

**Aspectos de corpúsculo e de onda na teoria newtoniana da luz: das visões do período pós-newtoniano à visão atual dos fenômenos microscópicos<sup>+</sup>\***

---

*José Fernando Moura Rocha<sup>1</sup>*

Instituto de Física – Universidade Federal da Bahia  
Salvador – BA

**Resumo**

*Neste trabalho, são discutidos aspectos de corpúsculo e de onda na teoria newtoniana da luz, na visão de alguns físicos de períodos posteriores ao de Newton, a partir do fenômeno da formação das cores em películas transparentes delgadas. Inicialmente, apresenta-se o contexto histórico e científico em que o fenômeno das cores em películas transparentes delgadas foi estudado por Newton e, em seguida, são discutidas algumas de suas contribuições para o entendimento desse fenômeno, apresentadas na segunda metade do século XVII e início do século XVIII. Em continuidade, é mostrado como alguns físicos reconhecidos pela comunidade científica, em períodos históricos posteriores a Newton, viram aspectos de onda e corpúsculo em alguns dos seus trabalhos. Finalmente, salienta-se a visão atual de que as dificuldades para descrever entidades do mundo microscópico por meio dos conceitos de onda e de corpúsculo resultam, certamente, do fato de esses conceitos serem do universo macroscópico e perderem a sua aplicabilidade à medida que são usados para explicar os fenômenos do mundo dos átomos.*

**Palavras-chave:** *História da Ciência; Natureza da Luz; Cores em Películas Transparentes Delgadas.*

---

<sup>+</sup> Aspects of corpuscle and wave in the Newtonian theory of light: from visions of the post-Newtonian period to the current view of microscopic phenomena

<sup>\*</sup> *Recebido: novembro de 2019.  
Aceito: junho de 2020.*

<sup>1</sup> E-mail: [jofer@ufba.br](mailto:jofer@ufba.br)

## Abstract

*Our purpose in this work is to discuss aspects of corpuscle and wave in the Newtonian theory of light, in the view of some physicists from periods after the Newton period, from the phenomenon of the formation of colors in thin transparent films. At first, we present the historical and scientific context in which the phenomenon of colors in thin transparent films was studied by Newton; after, some contributions of Newton for the understanding of this phenomenon, presented in the second half of that century and beginning of the eighteenth century, are discussed; and also the vision of some physicists recognized by the scientific community, in later historical periods to Newton, about aspects of wave and corpuscle in their works, is shown. The paper concludes by pointing out that the difficulties in describing entities in the atomic world through the concepts of wave and corpuscle are, certainly, due to the fact that these concepts are of the macroscopic universe and lose their applicability as they are used to explain the phenomena of the world of atoms.*

**Keywords:** *History of Science; Nature of Light; Colors in Thin Transparent Films.*

## I. Introdução

O objetivo deste trabalho é discutir aspectos de corpúsculo e de onda na teoria newtoniana da luz, na visão de alguns físicos de períodos posteriores ao de Newton, a partir do fenômeno da formação de cores em películas transparentes delgadas.

O leitor atento notará que nossa atenção não está dirigida para a polêmica sobre a antecipação, ou não, por Isaac Newton (1642-1727), do conceito de dualidade onda-partícula da luz, o que foi tratado em artigo de Moura e Silva (2008). Nossa atenção estará voltada aqui para a *teoria* newtoniana da luz (inclusive para o papel fundamental do éter na mesma), utilizada para descrever os fenômenos luminosos, em especial o fenômeno das cores em películas transparentes delgadas, e não só para o *modelo* de luz usado na teoria. Deve ser lembrado, desde logo, que Newton não tinha uma opinião definitiva sobre a natureza da luz, mas que uma de suas hipóteses considerava a luz como um feixe de partículas; uma multidão de corpúsculos inimaginavelmente pequenos e velozes, de tamanhos diferentes, que poderiam interagir com ondas ou vibrações no éter, mas não seria nem o éter nem o seu movimento vibratório se propagando.

Este trabalho de interpretação historiográfica foi desenvolvido a partir de fontes primárias e secundárias, tendo sido consultados textos (artigos e livros) produzidos por Newton e por alguns de seus contemporâneos, do século XVII e início do século XVIII, e

artigos e livros publicados em épocas posteriores à de Newton, com a atenção voltada para três períodos distintos. Primeiro, o período do ressurgimento da teoria ondulatória, início do século XIX, após um século de domínio da óptica newtoniana (século XVIII). Segundo, o período do ressurgimento da teoria corpuscular, início do século XX, época em que prevalecia a teoria ondulatória de James Maxwell (1831-1879), formulada na segunda metade do século XIX. E, finalmente, o período mais recente, correspondente à segunda metade do século XX e início do século XXI. A partir de nomes de alguns cientistas reconhecidos, desses períodos, foram buscados trabalhos que fizeram referência a aspectos não só corpusculares mas também ondulatórios da teoria newtoniana da luz, em especial trabalhos que fizeram referência às explicações newtonianas das cores em películas transparentes finas.

Este artigo foi estruturado em três partes principais. Inicialmente, será apresentado o contexto histórico e científico em que o fenômeno das cores em películas transparentes delgadas foi estudado por Newton e por outros, e, em seguida, serão discutidas algumas de suas contribuições para o entendimento desse fenômeno, apresentadas na segunda metade do século XVII e início do século XVIII. Em continuidade, será mostrado como alguns físicos ou cientistas, reconhecidos pela comunidade científica, em períodos históricos posteriores ao de Newton, viram aspectos de onda e corpúsculo em seus trabalhos, salientando, inclusive, a visão atual de que as dificuldades para descrever entidades do mundo microscópico por meio dos conceitos de onda e de corpúsculo resultam, certamente, do fato de esses conceitos serem do universo macroscópico e perderem a sua aplicabilidade à medida que são usados para explicar os fenômenos do mundo dos átomos.

## **II. O contexto histórico e científico em que o fenômeno das cores em películas transparentes delgadas foi estudado por Newton**

Até a primeira metade do século XVII, o progresso científico e tecnológico no ramo da óptica envolvia, essencialmente, os fenômenos de reflexão e refração, possíveis de serem explicados a partir de modelos de partícula ou de onda<sup>2</sup>, mas que, até meados do século XVII, não foram tratados, convincentemente, com base nesses modelos<sup>3</sup>. A partir da segunda metade do século XVII, entretanto, outros fenômenos básicos da óptica foram descobertos (difração, por volta de 1665; formação de cores em películas delgadas – explicado hoje em termos de interferência de ondas –, também por volta de 1665; polarização, 1678), ampliando ainda mais o debate científico, sem, contudo, poderem ser explicados, facilmente, a partir apenas de modelos corpusculares por apresentarem características tipicamente ondulatórias,

---

<sup>2</sup> Por onda, entende-se, em geral, uma perturbação do meio que se propaga sem o transporte de matéria. Esse distúrbio pode apresentar-se como um pulso isolado, uma série contínua de pulsos (onda periódicas), uma sequência de pulsos não periódicos etc., podendo as vibrações propagadas serem do tipo longitudinal ou transversal. Sabemos hoje que as ondas de luz, ondas eletromagnéticas, se propagam também no vácuo.

