes áreas da parede do tubo torna-se muito perturbadora, uma vez que isso causa raios X procedentes em diferentes direções para serem absorvidos em graus diferentes. Entretanto, parece inteiramente provável equalizar a espessura do vidro através dos quais os raios passam por interposição de finas lâminas de vidro.

O resultado destes experimentos é que a radiação através de um hemisfério imaginário, com a placa de platina em seu centro, é praticamente uniforme, mesmo

perto de suas margens. Somente quando o ângulo de emissão dos raios X alcançou 80° , pude eu detectar o começo de um decréscimo na radiação, mas igualmente este decréscimo é ainda relativamente pequeno, desse modo a principal variação de intensidade ocorre entre 89° e 90° . Eu não fui capaz de observar uma diferença no tipo de raios emitidos em diferentes ângulos

Considerando a distribuição descrita da intensidade dos raios X, imagens da lâmina de platina, observadas ou na tela fluorescente ou na chapa fotográfica, por meio de uma câmera “pinhole” ou com uma fenda estreita, devem ser mais intensas quanto maior o ângulo entre a lâmina de platina e o ecrã ou chapa fotográfica, provendo-se que o ângulo não exceda 80° . Fui capaz de confirmar esta conclusão por meio de convenientes dispositivos que permitiram a comparação de imagens obtidas simultaneamente em diferentes ângulos do mesmo tubo de descarga.

Em óptica encontramos, no caso da fluorescência, uma distribuição similar de intensidade das radiações emitidas. Se alguém adiciona algumas gotas de solução fluorescente na água de um tanque retangular e se iluminarmos o tanque com luz branca ou violeta, observa-se que a fluorescência mais brilhante provém das bordas das gotas lentamente pingadas de fluoresceína, que é o local onde o ângulo de emissão de luz fluorescente é maior. Mr. Stokes, por ocasião de experimento similar já tinha explicado que o fenômeno é devido ao fato de que os raios que excitam a fluoresceína são absorvidos em maior dimensão pela solução de fluoresceína do que pela luz fluorescente. Agora, é mais notável que também os raios catódicos, que produzem raios X, são absorvidos por platina em uma proporção muito maior que os raios X, e o postulado sugere que uma relação existe entre os dois fenômenos — a transformação da luz em luz fluorescente e dos raios catódicos em raios X. Entretanto, até o momento não existem evidências definitivas para esta hipótese.

Também as observações da distribuição de intensidade dos raios emitidos da lâmina de platina têm um certo significado com respeito à técnica de produção de sombras de figuras com raios X. De acordo com o estabelecido previamente, é aconselhável colocar o tubo de descargas em uma posição tal que os raios usados na produção da figura deixem a platina no maior ângulo possível, embora ele não deva ser maior que 80° , deste modo se obtém a figura mais sombreada possível. E se a lâmina de platina é bem plana e se o tubo tiver sido construído de modo que os raios oblíquos não tenham que passar através de uma parede de vidro consideravelmente mais espessa do que os raios que são emitidos

[3] Sitzungsberichte der physik.-mediz. Gesellschaft zu Würzburg. Jahrg. 1895.

perpendicularmente à lâmina de platina, então a radiação incidente sobre o objeto no dispositivo descrito não sofrerá uma redução na intensidade.

4. Em meu primeiro comunicado designei “transparência de um material” como a razão entre o brilho de uma tela fluorescente colocada perpendicularmente aos raios diretamente atrás do material e o da mesma tela nas mesmas condições sem interposição do material. Transparência específica de uma substância será usada para indicar a transparência relativa à unidade de espessura da substância, que é equivalente ao “d” de origem da transparência, onde d é a espessura da camada transversa medida na direção dos raios.

