

Empédocles



Câmara escura

Tentáculos de fogo

Desde a Antiguidade, a natureza da luz sempre foi tema de questionamento e debate. Para a escola hindu Vaisheshika (cerca de 600 a.C.), a luz era formada por tejas, partículas velozes de fogo.

No mesmo período, na Grécia, o filósofo Leucipo (c. 500 a.C.), adepto das ideias atomistas, defendia que a luz era formada por eidola, partículas que, emitidas pelos objetos, carregavam informação sobre a cor e a forma desses corpos até nossos olhos. Para Empédocles (493-430 a.C.), porém, era a visão que emitia a luz – os 'tentáculos de fogo' – que chegava até os corpos.

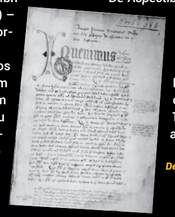
Aristóteles concebeu a luz como imaterial, pois esta não poderia, a seu ver, ocupar o mesmo lugar no espaço dos quatro elementos (água, terra, fogo e ar) formadores do mundo terrestre.

No auge da chamada era de ouro da ciência árabe, no século 11, a ideia de um 'fogo interno' de Empédocles foi contestada por Al-Hasan Ibn Al-Haytham (965-c.1040) – ou apenas Alhazen, na forma latinizada tardia. Alhazen mostrou que os raios de luz penetravam os olhos e não emanavam destes, como postulou Empédocles. Seu trabalho sobre óptica e visão combinou técnicas experimentais – uso da câmara escura, por exemplo – com provas geométricas.

Defendeu que a luz era formada por diminutas partículas que viajariam em linha reta e com velocidade finita – hoje, sabemos que ela é de 300 mil km/s no vácuo. Para ele, a refração (passagem da luz de um meio para outro) podia ser explicada pelo fato de tais corpúsculos terem velocidades diferentes em meios diferentes, ideia que seria retomada cerca de sete séculos mais tarde, no auge da Revolução Científica, na Europa.

Especialistas no período afirmam que Alhazen foi pioneiro da física experimental e do método científico moderno, com base no valor que dava à experimentação e ao questionamento. Pelas ideias contidas em *O livro da óptica* (ou *das visões*) – a mais famosa de suas 50 obras (de um total de 96) que sobreviveram –, Alhazen é, por vezes, denominado pai da óptica moderna.

Traduzido para o latim com o título *De Aspectibus*, o livro influenciou, nos séculos seguintes, vários estudiosos, como o britânico Roger Bacon (1214-1294), o alemão Johannes Kepler (1571-1630), o francês René Descartes (1596-1650) e o holandês Christiaan Huygens (1629-1695).



De Aspectibus

PRESIDENTA DA REPÚBLICA
Dilma Rousseff

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
José Aldo Rebelo Figueiredo

SUBSECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA
Adalberto Fazzio

DIRETOR DO CBPF
Fernando Lázaro Freire Júnior

CURADOR DA EXPOSIÇÃO
Ivan dos Santos Oliveira Júnior

PESQUISA, REDAÇÃO E EDIÇÃO
Cássio Leite Vieira (ICH) e Antonio Augusto Passos Videira (UERJ)

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO E TRATAMENTO DE IMAGENS
Ampersand Comunicação Gráfica
www.amperdesign.com.br

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290-180 - Rio de Janeiro - RJ
Tel: (0xx21) 2141-7100
Internet: http://www.cbpf.br

2015 - ANO INTERNACIONAL DA LUZ

CIÊNCIA HOJE

CBPF CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

GOVERNO FEDERAL BRASIL PÁTRIA EDUCADORA

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AL-KHALILI, J. 'Book of optics' (In Retrospect). *Nature* v. 518, p. 164-165, 12/02/2015.

BAIERLEIN, R. *Newton to Einstein - the trail of light*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

CASSIDY, D. C. *Einstein and our world*. Amherst: Humanity Books, 2004.

CIÊNCIA HOJE. 'Mulçumano pioneiro da óptica', n. 324 (abril de 2015).

DAVIDOVICH, L. 'A óptica quântica e a luz do século 20'. *Ciência Hoje* v. 323, pp. 17-21, março de 2015.

FORATO, T. C. M. 'As múltiplas faces da luz'. *Ciência Hoje* v. 322, pp. 34-38, janeiro/fevereiro de 2015.

KRAGH, H. 'Photon: new light on an old name'. Disponível em http://arxiv.org/abs/1401.0293

KUHLMANN, M. 'The history of QFT'. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Disponível em: http://stanford.io/192P9OZ

LEWIS, G. N. 'The conservation of photons'. *Nature* v. 118, p. 874-875, 1926.

