

# Sobre uma nova espécie de raios

*Dentre as maiores descobertas da ciência e os mais importantes artigos publicados, um tem especial interesse para a saúde humana, a Medicina e a Radiologia: o artigo original de Röntgen, que nunca vi em português. Então, achei que agora que se comemoram 110 anos de sua magnífica descoberta, seria uma boa oportunidade de tê-lo na versão traduzida para o nosso idioma. Nada acrescento, pois a idéia é justamente apreciar o que Röntgen observou, mudando a partir de seu estudo, completamente, o curso do diagnóstico médico. A história dos fatos é sobejamente conhecida dos radiologistas, só vale a pena recordar que ocorreu em 8 de novembro de 1895. E o artigo foi apresentado à sociedade de Física Médica de Würzburg em 28 de dezembro do mesmo ano. Em 2 de janeiro de 1896 era enviada cópia de seu trabalho aos físicos mais importantes da época. Em 6 de janeiro o telégrafo espalhava a notícia ao mundo. O primeiro trabalho de Röntgen é uma obra impressionante pela apurada análise crítica e poder de observação. Ele vivia entre alguns dos gigantes da Física, que era, talvez, naquele final de século, a ciência mais importante. O interesse inicial e a possibilidade de sua utilidade em Medicina foram rapidamente confirmados. Na realidade, um verdadeiro furor tomou conta de todo o mundo logo após a divulgação de seus achados pelo telégrafo – a notícia chegou a Londres e foi prontamente anunciada ao resto do planeta pela maneira mais moderna. Imediatamente, dentistas e ortopedistas observaram o poder diagnóstico dos novos raios e passaram a usá-los. Como nunca vi uma tradução para o português dos trabalhos de Röntgen, aos radiologistas e à memória da Radiologia nacional ofereço este trabalho, a partir de uma tradução inglesa, da obra original do descobridor dos raios X.*

Antonio Carlos Pires Carvalho

## Descritores:

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

## (Ueber eine neue Art von Strahlen) W. C. Röntgen – 1895

1. Se alguém aplica as descargas de uma bobina de indução de Ruhmkorff suficientemente grande através de um tubo de Hittorf com vácuo ou um tubo de Lenard ou Crookes suficientemente evacuado, ou qualquer aparato similar, e se alguém reveste o tubo com um envelope de cartão preto apropriado, observa, em um quarto completamente escuro, que um pedaço de papel pintado com platinocianureto de bário situado próximo do equipamento brilha claramente ou torna-se fluorescente a cada descarga, indiferentemente se o lado pintado ou o outro lado está voltado para o aparato de descarga. A fluorescência é visível até uma distância de 2 metros do equipamento. Pode-se facilmente convencer alguém que a causa da fluorescência emana do aparato de descarga e de nenhum outro ponto do circuito.

2. Observando o fenômeno, é evidente o fato de que o cartão preto que bloqueia os raios visíveis ou ultravioleta do sol ou do arco elétrico permite a passagem de um agente que produz fluorescência ativa e deve-se, portanto, investigar inicialmente se outros materiais também possuem essa mesma propriedade. Observou-se que todos os materiais são transparentes a esse agente, embora diferindo largamente em seu grau. Apresento alguns exemplos. Papel é muito transparente [1]. Observei que a placa fluorescente permanecia com luminosidade e brilho atrás de um livro encadernado de 1000 páginas; a tinta de impressão não tinha efeito perceptível. Do mesmo modo,

[1]. Transparência de um material eu defino como a razão entre o brilho de uma tela fluorescente colocada diretamente atrás do material e o brilho da tela nas mesmas condições sem a interposição do material.

Recebido para publicação em 3/11/2005. Aceito, após revisão, em 7/11/2005.

Tradução de Antonio Carlos Pires Carvalho, a partir das versões em inglês de Kotzur (Kotzur IM. W.C. Roentgen: a new type of ray. *Radiology* 1994;193:329–332) e 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).