Desde meu primeiro comunicado, tenho usado principalmente o fotômetro descrito previamente para determinar a transparência. Uma lâmina da substância a ser investigada — alumínio, estanho, vidro, e assim por diante — era colocada em frente de duas metades de telas fluorescentes de igual brilho, e a diferença no brilho deste modo produzido foi então comparada, um ou outro, por aumento da distância entre o aparato de descargas e uma metade descoberta da tela ou trazendo a outra. Em ambos os casos a razão corretamente determinada do quadrado das distâncias do aparelho de descargas à tela antes e depois de ajustes do aparato representa o desejado valor para a transparência da substância interposta. Ambos os métodos levam ao mesmo resultado. Após adicionar uma segunda lâmina à primeira, encontra-se do mesmo modo a transparência daquela segunda lâmina aos raios que tenham de fato passado através da primeira.

O procedimento descrito pressupõe que o brilho da tela fluorescente é inversamente proporcional ao quadrado da distância à fonte de radiação, e isto é verdade somente se, primeiro, se o ar não absorve ou emite raios X e, segundo, se o brilho da luz fluorescente é proporcional à intensidade da radiação, para raios de mesma espécie. Agora, a primeira condição certamente não é totalmente obedecida, e é duvidoso se a segunda o é. Eu então convenci a mim mesmo com experimentos, como descrito no parágrafo 10 de minha primeira comunicação, que desvios da Lei de proporcionalidade mencionada antes são tão pequenos que podem ser negligenciados em nosso caso. Considerando o fato que os raios X são também emitidos de substâncias irradiadas, deveria ser mencionado que, primeiro, nenhuma diferença pôde ser detectada com o fotômetro na transparência de uma lâmina de alumínio de 0,925 mm de espessura, e que de 31 folhas de alumínio, cada uma com 0,0299 mm de espessura, empilhadas uma a uma, 31

vezes 0,0299 é igual a 0,927; e segundo, que o brilho da tela fluorescente não era notavelmente diferente quando a lâmina era colocada diretamente em frente da tela ou a distância maior dela.

O resultado deste experimento de transparência para alumínio é como se segue:

Transparência de raios incidindo perpendicularmente	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 2
Primeira lâmina de 1 mm de espessura de Al	0,40	0,45	—	0,68
Segunda lâmina de 1 mm de espessura de Al	0,55	0,68	—	0,73
Primeira lâmina de 2 mm de espessura de Al	—	0,30	0,39	0,50
Segunda lâmina de 2 mm de espessura de Al	—	0,39	0,54	0,63

Destes experimentos e de similares com vidro e estanho, chegamos primeiro à seguinte conclusão: se alguém assume que as substâncias investigadas são divididas em camadas de igual espessura, colocadas perpendicularmente aos raios paralelos, vê-se que cada uma dessas camadas é mais transparente aos raios transmitidos que a anterior, em outras palavras: a transparência específica da substância aumenta com a espessura. Isto resulta em concordância completa com o observado na fotografia da pilha de folhas de estanho, como mencionado no parágrafo 4 de minha primeira comunicação, e também que o fato de que ocasionalmente, em fotografias as sombras de finas camadas, como por exemplo, do papel usado para envolver as chapas, são às vezes bem notadas.

5. Se duas lâminas de substâncias diferentes são igualmente transparentes, essa igualdade pode não persistir se a espessura das duas lâminas — e nada mais — é alterada na mesma proporção. Este fato pode ser provado muito simplesmente com duas lâminas, uma de platina e outra de alumínio, colocadas lado a lado. Para este propósito usei uma lâmina de platina de 0,0026 mm de espessura e uma de alumínio de 0,0299 mm de espessura. Quando coloquei a lâmina dupla à frente da tela fluorescente ou de uma chapa fotográfica e raios diretos sobre ela, encontrei em um caso, por exemplo, que uma única lâmina de platina era tão transparente quanto seis de alumínio. Entretanto a transparência de uma camada dobrada de platina não era igual à de 12, mas à de 16 folhas de alumínio. Com outro tubo de descarga encontrei que uma folha de platina equivale a 8 de alumínio e que 8 de platina equivalem a 90 de alu-

mínio. Estes experimentos provam que a razão da espessura da platina e alumínio de igual transparência é menor quanto mais finas as lâminas são.