LIGHT2015.ORG. 'A brief history of light'. Disponível em: http://bit.ly/1wRFdm9

LIGHT2015.ORG. 'About the Year of Light'. Disponível em: http://bit.ly/1w1ht7M

LIGHT2015.ORG. 'Discoverers of light'. Disponível em: http://bit.ly/1GfEjiA

LIGHT2015.ORG. 'Ibn Al-Haytham and the legacy of Arabic optics'. Disponível em: http://bit.ly/1E6huhG

NATURE. 'Light fantastic', v. 518, p. 153, 12 de fevereiro de 2015.

NATURE. 'Milestones - Photons'. Maio de 2010, pp. S5-S20.

RASHED, R. 'A polymath in the 10th century'. *Science*, v. 297, p. 773, 02 de agosto de 2002.

SABRA, A. I. 'Ibn al-Haytham - brief life of an Arab mathematician: died circa 1040'. *Harvard Magazine* set/out, p. 54, 2003.

STACHEL, J. 'Einstein and the quantum: fifty years of struggle'. In: John Stachel, *Einstein from 'B' to 'Z'*. Boston: Birkhäuser, 2002.

ANO INTERNACIONAL DA

LUZ

Onda, corpúsculo e simbolismo a serviço da humanidade

Ao longo da história,

os humanos enfrentaram seus temores empunhando uma poderosa clava: a luz. Com esse elemento (ora simbólico, ora material), iluminamos a noite, vencemos as trevas, combatemos o mal, afastamos a perdição, enfrentamos a morte, derrotamos a ignorância, dissipamos as dúvidas, perscrutamos o céu...

A história do universo – incluindo nesse roteiro o surgimento da vida – está intimamente ligada a essa onda eletromagnética, fenômeno que a física começou a domar no século 19.

De certa forma, a física unificou essa história de extremos, ao mostrar que a luz é tanto onda quanto corpúsculo e ao unificar, em uma visão complementar, a dualidade entre o contínuo ondulatório e o descontínuo corpuscular. Na visão científica contemporânea, a luz é ambos, mas (misteriosamente) nunca apresenta simultaneamente essa dupla faceta.

Há várias maneiras de iniciar uma história da luz. Do ponto de vista da física, o mais conveniente, talvez, seja começar esse relato há 13,8 bilhões de anos. Ou, mais especificamente, cerca de 350 mil mais tarde, quando o universo – ao ser resfriar e atingir cerca de 4 mil graus – permitiu a formação de átomos neutros. Nesse cenário, a luz, livre das interações com as partículas eletricamente carregadas, passou a viajar grandes distâncias.

Em 1965, essa luz primeva foi detectada pela ciência, reforçando a ideia de que o universo teve um início e, a partir dele, se expandiu, formando, entre tantas outras estruturas cósmicas, galáxias e estrelas.

Antes da ciência, várias religiões também trataram de dar explicações para a origem da luz. Um desses relatos está na *Bíblia*, em Gênesis (1:3), resumido na frase, em latim, "Fiat lux" (Haja luz): a partir daí, a luz, recém-criada, por ter sido considerada boa, foi separada das trevas. Surgiu, então, o primeiro dia.

ONDA E CORPÚSCULO

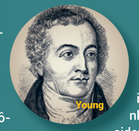
Huygens, ao fazer uma comparação com o som, definiu a luz como uma vibração no éter (meio invisível e imperceptível), conceito que foi criticado pelo físico inglês Isaac Newton (1642-1727), defensor da natureza corpuscular da luz, apresentada em sua obra *Óptica*, de 1704. Apenas no início do século passado é que o éter como suporte para a luz seria descartado, marcando um período revolucionário da física.


Huygens

Com sua visão corpuscular, Newton explicou por que cores diferentes sofrem desvios distintos ao penetrarem um prisma. Suas ideias sobre a luz predominaram ao longo do século 18 – exceção para a França e Alemanha, onde a visão ondulatória resistiu, graças, respectivamente, à influência dos trabalhos de Descartes e Leonhard Euler (1707-1783).


Newton

A natureza ondulatória da luz voltaria à cena quando, em 1801, o polímata inglês Thomas Young (1773-1829) fez o chamado experimento da dupla fenda, no qual a luz apresenta a interferência, fenômeno típico das ondas, marcado por áreas ou franjas claras e escuras.

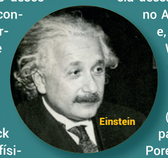

Young

O caráter ondulatório da luz foi reforçado pelo que é hoje um marco teórico da física: as equações – inicialmente, 20 delas; mais tarde, reduzidas a quatro – de James Clerk Maxwell (1831-1879). Com elas, o físico escocês mostrou que a luz visível era uma onda eletromagnética, unificando assim a óptica, a eletricidade e o magnetismo.


