

Principais Contribuições responsáveis pela descoberta dos raios X: a estirpe coletiva da ciência

Major Contributors Responsible for the Discovery of X-Rays: The Collective Strand of Science

Leonardo Lessa Pacheco^{*1}, Ivoni Freitas-Reis¹

¹Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Química, 36036-900, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Recebido em 18 de janeiro de 2023. Revisado em 24 de março de 2023. Aceito em 29 de março de 2023.

O presente artigo convida os leitores a percorrer por entre a análise dos documentos originais publicados por William Crookes (1832–1919), por Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) e Philipp Lenard (1862–1947), bem como da primeira comunicação de Röntgen sobre o novo tipo de radiação obtido por meio dos tubos de Crookes para, através de recortes desses documentos, investigar se é lícito afirmar que a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) pode ou deve ser considerada “acidental”, tal como vemos nos livros básicos de Química e Física. O final do século XIX foi marcado por um grande interesse da comunidade científica pelo estudo das propriedades da radiação e a identificação dos raios X. Esse último demonstrou imediatamente a sua importância e utilidade nas pesquisas em desenvolvimento. Aplicações como a obtenção de imagens da constituição corporal de seres humanos e animais, e a identificação estrutural dos cristais e diferentes tipos de moléculas eram descritas nos trabalhos de inúmeros estudiosos. Assim, embasados numa perspectiva historiográfica que leva em conta a construção da ciência como um saber coletivo, apresentamos informações que amparam a evolução das ideias, minimizando ou descartando a influência do acaso e fortalecendo o método da investigação de Röntgen. Acreditamos estar também reafirmando a importância da História da Ciência no contexto de construção do conhecimento escolar.

Palavras-chave: Raios X, História da Ciência, Ensino de Ciências, Tubo de Crookes, Wilhelm Röntgen.

This article invites readers to go through the analysis of the original documents published by William Crookes (1832–1919), Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) and Philipp Lenard (1862–1947), as well as Röntgen’s first communication on the new type of radiation obtained by means of Crookes tubes to, through clippings of these documents, investigate whether it is legitimate to state that the discovery of X-rays by Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) can or should be considered “accidental”, as we see in the basic Chemistry and Physics books. The end of the 19th century was marked by a great interest by the scientific community in the study of the properties of radiation and the identification of X-rays. The latter immediately demonstrated its importance and usefulness in research under development. Applications such as obtaining images of the body constitution of men and animals, and the structural identification of crystals and different types of molecules were described in the works of countless scholars. Thus, based on a historiographical perspective that takes into account the construction of science as a collective knowledge, we present information that supports the evolution of ideas, minimizing or discarding the influence of chance and strengthening Röntgen’s research method. We believe that we are also reaffirming the importance of the History of Science in the context of building school knowledge.

Keywords: X-rays, History of Science, Science Teaching, Crookes Tube, Wilhelm Röntgen.

Introdução

De acordo com Bensaude-Vincent e Stengers [1] o final do século XIX foi marcado por aproximar os cientistas de um novo tipo de fenômeno: “os raios” [1, p. 319], sejam eles, os raios de comprimento de onda na faixa do visível, raios catódicos ou mesmo o raio X. Conforme estudos apresentados por Pereira [2], as investigações pelo efeito da passagem de corrente elétrica por gases de baixa pressão em tubos de vidro iniciaram no século XVII, entretanto, como não havia um aperfeiçoamento

para a obtenção de uma corrente contínua e um vácuo adequado, não apresentava condições experimentais propícias para a descoberta dos raios X. Nessa época, destacamos os trabalhos de Otto von Guericke (1602–1686) que construiu a primeira bomba de vácuo para investigar circunstâncias ímpares que poderiam ocorrer no experimento com os tubos de vidro e Isaac Newton (1642–1727) que aperfeiçoou o método de von Guericke por meio da condução de pulsos elétricos no equipamento [2].

Partindo do conhecimento geral obtido pelo estudos sobre a matéria radiante de Michael Faraday (1791–1867), a observação da fluorescência verde no tubo de

*Endereço de correspondência: leoprofessordequimica@gmail.com

vácuo primeiramente por Julius Plücker (1801–1868) e depois por seu discípulo Johann Wilhelm Hittorf (1824–1914), o qual utilizou os tubos de Geissler – tubos de vidro acoplados a uma bomba de vácuo – e verificou uma sombra projetada por um objeto colocado entre o cátodo e o ânodo dentro do aparato e as definições propostas por Gotthilf-Eugen Goldstein (1850–1930) em 1876, que adicionou no interior do aparato cátodos côncavos com objetivo de acentuar a projeção da radiação [3, 4], Crookes se dedicou a entender a origem da emissão dos raios catódicos, sua natureza material e sua carga, se positivamente carregado ou negativamente carregado.

Foi Goldstein que no ano de 1876, como consequência dos estudos da radiação luminosa originada do eletrodo negativo, chamou a emissão catódica de raio catódico. Ela se movia do cátodo para o ânodo quando esses polos se encontravam afastados dentro de uma ampola de vidro preenchida por um gás rarefeito [5, 6]. Como a nossa pesquisa remete aos raios X e a construção coletiva envolvida no seu processo de descoberta a partir dos experimentos que envolviam um gás aprisionado em um tubo de vidro, tendo em seu interior um cátodo e ânodo separados em uma pequena distância e conectados a uma fonte de energia externa, direcionaremos nossa análise aos contemporâneos de Röntgen, àqueles que segundo nossa abordagem, influenciaram diretamente a revelação desse tipo de radiação: Crookes, Hertz e Lenard.

Nos encontramos alinhados ao trabalho de Fernandes, Franco-Patrocínio e Freitas-Reis [7], para considerarmos essa importante contribuição coletiva em torno da descoberta de Röntgen, sob influência das produções de seus contemporâneos:

O conhecimento científico é entendido como um complexo processo de permanências e rupturas influenciadas pelo contexto social e histórico da época, sendo a verdadeira compreensão de uma determinada teoria advinda do estudo das diversas hipóteses que foram postuladas ao longo da pesquisa [p. 68].

Amparado por essa citação que evidencia a importância da compreensão de um determinado conhecimento por meio de um olhar amplo ao contexto de sua determinação, devemos destacar a importância de um trabalho não fragmentado em História da Ciência, o qual permite uma visão mais tangível do conhecimento produzido associando indivíduos, suas produções e o seu contexto cultural e social [8].

O que nos permitiu assumir um caráter interdisciplinar para o estudo dos raios X, que buscou com base nessa importante tarefa de compreender o conhecimento científico, ampliar a proposta de Amaral [9] na união da Física com a Química por meio da História da Ciência. Tomamos como base a citação a seguir de Cebulsky e Matsomoto [10], que embora direcionada a Química, nos

permitiu extrapolar a magnitude da História da Ciência para a compreensão do pensamento científico:

A História da Química tem uma grande importância dentro da Ciência: é através dela que podemos refletir quanto ao progresso que o homem tem feito no decorrer dos séculos adquirindo experiência, investigando e descobrindo fatos que fizeram com que o modo de vida de seguidas gerações pudesse ser melhorado [p. 03].

A partir da citação acima daremos continuidade à nossa pesquisa, assumindo a relevância na utilização da ampola de William Crookes (1832–1919) por Röntgen, o qual produziu fluorescência ao incidir os raios X sobre uma tela coberta com platino-cianeto de bário [11]. O próprio Crookes, antes de Röntgen, chegou a produzir os raios X, entretanto, não os reconheceu [12].

Os corpos atingidos pelos raios catódicos tornam-se fontes de novas radiações, ou seja, os famosos raios X descobertos pelo professor Röntgen. Para explicar todos esses fenômenos, Crookes apresentou sua hipótese de matéria radiante [p. 33].

Essa citação nos permite concluir que, não obstante, Crookes tenha justificado a observação experimental e tenha explicado o fenômeno por ele observado não o diferenciou das demais radiações envolvidas nas emissões por ele estudadas antes da publicação de Röntgen. Na história da ciência essa mudança de percepção ou posicionamento como a de Röntgen não é um fenômeno isolado.

Segundo Renn [13] Albert Einstein (1879–1955), após a conclusão da licenciatura em física na Escola Politécnica de Zurique, vivia e trabalhava na cidade de Berna, onde se encontrava regularmente com um amigo do Escritório de Patentes para discutir a eletrodinâmica dos corpos em movimento, assunto que estava prestes a abandonar, mas confiou que talvez seu amigo o auxiliaria.

E foi após uma dessas discussões em maio de 1905, que Einstein abandonou a conversa acalorada sem nenhuma justificativa aparente, para que, amparado pelas questões que surgiram naturalmente do diálogo com o amigo sobre mecânica e eletromagnetismo, considerar as perguntas relativas a fronteira entre essas duas áreas de um novo modo, permitindo o surgimento da teoria especial da relatividade [13].

Devido a essa mudança de pensamento e amparado pela discussão anterior relacionada a observação de Crookes e seus intentos, abordaremos ele como ponto de partida para o entendimento da construção coletiva em torno da descoberta dos raios X.

Principais contemporâneos e suas contribuições para a evidência experimental de Röntgen

William Crookes nasceu em Londres e foi assistente de August Wilhelm von Hofmann (1818–1892) na Royal College of Chemistry. Ingressou nessa instituição para se tornar químico orgânico e por ser assistente de Hofmann participou das reuniões na Royal Institution, onde conheceu Michael Faraday (1791–1867) [14]. Para sua formação, devemos destacar a importância de ser assistente de Hofmann e o contato com Faraday de acordo com nossa aproximação ao estudo dos raios X.

Também trabalhou no Departamento de Meteorologia de Oxford em 1854, foi professor no Chester Training College em 1855 e fundou uma revista chamada de Chemical News em 1859, porém a informação mais pertinente para nós, já que, como veremos, serão apresentados seus artigos publicados pela Philosophical Transactions of the Royal Society é que devido a uma herança, Crookes na maior parte de sua carreira foi um cientista independente, porém após a descoberta do Tório em 1861, foi eleito como membro da Royal Society o que deu mais ênfase a divulgação de suas produções, publicando na revista da instituição [14].

Para entendermos a caracterização dos raios produzidos por Crookes, estudaremos seus três artigos publicados no ano de 1879 diretamente relacionados aos seus experimentos com a luz no tubo de vidro, atravessando um gás de baixa pressão. Seguiremos a sequência publicada, mantendo alguma cronologia.

Foram muitos os artigos publicados por Crookes em relação aos seus estudos com a radiação e os tubos de vácuo. Porém, selecionamos três trabalhos que tratam do estudo e que, de acordo com o nosso objetivo, trazem melhores esclarecimentos ao contexto da descoberta posterior de Röntgen e das contribuições de outros contemporâneos como Hertz e Lenard.

