

IV SIMPÓSIO PEHCM UFABC

04 A 05 DE NOVEMBRO DE 2022



Reaprender e reinventar: ensino e história das ciências e da matemática em tempos de pandemia

Contextualização histórica do trabalho de Kirchoff sobre as linhas de Fraunhofer

Anderson Pifer – Doutorando no Programa de Pós-graduação em Ensino e História das Ciências e da Matemática (PEHCM) da Universidade Federal do ABC
a.pifer@ufabc.edu.br

Lúcio Campos Costa – Docente no Programa de Programa de Pós-graduação em Ensino e História das Ciências e da Matemática (PEHCM) da Universidade Federal do ABC
lucio.costa@ufabc.edu.br

História das Ciências e Matemática e interfaces com a Educação (HC)

RESUMO

Importante para as ciências e sua história, o trabalho de Kirchoff sobre as linhas de Fraunhofer constitui uma etapa decisiva para o desenvolvimento da Espectroscopia e das diversas áreas que dela se beneficiaram. Neste trabalho, apresentamos uma contextualização histórica da abordagem de Kirchoff ao problema das linhas de Fraunhofer bem como de seus antecedentes históricos na primeira metade do século XIX. Da perspectiva histórica, esse episódio fornece, entre outros, um importante espaço de reflexão para diferentes temas e dimensões do fazer científico. Em particular, entendemos haver grande potencial para o Ensino de Ciências cujas possibilidades segundo uma abordagem historiográfica têm sido preconizadas em muitos trabalhos.

Palavras-chave: história da espectroscopia; linhas de Fraunhofer; Kirchoff.

O PROBLEMA DAS LINHAS ESCURAS NO ESPECTRO SOLAR

O estudo de fenômenos ópticos remontam à antiguidade¹, mas somente a partir do século XVII, estudos teóricos e experimentais de óptica ganharam novo impulso. Em particular, os estudos produzidos por Isaac Newton sobre a decomposição da luz solar por meio de prismas contribuíram eminentemente para esse processo, colocando também em questão a própria natureza da luz (MARTINS; SILVA, 2015).

Estudos mais sistemáticos envolvendo o espectro da luz ocorreram no início do século XIX. Em especial, merece destaque o artigo de William Wollaston (1802) intitulado “*A method*

¹ Uma descrição da história da Óptica desde a aurora da filosofia grega até a óptica de Johannes Kepler pode ser encontrada no primeiro capítulo de “*A history of optics*” de Darrigol (2012).

IV SIMPÓSIO PEHCM UFABC

04 A 05 DE NOVEMBRO DE 2022



Reaprender e reinventar: ensino e história das ciências e da matemática em tempos de pandemia

of examining refractive and dispersive powers". Nesse trabalho, enquanto estudava propriedades de refração e dispersão de substâncias transparentes, Wollaston, descreveu a presença de linhas escuras no espectro da luz solar; Segundo Hearnshaw (2014, p. 16), Wollaston não percebeu a importância dessas linhas escuras nem tampouco elas despertaram qualquer interesse imediato em outros pesquisadores.

Embora as linhas escuras presentes no espectro não tenham chamado a atenção de Wollaston, após pouco mais de uma década, elas teriam importante utilidade para Joseph Fraunhofer, um artesão óptico da Bavária. Fraunhofer trabalhava no Instituto de Óptica em Benediktbeuern, nas proximidades de Munique, onde era responsável pela fabricação de vidros para a construção de lentes acromáticas² de alta qualidade. Segundo Fraunhofer (1823, p. 288), os métodos até então empregados para a determinação de índices de refração de vidros não produziam resultados confiáveis. A imprecisão nas medidas era decorrente da dificuldade em demarcar os limites das cores no espectro contínuo. A solução encontrada por Fraunhofer foi conceber um aparato capaz de produzir um raio de luz monocromática para cada cor do espectro; tal aparato era composto por um mecanismo contendo seis lâmpadas³, obturadores e dois prismas. Com esse aparato, além de investigar espectros produzidos por chamas, Fraunhofer também analisou o espectro produzido pela luz solar, e nesse caso, um interessante detalhe lhe chamou a atenção. O espectro de luz encontrado mostrava, além das cores já previstas, numerosas linhas escuras⁴ (FRAUNHOFER, 1823, p. 296). Mesmo quando parâmetros experimentais eram alterados, as linhas não desapareciam. Dessa forma, Fraunhofer se mostrou convencido de “que elas (as linhas) têm sua origem na natureza da luz solar e que elas não podem ser atribuídas à ilusão, à aberração ou qualquer outra causa secundária.” (FRAUNHOFER, 1823, p. 298). Essas linhas foram usadas como referenciais para a determinação precisa dos índices de refração.

