

A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen

(The discovery of X rays: Röntgen's first communication)

Roberto de Andrade Martins*

Grupo de História e Teoria da Ciência,

Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia,

Instituto de Física "Gleb Wataghin, UNICAMP", Caixa Postal 6165, 13081-970 Campinas, SP

Recebido 4 de novembro, 1997

No final de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen publicou a primeira descrição dos raios X, na qual apresentou uma caracterização experimental qualitativa da nova radiação. Este artigo apresenta uma tradução do primeiro artigo de Röntgen, comentando seus precedentes e seu contexto científico.

Towards the end of 1895, Wilhelm Conrad Röntgen published the first description of X rays where he presented a qualitative experimental identification of the new radiation. This article presents a translation of Röntgen's first paper, and discusses its precedents and scientific context.

I. Introdução

Todos os livros de física moderna informam que os raios X foram descobertos por um cientista chamado Röntgen, em 1895. Costuma-se dizer que essa descoberta foi feita por acaso, e a contribuição de Röntgen é comumente minimizada - como se ele nada mais tivesse feito além de perceber a existência de um novo tipo de radiação¹. Descrições desse tipo passam uma visão errônea sobre o próprio processo de pesquisa científica, e é importante desfazer esse tipo de mito. A pesquisa experimental pode ter alguma contribuição do acaso, mas em sua maior parte é um trabalho sistemático, racional, dirigido por pressupostos teóricos e exigindo uma grande engenhosidade técnica para superar dificuldades observacionais e para se testar hipóteses. A análise detalhada da contribuição de Röntgen pode auxiliar a se compreender melhor como se dá o processo de descoberta

de um novo fenômeno físico.

Wilhelm Conrad Röntgen² nasceu a 27 de março de 1845 em Lennep, na província do Reno, na atual Alemanha. Aos três anos de idade mudou-se para a Holanda (país natal de sua mãe), e estudou na Universidade de Utrech (1865), depois em Zürich, onde obteve o diploma de engenheiro em 1866 e doutorado em física em 1869. Suas primeiras pesquisas foram sobre calor específico de gases. Em 1870, mudou-se com seu orientador, August Eduard Ebenhardt Kundt, para Würzburg, na Bavária (uma cidade de 45.000 habitantes, na época). Após alguns anos, quando seu orientador saiu de Würzburg para Strasbourg, Röntgen o acompanhou. Depois de lecionar em outras universidades, retornou a Würzburg em 1888.³

Röntgen foi essencialmente um físico experimental, dedicado ao estudo quantitativo de fenômenos delicados. Investigou eletricidade em cristais, efeito Kerr, propriedades

*Endereço eletrônico do autor: rmartins@ifi.unicamp.br

¹Alguns livros-texto mais antigos trazem uma descrição mais adequada do trabalho de Röntgen. Entre eles, podemos citar RICHTMYER, KENNARD & LAURITSEN, *Introduction to modern physics*, pp. 345-7. Os autores se deram ao trabalho de consultar uma tradução dos primeiros artigos de Röntgen. No caso de livros-texto mais recentes costuma-se encontrar versões bastante inexatas sobre a contribuição de Röntgen. Aliás, a mesma editora que publicava o livro de Richtmyer e colaboradores lançou alguns anos depois um outro livro-texto de física moderna que traz uma descrição totalmente errada do trabalho de Röntgen: LEIGHTON, *Principles of modern physics*, pp. 405-6.

²O nome Röntgen é geralmente pronunciado de modo errado. O modo correto é algo parecido com Rên-(t)-guen. O "o" com trema no alemão tem pronúncia semelhante ao ditongo "eu" francês. A letra "t" do nome é engolida, criando uma quebra entre a primeira e a última sílabas; e a sílaba "gen" é pronunciada como "guen" e não como "jen". Além da pronúncia, deve-se notar que o segundo nome, Conrad, é escrito com "C" no início, e não "K", como se encontra em muitos livros.

³Para informações gerais sobre a vida e obra de Röntgen, ver GLASSER, *Wilhelm Conrad Röntgen and the early history of the Röntgen rays* e NITSKE, *The life of Wilhelm Conrad Röntgen, discoverer of the X-ray*.

elásticas da borracha, efeito de pressão na viscosidade de líquidos, e muitos outros fenômenos – especialmente estudos sobre influência de altas pressões em várias propriedades de líquidos e cristais. Foi em Würzburg que Röntgen descobriu os raios X no final de 1895, aos 50 anos de idade. Em 1901, ele recebeu o primeiro Prêmio Nobel em física, por essa descoberta. Dos quase 60 trabalhos que publicou durante sua vida, apenas três curtos artigos foram dedicados aos raios X. Em 1921, Röntgen publicou seu último trabalho – um imenso artigo de 195 páginas sobre fotocondutividade. Faleceu no dia 10 de fevereiro de 1923.



Figura 1. Wilhelm Conrad Röntgen, fotografia tirada em 1896.

De todas as pesquisas realizadas por Röntgen, a descoberta dos raios X foi a única que teve grande repercussão. Röntgen publicou três artigos sobre raios X: um deles no final de dezembro de 1895 (RÖNTGEN 1895); um segundo em março do ano seguinte (RÖNTGEN 1896); e o terceiro em março de 1897 (RÖNTGEN 1897). O primeiro é o trabalho mais famoso. Röntgen o fez imprimir nos últimos dias de dezembro de 1895, e no dia 1^o de janeiro enviou

separatas do mesmo, a dezenas de físicos importantes do mundo todo. Logo depois, a descoberta de Röntgen foi divulgada em jornais de todos os tipos, seus experimentos foram repetidos e confirmados, e ele se tornou uma pessoa famosa.

Este artigo apresenta inicialmente uma descrição do contexto em que se deu a descoberta de Röntgen, seguindo-se uma tradução comentada do primeiro comunicado a respeito dos raios X. A repercussão do trabalho de Röntgen e o rápido desenvolvimento da área, logo após a divulgação dessa descoberta, serão abordados em um artigo futuro.

II. A descoberta

Nos trabalhos que publicou, Röntgen não informou como ocorreu a descoberta do novo fenômeno, e existem na verdade poucas informações confiáveis sobre isso.⁴

Uma das pouquíssimas fontes de informação da própria época foi uma entrevista que Röntgen concedeu a um jornalista americano, Henry Dam, talvez no final de janeiro de 1896⁵. No entanto, essa entrevista deve ser utilizada cautelosamente, pois Dam não falava bem alemão, Röntgen não falava bem inglês, e em parte da conversa ambos utilizaram o francês para se comunicar⁶ (ver ROMER 1959, p. 276). Apesar disso, é interessante reproduzir uma parte do artigo de Dam:

“Agora, Professor”, eu disse, “o senhor poderia me contar a história da descoberta?”

“Não há história”, ele disse. “Eu estava interessado há muito tempo no problema dos raios catódicos em tubos de vácuo, estudados por Hertz e Lenard. Eu havia seguido suas pesquisas e as de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro. Eu já estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo.”

“Qual foi a data?”

“Oito de novembro.”

“E o que foi a descoberta?”

“Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço de papel com platino-cianeto

⁴A maior parte dos manuscritos de Röntgen, bem como sua correspondência, foi queimada após sua morte, por vontade expressa de Röntgen. Há alguns documentos originais que foram conservados, mas em pequena quantidade (ver NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 299).

⁵O artigo de Dam foi publicado apenas em abril de 1896, mas em seu início Dam escreveu: “Hoje, quatro semanas depois do anúncio...” (DAM 1896, p. 403) e, portanto, é razoável supor que ele redigiu o texto da entrevista no final de janeiro ou início de fevereiro.

⁶“Além de sua própria língua, ele fala francês bem, e inglês científico, o que é diferente de falá-lo popularmente. Como esses três idiomas estavam mais ou menos no domínio deste visitante, a conversa se desenvolveu em uma base internacional ou poliglota, por assim dizer, variando conforme a necessidade” (DAM 1896, p. 410).

de bário estava lá na mesa. Eu tinha passado uma corrente pelo tubo, e notei uma linha preta peculiar no papel.”

“O que era isso?”

“O efeito era algo que só poderia ser produzido, em linguagem comum, pela passagem de luz. Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida, mesmo a do arco elétrico.”

“E o que o senhor pensou?”

“Eu não pensei; eu investiguei. Assumi que o efeito devia vir do tubo, pois seu caráter indicava que ele não poderia vir de nenhum outro lugar. Eu o testei. Em poucos minutos não havia dúvida sobre isso. Estavam saindo raios do tubo que tinham um efeito luminescente sobre o papel. Testei-o com sucesso a distâncias cada vez maiores, até mesmo a dois metros. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, algo não registrado.”

“É luz?”

“Não.”

“É eletricidade?”

“Não em qualquer forma conhecida.”

“O que é?”

“Eu não sei.”

E o descobridor dos raios X afirmou assim tão calmamente sua ignorância sobre sua essência quanto todos os outros que tinham escrito até então sobre o fenômeno.

“Tendo descoberto a existência de um novo tipo de raios, é claro que comecei a investigar o que eles fariam.” (DAM 1896, p. 413).

Vamos partir desta descrição de Dam, que parece bastante plausível, e analisar vários de seus aspectos mais detalhadamente.

III. Raios catódicos

Em primeiro lugar, Röntgen informou a Dam que havia partido das pesquisas anteriores de outros físicos: “Eu estava interessado há muito tempo no problema dos raios catódicos em tubos de vácuo, estudados por Hertz e Lenard”.

O estudo daquilo que chamamos de “raios catódicos” está vinculado ao desenvolvimento de bombas de vácuo, em meados do século XIX. Geissler desenvolveu, em 1855, um tipo de bomba de mercúrio capaz de produzir pressões de 10^{-4} atmosferas, estudando descargas elétricas em tubos contendo gases rarefeitos. O vácuo não era muito bom -

era semelhante ao utilizado hoje em dia em letreiros luminosos de néon. Julius Plücker prosseguiu esse estudo, com pressões menores, observando que a luminosidade dentro do tubo diminuía progressivamente, mas que alguma coisa produzia uma luminescência do próprio vidro. Em 1869, utilizando um cátodo em forma de fio, seu aluno Johann Wilhelm Hittorf observou que apareciam partes escuras no vidro, quando havia algum objeto dentro do tubo. O efeito era semelhante à produção de sombras. Concluiu que alguma coisa saía do cátodo e se propagava em linhas retas até a parede do tubo, e que essa coisa podia ser interceptada por corpos sólidos. Chamou esse agente de “raios de brilho” (*Glimmstrahlen*). Em 1876, Eugen Goldstein lhes deu o nome atual de “raios catódicos” (*Kathodestrahlen*) e mostrou que, com cátodos extensos, eles eram emitidos perpendicularmente à superfície, podendo assim ser dirigidos e concentrados com o uso de cátodos côncavos (WHITTAKER, *A history of the theories of aether and electricity*, vol. 1, pp. 350-1). O nome de “raio” havia sido atribuído por se tratar de algo que se movia em linhas retas e que produzia sombras quando algum objeto era interposto.

