

Discutindo as Epistemologias de Thomas Kuhn e Ludwik Fleck: uma análise sobre o efeito fotoelétrico

Discussing the epistemologies of Thomas Kuhn and Ludwik Fleck: an analysis on the photoelectric effect

Eliéverson Guerchi Gonzales^{1*}, Ronivan Sousa da Silva Suttini¹, João José Caluzi¹

¹Faculdade de Ciências (FC), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 2085 - CEP 17033-360 - Bauru, SP, Brasil.

*E-mail: gonzales.eg@outlook.com

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumo

A epistemologia proposta pelo médico polonês Ludwik Fleck (1896-1961) tem atraído cada vez mais adeptos entre os pesquisadores de Educação para as Ciências. Todavia, seus conceitos inovadores de “coletivo de pensamento” e “estilo de pensamento” são equivocadamente considerados equivalentes aos termos “comunidade científica” e “paradigma”, utilizados por Thomas Kuhn (1922–1996) em seu livro “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”. O trabalho, aqui apresentado, tem como objetivo principal esclarecer e aplicar esses quatro conceitos epistemológicos em um estudo de caso. Para isso, dispendo-se de um recorte do ponto de vista histórico sobre o experimento do efeito fotoelétrico, utilizamos como objeto de análise e discussão da controvérsia científica envolvendo, de um lado, a “Hipótese de Gatilho”, do físico austro-húngaro Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947), formulada em 1902 e, de outro, a “Hipótese de *Quantum* de Luz”, do físico alemão Albert Einstein (1879-1955), elaborada em 1905. Foi possível evidenciar como elementos conceituais e sociais contribuíram tanto para o surgimento de novas ideias (o “*quantum* de luz”) quanto para a ampla rejeição dos físicos, pelo menos até o ano de 1913, de uma teoria quântica da radiação.

Palavras-Chave: Comunidade científica; Paradigmas; Coletivo de pensamento; Estilo de pensamento; História e Filosofia da Ciência.

Abstract

The epistemology proposed by the Polish physician Ludwik Fleck (1896-1961) has attracted more and more supporters among researchers in Science Education. However, his innovative concepts of "thought collective" and "thought style" are mistakenly considered equivalent to the terms "scientific community" and "paradigm" used by Thomas Kuhn (1922 - 1996) in his book "The Structure Scientific Revolutions". The work, presented here, aims to clarify and apply these four epistemological concepts in a case study. For this, having a historical point of view on the photoelectric effect experiment, we use as an object of analysis and discussion the scientific controversy involving, on the one hand, the "Triggering Hypothesis"; by the Austro-Hungarian physicist Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947), formulated in 1902 and, on the other hand, the "Quantum Light Hypothesis", by the German physicist Albert Einstein (1879-1955), elaborated in 1905. It was possible to evidence how conceptual and social elements contributed both to the emergence of new ideas (the "quantum of light") and the widespread rejection by physicists, at least until 1913, of a quantum theory of radiation.

Keywords: Scientific Community; Paradigms; Thought Collective; Thought Style; History and Philosophy of Science.

I. INTRODUÇÃO

Discutir sobre a produção, divulgação e alcance do conhecimento científico não é uma atividade trivial. A construção científica é uma atividade intelectual humana que requer: dedicação daqueles envolvidos no processo produtivo; a responsabilidade dos sujeitos que irão divulgá-la e a reflexão dos membros do círculo científico que trabalharão com o novo conhecimento. A História e a Filosofia das Ciências dispõem de elementos para fundamentar a pesquisa nas etapas da delimitação do assunto, detalhamento do objeto de pesquisa, análise dos dados obtidos, publicação e divulgação do conhecimento científico (Moura, 2014).

Ao cientista cabe, também, trabalhar com os aspectos que possam imprimir o que Moles (1995) chamou de impreciso do conhecimento, pois o resultado da investigação está ligado à tomada de decisões, ações e reações que dependem do autor da pesquisa. Visto que os seus aspectos fundamentais não são revelados imediatamente, ou via fenômenos isolados, métodos incontestáveis e sem correlação entre aquilo que é observado e as variáveis evidentes.

Para maior compreensão desse contexto científico, autores como Gaston Bachelard (1884 – 1962), Karl Popper (1902 – 1994), Imre Lakatos (1922 – 1974), Paul Feyerabend (1924 – 1994), Ludwik Fleck (1886 – 1961), Thomas Kuhn (1922 – 1996) entre outros, escreveram obras que proporcionaram várias reflexões no campo da construção e do desenvolvimento científico a partir da epistemologia das ciências. Neste trabalho, ateremos-nos às bases epistemológicas de Fleck e Kuhn para a análise de uma controvérsia científica sobre a natureza da luz.

As epistemologias de Fleck e de Kuhn possuem elementos que, *a priori*, pertencem ao mesmo conjunto de ideias, mas com uma leitura mais refinada, essas diferenças ficam mais evidentes. No prefácio do livro “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”, Kuhn (2017) cita o livro que Fleck (2010) escreveu em 1935. O físico estadunidense contou que teve contato com a obra do médico polonês e isso o orientou em ater-se às questões da sociologia das ciências.