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

o brilho era visível atrás de dois baralhos de cartas; o olho tinha dificuldade para detectar uma carta suspensa entre o aparato e a tela fluorescente. Também uma folha simples de papel estanhado era quase imperceptível ao olho. Somente após várias camadas serem colocadas umas sobre as outras é que uma sombra podia ser vista distintamente na tela. Grossos blocos de madeira são também transparentes, tábuas de pinho de 2 ou 3 cm de espessura apenas muito pouco. Uma placa de alumínio de 15 mm reduz consideravelmente o efeito mas não faz a fluorescência desaparecer inteiramente. Lâminas de borracha dura espessa, com vários centímetros, também permitem que os raios passem através delas[2]. Placas de vidro de mesma espessura comportam-se de maneira diferente, dependendo se o vidro contém (vidro plumbífero) ou não chumbo em sua composição; o anterior muito menos transparente que o último. Se alguém sustentar a mão entre o aparato de descarga e a placa, verá as sombras escuras dos ossos dentro da figura esmaecida da sombra da própria mão. Água, dissulfeto de carbono e vários outros líquidos, quando examinados em recipientes de mica, são muito transparentes. Não fui capaz de determinar se o hidrogênio é mais transparente que o ar. A fluorescência ainda podia ser claramente vista por trás de placas de cobre, prata, chumbo, ouro e platina, mas somente se as placas não são muito espessas. Platina com 0,2 mm de espessura ainda é transparente, placas de prata e cobre podem ser mais espessas. Chumbo com 1,5 mm é praticamente opaco e por causa dessa propriedade foi freqüentemente usado. Um bastão de madeira com uma seção transversal reta (20 × 20 mm) e um lado pintado com tinta com chumbo se comporta diferentemente dependendo de como é colocado entre o aparelho e a tela, apesar de praticamente nenhum efeito se a direção dos raios é paralela à superfície pintada, o bastão lança uma sombra escura se os raios têm de passar através da superfície pintada. De modo similar aos metais, seus sais, seja em forma sólida ou em solução, podem ser ordenados de acordo com sua transparência.

3. Os resultados experimentais citados, bem como outros, permitem a conclusão de que a transparência de várias substâncias, assumido que de igual espessura, depende primariamente de sua densidade: nenhuma outra propriedade, pelo menos na mesma extensão, é tão evidente como esta.

Que a densidade, entretanto, não é o único fator determinante, os seguintes experimentos o mostram. Estudei a transparência de placas de quase igual espes-

sura feitas de vidro, alumínio, calcita, e quartzo e, embora a densidade destas substâncias seja aproximadamente a mesma, era evidente que a calcita era consideravelmente menos transparente que os outros materiais que pareciam quase iguais. Não notei fluorescência particularmente forte da calcita, especialmente quando comparada ao vidro (ver N<sup>o</sup> 6).

4. À medida que a espessura aumenta, todos os materiais se tornam menos transparentes. Para encontrar uma possível relação entre transparência e espessura, fiz algumas fotografias (ver N<sup>o</sup> 6) nas quais a placa fotográfica era parcialmente coberta por um número de folhas de papel estanhado arrumadas em degraus; uma medida fotométrica será feita quando eu tiver um fotômetro adequado.

5. Platina, chumbo, zinco e alumínio foram laminados em folhas de espessura cuja transparência era aparentemente igual. A tabela seguinte contém as espessuras medidas em milímetros, a espessura relativa, tendo como referência a platina, e a densidade.

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

Esses valores mostram que a transparência de metais diferentes não é igual mesmo se o produto da espessura e densidade é o mesmo. A transparência aumenta mais muito rapidamente do que o produto diminui.

6. A fluorescência do platinocianureto de bário não é o único efeito detectável dos raios X. Deve ser mencionado inicialmente que outras substâncias fluorescem, como, por exemplo, os compostos de cálcio fosforescentes, o vidro de urânio, vidro comum, calcita, sal-gema e assim por diante.

De especial significado, em muitos aspectos, é o fato de que placas fotográficas secas são sensíveis aos raios X. É possível fazer uma gravação permanente de muitos fenômenos, por meio da qual os enganos são mais facilmente evitados e, com controle que eu tive, quando possível, gravei toda observação relativamente importante que eu vi na tela fluorescente por meio da fotografia.