Não havia acordo, na época, sobre a natureza dos próprios raios catódicos. Aprendemos que os raios catódicos são simplesmente um fluxo de elétrons, e em 1895 os pesquisadores ingleses já defendiam a idéia de que eles eram um fluxo de partículas dotadas de carga elétrica. No entanto, os pesquisadores alemães (como Eugen Goldstein, Johann Wilhelm Hittorf, Gustav Wiedmann e Philipp Lenard) tinham uma opinião diferente: seriam ondas transversais, mas sujeitas a fenômenos capazes de desviá-las em campos magnéticos - um tipo de “luz magnética” (ver JAUNCEY 1945, p. 373). Jaumann, em 1895, sugeriu que os raios catódicos fossem ondas *longitudinais*, e justificava sua opinião com base em um fenômeno que se parecia com a formação de ondas estacionárias no tubo de descarga. Através de uma versão modificada da teoria de Maxwell, aplicada a meios materiais, Jaumann defendeu a existência de ondas eletromagnéticas longitudinais, cuja amplitude só seria significativa em gases a baixas pressões, e tentou justificar a deflexão dos raios catódicos em campos magnéticos. Poincaré, no entanto, criticou a análise matemática de Jaumann, indicando que a propagação dessas ondas seria sempre ao longo das linhas de força elétricas, não sofrendo portanto efeito de ímãs (POINCARÉ 1895). Apenas no final de 1895 Jean Perrin conseguiu medir a carga elétrica transportada pelos raios catódicos, mostrando que eles eram dotados de carga negativa (PERRIN 1895).

Não se deve pensar que a oposição à hipótese corpuscular dos raios catódicos fosse puramente irracional. Havia

diversas dificuldades, na época, em se conceber os raios catódicos como um fluxo de partículas eletrizadas. Embora eles fossem desviados por ímãs, não se observava seu desvio em campos eletrostáticos⁷; não pareciam produzir efeitos elétricos e magnéticos observáveis; e podiam passar por folhas metálicas finas, opacas à luz, o que parecia totalmente incompatível com o conceito de partículas materiais (WHITTAKER, *A history of the theories of aether and electricity*, vol. 1, pp. 353-4).

Heinrich Hertz, em 1892, foi o primeiro a descrever que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal, ao estudar esses raios dentro do tubo de descarga (HERTZ 1892). Seu aluno Philipp Lenard conseguiu construir tubos de descarga dotados de uma fina janela de alumínio, de tal modo que os raios catódicos podiam sair do tubo e ser estudados no ar ou em outros gases (LENARD 1894a). Nessa época, essa radiação, visível no ar, passou a ser chamada de “raios de Lenard” (ver ROMER 1959, p. 276; JAUNCEY 1945, p. 372). Esses raios podiam atingir uma distância de alguns poucos centímetros, no ar. Corpos luminescentes colocados perto do tubo se tornavam luminosos. Lenard observou também que esses raios eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas e descarregar eletroscópios. É interessante notar que o efeito elétrico era observado mesmo a distâncias muito maiores do que a penetração dos raios de Lenard no ar: até distâncias de 30 cm. É provável que Lenard estivesse na verdade observando o efeito de raios X, mas ele não investigou o fenômeno⁸.

IV. Primeiras observações de Röntgen

Röntgen começou a se interessar pelo assunto, resolvendo repetir alguns dos experimentos de Lenard. Em 1894, obteve o material necessário (tubos, folhas de alumínio, etc.), e de acordo com sua correspondência, conseguiu observar raios catódicos no ar e em hidrogênio em junho do

mesmo ano (ver ROMER 1959, p. 276). No entanto, Röntgen não publicou nada a esse respeito, talvez porque acabara de ser eleito reitor da Universidade, o que deve ter dificultado suas pesquisas (ver SANTOS 1997, pp. 22-3): “Eu havia seguido suas pesquisas e a de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro. Eu já estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo.”

No final de 1895, portanto, Röntgen parece ter retomado o trabalho. Em outubro ou novembro⁹, ele observou pela primeira vez os raios X. O processo exato da descoberta, segundo a entrevista, foi: “Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço de papel com platino-cianeto de bário estava lá na mesa. Eu tinha passado uma corrente pelo tubo¹⁰, e notei uma linha preta peculiar no papel.”

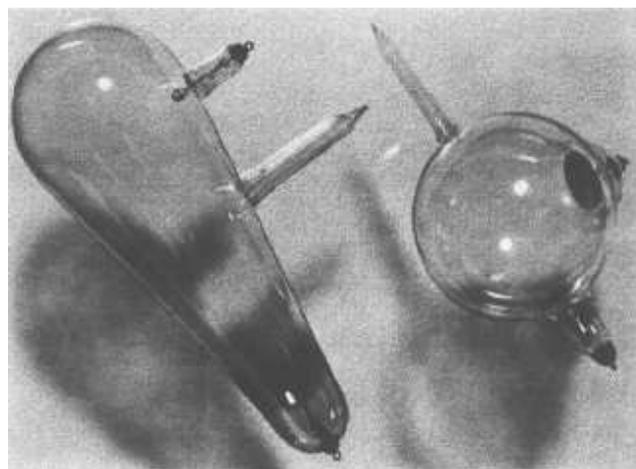


Figura 2. Dois tubos de descarga utilizados por Röntgen. Note-se que, em ambos, o cátodo (em forma de disco) e o ânodo estão em ângulo reto. Nesses tubos, o feixe de raios catódicos atinge o vidro, e não o ânodo.

⁷É extremamente difícil estabelecer um campo eletrostático dentro de um tubo de descarga, pois a ionização do gás dentro do tubo tende a cancelar o campo. Apenas com alto vácuo, que não estava disponível na época, é possível obter a deflexão eletrostática dos raios catódicos.

⁸Seliger atribui a não-descoberta dos raios X por Lenard à sua falta de tempo ou de equipamento para pesquisas, na época: no início de 1894, Hertz (de quem Lenard era assistente) faleceu, e Lenard assumiu o cargo de Diretor do departamento de física em Bonn, e dedicou-se à publicação dos trabalhos de Hertz. Depois, em 1895, Lenard aceitou um posto na Universidade de Breslau, onde não tinha a aparelhagem necessária para experimentos com raios catódicos. Apenas no início de 1896 ele conseguiu condições para reiniciar seus estudos sobre raios catódicos, mas então Röntgen já tinha feito sua descoberta.

⁹Comumente se diz que a descoberta ocorreu exatamente no dia 8 de novembro de 1895. Não há documentos da época que atestem essa data precisa. Essa data consta da entrevista publicada com Dam, mas há fortes dúvidas de que o próprio Röntgen tenha feito qualquer anotação sobre a data em que notou pela primeira vez aquilo que depois seria chamado de raio X.

¹⁰A corrente de alta tensão que era utilizada por Röntgen era produzida por uma bobina de Ruhmkorff. Muitos dos instrumentos utilizados por Röntgen são desconhecidos dos físicos atuais, mas sua descrição pode ser encontrada em enciclopédias e livros antigos. A bobina de indução de Ruhmkorff era um tipo de transformador cujo primário era percorrido por uma alta corrente (fornecida geralmente por baterias), cortada de modo intermitente por um dispositivo chamado “comutador”: um interruptor acionado pelo próprio campo magnético gerado pela corrente primária. Essa interrupção brusca da corrente produzia um pulso no secundário, que era formado por um enorme número de espiras de fio fino, gerando uma alta voltagem de curta duração. A vibração do comutador produzia assim uma série de pulsos de alta voltagem (nos melhores aparelhos, dezenas de milhares de volt) que eram utilizados para produzir faíscas ou descargas em gases rarefeitos. Dam também descreveu a bobina utilizada por Röntgen: “Uma bobina de Ruhmkorff ordinária, com uma faísca de quatro a seis polegadas, carregada por uma corrente de vinte ampéres” (DAM 1896, p. 411). A bobina de Ruhmkorff de Röntgen produzia pulsos de aproximadamente 20-30 kV.

Se Röntgen estava fazendo experimentos com tubos de descarga, em uma sala escura, com o tubo de vácuo envolto em cartolina negra, ele estava interessado em observar fracas luminosidades. Nos experimentos com raios de Lenard, observava-se uma fraca luminosidade no ar, perto da “janela” de alumínio. Observava-se também um fraco brilho em materiais luminescentes colocados diante da janela de alumínio¹¹. É plausível que Röntgen estivesse estudando efeitos desse tipo, caso contrário é difícil compreender por qual motivo o tubo estava envolto em papel escuro. Além disso, a presença do platino-cianeto de bário¹² próximo ao tubo também indica que Röntgen estava estudando fenômenos desse tipo.

Essa descrição concorda parcialmente com um outro relato. Em uma conferência que apresentou no dia 23 de janeiro de 1896, Röntgen disse que estava realizando experimentos com raios catódicos e que notou a fluorescência de um papel pintado com platino-cianeto de bário que estava sobre a mesa, embora o tubo de Hittorf estivesse completamente envolto em papelão preto (JAUNCEY 1945, p. 364).

Note-se que, nesses experimentos, Röntgen não estava utilizando os tubos de Lenard (com janela de alumínio). Os tubos de Hittorf eram praticamente idênticos aos tubos de Crookes: envoltório de vidro em forma de pêra, com dois eletrodos em posições perpendiculares. Como os raios catódicos não atravessam essas paredes grossas de vidro, conclui-se – se confiarmos nessas descrições – que Röntgen não estava, nesse momento, repetindo os experimentos de Lenard. Não se sabe o que ele estava pesquisando (ver ROMER 1959, p. 277).

Um detalhe difícil de compreender é a “linha preta”.¹³ Se aceitarmos literalmente a descrição de Dam, não foi a luminosidade do papel fluorescente que impressionou Röntgen, e sim o aparecimento de uma sombra (produzida talvez por um fio metálico entre o tubo e o papel).

V. Estudo das propriedades dos novos raios

À pergunta de Dam, “E o que o senhor pensou?”, Röntgen teria respondido: “Eu não pensei; eu investiguei”. Se Röntgen realmente disse isso, provavelmente queria dizer

que, ao invés de se dedicar a especulações ou análises teóricas, dedicou-se ao estudo experimental. Mas o estudo experimental, evidentemente, não pode ser feito sem pensar. Ele é guiado por algo.

Röntgen parece ter sido guiado essencialmente por analogias e comparações entre o novo fenômeno e as propriedades de radiações conhecidas – luz, raios ultravioletas, raios catódicos, etc. Esses eram os agentes físicos conhecidos capazes de produzir fluorescência. “O efeito era algo que só poderia ser produzido, em linguagem comum, pela passagem de luz. Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida, mesmo a do arco elétrico”¹⁴.

O efeito tinha surgido quando Röntgen ligou o tubo de descarga, mas poderia ter provindo de qualquer parte da aparelhagem que ele estava utilizando. Röntgen parece ter se preocupado imediatamente em descobrir de onde ele provinha: “Assumi que o efeito devia vir do tubo, pois seu caráter indicava que ele não poderia vir de nenhum outro lugar. Eu o testei. Em poucos minutos não havia dúvida sobre isso.”

Se a interpretação aqui apresentada da “linha preta” estiver correta, é fácil imaginar como Röntgen poderia testar “em poucos minutos” de onde provinha a causa da luminosidade do papel fluorescente. Bastava deslocar papel e o fio metálico que produzia a sombra, e através do deslocamento dessa sombra era possível descobrir a direção de onde vinham os raios.

Até aí, Röntgen poderia estar observando apenas algo já conhecido. Afinal, os tubos de descarga podiam emitir raios catódicos, capazes de produzir fluorescência. O que mostrava que havia algo de novo? Por um lado, o fato de que esse novo ente atravessava o papel que recobria o tubo, e se propagava a uma distância considerável, no ar: “Estavam saindo raios do tubo que tinham um efeito luminescente sobre o papel. Testei-o com sucesso a distâncias cada vez maiores, até mesmo a dois metros. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, algo não registrado.”

¹¹Lenard utilizou inicialmente substâncias comuns, como sulfeto de cálcio fosforescente, mas depois empregou um material que produzia uma luminescência muito mais intensa: pentadecil-paratolil-cetona.

¹²O platino-cianeto de bário era um material fortemente fluorescente, que havia sido estudado por George Stokes. Não se sabe por qual motivo Röntgen estava utilizando esse material, ao invés da cetona utilizada por Lenard.