<sup>3</sup> De acordo com Barros (2009), o trabalho de René Descartes, por exemplo, sobre refração, não foi bem entendido por muitos de seus contemporâneos, inclusive por Pierre de Fermat.

como é o caso da formação de cores em películas transparentes delgadas. Surgiram, então, os defensores da teoria ondulatória dos fenômenos luminosos, tendo Robert Hooke (1663-1703) como um dos seus primeiros formuladores (HOOKE, 1665).

Nesse período, trabalhos como os de René Descartes (1596-1650), Pierre de Fermat (1601-1665), Hooke, Christiaan Huygens (1629-1695), Isaac Newton e outros, revelaram uma profunda divergência entre os estudiosos da filosofia natural, quanto à natureza da luz. De um lado, o trabalho teórico de Descartes, no qual, para obter a lei da refração, fez uma comparação entre a *ação da luz* e o movimento de uma bola num meio: “a ação da luz segue a este respeito as mesmas leis que o movimento da bola” (DESCARTES, 1937 apud MAGIE, 1969, p. 265)<sup>4</sup>, e conclui que a luz passa mais facilmente através dos meios mais refringentes, geralmente mais densos, do que através dos meios menos refringentes. De outro lado, o trabalho também teórico de Fermat, de 1661, no qual, para demonstrar a lei da refração, ele se apoia no seu postulado do *tempo mínimo*, e usa uma hipótese – que exigia que a luz tivesse uma velocidade menor nos meios mais densos – que era frontalmente contrária ao resultado de Descartes. Some-se a isso os trabalhos de Huygens e de Newton. De acordo com a teoria da refração de Huygens, baseada na concepção ondulatória da luz<sup>5</sup>, a velocidade da luz deveria ser menor em meios mais densos (HUYGENS, 1986, p. 32), em concordância com Fermat. Para Newton, entretanto, dentro da concepção que tinha da luz, o inverso é que seria verdadeiro. Diante das considerações anteriores sobre os trabalhos de Descartes, Fermat, Huygens, Newton e outros, bastante conflitantes, podemos dizer que, nesse período, estava posto, formalmente, um conflito ou controvérsia científica entre as duas concepções sobre a natureza da luz, que até então existia apenas no plano filosófico, conforme nos diz Bassalo (1986). Como se sabe, controvérsias científicas, isto é, disputas públicas entre vários cientistas, persistentemente mantidas, alimentam importantes avanços na ciência e um olhar para a história da ciência revela que grandes conquistas científicas, como o modelo heliocêntrico de Copérnico, a teoria da evolução e a teoria quântica, envolveram, em alguma medida, uma disputa ou desacordo entre cientistas (JUNGES, 2018). Como na época não

---

<sup>4</sup> Descartes associava luz com movimento em um meio, mais precisamente com um distúrbio propagado rapidamente por meios mecânicos de um local para outro (em lugar de, digamos, um fluxo de corpúsculos pequenos). Vale lembrar, entretanto, que, já no século XVII, Newton afirmava que luz não podia constituir-se **apenas** em ação. Na sua obra *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (Livro II, Seção VIII, Proposição 41, Teorema 32), publicado em 1687, Newton (1996, p. 776) mostra que “uma pressão não se propaga através de um fluido em direções retilíneas exceto quando as partículas do fluido estão sobre uma linha reta” (NEWTON, 1990, p. 762). Também no Escólio, ao final da Proposição 50, Newton (1990, p. 776) escreve: “Pois como a luz é propagada em linhas retas, é certo que ela não pode consistir apenas em ação”. Ver também a *Questão 28* da referência (NEWTON, 1996, p. 265). Há de se perguntar então o que estaria faltando para completar o modelo de Descartes para a luz. De acordo com Gilbert (1982, p. 86), a teoria de Descartes “era uma teoria mista e complexa em que intervinha uma **transmissão de caráter corpuscular** ligada a uma emissão vibratória retirando da luz qualquer natureza material, mas exigindo um meio elástico, o éter, para se transmitir”. Ver também a referência Newton (1996, p. 85, nota do tradutor).

<sup>5</sup> Huygens (1986, p. 21), no seu *Tratado sobre a Luz*, publicado em 1690, considerava a luz como uma onda, um impulso que se propagava num meio etéreo, um fenômeno análogo ao do som. Essa ideia de onda, de Huygens, não era a de uma perturbação cuja amplitude varia de modo contínuo e periódico, conforme concebemos hoje, e sim uma sucessão de impulsos (de ondas esféricas secundárias, produzidas por cada ponto da frente de onda).

existiam aparelhos disponíveis capazes de medir, com precisão, a velocidade da luz no ar, na água ou em outro meio qualquer, a divergência sobre o meio em que a velocidade da luz é maior (no mais denso ou menos denso), não pôde ser resolvida, até meados do século XIX. Somente em 1850, J. Foucault mostrou experimentalmente que a velocidade da luz na água era menor do que no ar, negando assim algumas das ideias de Descartes e de outros.

Apesar das tentativas de Newton e de outros, até o final do século XVIII não havia explicação abrangente ou consensual também para o fenômeno de difração, descoberto pelo jesuíta italiano Francesco Grimaldi (1618-1663), e para o fenômeno de polarização por dupla refração, descoberto por Huygens. Isso se considerarmos que só após a descoberta do fenômeno da polarização por reflexão, em 1808, por Étienne Malus (1775-1812), esses dois fenômenos (polarização por dupla refração e por reflexão) foram coerentemente explicados, por Malus, com base no modelo corpuscular (ROSMORDUC, 1983, p. 85)<sup>6</sup>, e que, somente por volta de 1816, o fenômeno de difração foi explicado coerentemente por Augustin Fresnel (1788-1827), com base em um modelo ondulatório (pelo que ganhou o Prêmio da Academia Francesa de Ciências, em 1818), mesmo sem ainda levar em conta o caráter transversal da onda luminosa, descoberto em 1819 (GILBERT, 1982, p. 114, 120 e 126).

Foi então nesse contexto de debate científico que o fenômeno das cores em películas delgadas foi estudado por Newton e outros.

### **III. Aspectos de corpúsculo e de onda nas explicações newtonianas do fenômeno das cores em partículas transparentes delgadas**

Ao admitir que luz poderia ser como partícula, Newton enfrentou, já no século XVII, sérias dificuldades para explicar o fenômeno das cores em películas transparentes delgadas. Tais dificuldades decorriam, certamente, da própria natureza desse fenômeno, explicado hoje em termos de interferência de ondas e considerado como tipicamente ondulatório.