O primeiro artigo da lista abaixo, embora não trate dos raios catódicos e não possua nenhuma correlação com os nossos estudos, foi adicionado a análise por conter um fenômeno sob influência da radiação em um tubo de vidro evacuado e isso justifica muito a entrada desse artigo na lista, à medida que pode ser diferenciado do estudo que se segue.

Outra justificativa é que, conforme veremos, em um determinado momento, Crookes, irá utilizar um pequeno radiômetro, colocado no interior de uma ampola de vidro evacuado para propor a natureza material dos raios catódicos. Experimentos que extrapolam o nosso interesse, como o aquecimento do radiômetro por vela e por eletricidade, foram realizados por Crookes e não serão analisados.

Os artigos de Crookes que serão por nós apresentados são:

- On repulsion resulting from radiation – Part VI;

- The Bakerian Lecture – On the illumination of lines of molecular pressure, and the trajectory of molecules;
- Contributions to molecular physics in high vacua. Magnetic deflection of molecular trajectory – Laws of magnetic treatment on high and low vacua – Phosphorogenic properties of molecular discharge.

No primeiro desses artigos acima, Crookes [15] se debruçou sobre o entendimento da ação da luz no “movimento de um radiômetro” [p. 87] e observou a rotação das linhas do equipamento quando ele foi montado por um par de palhetas pintadas de preto e outro par de palhetas transparente, ambos feitos de mica.

Em um trabalho anterior publicado em 1875, Crookes também estudou o radiômetro, mas em outra perspectiva, relacionando a rotação das pás do aparato ao sistema solar na intenção de construir dados que relacionavam a rotação dos corpos ao redor do sol como consequência da força exercida pela sua luz [16].

No ano seguinte suas conclusões foram questionadas por Hicks [16] por falta de evidências da direta influência da luz solar no movimento dos planetas. Citou como exemplo que o atrito da luz solar no nosso planeta iria retardar a sua translação e rotação. Entretanto para corpos de massa menores, não descartou as observações de Crookes em decorrência dos seus experimentos com o radiômetro.

Não tenho a menor dúvida de que, sob certas circunstâncias, a luz pode repelir corpos sólidos, líquidos ou gasosos e, de fato, se as conclusões de Sr. Crookes forem confirmadas, pode-se descobrir que a rápida extensão das caudas dos cometas quando se aproximam do sol, pode ser devido a ação repulsiva dos raios solares [...] agindo em linha reta sobre a matéria altamente atenuada de que é composta [16, p. 347].

O que veio a ser confirmado por Crookes por meio do aparato mostrado a seguir: “a experiência mostra que, em qualquer extremidade que a luz possa incidir nos discos, há uma força repulsiva real produzida entre eles que os faz, na medida do possível, se separar” [15, p. 89].

Conforme esclarecido pela figura anterior, esse é o par de palhetas pintadas que se repelem, das palhetas transparentes. Ou seja, a repulsão referida na citação que antecede a Figura 1, ocorre entre os dois pares de palhetas do radiômetro montado por Crookes, entre os pintados e não pintados. Quer dizer que esse primeiro instrumento de Crookes possui 4 pás, ou dois pares de palhetas, conforme discutimos previamente.

No centro das placas os pontos pretos indicam a face que as lâminas foram pintadas e sugeri como explicação para o movimento da hélice que a face pintada de preto é aquecida pela luz, de tal modo que troca calor com as

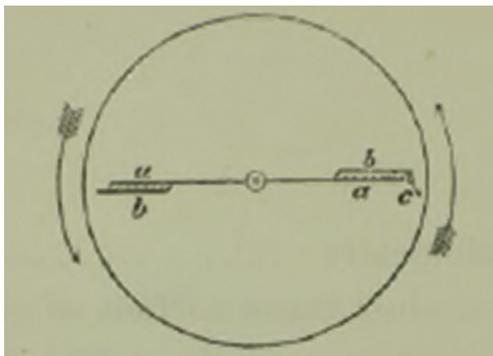


Figura 1: Tubo de vidro utilizado por Crookes para seus estudos [15, p. 88].

moléculas¹ gasosas em contato com a superfície da mica, impulsionando a rotação no sentido anti-horário [15].

Ao reelaborar o radiômetro, sugeriu como hipótese que talvez tivesse existido uma reação entre as moléculas na parte pintada de preto e entre as moléculas externas, desse modo esse consumo de matéria originaria uma repulsão entre as moléculas inativas e ativas, movendo o aparato construído.

Em um outro momento Crookes, ao invés de utilizar a luz natural, utilizou como fonte de radiação uma vela e manteve os dois discos fixos em uma haste móvel. O cientista verificou um aumento de rotação todas as vezes que a luz incidia sobre a parte preta do disco e observou também que a intensidade da fonte luminosa interferia na velocidade de rotação à medida que a temperatura dos lados dos discos se modificava [15].

Na verdade, a sugestão recorrente para explicar o fenômeno da repulsão das pás no radiômetro se encontrava em torno da diferença de temperatura originada entre as duas faces do disco. Crookes propôs algumas modificações no radiômetro, substituindo a mica por alumínio, mudando de disco para placas e ainda, apoiando pequenas placas de mica a hastes côncavas e convexas, mas mesmo com todas essas modificações a justificativa para a rotação continuou em função da pressão que as moléculas gasosas causavam na superfície do aparato.

Note que na Figura 2 Crookes também utilizou radiômetro cujas palhetas tinham formatos semiesféricos e sugeriu que o aquecimento da parte pintada de preto poderia causar uma reação entre as moléculas em contato direto com ela e as moléculas externas. Desse modo, essa combinação poderia ter uma relação direta com a repulsão das pás no radiômetro.

De acordo com toda a produção científica do final do século XIX e início do século XX, conseguimos explicar o que provoca a rotação das placas pela incidência da

¹ Em todo o nosso artigo estaremos utilizando o termo “moléculas” conforme a compreensão de Crookes. Nos próximos artigos analisados do autor, ele utilizará o mesmo termo para se referir aos elétrons descobertos anos mais tarde pela pesquisa de Joseph John Thomson (1856–1940) [1]. Essa observação será retomada posteriormente ao longo do texto.

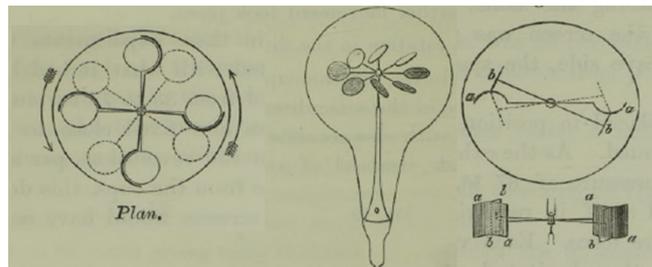


Figura 2: Algumas modificações do aparato nos experimentos de William Crookes disponíveis ao longo do artigo pela Royal Society [15].

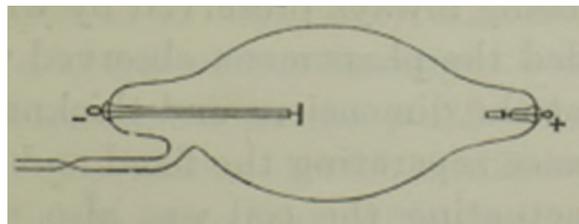


Figura 3: Tubo de vidro utilizado por Crookes para seus estudos, publicado pela Royal Society [18, p. 135].

radiação. O artigo de Lunazzi e Souza (2021) [17] vem por esclarecer o experimento:

Estando em equilíbrio térmico inicialmente, ao esquentarmos o bulbo, esquentamos o ar e essa energia maior de suas moléculas é mais absorvida pelo lado preto das palhetas e com ela gera-se o movimento por esse lado. Já ao esfriá-lo, o lado claro transfere com mais facilidade ao ar a energia cinética de suas moléculas, recebendo mais empuxo pelo efeito de reação [e-20200357-3].

Crookes continuou o trabalho adicionando modificações no seu aparato que justificavam a movimentação térmica das moléculas aquecidas colidindo nas pás do aparato, e por esse motivo e conforme já esclarecidos por nós anteriormente, não prolongaremos na análise desse artigo. No segundo artigo Crookes [18] direcionou sua atenção para “o conhecido espaço escuro em volta do polo negativo” [p. 135], produzindo um aparato que possuía a seguinte montagem básica:

Por meio desse aparelho evidenciado na Figura 3 e de algumas modificações, Crookes demonstrou que um raio originado do polo negativo atravessava a pequena camada de ar rarefeito dentro de um tubo de vidro entre dois terminais de cargas opostas espaçados. Ao apresentar uma justificativa para a formação de uma sombra nítida, originada por meio de um anteparo colocado no centro do aparato acima, Crookes chamou os raios catódicos de moléculas²:

² Conforme esclarecido anteriormente, o mesmo termo “moléculas” de Crookes, agora foi designado para o raio que surge entre os polos opostos da ampola de vidro.

Sendo [os raios catódicos], no entanto, moléculas materiais projetadas com o mesmo estado elétrico, eles não se cruzam, mas viajam por caminhos ligeiramente divergentes, dando sombras perfeitamente nítidas sem penumbra [18, p. 149].

De acordo com Bensaude-Vincent e Stengers [1], os raios catódicos foram redefinidos em significado posteriormente e chamados por Thomson de “elétrons” [p. 329]. Desse modo devemos ter alguma atenção, porque iremos encontrar no nosso estudo o termo moléculas, tal como Crookes descreveu, conforme citação acima, para justificar as propriedades da radiação emitida pelo polo negativo do seu aparato de vidro.

Portanto, o termo moléculas de Crookes é completamente diferente daquele entendido a luz dos estudos de Pauling [19] que remetem diretamente ao tipo de empacotamento dos átomos e aos seus movimentos nas estruturas [19, 20]. Para alguns leitores mais situados nas produções de Pauling, talvez o termo empacotamento por nós usado possa causar um certo estranhamento.

Entretanto, embora o trabalho de Pauling para o entendimento da ligação química, tenha se iniciado pela difração de raios X na determinação da estrutura cristalina em alguns sólidos não moleculares [21], o termo empacotamento remete diretamente ao modo como os átomos podem se combinar na formação das substâncias sob duas influências: na primeira, considerou os estudos de Lewis [22], os quais a molécula é o resultado da união de dois átomos pelo par de elétrons compartilhado.

Pela segunda influência – o trabalho de Heitler e London [23] – Pauling [19] desenvolveu seus estudos considerando dois tipos diferentes de moléculas a partir da formação da ligação química: aquelas cujo par se encontra equidistante entre os átomos ligados podendo ser neutras ou aquelas no qual o par de desloca mais para as proximidades de um átomo do que do outro.