Entre os pontos convergentes das obras, pode-se citar que os autores construíram um sistema conceitual que envolvesse grupos de pessoas que compartilham um conhecimento em comum – *coletivo de pensamento* para Fleck e *comunidade científica* para Kuhn – e uma estrutura que contenha os aspectos conceituais e sociais do corpo de conhecimento – *estilo de pensamento* para Fleck e *paradigma* para Kuhn. As obras dos autores também têm similaridade quanto ao papel da educação no que diz respeito à inserção de novos membros nos coletivos de pensamento e na *comunidade científica* (Mößner, 2011). Ainda no trabalho de Mößner (2011), a autora mostrou diferenças importantes entre as epistemologias de Fleck e Kuhn. A diferença mais evidente está nas características que Fleck atribui ao conceito de *estilo de pensamento*, quando comparado com os detalhes que Kuhn apresenta, ou deixa de mostrar, na estrutura do *paradigma*¹.

Considerando o exposto, esse trabalho analisa o episódio histórico associado à controvérsia científica envolvendo de um lado, a “Hipótese de Gatilho” de Philipp Lenard (1902) e, de outro, a “Hipótese de *Quantum* de Luz” de Albert Einstein (1905), a partir dos conceitos de *coletivo e estilo de pensamento* de Fleck e de *comunidade científica e paradigma* de Thomas Kuhn. Essa análise pode fornecer alguns subsídios epistemológicos para a discussão e reflexão de aspectos da natureza da ciência no ensino de ciências.

II. THOMAS KUHN: COMUNIDADE CIENTÍFICA E PARADIGMAS

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) publicou, em 1962, a primeira edição de “*A Estrutura da Revoluções Científicas*”, livro que o tornaria mundialmente famoso como historiador e filósofo da Ciência. Embora muitos estudiosos discordem de alguns dos novos conceitos centrais introduzidos por Kuhn, em especial o controverso conceito de *ciência normal*², é fato que ele foi bem-sucedido em provocar mudanças disruptivas no entendimento, com relação à influência da dimensão social na construção do conhecimento científico.

Entre as principais mudanças, pode-se destacar as discussões de Kuhn sobre como se dá o “progresso da Ciência”, nas quais ele argumenta que não há progresso por acúmulo gradual de conhecimentos e/ou experimentos, tal qual defendiam os filósofos positivistas de sua época, ou por “*Conjecturas e Refutações*” como sustentava o falsificacionismo sofisticado de Karl R. Popper (1902-1994). Segundo Kuhn (2017), tal progresso se dá por raros momentos de gravíssimas *crises* na chamada *ciência normal*, seguidos por um período de uma *ciência extraordinária* (ou *revolucionária*). Em sua perspectiva, o progresso científico trata-se, portanto, de uma mudança de concepção de mundo, no qual o progresso em si consiste em distanciar-se, cada vez mais, de concepções menos adequadas sobre a realidade do mundo natural, sem necessariamente significar maior proximidade à verdade absoluta.

¹ Quanto ao conceito de paradigma, o próprio Kuhn reconheceu que havia uma confusão na versão de “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”, o que fica evidente no trabalho de Masterman (1979).

² Para uma leitura mais aprofundada sobre o tema, sugerimos a leitura de “*A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*” de Lakatos e Musgrave (1979).

No prefácio de seu livro, Kuhn recorda que ficou impressionado com a quantidade e a extensão dos desacordos existentes entre os cientistas sociais, embora ele também duvidasse que os cientistas naturais tivessem respostas mais firmes ou mais permanentes que seus colegas das ciências sociais. Para Kuhn, de algum modo os cientistas naturais não evocavam as controvérsias sobre os fundamentos quanto à natureza legítima dos métodos e problemas científicos, as quais pareciam, na época, endêmicas entre, por exemplo, psicólogos ou sociólogos. Kuhn, inicialmente, denominou de *paradigmas* como a fonte de origem para tais diferenças, entre as duas comunidades de cientistas, definindo-o para “exemplo exemplar”, ou seja, como o melhor exemplo a ser seguido. Em suas palavras: “*Considero “paradigmas” as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência*” (Kuhn, 2017).

Por um lado, tais realizações cumprem o papel rígido de serem os “exemplos modelos” do que e como fazer, ou seja, definem implicitamente os problemas e os métodos que são considerados legítimos naquele campo de pesquisa, quais aplicações são bem-sucedidas, bem como quais observações estão disponíveis, instrumentos e experimentos são exemplares. Além disso, por meio de consensos intersubjetivos, tornam-se homogêneas a linguagem e a comunicação de resultados entre os pares. Por outro lado, essas proeminentes realizações científicas também devem ser percebidas pelo grupo de cientistas como suficientemente abertas, e extremamente fecundas para deixar que toda a espécie de problemas existente seja resolvida. Em complemento à definição anterior, Kuhn (2017) conclui: “*Daqui em diante referir-me-ei às realizações que partilham essas duas características como “paradigmas”*”.