Newton entrou na discussão sobre a natureza da luz – não de forma declarada – em 29 de fevereiro de 1672 (com 29 anos de idade), quando enviou à *Royal Society* seu primeiro trabalho para publicação, contendo sua *Nova Teoria sobre Luz e Cor*. Fazia então sete anos desde que Robert Hooke tinha publicado sua *Micrografia* (lida por Newton) no qual descrevia o fenômeno das cores em películas delgadas e outros fenômenos. Nessa obra, Hooke defendia uma teoria para a luz e cor diferente daquela proposta por Newton e também defendia a ideia da luz como onda, ou seja, a ideia de que a luz seria produzida por vibrações (de pequena amplitude) em um meio e esse movimento se propagaria por pulsos ou ondas simples. Ao tomar conhecimento do artigo de Newton, Hooke criticou duramente seu conteúdo, entre

---

<sup>6</sup> Uma das primeiras tentativas para explicar o fenômeno conhecido hoje como “polarização da luz”, foi feita por Newton. Foi a partir da comparação que Newton fez na *Questão 29*, do livro *Óptica* (NEWTON, 1996, p. 273), entre os lados da luz e os polos de um ímã que mais tarde se originou o termo “polarização da luz”. Segundo Rosmorduc (1983, p. 84) expressões do tipo *moléculas polarizadas* e *raio polarizado* foram usadas, pelo francês E. Malus, no início do século XIX.

outras razões, por Newton ter admitido a ideia da corporeidade da luz, isto é, ter concebido a luz como uma substância material (o que pode ser considerado uma hipótese mecânica para explicar as propriedades da luz) (WHITTAKER, 1973, p. 18; NEWTON, 1672, p. 5086).

As críticas de Hooke foram rebatidas por Newton através de outro artigo, publicado em 18 de novembro de 1672, no qual também admite que os raios/corpúsculos de luz podem excitar vibrações no éter. Diz Newton:

*[...] É verdade que, em minha teoria, defendo a corporeidade da luz; mas eu o faço sem uma certeza absoluta, como a palavra talvez dá a entender; e o faço como não mais que uma consequência muito plausível da teoria, não como uma suposição fundamental [...]* (NEWTON, 1672, p. 5086).

E mais adiante Newton continua:

*[...] eu sabia que as propriedades da luz declaradas por mim eram, em alguma medida, capazes de ser explicadas não apenas por essa, mas por muitas outras hipóteses mecânicas. Assim optei por declinar de todas elas e falar da luz em termos gerais, considerando-a abstratamente [...]* (NEWTON, 1672, p. 5086-7).

No parágrafo seguinte, Newton complementa:

*Mas, supondo que eu tivesse proposto essa hipótese, eu não entendi por que o objetor deva esforçar-se para se opor a ela. Certamente, ela teria uma afinidade muito maior com a sua própria hipótese, do que ele parece estar consciente; **as vibrações do éter são tão úteis e necessárias nesta quanto na dele** [grifo nosso]. Pois, assumindo que os raios de luz<sup>7</sup> sejam corpos minúsculos, emitidos em todas as direções pelas substâncias brilhantes, [...]* (NEWTON, 1672, p. 5087).

Logo em seguida, ainda na mesma página, Newton esclarece que as vibrações do éter – excitadas pelos raios de luz (supostos como corpúsculos) ao colidirem em qualquer superfície refletora ou refratora, como as pedras fazem, quando jogadas na água<sup>8</sup> – podem ser úteis para explicar mecanismos ou fenômenos como os de reflexão, refração, produção de calor pelos raios do Sol, formação de cores em películas transparentes delgadas, entre outros

---

<sup>7</sup> No livro *Óptica*, cuja primeira edição é de 1704, Newton (1996, p. 39) concebe os raios de luz do seguinte modo: “Por raios de luz entendo as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas”. Note que aqui Newton considera a luz abstratamente, sem afirmar que “as partes mínimas da luz...” são corpóreas, materiais. Descobrir o que seriam “as partes mínimas da luz...” continua a ser um grande desafio, quando se fala em fótons. Numa carta ao amigo Besso, em 1951, Einstein escreve: “Cinquenta anos de ponderação não me trouxeram mais próximo da resposta à pergunta: o que são os fótons? Hoje em dia qualquer um acredita que a conhece – mas se engana” (NUSSENZVEIG, 1994)

<sup>8</sup> No citado livro *Óptica*, Newton compara a propagação das vibrações do éter (também tratada por Hooke na sua *Micrografia*, Observação IX) à propagação das vibrações do ar para produzir o som: “as vibrações assim produzidas se propagam no meio ou substância refratora da mesma maneira que as vibrações se propagam no ar para causar o som [...]” (NEWTON, 1996, p. 212). Hoje dizemos que as ondas excitadas no ar (ondas sonoras) são ondas do tipo *longitudinal*, isto é, o movimento vibratório das partículas do meio que transmite a onda está na mesma direção de propagação da onda.

citados. Em um artigo publicado em 1675, intitulado *An Hypothesis explaining the Properties of Light, discoursed of in my several Papers* (conhecido como *Hipótese sobre a luz*), onde é discutida a concepção de Hooke de que todas as cores eram compostas de apenas duas originais, Newton escreve explicitamente: “[...] eu não vejo como as cores de lâminas ou películas transparentes finas podem ser adequadamente explicadas sem recorrer a pulsos etéreos” (NEWTON, 1757, p. 248). Vê-se, portanto, que **já em 1672, Newton considerava não só o aspecto de corpúsculo, mas também o aspecto de onda como necessários a uma teoria que se propusesse a explicar os variados fenômenos luminosos**, mesmo que o aspecto de onda do fenômeno viesse associado a ondas ou vibrações no éter, que colocavam os raios de luz em estados de fácil reflexão e fácil transmissão (uma tendência para ser facilmente refletido ou transmitido), e não diretamente associado aos corpúsculos de luz.

Nessa época, Newton tinha pelo menos duas boas razões para não abraçar um modelo ondulatório como o de Hooke e preferir um modelo corpuscular sem negar as propriedades ondulatórias associadas aos fenômenos luminosos. A primeira decorria do fato experimental de fácil observação no nosso cotidiano de que a luz se propaga em linha reta (como se vê no caso de um feixe da luz do Sol atravessando uma sala empoeirada ou quando se examina a formação da sombra dos objetos), e isto não é o que geralmente se observa com as ondas. A segunda era decorrente de uma descoberta que fizera ao estudar a dispersão da luz por um prisma, a partir de 1666. No estudo da dispersão, ele notou que as propriedades da luz – em especial a permanência da cor – se mantinham invariantes após a luz sofrer a primeira refração, isto é, ele notou que cada cor (homogênea) obtida por refração não se alterava, quaisquer que fossem as novas reflexões, refrações ou inflexões (difrações) a que os raios de luz fossem submetidos. A essas duas razões podemos acrescentar ainda outra, esta de ordem filosófica: Newton era um atomista e a ideia de corpúsculo de luz era consistente com a filosofia atomista a qual procurava explicar os fenômenos da natureza, e a permanente mudança que subjaz à realidade, a partir das ideias de vácuo, matéria e movimento<sup>9</sup>. Newton havia aderido ao atomismo de Demócrito, Epicuro e Lucrecio através das obras de Pierre Gassendi (1592-1655), que, juntamente com outras publicações da sua época, foram responsáveis pela retomada do atomismo na Europa, depois de séculos de esquecimento. Ainda de acordo com Porto (2013), “Gassendi empreendeu então uma tentativa de conciliar a doutrina atomística com o Cristianismo, eliminando, da primeira, aspectos que conflitavam fundamentalmente com a religião cristã”, o que, acreditamos, facilitou a adesão de Newton ao atomismo, já que Newton era muito religioso.