Para Crookes, ele aplicou a ideia de moléculas ao fenômeno que entendemos como elétrons e elétrons não são moléculas e por isso chamamos atenção do leitor para o termo recorrente nesse trabalho. Entretanto não deixaremos de utilizar o termo ao longo de nossa análise à medida que para o entendimento dos raios catódicos, o fato de serem constituídos de partículas e estas serem elétrons, não torna sua utilização diferente da nossa, pois os elétrons não faziam mais parte do conceito de Crookes do que fazem parte do nosso.

Retomando ao segundo artigo de Crookes [18], ele verificou que há um espaço escuro, região não luminosa formada em torno do polo negativo e que pode ser modificado pela parte elétrica do aparelho, pela pressão no interior do tubo, o tipo de gás aprisionado sobre baixa pressão no tubo e a temperatura no interior deste. Em outro momento Crookes [18] variou as distâncias entre os polos e colocou uma haste fixa e outra móvel, “verificou-se que as dimensões e espessuras do espaço escuro não

variam, independentemente da distância que separa o polo fixo, do móvel” [p. 136].

Em seguida, entre os polos, Crookes [18] adicionou uma pequena barreira, uma tela e verificou o tamanho das sombras formadas após os raios catódicos colidirem com essa tela. Mais tarde essa afirmativa pode ter servido de base pra Thomson [24] no episódio que conhecemos como descoberta dos elétrons, porque a não modificação das dimensões da sombra no interior do tubo foram uma das evidências para garantir que os raios eram materiais, pois “marcam os caminhos das partículas de matéria” [p. 293], não afetando o formato da sombra por trás do polo móvel.

Ao modificar a energia que alimentava a bobina sem mudar a pressão no interior do tubo de vidro não verificou modificação no espaço escuro e afirmou que: “o único efeito foi causar um aumento ou diminuição da intensidade luminosa” [18, p. 137] ao redor do polo positivo.

Crookes também verificou no seu trabalho diferentes cores para as radiações originadas pelo cátodo e atribuiu essas variações, que no caso foram verde, amarelo e azul, aos tipos de vidros utilizados para reter todo seu aparato:

A cor depende do tipo de vidro usado. A maioria dos meus aparelhos é feita de um vidro macio alemão e isso fornece uma luz fosforescente de cor amarelo esverdeado. Vidro inglês fosforescências de cor azul; o vidro de urânio fica verde; um diamante se tornou azul brilhante. A fosforescência amarela esverdeada do vidro macio alemão, ocorre apenas sob a influência da descarga do polo negativo [18, p. 143].

Aqui devemos chamar a atenção do leitor para uma característica importante, pois Crookes confirmou com seus experimentos que a natureza do raio emitido pelo cátodo é negativa. Para isso o cientista retomou os estudos de Goldstein:

A luz negativa que produz essa fosforescência é, como já foi assumido por Hittorf, uma radiação retilínea, que se estende do polo negativo para o espaço circundante. [...] Hittorf observou que um corpo colocado entre a lateral do copo e um cátodo pontudo lança uma sombra na luz fosforescente do último. Bem definidas, embora sombras não muito nítidas de pequenos objetos possam ser obtidas não apenas de um polo negativo pontual ou linear, mas também de superfícies negativas estendidas colocadas a uma pequena distância do objeto opaco. Uma superfície que apenas irradia luz, por exemplo, um corpo inflamado, sob condições semelhantes, se torna visível a expansão de uma penumbra. A luz negativa é, portanto, uma radiação

retilínea, que se propaga preferencialmente de maneira quase normal à superfície de produção [18, p. 143].

Pela referência acima devemos esclarecer que Johann Wilhelm Hittorf (1824–1914) foi um físico alemão e professor na Universidade de Münster. Conforme enunciado no texto, determinou as características da propagação da luz negativa do aparato mencionado e estudou as propriedades dos gases que são atravessados pela luz e por faíscas elétricas [25].

Ainda, com relação a essa citação, podemos perceber que o trabalho de Crookes veio a confirmar a natureza da trajetória da luz negativa emitida pelo cátodo: “O raio molecular que dá à luz verde, se recusa absolutamente a curvar-se e irradia do polo negativo em linhas retas, sendo projetado com intensidade e sombra bem definida, de qualquer objeto que esteja em seu caminho” [18, p. 147].

Tal questão se mostrou de extrema relevância porque devido a sua trajetória retilínea no interior do tubo de vidro, houve uma diferenciação entre as propriedades dos feixes de luz emitidos pelo cátodo no aparato e aqueles originados pela queima de uma vela. Por meio de uma modificação no seu aparato confirmou o deslocamento retilíneo ao posicionar uma barreira na forma de uma estrela, no centro do tubo de vidro.

Ao inserir o objeto entre os dois polos notou que como a luz atravessa todo o interior do tubo de vidro, ela depende dos dois polos, permitindo que Crookes chegasse a seguinte conclusão: “Toda a aparência [da luz percorrendo o aparato] mostra que os dois polos estão trabalhando na produção desse fenômeno” [18, p. 148], entretanto para vácuo elevado, Crookes afirmou que o polo positivo praticamente não influenciou na emissão dos raios catódicos, além de afirmar que a sombra da estrela se apresentou nítida e “perfeitamente afiada nos contornos” [18, p. 148].

Posteriormente, será exposto que Crookes [18] modificou a posição do polo positivo, movendo para regiões distintas na ampola e os raios catódicos continuavam a ser produzidos e arremessados em linha reta. A diferença frisada aqui é que os dois polos se relacionam na produção do fenômeno, mesmo que o polo positivo esteja em outro lugar no aparato, em outras palavras, Crookes não negligenciou a importância do polo positivo para o fenômeno, apenas não há uma relação de dependência do comportamento do raio catódico em relação a região que se encontra o outro polo no interior da ampola.

Ao traçar considerações sobre a natureza da luz emitida pelo polo negativo, Crookes as chamou de moleculares. Isso evidenciou seu entendimento de que a luz gerada no cátodo tinha propriedade material, conforme citação abaixo:

A melhor teoria apoiada pelo experimento e a que, embora nova, seja improvável no estado atual de nosso conhecimento a respeito de moléculas, é que a fosforescência

amarelo-esverdeada do vidro é causada pelo impacto direto das moléculas na sua superfície. As sombras não são ópticas, mas sombras moleculares [...]. A nitidez da sombra, quando projetada de um polo largo, prova que são moleculares. Se a projeção do polo negativo irradiasse em todas as direções do mesmo modo que a luz irradiada de um disco luminoso, as sombras não seriam perfeitas e tão pouco nítidas, pois estariam cercadas por uma penumbra. Portanto, moléculas de material projetadas no mesmo estado elétrico [negativas] não se cruzam, mas viajam por caminhos ligeiramente divergentes, dando sombras perfeitamente nítidas, sem penumbra [18, p. 149].

Na tentativa de descrever a natureza da coloração da radiação emitida pelo polo negativo, propôs que a cor era devida a colisão das moléculas nas paredes do aparato, e em seguida temos uma afirmação importante para o nosso estudo, a qual justifica retornarmos as contribuições de Crookes a fim de reconhecer as contribuições do cientista na descoberta dos raios X por Röntgen:

Sabemos que a fosforescência [do vidro] é excitada pela radiação ao invés de ser excitada pelo impacto real das moléculas na superfície do vidro. Pode-se, no entanto, supor que as moléculas incandescentes foram projetadas com uma velocidade tão grande a partir do polo negativo que o espaço ao redor se rarefaz, existindo relativamente poucas moléculas nesse espaço, mas que, adjacente ao vidro, havia uma fina camada delas densamente compactada. [...] na ausência de fosforescência dentro dos limites da sombra, podem ser explicadas pela ausência da fina camada de substrato fosforescente [18, p. 150].

Desse modo, como Röntgen retomou os estudos da ampola de Crookes para verificar a influência dos raios catódicos e observou o surgimento de radiação em substratos fosforescentes nas partes externas ao aparato [26], podemos perceber que ao verificar e questionar a fluorescência originada na ampola, Crookes poderia produzir os raios X. Certamente produziu os raios X, mas devido ao foco de suas observações internas do aparato, não obteve sucesso na descoberta dessa radiação.

Crookes seguiu seu trabalho testando algumas modificações no aparato na intenção de reduzir algum tipo de interferência nos fenômenos de luminescências por ele observados. Apesar de ter notado, anos depois dessa publicação, que durante seus experimentos com os tubos dos raios catódicos muitas de suas chapas fotográficas já estavam reveladas antes do uso, não teve interesse de investigar a questão [27].

É válido destacarmos também nesse contexto de observações e experimentos de Crookes, que a sua não verificação experimental sobre a existência de um novo tipo de radiação responsável pela fosforescência no aparato experimental vai ao encontro do não descobrimento dos raios X.

Na pesquisa em História das Ciências é importante priorizar o contexto, cultura, sociedade, ou até mesmo o ambiente da criação do cientista para análise da sua produção de conhecimento [28] e Crookes, ao longo dos seus experimentos com os raios catódicos, por mais que o fenômeno de produção dos raios X estivesse ocorrendo, talvez não o tenha observado ao ponto de querer investigar além da fosforescência no vidro da ampola, o que o distanciou de dedicar-se aos raios X, mesmo tendo os produzidos.

Seguindo a análise da obra de Crookes, para verificar que os raios catódicos eram liberados pelo cátodo, Crookes bolou um equipamento bem interessante, colocando uma palheta móvel, tal como aquela utilizada nos experimentos do radiômetro, que poderia se mover com a colisão das “moléculas atingindo apenas um lado” [18, p. 153]. Ou seja, a movimentação dessa hélice, confirmou a origem da emissão dos raios catódicos, se pelo cátodo ou pelo ânodo e sua natureza material.

No mesmo experimento, acrescentou uma bobina externa, com o objetivo de verificar a carga dos raios emitidos pelo cátodo, adicionando na parte externa do vidro um condutor capaz de transportar corrente elétrica e gerar um campo magnético, conforme mostrado na Figura 4 a seguir:

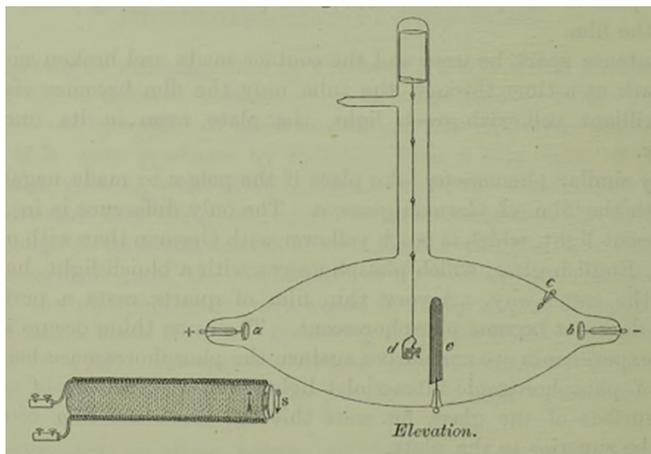


Figura 4: Tubo de vidro utilizado por Crookes para testar a natureza material dos raios catódicos e o desvio das “moléculas projetadas a partir do polo negativo”, pela Royal Society [18, p. 152].