As teorias de Copérnico, Galileu, Newton, Lavoisier, Darwin, Maxwell e Einstein são alguns exemplos históricos de *paradigmas* citados por Kuhn (2017). Para cada um desses *paradigmas* havia uma respectiva *comunidade científica* particular. O conceito *comunidade científica*, portanto, é definido como um agrupamento duradouro de cientistas que estão em pleno acordo sobre a aceitação de um determinado *paradigma*. O período das práticas científicas desse grupo – que pode durar toda a carreira – é denominado de *ciência normal*. Dessa forma, a *ciência normal* é realizada com base nas realizações científicas predecessoras suficientemente impactantes para atrair o grupo de cientistas adeptos e partidários, cujos reconhecimentos por essa *comunidade científica* específica proporciona os fundamentos, tanto para sua prática diária, como para a educação e treinamento das novas gerações de cientistas.

A pesquisa científica praticada dentro da *comunidade científica* kuhniana – a *ciência normal* – necessariamente caracteriza-se por envolver o grupo de cientistas na busca por soluções para problemas (“*quebra-cabeças*”) previamente apontados pelo *paradigma*, com certas implicações preditivas que possibilitam que resultados experimentais indesejados possam ser reconhecidos como defeitos ou *anomalias* do *paradigma*. O desencantamento crescente de uma parte significativa da *comunidade científica* com o “*paradigma* defeituoso” pode culminar em uma gravíssima *crise*, permitindo a instauração de uma “*revolução científica*” na qual o *paradigma* vigente é preterido por outro. Tem-se, assim, o colapso da comunidade antiga e uma nova se forma em virtude da adesão ao *novo paradigma*.

Thomas Kuhn afirmou que foi durante os seus anos na Universidade de Harvard que se deparou com a monografia quase desconhecida de Ludwik Fleck (1896-1961), um ensaio segundo ele, que antecipava muitas de suas próprias ideias, o que lhe possibilitou perceber que suas ideias necessitavam de um maior aprofundamento, considerando a dimensão social nas práticas científicas. A indicação de Kuhn revela que os conceitos fleckianos de *coletivo e estilo de pensamento* foram importantes para a inclusão do tema *comunidade científica* em sua teoria da ciência. A referência de Kuhn ao trabalho de Fleck foi suficiente para atrair o interesse de vários estudiosos, sendo sua monografia traduzida para o inglês com o título “*Genesis and Development of a Scientific Fact*”³, em 1979.

III. LUDWIK FLECK: COLETIVO E ESTILO DE PENSAMENTOS

Ludwik Fleck (1896 – 1961) foi um médico polonês que contribuiu no campo da microbiologia e da infectologia com a publicação de vários trabalhos. Além do seu interesse por pesquisas médicas, Fleck dedicou uma parte de sua vida para estudar, discutir e propor questões que envolviam a história, filosofia e sociologia da ciência. A epistemologia fleckiana – denominada de *teoria comparativa do conhecimento* – é rica em detalhes e rigorosa na definição e aplicação de seus conceitos propostos. Para o pensador polonês é possível compreender quais as influências dos elementos conceituais do passado exercidas sobre um conhecimento do presente, e descrever como ocorreram as mudanças do estilo de pensar um conceito, ou uma teoria, a partir da história das ciências. Os conceitos científicos ou pseudocientíficos do passado, que serviram como referências para construção dos conceitos do presente, Fleck os chamou de *protoideias* (Fleck, 2010).

O *coletivo de pensamento* e o *estilo de pensamento* são outras ideias que dão suporte à epistemologia do médico polonês. Segundo Fleck, o conhecimento não é um produto individual, pelo contrário, é desenvolvido pelas relações sociais existentes entre um grupo de pessoas. Assim, o autor definiu o *coletivo de pensamento* “[...] como a

³ Título original em alemão: “*Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache*”.

comunidade das pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de pensamento [...]” (Fleck, 2010). Quanto ao desenvolvimento do conceito de *estilo de pensamento*, em virtude da sua complexidade, é pertinente uma apresentação mais detalhada.

No artigo “*Sobre a crise da realidade*” de 1929, Fleck iniciou uma breve apresentação sobre o conceito de *estilo de pensamento*. Nele, o estilo científico e as suas práticas reconhecidas são as bases para a formação da realidade científica (Fleck, 1986a). Em seu livro publicado em 1934, Fleck detalhou o que é o *estilo de pensamento*. Na obra, esse conceito é dado como uma coerção de pensamento,—que não se limita a um matiz conceitual. Ele é proposto como uma introdução em uma ciência, e com o tempo, vai se restringindo aos menores detalhes das ciências especializadas, à luz do método sociológico. A partir desse movimento, surgirão meios para perceber e agir sobre o objeto de estudo. Dessa maneira, o *estilo de pensamento* estipula as regras com as quais o *coletivo de pensamento* utilizará para elaborar, consolidar ou modificar uma teoria e as suas variáveis, para serem comparadas e analisadas, via resultados do desenvolvimento histórico (Fleck, 2010).

