

# La determinación de la masa del fotón a partir de dispersión Compton.

por

M. W. Evans,

H. M. Civil List

([www.aias.us](http://www.aias.us), [www.atomicprecision.com](http://www.atomicprecision.com), [www.et3m.net](http://www.et3m.net), [www.upitec.org](http://www.upitec.org))

y

H. Eckardt,

Unified Physics Institute of Technology (UPITEC)

([www.upitec.org](http://www.upitec.org))

Traducción: Alex Hill ([www.et3m.net](http://www.et3m.net))

## Resumen

La teoría del efecto Compton se extiende en forma directa para incluir la con liberación de la masa del fotón y las ecuaciones de de Broglie y Einstein, introducidas por de Broglie a alrededor de 1922-1924. Se utiliza la teoría para inferir una expresión analítica para la masa del fotón en términos de bien conocidos observables de la dispersión Compton. Esto significa que la masa del fotón puede medirse experimentalmente por primera vez a partir de un experimento de laboratorio rutinario. Se evalúa la teoría frente a datos experimentales para una dispersión Compton de rayos gamma. La masa del fotón es una predicción fundamental de la teoría del campo unificado de Einstein, Cartan y Evans (ECE), y la existencia inequívoca de una masa fotónica refuta el obsoleto modelo tradicional en muchas formas. Se determina la masa del fotón para cada ángulo de dispersión, y se discuten los resultados en términos de sus consecuencias para la física moderna.

*Palabras clave:* Masa del fotón, efecto Compton, teoría ECE.

## 1. Introducción

Desde hace siglos se viene formulando en la filosofía natural la pregunta de si las partículas de luz poseen masa, comenzando con teorías tales como la corpuscular de Newton y sus contemporáneos, la cual a su vez se basaba en ideas más antiguas hasta llegar a los tiempos clásicos. A principios del siglo XX, Planck y Einstein introdujeron el concepto del fotón, el cuanto de energía luminosa. Einstein y otros propusieron, básicamente alrededor del año 1906, que el fotón posee masa. Este concepto fue ampliado por de Broglie en 1922-1924 [1,2] a la idea de un fotón con momento, y al cuanto de momento. Este trabajo por de Broglie dio como resultado las hoy conocidas como ecuaciones de de Broglie Einstein, en las que ideas de relatividad restringida y la teoría cuántica de Planck/Einstein convergen en una forma sencilla. Estas ecuaciones afirman que existe una masa  $m$  del fotón idénticamente distinta de cero. Alrededor del año 1922, Compton dispersó rayos X. a partir de una hoja metálica y descubrió que la radiación dispersa soportaba la idea de que existen cuantos de energía y de momento en la radiación electromagnética a cualquier frecuencia.

A esa altura debiera de haberse evaluado la idea de la masa fotónica a partir de los datos de dispersión obtenidos por Compton, que en la actualidad constituyen un experimento de pregrado rutinario. Este experimento, largamente demorado de la física moderna, se presenta en este documento, mediante el empleo de la teoría de la dispersión Compton y su empleo en las ecuaciones de de Broglie Einstein. En la Sección 2, el conjunto de ecuaciones resultantes se resuelven para la masa  $m$  del fotón en términos de parámetros observables en la dispersión Compton: la frecuencia angular incidente  $\omega$  en radianes por segundo, la frecuencia angular de dispersión  $\omega'$ , y el ángulo de dispersión  $\theta$  en radianes. La masa del fotón constituye una idea fundamental en la teoría ECE [3-12] pero en la física obsoleta, conocida en forma sobre-optimista como el "modelo tradicional", fue deslizándose la idea de que la masa del fotón es idénticamente igual a cero. A pesar de esto, el grupo de física de partículas asigna un valor límite superior para la masa fotónica en sus tablas. Evidentemente, la idea de una masa fotónica idénticamente igual a cero resulta contradictoria. La afirmación de una masa nula se efectúa para obtener coincidencias respecto de, por ejemplo, la teoría gauge del sector U(1) [13], de la cual hoy día se sabe, a partir del desarrollo de la teoría ECE ([www.aias.us](http://www.aias.us)) que constituye una teoría incorrecta. Se utilizan con frecuencia límites en la ley de Coulomb y en frecuencias observables [14] para fortalecer vagamente el concepto de una masa fotónica muy pequeña o igual a cero. En este documento, se ofrece por primera vez una ecuación clara e inequívoca para la masa fotónica a partir del efecto Compton. Esto constituye un resultado preciso, basado únicamente en el empleo de las teorías fundamentales relevantes de la física moderna: relatividad restringida y cuantización de Planck/Einstein/de Broglie [14].