---

<sup>9</sup> De acordo com Porto (2013), a doutrina filosófica do atomismo, proposta primeiro por Leucipo e Demócrito de Abdera, no século V a.C., pode ser considerada uma resposta a um dos problemas fundamentais da filosofia grega, qual seja, “o do entendimento do caráter mutável do nosso mundo com a resolução do conflito entre o conceito de ser e a percepção de mudança (movimento)”, sendo que essa doutrina se constituiu em uma solução para o citado conflito ao postular a existência de um substrato imutável subjacente a todas as transformações do mundo material, o átomo.

A originalidade das concepções newtonianas relativas aos fenômenos luminosos pode ser melhor apreciada na Parte 3, Livro II, da sua citada obra intitulada *Óptica*, quando Newton se propõe a considerar o problema “das cores permanentes dos corpos e da analogia que há entre elas e as cores de lâminas transparentes delgadas” (NEWTON, 1996, p. 189) ou, mais especificamente, se propõe a descrever o que ficou conhecido como os “anéis de Newton”. Tais franjas coloridas já tinham sido observadas por Boyle, em 1663, mas foi Newton quem estabeleceu, com precisão, relações entre seus raios e a espessura da camada onde se formam.

Para o físico brasileiro Moysés Nussenzveig (1933- ), Newton

*deu uma explicação ondulatória da sua origem, em termos de ondas que associava aos ‘acessos de fácil reflexão e fácil transmissão’ [estados transitórios de fácil reflexão e fácil transmissão]<sup>10</sup>. Além disso, usou-os [os anéis] para medidas altamente precisas de comprimentos de onda da luz! (NUSSENZVEIG, 1998, 64).*

Apesar de Nussenzveig, como físico de percepção profunda, ter interpretado tais medidas como sendo (essencialmente) do comprimento de onda da luz, podemos dizer, numa leitura mais imediata, que Newton mediu o “comprimento do acesso” (do estado), o qual corresponde em alguma medida à quantidade que na teoria ondulatória é chamada comprimento de onda da luz<sup>11</sup>. A interpretação de que Newton realizou medidas precisas do comprimento de onda da luz, como afirma Nussenzveig, certamente não seria comungada por profissionais da área de história da ciência, que a considerariam anacrônica, mas não deixa de ser útil se saber o que pensam profissionais de áreas diferentes sobre temas de interesse comum.

Vale lembrar que não são raros os exemplos de diferenças de visão entre profissionais de áreas distintas sobre um tema de interesse comum. O caso da origem da Teoria Quântica é um bom exemplo. Apesar de Max Planck (1858-1947) ter recebido o

---

<sup>10</sup> Na definição do que são os “acessos”, Newton usou o termo *fits*. Na edição em inglês do livro *Óptica*, Newton escreve: “*Definition. The returns of the disposition of any Ray to be reflected, I will call its Fits of easy Reflexion, and those of its disposition to be transmitted its Fits of easy Transmission, and the space it passes between every return and the next return, the Interval of its Fits*” (NEWTON, 1979, p. 281). Na língua inglesa, o termo *fits* é usado com significados diversos. Na área médica é usado para designar um ataque repentino, mas transitório, de algum tipo de doença; um acesso, um espasmo; Newton parece ter sido o primeiro a utilizá-lo com este significado em óptica. O termo *fits* pode ser traduzido por “acessos”, mas conforme o próprio Newton esclareceu, os *fits* são “estados transitórios” e foi o termo “estado” que André K. T. Assis preferiu ao traduzir o livro *Óptica* para o português.

<sup>11</sup> De acordo com Assis (1996, p. 210, nota de rodapé n. 87), “deve-se creditar a Newton a prioridade no reconhecimento e na mensuração quantitativa da periodicidade da luz. Foi Newton quem estabeleceu a dependência dos comprimentos desses períodos com a cor produzida pela luz e com o índice de refração do meio. As medidas de Newton foram tão precisas que Young as utilizou mais de cem anos depois para calcular o que hoje chamamos de comprimento de onda da luz”. Segundo Westfall (1980, p. 221), “[...] quando a periodicidade foi encontrada como uma **propriedade da própria luz** [grifo nosso], ela se constituiu uma adição tão importante à óptica quanto a heterogeneidade. [...] **periodicidade desempenhou o papel central na superação da concepção corpuscular newtoniana da luz no século XIX, embora ele [Newton] tenha visto suas observações inicialmente como um suporte para a corpuscularidade**”. [grifo nosso].

Prêmio Nobel de Física, de 1918, em reconhecimento à sua contribuição ao avanço da física, em particular, por sua descoberta dos quanta de energia, com importantes trabalhos publicados sobre esse tema desde 1900, Thomas Kuhn (1922-1996), um intelectual reconhecido pelas suas contribuições à história e filosofia da ciência, considera que “a suposição de uma descontinuidade quântica na distribuição de energia não foi introduzida por Planck, em 1900” (BÜTTNER *et al.*, 2000, p. 24). Um segundo exemplo diz respeito a eventuais semelhanças entre os estados da luz, de Newton, e ideias atuais da física quântica. Para Moura e Silva (2008), por exemplo, visões como a do físico Mário Schenberg (1914-1990) sobre esse tema são, em grande parte, resultado de um exercício de imaginação baseado em visões distorcidas e anacrônicas da história das ciências. E como um terceiro exemplo podemos citar o tema “O que é ciência?”. Para Richard Feynman (1918-1988), um dos laureados com o Prêmio Nobel de Física, de 1965: “Ciência não é... aquilo que os filósofos dizem sobre ela e ainda menos aquilo que é dito pelos manuais” (VIDEIRA, 2006).

As dificuldades de uma teoria corpuscular ficam mais evidentes quando se tenta responder a seguinte questão: se a luz é constituída de corpúsculos, o que “decidiria” se um certo corpúsculo seria refletido ou refratado? Conforme salienta Nussenzveig, Newton percebeu essas dificuldades e para superá-la introduziu sua teoria dos “acessos de fácil reflexão e fácil transmissão”. Nesta teoria, Newton considera que na incidência do feixe de luz sobre uma superfície transparente uma onda ou vibração poderia ser iniciada em um certo meio refrator ou refletor (um meio “muito mais sutil que o ar”, o éter, que penetrava todos os corpos), a qual, viajando no mesmo sentido que os raios de luz (“as partes mínimas da luz...”), pode ultrapassá-los sucessivamente, colocando-os em acessos de fácil reflexão ou fácil transmissão, predispondo-os a refletir ou refratar numa outra superfície. A ideia newtoniana de corpúsculo de luz interagindo com ondas ou vibrações etéreas, nos faz lembrar a ideia de Einstein de *quanta de luz* (início do século XX), para explicar o efeito fotoelétrico (hipótese essa contrária à bem estabelecida teoria eletromagnética de Maxwell), a qual, em um primeiro momento não foi bem recebida pela a comunidade científica da época. Segundo Martins e Rosa (2014, p. 15), “Ao introduzir essa maneira de abordar o comportamento da radiação em interação com a matéria (um retorno à teoria corpuscular de Newton, ou *teoria de emissão*), Einstein não conseguiu convencer a comunidade de físicos”<sup>12</sup>.