² Uma lente acromática é um sistema óptico cujo efeito é reduzir os efeitos da aberração cromática. A aberração cromática ocorre porque os índices de refração de um meio transparente variam com a cor do raio de luz e, conseqüentemente, uma única lente forma, não apenas uma imagem de um objeto, mas uma série de imagens, uma para cada cor (JENKINS; WHITE, 2001).

³ Fraunhofer não descreve qualquer detalhe sobre a lâmpada que utilizou. De acordo com Jackson (2000), é provável que tal lâmpada fosse constituída por um pavio embebido com álcool e sal (cloreto de sódio).

⁴ Como citado acima, William Wollaston já havia identificado linhas escuras no espectro solar em 1802. Fraunhofer, contudo, não conhecia o trabalho de Wollaston até ser informado por Herschel em 1824 (JACKSON, 2000, p. 225).

IV SIMPÓSIO PEHCM UFABC

04 A 05 DE NOVEMBRO DE 2022



Reaprender e reinventar: ensino e história das ciências e da matemática em tempos de pandemia

As observações de Fraunhofer envolvendo espectros de luz, especialmente sobre a presença das linhas escuras, chamou a atenção de membros da comunidade científica. William Herschel⁵ e Fox Talbot⁶ na década de 1820, chegaram a sugerir que os padrões de linhas encontrados nesses espectros poderiam ser usados identificação de compostos químicos. Entretanto, não conseguiram demonstrar que cada substância daria origem ao seu espectro de emissão característico, pois em todas as chamas, independentemente da substância que era queimada, sempre havia a presença de uma linha amarela brilhante a qual Talbot notou que indicava a presença de sódio (HEARNshaw, 2014). O problema da onipresença dessa linha amarela brilhante somente foi resolvido em 1856 pelo escocês William Swan.

Enquanto investigava espectros produzidos por hidrocarbonetos, Swan teve de investigar a causa das linhas amarelas que estavam presentes em vários espectros que examinou. Ele descobriu “que uma porção de cloreto de sódio, pesando menos de 1/1.000.000 de um grão, é capaz de colorir uma chama com luz amarela brilhante” (SWAN, 1857, p. 413). Dessa forma, Swan reconheceu a necessidade de amostras muito puras para que determinada composição química pudesse ser estudada por meio do espectro de sua chama (SWAN, 1857).

O problema sobre a origem das linhas escuras de Fraunhofer envolveu inúmeros pesquisadores, tanto no campo teórico quanto no campo experimental. Um passo importante foi dado pelo francês Léon Foucault ao observar a dupla linha amarela brilhante no espectro produzido pela luz emitida a partir de um arco de carbono⁷. Com a intenção de demonstrar sua coincidência com a dupla linha solar D, Foucault fez a luz do sol passar pelo arco de carbono a fim de obter dois espectros superpostos. A coincidência foi confirmada tal como Fraunhofer também já havia notado antes, mas um resultado inesperado foi observado: as linhas escuras D do espectro solar ficavam ainda mais escuras do que eram quando observadas sem a presença do arco de carbono. Foucault concluiu que: “o arco atua como uma fonte que emite os raios D e que ao mesmo tempo, os absorve quando eles provêm de outra fonte.” (STOKES, 1860, p. 194). Foucault não apresentou qualquer explicação teórica acerca de suas observações e sua

⁵ (HERSCHEL, 1823)

⁶ (TALBOT, 1826).

⁷ A luz emitida por um arco de carbono resulta de uma descarga elétrica que flui entre dois terminais elétricos de carbono (eletrodos), separados por certa distância, quando submetidos a determinada diferença de potencial (MEYERS, 2001, p. 559).