6. A razão da espessura de duas lâminas igualmente transparentes de diferentes materiais depende da espessura e do material daquela substância — por exemplo, o vidro da parede do tudo de descargas — que os raios devem penetrar antes de alcançar a respectiva lâmina. Para provar esta conclusão — que não é inesperada, de acordo com o estabelecido nos parágrafos 4 e 5 — pode-se usar um dispositivo que denominei janela de platina-alumínio, o qual, como poderemos ver, é também útil para outros propósitos. Consiste em uma peça retangular de folha de platina (4,0 cm por 6,5 cm), 0,0026 mm de espessura, que é colada a uma fina tela de papel e na qual são perfurados 15 buracos redondos de 0,7 cm de diâmetro, arranjados em três colunas. Essas pequenas janelas são cobertas com discos de alumínio concisamente encaixados, cuidadosamente empilhados de maneira que haja um disco no primeiro furo, dois no segundo e assim sucessivamente, e finalmente, 15 discos no décimo quinto. Se esse dispositivo é colocado em frente a uma tela fluorescente, observa-se muito claramente, particularmente se o tubo usado não é muito rígido (ver abaixo), o número de discos de alumínio tendo uma transparência igual daquela da folha de platina. Esse número será chamado, em resumo, o número da janela.

Em um caso, quando usando radiação direta, obtive o número da janela 5, quando uma chapa de vidro ordinário de 2 mm de espessura foi interposta, o número da janela obtido foi 10; então a razão da espessura da folha de platina e alumínio de igual transparência foi reduzida para metade quando usei raios que passaram através de uma chapa de vidro de 2 mm de espessura, em vez daqueles que vêm diretamente do aparato de descargas, com queríamos demonstrar.

O experimento a seguir pode também ser mencionado aqui. A janela de platina-alumínio foi colocada em um pequeno pacote contendo 12 filmes fotográficos e foi, então, feita a exposição; depois da revelação o primeiro filme situado atrás da janela mostrou a janela número 10, o décimo segundo a janela número 13, e os outros, em seqüência própria, todos os degraus do 10 ao 13.

7. Os experimentos descritos nos parágrafos 4, 5 e 6 se referem a mudanças que os raios X emitidos de um tubo de descarga sofrem ao passar por diferentes substâncias. Será agora demonstrado que para uma e a mesma substância, e a mesma espessura atravessada a transparên-

cia pode ser diferente para raios emitidos de diferentes tubos.

Para este propósito, os valores para transparência de uma lâmina de alumínio de 2 mm de espessura produzidos em diferentes tubos são dados na tabela seguinte. Alguns desses valores foram tirados da primeira tabela na seção 4.

Transparência para raios incidindo perpendicularmente sobre uma folha de alumínio com 2 mm de espessura						
	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 5	Tubo 6
Transparência	0,0044	0,22	0,30	0,39	0,50	0,59

Os tubos de descarga diferem apenas ligeiramente na construção ou na espessura da parede de vidro mas variam sobretudo no grau de evacuação do gás contido e no potencial de descarga conseqüente a isto; no tubo 1 o menor e no tubo 5 o maior potencial de descarga, ou como se pode dizer por motivo de brevidade: o tubo 1 é o mais suave e o tubo 5 o mais intenso. A mesma bobina Ruhmkorff, diretamente conectada aos tubos, o mesmo interruptor e a mesma corrente primária foram usados em todos os casos.

Todos os outros materiais que foram investigados se comportaram similarmente ao alumínio. Todos são mais transparentes aos raios de um tubo mais intenso do que de um tubo mais suave [4]. Esse fato me pareceu merecer especial atenção.

A relação entre a espessura de duas lâminas igualmente transparentes de diferentes materiais parece ser dependente da intensidade do tubo de descarga usado. Pode-se reconhecer isto imediatamente com a janela platina-alumínio (parágrafo 5); usando um tubo muito suave obtém-se, por exemplo, a janela número 2, enquanto para muito intensos mas, sob outros aspectos, idênticos tubos, a leitura até o número 15 não é, igualmente, suficiente.

Isto significa que a relação de espessura da platina e alumínio de igual transparência é menor nos tubos quanto maior for a intensidade dos tubos que emitem os raios ou — considerando os resultados mencionados acima — menos absorvíveis os raios são.