Na citada obra *Óptica*, Newton esclarece que os raios de luz assumem um estado transitório na passagem através de qualquer superfície refratora:

*Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, assume uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno o raio tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela* (NEWTON, 1996, p. 210).

---

<sup>12</sup> Referenciado na teoria newtoniana dos acessos, Nussenzveig (1998, p. 1) afirma que “As ideias de Newton combinavam as teorias corpuscular e ondulatória, lembrando um pouco a atual teoria quântica.”.

Mais adiante, ele diz:

*Esta reflexão e refração alternada depende de ambas as superfícies de cada lâmina, porque depende de suas distâncias. Pela Observação 21, se molharmos uma ou outra superfície de uma lâmina fina de moscovita [um tipo de mica], as cores produzidas por essa reflexão e refração alternada tornam-se mais fracas; portanto, elas dependem de ambas as superfícies.*

*Assim ela se efetua na segunda superfície, pois caso se efetuasse na primeira, antes de os raios chegarem à segunda ela não dependeria desta última.*

*Além disso ela é influenciada por alguma ação ou tendência propagada da primeira para a segunda, porque do contrário, na segunda, ela não dependeria da primeira. E essa ação ou tendência, em sua propagação, cessa e retorna a intervalos iguais, porque em toda a sua trajetória ela faz com que o raio a uma dada distância da primeira superfície tenda a ser refletido pela segunda, e a uma outra a ser transmitido por ela, isso a intervalos iguais e por uma mudança inumerável. [...].*

*Que tipo de ação ou tendência é essa, se consiste num movimento circular ou vibratório do raio, ou do meio, ou de alguma outra coisa, não o indago aqui. Aqueles que se negam a admitir quaisquer novas descobertas, exceto as que conseguem explicar por uma hipótese [reflexo das controvérsias que durante anos opuseram Newton a Hooke e a Huygens], poderão supor que, assim como as pedras ao cair na água conferem a esta um movimento ondulatório, e assim como todos os corpos produzem vibrações no ar por percussão, assim os raios de luz, chocando-se com qualquer superfície refratora ou refletora, produzem vibrações no meio ou substância refratora ou refletora [o éter; ver Questão 18, da Óptica, de Newton] e, assim fazendo, agitam as partes sólidas do corpo refrator ou refletor e, agitando-o, fazem com que o corpo se torne morno ou quente; que as vibrações assim produzidas se propagam no meio ou substância refratora da mesma maneira que as vibrações se propagam no ar para causar o som [grifo nosso] e se movem mais rápido do que os raios, de modo a ultrapassá-los; e que, quando qualquer raio está naquela parte da vibração que contribui para o seu movimento, ele irrompe facilmente através de uma superfície refratora, mas quando está na parte oposta da vibração, que lhe impede o movimento, é facilmente refletido; e, por consequência, que todo raio tende sucessivamente a ser facilmente refletido ou facilmente transmitido por toda vibração que o ultrapassa. Mas se tal hipótese é verdadeira ou falsa é coisa que não considero aqui. Contento-me com a simples descoberta de que os raios de luz tendem alternadamente, por uma ou outra razão, a ser refletidos ou refratados por um grande número de mudanças regulares (NEWTON, 1996, p. 211-12).*

Em seguida, ele define:

*Chamarei estado [fit] de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio para ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados [fits] de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno e o retorno seguinte, intervalo de seus estados (NEWTON, 1996, p. 212).*

No Livro III, ao considerar que seu projeto ainda não estava concluído, Newton relaciona uma série de *Questões* “na expectativa de que uma pesquisa adicional seja feita por outros” (NEWTON, 1996, p. 250). Tais *Questões* revelam muito do seu pensamento sobre os temas ali tratados, apesar de não se constituírem em afirmações categóricas sobre os mesmos<sup>13</sup>. Na parte final da *Óptica*, na *Questão 17*, ele volta ao assunto:

*Questão 17. Se uma pedra for lançada em água estagnada, as ondas assim excitadas continuam a surgir durante algum tempo no lugar onde a pedra caiu na água e dali se propagam em círculos concêntricos a grandes distâncias sobre a superfície da água. E as vibrações ou tremores excitados no ar continuam durante algum tempo a mover-se a grandes distâncias a partir do lugar de percussão em esferas concêntricas. E, de maneira semelhante, quando um raio de luz incide sobre a superfície de qualquer corpo transparente, e ali é refratado ou refletido, não podem as ondas de vibração [grifo nosso], ou tremores, ser excitadas no meio refrator ou refletor no ponto de incidência e continuar a surgir ali e a se propagar por tanto tempo quanto continuam a surgir e a se propagar, quando são excitadas no fundo dos olhos pela pressão ou movimento do dedo ou pela luz que procede da brasa nas experiências mencionadas acima? E essas vibrações não se propagam a grandes distâncias a partir do ponto de incidência? E elas não ultrapassam os raios de luz, e, ao ultrapassá-los sucessivamente, não os colocam nos estados [fits] de fácil reflexão e fácil transmissão, acima descritos? Pois se os raios se esforçam por afastar-se da parte mais densa da vibração, eles podem ser alternativamente acelerados e retardados pelas vibrações que os alcançam. [grifo nosso]* (NEWTON, 1996, p. 256).

#### **IV. Aspectos de onda e de corpúsculo na teoria newtoniana da luz, na visão de alguns físicos de períodos posteriores ao de Newton**

Nesta seção, pretende-se mostrar como alguns físicos ou cientistas importantes, dos séculos XIX e XX, referiram-se a aspectos de corpúsculo e de onda na teoria newtoniana da luz, em especial às explicações newtonianas do fenômeno das cores em películas transparentes delgadas. Será mostrado que não só Nussenzveig, citado anteriormente, mas também outros estudiosos, como os físicos ou cientistas britânicos Thomas Young (1773-1829) e Edmund Whittaker (1873-1956), viram tais aspectos na teoria newtoniana. Young, por exemplo, no contexto de ressurgimento da teoria ondulatória, no início do século XIX, após cem anos de domínio da óptica de Newton, foi um dos primeiros a escrever claramente sobre isso. Ele o fez em *A Syllabus of a Course of Lecture on Natural and Experimental Philosophy*, de 1802, após perceber que fenômenos ópticos importantes por ele descobertos

---

<sup>13</sup> Na *Questão 29*, Newton escreve: “Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham? Pois...” (NEWTON, 1996, p. 271). Note que, em 1704, nessa passagem do livro *Óptica*, Newton não afirma categoricamente que a luz é como corpúsculo. Mas passagens como essa foram consideradas – pelos seus contemporâneos e por cientistas posteriores - evidências de que Newton defendia a teoria corpuscular da luz, ou teoria da emissão.