Aqui, a propriedade dos raios de penetração quase sem obstáculo, em finas lâminas de madeira, papel e papel estanhado é vantajosa. No quarto iluminado podemos expor a chapa fotográfica quando encerrada num estojo ou envolta em papel. Por outro lado, em consequência

[2]. Por brevidade, gostaria de usar o termo raios e para distingui-los dos outros raios, usarei o nome raios X. (Ver N<sup>o</sup> 14.)

dessa propriedade não se deve deixar chapas não reveladas perto de aparatos de descargas por nenhum período de tempo, se estas chapas estiverem protegidas apenas por caixas de papelão comum e papel.

A questão permanece se os raios X são diretamente responsáveis pela ação química sobre os sais de prata da chapa fotográfica. É possível que esta ação seja devida à luz fluorescente que, como indicado acima, seja produzida no vidro da chapa ou talvez na camada de gelatina. É possível utilizar “filmes” da mesma forma que chapas de vidro.

Que os raios X são, também, capazes de produzir ação calorífica eu não tive ainda prova experimental; no entanto, pode-se assumir que este efeito existe, uma vez que o fenômeno fluorescente prova que os raios X podem ser transformados e, então, é também evidente que nem todos os raios X incidentes saem do material inalterados.

A retina do olho é insensível aos nossos raios; o olho próximo do aparato de descargas nada registra, entretanto, de acordo com experiências comuns, o material contido no olho deve ser suficientemente transparente aos raios.

7. Depois que reconheci a transparência de vários materiais relativamente espessos, eu estava ansioso para aprender sobre como os raios X se comportariam ao passar por um prisma, ou seja, se seriam ou não refratados por ele. Experimentos com água e com dissulfeto de carbono em prismas de mica com ângulo de refração de aproximadamente  $30^\circ$  não mostraram nenhuma refração na tela fluorescente ou na placa fotográfica. Como controle, a refração dos raios de luz foi observada sob as mesmas condições; as imagens refratadas na chapa foram encontradas cerca de 10 e 20 mm respectivamente da não refratada. Com prismas de borracha dura e de alumínio, também com ângulo de refração de  $30^\circ$ , obtive imagens na chapa fotográfica que pode ser possível detectar uma refração. Entretanto, isto é muito incerto e, se refração existe, é em qualquer caso tão pequena que o índice de refração dos raios X nessas substâncias não poderia ser maior que 1,05. Também na tela fluorescente eu fui incapaz de observar alguma refração nesse caso.

Experimentos com prismas de metal mais denso também não produziram resultados definidos, devido à sua baixa transparência e a resultante baixa intensidade dos raios transmitidos.

Considerando estes fatos por um lado, e por outro a importância da questão se os raios X podem ou não ser refratados quando passam de um meio para outro, é tranquilizador que esta questão pode ser investigada de modo diferente, sem o uso de prismas. Substâncias finamente pulverizadas, em camadas suficientemente densas, espa-

lham a luz incidente e, por causa da refração e reflexão, permitem que apenas uma pequena parte as ultrapasse. Assim, se o pó é igualmente tão transparente aos raios X quanto a substância coesa, assegurando-se que igual massa da cada é usada, segue-se que nem refração nem reflexão regular tem lugar em grau apreciável. Experimentos foram realizados com sal-gema finamente pulverizado, com pó fino de prata produzido eletroliticamente e com pó de zinco, como usado habitualmente em investigações químicas. Em todos os casos não foi detectada diferença de transparência entre o pó e a mesma substância compacta, nem com a tela fluorescente nem com chapa fotográfica.

É evidente que não se pode concentrar os raios X com lentes, desde que uma grande lente de borracha dura e uma lente de vidro não foram efetivas. A figura da sombra de uma vara redonda é mais escura no centro que na periferia; porém, se o tubo estiver preenchido por material mais transparente que o material que o compõe, sua imagem será mais clara no centro que na periferia.