É sabido que um condutor móvel que transporta uma corrente de eletricidade é desviado sob influência da força magnética. Experimentos testados desde cedo nessa pesquisa e repetidos com o aparelho já descrito mostraram que o fluxo de moléculas projetadas

do polo negativo obedeceu, de maneira muito marcante, ao poder de um imã. Esperava-se que o aparato sugerido agora no experimento jogasse alguma luz sobre essa ação do “magnetismo das moléculas” [18, p. 153].

Desse modo, Crookes confirmou a influência do campo na trajetória das moléculas carregadas disparadas pelo polo negativo do seu aparato. As diferentes marcações das moléculas nas figuras indicam as mudanças em suas trajetórias “ao aumentar o número de células que atuam no eletroímã” [18, p. 154]. Concluiu que quanto mais intenso for o campo fornecido ao aparato, “a deflexão da sombra aumenta” [18, p. 154].

Crookes verificou as várias sombras originadas pela influência do campo e suas deflexões, bem como as mudanças nas velocidades das moléculas nesse processo. Para tanto, afirmou que “uma trajetória mais plana, corresponde a uma velocidade mais alta das moléculas” [18, p. 160] e propôs como justificativa: “as colisões [entre as moléculas] eram menos frequentes” [18, p. 161].

Por isso, a alta velocidade é o resultado de pressões mais baixas, alto vácuo, o que permitia o menor número de colisões ao longo do caminho percorrido pelo raio catódico, o que indicava um deslocamento médio livre. Logo, quanto mais próximas as partículas carregadas estiverem do campo magnético, maior será a deflexão causada pelo campo, porque a força magnética diminui com a distância.

Ele realizou uma nova modificação no tubo de vidro, acoplando marcadores angulares em uma “escala milimétrica gravada verticalmente” [18, p. 157] num vidro plano para indicar o desvio. No centro, em uma distância fixa do polo negativo, foi adicionado um anteparo com um furo central para que pudesse visualizar o deslocamento do raio frente a projeção da sombra causada por essa barreira, conforme Figura 5 a seguir:

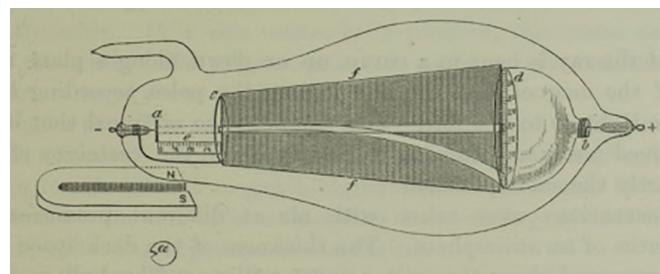


Figura 5: Tubo de vidro utilizado por Crookes para verificar a mudanças nas velocidades das moléculas, publicado por Crookes pela Royal Society [18, p. 157].

Crookes descreveu em seu trabalho essa observação do seguinte modo: “o que foi realmente desviado foi o caminho das moléculas dirigidas pelo polo negativo e cujo impacto na superfície fosforescente, causava luz” [18, p. 157]. Nisso, temos uma contribuição interessante causada pela investigação do fenômeno observado acima. Crookes percebeu que independente da região que ele

colocava o polo positivo, as moléculas carregadas eram disparadas e não se curvavam ao encontro deste polo:

O fluxo de moléculas não obedece à Lei de Ampère como se fosse um condutor perfeitamente flexível que une o polo negativo e positivo. As moléculas são projetadas a partir do polo negativo, mas a posição do polo positivo, seja na frente, lado ou mesmo atrás do polo negativo, não tem influência no seu comportamento subsequente, seja na fosforescência [...] ou na deflexão magnética [18, p. 161].

Com essa citação fechamos a análise desse trabalho de Crookes, porque foi com o surgimento dessa fosforescência que a questão em relação a um novo tipo de radiação originado pelo aparato começou a incomodar os cientistas. Podemos perceber ao longo desse artigo três considerações feitas pelo cientista:

- i. A luz projetada pelo cátodo era de natureza material pela observação do movimento de uma palheta no centro do tubo de vidro, como se fosse um pequeno radiômetro colocado no meio da trajetória dos raios catódicos. Aqui vale a pena situarmos o leitor o porquê tal consideração foi realizada quando o cientista adicionou ao centro do aparato um conjunto de palheta com livre rotação como uma hélice. Ao ligar o sistema, os raios catódicos projetados pelo cátodo permitiram as palhetas se moverem, confirmando o fato dessa radiação possuir uma natureza corpuscular;
- ii. A luz projetada pelo cátodo possuía um deslocamento em trajetória retilínea ao examinar as sombras projetadas pelo anteparo móvel;
- iii. A luz projetada pelo cátodo era de carga negativa pela deflexão magnética demonstrada ao se aproximar um ímã.

Por fim, vejamos uma conclusão de Crookes que corrobora para nossa decisão de retomarmos ao seu trabalho como fundamental para a evidência dos raios X:

Os fenômenos nesses tubos esgotados [de gás] revelam à ciência física um novo mundo, um mundo onde a matéria pode existir em um quarto estado; onde a teoria corpuscular da luz pode ser verdadeira [...], mas onde nunca podemos entrar e com o qual devemos nos contentar em observar e experimentar de fora [18, p. 164].

A partir da leitura desse trecho percebemos quão intrigante foram as observações da trajetória dos estudos de Crookes por meio das modificações e ideias adicionais ao experimento inicial com um tubo de vidro preenchido com um gás rarefeito e duas placas sem contato em extremidades opostas.

Basta nos atentarmos para a ideia por ele proposta de um quarto estado, no qual o caminho livre entre as moléculas gasosas carregadas e atiradas pelo cátodo é tão longo que, ao considerarmos o comprimento do tubo, as colisões entre elas podem ser desconsideradas para observação da luminescência no vidro [29].

Segundo Weinberg [30], Goldstein refutou a proposta de Crookes em relação ao lançamento molecular do cátodo, visto que o livre percurso das partículas possuía uma distância percorrida muito menor do que o comprimento da ampola de vidro no aparato, impossibilitando as colisões das moléculas, porém a proposta de Crookes serviu de amparo no cálculo do desvio provocado pelo campo magnético ao raio catódico.

No terceiro trabalho de Crookes [31] a respeito dos experimentos com os tubos de vidros dos raios catódicos iniciou afirmando que o trabalho em questão é uma “continuação” [p. 641] do analisado até aqui por nós e, por isso não podemos deixar de estudá-lo. Crookes retomou uma observação já referida: “observaremos que a fosforescência verde do vidro, por meio da qual a presença dos raios moleculares se manifesta, não ocorre perto do polo negativo” [p. 641] e afirmou que: “não há fosforescência dentro do espaço escuro” [p. 642].

Propôs que a fosforescência no vidro fosse obtida a partir das colisões dos raios moleculares, afirmando que as partículas dos gases presentes na ampola em baixa pressão são aceleradas pelo polo negativo, porque quando em contato com esse polo, adquirem a mesma carga e por repulsão, saem voando imediatamente, permitindo que atinjam uma grande velocidade para causar o fenômeno luminoso.

Seguindo o raciocínio para a justificativa do deslocamento dos raios catódicos, deveríamos ter uma ampliação da luminosidade na lateral ao sentido normal do fluxo devido a repulsão entre as moléculas. Mas, isso não foi observado, então Crookes propôs que o fenômeno perde intensidade à medida que as moléculas colidem, porque ao se chocarem, “perdem o negativo” [p. 642].

Crookes [31] afirmou que

O limite luminoso para o espaço escuro ao redor do polo negativo é provavelmente devido ao impacto de molécula contra molécula, produzindo fosforescência do gás, da mesma forma que o impacto das moléculas contra o vidro alemão produz a fosforescência do vidro” [p. 642–643].

Ou seja, Crookes formulou explicitamente a hipótese de que o mesmo fenômeno dá origem à luminosidade dentro do tubo de vidro e no vidro. Veja que interessante foi essa observação de Crookes para o desenredar dos fatos, uma vez que o entendimento do que ocorre na superfície do vidro levou ao direcionamento de Röntgen e seu interesse por pesquisar a região externa ao tubo de Crookes, isto é, do lado de fora.

Crookes [31] continuou propondo modificações no seu aparato chegando ao final do artigo na mesma conclusão

que seus trabalhos anteriores, no qual os raios catódicos que surgem em tubos de altos vácuos têm natureza material, carga negativa e sofrem mudanças nas suas trajetórias quando expostos a campos magnéticos.

Os tubos de Crookes forneciam informações plausíveis sobre os raios catódicos quanto a sua natureza corpuscular, carga e propagação retilínea. Os raios eram disparados pelo cátodo após as moléculas retirarem a carga negativa do gerador que alimentava a placa e assim, repelidas perpendicularmente – sem referência a posição do ânodo – e eram notadas, ao colidirem com a parede do vidro, após o surgimento de uma pequena luminescência no lado oposto do aparato. Porém, não convenceu Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894), outro cientista interessado nos raios catódicos.

Interessado, porque ao resgatar os estudos de Maxwell, debruçava-se sobre os estudos das ondas eletromagnéticas e seus efeitos no interior dos tubos de vidro, empregando os raios catódicos e comparando as observações de Crookes aos efeitos esperados para a luz [32]. Passaremos então aos trabalhos de Hertz, os quais se encontram num livro organizado por seu aluno, Lenard em 1896. Essa obra contém a coletânea dos trabalhos de Hertz publicados entre 1880 e 1892 criteriosamente traduzidos ao inglês por Jhones e Schott. Ela atende ao nosso interesse de pesquisa, pois os estudos de Lenard motivaram a descoberta dos raios X e se encontra devidamente referenciada ao final.

No seu trabalho, Hertz evidenciou que o imã afetava o deslocamento dos raios catódicos, confirmando a produção de Crookes [33]. Apoiado pelo pai, o qual financiou seus estudos e a sua troca de faculdade para se dedicar a física, Hertz matriculou-se na Universidade de Munique em 1877, onde ele se destacou como um grande investigador, o qual possuía uma vontade incessante de pesquisar. Inicialmente dedicou-se a matemática [34] e depois aos fenômenos ligados a física em decorrência dos estudos de Maxwell.