O comportamento diferente dos raios produzidos em tubos com diferentes graus de intensidade é também evidente, claro, nas familiares sombras de figuras de mãos, e assim por diante. Usando um tubo muito suave se obtêm figuras escuras nas quais os ossos não são muito

[4] Sobre o comportamento de tubos “não normais”, ver após número 8.

proeminentes; quando um tubo mais intenso é usado os ossos tornam-se claramente visíveis em detalhes, enquanto as partes moles são débeis em comparação, e com um tubo muito intenso são obtidas apenas sombras fracas, mesmo dos ossos. Desta observação aprende-se que a escolha do tubo a ser usado depende da natureza do objeto a ser fotografado.

8. Deve também ser mencionado que a qualidade da radiação emitida do mesmo tubo depende de diferentes circunstâncias. Como a investigação com a janela platina-alumínio mostra, isto é influenciado: (1) pelo modo como o interruptor de Deprez ou Foucault [5] funciona em conexão com o aparato de indução, que é no caminho da corrente primária. Aqui deve ser mencionado o freqüentemente observado fenômeno que algumas descargas em rápida sucessão produzem raios X que são não apenas particularmente intensos mas também são distintos por sua absorção. (2) Por uma abertura com afastamento de eletrodos conectada em série no circuito secundário do aparato de descarga. (3) Por inserir um transformador Tesla no circuito. (4) Pelo grau de evacuação do aparato de descarga (como mencionado previamente). (5) Por vários mas não suficientemente entendidos, fenômenos no interior do tubo de descargas. Vários desses fatores merecem ser discutidos em mais detalhe.

Se pegamos um tubo que ainda não tenha sido usado ou evacuado e o conectamos a uma bomba de mercúrio, nós deveríamos alcançar, depois do necessário bombeamento e aquecimento do tubo, um grau de evacuação no qual os primeiros raios X poderiam ser notados por uma débil luz em uma tela fluorescente próxima.

Uma abertura com afastamento dos eletrodos conectada em paralelo com o tubo mostra centelhas de milímetros de comprimento, a janela platina-alumínio mostra números muito pequenos e os raios são muito absorvíveis. O tubo é “muito suave”. Agora, se uma abertura com afastamento dos eletrodos em série ou um transformador Tesla é inserido [6], raios mais intensos e menos absorvíveis são produzidos. Encontrei, por exemplo, em um caso que aumentando a abertura en-

tre os eletrodos em série o número-janela poderia gradualmente ser trazido de 2,5 até 10.

(Estas observações me deixaram curioso se os raios X não poderiam ser obtidos igualmente sob pressões mais altas ao usar um transformador Tesla. Este é realmente o caso: usando um tubo estreito com eletrodos de arame pude, do mesmo, modo obter raios X quando a pressão do ar vedado alcançou 3,1 mm de mercúrio. Se hidrogênio fosse usado, ao invés, a pressão poderia ser ainda mais alta. Não fui capaz de determinar a menor pressão sob a qual raios X ainda podem ser produzidos no ar; qualquer que seja o valor, estará situada abaixo de 0,0002 mm de mercúrio, assim aquele nível de pressões dentro dos quais raios X podem ser produzidos é já, muito amplo).

Como resultado da evacuação adicional de tubos “muito suaves” — conectados diretamente à bobina de indução —, a radiação torna-se mais intensa e uma porcentagem maior dela passa através do material irradiado: uma mão colocada em frente da tela fluorescente é mais transparente que antes, e números-janela mais altos são obtidos com a janela platina-alumínio. Ao mesmo tempo, a abertura dos eletrodos conectada em paralelo será intensificada com o objetivo de permitir que as descargas passem através do tubo: o tubo terá se tornado mais “intenso”. Se alguém evacua o tubo ainda mais, ele permanece tão “intenso” que a abertura dos eletrodos pode ser aumentada para além de 20 cm e, agora, o tubo emite raios aos quais os materiais são excessivamente transparentes: lâminas de ferro de 4 cm de espessura eram vistas como transparentes. O comportamento de um tubo com bomba de mercúrio conectado diretamente à bobina de indução com descrito acima, é normal, mas desvios desta norma, que são causados por peculiaridades das descargas, ocorrem freqüentemente. Às vezes o comportamento do tubo é completamente imprevisível.