Na publicação “*Sobre a observação científica e as percepções gerais*”, de 1935, uma versão mais elaborada sobre o *estilo de pensamento* foi escrita. O autor trouxe elementos sociais que remetem às escolhas do pesquisador frente ao objeto de investigação. A tomada de decisão sobre os aspectos científicos da pesquisa não pertence ao pesquisador, mesmo que ele tenha em seu consciente a sensação de pertencimento. O pesquisador não tem consciência de escolha, pelo contrário, a escolha lhe é imposta, de forma direta e associativa, ao conjunto de pensamentos, preparações mentais e às suas aplicações. Ao se tornar um *estilo de pensamento* sólido, suas bases teóricas e práticas serão ensinadas pelos especialistas a novas pessoas, o que garantirá um certo valor tradicional sob a óptica do desenvolvimento históricos e das regras sociológicas específicas (Fleck, 1986b).

Nessa perspectiva, o *estilo de pensamento* não limitará apenas a observação direta de um objeto, mas também enfatizará alguns de seus elementos para rebaixar os de outros estilos. Assim, dois observadores pertencentes à estilos de pensamentos diferentes, não terão objetos comuns de observação, já que cada um deles observa, em princípio, outro objeto (Fleck, 1986b).

Fleck atribuiu três fontes de condicionamento dos conteúdos elaborados por cada no artigo de 1936 intitulado, “*O problema da epistemologia*”. A primeira é a *ideogênese* pré-histórica que remete ao início do estilo, ou seja, às origens das protoideias. O segundo aborda a influência da migração contínua do pensamento via coletivo, que resultará na estilização, sistematização, inquietações e, até a revolução mental do estilo. Por fim, são produzidos efeitos externos ao estilo dominante provenientes de estilos estrangeiro (Fleck, 1986c).

Um último conceito da epistemologia do autor polonês, vale destacar, que o sistema de opiniões, em sua completude, formará o que foi chamado de *harmonia das ilusões*. O sistema de opinião faz parte do *estilo de pensamento*. Os detalhes e as relações de um campo do saber substancial já proporcionam condições de excelência ao *estilo de pensamento*. Como consequência, novas compreensões que podem surgir, deixam de ser consideradas, de acordo com cinco níveis de intensidade: (i) a contradição ao sistema parece ser impensável; (ii) o que não cabe ao sistema permanece despercebido ou; (iii) é silenciado; (iv) mesmo com grande esforço do sistema é declarado como não controverso; (v) percebe-se, descreve-se certos estados das coisas, e até torna-se correspondente, mesmo mantendo os pontos de vista contrário (Fleck, 2010).

IV. A “HIPÓTESE DE GATILHO” DE PHILIPP LENARD (1902) versus A “HIPÓTESE DE QUANTUM DE LUZ” DE ALBERT EINSTEIN (1905) PARA O EFEITO FOTOELÉTRICO

O relato do episódio histórico associado à controvérsia científica entre, a “Hipótese de Gatilho” de Philipp Lenard (1902), e a “Hipótese de *Quantum* de Luz” de Albert Einstein (1905), baseou-se nos estudos realizados por Wheaton (1978), Kragh (1992), Niaz et al. (2010) e Klassen (2011).

A “Hipótese de Gatilho” de Philipp Lenard para o Efeito Fotoelétrico (1902)

Em 1902, Philipp von Lenard, ex-assistente do físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) e expert em raios catódicos, realizou uma extensa investigação científica sobre emissão fotoelétrica, em superfícies metálicas sólidas, de sua época (Wheaton, 1978). A partir de uma rigorosa coleta de dados, ele observou uma série de características intrigantes, inconsistentes e contraditórias ao que seria esperado pela bem-sucedida teoria eletromagnética clássica, tradicionalmente representada pelas quatro equações de Maxwell, formuladas entre 1861 e 1862.

⁴ Fleck, L. (1935). *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*. Em 2010 foi publicada a versão brasileira, cujo título é *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*.

Lenard identificou que a intensidade da radiação eletromagnética ultravioleta incidente provocava alterações somente no número de elétrons ejetados (fotoelétrons), mas não em suas velocidades máximas (Kragh, 1992). De acordo com a teoria eletromagnética clássica, um aumento na intensidade da radiação eletromagnética (amplitude) pode ocorrer unicamente devido a um respectivo aumento proporcional no módulo de uma das componentes do campo eletromagnético da radiação. Em outros termos, um aumento na amplitude é resultado único de um aumento na quantidade de energia transportada pela radiação eletromagnética; quantidade de energia que, por sua vez, poderá ser parcial ou totalmente transferida a átomos e elétrons em processos de interação com a matéria, exatamente como ocorre no efeito fotoelétrico com a luz ultravioleta.

Outra contradição tinha sido relatada, 13 anos antes, pelo físico russo Alexandr Stoletov (1839-1896). Em 1902, já era consenso entre os cientistas – portanto, um “fato científico” para a época - que o intervalo de tempo decorrido entre a incidência de radiação e o surgimento da corrente fotoelétrica era menor que 1,0 milissegundo (Wheaton, 1978). Esse “fato científico” também representava uma inconsistência com a teoria clássica, uma vez que as previsões sobre o processo de transferência de energia baseavam-se num tipo de “ação ressonante” da radiação com a matéria, um processo muito lento e acumulativo, em especial, quando utiliza-se luz de baixa intensidade, com um intervalo de tempo previsto consideravelmente maior do que aqueles obtidos experimentalmente ($\Delta t > 20$ milissegundos).