IV SIMPÓSIO PEHCM UFABC

04 A 05 DE NOVEMBRO DE 2022



Reaprender e reinventar: ensino e história das ciências e da matemática em tempos de pandemia

publicação⁸, datada de 1849, passou praticamente despercebida⁹. Levaria mais uma década para que esse problema fosse melhor compreendido, sobretudo com o trabalho de Kirchhoff sobre a emissão e a absorção de radiação por fontes aquecidas¹⁰.

A origem das linhas espectrais bem como a possibilidade de utilizá-las na identificação de amostras químicas alcançaram novo grau de compreensão com os trabalhos de Gustav Kirchhoff em colaboração com Robert Bunsen¹¹.

Na segunda metade da década de 1850, Bunsen trabalhava na identificação de composições químicas de sais a partir das cores transmitidas por suas chamas. Bunsen discutiu seu trabalho sobre esse problema com Kirchhoff, que apontou o caminho para um método baseado na resolução prismática das cores das chamas (JAMES, 1983). Em outubro de 1859, Kirchhoff se debruçou sobre essa questão examinando experimentalmente a coincidência entre as linhas brilhantes do espectro do sódio e as linhas escuras do espectro solar (KIRCHHOFF, 1859a). Kirchhoff descreveu que o sódio, que emite luz correspondente à (dupla) linha D, também tende a absorver, seletivamente, luz correspondente a essa mesma posição no espectro, isto é, o sódio tende a emitir e a absorver luz de mesmo comprimento de onda – Kirchhoff chamou esse fenômeno de reversão espectral (*Umkehrung des Spektrums*) (KIRCHHOFF; BUNSEN, 1860). Dessa forma, a presença da linha D no espectro solar indicaria a presença do elemento sódio no Sol. Essas discussões foram comunicadas por Kirchhoff em seu artigo *Über die Fraunhofer'schen Linien* (KIRCHHOFF, 1859a). Nesse trabalho, Kirchhoff descreveu qualitativamente o fenômeno da reversão entre as linhas brilhantes e as linhas escuras do espectro e discutiu o efeito de intensificação das linhas de Fraunhofer quando a luz solar

⁸ (FOUCAULT, 1860), parcialmente reimpresso do artigo publicado em L'Institut, n. 7 em fevereiro de 1849. A citação feita no corpo do texto refere-se à tradução, para o inglês, de Stokes (1860).

⁹ Logo após tomar conhecimento do então recente trabalho de Kirchhoff sobre as linhas de Fraunhofer, George Stokes publicou, em 1860, um extrato do trabalho de Foucault sobre esse assunto e lamentou não ter chamado a atenção que merecia. Ver Stokes (1860).

¹⁰ (KIRCHHOFF, 1860)

¹¹ O britânico Henry Roscoe reconheceu a importância dessa colaboração no prefácio que escreveu para a edição traduzida de “*On the solar spectrum, and the spectra of the chemical elements*”, de Kirchhoff (1862). Roscoe declarou que: “É aos professores Bunsen e Kirchhoff que devemos, principalmente, as fundações de um campo inteiramente novo da ciência química, a saber, a aplicação das observações espectrais à análise qualitativa” (tradução nossa).

IV SIMPÓSIO PEHCM UFABC

04 A 05 DE NOVEMBRO DE 2022



Reaprender e reinventar: ensino e história das ciências e da matemática em tempos de pandemia

atravessava uma chama de sódio. A fundamentação teórica desse trabalho foi apresentada em dois artigos publicados imediatamente na sequência¹².

A colaboração entre Kirchhoff e Bunsen entre 1859 e 1861 resultou no estabelecimento das bases teóricas e experimentais da análise espectral. Eles mostraram que, em uma ampla gama de condições, um determinado elemento químico sempre produziria o mesmo conjunto característico de linhas espectrais¹³ de modo que, a partir dessas linhas, pode-se inferir a presença daquele determinado elemento. A análise espectral interessou inicialmente os químicos e os astrônomos, mas logo tornou-se também de interesse dos físicos que perceberam sua contribuição para a compreensão da estrutura da matéria (McCORMMACH; JUNGnickel, 2017).