¹³Em um jornal (*Frankfurter Zeitung*), no dia 8 de janeiro, apareceu uma notícia que informava a descoberta de Röntgen da seguinte forma: “Ele tinha coberto um tubo de Crookes com um pano, e, ao fazer certo experimento, enviou uma forte corrente elétrica por esse tubo, que ele tinha colocado em sua mesa de laboratório. Ele notou que um pedaço de papel sensível, que estava sobre a mesa, mostrou certas linhas que não estavam lá antes.” (NITSKE, *The life of Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 114). A descrição conflita em diversos pontos com o relato de Dam, mas nota-se que ela também se refere a linhas observadas em um papel sensível (obviamente um papel fluorescente e não fotográfico).

¹⁴O arco elétrico era uma fonte luminosa comum até recentemente, produzido por uma corrente elétrica de grande intensidade que passa pelo ar entre dois eletrodos de carvão próximos entre si. A ponta do eletrodo se aquece a uma temperatura altíssima, emitindo radiações de grande intensidade - luz branca, radiação ultravioleta, etc. Esse tipo de fonte foi depois utilizado, por exemplo, na projeção de filmes em cinemas.

É claro que Röntgen não parou aí. Não bastava perceber que havia algo de novo. Era preciso estudar o que era essa coisa desconhecida: “Tendo descoberto a existência de um novo tipo de raios, é claro que comecei a investigar o que eles fariam”. A entrevista concedida a Dam não mostrou um aspecto interessante da descoberta: a grande incerteza e angústia que ela produziu em Röntgen. Mais tarde, ele relatou:

Quando fiz primeiramente a chocante descoberta dos raios penetrantes, o fenômeno era tão espantoso e extraordinário que eu tive que me convencer repetidamente, fazendo o mesmo experimento de novo, de novo e de novo, para ficar absolutamente certo de que os raios realmente existiam. Eu não estava consciente de nada mais além do estranho fenômeno no laboratório. Era um fato ou uma ilusão? Eu estava dilacerado entre dúvida e esperança, e não queria ter quaisquer outros pensamentos que interferissem com meus experimentos. Tentei excluir tudo o que não fosse pertinente ao trabalho de laboratório de minha mente. Qualquer interferência poderia ter me levado a falhar na criação de condições idênticas para substanciar a descoberta. Fiz as observações muitas e muitas vezes antes de ser eu próprio capaz de aceitar o fenômeno. Durante esses dias de teste eu estava como em um estado de choque (Röntgen, citado por NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 5).

Röntgen trabalhou intensamente durante algumas semanas, procurando determinar as propriedades da nova radiação. Ele morava com sua família no próprio Instituto de Física, no andar superior. O andar térreo continha salas de aula, laboratórios e salas de assistentes. O laboratório principal era uma sala com cerca de 7 por 5 metros (DAM 1896, p. 410). Durante esse período de trabalho mais intenso, Röntgen passava quase todo o tempo no laboratório, subindo poucas vezes para sua residência. Durante esse período, ele manteve segredo sobre o que estava fazendo:

Não falei com ninguém sobre meu trabalho. Para minha esposa, mencionei apenas que eu estava fazendo algo sobre o qual as pessoas, quando descobrissem, iriam dizer: “Röntgen provavelmente enlouqueceu”¹⁵ (Carta de Röntgen para Zehnder, 8 de fevereiro de 1896, transcrita em: NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, pp. 100-1).

¹⁵Em uma carta datada de 4 de março de 1896, a esposa de Röntgen, Bertha, escreveu: “Quando Willi [apelido de Wilhelm] me contou em Novembro que estava trabalhando em um problema interessante, não tínhamos idéia sobre como a coisa seria recebida” (NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 139).

É possível que Röntgen tivesse receio de que sua descoberta fosse confundida com descrições de fenômenos espiritualistas, que estavam bastante em moda na época (SELIGER 1995, p. 29). Mas há uma explicação mais simples. Por um lado, Röntgen tinha uma reputação científica sólida a preservar, e não queria divulgar uma coisa sobre a qual ainda não estava seguro. Por outro lado, percebia a importância de sua descoberta, e devia ter receio de que alguém passasse à sua frente, e por isso, enquanto estudava o fenômeno, tomava cuidados para que ninguém lhe roubasse a descoberta.

Rapidamente, Röntgen foi descobrindo algumas propriedades básicas dos novos raios. Eles se propagavam em linha reta, produzindo por isso sombras regulares. Eram capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais - especialmente no caso de materiais menos densos. Os metais - especialmente o chumbo - o absorviam mais fortemente. Eram capazes de produzir fluorescência em várias substâncias diferentes. Por analogia com a luz, radiação ultravioleta e raios catódicos, Röntgen estudou várias outras propriedades: os raios X eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas, como essas radiações. Não podiam ser refletidos, nem refratados - o que os diferenciava da luz e da radiação ultravioleta, mas os aproximava dos raios catódicos. No entanto, eram muito mais penetrantes do que os raios catódicos, e, ao contrário desses, não podiam ser desviados por ímãs. Röntgen fez alguns testes, e não detectou fenômenos de interferência e polarização com os novos raios.

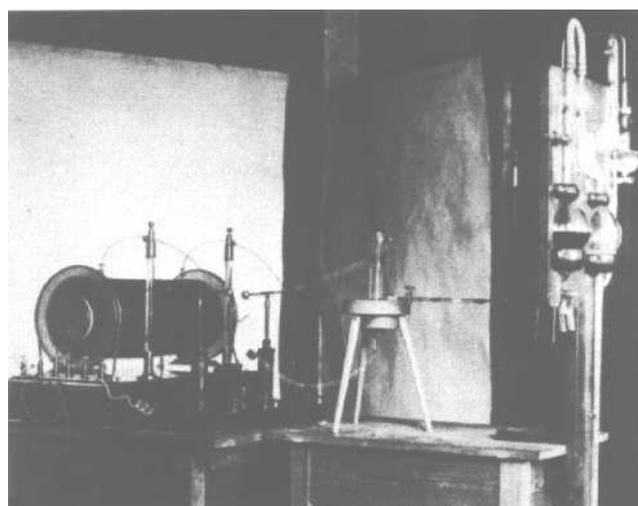


Figura 3. O laboratório de Röntgen, fotografado no início de 1896. À esquerda, uma bobina de Ruhmkorff, que produzia pulsos de alta tensão. No centro, um tubo de descarga; à direita, uma bomba de vácuo, que funcionava pela queda de gotas de mercúrio.

Afinal de contas, o que era aquilo?

Por eliminação, Röntgen foi concluindo que esses raios não eram luz, não eram nenhuma radiação eletromagnética invisível conhecida (raios ultravioletas, infravermelhos ou ondas de rádio), nem eram raios catódicos. Era algo de novo, realmente. Embora não conseguisse chegar a nenhuma conclusão positiva bem fundamentada, Röntgen sugeriu que pudessem ser ondas eletromagnéticas *longitudinais* - um estranho conceito para nós, mas que não era absurdo.

Recentemente, Howard Seliger afirmou que a descoberta de Röntgen foi devida à procura planejada de radiação invisível de alta frequência prevista por Helmholtz¹⁶ (SELIGER 1995). Não parece haver qualquer base documental para essa afirmação de Seliger - ele não utilizou nenhum material inédito para fundamentar sua conjectura, nem a justificou através de uma análise das evidências existentes. Além disso, se Röntgen aceitasse realmente essa hipótese, ele a teria mencionado em seus trabalhos - e não o fez. Como será mostrado mais adiante, Röntgen não adotou a hipótese de uma radiação de alta frequência, e sim a existência de ondas longitudinais.

VI. A divulgação da descoberta

Na época de Natal de 1895, quando se sentiu suficientemente seguro com relação às principais propriedades dos novos raios, Röntgen redigiu seu primeiro artigo. No dia 28 de dezembro, levou o manuscrito ao Presidente da Sociedade Física e Médica de Würzburg, e conseguiu convencê-lo a aceitar e publicar o artigo às pressas na revista da Sociedade, sem passar por árbitros nem ser apresentada em uma reunião da Sociedade, como era norma. O trabalho foi enviado para publicação, e antes que a revista fosse preparada, Röntgen convenceu a gráfica a imprimir um certo número de separatas - e provavelmente teve que pagar um bom preço por isso. No dia 1^o de janeiro ele já estava enviando pelo correio algumas dezenas de separatas, acompanhadas por radiografias de diversos objetos - incluindo da mão de sua esposa.

Geralmente, Röntgen enviava cópias de seus trabalhos para uma lista de 92 correspondentes (NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 98). Não se sabe quantas pessoas receberam a separata do primeiro artigo sobre raios X. Essa

tática de divulgação de Röntgen teve extremo sucesso. Em poucos dias, o seu trabalho já estava sendo lido e comentado em todas as sociedades científicas. Se ele tivesse simplesmente publicado seu artigo e esperado que alguém o lesse, poderia ter havido um enorme atraso na divulgação. É curioso apontar que, ao descobrir o eletromagnetismo, Ørsted já havia utilizado esta mesma tática de divulgação, com igual impacto¹⁷.

Em uma carta escrita um mês depois a seu amigo e antigo assistente Ludwig Zehnder, Röntgen comentou:

Os bons amigos vêm por último. É assim que acontece. Mas você é o primeiro a receber uma resposta. Agradeço-lhe muito por tudo o que me escreveu. Ainda não posso utilizar sua especulação sobre a natureza dos raios X, pois não me parece permissível ou vantajoso tentar explicar um fenômeno de natureza desconhecida com uma hipótese que não está livre de objeções. Não é totalmente claro para mim qual é a natureza dos raios. E é de importância secundária para mim se eles são realmente raios luminosos longitudinais. Os fatos são a coisa importante. A esse respeito, meu trabalho recebeu reconhecimento de muitos pontos. Boltzmann, Warburg, Kohlrausch e (não por último) Lord Kelvin, Stokes, Poincaré¹⁸ e outros expressaram-me sua alegria e reconhecimento pela descoberta¹⁹. Isso realmente vale muito para mim, e deixe os invejosos murmurarem. Não me importo com isso!²⁰

Não falei com ninguém sobre meu trabalho. Para minha esposa, mencionei apenas que eu estava fazendo algo sobre o qual as pessoas, quando descobrissem, iriam dizer: "Röntgen provavelmente enlouqueceu". No dia primeiro de janeiro enviei pelo correio as separatas, e então era necessário pagar o preço ao diabo! O [jornal] *Wiener Presse* foi o primeiro a soprar a trombeta de aviso, e os outros se seguiram. Em poucos dias, eu estava enojado com a coisa toda. Eu já não conseguia reconhecer meu

¹⁶Helmholtz publicou um artigo em 1893 em que apontou a possibilidade de existência de ondas de alta frequência que teriam baixa absorção pela matéria (HELMHOLTZ 1893).

¹⁷Ørsted, ao descobrir o eletromagnetismo (em 1820), passou por um processo semelhante de intensa investigação seguida pela redação febril e envio de separatas de seu trabalho aos mais importantes físicos da época. Ver MARTINS 1986.

¹⁸Na França, a difusão da descoberta de Röntgen foi feita principalmente por Henri Poincaré, que recebeu uma das separatas do trabalho e o divulgou na sessão de 20 de janeiro de 1896 da Academia de Ciências de Paris. Logo em seguida, Poincaré publicou um artigo, acompanhado de ilustrações, em uma revista popular (POINCARÉ 1896).

¹⁹Além desses, segundo Nitske, Röntgen recebeu cartas de Walter König, Robert W. Wood, Hendrik Lorentz, Peter Lebedew e outros (NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, pp. 102-4).