8. Com base no parágrafo precedente a questão em consideração sobre a reflexão dos raios X pode ser considerada como resolvida, no sentido de que não ocorreu reflexão regular observável dos raios por nenhuma das substâncias examinadas. Outros experimentos, que eu omitirei aqui, levam ao mesmo resultado.

Entretanto, uma observação deve ser mencionada, a qual primeiramente parece ser contraditória. Eu expus aos raios X uma chapa fotográfica que estava protegida da luz por papel preto com o vidro voltado para o equipamento de descargas; a camada sensível, com exceção de um pequeno espaço livre, estava coberta com folhas polidas de platina, chumbo, zinco e alumínio em forma de estrela. No negativo revelado pode-se claramente perceber que o escurecimento sob a platina, o chumbo e particularmente sob o zinco é mais intenso que sob as outras áreas. O alumínio não tinha produzido nenhum efeito. Isto parece significar que estes três metais citados refletem os raios; entretanto, pode-se conceber outras causas para o escurecimento mais intenso e, em um segundo experimento, com o objetivo de estar seguro, eu pus uma peça de folha de alumínio fina, que não é transparente aos raios ultravioleta mas é muito transparente aos raios X, entre a camada sensível e as placas de metal. Desde que essencialmente o mesmo resultado foi obtido novamente, a reflexão dos raios X pelos acima mencionados metais está provada.

Se for acrescentada a este fato a observação de que os pós são igualmente tão transparentes quanto os materiais compactos e, ainda mais, que materiais com superfície irregular têm o mesmo efeito sobre as transmissão dos

raios X que materiais polidos, como descrito no último experimento, pode-se concluir, como exposto antes, que reflexão regular não ocorre, os materiais reagem aos raios X como um meio turvo à luz.

Desde que não pude detectar nenhuma refração quando os raios X passam de um meio para outro, parece que eles se movem com igual velocidade em todos os materiais, especificamente em um meio que está presente em todo lugar e no qual as partículas de matéria estão embebidas. Estas partículas formam um obstáculo à propagação dos raios X, que em geral é maior quanto mais densa a respectiva substância.

9. Porém, a disposição das partículas dentro do material pode possivelmente influenciar sua transparência, um pedaço de calcita de uma dada espessura pode variar sua transparência dependendo se os raios passam através dela na direção do eixo ou em ângulo reto. Experimentos com calcita e quartzo, entretanto, tiveram resultado negativo.

10. É bem conhecido que Lenard, em seus belos experimentos em tubos Hittorf, passando os raios catódicos através de uma fina folha de alumínio, chegou à conclusão que esses raios são fenômenos no éter e que eles são difundidos em todos os materiais. Sobre nossos raios, podemos fazer semelhantes declarações.

Em sua recente publicação, Lenard determinou a absorção dos raios catódicos em diferentes materiais, e, entre outros, o ar sob pressão atmosférica, encontrando ser 4,10; 3,40; e 3,10, todos relativos a 1 cm, dependendo da rarefação do gás no aparato de descargas. Em meus experimentos, considerando a voltagem das descargas estimada da distância das faíscas, eu estava trabalhando usualmente com rarefações aproximadamente da mesma ordem de magnitude e apenas ocasionalmente com maiores ou menores. Com o fotômetro de L. Weber — eu não tenho um melhor — tive êxito em comparar no ar atmosférico as intensidades da luz fluorescente na minha tela a duas distâncias do aparato de descargas — cerca de 100 e 200 mm, respectivamente — e encontrei em três experimentos, que estiveram em muito bom acordo, que elas eram inversamente proporcionais ao quadrado das respectivas distâncias entre a tela e o aparato de descargas. Portanto, o ar absorve uma muito pequena porção dos raios X transmitidos do que dos raios catódicos. Este resultado está, também, totalmente de acordo com a previamente mencionada observação que a luz fluorescente pode ser ainda observada a uma distância de 2 m do equipamento de descargas.

Em geral, outras substâncias têm propriedades similares ao ar. Eles são mais transparentes aos raios X que aos raios catódicos.