Todavia, ambas as contradições foram temporariamente eliminadas pela proposição da “hipótese de gatilho” de Philipp Lenard. Partindo do pressuposto de que elas só existem se, e somente se, for verdadeira a premissa de que realmente há um processo de transferência de energia na interação entre radiação e matéria, ele sustentou que não havia evidências empíricas que corroborassem essa premissa. O físico alemão citou, por exemplo, que o valor obtido experimentalmente para energia cinética dos fotoelétrons era muito grande para ser obtido por um processo de “ação ressonante”, num intervalo de tempo tão curto (Wheaton, 1978). Assim, ao formular sua hipótese, ele estava convencido de que a radiação eletromagnética na faixa do ultravioleta agia somente como um “gatilho” para liberar ou disparar os fotoelétrons das superfícies metálicas. Em suas palavras: “[...] *que as velocidades iniciais dos quanta emitidos [este era o termo utilizado por Lenard para fotoelétrons] não se originam da energia luminosa, mas de movimentos violentos já existentes dentro dos átomos antes da incidência de luz, de modo que os movimentos de ressonância desempenham apenas um papel insignificante*” (Lenard, 1902, p. 170, tradução nossa).

Seguindo esse raciocínio, ele concluiu que não deveria haver nenhuma transferência de energia radiante para a energia cinética dos fotoelétrons, mas que os fotoelétrons estavam sendo emitidos com determinada energia cinética já preexistente - ou energia potencial equivalente. Em última análise, tinha origem na energia interna, que os próprios fotoelétrons já possuíam, quando ainda estavam na estrutura interna do átomo (Wheaton, 1978; Kragh, 1992; Niaz et al. 2010, Klassen, 2011).

Ele aparentemente não se preocupou com uma possível dependência do limiar fotoelétrico em relação ao valor da frequência da radiação eletromagnética incidente. Ao que tudo indica, ele provavelmente notou uma ligeira influência do “tipo” de radiação, mas não prosseguiu com o desenvolvimento de condições experimentais adequadas para investigar essa suspeita (Wheaton, 1978). Como a estrutura interna do átomo ainda era um problema em aberto⁵, a solução de Lenard pareceu razoável e adequada para quase todos os físicos da época, pois solucionava duas contradições na teoria de Maxwell (Kragh, 1992; Klassen, 2011). Devido aos seus trabalhos sobre os raios catódicos, ele foi laureado com o Prêmio Nobel de Física de 1905. A “hipótese de gatilho” para radiação visível e ultravioleta permaneceu amplamente aceita na comunidade científica até 1911. Todavia, “[...] em 1913, Philipp Lenard admitiu que o efeito fotoelétrico era uma “dificuldade”, a qual tornou-se intransponível depois da aceitação da teoria de Bohr para estrutura atômica” (Wheaton, 1978).

A “Hipótese de Quantum de Luz” de Albert Einstein (1905)

Em 1905, quando Albert Einstein publicou o estudo teórico intitulado “*Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*”⁶, no qual apresentou a sua “hipótese de Quantum de luz”, não havia ainda evidências empíricas sobre as quais os cientistas pudessem inferir que a energia cinética dos fotoelétrons era linearmente dependente da frequência da radiação eletromagnética incidente (Kragh, 1992). A partir de sua equação fotoelétrica, Einstein afirmou:

⁵ É importante ressaltar que o modelo científico de estrutura atômica mais bem aceito e adotado pela comunidade científica, na primeira década do século XX é o modelo proposto por J. J. Thomson (Modelo “Pudim de Passas”), publicado em 1904 no artigo intitulado “*On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure*”. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440409463107>. Acesso em: 02.mar.2022.

⁶ Título original em alemão: “*Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*”.

[...] se a minha fórmula derivada estiver correta, então o potencial de corte, quando colocado em um gráfico em coordenadas cartesianas como função da frequência da luz incidente, deverá ser uma linha reta cuja inclinação é independente da natureza das substâncias em estudo. (Einstein, 1905, p. 146, tradução nossa).

Ela permitia uma explicação alternativa e audaciosa para os resultados contraditórios publicados anteriormente por Philipp Lenard com o elevado custo de rejeitar fundamentos da teoria eletromagnética clássica. Nas palavras de Einstein, os processos de produção e transformação de luz poderiam ser mais facilmente compreendidos, da seguinte forma:

[...] A energia “quanta” penetra na camada de superfície do corpo e é transferida, pelo menos em parte, para energia cinética dos elétrons. A concepção mais simples é que um Quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron; assumiremos que isso acontece. [...] Um elétron com energia cinética no interior do corpo perderá parte de sua energia cinética até que atinja a superfície. Os elétrons emitidos com maiores velocidades [energia cinética máxima] serão aqueles localizados próximos a superfície e ejetados perpendicularmente a ela. (Einstein, 1905, p. 145, tradução nossa).