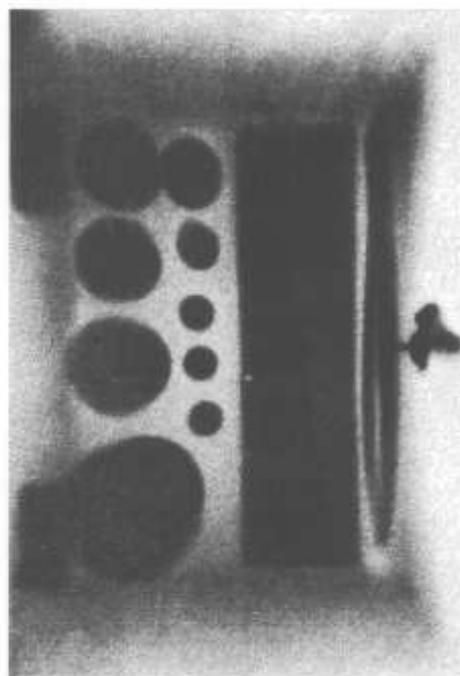
²⁰Logo após a divulgação do trabalho de Röntgen, muitas pessoas alegaram já ter descoberto os raios X anteriormente. Um deles foi o próprio auxiliar de laboratório de Röntgen, Kasper Marstaller (ver NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, pp. 151-3).

próprio trabalho nos relatos. Para mim, a fotografia era um meio para um fim, mas foi transformada na coisa mais importante. Gradualmente, habituei-me ao ruído, mas a tempestade durou bastante. Durante exatas quatro semanas fui incapaz de fazer um único experimento!

Outras pessoas podiam trabalhar, mas eu não. Você não tem idéia de como as coisas estavam atrapalhadas. (Carta de Röntgen para seu antigo assistente Ludwig Zehnder, 8 de fevereiro de 1896, transcrita em: NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, pp. 100-1).



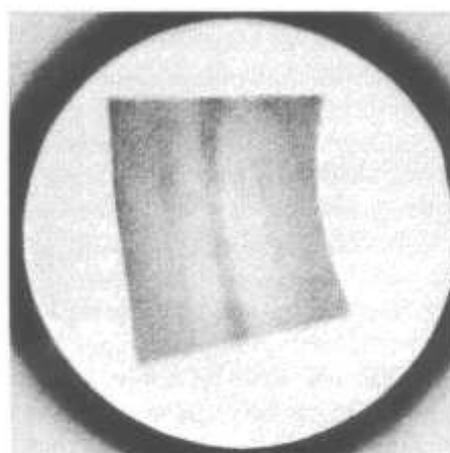
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. Quatro radiografias feitas por Röntgen em 1895: (a) ossos da mão de sua esposa, Bertha, com dois anéis no dedo médio; (b) caixa de madeira contendo pesos de balança; (c) bússola, com caixa metálica (provavelmente de alumínio), com escala em tinta metálica; (d) amostra de metal (zinco) mostrando irregularidades.

Esta carta indica muito bem alguns dos efeitos imediatos da divulgação do trabalho de Röntgen: reconhecimento por outros cientistas; ciúmes e alegações de que o fenômeno já havia sido descoberto antes; grande estardalhaço na imprensa leiga, com deturpação da descoberta; e uma forte agitação, que impediu Röntgen de pesquisar – o que permitiu a outras pessoas passarem à sua frente e fazerem novas descobertas, em pouquíssimo tempo.

VII. Houve predecessores de Röntgen?

Inicialmente, alguns físicos não conseguiram perceber que os raios X eram algo diferente dos raios catódicos. Swinton, em artigo publicado no dia 23 de janeiro, comentou: “A descoberta não parece no entanto ser completamente nova, pois já havia sido notado por Hertz que filmes de metal são transparentes aos raios catódicos de um tubo de Crookes ou de Hittorf, e nas pesquisas de Lenard, publicadas cerca de dois anos atrás, é claramente indicado que esses raios produzem impressões fotográficas” (SWINTON 1896, p. 276).

Vários predecessores de Röntgen foram apontados, de tempos em tempos. Na Inglaterra, Herbert Jackson aparentemente já havia observado a fluorescência do platino-cianeto de bário nas proximidades de tubos de descarga, e até mesmo observado sombras, alguns meses antes de Röntgen, mas não deu grande importância ao fenômeno e não o investigou (MACINTYRE 1897, p. 272). Johann Hittorf, Eugen Goldstein e Philipp Lenard já tinham observado a fluorescência de alguns materiais próximos ao tubo de descarga, mas também não haviam analisado o fenômeno. Lenard ficou particularmente enciumado com o sucesso de Röntgen, pois considerava-se o verdadeiro descobridor dos raios X (NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, pp. 154-6).

Ele [Lenard] ficou profundamente desapontado por não ter descoberto os raios de Röntgen, que ele tivera quase sob suas mãos e teria provavelmente encontrado em um prazo de cerca de um ano, se Röntgen não o tivesse antecipado. Ele nunca utilizou o nome de Röntgen ao se referir aos raios. Considerou como uma afronta pessoal qualquer reconhecimento inadequado de

seu trabalho e era incapaz de qualquer generosidade, ou mesmo justiça, com relação a qualquer um que, em sua opinião, tivesse falhado em apreciar qualquer aspecto de seus serviços à ciência (ANDRADE 1947, p. 896).

Na década de 1880, William Crookes, que trabalhou durante muitos anos com raios catódicos e com fotografia, notou com irritação que suas chapas fotográficas muitas vezes estavam veladas antes do uso, e reclamou com o fabricante (JAUNCEY 1945, p. 364). Provavelmente tratava-se de um efeito dos raios X, mas ele não investigou a questão, na época. Nos Estados Unidos, em 1890, A. W. Goodspeed e W. N. Jennings observaram chapas fotográficas veladas, perto de tubos de descarga, mostrando imagens de objetos que estavam sobre elas - mas não deram importância ao fato (NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 155; WALDEN 1991). Há numerosos outros autores que alegaram ter antecipado a descoberta dos raios X, de um modo ou outro, mas nunca foi apresentado qualquer autor que tivesse realizado e publicado um trabalho semelhante ao de Röntgen, antes dele. Conforme comentou Romer, a contribuição de Röntgen foi claramente diferente da dos outros pesquisadores:

Sua realização consistiu em definir os raios X, estabelecer suas propriedades significativas, diferenciá-los da luz por um lado, e dos raios catódicos pelo outro, e delineá-los nitidamente como uma coisa em si mesmos (ROMER 1959, p. 277).

VIII. Observações sobre a tradução

O texto apresentado a seguir contém a tradução completa do primeiro trabalho de Röntgen sobre raios X. Trata-se de um artigo curto, com apenas 10 páginas no original. Trata-se de um dos mais famosos trabalhos experimentais da história da física, que já foi traduzido grande número de vezes²¹. O artigo é dividido em partes numeradas, o que

²¹A primeira tradução em inglês, depois reproduzida muitas vezes, foi realizada por Arthur Stanton e publicada na revista *Nature* no dia 23 de janeiro de

facilita a comparação entre esta tradução e o original, ou qualquer outra tradução.

Todas as indicações contidas entre colchetes [] na tradução foram adicionadas pelo tradutor. A tradução inclui também um grande número de comentários acrescentados pelo tradutor, em notas de rodapé, que comentam e esclarecem alguns pontos importantes ou difíceis de compreender do artigo de Röntgen.

Agradecimentos

O autor agradece o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através de uma bolsa de pesquisa, e o apoio recebido da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), através de uma bolsa de pós-doutoramento no exterior.

[p. 132]²²

1896 (ver bibliografia, nota de rodapé à referência de RÖNTGEN 1895). Trata-se de uma tradução bastante imperfeita, feita às pressas, que chega a omitir alguns trechos do artigo. Outras traduções da época estão indicadas na bibliografia. A tradução em inglês mais utilizada e reproduzida é a de George Barker, publicada pela primeira vez em 1898 (BARKER, *Röntgen rays - memoirs by Röntgen, Stokes, and J. J. Thomson*) e reproduzida em WATSON 1945, e outros lugares. No entanto, na opinião do presente autor, a melhor tradução inglesa é a contida em FEATHER, *X-rays and the electric conductivity of gases*. Uma listagem bastante completa das traduções e edições dos trabalhos de Röntgen pode ser encontrada em: KLICKSTEIN, *Wilhelm Conrad Röntgen: On a new kind of rays - a bibliographical study*.

²²[Ao longo da tradução, está indicado, entre colchetes, o início de cada página correspondente do original alemão.]

²³[Tradução completa do artigo: RÖNTGEN, Wilhelm Conrad. Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung). *Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg* (9): 132-41, 1895. Texto traduzido por Roberto de A. Martins. Todas as notas de rodapé numeradas são do tradutor, e estão entre colchetes; duas notas de rodapé com asteriscos, sem colchetes, são do próprio Röntgen.]

²⁴[Trata-se de um tipo de bobina de indução, capaz de produzir pulsos de alta tensão - milhares de volts - muito utilizado em estudos de descargas elétricas em gases durante o final do século XIX. Seu nome provém do inventor, cujo nome original era Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877), embora a grafia mais utilizada seja Ruhmkorff. Esse instrumento foi inventado na década de 1850, popularizando-se imediatamente. A bobina utilizada por Röntgen era capaz de produzir faíscas de 10 a 15 cm, no ar. Era alimentada por baterias, com corrente de 20 ampères no primário.]

²⁵[Trata-se de tubos de vidro evacuados, nos quais há eletrodos que são conectados à bobina de indução. Os tubos de Lenard possuíam um pequeno furo no vidro, fechado com folha de alumínio. Os tubos de Crookes e de Hittorf eram do mesmo tipo: de vidro, em formato de pera, com dois eletrodos - um cátodo e um ânodo - que não ficavam opostos um ao outro, e sim formando um ângulo reto. Ao longo do artigo, Röntgen chama os tubos de vácuo de "aparelhos de descarga" (*Entladungsapparat*).]

²⁶[Era preciso deixar a bomba de vácuo ligada ao tubo durante vários dias; depois, passava-se descargas pelo tubo, o que produzia o desprendimento de gases do vidro e dos eletrodos, e era necessário evacuar novamente o tubo. O procedimento era repetido muitas vezes, até se obter um vácuo adequado. A partir da década de 1870 era possível obter e medir vácuos de 10^{-3} Torr (mm. de Hg). Acredita-se que os tubos utilizados por Röntgen tinham pressões inferiores a 10^{-2} Torr (MADEY 1984, p. 114). O método de atingir esse nível de vácuo era a utilização de bombas de mercúrio, tais como a bomba de Sprengel. Essas bombas se baseavam simplesmente no princípio do barômetro, utilizando a queda de porções de mercúrio líquido dentro de tubos de vidro, para evacuar os recipientes conectados a eles (HABLANIAN 1984, p. 120; ANDRADE 1960, p. 19). Fotografias do laboratório de Röntgen mostram, na parede, dispositivos parecidos com bombas de Sprengel. Os tubos de descarga (geralmente, os chamados "tubos de Crookes") não conservavam suas propriedades por muito tempo, pois com seu uso havia desprendimento de gases que aumentavam sua pressão interna e prejudicavam a produção dos raios catódicos. Era necessário ligar periodicamente o tubo a uma bomba de vácuo, para reestabelecer as condições de uso (POINCARÉ 1896, p. 59). O próprio Röntgen indicou esse problema, em uma carta a um amigo (carta de Röntgen para Emil Warburg, 28 de janeiro de 1896, reproduzida em KREBS 1973, p. 88).]

²⁷[Este era um material fluorescente bem conhecido, que já tinha sido estudado antes por George Stokes. Sabia-se que ele emitia luz quando atingido por raios ultravioletas ou raios catódicos.]

²⁸[É importante notar que este primeiro parágrafo, muitas vezes confundido com uma descrição do processo de descoberta dos raios X, não está redigido como uma descrição histórica. Indica, pelo contrário, uma "receita" de um experimento que pode ser repetido por qualquer pessoa, e que permite produzir e detectar a radiação. Pode ter havido alguma semelhança entre a descrição deste parágrafo e o processo de descoberta, mas isso não pode ser inferido a partir do próprio artigo.]

