

FÓTON: MASSA DE “REPOUSO” NULA? PHOTON: ZERO “REST” MASS?

MANOEL ENÉAS BARRETO

RESUMO. Este artigo tem como objetivo mostrar que a massa de “repouso” do fóton é finita e diferente de zero podendo ser calculada a partir dos dados experimentais obtidos por:

- a) F. Kurlbaum, O. Lummer e E. Pringsheim; e,
- b) A. H. Compton.

ABSTRACT. The goal of this article is to show that the photon “rest” mass is finite, and different than zero. It can be calculated from experimental data gathered by:

- a) F. Kurlbaum, O. Lummer and E. Pringsheim; and,
- b) A. H. Compton.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Cálculo da massa de “repouso” do fóton a partir dos dados experimentais obtidos por F. Kurlbaum, O. Lummer e E. Pringsheim	2
3. Cálculo da massa de “repouso” do fóton a partir dos dados experimentais obtidos por A. H. Compton	2
4. Conclusão	3

1. INTRODUÇÃO

“Antes da descoberta da Austrália, as pessoas do Mundo Antigo estavam convencidas de que *todos* os cisnes eram brancos. Esta era uma crença inquestionável por ser absolutamente confirmada por evidências empíricas. Deparar-se com o primeiro cisne negro pode ter sido uma surpresa interessante para alguns ornitólogos (e outras pessoas extremamente preocupadas com a coloração dos pássaros), mas não é aí que está a importância dessa história. Ela simplesmente ilustra uma limitação severa no aprendizado por meio de observações ou experiências e a fragilidade de nosso conhecimento. Uma única observação pode invalidar uma afirmação originada pela existência de milhões de cisnes brancos. Tudo que se precisa é de um único pássaro negro (que também, pelo que sei, é muito feio).¹⁷”

¹⁷Este trecho foi transcrito no livro “A Lógica do CISNE NEGRO - O Impacto do altamente improvável, p.15, de Nassim Nicholas Taleb.

2. CÁLCULO DA MASSA DE “REPOUSO” DO FÓTON A PARTIR DOS DADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS POR F. KURLBAUM, O. LUMMER E E. PRINGSHEIM

Recentemente, disponibilizamos neste site o artigo “Seria $\epsilon = h\nu = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$?”, e, nele, deduzida no item “2.2. Quantização dos fenômenos físicos”, a equação 23 nos informa que a “constante de ação”², $h = m_0 v^2 t$.

Assim, tendo em vista os argumentos contidos na nota de rodapé 2, podemos escrever que

$$(1) \quad (m_0)_f = \frac{h}{(v_f)^2 t}.$$

onde $(m_0)_f$ é a massa de “repouso” do fóton, v_f , a sua velocidade, h , a “constante de ação” e t igual a 1 segundo³.

Desta forma, substituindo-se na expressão 1 o valor contido no artigo “Sobre a lei de distribuição da energia no espectro normal”, de Max Planck, para a “constante de ação”, h , a velocidade da luz⁴, c , e, utilizando-se neste cálculo o tempo, t , igual a 1 segundo, podemos calcular a massa de “repouso” aproximada do fóton:

$$(2) \quad (m_0)_f = \frac{6,55 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}}{(29.979.245.860)^2 \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1 \text{ s}} = 7,28 \cdot 10^{-48} \text{ g}.$$

3. CÁLCULO DA MASSA DE “REPOUSO” DO FÓTON A PARTIR DOS DADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS POR A. H. COMPTON

Por outro lado, em 1917, A. H. Compton e P. Debye, “de forma independente, deduziram as conhecidas expressões da cinemática relativista para a deflexão de um *quantum* de luz por um electrão inicialmente em repouso. Compton obteve não só a conseqüente variação $\Delta\lambda$ no comprimento de onda da radiação difundida de um ângulo θ :

$$(3) \quad \lambda_0 - \lambda_1 = \frac{h}{m c} (1 - \cos\theta),$$

como verificou que esta expressão é inteiramente satisfeita pelos resultados experimentais, concluindo: “*O apoio experimental à teoria indica, de forma convincente, que um quantum de radiação transposta momento dirigido, assim como energia*”.

Os resultados de Compton fizeram aceitar, definitivamente, a idéia de que o quantum de luz é uma partícula - esta seria batizada de fotão, em 1926, pelo químico G. Lewis.⁵

Assim, sendo $h = (m_0)_f (v_f)^2 t$, temos que

$$(4) \quad \lambda_0 - \lambda_1 = \frac{h}{(m_0)_e c} (1 - \cos\theta) = \frac{(m_0)_f (v_f)^2 t}{(m_0)_e c} (1 - \cos\theta),$$

onde $(m_0)_f$ é a massa de “repouso” do fóton, v_f é, neste caso, sua velocidade aproximada, t igual a 1 segundo, $(m_0)_e$ é a massa de “repouso” do elétron⁶ e c , também, é a velocidade aproximada do fóton.