A relevância do trabalho de Kirchhoff sobre as linhas de Fraunhofer bem como do desenvolvimento histórico cobrindo o período que o antecede é patente. Não obstante, a carência de fontes historiográficas em nossa língua materna ainda oferece obstáculos para estudantes e professores. Nesse sentido, em um futuro trabalho, pretendemos apresentar uma tradução para a Língua Portuguesa do trabalho original (em alemão) de Kirchhoff sobre as linhas de Fraunhofer de 1859, além de um estudo mais pormenorizado acerca de seus antecedentes históricos.

REFERÊNCIAS

DARRIGOL, O. *The history of optics: from Greek antiquity to the nineteenth century*. Oxford: University Press, 2012.

FOUCAULT, L. Note sur la lumière de l'arc voltaïque. *Annales de Chimie et de Physique*, v. 58, p. 476-478, 1860.

FRAUNHOFER, J. On the Refractive and Dispersive Power of Different Species of Glass, in Reference to the Improvement of Achromatic Telescopes: With an Account of the Lines or Streaks which Cross the Spectrum. *The Edinburgh Philosophical Journal*, v. 9, p. 288-299, 1823.

FRAUNHOFER, J. On the Refractive and Dispersive Power of Different Species of Glass, in Reference to the Improvement of Achromatic Telescopes: With an Account of the Lines or Streaks which Cross the Spectrum. *The Edinburgh Philosophical Journal*, v. 10, p. 26-40, 1824.

¹² (KIRCHHOFF, 1859b e 1860).

¹³ As intensidades das linhas podem variar, mas não suas posições (KIRCHHOFF; BUNSEN, 1860)

IV SIMPÓSIO PEHCM UFABC

04 A 05 DE NOVEMBRO DE 2022



Reaprender e reinventar: ensino e história das ciências e da matemática em tempos de pandemia

HEARNSHAW, J. B. *The analysis of starlight: two centuries of astronomical spectroscopy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

HERSCHEL, J. F. W. On the Absorption of Light by Coloured Media and on the Colour of the Prismatic Spectrum Exhibited by Certain Flames, *Philosophical Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, v. 9, p. 445-460, 1823.

JACKSON, M. W. *Spectrum of belief: Joseph von Fraunhofer and the craft of precision optics*. Cambridge: MIT Press, 2000.

JAMES, F. A. J. L. The study of spark spectra 1835-1859. *Ambix*, v. 30, p. 137-162, 1983.

JENKINS, F. A.; WHITE, H. E. *Fundamentals of physical optics*. New York: McGraw-Hill, 2001.

KIRCHHOFF, G. R. Fraunhofer'schen Linien. *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie des Wissenschaften zu Berlin*, p. 662-666, 1859a.

KIRCHHOFF, G. R. Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme. *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie des Wissenschaften zu Berlin*, p. 783-788, 1859b.

KIRCHHOFF, G. R.; BUNSEN, R. Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. *Annalen der Physik und Chemie*, v. 110, p. 161-189, 1860.

MARTINS, R.A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, p. 4202-4232, 2015.

MCCORMMACH, R.; JUNGnickel, C. *The Second Physicist: On the History of Theoretical Physics in Germany*. Cham: Springer, 2017.

MEYERS, R. A. *Encyclopedia of physical science and technology* (Academic Press, San Diego, 2001), v. 8

NEWTON, I. New Theory about Light and Colors. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v. 6, p. 3075-3087, 1672.

Oxford English Dictionary on CD-ROM version 4.0. Oxford: Oxford University, 2009.

STOKES, G. G. On the Simultaneous Emission and Absorption of Rays of the Same Definite Refrangibility, being a Translation of a Portion of a Paper by M. Leon Foucault, and of a paper by Professor Kirchhoff. *Philosophical Magazine*, v. 19, p. 193-197, 1860.

SWAN, W. On the Prismatic Spectra of the Flames of Compounds of Carbon and Hydrogen. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, v. 21, p. 411-430, 1857.

TALBOT, W. H. F. Some experiments on coloured flames. *Edinburgh journal of science*, v. 5, p. 77-81, 1826.

WOLLASTON, W. H. A method of examining refractive and dispersive powers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. v. 92, p. 365-372, 1802.