²⁹[O experimento era feito, evidentemente, no escuro. É possível que Röntgen tenha recoberto inicialmente o tubo de vácuo com cartolina preta para impedir que sua luminosidade dificultasse a observação da fraca luz produzida pelos raios de Lenard em substâncias luminescentes.]

³⁰[Neste ponto, como em muitos outros, Röntgen omitiu uma descrição detalhada de seu procedimento. Como se pode perceber que a causa da fluorescência não vem da bobina de indução, por exemplo? Para poder determinar a origem dos raios, é necessário poder determinar sua direção de origem, o que não pode ser feito simplesmente observando o brilho na tela fluorescente.]

W. C. Röntgen: Sobre um novo tipo de raios²³

(Comunicação preliminar)

1. Se a descarga de um grande *Ruhmkorff*²⁴ passa através de um tubo de vácuo de *Hittorf*, ou através de um tubo de *Lenard*, de *Crookes* ou outro aparelho semelhante²⁵, que tenha sido suficientemente evacuado²⁶, estando o tubo coberto por um invólucro de cartão fino, preto, que se ajusta bem a ele, e se todo o aparelho é colocado em uma sala completamente escura, observa-se que uma tela de papel coberta com platino-cianeto de bário²⁷, colocada na vizinhança da bobina de indução, brilha e fluoresce a cada descarga, esteja a superfície recoberta [pelo material fluorescente] ou a outra voltada para o tubo de descarga²⁸. Essa fluorescência é ainda visível quando a tela de papel está a uma distância de 2 m do aparelho²⁹.

É fácil mostrar que a causa da fluorescência provém do aparelho de descarga e não de qualquer outro ponto do

circuito³⁰.

2. Vê-se, portanto, que algum agente passa através de um envoltório de cartão preto que não deixa passar os raios visíveis e ultravioletas do Sol ou do arco elétrico, e que ele é capaz de produzir uma fluorescência notável, e podemos primeiramente investigar se outros corpos também possuem essa propriedade.³¹

Logo descobrimos que todos os corpos são transparentes a esse agente, embora em graus muito variados. Dou alguns exemplos. Papel é muito transparente^{*32}; atrás de um livro encadernado [p. 133] de cerca de 1000 páginas, vi a tela fluorescente brilhar fortemente; a tinta de impressão não oferecia uma resistência observável³³. Do mesmo modo, a fluorescência era visível atrás de um baralho duplo; uma única carta mantida entre o aparelho e a tela era quase imperceptível ao olho. – Uma única folha de estanho também é pouco perceptível; apenas depois que se superpõem várias camadas é que sua sombra é vista distintamente na tela. – Blocos grossos de madeira ainda são atravessados, tábuas de pinho de dois ou três cm de espessura absorvem apenas um pouco. – Uma placa de alumínio com espessura de cerca de 15 mm, enfraquece bastante a ação, mas não faz a fluorescência desaparecer totalmente. – Discos de borracha vulcanizada³⁴ com vários centímetros de espessura ainda permitem que os raios^{**35} passem através delas. – Placas de vidro de igual espessura se comportam de modos diferentes, conforme contenham chumbo (vidro *flint*) ou não; os primeiros são muito menos transparentes do que os últimos. – Se a mão for mantida entre o aparelho de descarga e a tela, vê-se a sombra mais escura dos ossos dentro da sombra ligeiramente escura da própria mão³⁶. – Água, dissulfeto de carbono e vários outros líquidos, examinados em recipientes de mica, também são muito transparentes. – Não fui capaz de descobrir se o hidrogênio é mais

transparente do que o ar. – Atrás de placas de cobre, prata, chumbo, ouro e platina, a fluorescência ainda pode ser reconhecida, mas apenas se a espessura das placas não for muito grande. Platina com 0,2 mm de espessura ainda é transparente; placas de prata e cobre podem ser ainda mais espessas. Chumbo de uma espessura de 1,5 mm é praticamente opaco e por causa dessa propriedade esse metal é freqüentemente muito útil. – Um bastão de madeira com uma seção reta quadrada (20 × 20 mm), em que um dos lados está pintado com tinta de chumbo, comporta-se de modo diferente dependendo de como é mantido entre o aparelho e a tela; é quase completamente inativo quando os raios X passam através dele paralelamente ao lado pintado; mas o bastão projeta uma sombra escura quando os raios atravessam a camada de tinta. – Os sais podem ser ordenados em uma série semelhante à dos metais com referência à sua transparência, seja em forma sólida ou em solução³⁷.

[p. 134] 3. Os resultados experimentais anteriores, assim como outros, levam à conclusão de que a transparência de diferentes substâncias, considerando-se iguais espessuras, é condicionada essencialmente por sua densidade: nenhuma outra propriedade se faz notar em grau tão elevado quanto esta.

Os seguintes experimentos mostram, no entanto, que a densidade não é o único fator determinante. Examinei a transparência de placas de vidro, alumínio, calcita e quartzo, de espessuras quase iguais; e embora essas substâncias tenham densidades quase iguais, era muito evidente que a calcita era sensivelmente menos transparente do que os outros corpos, que pareciam quase iguais entre si. Não foi notada nenhuma fluorescência particularmente forte da calcita (ver p. 135 [§6]), especialmente em comparação com o vidro³⁸.

4. Todas as substâncias se tornam menos transparentes com o aumento de espessura. Para encontrar uma possível

³¹[Esta frase poderia ser interpretada como uma indicação de que Röntgen iria procurar se outros corpos também emitem radiações penetrantes, mas na verdade significa que ele procurou se outras substâncias além do papel também podiam ser atravessadas pela radiação.]

^{32*}Por “transparência” de um corpo indico a razão entre o brilho de uma tela fluorescente colocada logo atrás do corpo e o brilho que a tela mostra nas mesmas circunstâncias, sem a interposição do corpo.

³³[Provavelmente, Röntgen pensou que se a tinta oferecesse uma maior absorção, apareceria na tela fluorescente uma mancha mais escura, correspondente à parte impressa do livro - e isso não foi observado.]

³⁴[Trata-se do material chamado “ebonite”, semelhante a um plástico, muito utilizado na época como isolante elétrico.]

^{35**} Por brevidade, utilizarei a expressão “raios”; e para distingui-los de outros com o mesmo nome, eu os chamarei de “raios X” (ver p. 140 [§14]).

³⁶[A possibilidade de ver - e fotografar - os ossos de uma pessoa viva foi o aspecto da descoberta de Röntgen que suscitou maior impacto popular, e que teve imediatas aplicações médicas. Röntgen, posteriormente, ficou desgostoso com a popularização de seu trabalho, que o reduzia a uma simples técnica - enquanto Röntgen dava mais importância à descoberta e estudo de um ente físico, independentemente de aplicações.]

³⁷[Ou seja, os sais que contêm os metais que absorvem mais fortemente os raios X são também os menos transparentes.]

³⁸[Possivelmente Röntgen imaginou que a absorção mais forte dos raios X pela calcita poderia indicar uma transformação energética que gerasse luz visível - assim como os material fluorescentes à luz ultravioleta apresentam faixas de forte absorção acompanhadas de forte fluorescência.]

relação entre transparência e espessura, fiz fotografias (ver p. 135 [§6]) nas quais diversas partes da chapa fotográfica eram recobertas com camadas de folha de estanho, variando o número de folhas superpostas. Serão feitas medidas das mesmas quando eu tiver à disposição um fotômetro adequado³⁹.

5. Foram laminadas folhas de platina, chumbo, zinco e alumínio de espessuras tais que todas pareceram quase igualmente transparentes⁴⁰ A tabela seguinte contém a espessura absoluta dessas folhas medidas em mm, a espessura relativa comparada à da folha de platina, e suas densidades:

	espessura	espessura relativa	densidade
Pt	0,018 mm	1	21,5
Pb	0,05 "	3	11,3
Zn	0,10 "	6	7,1
Al	3,5 "	200	2,6

Pode-se concluir desses valores que diferentes metais não possuem transparências iguais, mesmo quando os produtos da espessura pela densidade são iguais⁴¹. A transparência aumenta muito mais fortemente do que a diminuição desse produto⁴².

[p. 135] 6. A fluorescência do platino-cianeto de bário não é o único efeito reconhecível dos raios X. Deve-se mencionar que outros corpos também mostram fluorescência; tais como, por exemplo, os compostos fosforescentes de cálcio, o vidro de urânio, vidro ordinário, calcita, sal gema, etc.

É especialmente significativo, sob muitos aspectos, o

fato de que chapas fotográficas secas sejam sensíveis aos raios X. Estamos assim em condições de fixar muitos fenômenos e assim podemos evitar mais facilmente o erro; sempre que foi possível, portanto, controlei através da fotografia todas as observações importantes que fiz visualmente por meio de telas fluorescentes⁴³.

Para isso, a propriedade dos raios de passar quase sem resistência através de lâminas finas de madeira, papel e estanho é muito importante; as impressões fotográficas podem ser obtidas em uma sala iluminada usando-se chapas fotográficas em seus suportes ou embrulhadas em papel. Por outro lado, dessa propriedade resulta que as chapas não reveladas não podem ser deixadas por um tempo longo na vizinhança do tubo de descarga, se estiverem protegidas apenas pela cobertura usual de papelão e papel⁴⁴.

É duvidoso se a ação química sobre os sais de prata nas chapas fotográficas é causada diretamente pelos raios X. É plausível que essa ação provenha da luz fluorescente que, como foi indicado acima, é produzida na própria chapa de vidro ou, talvez, na camada de gelatina. É possível utilizar "filmes"⁴⁵ da mesma forma que chapas de vidro⁴⁶.

Ainda não fui capaz de provar experimentalmente que os raios X produzem um efeito calorífico; no entanto, podemos presumir que esse efeito está presente, já que a capacidade dos raios X de se transformarem é provada pelos fenômenos observados de fluorescência e, portanto, certamente nem todos os raios X que incidem sobre um corpo saem dele sob a mesma forma.

³⁹[Pode-se notar que Röntgen não dispunha de condições adequadas para fazer análises quantitativas do fenômeno. Segundo a descrição de Dam, o laboratório de Röntgen era muito pobre em equipamentos, quando comparado com laboratórios da época: "A lição do laboratório era eloquente. Comparado, por exemplo, com a aparelhagem elaborada, cara e completa da Universidade de Londres, ou de qualquer das grandes universidades americanas, era muito desprezível e nu. Ele dizia em silêncio que na grande caminhada da ciência, é o gênio do homem e não a perfeição dos equipamentos que leva a novas descobertas no grande território do desconhecido" (DAM 1896, p. 410).]

⁴⁰[Note-se a metodologia quase primitiva, de tentativa e erro, que Röntgen precisou seguir pela falta de processos quantitativos de medida. Essa descrição implica na produção de um grande número de folhas dos vários metais, de espessuras diferentes, e sua comparação visual, colocando-as entre o tubo de raios descarga e a tela fluorescente. Dada a dificuldade em comparar os brilhos fracos e oscilantes produzidos dessa forma, a margem de erro devia ultrapassar 10%.]

⁴¹[Se os produtos da espessura pela densidade forem iguais, isso indicaria que a mesma "quantidade de matéria" é atravessada pelos raios, nos dois casos. Se a absorção dos raios X fossem iguais, nesses casos, poder-se-ia concluir que não importa a qualidade (química) do material, mas apenas sua quantidade de matéria.]

⁴²[Röntgen tinha enorme dificuldade em fazer medidas, e era difícil repetir algum experimento de forma quantitativa, pois a radiação variava continuamente de intensidade, como se pode ver pela descrição de Dam: "No momento em que a corrente passou, o papel começou a brilhar. Uma luz amarelo-esverdeada espalhou-se sobre toda sua superfície em nuvens, ondas e explosões. A luminescência amarelo-esverdeada, mais estranha e forte no escuro, tremia, ondulava e flutuava sobre o papel, em ritmo com os estalos da descarga" (DAM 1896, p. 412).]