Nós temos pensado que a intensificação de um tubo é produzida por contínua evacuação com uma bomba, mas isto também pode ocorrer de uma maneira diferente. Um tubo de média intensidade que tenha sido selado sem bomba, gradualmente virá a tornar-se mais intenso por si mesmo — infelizmente, quanto à duração de sua utilidade —, igualmente quando é usado corretamente para produzir raios X, que é, quando descargas passam através dele que não fazem, ou faz apenas fracamente a platina incandescer. Uma gradual auto-evacuação tem lugar.

Com tal tubo, que tinha se tornado muito “intenso”, eu obtive uma bela imagem da sombra fotográfica de um cano duplo de uma espingarda de caça com cartuchos

[5] Um bom interruptor Deprez funciona mais uniformemente que um interruptor Foucault; o último, entretanto, faz melhor uso da corrente primária.

[6] Que uma abertura com afastamento dos eletrodos atua similarmente a um transformador Tesla eu fui capaz de apontar na edição francesa de meu segundo comunicado (*Archives des Sciences Physiques*, etc., de Genève, 1896); na publicação alemã este comentário foi omitido por descuido.

no lugar, na qual todos os detalhes dos cartuchos, as imperfeições internas dos canos e assim por diante, podiam ser reconhecidos muito distinta e nitidamente. A distância entre a placa de platina do tubo de descarga e a chapa fotográfica era de 15 cm, o tempo de exposição 20 minutos — o qual é comparativamente longo por causa do menor efeito fotográfico dos raios menos absorvíveis (ver abaixo). O interruptor Deprez teve de ser substituído pelo Foucault. Seria interessante construir tubos suaves permitindo o uso de maiores potenciais de descarga do que tem sido possível até aqui.

A razão para a intensificação de um tubo que tenha sido selado sem bomba foi dada acima como auto- evacuação causada pelas descargas, entretanto, esta não é a única causa, alterações ocorrendo nos eletrodos também têm o mesmo efeito. No que eles consistem, eu não sei.

Um tubo que tenha se tornado muito intenso pode ser feito mais suave por admissão de ar, algumas vezes, também por aquecimento do tubo ou invertendo a direção da corrente e, finalmente, por enviar descargas muito intensas através dele. No último caso, entretanto, o tubo tem na maior parte adquirido outras propriedades que aquelas descritas acima. Isso algumas vezes, requer, por exemplo, uma descarga de potencial muito elevada e ainda emite raios de um relativamente baixo número-janela e grande absorvidade. Eu não desejo discutir mais extensamente o comportamento desses tubos “não normais” — os tubos construídos por Mr. Zehnder com vácuo ajustável, e que contêm um pequeno pedaço de carvão, têm sido muito úteis para mim.

As observações descritas neste parágrafo e outros levam à conclusão que a composição dos raios emitidos de um tubo de descarga equipado com um anodo de platina depende primariamente da duração da corrente de descarga. O grau de evacuação, a resistência, têm um papel apenas porque o modelo da corrente de descarga depende deles. Se alguém é capaz de produzir o tipo de descarga, que é necessário para a produção dos raios X, de qualquer outra forma, raios X podem também ser produzidos igualmente sob pressões relativamente altas.

Finalmente, é importante mencionar que a qualidade dos raios produzidos por um tubo é, do mesmo modo, de modo algum ou apenas parcialmente alterada quando a potência da corrente primária é alterada consideravelmente, mostrando que o interruptor funciona do mesmo modo em todos os casos. Ao contrário, a intensidade dos raios é considerada ser proporcional, dentro de certos limites, à intensidade da corrente primária, como demonstrado pelo seguinte experimento. As distâncias do aparato de descargas aos quais, em certas circunstâncias, a fluorescência do ecrã de platinocianu-

reto de bário era simplesmente notada equivalia a 18,1 m, 25,7 m e 37,5 m quando a intensidade da corrente primária era aumentada de 8 para 16 e 32 Amp. Os quadrados daquelas distâncias estão, aproximadamente, na mesma razão das correntes correspondentes.