Dentre muitas contribuições podemos destacar o período entre 1887 e 1888, o qual avançou na pesquisa sobre as ondas eletromagnéticas e extrapolou a proposta teórica, constatando a existência de ondas eletromagnéticas no ar. Faleceu aos 37 anos por uma infecção bacteriana derivada de uma cirurgia de remoção de um tumor na orelha [34, 35].

Seu interesse pelo fenômeno dos raios catódicos pode ser demonstrado por uma carta escrita a Hermann von Helmholtz (1821–1894), em 29 de julho de 1883. Vale ressaltar, que Helmholtz fez muitas contribuições para a física, fisiologia e matemática. Em 1847, quatro anos após ter recebido seu diploma de Medicina, escreveu sobre a Conservação de Energia (*Über die Erhaltung der Kraft*), uma monografia de 72 páginas que contribuiu para o entendimento de amplos fenômenos na física. Além disso, publicou trabalhos na ondulatória, meteorologia e termodinâmica. Foi um grande incentivador de Hertz para os estudos das ondas eletromagnéticas [36, 37].

Li com o maior interesse sua investigação sobre a descarga do cátodo e não posso deixar de escrever para falar: Bravo! O assunto me pareceu de grande importância. Há algum tempo venho pensando se os raios catódicos não podem ser um modo de propagação de um repentino impacto do éter eletromagnético de Maxwell, no qual a face do eletrodo formaria a primeira onda superficial [33, p. xxiii].

Segundo a visão de Lenard, a citação acima corrobora com nosso estudo, porque Hertz guardava muito respeito por Helmholtz: “Isso lhe trouxe o reconhecimento de alguém que raramente dava tais prêmios e cuja opinião ele mais valorizava” [33, p. xxiii]. Sob a ótica de Hertz podemos ver a construção de uma hipótese inerente a radiação molecular de Crookes para interpretar os raios catódicos. Hertz buscou identificar as propriedades eletrostáticas dos raios catódicos e acreditou que não eram moléculas carregadas, mas alguma forma de luz [38]. Tal debate foi evidenciado por Thomson em 1897 e até aquele momento a escola de físicos alemães ainda tomava partido dessa tendência, enquanto a escola inglesa os considerava como “partículas de matéria carregadas” [24, p. 293].

A escola alemã buscava o entendimento dos raios catódicos, considerando-os semelhantes a luz. Podemos ponderar e adicionar essa ideia a nossa base de justificativas para a descoberta feita por Röntgen sobre os raios X. Por hipótese, consideramos que tal influência pode ser devida a algum negacionismo oriundo das produções inglesas relativas a natureza material dos raios catódicos.

Sabemos que o desdobramento dos cientistas no entendimento químico da matéria foi fundamental para a construção do conhecimento adquirido, visto que por meio de seus experimentos e observações os cientistas tentam encontrar possibilidades que justificam as transformações naturais [32]:

É importante ter-se o entendimento de que a ciência, tal e qual nós conhecemos, é na verdade o resultado de diversas teorias e modelos propostos por cientistas e pensadores que tiveram fracassos e êxitos ao longo da história da humanidade. A consciência de que as ciências naturais são oriundas da interpretação da natureza por parte do ser humano e não uma verdade absoluta e irrefutável, dogmas, tem papel primordial na formação do indivíduo consciente e questionador e, neste sentido, o estudo da evolução histórica de teorias é relevante [p. 55].

Por isso buscamos entender o surgimento de hipóteses diante de um fenômeno observado e mais uma vez não nos preocupamos com os erros que surgiram no passado, mas valorizamos como uma vertente importante de produção científica e construção de pensamentos, dando

margens para outras construções que surgem nos limites das descobertas.

Por isso apoiamos nosso trabalho na construção coletiva em torno da descoberta dos raios X. No seu estudo inicial sobre a descarga elétrica produzida em tubos de Crookes, Hertz em 1883, propôs analisar uma pequena explosão que ocorre quando em um tubo de Crookes, há a emissão de uma descarga elétrica entre dois eletrodos. Um colocado no lado externo do vidro frente a um pequeno orifício e outro do lado de dentro. Segundo o trabalho de Mangili [39], Hertz observou uma elevação na temperatura do entorno, “explosão quente” [p. 38] bem como o derretimento de pequenos objetos, ao serem colocados no caminho da trajetória do raio, quando presos com ceras após essa descarga elétrica ser disparada.

Com esse experimento Hertz demonstrou os efeitos mecânicos do jato originados, à medida que a explosão projetava para fora do tubo, por meio do orifício, a mistura gasosa do interior composta por hidrogênio e nitrogênio, deslocando assim a matéria, ou seja, os gases saem do tubo pelo orifício após o surgimento da descarga elétrica. Hertz também afirmou que foram tirados espectros que comprovassem a existência dos mesmos elementos que compunham a mistura gasosa após a explosão.

O que não podemos afirmar com esse experimento é se havia no tubo uma reação química entre os gases que compunham a mistura gasosa. Por especulação, desconfiamos que sim, na medida em que, segundo seus escritos, houve um aquecimento, o que implicaria num fenômeno químico exotérmico e que por consequência desse aquecimento, as moléculas ganhariam uma certa quantidade de energia cinética, deslocando-se para fora do vidro por meio do orifício.

Consideramos esse experimento e a produção do trabalho em decorrência dessas observações como o preâmbulo de seu interesse pelos raios catódicos, embora não atenda a possível dúvida gerada sobre a natureza da radiação identificada por Crookes na superfície do vidro dos seus experimentos com a ampola evacuada, ao passo que Hertz nesse trabalho inicial, apenas identificou uma possível força mecânica exercida pela descarga elétrica.

Em um trabalho posterior publicado também na *Wiedemann's Annalen Physik*, Hertz afirmou que para verificar se a fonte de descargas elétricas era contínua ou não, deveria ser utilizado uma bateria maior que aumentasse as descargas catódicas. Desse modo, ele poderia analisar se a descarga dava ou não, origem a forças eletrostáticas em sua vizinhança ou sendo influenciadas por forças eletrostáticas externas [33].

Vemos então, a partir de nossa narrativa inicial de nos preocuparmos com os raios catódicos, um problema na produção de Hertz. Segundo o nosso objetivo de investigar a descoberta dos raios X por meio dos estudos dos contemporâneos de Röntgen, há uma defasagem de conceitos entre os efeitos elétricos observados por Hertz

e os efeitos luminosos de Crookes. Mangili [39] esclareceu que Hertz se manteve desconfortável em discutir a natureza do que estava sendo observado e propôs uma relação comparativa entre a luz e as descargas elétricas no interior do tubo, afirmando que do mesmo jeito que existe uma relação da luz incandescente a uma vela acesa, há também uma relação dos raios catódicos a descarga elétrica.

O que nos dá margem para a citação posterior frente a observações distintas obtidas de experimentos muito semelhantes, vejamos:

Assim, diferentes resultados experimentais apoiaram diferentes observações da natureza dos raios catódicos. Além disso, a importância da evidência de alguns desses resultados era ambígua. Por um lado, a deflexão magnética dos raios catódicos que indicava que eram partículas carregadas era compatível com uma interpretação etérea de sua natureza. Era concebível que o campo magnético alterasse o estado do éter de modo a produzir uma deflexão dos raios. Por outro lado, a capacidade dos raios catódicos de passar por finas folhas metálicas sugeria que eles eram ondas no éter e poderiam ser justificados pela hipótese de que os raios catódicos eram partículas carregadas [40, p. 90].

Basicamente temos o mesmo corpo do experimento, ou seja, um cátodo dentro de um tubo de vidro de alto vácuo que emite ou não radiação quando submetido a uma alta diferença de potencial entre o ânodo, mas com duas interpretações distintas para o mesmo fenômeno. Mangili [39] afirmou: “em diversos momentos ele [Hertz] descreve em suas obras, a comparação desses efeitos elétricos com os efeitos esperados para a luz” [p. 39], inclusive ao verificar em sua obra a rotação do plano de polarização da luz, reforçando sua atenção que justificava a evidência do fenômeno luminoso [33].

Hertz em seus estudos em relação aos raios catódicos concluiu que eram contínuos, que possuíam propriedades eletromagnéticas pequenas e, talvez, inexistentes propriedades eletrostáticas. Embora desviados de sua trajetória inicial por ímãs e que a fosforescência causada nos tubos de vidro não tinha relação com a corrente que alimentava o cátodo e o ânodo, arriscou-se a sugerir sobre a existência das cores diferentes dos tubos de vidros para diferentes materiais colocados em seu interior, na tentativa de relacioná-las as cores que compunham a luz, portanto, afirmou que raios catódicos diferentes possuíam cores diferentes [33].

Embora não seja a intensão do nosso trabalho, devemos destacar o fato de Hertz não ter buscado uma justificativa que apoiasse a conclusão para a descarga elétrica encontrada dentro do tubo de Crookes e considerou o efeito de condução de eletricidade da superfície do vidro, de modo que pudesse anular a força elétrica

entre as placas, daí a não observação de propriedades eletrostáticas dos raios catódicos [38]

Porém ao considerar que os raios catódicos se assemelhavam a luz, presumimos que isso pode ter despertado a comunidade científica para uma maior atenção as propriedades relacionadas a fosforescência no tubo de vidro, após a colisão dos raios catódicos. Ao menos, guiado pela grande quantidade de experimentos realizados nos tubos, influenciou seu orientando Philipp Lenard (1862–1947) em seguir seus estudos e experimentos sobre os raios catódicos, após o afastamento de Hertz em decorrência de um problema de saúde [41].

Para Anderson [42], Hertz produziu puramente raios catódicos ao aterrar o ânodo e isolar o cátodo e o ânodo do aparato utilizando uma gaze, o que pode ter contribuído para a incoerência ao afirmar sobre a baixa força elétrica presente no aparato, visto que as deflexões obtidas eram inferiores ao que esperava e isto o “convenceu de que quaisquer efeitos elétricos associados aos raios catódicos não transportavam carga para o espaço dentro do cilindro” [p. 36].

Porém, em 1892 propôs em sua pesquisa que os raios catódicos pudessem atravessar uma fina lâmina metálica de ouro: “assim os raios catódicos parecem penetrar com pouca perda através da lâmina de ouro” [33, p. 329] e admitiu que o metal tivesse poros que possibilitassem o vazamento da radiação. Esse experimento convenceu Hertz de que os raios catódicos tinham a mesma natureza da luz: “se os raios apenas atravessassem os orifícios do metal, eles continuariam sua trajetória retilínea. Mas eles não fazem isso, por sua passagem pelo metal, se tornam difusos, assim como a luz ao penetrar um meio turvo” [33, p. 331].