⁴³[O uso de fotografias não apenas deu mais segurança a Röntgen, como também produziu provas altamente convincentes, compreensíveis a qualquer pessoa.]

⁴⁴[Muito antes do estudo de Röntgen, William Crookes e vários outros pesquisadores já haviam notado que as chapas fotográficas podiam se tornar veladas em seus laboratórios, de modo inexplicado. Se essas pessoas tivessem investigado o fenômeno, poderiam ter sido levadas à descoberta dos raios X antes de Röntgen.]

⁴⁵[Os filmes fotográficos (com base flexível) eram uma invenção recente; utilizava-se quase sempre chapas fotográficas rígidas, de vidro.]

⁴⁶[Saber se os raios X tinham um efeito químico direto ou se atuavam indiretamente, por fluorescência, foi um ponto investigado posteriormente por diversos pesquisadores. Em uma carta datada de 27 de maio de 1896, Shelford Bidwell informou que nem a gelatina nem as folhas de celulósido dos filmes fotográficos eram fluorescentes sob raios X, e que portanto, nos filmes fotográficos, o efeito deveria ser direto. Ver ANÔNIMO 1896, p. 111.]

A retina do olho não é sensível a nossos raios; mesmo colocando o olho próximo ao tubo de descarga, ele não observa nada⁴⁷, embora, de acordo com experimentos feitos, o meio contido no olho seja suficientemente transparente para os raios⁴⁸

[p. 136] 7. Depois que reconheci a transparência de vários corpos de espessura relativamente considerável, apressei-me a ver como os raios X se comportavam ao passar através de um prisma, e encontrar se eram desviados por eles ou não. Experimentos com água e com dissulfeto de carbono⁴⁹ em prismas de mica com ângulo refratante de cerca de 30° não mostraram desvio, nem com a tela fluorescente nem com a chapa fotográfica⁵⁰. Para comparação, foi observado o desvio dos raios de luz ordinária nas mesmas condições; as imagens desviadas caíam sobre a chapa a cerca de 10 mm ou 20 mm da imagem não defletida. - Por meio de prismas feitos de borracha vulcanizada e de alumínio, também com ângulo refratante de cerca de 30°, obtive imagens na chapa fotográfica em que talvez possa ser reconhecido um pequeno desvio. No entanto, a coisa é bastante incerta; e o desvio, se existir, é tão pequeno que o índice de refração dos raios X nas substâncias indicadas não pode ser mais do que 1,05. Com a tela fluorescente fui incapaz de observar qualquer desvio nesse caso.

Até o momento, experimentos com prismas de metais mais densos não deram resultados definidos, devido à sua pequena transparência e conseqüentemente à intensidade reduzida dos raios transmitidos.

Considerando tudo isso e, por outro lado, considerando a importância da questão se os raios X podem ser refratados ou não ao passar de um meio para outro, temos a sorte de poder investigar esse tema de um outro modo, sem o uso de prismas. Corpos finamente divididos, colocados

em camadas suficientemente espessas, espalham a luz incidente e só permitem que um pouco dela passe, devido à reflexão e refração⁵¹; assim, se os pós forem tão transparentes aos raios X quanto as mesmas substâncias em bloco - pressupondo-se iguais quantidades de matéria - segue-se imediatamente que não ocorre nem refração nem reflexão regular em um grau sensível. Foram tentados experimentos com sal gema finamente pulverizado, com fino pó de prata eletrolítico, e com pó de zinco do tipo usado em investigações químicas; em todos esses casos não foi detectada diferença entre a transparência do [p. 137] pó e a da substância em bloco, seja por observação com a tela fluorescente, ou com a chapa fotográfica.

A partir do que foi dito é evidente que os raios X não podem ser concentrados por lentes; uma grande lente de borracha vulcanizada ou uma lente de vidro não possuem qualquer influência sobre eles. A sombra de um bastão redondo é mais escura no centro do que na borda; enquanto que a imagem de um tubo preenchido com uma substância mais transparente do que o material do tubo é mais clara no meio do que na borda.

8. A questão da reflexão dos raios X pode ser considerada como resolvida pelos experimentos do parágrafo anterior, no sentido de que não ocorre reflexão regular notável dos raios em qualquer das substâncias examinadas. Outros experimentos, que eu omito aqui, levam à mesma conclusão⁵².

Deve-se, no entanto, mencionar uma observação associada a isso, pois à primeira vista ela parece provar o contrário. Expus aos raios X uma chapa fotográfica que estava protegida da luz por papel preto, e cujo lado de vidro estava voltado para o tubo de descarga; a camada sensível estava coberta, em sua maior parte, com placas polidas de platina,

⁴⁷[É claro que ninguém deve repetir atualmente esse tipo de experimento, mas na época não só Röntgen mas muitos outros pesquisadores ficavam com os olhos bem perto do tubo de descarga, procurando ver a radiação - e recebendo, é claro, uma altíssima dose de radiação.]

⁴⁸[No caso da radiação ultravioleta, sabia-se na época que ela não era visível, mesmo quando muito intensa, por causa de sua forte absorção pelos tecidos transparentes do olho humano - especialmente pelo cristalino. Como Röntgen pode ter testado a absorção dos raios X pelo olho? Ele não deu nenhuma informação sobre isso. Seria possível - mas pouco plausível - que ele tivesse colocado um globo ocular de algum animal - de um boi, por exemplo - fornecido por um açougueiro, entre o tubo de descarga e o papel fluorescente, notando sua transparência. Pode ser também que ele tenha colocado sua própria cabeça entre o tubo de descarga e uma tela fluorescente, e notado que não havia uma absorção forte na região dos olhos.]

⁴⁹[O dissulfeto de carbono é um dos líquidos com maior índice de refração, e Röntgen já havia feito estudos sobre a influência da pressão nas propriedades dessa substância. Era natural que, por analogia com a luz, ele tivesse a esperança de observar um forte desvio dos novos raios com esse material.]

⁵⁰[O ângulo de 30 indicado por Röntgen é muito pequeno, não sendo típico em experimentos de óptica. É difícil imaginar o motivo pelo qual ele não tentou prismas com ângulo muito maior, especialmente depois dos primeiros resultados negativos.]

⁵¹[Newton já tinha notado essa propriedade no caso da luz visível: o vidro é transparente, mas o pó de vidro, é opaco e branco, pelo grande número de reflexões e refrações nas superfícies dos pequenos fragmentos de vidro existentes no pó.]

⁵²[Era comum, na época, que os autores se referissem de modo enigmático a experimentos e observações que reservavam para uma descrição futura. Em parte, pelo menos, esse tipo de atitude servia para poder alegar prioridade, posteriormente, mesmo em relação a coisas que não haviam sido publicadas.]

chumbo, zinco e alumínio, arranjadas sob a forma de uma estrela. No negativo revelado viu-se claramente que o escurecimento era mais forte sob a platina, o chumbo, e particularmente sob o zinco, do que sob as outras placas⁵³; o alumínio não produziu qualquer ação. Parece, portanto, que esses três metais refletem os raios. No entanto, são concebíveis outras explicações do escurecimento mais forte⁵⁴, por isso, para me assegurar, coloquei em um segundo experimento, entre a película sensível e as placas de metal, um pedaço de folha fina de alumínio, que é opaca aos raios ultravioletas mas é muito transparente aos raios X. Como foi novamente obtido substancialmente o mesmo resultado, provou-se que ocorre reflexão de raios X dos metais acima designados.

Se compararmos este fato com a observação de que os pós são tão transparentes quanto massas coesas, e que corpos com superfícies rugosas se comportam como corpos polidos com relação à passagem dos raios X, como mostrado também no último experimento, chega-se à conclusão de que não ocorre reflexão regular, [p. 138] mas que os corpos se comportam quanto aos raios X como os meios turvos em relação à luz⁵⁵.

Como não consegui detectar qualquer refração na passagem de um meio para outro, parece que os raios X se movem com a mesma velocidade em todos os corpos; e que essa velocidade é a mesma no meio que está presente em toda parte⁵⁶ e no qual estão embebidas as partículas de

matéria. Estas últimas dificultam a propagação dos raios X, e o efeito é geralmente tanto maior quanto mais denso for o corpo considerado.

9. Dessa forma, é plausível que o arranjo das partículas no corpo exerça uma influência sobre sua transparência e que, por exemplo, um pedaço de calcita possa ter diferentes graus de transparência para a mesma espessura, conforme seja atravessado na direção do eixo, ou perpendicularmente a ele. Experimentos com calcita e quartzo, no entanto, deram resultado negativo⁵⁷.

10. É bem conhecido que *Lenard*, a partir dos resultados de seus belos experimentos sobre a transmissão de raios catódicos de um tubo de *Hittorf* através de uma folha fina de alumínio, chegou à conclusão que esses raios são fenômenos do éter, e que eles se difundem através de todos os corpos. Podemos dizer o mesmo quanto aos nossos raios⁵⁸.

Em suas pesquisas mais recentes, *Lenard* determinou o coeficiente de absorção dos raios catódicos por diferentes corpos, incluindo o ar à pressão atmosférica, para o qual obteve 4,10, 3,40, 3,10 por 1 cm, de acordo com a rarefação do gás contido no aparelho de descarga⁵⁹. A julgar pela tensão da descarga, estimada a partir da distância das faíscas⁶⁰, lidei geralmente em meus experimentos com rarefações aproximadamente iguais, e apenas raramente com maiores ou menores. Por meio de um fotômetro de *L. Weber*⁶¹ - não possuo um melhor - fui capaz de comparar as intensidades da fluorescência de minha tela, no ar at-

⁵³[Embora o original se refira ao “escurecimento *sob* a platina” (*die Schwärzung unter dem Platin...*) é preciso notar que os raios X não estão, no caso, passando através da platina e dos outros metais, mas sim passando através da chapa fotográfica, depois sendo refletidos pelas placas metálicas de volta para a chapa fotográfica.]

⁵⁴[A hipótese que parece ter ocorrido a Röntgen seria de que estaria ocorrendo a produção de raios ultravioletas e que estes é que, refletidos pelos metais, estariam produzindo um maior efeito fotográfico.]

⁵⁵[Lenard havia utilizado uma terminologia semelhante ao se referir aos raios catódicos no ar: para esses raios, o ar se comportava como um meio turvo, espalhando os raios para todos os lados, como acontece com a luz em água na qual se misturou um pouco de leite, ou em ar enfumaçado. Ver JAUNCEY 1945, p. 372.]

⁵⁶[Röntgen se referia ao éter, que era aceito como uma realidade por praticamente todos os físicos do final do século XIX.]

⁵⁷[Esses dois materiais testados por Röntgen apresentam dupla refração para a luz visível. Indiretamente, Röntgen estava testando a ocorrência de efeitos de polarização, mas esse teste não era o mais adequado. Posteriormente, outros pesquisadores utilizaram turmalina e outros materiais que apresentam diferentes absorções dependendo da polarização da radiação.]

⁵⁸[Nesta e na próxima seções do seu artigo, Röntgen vai procurar comparar e diferenciar claramente os novos raios descobertos com os “raios de Lenard” (raios catódicos observados fora do tubo de descarga). Apesar desse cuidado de Röntgen, muitas pessoas confundiram inicialmente os raios X com os raios catódicos.]