9. Os resultados descritos nos últimos cinco parágrafos foram obtidos diretamente dos respectivos experimentos mencionados acima. Se alguém verificar o conjunto destes resultados individuais, alcançará, parcialmente guiado por analogia, que existem entre o comportamento dos raios ópticos e dos raios X, as seguintes influências:

- (a) A radiação emitida do aparato de descarga consiste de uma mistura de raios de diferentes graus de absorção e de diferentes intensidades.
- (b) A composição da mistura depende essencialmente do tempo da corrente de descarga
- (c) Os raios que são seletivamente absorvidos por várias substâncias diferem para diferentes materiais.
- (d) Uma vez que raios X são produzidos por meio de raios catódicos e como ambos têm propriedades comuns — como produção de fluorescência, efeitos elétricos e fotográficos, absorção, os quais dependem essencialmente da densidade do material irradiado, e assim em diante — a hipótese sugerida é que ambos os fenômenos são processos de mesma natureza. Sem estar disposto a aderir incondicionalmente a este ponto de vista, posso relatar que os resultados nos últimos parágrafos tendem a remover uma dificuldade que se opunha a esta hipótese. Esta dificuldade existia, por um lado, na grande diferença entre a absorção dos raios catódicos estudados por Mr. Lenard e a dos raios X e, secundariamente, no fato de que a transparência dessas substâncias para os raios catódicos segue uma lei em relação à densidade da substância diferente daquela para a transparência dos raios X. Com respeito ao primeiro ponto, dois fatos devem ser considerados: (1) Vimos no parágrafo 7 que há raios X variando grandemente em absorção, e sabemos das investigações de Hertz e Lenard que diferentes raios catódicos também diferem entre si em sua absorção, assim se o “tubo mais suave” mencionado no parágrafo 7 produz raios X cuja absorção de modo algum aproxima-se daquela dos raios catódicos investigados por Mr. Lenard, lá existem sem dúvida raios X de mais alta absorção e, por outro lado, raios catódicos de menor absorção. Isto, portanto, dá a impressão completamente possível que, em experimentos adicionais, raios poderão ser encontrados

que, do modo que sua absorção diga respeito, formem um elo entre um tipo de raios e o outro. (2) Encontramos no parágrafo 4 que quanto mais delgada a camada de uma substância irradiada menor é sua transparência específica. Conseqüentemente, se tivéssemos usado em nossos experimentos placas tão finas quanto aquelas de Mr. Lenard, certamente teríamos encontrado valores para a absorção dos raios X que teriam sido próximos daqueles de Lenard.

Com respeito às diferentes influências da densidade de substâncias sobre sua absorção dos raios X e dos raios catódicos, também pode ser explicado que esta diferença encontrada é a menor e que mais facilmente os raios X absorvíveis são (parágrafos 7 e 8) e mais finas as placas irradiadas (parágrafo 5). Conseqüentemente, a possibilidade deve ser admitida, de que a diferença no comportamento dos dois tipos de radiação, bem como a mencionada previamente, pode desaparecer em experimentos adicionais. Os mais próximos em sua absorção são os raios catódicos produzidos especialmente em tubos “muito intensos” e os raios X, preferencialmente emitidos de placas de platina, em tubos “muito suaves”.

10. Além da fluorescência por excitação, os raios X também exercem, como é bem conhecido, efeitos fotográficos, elétricos e outros, sendo de interesse saber em que grau estes são semelhantes se a fonte de radiação é alterada. Tive de me confinar para uma comparação dos dois primeiros efeitos mencionados.