11. Outra marcante diferença entre o comportamento dos raios catódicos e os raios X consiste no fato de que, apesar de muitas tentativas, não tive sucesso em obter uma deflexão dos raios X com um imã, mesmo em campos magnéticos muito fortes.

Até agora, a deflexão por meio de um imã tinha sido considerada uma propriedade peculiarmente característica dos raios catódicos, sendo verdade que Hertz e Lenard observaram que há diferentes espécies de raios catódicos “os quais podem ser diferenciados uns dos outros por sua produção de fosforescência, por sua absorção e por sua deflexão por um imã”, mas uma considerável deflexão foi encontrada em todas as suas investigações, e eu não acredito que alguém possa abandonar este traço característico sem boa razão.

12. De acordo com experimentos feitos especialmente para este propósito, é certo que aquela área na parede do aparato de descarga que mostra a fluorescência mais forte deve ser considerada o principal ponto de emissão dos raios X, que irradiam em todas as direções. Portanto, os raios X provêm daquela área onde, de acordo com os relatos de vários investigadores, os raios catódicos incidem sobre a parede de vidro. Se alguém desvia os raios catódicos dentro do aparato de descarga com um imã, observa, também, que os raios X são emitidos, agora, de outra área, nominalmente, da extremidade dos raios catódicos.

Essa é outra razão porque os raios X, que não podem ser desviados, não podem ser simplesmente raios catódicos que teria sido transmitidos ou refletidos sem serem modificados pela parede de vidro. A maior densidade do vidro fora do tubo de descarga não pode, de acordo com Lenard, ser responsável pela grande diferença de deflexão.

Eu, portanto, cheguei à conclusão que os raios X não são idênticos aos raios catódicos, mas que eles são produzidos pelos raios catódicos na parede do vidro do aparato de descarga.

13. A produção tem lugar não apenas em vidro, mas também em alumínio, como fui capaz de observar com um aparato selado com uma janela de alumínio de 2 mm de espessura. Outras substâncias serão examinadas depois.

14. Eu acho que a justificativa para usar o nome “raios” para o agente emanado da parede do aparato de descarga é a formação regular de sombras, que são produzidas se alguém coloca materiais mais ou menos transparentes entre o aparato e a tela fluorescente (ou a chapa fotográfica).

Observei, e algumas vezes fotografei, muitas imagens de sombras, a produção de algumas é ocasionalmente

muito atraente; por exemplo, tenho fotografias das sombras do perfil de uma porta que separa as salas. Uma das quais o aparelho de descarga foi colocado e na outra a chapa fotográfica; das sombras dos ossos da mão; das sombras de um fio encoberto enrolado em um carrete de madeira; de um conjunto de pesos dentro de uma caixa; de uma bússola na qual a agulha magnética está totalmente envolta por metal; de uma peça de metal cuja heterogeneidade torna-se evidente pelos raios X; e assim por diante.

Que os raios X são propagados em linha reta é provado pela fotografia do buraco de um alfinete, que fui capaz de fazer do aparato de descarga envolto em papelão preto; a figura é fraca, mas indiscutivelmente correta.

15. Procurei muitas vezes por fenômenos de interferência dos raios X, mas infelizmente sem sucesso, possivelmente por causa de sua baixa intensidade.

16. Experimentos para determinar se forças eletrostáticas podem ou não afetar os raios X foram iniciados, mas até agora não estão concluídos.

17. Se for perguntado o que os raios X — que não podem ser raios catódicos — verdadeiramente são, inicialmente, mal conduzidos por sua vigorosa fluorescência e efeitos químicos, poderíamos talvez pensar em luz ultravioleta. Contudo, é imediatamente confrontado com mais precisas e sérias considerações. Visto que, e os raios X fossem luz ultravioleta, esta luz deveria ter as seguintes propriedades:

- (a) Que, ao passar do ar para a água, dissulfeto de carbono, alumínio, sal-gema, vidro, zinco, e outros assim por diante, ela sofreria refração imperceptível;
- (b) Que não pode ser refletida regularmente, em nenhum grau apreciável, por nenhuma dessas substâncias;
- (c) Que, portanto, não pode ser polarizada por qualquer dos métodos ordinários;
- (d) Que nenhuma outra propriedade do material influencia sua absorção como sua densidade.