⁵⁹[Esta frase de Röntgen não é muito esclarecedora. Pode-se compreendê-la, no entanto, consultando um artigo que havia sido publicado recentemente por Lenard a respeito da absorção de raios catódicos (LENARD 1895). Nesse artigo, encontra-se uma tabela que contém exatamente os números indicados por Röntgen (LENARD 1895, tabela III, p. 261). Lenard assumiu uma lei exponencial de absorção dos raios catódicos, do tipo $i = I_0 \cdot e^{-ar}$ e mediu o fator a . Valores da ordem de $a = 4/\text{cm}$ significam que somente cerca de 2% da radiação atravessa 1 cm de ar à pressão atmosférica normal.]

⁶⁰[Observe-se que não eram feitas medidas da tensão produzida pela bobina de indução. Ela era avaliada em função da distância, no ar, das faíscas produzidas. É claro que essa distância dependia de muitos fatores, como a umidade do ar, proporcionando apenas uma indicação semi-quantitativa.]

⁶¹[O fotômetro inventado por Leonhard Weber (não confundir com Wilhelm E. Weber) é um aperfeiçoamento dos fotômetros visuais de Bouguer e de Ritchie. Basicamente, todos eles comparam duas fontes luminosas, visualmente, refletindo-as em duas superfícies em distâncias ajustáveis, até que o brilho dessas duas superfícies pareçam iguais. Medindo-se então as distâncias das superfícies às fontes e utilizando-se a lei do inverso do quadrado da distância, determina-se a razão entre suas luminosidades. No caso dos experimentos de Röntgen, utilizar esse tipo de fotometria para comparar os brilhos fracos e variáveis de duas telas fluorescentes não pode ter proporcionado resultados quantitativos precisos.]

mosférico, a duas distâncias do aparelho de descarga - cerca de 100 e 200 mm - e encontrei a partir de três experimentos, que concordam muito bem entre si, que as intensidades variam inversamente com os quadrados das distâncias entre a tela e o aparelho de descarga⁶². Portanto, o ar absorve uma fração muito menor dos raios X que o atravessam do que de raios catódicos. Esse resultado [p. 139] está também em total concordância com a observação acima mencionada, de que ainda é possível detectar a luz fluorescente a uma distância de 2 m do aparelho de descarga⁶³.

Outros corpos se comportam em geral como o ar: são mais transparentes aos raios X do que aos raios catódicos⁶⁴.

11. Uma outra diferença, muito notável, entre o comportamento dos raios catódicos e dos raios X está no fato de que não fui capaz, apesar de muitas tentativas, de obter uma deflexão dos raios X por um ímã, mesmo em campos magnéticos muito intensos.

A possibilidade de deflexão por um ímã serviu, até agora, como uma propriedade característica dos raios catódicos⁶⁵; foi observado por *Hertz* e *Lenard* que há diferentes tipos de raios catódicos, “que são distinguidos uns dos outros por sua produção de fosforescência, pela sua absorção, e pela sua deflexão por um ímã”, mas foi notada uma deflexão considerável em todos os casos que investigaram, e não penso que essa característica possa ser abandonada exceto por razões muito fortes.

12. De acordo com experimentos planejados especialmente para testar a questão, certamente o ponto da parede do tubo de descarga que tem fosforescência mais forte deve

ser considerado como o ponto de origem principal a partir de onde os raios X se irradiam em todas as direções⁶⁶. Os raios X provêm daquele ponto onde, de acordo com as conclusões de vários pesquisadores, os raios catódicos atingem a parede de vidro. Se os raios catódicos dentro do tubo de descarga são desviados por meio de um ímã, observa-se que os raios X também saem de outro ponto, ou seja, da extremidade dos raios catódicos.

Por esta razão, portanto, os raios X, que não são defletidos, não podem ser simplesmente raios catódicos transmitidos ou refletidos sem mudança pela parede de vidro. A maior densidade do vidro⁶⁷ fora do tubo de descarga certamente não pode explicar a grande diferença de deflexão, de acordo com *Lenard*.

Cheguei portanto à conclusão de que os raios X não são idênticos aos raios catódicos, mas são produzidos pelos raios catódicos na parede de vidro do aparelho de descarga.

[p. 140] 13. Essa produção não ocorre apenas no vidro⁶⁸, mas também no alumínio, como fui capaz de observar em um aparelho fechado por uma placa desse metal de 2 mm de espessura⁶⁹. Outras substâncias serão investigadas posteriormente.

14. A justificativa para chamar de “raios” o novo agente que provém da parede do aparelho de descarga provém em parte da formação bastante regular das sombras que são vistas quando se coloca corpos mais ou menos transparentes entre o aparelho e a tela fluorescente (ou a chapa fo-

⁶²[Levando-se em conta não apenas a absorção da radiação pelo ar, mas também o fato de se espalhar para todos os lados, a sua intensidade poderia ser representada por uma fórmula do tipo $i = A.e^{-ar}/r^2$, utilizada por *Lenard* em seu artigo sobre raios catódicos (LENARD 1895). Se a intensidade observada é inversamente proporcional ao quadrado da distância, isso significa que o produto ar é muito menor do que 1, ou seja, que a absorção é muito pequena.]

⁶³[No caso dos raios de *Lenard*, não se observava mais efeitos luminescentes a uma distância de alguns centímetros do tubo, no ar.]

⁶⁴[Por exemplo, no caso do alumínio, os experimentos de *Lenard* indicavam que a intensidade dos raios catódicos se tornava 1.550.000 vezes menor ao atravessar uma espessura de 0,022 mm (LENARD 1895, p. 267). No caso dos raios X, a radiação ainda produzia efeitos visíveis após atravessar 15 mm de alumínio.]

⁶⁵[No caso dos raios catódicos fora do tubo de descarga, a deflexão magnética foi descrita em LENARD 1894b.]

⁶⁶[Mais uma vez, *Röntgen* não indica como verificou esse ponto. Note-se que *Röntgen* descreve claramente que os raios catódicos atingiam o tubo de vidro, e não um ânodo ou anti-cátodo metálico.]

⁶⁷[Esta frase é obscura. No original, encontra-se: “Die grössere Dichte des Glases ausserhalb des Entladungsgefässes kann ja nach *Lenard* für die grosse Verschiedenheit der Ablekbarkeit nicht verantwortlich gemacht werden”. Alguns tradutores ingleses preferiram interpretar o início da frase como “The greater density of the gas outside the discharge tube...”, mas o original fala claramente sobre vidro e não gás.]

⁶⁸[Nos primeiros tubos utilizados por *Röntgen*, os raios catódicos atingiam o vidro, e não o ânodo. Evidentemente, após algum tempo, devia ocorrer uma acumulação de cargas negativas na superfície interna do vidro, perturbando o feixe de raios catódicos. Para evitar isso, *Röntgen* indicou em uma carta que era recomendável colocar um pequeno pedaço de folha de alumínio fora do vidro, no lado oposto ao cátodo, e ligar essa folha de alumínio ao ânodo, por meio de um fio (ver carta de *Röntgen* para *Emil Warburg*, 28 de janeiro de 1896, reproduzida em KREBS 1973, p. 88). Com esse tipo de arranjo, as cargas elétricas podiam passar através do vidro (que devia ser fino e que é condutor para altas voltagens) e era eliminado o problema do seu acúmulo na ampola (KREBS 1973, p. 89).]

⁶⁹[*Röntgen* deve ter resolvido testar se havia alguma relação entre a fosforescência no vidro e o surgimento dos raios X, já que o ponto de onde eles surgiam era o ponto do vidro que se tornava luminoso. Como os raios X eram também produzidos no alumínio, não tinha relação com a fosforescência do vidro. Apesar disso, vários autores, como *Poincaré*, *J. J. Thomson* e *Silvanus Thompson* imaginaram que a produção de raios X estava associada à luminescência - uma conjectura que levou às pesquisas de *Becquerel* sobre o fenômeno que chamamos de radioatividade (MARTINS 1997).]

tográfica)⁷⁰.

Observei e algumas vezes também fotografei muitas imagens de sombras desse tipo, cuja produção tem um encanto particular⁷¹; possuo, por exemplo, fotografias da sombra do perfil de uma porta que separa as salas nas quais, de um lado, foi colocado o aparelho de descarga e, do outro, a chapa fotográfica; da sombra dos ossos da mão⁷²; da sombra de um fio encoberto enrolado em uma bobina de madeira; de um conjunto de pesos dentro de uma caixa; de uma bússola cuja agulha magnética está completamente envolta por metal⁷³; de um pedaço de metal cuja falta de homogeneidade se torna observável pelos dos raios X⁷⁴; etc.⁷⁵

Outra prova conclusiva da propagação linear dos raios X é uma fotografia de orifício de alfinete que fui capaz de fazer do aparelho de descarga envolto em papel preto; a imagem é fraca mas correta, sem dúvida⁷⁶.

15. Tentei muito detectar fenômenos de interferência dos raios X mas, infelizmente, sem sucesso, talvez por causa de sua fraca intensidade⁷⁷.

16. Foram iniciados experimentos que ainda não estão completos, para constatar se forças eletrostáticas influenciam os raios X de algum modo⁷⁸.

17. Ao se questionar o que são realmente os raios X - que, como vimos, não podem ser raios catódicos - podemos talvez ser levados inicialmente a pensar em luz ultravioleta, devido a suas fluorescências ativas e suas ações químicas. Mas ao fazê-lo encontramos imediatamente objeções do maior peso. Se os raios X são luz ultra- [p. 141] violeta, essa luz deve ter as seguintes propriedades:

- (a) ao passar do ar para água, dissulfeto de carbono, alumínio, sal gema, vidro, zinco, etc., não sofre refração sensível;
- (b) não pode ser refletida regularmente por qualquer dos corpos indicados, em um grau apreciável;
- (c) não pode ser polarizada por qualquer dos métodos ordinários⁷⁹;
- (d) sua absorção não é influenciada por qualquer outra propriedade das substâncias tão fortemente quanto por sua densidade.

Quer dizer, devemos assumir que esses raios ultravioletas se comportam de modo completamente diferente dos raios infravermelhos, visíveis e ultravioletas conhecidos até agora.

Fui incapaz de aceitar essa conclusão⁸⁰, e assim procurei

⁷⁰[Esse tinha sido exatamente o critério utilizado por autores anteriores ao propor nomes como “raios catódicos”: a produção de sombras regulares e nítidas permitia inferir que havia propagação retilínea, como a da luz.]

⁷¹[Segundo Dam, Röntgen utilizava cerca de 15 minutos para obter uma fotografia comum, e meia hora ou mais para radiografar os ossos da mão (DAM 1896, p. 414). O processo foi no entanto aperfeiçoado rapidamente, e pouco tempo depois Röntgen informou a Zehnder que as radiografias podiam ser obtidas em um tempo de três a dez minutos – ver NITSKE, Wilhelm Conrad Röntgen, p. 101.]

⁷²[A primeira radiografia de ossos produzida por Röntgen foi a da mão de sua esposa, Anna Bertha. Cópias dessa radiografia foram enviadas por Röntgen a diversos correspondentes, e publicadas depois em jornais.]

⁷³[Essa fotografia foi reproduzida por Poincaré, e mostra nitidamente a agulha e até mesmo a escala de ângulos da bússola. Poincaré conjecturou que a caixa da bússola era feita de alumínio, o que é bastante plausível, dada as características da imagem. Ver POINCARÉ 1896, p. 53. A escala da bússola aparece na radiografia porque, segundo Dam, ela era feita com tinta metálica vermelha (óxido de ferro?): ver DAM 1896, p. 414.]

⁷⁴[Esse primeiro teste de Röntgen deu origem à análise radiográfica de falhas em metais, que logo suscitou interesse das indústrias e dos militares.]