(figura de interferência produzida por duas fendas, por exemplo) podiam ser mais facilmente explicados, considerando a própria luz como onda no éter<sup>14</sup> e não, como admitia Newton, como partícula interagindo com ondas no éter<sup>15</sup>. No Item 378 de *A Syllabus of a Course of Lecture on Natural and Experimental Philosophy*, Young começa afirmando que “desde o tempo de Empédocles e Aristóteles os filósofos têm-se dividido a respeito da natureza da luz” (YOUNG, 1802b, p. 114). De acordo com Young, enquanto, de um lado, Empédocles e outros defendiam um sistema em que considerava a luz como uma emanção de partículas separadas, Aristóteles, de outro, considerava a luz um impulso transmitido através das partículas sucessivas de um meio contínuo, o que, no século XVII, foi assumido também, com várias modificações, por Descartes, Hooke e Huygens.

Mais adiante, Young diz textualmente: “Newton tentou combinar as duas teorias, mas, para explicar os fenômenos mais gerais, ele empregou o sistema de Empédocles da emanção de corpúsculos separados” (YOUNG, 1802b, p. 115).

Diferentemente de Descartes, Hooke e Huygens, Newton tentou combinar as duas teorias ou concepções, desenvolvidas em séculos anteriores, procurando formular uma teoria corpuscular que recorria a ondas ou vibrações no éter (com as quais o raio de luz interagia) para levar em conta as propriedades ondulatórias do fenômeno luminoso.

Em outras oportunidades Young já tinha tratado desse mesmo problema da natureza da luz, comparando a (incompleta) teoria newtoniana para a luz com a teoria (ondulatória) que ele próprio estava desenvolvendo. Ele fez isso, por exemplo, nas *Bakerian Lecture*, de 1802 (lida na R. Society em novembro de 1801) (YOUNG, 1802a, p. 14; SILVA, 2009), onde cita explicitamente vários pontos de coincidência entre a sua teoria e algumas passagens selecionadas da obra de Newton, em que este admite, por exemplo, a ideia do éter e da transmissão de suas vibrações. A ideia do éter era indispensável para Young e nada melhor que se apoiar em Newton para justificar a sua posição (desde que os trabalhos de Newton assim o permitissem). Na época, era impensável (e ainda hoje é difícil imaginar) uma teoria ondulatória sem um meio de propagação das ondulações e a ideia do éter removia essa dificuldade, pelo menos em parte. Sobre os pontos de coincidência, ele cita explicitamente um trecho da resposta a Hooke, de 1672 (referida na seção III, deste artigo) em que Newton afirma serem as vibrações do éter igualmente úteis e necessárias nas teorias de ambos. Cita também um trecho de uma publicação de 1675, em que Newton reafirma a ideia do éter. E recorre ainda à *Questão 18*, da citada obra *Óptica*, que discute a transmissão do calor através do vácuo pelas vibrações do éter, o mesmo meio por cujas vibrações a luz comunicaria o calor

---

<sup>14</sup> “A luz radiante consiste de ondulações no éter” (YOUNG, 1802a, p. 44).

<sup>15</sup> Young (1802a, p.45) reconheceu que havia diferenças importantes entre as suas ideias e as de Newton, especialmente no que dizia respeito à constituição da luz. “É claramente assegurado por Newton, que haja ondulações, embora ele negue que elas constituam luz”. Na página 16 desse mesmo trabalho, Young diz que usa a palavra ondulação em preferência a vibração, “porque vibração é geralmente entendida como implicando em um movimento que é continuamente alternado para frente e para trás”, enquanto “uma ondulação é suposta consistir de um movimento vibratório transmitido sucessivamente através de diferentes partes de um meio”.

aos corpos e é colocada em acesso de fácil reflexão e fácil transmissão. Note que, estamos aqui nos atendo ao que Young escreveu, sem fazer juízo de valor sobre suas motivações ao destacar tais passagens (de aspectos ondulatórios) da obra de Newton, isso não nos impede de dizer, entretanto, que a hipótese de que ele teria citado passagens dos trabalhos de Newton *apenas* para legitimar a sua própria teoria não parece proceder, pois i) Young dizia claramente que Newton nega que as ondulações constituam luz (“É claramente assegurado por Newton, que haja ondulações, embora ele negue que elas constituam luz”), e ii) Newton, de fato, usou ideias ondulatórias (ondas no éter, excitadas pelos raios de luz) na explicação do fenômeno das cores, sem dizer que a luz é como onda, conforme esclarecido anteriormente. Deixa-se ao leitor então julgar quais teriam sido as motivações de Young.

A originalidade das ideias newtoniana dos acessos ou estados de fácil reflexão e fácil transmissão não se revela somente pelo que foi dito até aqui. No contexto de ressurgimento da teoria corpuscular, início do século XX, período em que prevalecia a teoria ondulatória de James Maxwell (1831-1879), IEdmund Whittaker, um físico-matemático e autor do livro clássico intitulado *A History of Theories of Aether and Electricity* (a 1ª edição é de 1910), afirma:

*Newton deu considerável atenção às cores em lâminas delgadas, e determinou a lei empírica do fenômeno com grande precisão. A fim de explicá-la ele supôs que ‘todo raio de luz [“as partes mínimas da luz...”], em sua passagem através de qualquer superfície refratora é colocada em uma certa constituição ou estado transitório, o qual, no progresso do raio, retorna a iguais intervalos, e dispõe o raio, em cada retorno, a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela’. O intervalo entre duas disposições consecutivas de fácil transmissão ou ‘comprimento do acesso’ [‘length of fit’] varia, como ele achou, com a cor, sendo maior para a luz vermelha e menor para a violeta. Se então um raio de luz homogênea incide sobre uma película delgada, sua sorte quando considerada a reflexão e transmissão nas duas superfícies dependerá da relação entre o comprimento do acesso e a espessura da película; e sobre essas bases ele construiu sua teoria das cores em películas finas. É evidente que o ‘comprimento do acesso’ da teoria de Newton corresponde em alguma medida à quantidade que na teoria ondulatória é chamada comprimento de onda da luz; mas a teoria dos acessos de fácil transmissão e fácil reflexão embora sirva para explicar com sucesso fenômenos que não eram conhecidos até o tempo de Newton, foi abandonada depois do triunfo da teoria de onda no século dezanove (WHITTAKER, 1973, p. 21).*

A obra de Whittaker, publicada em 1910, como citado, foi revisada e ampliada na edição de 1951, reimpressa em 1958 e 1973, já, portanto, na segunda metade do século XX. Nessa edição, Whittaker (1973, p. 22) vai mais adiante e considera haver correspondência entre os “acessos de fácil transmissão e fácil reflexão” e determinado conceito da mecânica

quântica (formulada na década de 1920). Essa discussão, entretanto, não será objeto de nossa atenção aqui, conforme foi anunciado na Introdução deste artigo.