Em outras palavras, teria que assumir que estes raios ultravioletas comportam-se de modo inteiramente diferente dos infravermelhos, visíveis ou raios ultravioletas conhecidos até o presente.

Eu não fui capaz de chegar a esta conclusão e tenho procurado por outra explicação.

Alguma relação parece existir entre os novos raios e raios de luz, pelo menos como é indicado pela formação de sombras, pela fluorescência e pelos efeitos químicos que são comuns a ambos os tipos de raios. Agora, é conhecido de longa data que, além das vibrações transversais luminosas, vibrações longitudinais do éter podem ocorrer, e devem existir de acordo com a opinião de vá-

rios físicos. É verdade que sua existência não foi provada ainda, e assim suas propriedades não foram investigadas experimentalmente.

Não poderiam, portanto, os novos raios serem devidos a vibrações longitudinais do éter?

Devo confessar que durante o curso das investigações eu tenho favorecido esta idéia, cada vez mais, e tomo a liberdade de expressar esta teoria, embora eu esteja perfeitamente ciente que a explicação oferecida requer confirmação adicional.

Dezembro de 1895.

Würzburg. Instituto de Física da Universidade.

\* \* \*

### **Sobre uma nova espécie de raios (continuação)** **Ueber eine neue Art von Strahlen (Fortsetzung)**

Desde que meu trabalho teve de ser interrompido por várias semanas, eu gostaria de apresentar neste momento alguns novos resultados a seguir:

18. Ao tempo de minha primeira publicação, eu sabia que os raios X eram capazes de descarregar corpos eletrificados, e eu suspeito que nos experimentos de Lenard foram também os raios X, e não os raios catódicos, transmitidos sem alteração pela janela de alumínio no aparato, que produziram os efeitos sobre corpos eletrificados a distância. Entretanto, eu esperei até que pude apresentar resultados incontestáveis antes de publicar meus experimentos.

Estes pareciam ser obtidos apenas se as observações fossem feitas em um quarto que não apenas é completamente protegido de forças eletrostáticas emanadas de tubos a vácuo, de fios condutores do aparato de indução, e assim por diante, mas também é vedado contra o ar que vem da região do aparelho de descarga.

Desta maneira, eu tinha uma caixa de placas de zinco soldadas, que é larga o suficiente para acomodar a mim e os instrumentos necessários e que é completamente hermética, com exceção de uma abertura que podia ser fechada por uma porta de zinco. A parede oposta é, em grande parte, coberta com chumbo; no lugar próximo do aparato de descarga, que está montado do lado de fora da caixa, uma abertura de 4 cm de largura é cortada na parede de zinco e no revestimento de chumbo, e esta abertura é, por sua vez, selada com uma fina lâmina de alumínio. Através desta janela os raios X podem entrar na caixa de observação.

Então, eu observei o seguinte:

- (a) Corpos eletrificados positivamente ou negativamente colocados no ar são descarregados se eles são irradiados com raios X; quanto mais intensos os raios, mais



rápida a descarga. A intensidade dos raios era estimada pelo efeito sobre a tela fluorescente ou sobre a chapa fotográfica. Geralmente é irrelevante se o corpo eletrificado é condutor ou isolante. Além disso, até aqui eu não tinha sido capaz de encontrar uma diferença específica no comportamento dos diferentes corpos com relação à razão das descargas, nem do comportamento da eletricidade negativa ou positiva. Ainda é possível que existam pequenas diferenças.