De forma totalmente oposta à interpretação de Lenard, Einstein estava convencido de que havia um mecanismo instantâneo de transferência de energia na interação entre radiação e matéria. Além disso, sobre as evidências experimentais relatadas por Lenard em 1902, ele afirmou:

[...] essa descrição do efeito fotoelétrico não contradiz nenhuma das propriedades encontradas pelo Sr. Lenard. Se a energia de cada “Quantum de luz” é transferida para a energia cinética de um elétron, independentemente dos outros, então a distribuição de velocidade dos elétrons, isto é, a natureza dos raios catódicos produzidos, será independente da intensidade de luz incidente, por outro lado, sob circunstância idênticas, o número de elétrons que deixa o objeto será proporcional a intensidade de luz incidente (Einstein, 1905, p. 147, tradução nossa).

Foi somente a partir de 1907 que investigações acerca das predições da equação fotoelétrica de Einstein, buscava, ao mesmo tempo, acumular evidências de apoio à “hipótese de gatilho” de Lenard, ganharam a atenção de muitos grupos de cientistas ao redor do mundo. Entre eles, o grupo liderado pelo físico norte-americano Robert Andrews Millikan (1868–1953), daí sua famosa citação de 1916: “[...] ousada, para não dizer imprudente, a hipótese de um corpúsculo de luz eletromagnética de energia h.f, [...] porque ela contraria completamente os fatos estabelecidos de interferência” (Millikan, 1916, p. 355, tradução nossa).

Após quase dez anos de pesquisas sobre energias de emissão no Laboratório de Física de Ryerson, na Universidade de Chicago (Estados Unidos), Millikan e seus colaboradores, contrariamente às suas expectativas iniciais, obtiveram evidências muito confiáveis de que as predições da equação fotoelétrica de Einstein se confirmavam. Também determinaram um valor experimental muito próximo ao valor teórico para a constante de Planck (erro de 0,5%) (Millikan, 1916; Klassen, 2011). O Prêmio Nobel de Física de 1921 foi concedido a Albert Einstein por seus serviços à Física Teórica, e especialmente por sua lei (equação) do efeito fotoelétrico.

V. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Embora alguns livros didáticos transmitam a concepção de que os inesperados resultados experimentais evidenciados por Lenard (1902) não pudessem ser explicados pela física clássica, e que a interpretação de tais resultados era natural e, até mesmo trivial, se pensarmos em termos de fótons (ex: Halliday et al., 2016), atualmente é consenso entre os historiadores que essa concepção está bastante equivocada (Wheaton, 1978; Kragh, 1992; Niaz et al., 2010; Klassen, 2011). Segundo esses autores, a “hipótese de *quantum* de luz” de Einstein não foi considerada, naquele intervalo de tempo (de 1905 a 1915), como uma alternativa a ser levada a sério pela maioria dos físicos. Ainda segundo esses autores, as investigações científicas a respeito do efeito fotoelétrico tiveram um papel apenas periférico durante a gradual aceitação da teoria quântica.

Conforme apresentado na seção IV, a proposição da “hipótese de gatilho” de Philipp Lenard (1902) para o efeito fotoelétrico eliminava, à primeira vista, as inconsistências e inadequações empíricas dos resultados frente à teoria eletromagnética clássica. À luz da epistemologia de Fleck, pode-se designar a visão de Lenard (e da maioria dos cientistas de sua época) como um *estilo de pensamento*, uma vez que a conjuntura da hipótese de Lenard foi fundamentada a partir de elementos conceituais e sociais existentes no período em que ela foi elaborada.

Como indícios dos elementos sociais coercitivos que levaram Lenard a desenvolver a sua “hipótese do gatilho” pode-se destacar: o contato inicial - ainda na escola secundária - com experimentos de fosforescência, devido à aproximação com trabalhos experimentais de seu professor, de origem romena, Virgil Klatt (1850 - 1935); a posterior realização de pesquisas com raios catódicos em suas passagens por diversas universidades europeias renomadas, nas

quais teve contato com pesquisadores experimentais que desenvolviam trabalhos de seu interesse, levando-o a participar de vários *coletivos de pensamento* (Dos Santos, 2017).

Com relação aos elementos conceituais, os quais subsidiam o *estilo de pensamento*, pode-se citar os estudos qualitativos prévios envolvendo a incidência de radiação ultravioleta sobre superfícies metálicas, os quais mostravam que tais superfícies apresentavam rugosidades ao final do processo. Além disso, vale destacar a surpreendente descoberta de novas radiações na época: os raios-X, em 1895, por Wilhelm Conrad Roentgen (1845 – 1923) utilizando um tubo de descarga cujo *design* foi feito pelo próprio Lenard; a radioatividade em sais de urânio, em 1896, por Henri Becquerel (1852-1908); o isolamento dos novos elementos radioativos, em 1898, o rádio e o polônio, por Pierre (1859 – 1906) e Marie Curie (1867 – 1934). Além disso, os cientistas da época sabiam que nos fenômenos radioativos também estavam presentes uma certa quantidade de “raios catódicos” (ex: no fenômeno de decaimento beta). Em resumo, todas essas descobertas, conforme afirma Lenard em sua palestra de recebimento do Prêmio Nobel em 1906, sugeriam que não apenas os elementos radioativos, mas todos os átomos, deveriam conter alguma reserva de energia interna, a qual era liberada em processo de desintegração ou de rugosidades por radiação ultravioleta.