A janela platina-alumínio é novamente muito útil para este propósito. Uma delas foi colocada sobre uma chapa fotográfica embrulhada, uma segunda foi posta em frente ao ecrã fluorescente e ambas foram posicionadas a igual distância do aparato de descargas. Os raios X tinham de atravessar o mesmo meio para alcançar a camada sensível da chapa fotográfica e do platinocianureto de bário. Durante a exposição observei o ecrã e determinei o número da janela, depois a chapa fotográfica era revelada, o número de janela era também determinado sobre ela e então ambos os números eram comparados. Como resultado de tais experimentos, nenhuma diferença foi observada quando tubos mais suaves eram usados (número de janela 4 a 7); quando usando tubos mais intensos, pareceu-me como se o número de janela na chapa fotográfica fosse ligeiramente menor, mas no máximo apenas uma unidade, que quando determinado com o ecrã fluorescente. Entretanto, esta observação, embora confirmada repetidamente, permanece não inteiramente incontestável, desde que a determinação do número de janela mais alto

no ecrã fluorescente é, antes, incerta. Absolutamente certo, porém, é o seguinte resultado. Se, com o fotômetro descrito no parágrafo 2, alguém ajusta um tubo intenso e um suave para produzirem brilho igual no ecrã fluorescente e se então, substitui-se o ecrã por uma chapa fotográfica, será observado, depois que a chapa é revelada, que a metade que foi irradiada pelos raios do tubo mais intenso é consideravelmente menos escurida que a outra metade. A radiação que produz igual intensidade de fluorescência tem diferente efeito fotográfico. Avaliando este resultado, alguém não errará ao considerar que tanto o ecrã fluorescente quanto a chapa fotográfica utilizam completamente os raios incidentes, ambos transmitem muitos raios que podem também produzir fluorescência ou efeitos fotográficos. O resultado obtido, portanto, aplica-se somente para espessuras comuns das camadas fotográficas sensíveis e da camada do platinocianureto de bário. O quanto transparente a camada sensível da chapa fotográfica é, igualmente para raios X de tubos de média intensidade, é provado por um experimento no qual 96 filmes, um empilhado sobre o outro, foram colocados a 25 cm da fonte de radiação e expostos por cinco minutos, o conjunto protegido contra radiação do ar por uma folha de chumbo. Um efeito fotográfico pode ser claramente reconhecido mesmo na última das chapas, enquanto a primeira está intensamente superexposta. Induzido por esta e por observações similares, perguntei a vários fabricantes de chapas fotográficas se não seria possível produzir chapas que fossem mais adaptadas à fotografia com raios X do que as chapas comuns. As amostras obtidas, entretanto, não foram úteis. Tive várias oportunidades, como já mencionado no parágrafo 8, de notar que tubos muito intensos necessitam um tempo maior de exposição que os de média intensidade sob as mesmas condições, isto é incompreensível se lembramos o resultado mencionado no parágrafo 9, de acordo com o qual todas as substâncias examinadas foram encontradas mais transparentes para raios emitidos de tubos mais intensos que aqueles emitidos por tubos suaves. Que, igualmente, com tubos muito suaves um tempo de exposição longo é necessário, pode ser explicado pela menor intensidade dos raios emitidos por eles.

Se a intensidade dos raios é aumentada pelo aumento da corrente primária (ver parágrafo 9), o efeito fotográfico é aumentado no mesmo grau, como é a intensidade da fluorescência; tanto neste como no caso discutido previamente, no qual a intensidade da radiação do ecrã fluorescente era alterada por mudança da distância entre o ecrã e a fonte de radiação, o brilho do ecrã fluorescente pode ser — pelo menos aproximada-

mente — proporcional à intensidade da radiação. Uma aplicação geral desta regra, entretanto, não é lícita.

11. Em conclusão, é permitido mencionar os seguintes detalhes. Em um tubo de descargas construído apropriadamente, não muito suave, os raios X são emitidos principalmente de um ponto com 1 a 2 mm de largura no qual a placa de platina é atingida pelos raios catódicos; entretanto, este não é o único ponto de emissão: toda a placa e parte da parede do tubo emitem raios X, embora em muito menor grau. Os raios catódicos verdadeiramente propagam-se em todas as direções, mas sua maior intensidade é significativa somente perto do eixo do espelho côncavo, e portanto, os raios mais intensos são produzidos no ponto onde o eixo se une à placa de platina. Se o tubo é muito intenso e a placa de platina fina, uma considerável quantidade de raios é também emitida da região posterior da placa de platina e, como a câmara pinhole mostra, novamente na maior parte, de um ponto situado no eixo do espelho.