⁷⁵[Várias dessas primeiras radiografias se tornaram famosas, e Röntgen as emprestou (juntamente com os objetos correspondentes) a um amigo que ia dar uma palestra sobre os raios X: “Em anexo envio-lhe as fotografias prometidas. Se você quiser mostrá-las em palestras, está bem para mim. Mas eu recomendaria que você as colocasse em uma moldura com vidro, caso contrário serão roubadas. Penso que com a ajuda de explicações você não terá dificuldades; senão, escreva-me.” (...) “Envio para sua palestra a caixa de bússola, o carretel de madeira, o conjunto de pesos e a folha de zinco, assim como uma fotografia muito bem conservada de uma mão por Pernet, de Zurich. Por favor, devolva esses itens logo que possível, com seguro. Você tem uma grande tela com platino-cianeto?” (Carta de Röntgen para Zehnder, 8 de fevereiro de 1896, transcrita em: NITSKE, Wilhelm Conrad Röntgen, pp. 100-1).]

⁷⁶[Esse experimento, descrito sem detalhes por Röntgen, deve ter consistido em colocar uma placa de chumbo ou estanho, furada, entre o tubo de raios X e uma chapa fotográfica, de tal modo a produzir uma “imagem” do aparelho. Jean Perrin fez também um experimento do mesmo tipo, que lhe permitiu determinar o ponto do tubo de descarga de onde provinham os raios X.]

⁷⁷[Nenhuma indicação sobre o tipo de experimento tentado.]

⁷⁸[Os raios catódicos eram desviados por campos magnéticos, como Röntgen indicou, enquanto os raios X não sofriam desvio nesses campos. No caso de campos eletrostáticos, ainda não havia sido detectada deflexão dos raios catódicos, mas era relevante, de qualquer forma, testar o que ocorreria com os raios X.]

⁷⁹[Os modos comuns utilizados na época para polarizar a luz eram através da reflexão em superfícies de vidro ou cristal (utilizando a lei de Malus) ou através de materiais como a turmalina. Não existe indicação clara de que Röntgen tenha feito experimentos desse tipo.]

⁸⁰[Para nós, que aceitamos que os raios X são da mesma natureza que os raios ultravioletas - diferindo apenas por uma frequência mais alta - pode parecer que Röntgen cometeu uma falha. Sabia-se, na época, que existiam muitos tipos diferentes de ondas eletromagnéticas transversais (ou, como se costumava dizer, ondas do éter), diferindo apenas por seu comprimento de onda: raios ultravioletas, luz visível, infravermelho, ondas de rádio (ou “hertzianas”). O que impediria de considerar os raios X como um novo grupo de ondas desse mesmo tipo? Basicamente, sua falta de refração. Na época, sabia-se que o índice de refração de uma dada substância ia *aumentando* à medida que o comprimento de onda diminuía. Se os raios X eram ondas eletromagnéticas, deviam ter pequeno comprimento de onda (pois não havia sido observada difração). Se fossem de comprimento de onda menor do que os raios ultravioletas, deveriam sofrer uma forte refração - e, pelo contrário, não tinham refração observável. Não podiam, portanto (de acordo com os conhecimentos da época) ser ondas eletromagnéticas de curto comprimento de onda - pelo menos, ondas *transversais* (POINCARÉ 1896, p. 55).]

outra explicação.

Parece existir algum tipo de relação entre os novos raios e raios de luz, pelo menos isso é indicado pela formação de sombras, pela fluorescência e pela ação química produzida por ambos. Ora, sabemos há muito tempo que podem existir no éter vibrações longitudinais, além das vibrações luminosas transversais; e, de acordo com a opinião de vários físicos, essas vibrações devem existir⁸¹. É verdade que sua existência não foi evidenciada até o presente, e assim suas propriedades não foram investigadas por experimentos.

Portanto, não deveriam os novos raios ser atribuídos a vibrações longitudinais no éter?

Devo admitir que no decorrer da investigação tornei-me cada vez mais inclinado a essa opinião e, assim, permito-me exprimir aqui esta conjectura, embora esteja perfeitamente ciente de que a explicação fornecida ainda necessita de maior fundamentação.

Würzburg. Instituto de Física da Universidade. Dez. 1895.

Bibliografia

1. [ANÔNIMO]. Recent researches on Röntgen rays. *Nature* **54**, 109 (1896).
2. ANDRADE, E. N. da C. Obituary. Prof. P. Lenard. *Nature* **160**, 895 (1947).
3. —. The history of the vacuum pump. *Advancements in Vacuum Science and Technology* **1**, 14 (1960).
4. BARKER, George F. *Röntgen rays - memoirs by Röntgen, Stokes, and J. J. Thomson*. New York: Harper, 1899.
5. BOTTOMLEY, J. T. [On Röntgen's rays]. *Nature* **53** (1369): 268-9, (1896).
6. DAM, H. J. W. The new marvel in photography. *McClure's Magazine* **6** (5): 402-15, abril 1896. Reproduzido em: NITSKE, *The life of Wilhelm Conrad Röntgen*, pp. 126-37.
7. FEATHER, N. (ed.). *X-rays and the electric conductivity of gases. Comprising papers by W. C. Röntgen (1895-1896), J. J. Thomson, and E. Rutherford (1896)*. Edinburgh: E. & S. Livingstone, 1958. (Alembic Club Reprints 22).

8. GLASSER, Otto. *Wilhelm Conrad Röntgen and the early history of the Röntgen rays*. Springfield, IL: Charles C. Thomas, 1945.
9. HABLANIAN, M. H. Comments on the history of vacuum pumps. *Journal of Vacuum Science and Technology A2* (2), 118 (1984).
10. HELMHOLTZ, Hermann L. F. von. Electromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung. *Annalen der Physik und Chemie* [3]**48**, 389 (1893).
11. HERTZ, Heinrich Rudolf. Ueber den Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten. *Annalen der Physik und Chemie* [3] **45**, 28 (1892).
12. JAUNCEY, G. E. M. The birth and early infancy of X-rays. *American Journal of Physics* **13**, 362 (1945).
13. KLICKSTEIN, Herbert S. *Wilhelm Conrad Röntgen: On a new kind of rays - a bibliographical study*. [s.l.]: Mallinckrodt, 1966.
14. KREBS, Hans. Two letters by Wilhelm Conrad Röntgen. *Notes and Records of the Royal Society of London* **28**(1), 83 (1973).
15. LEIGHTON, Robert B. *Principles of modern physics*. New York: McGraw Hill, 1959.
16. LENARD, Philipp. Ueber Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äussersten Vacuum. *Annalen der Physik und Chemie* [3] **51**, 225 (1894). (a).
17. —. Ueber die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen. *Annalen der Physik und Chemie* [3] **52**, 23 (1894) (b).
18. —. Ueber die Absorption der Kathodenstrahlen. *Annalen der Physik und Chemie* [3] **56**, 255 (1895).
19. MADEY, Theodore E. Early applications on vacuum, from Aristotle to Langmuir. *Journal of Vacuum Science and Technology A 2* (2), 110 (1984).
20. MARTINS, Roberto de Andrade. Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (**10**), 102 (1986).
21. —. Becquerel and the choice of uranium compounds. *Archive for History of Exact Sciences* **51** (1), 67 (1997).
22. MCINTYRE, John. A demonstration on the X rays. *Proceedings of the Philosophical Society of Glasgow* **28**, 267 (1897).

⁸¹[Röntgen não indicou quais os autores que haviam estabelecido "há muito tempo" que podem existir ondas longitudinais no éter, por isso não sabemos exatamente a quem ele estava se referindo. Jaumann, em 1894, havia sugerido que os raios catódicos eram ondas longitudinais do éter, e talvez Röntgen estivesse se referindo a esse trabalho. Mas como ele afirmou explicitamente "sabemos há muito tempo...", é mais plausível que estivesse se referindo a algo mais antigo. Logo após a divulgação na Inglaterra do trabalho de Röntgen, no entanto, foi apontado que Lord Kelvin havia discutido essa possibilidade em 1884, quando apresentou as *Baltimore Lectures* na Universidade Johns Hopkins: "Suponhamos que temos em qualquer lugar no ar, ou no éter luminífero (não posso distingüir agora entre as duas idéias) um corpo que, através de alguma ação que não preciso descrever agora, mas que é concebível, seja eletrizado alternadamente de modo positivo e negativo; isso não poderia originar ondas condensacionais?" (KELVIN, citado em BOTTOMLEY 1896). Lord Kelvin sugeriu que seria possível produzir oscilações elétricas entre duas esferas metálicas, e que na direção da reta que une os centros das duas esferas haveria um campo elétrico fraco, mas finito, oscilante, que se propagaria pelo espaço. "Parece-me provável que essas ondas elétricas são ondas condensacionais [longitudinais] no éter luminífero, e provavelmente a propagação dessas ondas seria enormemente mais rápida do que a de ondas luminosas comuns" (KELVIN, citado em BOTTOMLEY 1896, p. 268).]

23. NITSKE, W. Robert. *The life of Wilhelm Conrad Röntgen, discoverer of the X-ray*. Tucson: University of Arizona Press, 1971.
24. PERRIN, Jean. Nouvelles propriétés des rayons cathodiques. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **121**, 1130 (1895).
25. POINCARÉ, Henri. Remarque sur un mémoire de M. Jaumann intitulé "Longitudinales Licht". *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **121**, 792 (1895).
26. —. Les rayons cathodiques et les rayons Roentgen. *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées* **7**, 52 (1896).
27. RICHTMYER, F. K., KENNARD, E. H. & LAURITSEN, T. *Introduction to modern physics*. 5th. ed. New York: McGraw Hill, 1956.
28. ROMER, Alfred. Accident and professor Röntgen. *American Journal of Physics* **27**, 275 (1959).
29. RÖNTGEN, Wilhelm Conrad. Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung). *Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg* (**9**), 132 (1895).⁸²
30. —. Über eine neue Art von Strahlen (II Mittheilung). *Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg* (**1**), 11-6; (**2**), 17-9, 1896.⁸³
31. —. Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* **23**, 576 (1897).⁸⁴
32. SANTOS, Carlos A. dos. A descoberta dos raios X. Pp. 13-28, em: SANTOS, Carlos A. dos (ed.). *Da revolução científica à revolução tecnológica. Tópicos de história da física moderna*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 1997.
33. SARTON, George. The discovery of X-rays. *Isis* **26**, 349 (1937).
34. SELIGER, Howard H. Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light. *Physics Today* **48** (11), 25 (1995).
35. SWINTON, A. A. C. Professor Röntgen's discovery. *Nature* **53**, (1369): 276-7, 1896.
36. WALDEN, T. L. The first radiation accident in America: a centennial account of the X-ray photograph made in 1890. *Radiology* **181**, 635 (1991).
37. WATSON, E. C. The discovery of X-rays. *American Journal of Physics* **13**, 281 (1945).
38. WHITTAKER, E. T. *A history of the theories of aether and electricity*. 2 vols. London: Nelson, 1951-1953; New York: Tomash Publishers / American Institute of Physics, 1987.

⁸²Publicado sob forma de separata com o título: *Eine neue Art von Strahlen*. Würzburg: Verlag und Druck der Stahel'schen K. Hof- und Universitäts-Buch- and Kunsthändler, 1895. Reproduzido também em: *Annalen der Physik und Chemie* [3] **64** (1): 1-11, 1898. Traduções em inglês: On a new kind of rays. Trad. Arthur Stanton. *Nature* **53** (1369): 274-6, 1896; On a new form of radiation. *The Electrician* **36** (13): 415-7, 1896. Tradução em francês: Une nouvelle espèce de rayons. *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées* **7**: 59-63, 1896.

⁸³Publicado sob forma de separata com o título: *Eine neue Art von Strahlen. II. Mittheilung*. Würzburg: Verlag und Druck der Stahelschen K. Hof- und Universitäts-Buch- and Kunsthändler, 1896. Reproduzido também em: *Annalen der Physik und Chemie* [3] **64** (1): 12-7, 1898.

⁸⁴Reproduzido em: *Annalen der Physik und Chemie* [3] **64** (1): 18-37, 1898.