Utilizou em seus experimentos os metais ouro, prata e alumínio com espessuras muito pequenas. Hertz, então, chamou Lenard e mostrou que quando o urânio foi coberto por uma lâmina de alumínio, brilhava quando era incidido os raios catódicos [43]. Talvez, pudéssemos aqui, considerar outra evidência de produção dos raios X antes de Röntgen, mas nenhuma identificação foi realizada por Hertz.

O que nos chamou atenção sobre o experimento é que, independente dos esclarecimentos a serem fornecidos por Thomson anos posteriores, no início do século XX foi desenvolvido experimentos para o entendimento da estrutura atômica por Ernest Rutherford (1871–1937) que se assemelham ao experimento desenvolvido por Hertz.

Seguindo as principais contribuições relacionados aos tubos de Crookes que construíram a base das descobertas de Röntgen chegamos a Philipp Eduard Anton von Lenard (1862–1947), porque Röntgen declarou que estava interessado nas pesquisas de Hertz e Lenard em relação aos raios catódicos [27, 44].

Lenard foi assistente de Hertz e recebeu o Nobel em física por seus estudos com os raios catódicos publicando-os em 1894 [45]. Conduziu o experimento do tubo de Crookes do lado de fora da ampola de vidro e de acordo

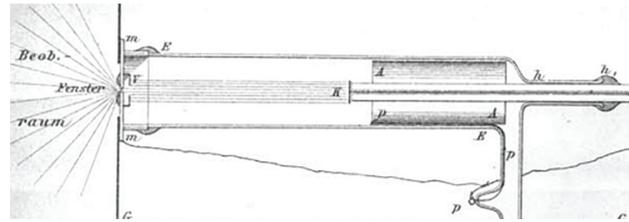


Figura 6: Observação do espalhamento dos raios catódicos por Lenard [44].

com nosso entendimento, Lenard desejava experimentá-los diretamente livre das paredes de vidro e da baixa pressão do interior do tubo de Crookes.

Propôs um aparato com uma abertura em frente ao cátodo com uma “janela de alumínio” [45, p. 235] de modo que, conforme previsto por Hertz, após o raio a atravessar, pudesse investigar o caminho dos raios catódicos fora do tubo [33], afirmando que “a atmosfera é um meio turvo para os raios catódicos” [45, p. 235].

Lenard [45] verificou que os raios catódicos após atravessarem a janela de alumínio se espalham em todas as direções “como um arbusto” [45, p. 229], conforme Figura 6 abaixo retirada do seu trabalho. Afirmou que a janela de alumínio é mais vantajosa que o vidro, “porque o alumínio é opaco e muito mais leve” [45, p. 227], o que direcionaria melhor os raios catódicos para verificar suas propriedades no meio externo.

Mas, vejamos sua observação: “corpos fosforescentes colocados próximos da janela, possuem brilhos intensos, com luzes peculiares na face voltada para eles [raios catódicos]” [45, p. 229], mesmo quando foram colocados um pouco acima da janela e concluiu que o brilho estava relacionado a distância e não a direção do raio, porque eles se espalhavam.

Embora sua investigação tivesse o foco da identificação das propriedades eletrostáticas e eletromagnéticas dos raios catódicos, a evidência fica clara no trabalho de Lenard sobre a produção dos raios X. Essa observação gerou uma disputa intensa mesmo após a morte de Röntgen sobre o crédito de prioridade em torno da descoberta dos raios X.

Porém, como veremos a seguir, Lenard, em sua pesquisa, não se preocupou em estudar essa luminosidade, por isso a falta de reconhecimento de Lenard. Logo de antemão, como Röntgen se manteve atento ao fenômeno luminoso que causava brilho em corpos fosforescentes externos ao tubo de vidro, estudou suas propriedades e denominou esse tipo de radiação, portanto consideramos que ele mereceu o crédito das descobertas dos raios X.

Lima e Afonso [26] vão um pouco além da nossa abordagem e destacaram alguns cientistas que abordamos nessa historiografia:

Muitos pesquisadores famosos como Herbert Jackson (1863–1936), Johann Hittorf (1824–1914), Eugen Goldstein (1850–1930), William Crookes (1832–1919) e, particularmente,

Philipp Lenard, teriam detectado fenômenos de fluorescência próximos a tubos de descarga. Contudo, ou interpretaram erroneamente aquele fato, ou não se detiveram na análise do fenômeno [p. 263].

Pela citação acima podemos verificar que, conforme a orientação do nosso estudo, por mais que outros pesquisadores tenham produzidos os raios X essenciais para os estudos estruturais da primeira metade do século XX, apenas Röntgen se dedicou a estudá-los e identificá-los. Lenard recebeu, em 1906, o Nobel por seus estudos dos raios catódicos, e na sua palestra da premiação demonstrou sua discordância por não ter levado o crédito da descoberta dos raios X.

Sutilmente afirmou:

A descoberta logo após esta, [do comportamento ondulatório por Lenard com seus estudos dos raios catódicos], dos raios X por Röntgen o primeiro investigador a usar o tipo de tubo descrito acima, é geralmente considerada um bom exemplo de uma eventual descoberta [43, p. 115].

A citação acima pode não parecer intrigante, porém ao nos posicionarmos frente ao que os próprios cientistas publicaram e o contexto de disputa envolvido pelo crédito de descoberta dos raios X, nos torna evidente que a “sorte” na descoberta de Röntgen pode ser questionada, à medida que seus experimentos e observações, conforme trazemos nesse artigo, foi amparado por um coletivo de produções, experimentos e observações anteriores.

Veja a citação abaixo do início da palestra de Lenard [43]:

Vou agora falar não só dos frutos, mas também das árvores que os suportaram, e daqueles que plantaram essas árvores. Esta abordagem é a mais adequada no meu caso, já que nem sempre fui numerado entre aqueles que colhem o fruto; eu tenho sido repetidamente, apenas um daqueles quem plantou ou cuidou das árvores, ou quem ajudou a fazer isso [p. 105].

Essa citação, ressalta que a descoberta ao “acaso” [27, p. 373] dos raios X, foi construída ao longo de sucessivas produções. Analogamente ao texto acima, a descoberta dos raios X foi colhida ao longo do plantio de sucessivos agricultores que não retiraram alguns frutos das árvores, mas talvez, apenas aqueles mais visíveis ao cultivador. Posteriormente, Lenard esclareceu esse movimento de Röntgen de observar, nomear e determinar algumas propriedades da radiação originada após a colisão dos raios X no tubo de vidro. Ainda na mesma cerimônia de premiação do Nobel, posicionou-se:

Mas, dado o tubo, o fato de que a atenção do observador já estava desviada do interior

para o exterior deste e a presença de telas fosforescentes fora do aparato por causa da sua finalidade, pareceu-me que esta descoberta teve necessariamente de ser feita neste estágio de desenvolvimento [43, p. 115].

Desse modo, podemos justificar o descontentamento de Lenard em não ter recebido o Nobel pela descoberta de Röntgen. Se nos atentarmos para o seu processo de construção, poderíamos afirmar que certamente chegaria na descoberta dos raios X, já que os observou, embora não os tivesse estudado como veremos o que Röntgen fez. Mas na palestra do Nobel, afirmou sobre o contexto de sua produção e que talvez, seja isso que o tivesse impedido de prosseguir sua investigação e possível descoberta:

Eu tinha os meios disponíveis para descobrir diariamente coisas novas da própria Natureza em novos experimentos [...]. Lamento muito, portanto, que nesta fase meus experimentos foram interrompidos por um tempo considerável, primeiro por uma tarefa nada simples que foi devolvida inesperadamente a mim através da morte prematura de Heinrich Hertz – a publicação de seu *Prinzipien der Mechanik* (Princípios da Mecânica) – e depois quando fui nomeado professor teórico. Quase não vale a pena mencionar, [...] para o desenvolvimento posterior de nosso assunto que, mesmo antes desta interrupção eu havia projetado um tipo de tubo de descarga novo e muito mais conveniente [43, p. 114].

Veja que pela citação Lenard foi compelido a abandonar seus experimentos com os raios catódicos como resultado do agravamento da saúde de Hertz e de sua posterior morte. Contexto esse demarcado pela edição do livro de Hertz, o qual Lenard foi seu assistente e investigador, foi próximo de suas pesquisas e assumiu o cargo de professor, após a morte repentina de Hertz.

Seguindo o nosso estudo, Lenard verificou que a fosforescência de alguns materiais colocados próximos à janela, diminuiu com a distância e que o brilho desses materiais ocorreu sempre na face voltado para o caminho dos raios catódicos, porém para alguns materiais, o brilho continuava a existir mesmo a “grandes distâncias” [45, p. 230].

Lenard continuou seu trabalho evidenciando a influência do vácuo para a produção dos raios catódicos e sobre a influência do campo magnético, bem como por meio dos sentidos descreveu suas observações quanto a exposição dos raios na “pele”, “olho”, “nariz” e “língua” [45, p. 232] e evidenciou a capacidade de penetração dos raios catódicos e a sua tendência de revelar chapas fotográficas.

Vale notar outra questão importante que não foi investigada por Lenard, mas observada por Röntgen [46],

porque se assim o tivesse feito, talvez seria dele a prioridade da descoberta dos raios X:

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 papel [27, p. 385].

De acordo com a citação acima, podemos verificar o interesse de Röntgen diferente dos de Lenard, Hertz e Crookes, pois utilizou a construção dos anteriores e canalizou sua atenção para evidências experimentais que extrapolaram em muito as proximidades dos raios catódicos. Em relação a isso, Röntgen percebeu que platinocianeto de bário continuava brilhando em uma sala escura à medida que o aparelho funcionava, mesmo quando se encontrava a grandes distâncias, “testei-o com sucesso a distâncias cada vez maiores, até mesmo a dois metros [do aparelho]” [27, p. 378].

Em vácuos extremos Lenard posicionou-se sobre a nitidez e a maior distância alcançada pelos raios catódicos. Recordando a análise dos trabalhos de Crookes nos arriscamos na hipótese de que ele alguma vez tenha pensado que as vias emitiam moléculas, ele pensava que os raios que o cátodo emitia eram moléculas. Não podemos afirmar, conforme já exposto inicialmente que Crookes estava errado se substituirmos por exemplo, o termo moléculas por partículas, o qual transmite o conceito de moléculas de Crookes.

Em relação a visibilidade dos raios, Lenard [43] explicou que “os raios não são diretamente visíveis e seria inútil colocar o olho na janela, visto que esse órgão não é receptível aos raios catódicos” [p. 109], por esse motivo a utilização de materiais revestidos com “algumas cetonas, cianeto de platina e fosfatos de alcalinos terrosos” [p. 109].