²Há que se comentar, que a constante de ação, h :

a) está diretamente correlacionada ao contexto dos experimentos em que foi produzida, ou seja, a radiação do corpo negro. Assim, temos que admitir que a partícula envolvida no experimento seja o fóton; e,

b) que a mesma foi obtida a partir de dados experimentais produzidos no Physikalisch Technische Reichsanstalt, em Berlim, por F. Kurlbaum, O. Lummer e E. Pringsheim.

³Note-se que a velocidade limite utilizada corresponde ao espaço de 29.979.245.860 cm em 1 segundo.

⁴O valor escolhido para cálculo dos valores numéricos, foi de 299.792,4586 km/s, com incerteza de mais ou menos 0,0003 km/s, ou seja, mais ou menos 30 cm/s, obtido, em 1983, pelo Bureau Nacional de Padrões dos Estados Unidos como medida da velocidade da luz usando lasers.

⁵Este trecho é um fragmento do artigo “O Centenário do Quantum de Luz” de autoria de Eduardo Lage.

⁶Note-se que trocamos a nomenclatura referente à massa de “repouso” do elétron de m para $(m_0)_e$.

Cancelando as velocidades, concluímos que

$$(5) \quad \Delta\lambda = \frac{(m_0)_f v_f t}{(m_0)_e} (1 - \cos\theta),$$

onde,

$$(6) \quad \frac{(m_0)_f v_f t}{(m_0)_e} = 0,02426 \cdot 10^{-8} \text{ cm},$$

correspondente ao “comprimento de onda” Compton.

Daí,

$$(7) \quad (m_0)_f = \frac{(m_0)_e \cdot 0,02426 \cdot 10^{-8} \text{ cm}}{v_f t} = \frac{9,0183 \cdot 10^{-28} \text{ g} \cdot 0,02426 \cdot 10^{-8} \text{ cm}}{29.979.245.860 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot 1 \text{ s}} = 7,29 \cdot 10^{-48} \text{ g}.$$

A respeito do último caminho trilhado para se obter a massa de “repouso”, aproximada, do fóton, traço as seguintes considerações:

a) note-se, inicialmente, que antes de efetuarmos os cálculos que resultaram na massa de “repouso” finita e diferente de zero ($7,29 \cdot 10^{-48} \text{ g}$), cancelamos a velocidade, c , contida no denominador da equação original pela velocidade, v_f , inserida pela substituição do h por $(m_0)_f (v_f)^2 t$. Esta operação, evidentemente, reforça a possível validade da dedução teórica de que o $h = m_0 v^2 t$, bem como também a hipótese contida no item a, da nota de rodapé 1;

b) observe-se, também, que o valor obtido para a massa de “repouso” do fóton por este caminho é bastante próxima daquele proveniente dos dados experimentais concernentes à radiação do corpo negro e, ainda, coerentes com medidas obtidas a partir de observações astronômicas⁷; e,

c) que a equação e a interpretação apresentadas por A. H. Compton tornam-se mais harmônicas quando se admite que o fóton tenha massa de “repouso” finita e diferente de zero⁸.

4. CONCLUSÃO

Quando analisamos a lógica subjacente aos dois casos considerados para calcular a massa de “repouso” do fóton, *finita e diferente de zero*, a partir dos dados experimentais disponíveis, somos levados à concluir que esses valores fogem à alternativa de serem apenas coincidências e que, portanto, *estamos diante de um Cisne Negro*, já que Teoria da Relatividade Restrita não admite essa possibilidade.

Por outro lado, estes valores deixam claro que a “velocidade da luz” não pode ser utilizada como referencial limite.

Desta forma, tendo em vista esses resultados e a importância de dados adicionais que indiquem *que a Teoria da Relatividade Especial tem validade parcial, necessitando, portanto, de revisão*, solicito especial atenção dos pesquisadores no sentido de tentarem realizar experimentos para medir a velocidade associada a ondas eletromagnéticas cujas frequências se encontrem próximas de 10.000 Hz, de forma a validar ou refutar a proposta constante na Tabela 1. Fragmento do Espectro Eletromagnético, coluna $c - v$, do artigo “Seria $\epsilon = h\nu = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$?”, recentemente publicado neste site.

Universidade de Brasília - UnB

e-mail: barretoem@ibest.com.br

⁷Ocasionalmente, tem-se especulado que o fóton pode ter uma massa pequena, não nula. Portanto, a informação experimental direta sobre a massa do fóton é uma questão interessante. A melhor determinação desta massa provém de observações astronômicas. O limite superior atual é de $8 \times 10^{-49} \text{ g}$ [D1]. No que se segue a massa do fóton é considerada como estritamente nula. Nota de rodapé do livro Sutil é o Senhor, p. 483.

⁸Ver item “3.3. Efeito Compton”, do artigo “Seria $\epsilon = h\nu = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$?”.