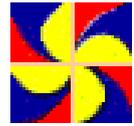




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



Bragg e o Caráter Dual (Onda-Partícula) da Luz.

Segundo vimos em verbete desta série, a especulação sobre a natureza da luz (corpúscular ou ondulatória) remonta até a Antiguidade. Muito embora prevalecesse a natureza corpúscular da luz entre os filósofos gregos da Antiguidade [p.e.: Pitágoras de Samos (c.560-c.480), Platão de Atenas (c.428-c.347) e Empédocles de Akragas (atual Agrigento) (c.490-c.430)], Aristóteles de Estagira (384-322) defendia a hipótese de que a luz era devido a uma **atividade** em um determinado meio, podendo dessa forma, tal ideia ser considerada como característica da natureza ondulatória da luz, natureza essa também defendida pelos filósofos chineses da Dinastia Qin (221-207). Na Idade Média e na Renascença, a natureza corpúscular da luz prevaleceu sobre a natureza ondulatória, muito embora essa questão não fosse o objeto principal das pesquisas em Óptica realizadas pelo físico e matemático iraquiano Abu-‘Ali Al-Hasan Ibn Al-Haytham, conhecido como Al-Hazen (c.965-1038), pelo erudito inglês Robert Grosseteste (c.1175-1253), pelo filósofo inglês e monge franciscano Roger Bacon (c.1219-c.1292), pelo erudito silesiano Witelo (c.1225-c.1275), pelo erudito italiano Blasing de Parma (c.1345-1416) e pelo matemático italiano Paolo Toscanelli (1397-1482). Note-se que o debate sobre a natureza da luz permaneceu com caráter filosófico até o Século 17, quando então ele se tornou realmente científico.

Os fenômenos luminosos observados no Século 17 [**difração** e **interferência** (1665), pelos físicos, o italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) e os ingleses Robert Boyle (1627-1691) e Robert Hooke (1635-1703); **dupla refração** (1669), pelo médico dinamarquês Erasmus Bartholinus (1625-1698); e **polarização da luz** (1690), pelo astrônomo, físico e matemático holandês Christiaan Huygens (1629-1695)] foram explicados usando a natureza corpúscular (por um lado) ou a natureza ondulatória da luz (por outro). A luz como **partícula** teve o físico e

matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) como seu principal defensor em seus trabalhos inicialmente comunicados à *Royal Society of London* (RSL), entre 1672 e 1676 e, posteriormente completados e apresentados em sua obra intitulada **Opticks, or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light**, publicado em 1704. A luz como **onda** foi defendida por Huygens, em seu famoso livro **Traité de la Lumière**, publicado em 1690. O caráter ondulatório da luz só foi definitivamente consolidado, no Século 19, graças aos trabalhos experimentais do físico, médico e linguista inglês Thomas Young (1773-1829) apresentados à RSL, em 1801, 1802 e 1803, sobre **interferência luminosa** e pelo formalismo desenvolvido pelo físico francês Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), entre 1814 e 1821. Mais tarde, em 1865, o físico e matemático escocês John Clerk Maxwell (1831-1879) demonstrou que a **luz é uma onda eletromagnética** e sua Teoria Eletromagnética foi desenvolvida e apresentada em seu célebre livro: **A Treatise on Electricity & Magnetism**, publicado em 1873. Em 1887, o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) produziu, pela primeira vez, em laboratório uma **onda eletromagnética** [a hoje conhecida **Onda Hertziana** (OH)]. Note-se que, em suas experiências, Hertz encontrou evidências de que a OH ao incidir em metais, gerava “correntes elétricas”. Esse efeito foi imediatamente confirmado, em 1888, independentemente, pelos físicos: o italiano Augusto Righi (1850-1920) (que cunhou o nome de **efeito foto-elétrico**), o alemão Wilhelm Hallwachs (1859-1922) e o russo Aleksander Grigoryevich Stoletov (1839-1859), e suas leis propostas pelo físico alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947; PNF, 1905), em 1902.

Contudo, como as **leis de Lenard** não eram explicadas pela Teoria Eletromagnética de Maxwell, então, para explicá-las, em 1905, o físico germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) propôs que a luz não era nem **partícula** e nem **onda**, era representada por um **pacote de energia** ($E = hv$, sendo h a **constante de Planck** e v a frequência da luz) que conseguia arrancar **elétrons** [que haviam sido descobertos pelo físico inglês Sir Joseph John Thomson (1856-1940; PNF, 1906), em 1897] das superfícies metálicas e, por isso, produzia “correntes elétricas”.

Até a primeira metade da década de 1920, os físicos conviveram com esse caráter dual da luz - **onda-partícula** – sendo a **onda** caracterizada pelo comprimento de onda ($\lambda = c/v$, onde c é a velocidade da luz no vácuo), e a **partícula**, pelo momento linear ($p = E/c$). Em 1909, o próprio Einstein e, independentemente, o físico alemão Johannes Stark (1874-1957; PNF, 1919), haviam mostrado que a luz exibia, simultaneamente, características de **onda** (em fenômenos envolvendo a intensidade da luz no espaço, p.e.: linhas espectrais) e **partícula** [quando há troca de energia, p.e.: efeitos **foto-elétrico** (1905) e **Compton** (1923)], dualidade essa traduzida pela célebre expressão: $p = h/\lambda$. Note-se que essa dicotomia levou os físicos ingleses [Sir William Henry Bragg (1862-1942; PNF, 1915) e Sir William Lawrence Bragg (1890-1971; PNF, 1915)] a afirmarem que: - *Todas as Segundas, Quartas e Sextas, adotamos uma hipótese; Terças, Quintas e Sábados, adotamos a outra.* [Max Born, **The Restless Universe** (Dover Publications Incorporation, 1951)]. É interessante destacar que, depois do desenvolvimento da Eletrodinâmica Quântica (“Quantum Electrodynamics” – QED), a partir do trabalho do físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em 1927, a luz (hoje: **fóton**) é definida como uma **partícula** mediadora da **interação eletromagnética**, traduzida pela seguinte equação: $\square A_\mu = -\mu_0 J_\mu$, onde \square é o **operador d’alambertiano** [$\partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2 - (1/c^2)(\partial^2/\partial t^2)$]; A_μ é o **quadrivetor potencial** $(\vec{A}, i\psi/c)$, sendo \vec{A} o **potencial vetor** e ψ o **potencial elétrico**, definidos pelas expressões envolvendo o **vetor indução magnética** (\vec{B}) e **vetor campo elétrico** (\vec{E}): $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$ ($\nabla \times$: **operador rotacional**) e $\vec{E} = -\nabla\psi - \partial\vec{A}/\partial t$ [∇ : **operador gradiente** = $(\partial/\partial x)\mathbf{I} + (\partial/\partial y)\mathbf{J} + (\partial/\partial z)\mathbf{K}$, onde $\mathbf{I}, \mathbf{J}, \mathbf{K}$ = **versores cartesianos**]; μ_0 é a **permeabilidade magnética do vácuo**; e J_μ é o **quadrivetor corrente** $(\rho\vec{v}, ic\rho)$, com ρ representando a **densidade de carga elétrica** e \vec{v} a **velocidade da carga elétrica**. [José Maria Filardo Bassalo, **Eletrodinâmica Clássica** (Livraria da Física, 2007); Bassalo & Caruso, **Dirac** (Livraria da Física, 2013)].



ANTERIOR

SEGUINTE