Do ponto de vista da epistemologia kuhniana, a “hipótese de gatilho” foi desenvolvida dentro do *paradigma* da Física Clássica, em especial, no ambiente de *ciência normal* que investigava os problemas (“quebra-cabeças”) envolvendo o tubo de descarga elétrica (tubo de raios catódicos), construídos por William Crookes (1832-1919), por volta dos anos de 1869 a 1875. Nesse caso, as realizações científicas de Lenard foram decorrentes de problemas elaborados pelos pesquisadores da época, uma vez que as investigações sobre os raios catódicos tiveram sucesso até então, devido aos pressupostos da teoria eletromagnética clássica e aos instrumentos e métodos experimentais construídos e adotados pela *comunidade científica*. Lenard, particularmente, estava interessado em encontrar uma maneira de realizar testes experimentais em raios catódicos na sua forma pura, isto é, fora do tubo de descarga, uma vez que assim seria possível avançar na explicação da natureza dos raios catódicos, da eletricidade e da matéria.

Com efeito, a “hipótese de *quantum* de luz” de Einstein (1905) aumentou a perturbação no *estilo de pensamento* consolidado, principalmente, pela teoria ondulatória eletromagnética clássica. A apresentação do trabalho de Max Planck sobre a radiação do corpo negro cinco anos antes, em 1900, foi um marco temporal para a transformação do *coletivo de pensamento*. Do ponto de vista fleckiano, a ideia de um “*quantum* de radiação” não foi aceita pelo *sistema de opinião* que já pertencia ao coletivo da época e, conforme o grau de intensidade do *sistema de opinião* apresentado neste artigo, a proposta de Einstein (1905) foi silenciada.

Dois motivos se destacam para que esse silenciamento fosse imposto. Primeiro, o fato de Einstein não pertencer ao *coletivo de pensamento* dos físicos de “primeiro escalão”, visto que na época da publicação do trabalho sobre o “*quantum de luz*” ele ainda trabalhava em um escritório de patentes na Suíça (Dos Santos, 2017). Em segundo, o fato de Lenard ter apresentado uma solução consistente, até então, para produção de raios catódicos por luz ultravioleta, que era sustentada no *estilo de pensamento* vigente, enquanto a solução de Einstein lançava dúvidas sobre a natureza da radiação, na perspectiva da teoria eletromagnética de Maxwell, uma teoria amplamente aceita pelo *coletivo de pensamento*.

De acordo com a epistemologia de Fleck, Einstein só conseguiu chegar à solução do problema de produção de raios catódicos por luz ultravioleta (efeito fotoelétrico) porque estava inserido em um momento histórico e social de discussão sobre o fenômeno, além de ter estudado os trabalhos de Max Planck sobre a radiação do corpo negro e de Lenard, sobre a “hipótese do gatilho”. Assim, um incômodo surgiu no *estilo de pensamento ondulatório* da radiação e a mudança para o *estilo de pensamento corpuscular* foi ocorrendo gradativamente, passando por vários testes experimentais, inclusive pelo próprio Lenard, até culminar com a sua aceitação e a coroação do trabalho de Einstein com o Prêmio Nobel de 1921.

Na perspectiva kuhniana, um período de *crise* em um ambiente de *ciência normal* se instaura à medida em que se acumulam, cada vez mais, resultados experimentais inesperados, contraditórios e inconsistentes (*anomalias*) com os pressupostos do *paradigma* vigente. E de fato, ao final do século XIX, as investigações científicas sobre a natureza da luz, da eletricidade e da matéria, resultaram, tanto em novos e bem-vindos problemas de pesquisa (“quebra-cabeças”), quanto em algumas evidências experimentais “estranhas”, para as quais foram propostas explicações “criativas”.

Em especial, além da prolongada ausência de evidências que confirmassem a existência do éter luminífero nos experimentos com o interferômetro de Albert Abraham Michelson (1852 – 1931) e Edward Williams Morley (1838 – 1923), pode-se citar o “problema da radiação de corpo negro” e a solução desesperada de “energia quantizada para os osciladores eletrônicos” de Max Planck (1858 – 1947), a qual, até o ano de 1905, era considerada fictícia (uma solução “para salvar os fenômenos”⁷), sem implicações ou consequências físicas óbvias (Wheaton, 1978; Kragh, 1992; Niaz et al., 2010; Klassen, 2011). Ou seja, até então, não representava uma grave ameaça ao *paradigma* vigente.

⁷ Algo semelhante ao discutido pelo físico francês Pierre Duhem (1861 – 1916) no livro, em 1908, *Sauver les Phénomènes. Essai sur la Notion de Théorie Physique de Platon à Galilée*.

Em contrapartida, embora Einstein tenha deduzido sua lei para o efeito fotoelétrico a partir do modelo de deslocamento de Wien (anterior ao de Planck), o qual era baseado numa combinação da teoria termodinâmica de Boltzmann e da teoria eletromagnética de Maxwell, sua proposta “energia quantizada aplicada ao campo de radiação”, predizendo uma relação linear de dependência entre frequência e energia do “*quantum* de luz”, era evidentemente inconsistente com o *paradigma* da Física Clássica. Além disso, a possibilidade de testes experimentais imediatos adicionou um elemento na *crise* que aos poucos se agravaria ainda mais na *ciência normal* de sua época, o que levaria a um desencantamento crescente de alguns membros da *comunidade científica* com o “*paradigma* defeituoso”. Essa escalada resultaria em uma *Revolução Científica* em toda a Física Clássica e o posterior desenvolvimento da teoria quântica.