Também nestes tubos mais intensos a intensidade máxima dos raios catódicos pode ser desviada da placa de platina por um ímã. Algumas experiências com tubos suaves me levaram a investigar, uma vez mais e com melhor instrumental, a questão do desvio magnético dos raios X, eu penso ser capaz de reportar estes experimentos em breve.

Eu tinha continuado os experimentos mencionados em meu primeiro comunicado sobre a transparência de placas igualmente espessas cortadas de um cristal, de acordo com diferentes direções. Placas de calcita, quartzo, turmalina, berílio, aragonita, apatita e barita foram examinadas. Novamente, nenhuma influência da direção sobre a transparência pôde ser detectada. O fato observado por Mr. G. Brandes que os raios X podem produzir uma sensação luminosa na retina do olho, eu confirmei. Em meu livro de registro há também uma, escrita no início de novembro de 1895, de acordo com a qual eu notei, em um quarto completamente escurecido perto de uma porta de madeira, que do outro lado estava colocado um tubo Hittorf, uma sensação débil de luz que se espalhava por todo o campo de visão quando descargas eram enviadas através do tubo. Como eu observei este fenômeno apenas uma vez, pensei que fosse subjetivo; a razão pela qual eu não vi novamente reside no fato que, mais tarde, outros tubos menos evacuados, sem anódio de platina, foram usados no lugar dos tubos Hittorf. Os tubos Hittorf, por causa de sua alta eva-

cuação, produzem raios de menor absorção e, por causa de seu anódio de platina, que é atingido pelos raios catódicos, produzem raios muito intensos, os quais favorecem a produção da sensação de luz como mencionado acima. Tive de substituir os tubos Hittorf por outros porque todos foram perfurados depois de um período de tempo muito curto.

Com os tubos intensos agora em uso, os experimentos de Brandes podem ser facilmente repetidos. Uma descrição do procedimento experimental a seguir é, talvez, de algum interesse. Se alguém segura uma fenda vertical de poucos décimos de milímetro de largura, tão próximo quanto possível do olho, aberto ou fechado, e se, então, posiciona a cabeça, envolta com um tecido preto, próximo do aparelho de descargas, será observada após alguma prática, uma débil e não uniforme faixa de luz brilhante que, de acordo com a posição da fenda em frente ao olho, terá uma forma diferente: reta, curva ou circular. Com um movimento lento da fenda na direção horizontal podemos progressivamente passar de uma forma para outra. Uma explicação deste fenômeno é facilmente encontrada se consideramos que o globo ocular é cruzado por um feixe de raios laminado e se assumimos que os raios X podem produzir fluorescência na retina.

Desde o início de meu trabalho com os raios X fiz repetidos esforços para obter fenômenos de difração com estes raios; várias vezes usando fendas estreitas, e assim por diante, eu também obtive fenômenos cujo aspecto recordava padrões de difração, mas quando as condições dos experimentos eram alteradas, com o objetivo de checar a correção da explicação destas imagens como produzidas por difração, era refutada em cada caso e pude freqüentemente provar que o fenômeno era produzido de uma maneira inteiramente diferente da difração. Eu não posso recordar um experimento com base no qual eu pude seguramente estar convencido da existência da difração dos raios X.

Würzburg, Instituto de Física da Universidade.
10 de março de 1897.

REFERÊNCIAS

1. Francisco FC, Maymone W, Carvalho ACP, Francisco VFM, Francisco MC. Radiologia: 110 anos de história. *Rev Imagem* 2005;24: 281-6.
2. Eisenberg RI. *Radiology: an illustrated history*. St Louis: CV Mosby, 1992.
3. Carvalho ACP. Sobre uma nova espécie de raios. *Rev Imagem* 2005;27:287-93.