Maxwell

Essa visão ondulatória seria desafiada – não sem polêmica – por um dos cinco artigos publicados pelo físico de origem alemã Albert Einstein (1879-1955) em 1905 – que, pelo alcance dos trabalhos, ganhou o nome de Ano Miraculoso.

Naquele artigo, Einstein explicou o efeito fotoelétrico, fenômeno em que a luz arranca elétrons de uma superfície metálica. Para isso, o jovem (e então desconhecido) físico teórico considerou a luz como um corpúsculo, que denominou *quantum* de luz (mais tarde, batizado fóton).


Einstein

Essa ideia de Einstein foi inspirada no *quantum* de energia, proposto, cinco anos antes, por Max Planck (1858-1947). Esse físico teórico alemão concluiu – não sem relutância – que, na natureza, a energia é gerada e absorvida em diminutos pacotes (os *quanta*). Esse conceito inaugurou a física quântica, que lida com os fenômenos do universo atômico e subatômico.

O *quantum* de luz foi recebido com ceticismo por muitos – até mesmo por Planck. Alguns historiadores da ciência, como o norte-americano David C. Cassidy, defendem que Einstein foi o único cientista a acreditar na realidade dos fótons entre 1905 e os experimentos que, mais tarde, dissipariam as dúvidas sobre a existência dessa partícula, feitos pelo norte-americano Arthur Compton (1892-1962), em 1923, e, dois anos depois, pelos alemães Walther Bothe (1891-1947) e Hans Geiger (1882-1945).


Planck

É comum atribuir ao físico-químico norte-americano Gilbert Lewis (1875-1946) a denominação fóton para o *quantum* de luz de Einstein. Porém, Lewis, ao usar esse termo, em artigo de 1926, refere-se a algo bem diferente: um novo tipo de átomo, carregador da luz. O termo fóton foi usado, pelo menos, quatro vezes antes disso: três em contextos da percepção visual e um (também em 1926) relacionado à óptica física.

Uma teoria matematicamente precisa sobre o fóton seria desenvolvida, em 1927, pelo físico inglês Paul Dirac (1902-1984). Apesar desse sólido corpo teórico erigido por Dirac e ampliado posteriormente por outros físicos renomados, Einstein, em carta de 12/12/1951, ao colega de longa data Michele Besso (1873-1955), escreveu que qualquer um parecia saber a resposta para a pergunta 'O que é um *quantum* de luz?', mas que todos, na verdade, estariam enganados.


Dirac

De certo modo, essa questão, não obstante todos os avanços nestes últimos 60 anos, ainda guarda mistério – afinal, por que a luz se comporta de modo dual? Apesar disso, a física (especialmente, a fotônica) soube aproveitar essa dualidade para chegar a desenvolvimentos extraordinários relativos, por exemplo, à emissão, detecção, modulação e amplificação da luz.

LUZ DO SÉCULO 20

Em 1916, em uma série de três artigos, Einstein concluiu o que aconteceria quando um átomo interagisse com a luz. Em um desses cenários, ocorreria a chamada emissão estimulada, quando um átomo excitado – ou seja, que ganhou energia –, na presença de um fóton, acaba emitindo outro fóton, com a mesma direção e energia que o primeiro.

Esses trabalhos estão na origem de uma área que se desenvolveria décadas depois: a óptica quântica, que hoje é capaz de aprisionar e estudar isoladamente um único fóton.

Cerca de meio século depois, a emissão estimulada foi a base para a construção dos primeiros *masers* (micro-ondas) e *lasers* (luz visível).

É quase impossível imaginar hoje nossa sociedade sem o *laser* – e este sem os desenvolvimentos teóricos e experimentais da óptica quântica. Avanços na medicina (cirurgia de catarata), nas telecomunicações (transmissão veloz de dados), no comércio (leitores de código de barras), na indústria (corte preciso e limpo de metais), na medição de distâncias (Terra-Lua com precisão milimétrica), no estudo de reações ('fotografar' elétrons em reações químicas), na fusão nuclear (concentração de toda a luz do Sol em uma área igual ao diâmetro de um fio de cabelo)...


NASA

Chip de diodo *laser* sobre uma agulha de costura

E esses são apenas pouco exemplos de um vasto currículo de bons serviços prestados à humanidade. Por sua inegável importância, o *laser* ganhou merecidamente o título de luz do século 20.

Estreitamente ligada à óptica quântica, surgiu, nas últimas décadas, a área da informação quântica, que estuda e desenvolve códigos invioláveis (criptografia quântica) e computadores impensavelmente velozes (computadores quânticos).