- (b) Se o condutor elétrico estiver envolto, não por ar, mas por material isolante sólido, por exemplo, a parafina, a radiação possui a mesma ação que resultaria da exposição do envoltório isolante a uma chama conectada à Terra.
- (c) Se o revestimento isolante é envolto por um condutor aterrado e firmemente fixado, que como o isolante deve ser transparente aos raios X, a radiação não exerce nenhum efeito detectável com os meios disponíveis sobre o condutor eletrificado no seu interior.
- (d) As observações citadas em a, b e c indicam que o ar que é irradiado pelos raios X adquire a propriedade de descarregar corpos eletrificados com os quais ele está em contato.
- (e) Se isto é verdadeiramente o caso e, em adição, se o ar retém esta propriedade por algum tempo após ser exposto aos raios X, pode ser possível descarregar corpos eletrificados que eles mesmos não tenham sido diretamente irradiados pelos raios X, simplesmente conduzindo o ar irradiado até eles. Alguém pode ser convencido da validade desta conclusão por diferentes modos. Eu gostaria de descrever um experimento, embora não seja o mais simples. Eu usei um tubo de bronze com 3 cm de largura e 45 cm de comprimento, alguns centímetros antes de uma das extremidades do tubo parte de sua parede foi cortada fora e substituída por uma fina lâmina de alumínio, na outra extremidade uma esfera de bronze, fixada com uma haste metálica e isolada, foi selada sem ar dentro do tubo. Entre a esfera e a extremidade do tubo foi soldado um pequeno tubo lateral que podia ser conectado a um equipamento de exaustão e quando a sucção era aplicada o ar passava pela janela de alumínio em seu caminho através do tubo, com fluxo ao redor da esfera de bronze. A distância da janela à esfera era superior a 20 cm. Montei o tubo dentro da caixa de zinco de modo que a janela de alumínio do tubo de raios X podia introduzir-se perpendicular ao seu eixo e também que a esfera isolada pudesse ser colocada ao lado e mais distante do caminho desses raios. O tubo e a caixa de zinco foram conectados um ao outro, a esfera foi conectada a um eletroscópio de

Hankel. Foi observado que uma carga, seja positiva ou negativa, aplicada à esfera, não era influenciada pelos raios X assim como o ar deixado em repouso no tubo, mas que a carga decrescia consideravelmente se o ar irradiado próximo da esfera era extraído por forte sucção. Quando um potencial constante de uma bateria acumuladora era aplicado à esfera, e quando o ar irradiado era continuamente sugado através do tubo, uma corrente elétrica era produzida como se a esfera tivesse sido conectada à parede do tubo por um mau condutor.

- (f) A questão surge sobre de que modo o ar pode perder a propriedade dada pelos raios X. Se com o tempo ele perde a propriedade por si mesmo, ou se estando em contato com outros corpos, está ainda sem solução. Entretanto, é certo que um rápido contato com um corpo que tenha uma grande superfície e não esteja necessariamente eletrificado pode tornar o ar ineficaz. Se, por exemplo, alguém colocou um tampão de algodão grande e suficientemente no interior do tubo que o ar irradiado possa passar através do algodão antes de alcançar a esfera eletrificada, a carga da esfera permanece inalterada, mesmo quando sucção é aplicada. Se o tampão é colocado em frente à janela de alumínio, será obtido o mesmo resultado que sem o algodão: uma prova que partículas de poeira não podem, possivelmente, ser a causa da descarga observada. Telas de arame têm ação similar ao algodão; entretanto, se a tela for muito fina, e muitas camadas forem colocadas umas sobre as outras, o ar irradiado passando através do tubo poderá ser ineficaz. Se essas telas não estão aterradas, como tem sido suposto até agora, mas estão conectadas a uma fonte de eletricidade de potencial constante, as observações têm sido sempre como antecipei, entretanto estes experimentos ainda não foram concluídos.
- (g) Se os corpos eletrificados são colocados em hidrogênio seco ao invés de ar, eles são também descarregados pelos raios X. Tive a impressão de que a descarga em hidrogênio ocorreu de forma mais lenta, entretanto isto permanece incerto por causa das dificuldades em obter a mesma intensidade dos raios X em uma série de experimentos consecutivos. O método de encher o aparato com hidrogênio provavelmente impede a possibilidade de que as densas camadas de ar originalmente presentes na superfície dos corpos poderiam ter papel importante na descarga.
- (h) Em espaços altamente evacuados, a descarga de um corpo atingido diretamente pelos raios X ocorre mais lentamente — em um caso, por exemplo, cerca de setenta vezes mais lentamente — que nos mesmos reci-

pietas quando eles estão preenchidos por ar ou hidrogênio com pressão atmosférica.