Orientando-se na mesma direção de Young, o físico norte-americano Eugene Hecht (1933- ) autor do livro intitulado *Óptica*, considerado padrão nos cursos universitários de física, publicado em 1991, escreve que Newton

*Defendeu que os corpúsculos de luz associados às várias cores geravam no éter vibrações características. A sensação de vermelho devia corresponder à mais longa vibração do éter e a violeta à menor. Apesar do seu trabalho revelar uma curiosa propensão para, simultaneamente, abarcar as teorias ondulatória e de emissão (corpúscular), Newton tornou-se progressivamente adepto desta última (HECHT, 1991, p. 4).*

Na sua teoria, como já referido, Newton levava em conta o aspecto de onda do fenômeno luminoso, em termos de ondas ou vibrações no éter que interagiam com o raio de luz.

O físico brasileiro André Koch Torres Assis (1962- ), por sua vez, na nota de *Apresentação* de seu trabalho de tradução para o português do citado livro, *Óptica*, de Newton, publicado, em 1996, sintetiza a relação estabelecida por Newton entre luz, éter e matéria nos seguintes termos:

*Newton advoga uma interconexão entre os corpúsculos de luz, o éter e a matéria. O éter e suas ondas ou vibrações seriam os intermediários entre a luz e a matéria. As vibrações do éter seriam mais rápidas que a velocidade da luz e, ao ultrapassá-la, ele colocaria a luz alternadamente em estados [fits] de fácil reflexão e fácil refração [conceito introduzido por Newton para explicar a forma dos anéis de cores]. Para Newton a luz ao ser refletida ou refratada excita vibrações no éter e seria através dessas vibrações que a luz transmitiria o calor aos corpos. Não só a refração seria causada por diferentes densidades desse éter, como também a gravitação seria provocada por um princípio semelhante. Apesar de Newton aceitar a existência de um éter e de suas vibrações, e da conexão éter-luz-matéria, a luz seria distinta dessas vibrações do éter (NEWTON, 1996, p. 24).*

Na citada nota de *Apresentação*, Assis afirma ainda que o interesse pela *Óptica* de Newton tem aumentado desde a reedição de 1931, em Londres (após mais de 130 anos sem ser reeditada), motivada principalmente pelo renascimento do modelo corpuscular da luz com os trabalhos de Einstein, Compton e outros e, naturalmente, com o nascimento da teoria quântica de Planck. Assis adverte, entretanto, que “não se deve superestimar as analogias entre os corpúsculos de luz de Newton e os fótons ou *quanta* de luz do século XX”, nem “as interconexões entre os corpúsculos de luz e as ondas ou vibrações do éter de Newton” (NEWTON, 1996, p. 24), pois a física do século XX é o resultado de conceitos e descobertas que não podiam ser previstos na época de Newton. Quanto a isso não há o que discordar. É claro que não devemos superestimar as analogias. Mas não deixa de ser admirável a intuição

de Newton – no contexto em que se encontrava – de que o fenômeno das cores em películas transparentes delgadas, não podia ser explicado apenas concebendo a luz como partícula (clássica), sem levar em conta os aspectos ondulatórios intrínsecos a esse fenômeno, mesmo que tais aspectos viessem associados a ondas em um meio sutil e misterioso, o éter, com o qual o raio de luz interagia.

Falando livremente sobre esse tema, o reconhecido físico brasileiro Mário Schenberg (1914-1990) afirma:

*Ao contrário do que os livros dizem, ele [Newton], [...], não tinha dúvida de que a luz tinha uma dupla natureza. [...] Mas o homem era terrível, porque achava que de alguma maneira o aspecto corpuscular deveria ser o mais importante. Dizia que havia o aspecto ondulatório, sem dúvida, mas, de certo modo, a luz deveria ser composta de partículas. Isto é o que pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias* (SCHENBERG, 1985, p. 32).

As propriedades ondulatórias do fenômeno luminoso (ou da própria luz, como queria Schenberg, mas não sem críticas de profissionais da área de história da ciência) eram levadas em conta na teoria corpuscular de Newton em termos de ondas ou vibrações no éter que interagiam com o raio de luz e o colocavam em “acessos de fácil reflexão e fácil transmissão”, o que, certamente, para Schenberg, como físico de espírito crítico, interessado na origem dos conceitos da Física, não causava dificuldade para a sua interpretação da essência das ideias de Newton. Essas ideias de Schenberg estão em consonância com o que afirma Westfall, citado anteriormente, quando se refere à periodicidade como uma propriedade da própria luz. De acordo com Westfall (1980, p. 221), “[...] periodicidade desempenhou o papel central na superação da concepção corpuscular newtoniana da luz no século XIX, embora ele [Newton] tenha visto suas observações inicialmente como um suporte para a corpuscularidade”.

Hoje consideramos a luz como constituída de partículas *especiais*, os fótons, e, de acordo com o físico norte-americano Richard Feynman (1918-1988):

*Foi uma sorte para nós que Newton se tivesse convencido de que a luz é <corpúsculos> porque sabemos o que uma mente fresca e inteligente passa quando olha para esse fenômeno de reflexão parcial por duas ou mais superfícies e o tenta explicar* (FEYNMAN, 1985, p. 40).

Mas se a luz é como partícula é oportuno então perguntar: o que é mesmo que oscila quando se considera a luz como sendo constituída por fótons?

Deixemos Eugene Hecht responder:

*[...] o que oscila é a amplitude de probabilidade associada ao fóton! Uma quantidade que se propaga como uma onda e que descreve todo o conjunto de efeitos de interferências. Por exemplo, na experiência da dupla fenda de Young, a amplitude de probabilidade dos fótons no seu estado final é igual à soma de duas*

*amplitudes, cada uma delas associada à passagem de fótons através de uma das fendas* (HECHT, 1991, p. 576).

Em outra passagem de seu citado livro *Óptica*, Hecht escreve: “[...] a superposição de ondas eletromagnéticas é um eufemismo para um outro conceito, o de interferência entre amplitudes de probabilidades distintas” (HECHT (1991, p. 37).

Se o éter e suas ondas ou vibrações soam hoje misteriosos, as amplitudes de probabilidades que se propagam como uma onda, usadas atualmente para descrever o comportamento da luz, não parecem soar diferentes. O que seriam essas amplitudes de probabilidade que se propagam como onda? Seriam apenas abstrações matemáticas? Não teriam realidade física? Note que quando Feynman afirma que a luz é como partícula, conforme também Newton admitida, ele não tem como deixar de falar (em seus trabalhos em Eletrodinâmica Quântica) de *amplitudes de probabilidade* (que se propagam como onda) para dar conta das evidências experimentais que escapam à ideia clássica de corpúsculo.

O problema da natureza da luz talvez possa ser sintetizado pela citação de Hecht, apresentada a seguir, quanto aos limites da nossa linguagem para descrever as fortes evidências experimentais, atuais, de que a luz (e a matéria) tem uma dupla natureza, isto é, pode ter propriedades ondulatórias sob certas circunstâncias e corpusculares sob outras. De acordo com Hecht:

*Uma linguagem limitada permite utilizar conjuntos limitados de palavras que sugerem conceitos à medida da experiência que cada um acumula. A percepção possível do ambiente circundante é função da atividade sensorial. Apesar de parecer lógico, não deixa de ser ingênuo pensar-se que as entidades submicroscópicas podem ser descritas com o auxílio de imagens macroscópicas: nem os elétrons se comportam como bolas de bilhar minúsculas, nem a luz pode ser descrita de modo semelhante às ondas do oceano. Ondas e partículas são conceitos do universo macroscópico que perdem a sua aplicabilidade à medida que abordam os fenômenos do universo submicroscópico* (HECHT, 1991, p. 574).