A área de informação quântica está assentada basicamente em dois conceitos: o de *qbit* e o emaranhamento. O primeiro se assemelha ao *bit* dos computadores atuais, mas, diferentemente destes, podem assumir os valores '0' e '1' ao mesmo tempo, o que permite acelerar muito o processamento de dados.

Por sua vez, o emaranhamento já foi definido como o mais bizarro dos fenômenos físicos, pois guarda semelhança tentadora com um tipo de 'comunicação instantânea' entre duas entidades quânticas (fótons, elétrons etc.) que inicialmente interagem e depois se mantêm separadas – mesmo que a distâncias astronômicas.

Dada sua estranheza, Einstein chegou a denominar o emaranhamento e suas consequências como "fantasmagórica ação a distância".


TRUMPF

O *laser* é muito preciso no corte e gravura de materiais

É quase impossível imaginar hoje nossa sociedade sem o *laser*

O CORAÇÃO DA LUZ

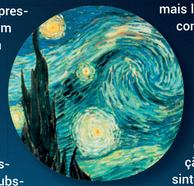
A luz foi essencial ao longo dos 4,5 bilhões de anos da história da Terra. O Sol não só possibilitou o surgimento da vida, mas também influenciou nossa cultura, arte, religião, economia, política e, principalmente, modos de vida.

Há cerca de dois bilhões de anos, a fotossíntese feita pelas cianobactérias permitiu a produção de oxigênio e carboidratos a partir do dióxido de carbono e água. Isso estabeleceu as condições atmosféricas para a expansão da vida complexa no planeta. Nas plantas, por meio da clorofila, esse processo permite a produção de alimentos para os seres vivos.

Século após século de questionamento, observação e experimento, a humanidade aprendeu a controlar a luz e a usá-la a seu favor: lampiões, espelhos, lentes, microscópios, telescópios, lâmpadas incandescentes (e, hoje, de LED), painéis solares, *lasers*... Essa longa jornada, que se iniciou com a descoberta do fogo, culmina hoje em sofisticadas aplicações tecnológicas que trazem bem-estar para a sociedade.


Protótipo de asa voadora da NASA movido a energia solar, em voo sobre o oceano Pacífico

Além da ciência, vários outros campos da cultura se questionaram sobre a natureza da luz e a interpretaram a seu modo, para criar uma nova forma de representar a realidade. Esse foi o caso, por exemplo, da escola impressionista de pintores, para citar um de vários exemplos. Ao olhar para a luz de forma muito peculiar, o pintor holandês Vincent van Gogh (1853-1890) tornou-se o grande mestre das tonalidades fortes e contrastantes.



Uma das obsessões dos cientistas e inventores ao longo da história foi a de fixar a luz em um substrato. Em 1839, a solução desse problema foi anunciada ao mundo simultaneamente pela França e pelo Reino Unido: a fotografia, que, meio século mais tarde, iniciaria sua longa trajetória como um importante detector nas áreas da física nuclear, de raios cósmicos e partículas elementares, entre outros domínios científicos.

O físico brasileiro César Lattes (1924-2005) foi um dos grandes especialistas mundiais no chamado método fotográfico aplicado à física (ou técnica das emulsões nucleares), com o qual participou das detecções da partícula méson pi em 1947, na Inglaterra, e no ano seguinte, nos EUA.

Hoje, a holografia e os CCDs (sensores embutidos nas câmeras fotográficas digitais) podem ser considerados descendentes tecnológicos da fotografia.

A luz também acendeu a imaginação dos poetas. Um dos exemplos mais emblemáticos da intersecção entre luz, poesia e física está no dístico do inglês Alexander Pope (1688-1744) destinado a ser o epitáfio de Newton:

"A Natureza e suas leis jaziam escondidas na Noite / Deus disse, 'Faça-se Newton', e tudo se fez Luz."

Em seu leito de morte, o polímata alemão Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832) – ferrenho crítico da concepção newtoniana das cores – afirmou: "Luz, mais luz", como se esta se confundisse com a própria vida.

O poeta norte-americano T. S. Eliot (1888-1965), em breve passagem de seu clássico Waste Land (1922), escreveu: "Olhando o interior do coração da luz, o silêncio." Neste Ano Internacional da Luz, declarado pela Organização das Nações Unidas, a poesia sintetiza o que os sábios, filósofos e cientistas têm buscado ao longo de mais de 2,5 milênios de história: penetrar um diminuto grão de luz e entender sua essência e os fenômenos por ele causados.

E a resposta para esse questionamento está longe de se esgotar. Onde Eliot encontrou "silêncio", a ciência tem continuamente se defrontado com o que a alimenta e motiva: a dúvida.

*Acima, detalhe do quadro **A Noite Estrelada**, de van Gogh*