Lenard [45], além de realizar experimentos com os raios catódicos na região externa ao tubo de vidro, também propôs uma série de alterações no vácuo preenchendo o tubo com “hidrogênio” [p. 266] e “gás carbônico” [p. 266] e concluiu que quanto maior a pressão mais espalhados se tornam os raios catódicos e que os raios catódicos podem ser diferentes, para diferentes gases devido suas diferentes “fosforescências, absorções e deflexões por um imã” [p. 266].

Concluiu afirmando que as interações dos raios com os gases, causando seu espalhamento, depende de suas massas: “a massa total das moléculas por unidade de volume é decisiva para a turbidez do meio” [45, p. 267], ou seja, para Lenard, os raios catódicos são um fenômeno do éter. O éter é o que resta na ampola de vidro assim

que os gases são removidos do tubo por uma bomba de vácuo. Por conseguinte, quanto menor o vácuo, maior a interferência no fenômeno envolvido na produção dos raios catódicos.

Uma questão que pode surgir ao longo do nosso percurso é sobre a natureza ondulatória ou corpuscular dos raios catódicos. Até o momento estudado, foram poucas as evidências que contrastam sobre a natureza corpuscular das emissões do interior do tubo de vidro evacuado, porém ao final do artigo de Lenard [45], após refletir sobre o espalhamento dos raios catódicos nos diferentes meios afirmou:

Assim como a propagação difusa dos raios catódicos nos gases em geral, o fenômeno observado aqui em particular, tem seu análogo óptico bem conhecido: as ondas curtas da luz tornam-se maiores em certos meios opticamente turvos, espalhando-se como ondas longas [p. 266].

Com essa citação podemos concluir, amparados por toda a análise feita até aqui, que Lenard se apoiou e conduziu os experimentos para alicerçar a evidência do espalhamento dos raios catódicos e assim, sustentar a hipótese de comportamento ondulatório desses, comparando as emissões dos raios catódicos à luz. Isto significa que Lenard certamente pensou que tais raios eram como a luz.

Desse modo, acreditamos montar a base para a produção de Röntgen. Ele nasceu em Lennep em março de 1845, graduando-se em engenharia em 1866 e doutorando-se em 1869. Sua trajetória de pesquisa foi marcada por estudos como: “eletricidade em cristais, efeito Kerr, propriedades elásticas da borracha, efeito de pressão na viscosidade de líquidos, [...] três curtos artigos dedicados aos raios X [...] e um imenso artigo de 195 páginas sobre fotocondutividade” [27, p. 374].

É a sua produção inicial publicada pela Sociedade de Física e Medicina de Würzburger que será estudada por nós. Para isso, utilizaremos a tradução do artigo original de Röntgen para o português publicada por Martins [27] ao final do seu trabalho, das páginas 382 a página 389, cujo título original é: *Über eine neue Art von Strahlen* (Sobre um novo tipo de raios).

Seu trabalho sobre a identificação dos raios X que eram capazes de atravessar muitos meios materiais, causou um certo transtorno inicial na sociedade impulsionado por essa propriedade. Possivelmente, pela desconfiança decorrente da concepção que trazemos sobre o sentido do X no nome dessa radiação.

Manes [47] dialoga conosco sobre a propriedade de atravessar vários meios materiais. Nesse trabalho ele exemplificou alguns movimentos ocorridos no mundo quando os raios X foram descobertos:

Brigadas de moralidade foram formadas durante a noite para resistir até a morte à destruição de toda decência e privacidade.

Uma firma londrina [...] fez uma pequena fortuna com a venda de roupas íntimas à prova de raios X. Em Nova York, homens de espírito público também protestaram contra a utilização dos raios-x para espionar as mentes e hábitos das pessoas [p. 237].

Desviando o nosso olhar para as ligações químicas temos a relevância da investigação de Röntgen sobre os raios X, pois eles foram fundamentais para a compreensão estrutural de alguns cristais, o que levou ao interesse de uma compreensão não clássica que fundamentava a formação dos compostos químicos. Relevância que torna imprescindível a retomada ao original para evidenciar uma questão de incômodo: Röntgen utilizou X devido a uma analogia matemática de incógnita, um termo algébrico utilizado para algo desconhecido?

Veja abaixo a Figura 7 com a imagem do texto original de uma parte da segunda página do artigo, na qual ele descreve o raio X pela primeira vez no seu trabalho:

Embora tenhamos o conhecimento que no alemão todo substantivo deve possuir letra maiúscula, o nosso argumento aqui é que o X utilizado não se relaciona a uma incógnita, algo desconhecido que favorece e ampara o acaso na descoberta, mas como destacado por Arruda: “Röntgen afirma ter empregado esta letra somente para, de forma sucinta, dar uma denominação a essa nova forma de radiação” [11, p. 525].

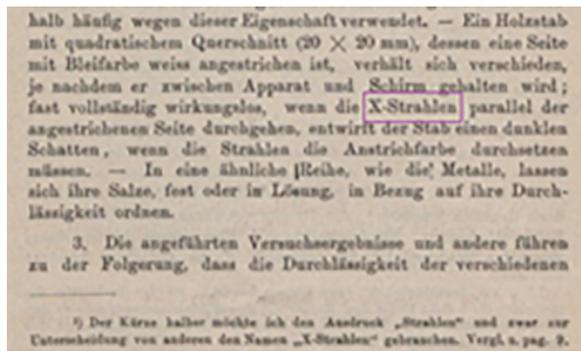


Figura 7: Imagem da segunda³ página do artigo de Röntgen “Sobre um novo tipo de raio” [46, p. 133].

³ A seguir se encontra a tradução segundo referência 47 de parte do texto apresentado na figura, no qual objetivou-se destacar o texto original do alemão que trouxe a denominação dos raios descobertos com um leve destaque em rosa na figura: “Chumbo de uma espessura de 1,5 mm e praticamente opaco e por causa dessa propriedade esse metal é frequentemente muito útil. – Um bastão de madeira com uma seção reta quadrada (20 x 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 solução”.

E até por esse motivo, como o original está no alemão, todo o texto deve trazer o X do nome em maiúsculo. Mas, a imprensa talvez tenha contribuído para difusão sobre o desconhecido descoberto por Röntgen. É certo que provavelmente ela tenha sido influenciada pela não existência de um veredito que expusesse o que era realmente os raios X, ou qual era natureza dos raios X se ondulatória ou corpuscular.

É possível que toda essa dúvida e desconfiança tenha sido apoiada na frase final de seu artigo: “embora esteja perfeitamente ciente de que a explicação fornecida ainda necessita de maior fundamentação” [27, p. 389]. O incerto acompanhou durante anos a explicação para a nomenclatura da nova radiação e sua descoberta, vejamos:

Cerca de trinta anos depois, enquanto praticava [a medicina] em Hamburgo, conheci o físico, Dr. Wolfgang Brendler, que foi assistente de Röntgen na época da grande descoberta. Ele me contou os detalhes daquela hora agitada. Ele lembrou do pequeno laboratório atrás do auditório, repleto de aparelhos e instrumentos. [...] É possível que a pequenez da sala tivesse sido a circunstância mais importante, que levou a afortunada observação – a descoberta do raio X; pois foi uma observação casual. Na sexta-feira, 8 de novembro de 1895, bem tarde, quando todos os assistentes haviam partido, Röntgen estava sozinho com seu assistente [...]. Enquanto ele investigava a condução de eletricidade através de um tubo de Crookes, uma tela de platinocianeto de bário tornou-se fluorescente e, por acaso, estava entre o tubo de vácuo e uma caixa de instrumentos matemáticos trancados em um armário. A atenção de Roentgen estava no tubo quando o assistente excitado chamou: “Professor, olhe – a tela!” Röntgen, virando a cabeça, viu as sombras dos instrumentos da caixa, na tela. Intrigado com essa peculiaridade, percebi imediatamente que um fenômeno muito importante estava ocorrendo, ele, no entanto não discerniu seu significado total neste momento. [...] Ele passou as horas seguintes, até o amanhecer, ocupado com as possibilidades de sua observação surpreendente. Na manhã seguinte, quando o Dr. Brendler entrou, ele ficou surpreso ao encontrar seu chefe já em trabalho, mas ficou ainda mais surpreso quando Röntgen explicou a notícia com uma incrível calma [47, p. 237].

Por mais extensa que seja essa citação, a história foi passada adiante como acaso e, talvez por isso houvesse sido questionado o mérito do cientista ao longo da identificação dos raios X, pois conforme visto, essa radiação foi produzida por seus contemporâneos.

O elemento acaso conforme percebemos com a citação acima, de maneira alguma diminui a competência, o engenho e o merecimento de Röntgen, pois ele fez inúmeras observações que respaldam seu método científico, em um ambiente favorável as observações externas ao tubo de Crookes e ao fenômeno de produção dos raios catódicos, o que creditamos um valor diferente ao acaso: seu método e seu rigor experimental tornaram Röntgen preparado para a ocorrência do evento aleatório.

Em relação a atribuição no nome da palavra raio, Röntgen afirmou no artigo da descoberta dos raios X:

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 fotográfica) [27, p. 388].

Pelo o que nós verificamos nesse trabalho aqui em desenvolvimento, essa sombra regular foi observada por Crookes, dentro do aparelho na emissão interna dos próprios raios catódicos o que nos sugere ainda mais a influência do coletivo na descoberta de Röntgen. Acreditamos que Röntgen pudesse ter desenvolvido hipóteses teóricas com base nas produções de alguns desses contemporâneos por nós identificados no artigo para justificar melhor o que foi observado.

Röntgen experimentou outras características da radiação como refração e reflexão, utilizando prisma para decompor a radiação e medir o ângulo de deflexão, quando os raios X passavam de um meio para o outro. O pesquisado era um experimentalista exemplar, o qual debruçou-se em observar o comportamento da radiação produzida pelo tubo de Crookes em uma sala escura com anteparos cobertos com um material fluorescente colocados próximos ao tubo de vidro ou longe do tubo evacuado [27].

Sobre essa visão Röntgen era “um excelente experimentador cujas demonstrações raramente falharam” [47, p. 236]. Em seu artigo Röntgen testou a transparência de vários corpos frente aos raios X o que, para nós, acentua a grande capacidade do cientista em fazer previsões das propriedades dos raios descobertos. Como exímio experimentador em seu trabalho, construiu diferenças evidentes entre os raios catódicos e os X, afirmando sobre a não interferência do campo magnético no caminho dessa nova radiação por mais que seja elevado.

Diferenciando sobre as fontes dos dois tipos fez a seguinte afirmação:

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. [...] 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 [27, p. 388].