Não é de admirar, portanto, que o problema da natureza da luz, ou de sua dupla natureza, continue causando tanta discussão.

## **V. Considerações finais**

Neste artigo foi mostrado que Newton (que, em seus trabalhos, defendia implicitamente a concepção corpuscular da luz) tinha consciência de que não só o aspecto de corpúsculo mas também o de onda eram necessários a uma *teoria* que se propusesse a explicar os variados fenômenos luminosos, em especial o fenômeno das cores em películas transparentes delgadas (explicado hoje em termos de interferência de ondas, um fenômeno tipicamente ondulatório), mesmo que o aspecto de onda do fenômeno luminoso, ou da própria

luz, como queria Schenberg, viesse associado a ondas ou vibrações no éter, que colocavam o raio de luz em “acessos de fácil reflexão e fácil transmissão”.

Foi mostrado também que físicos reconhecidos pela comunidade científica, a exemplo de Thomas Young, Edmund Whittaker, Moysés Nussenzveig, Mário Schenberg e Engene Hecht, em períodos posteriores a Newton, viram aspectos de corpúsculo e de onda nos seus trabalhos, prevalecendo entre eles a ideia de que Newton tinha uma propensão para, simultaneamente, abarcar as teorias ondulatória e de emissão (corpúscular). Além disso, foi lembrado também que as visões de profissionais de áreas diferentes sobre temas de interesse comum, nem sempre são coincidentes.

Finalmente, foi salientado que as dificuldades para descrever entidades microscópicas, ou melhor, submicroscópicas, por meio dos conceitos de onda e de corpúsculo resultam do fato de esses conceitos serem do universo macroscópico e perderem a sua aplicabilidade à medida que são usados para explicar os fenômenos do mundo dos átomos.

## Referências

BARROS, M. A. Uma análise histórica do princípio de Fermat e suas implicações no ensino da reflexão e da refração da luz. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVIII, 2009. **Anais...** Disponível em:

<[http://www.ciencia.iao.usp.br/dados/snef/\\_umaanalisehistoricadopri.trabalho.pdf](http://www.ciencia.iao.usp.br/dados/snef/_umaanalisehistoricadopri.trabalho.pdf)>. Acesso em: 23 mai. 2018.

BASSALO, J. M. F. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 3, n. 3, p. 138-159, dez. 1986.

BÜTTNER, J. *et al.* Exploring the limits of classical physics – Planck, Einstein, and the structure of a scientific revolution. In: BÜTTNER, J. *et al.* **Revisiting the quantum discontinuity**. 2000. Disponível em: <<https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/sites/default/files/Preprints/P150.pdf>>. Acesso em: 9 mai. 2020.

DESCARTES, R. Refraction of Light. Extrato do *La Dioptrique*, publicado em 1637 como um suplemento ao *Discours de la Methode*. In: MAGIE, F. W. **A source book in Physics**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1969.

FEYNMAN, R. **QED: A Estranha Teoria da Luz e da Matéria**. Lisboa: Gradiva, 1985.

GILBERT, A. **Origens Históricas da Física Modern**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982.

HALLIDAY, D; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1991.

HECHT, E. **Óptica**. 1. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1991.

HOOKE, R. **Micrografia**, 1665. Disponível em:

<[https://docs.google.com/file/d/0B9bX852JMJ\\_\\_OWNhODRmMmItMGFjNC00YjFjLWFkNjgtODg1NzEzOTczMWYz/edit?ddrp=1&pli=1&hl=en](https://docs.google.com/file/d/0B9bX852JMJ__OWNhODRmMmItMGFjNC00YjFjLWFkNjgtODg1NzEzOTczMWYz/edit?ddrp=1&pli=1&hl=en)>. Acesso em: 16 mai. 2020.

HUYGENS, C. Tratado sobre a Luz. In. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Suplemento 4, 1986.

JUNGES, A. I. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 2, p. 455-491, ago. 2018.

MARTINS, R. de A.; ROSA, P. S. **História da teoria quântica – a dualidade onda-partícula de Einstein a De Broglie**. São Paulo: LF Editorial, 2014.

MOURA, B. A; SILVA, C. C. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 2, n. 3, Sept. 2008.

NEWTON, I. **Philosophical Transaction**, v. 88, p. 5086, 1672. Disponível em: <<http://strangebeautiful.com/other-texts/newton-papers-letter-nat-phil-cohen-ed.pdf>>. p. 129. Acesso em: 21 nov. 2019.

NEWTON, I. **The History of the Royal Society**, v. 3 (London: 1757), p. 248. Disponível em: <<http://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/diplomatic/NATP00002>>. Acesso em: 11 mai. 2020.

NEWTON, I. **Opticks**. New York: Dover Publications, Inc., 1979.

NEWTON, I. **Mathematical Principles of Natural Philosophy**. Los Angeles: University California Press, 1990.

NEWTON, I. **Óptica**. São Paulo: Edusp, 1996.

NUSSENZVEIG, M. Curso ministrado na Escola “Jorge André Swieca”, Campinas, 1994.

NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física Básica**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1998. v. 4.

PORTO, C. M. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, São Paulo, out./dez. 2013.

ROSMORDUC, J. **De Tales a Einstein: história da física e da química**. Lisboa: Editorial Caminho, 1983.

SCHENBERG, M. **Pensando a Física**. 2. ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1985.

SILVA, F. W. O. da. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 1601, 2009.

VIDEIRA, A. A. P. Breves considerações sobre a natureza do método científico. In: SILVA, C. C. **Estudos de História e Filosofia das Ciências**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

WESTFALL, R. S. **Never at Rest – A Biography of Isaac Newton**. New York: Cambridge University Press, 1980.

WHITTAKER, E. **A History of Theories of Aether and Electricity**. New York: Humanities Press, 1973.

YOUNG, T. **Phil. Trans. R. Soc. Lond.** 1802 92, 12-48, published 1 January 1802a (The Bakerian Lecture: On the Theory of Light and Colours, 1802, p. 44. Lido na Royal Society em 12 de novembro de 1801). Disponível em:  
<<http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/92/12.full.pdf+html>>. Acesso em: 3 ago. 2017.

YOUNG, T. **A syllabus of a course of lecture on natural and experimental Philosophy**, 1802b, p. 114. Disponível em:  
<[https://www.irphe.fr/~clanet/otherpaperfile/articles/Young/N0215297\\_PDF\\_1\\_199.pdf](https://www.irphe.fr/~clanet/otherpaperfile/articles/Young/N0215297_PDF_1_199.pdf)>. Acesso em: 3 ago. 2017.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).