- (i) Experimentos foram iniciados sobre o comportamento de uma mistura de cloro e hidrogênio sob a influência dos raios X.
- (j) Finalmente, gostaria de mencionar que se podem aceitar, com cautela, os resultados de experimentos sobre o efeito de descarregar corpos dos raios X nos quais a influência do gás circundante não foi levada em consideração.

19. Em alguns casos é vantajoso inserir um equipamento Tesla (condensador e transformador) entre o aparato de descargas que fornece os raios X e a bobina de Ruhmkorff. Este arranjo tem as seguintes vantagens: primeiro, os tubos de descargas estão menos sujeitos a serem perfurados e aquecem menos; segundo, o vácuo, pelo menos no que diz respeito a meus tubos feitos em casa, permanece por um tempo maior e; terceiro, alguns aparatos produzem raios mais intensos. Alguns tubos que foram evacuados um pouco mais ou um pouco menos para trabalhar satisfatoriamente apenas com a bobina de Ruhmkorff funcionaram satisfatoriamente com o uso de transformador Tesla. A questão que surge — e eu gostaria, portanto, de mencionar, sem contribuir em nada com sua solução até o presente — se os raios X podem ser também produzidos por uma descarga contínua de uma fonte de potencial constante ou se flutuações de potencial são absolutamente necessárias para os produzir.

20. É afirmado no parágrafo 3 de minha primeira comunicação que os raios X podem ser produzidos não apenas no vidro, mas também em alumínio. Continuando as investigações sobre estas linhas, nenhum corpo sólido pôde ser encontrado que não fosse capaz de produzir raios X sob a influência dos raios catódicos. Eu também não encontrei nenhuma razão para que corpos líquidos ou gasosos não agissem da mesma maneira. Entretanto, diferenças quantitativas no comportamento dos diferen-

tes corpos têm sido encontradas. Por exemplo, aplicar raios catódicos sobre uma placa cuja metade consiste de uma folha de 0,3 mm de platina e a outra metade uma folha de 1 mm de alumínio, observa-se numa fotografia desta dupla placa tirada com uma câmera puntiforme que a platina emite consideravelmente mais raios X da face que foi atingida pelos raios catódicos que o alumínio emite desta mesma face. Do outro lado, entretanto, dificilmente alguns raios X são emitidos da platina, mas relativamente muitos do alumínio. Por fim, raios foram produzidos na camada frontal do alumínio e penetraram através da placa. Pode-se facilmente chegar a uma explicação desta observação, mas é aconselhável aprender primeiro sobre algumas propriedades dos raios X. Porém, deve ser mencionado que os fatos observados também têm um significado prático. De acordo com minha experiência até agora, platina é melhor para a produção de raios X de mais alta intensidade. Por várias semanas tenho usado com sucesso um tubo de descarga com um espelho côncavo de alumínio como catódio e uma folha de platina como anódio, que tem sido colocado no foco do catódio e inclinado 45 graus em relação ao eixo do espelho.

21. Neste equipamento os raios X são emitidos do anódio. Dos experimentos feitos com aparatos de várias formas eu pude concluir que, em como a intensidade dos raios X é a preocupação, não interessa se esses raios são produzidos no anódio ou não. Especialmente para experimentos com corrente alternada de um transformador Tesla, um aparato de descarga está sendo construído, no qual eletrodos são espelhos côncavos de alumínio cujos eixos forma um ângulo reto; em seus focos é colocada uma placa de platina que recebe os raios catódicos. Um relatório sobre o uso desse aparato irá aparecer posteriormente.

Finalizado: 9 de março de 1896.

Würzburg. Instituto de Física da Universidade.