Daí uma observação importante: os raios X não são os raios catódicos, mas surgem da região onde os raios catódicos terminam, da colisão dos raios catódicos com a parede do tubo de vidro. Importante porque corrobora com o talento de Röntgen em sua descoberta, pois lhe permitiu saber de onde vem os raios X, como são formados a partir do tubo dos raios catódicos. Em outras palavras, Röntgen obteve indícios experimentais que comprovaram sua origem. O que desmantela argumentos contrários à proposta de um suposto desconhecimento da procedência dos raios X.

Röntgen continuou seu estudo trazendo afirmações sobre suas fotografias de uma mão, de uma caixa contendo pesos para balanças, uma bússola e uma pedaço de chapa de zinco, que indicam o poder de penetração dessa nova radiação. Com essas ponderações fechamos o nosso artigo reescrevendo a história das principais contribuições responsáveis pela descoberta dos raios X.

Uma discussão importante de retomarmos é que, de acordo com o visto até aqui, Röntgen teria utilizado os tubos de Lenard em seu experimento? Isso sustentaria a dúvida da descoberta ou o critério de prioridade pela utilização do mesmo aparato. Entretanto acreditamos que provavelmente ele não o utilizou, pois ao longo do seu trabalho, não encontramos qualquer menção a respeito da janela de alumínio, característica do aparato de Lenard, a qual permitiu a extrapolação dos raios catódicos para o meio externo.

A título de contexto, embora o foco do trabalho esteja relacionado diretamente a complexa situação dessas duas escolas, alemã e inglesa no processo de descoberta dos Raios X, não podemos deixar de referenciar a produção desse tipo de raio por Nikola Tesla (1858–1943) nos Estados Unidos, sem a dependência do tubo de Crookes, ou seja, utilizando outro tipo de equipamento, seu próprio aparelho [48].

O dispositivo por ele criado era constituído de um único eletrodo que emitia elétrons disparados sem nenhum alvo, os quais eram acelerados por uma bobina Tesla. Ele verificou que a fonte da radiação era a parede do tubo e que eles eram capazes de atravessar corpos materiais. Em 1894 já estudava as propriedades dos raios desconhecidos, originados de seu equipamento. Publicou vários trabalhos que envolviam os Raios X após o anúncio da descoberta de Röntgen e talvez, se não tivesse ocorrido um incêndio no laboratório de Tesla no início de 1895, o legado de sua invenção com consecutiva produção dos raios X, teria sido comunicado antes [48].

Conclusões

Nesse trabalho temos um destaque especial para o entendimento das duas diferentes escolas originadas para uma compreensão das propriedades da radiação que despertaram o interesse da comunidade científica desde

o início do século XIX, uma inglesa e outra alemã. À medida que suas ponderações divergiam, notamos uma fomentação das ideias que culminaram na descoberta de Röntgen.

Verificamos como as contribuições de Crookes, Hertz e Lenard foram de extrema relevância para a descoberta dos raios X, influenciando na sua identificação por meio dos estudos e experimentos relacionados a uma ampola de vidro evacuada no qual em seu interior ocorria a formação dos raios catódicos, ao se colocar o cátodo e o ânodo afastados. Embora não seja o foco desse artigo, vale o esclarecimento que os estudos dos raios catódicos também permitiram a descoberta posterior de um novo tipo de partícula atômica e uma nova proposta de estrutura atômica.

O contexto familiar para Hertz e as adversidades encontradas ao longo das produções de Lenard, principalmente as dificuldades enfrentadas por ele a partir da morte de Hertz, talvez tenham influenciado sua descoberta dos raios X e foram de extrema importância para o desenredar dos fatos no entendimento, observação e descoberta feita por Röntgen.

Conforme podemos perceber ao longo dessas páginas, embora ao acaso, não consideramos a descoberta de Röntgen totalmente acidental. Por seu mérito, ele se embasou no que outros cientistas haviam publicado para, assim, poder traçar metas em relação ao modo como iria conduzir seu experimento no tubo de vidro de alto vácuo. Sua pretensão, desde o início, era a de observar a interferência do que estava sendo produzido nas paredes do tubo de vidro, com materiais do lado de fora do aparelho e, por isso, para permitir um esclarecimento maior do fenômeno, tenha conduzido às investigações em uma pequena sala escura.

Diferente das ideias de muitos autores, reforçamos que Röntgen não chamou a nova radiação de X por se referir a uma “luz desconhecida”, mas seu nome foi atribuído por saber que era um novo tipo de radiação com autopoder de penetração nos corpos materiais. Vimos também que os estudos afins de Tesla poderiam ter modificado a história da descoberta dos Raios X tal como a conhecemos hoje, mas que, possivelmente devido ao incêndio em seu laboratório, não foi possível a comunicação de sua descoberta, anterior a de Röntgen.

Tal fato remonta a possibilidade de que outros autores, além dos mencionados e analisados nesse artigo, poderiam estar perto da descoberta dos Raios X e que o êxito da descoberta de Röntgen se estendeu além da Europa e do contexto indicado neste artigo.

Por fim, esperamos com esse trabalho nortear pesquisadores, professores do ensino básico e superior, além de historiadores da ciência para uma interpretação mais acurada das obras de pesquisadores que se debruçaram sobre os trabalhos de estudiosos da ciência, os quais são frequentemente citados em livros textos e cujas observações nortearam a evolução da sociedade.

Referências

- [1] B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *História da Química* (Piaçet, Lisboa, 1992), 1 ed.
- [2] A.M.R. Pereira, *Estudo do Impacto da Descoberta dos Raios X e das suas Aplicações Médicas em Portugal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa (2012).
- [3] J.M.F. Bassalo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **15**, 127 (1993).
- [4] W.C.G. Peh, *Singapore Medical Journal* **36**, 554 (1995).
- [5] R.G. Lunnon, A.P. Maudslay, H.W. Monckton e C.Y. Wang, *Nature* **127**, 3196 (1931).
- [6] M. Guarnieri, *Industrial Electronics Magazine* **9**, 77 (2015).
- [7] J.M. Fernandes, S. Franco-Patrocínio e I. Freitas-Reis, *História da Ciência e Ensino* **17**, 67 (2018).
- [8] E.T. Breunig, A.S. Amaral, A.I. Goldschmidt, *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas* **15**, 33 (2019).
- [9] L.Q. Amaral, *Revista de História da Ciência* **5**, 89 (2018).
- [10] E.S. Cebulky, F.M. Matsumoto, *A História da Química como Facilitadora da Aprendizagem do Ensino de Química. Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE* (Secretaria da Educação, Curitiba, 2014).
- [11] W.O. Arruda, *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* **54**, 3 (1996).
- [12] A. Rigui, *Modern Theory of Physical Phenomena: Radio-activity, ions, electrons* (The Macmillan Company, London, 1904).
- [13] J. Renn, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 27 (2004).
- [14] R.F. Mould, *Journal of Oncology* **67**, 79 (2017).
- [15] W. Crookes, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **170**, 87 (1879a).
- [16] G. Hicks, *Nature* **13**, 347 (1876).
- [17] J.J. Lunazzi, A.M. Souza, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **43**, e20200357 (2021).
- [18] W. Crookes, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **170**, 135 (1879b).
- [19] L.C. Pauling, *The Nature of the Chemical Bond: and the Structure of Molecules and Crystals* (Cornell University Press, New York, 1948), 2 ed.
- [20] S.K. Lin, *International Journal of Molecular Sciences* **1**, 6 (2000).
- [21] T. Hager, *Force of Nature: the life of Linus Pauling* (Simon & Schuster, New York, 1995).
- [22] G.N. Lewis, *Journal of the American Chemical Society* **38**, 762 (1916).
- [23] W. Heitler, *F. London, Zeitschrift für Physik* **44**, 455 (1927).
- [24] J.J. Thomson, *Philosophical Magazine and Journal of Science* **44**, 293 (1897).
- [25] F. Müller, *The Brithish Journal for the History of Science* **44**, 211 (2011).
- [26] R.S. Lima e J.C. Afonso, *Química Nova* **32**, 263 (2009).
- [27] R.A. Martins, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **20**, 373 (1998).

- [28] A.M. Alfonso-Goldfarb, *O que é a História da Ciência* (Brasiliense, São Paulo, 1995), 1ª ed.
- [29] E.T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity: from the age of Descartes to the close of the nineteenth century* (Hodges, Figgis & CO. Ltd., Dublin, 1910).
- [30] S. Weinberg, *Discovery of Subatomic Particles* (Scientific American Library, New York, 1983).
- [31] W. Crookes, Philosophical Transactions of the Royal Society of London **170**, 641 (1879c).
- [32] L.O. Castro, P. Tamiasso-Martinhon, A.S. Rocha e C. Sousa, *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* **16**, 54 (2017).
- [33] P. Lenard, D.E. Jones e G.A. Schott, *Miscellaneous Papers – Hertz*. (Macmillan and CO. Ltd., New York, 1896).
- [34] J.J. O'Connor e E.F. Robertson, *University of St Andrews (2007)*, disponível em: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hertz_Heinrich/, acessado em 22/10/2020.
- [35] J. Buchwald, *Physics Today* **49**, 90 (1996).
- [36] A. Gomes, *GPET Física Unicentro (2016)*, disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2016/11/13/hermann-ludwig-ferdinand-helmholtz-1821-1894/>, acessado em 13/11/2020.
- [37] D. Daniel, *Philosophy Now: a magazine ideas* **129**, 1 (2018).
- [38] G.H. Hon, *Stud. Hist. Phil. Sci.*, **18**, 367 (1987).
- [39] A.I. Mangili, *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* **6**, 32 (2012).
- [40] T. Arabatzis, em: *Compendium of Quantum Physics: concepts, experiments, history and philosophy*, editado por D. Greenberger, K. Hentschel e F. Weinert (Springer, New York, 2009).
- [41] C. Süsskind, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* **36**, 802 (1988).
- [42] D.L. Anderson, *The Discovery of the Electron* (D. Van Nostrand, New Jersey, 1964), 1 ed.
- [43] P. Lenard, *Nobel Lecture, (1906)*, disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/lenard-lecture.pdf>, acessado em 30/10/2020.
- [44] D.H. Cestari Junior, em: *15º Seminário de História da Ciência e da Tecnologia* (Florianópolis, 2016), disponível em: https://www.15snhct.sbhc.org.br/resources/anais/12/1473993451_ARQUIVO_Osembatesarespeitodapri maziasobreadescobertadosraiosX.pdf.
- [45] P. Lenard, *Annalen der Physik und Chemie*, **287** 225 (1894).
- [46] W.C. Röntgen, *Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg* **09**, 132 (1895).
- [47] G.I. Manes, *Isis*, **47** 236 (1956).
- [48] M. Hrabak, R.S. Padovan, M. Kralik, D. Ozretic, K. Potocki, *RadioGraphics*, **28** 4 2008.