Com efeito, de acordo com Kragh (1992), a razão principal para a rejeição da “hipótese de *quantum* de luz” não era o incipiente *status* acadêmico de Einstein, ou que outros físicos conservadores estivessem muito fortemente apegados ao velho *paradigma* da Física Clássica, embora alguns estivessem. Segundo o autor, os cientistas, incluindo o próprio Einstein, perceberam que o preço a se pagar pela aceitação da teoria quântica da luz – e consequente *Revolução Científica* - era demasiadamente alto: o abandono completo da teoria eletromagnética clássica da luz, uma das mais impressionantes e exaustivamente confirmadas teorias da Física até então.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou, com base nas epistemologias de Thomas Kuhn (2017) e Ludwik Fleck, o episódio referente à controvérsia científica entre a “Hipótese de gatilho” e a “Hipótese de *Quantum* de Luz”, na primeira década do século XX. Em especial, a partir das definições dos conceitos fleckianos de *coletivo e estilo de pensamento*, e bem como dos conceitos kuhnianos de *comunidade científica e paradigma*, foi possível evidenciar como alguns elementos conceituais e sociais contribuíram, tanto para o surgimento de novas ideias (o “*quantum* de luz”), quanto para a ampla rejeição dos físicos, até pelo menos 1913, de uma teoria quântica da radiação. Conforme apresentado em nossa discussão, ambas epistemologias ajudam a compreender como o contexto histórico influenciou no desenvolvimento de um fato científico.

Como perspectiva de investigação futura, percebe-se nos estudos históricos sobre o experimento do efeito fotoelétrico que ainda não foram devidamente esclarecidas, para além da mera curiosidade dos cientistas para compreensão do fenômeno, as motivações (e possíveis aplicações imediatas) do efeito fotoelétrico para a física experimental da época. Nesse momento, outras pesquisas com base na História das Ciências estão sendo desenvolvidas por membros do nosso grupo de pesquisa e prometem, em breve, alguns resultados sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

- Einstein, A (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 322(6), 132–148.
- Fleck, L. (1986a). On the crisis of 'reality' [1929]. En R. S. Cohen, T. Schnelle (Eds), *Cognition and fact* (47-57). Dordrecht, Holanda: Reidel Publishing Company.
- Fleck, L. (1986b). Scientific observation and perception in general [1935]. En R. S. Cohen, T. Schnelle (Eds), *Cognition and fact* (59-78). Dordrecht, Holanda: Reidel Publishing Company.
- Fleck, L. (1986c). The problem of epistemology [1936]. En R. S. Cohen, T. Schnelle (Eds), *Cognition and fact* (79-112). Dordrecht, Holanda: Reidel Publishing Company.
- Fleck, L. (2010). *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte, Brasil: Fabrefactum.
- Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. (2016). *Fundamentos da Física: Óptica e Física Moderna (10ª ed.)*. Rio de Janeiro, Brasil: Editora LTC.
- Klassen, S. (2011). The photoelectric effect: Reconstructing the story for the physics classroom. *Science & Education*, 20 (7), 719-731.

- Kragh, H. (1992). A sense of history: history of science and the teaching of introductory Quantum theory. *Science & Education*, 1(4), 349-363.
- Kuhn, T. S. (2017). *A estrutura das revoluções científicas (13ª ed)*. São Paulo, Brasil: Perspectiva.
- LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Org.) (1979) *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo, Brasil: Cultrix; Editora da Universidade de São Paulo.
- Lenard, P. (1902). Ueber die lichtelektrische Wirkung. *Annalen der Physik*, 313(5), 149-198.
- Masterman, M. (1979). A natureza de um paradigma. En: Lakatos e Musgrave (Org.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento* (72-108). São Paulo, Brasil: Cultrix.
- Millikan, R. A. (1916). A Direct Photoelectric Determination of Planck's "h". *Physical Review*, 7(3), 355-388.
- Mößner, N. (2011). Thought styles and paradigms: A comparative study of Ludwik Fleck and Thomas S. Kuhn. *Studies in History and Philosophy of Science*, 42(2), 362-371.
- Moles, A. A. (1995). *As ciências do impreciso*, trad. Glória de C. Lins, Rio de Janeiro, Brasil: Civilização Brasileira.
- Moura, B. A. (2014). O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da ciência*, 7(1), 32-46.
- Niaz, M., Klassen, S., McMilian, B., Metz, D. (2010). Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Science & Education*, 94(5), 903-931.
- dos Santos, C. A. (2017). O fóton e sua atribulada existência de 1905 a 1925. In: dos Santos, C. A. (Org.). *A Luz e algumas de suas tecnologias: um estudo da física (95-154)*. Ponta Grossa, Brasil: Editora UEPG.
- Wheaton, B. R. (1978). Philipp Lenard and the photoelectric effect, 1889-1911. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 9, 299-322.