## 2. Teoría de la dispersión Compton con una masa de fotón finita.

La teoría que figura en los libros de texto acerca de la dispersión Compton [14] de un fotón a partir de un electrón produce el elegante resultado:

$$\lambda_f - \lambda_i = \lambda_c (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

donde  $\lambda_i$  es la longitud de onda electromagnética incidente,  $\lambda_f$  es la longitud de onda electromagnética de dispersión y donde

$$\lambda_c = \frac{h}{Mc} \quad (2)$$

es la longitud de onda Compton del electrón de masa  $M$ . Aquí  $h$  es la constante de Planck y  $c$  es una constante universal que siempre figura en la teoría incluida en los libros de texto como la “velocidad de la luz en el vacío”. Aquí,  $\theta$  es el ángulo de dispersión, es decir el ángulo que forma la radiación dispersa con respecto a la línea establecida por la radiación incidente. El resultado (1) se obtiene a partir de la ecuación de conservación de la energía total y del momento total cuando el electrón se encuentra inicialmente en reposo, no teniendo momento alguno. Por lo tanto, la conservación de la energía total del fotón más el electrón es:

$$\hbar \omega + Mc^2 = \hbar \omega' + (M^2 c^4 + c^2 p'^2)^{1/2} \quad (3)$$

donde las energías inicial y final del fotón son, respectivamente,  $\hbar \omega$  y  $\hbar \omega'$ . La energía inicial del electrón es su energía en reposo en relatividad restringida:

$$E = Mc^2 \quad (4)$$

y la energía final del electrón es:

$$E = (c^2 p'^2 + M^2 c^4)^{1/2} \quad (5)$$

donde  $p'$  es su momento final. A partir de la conservación del momento total del fotón y el electrón:

$$p' = \hbar (\mathbf{k} - \mathbf{k}') \quad (6)$$

donde  $\mathbf{k}$  es el vector-onda inicial del fotón y  $\mathbf{k}'$  la vector-onda final. A partir de análisis vectorial elemental [15]:

$$p'^2 = \hbar^2 (\mathbf{k} - \mathbf{k}') \cdot (\mathbf{k} - \mathbf{k}') = \hbar^2 (\kappa^2 + \kappa'^2 - 2 \kappa \kappa' \cos \theta) \quad (7)$$

y se obtiene la Ec. (1) resolviendo en forma simultánea las ecs. (3) y (7), eliminando el factor  $p'^2$ , es decir, eliminando el momento final del electrón. En este proceso se supone que:

$$\kappa = \frac{\omega}{c}, \quad \kappa' = \frac{\omega'}{c} \quad (8)$$

y esta suposición implica que el fotón viaja a una velocidad  $c$ , y que el fotón no posee masa.

La suposición (8) contradice diametralmente los fundamentos de la física moderna, fundamentos que se apoyan en las ecuaciones de de Broglie Einstein [1, 2]:

$$E = \hbar \omega = \gamma mc^2, \quad (9)$$

$$p = \hbar \mathbf{k} = \gamma m \mathbf{v}, \quad (10)$$

las cuales son simples combinaciones de relatividad restringida y teoría cuántica. Aquí,  $E$  es la energía relativista total de un fotón, y  $p$  es el momento relativista de un fotón. La magnitud de la velocidad del fotón es  $v$ , y este valor no es  $c$ . Este último parámetro constituye la máxima velocidad alcanzable por el fotón, siendo  $c$  la constante fundamental habitual de los laboratorios normativos, fijado por convención. El factor de Lorentz es:

$$\gamma = \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} . \quad (11)$$

A diferentes frecuencias angulares  $\omega$  y  $\omega'$ , el fotón posee diferentes velocidades  $v$  y  $v'$ , pero la masa  $m$  del fotón es la masa fija de una partícula elemental. Por lo tanto:

$$\left. \begin{aligned} \hbar \omega &= \gamma c^2, \quad \hbar \kappa = \gamma m v, \\ \hbar \omega' &= \gamma' c^2, \quad \hbar \kappa' = \gamma' m v, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

y la relación entre  $\omega$  y  $\kappa$  es:

$$\kappa = \frac{v}{c^2} \omega, \quad \kappa' = \frac{v'}{c^2} \omega' \quad (13)$$

Los dos factores de Lorentz  $\gamma$  y  $\gamma'$  se relacionan con las dos frecuencias angulares mediante:

$$\frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{\omega'}{\omega} . \quad (14)$$

Por lo tanto, la ecuación de conservación de la energía total es:

$$\gamma m c^2 + M c^2 = \gamma' m c^2 + (c^2 p'^2 + M^2 c^4)^{1/2} \quad (15)$$

y la ecuación de conservación de momento es la Ec. (7), en donde las ecs. (11) a (14) se utilizan para obtener:

$$c^2 p'^2 = \frac{\hbar^2}{c^2} (\omega^2 v^2 + \omega'^2 v'^2 - 2 \omega \omega' v v' \cos \theta) . \quad (16)$$

Eliminando el momento del electrón se obtiene:

$$(m c^2 (\gamma - \gamma') + M c^2)^2 - M^2 c^4 = \frac{\hbar^2}{c^2} (\omega^2 v^2 + \omega'^2 v'^2 - 2 \omega \omega' v v' \cos \theta) \quad (17)$$

en donde:

$$\gamma - \gamma' = \left( 1 - \frac{\omega'}{\omega} \right) \gamma := \Omega \gamma \quad (18)$$

a partir de la Ec. (14), que también da:

$$\left(1 - \frac{v'^2}{c^2}\right) = \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) . \quad (19)$$

La ecuación fundamental de energía de la teoría de de Broglie Einstein da:

$$\hbar \omega = mc^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} . \quad (20)$$

A partir de las ecs. (17), (19) y (20) se obtiene

$$\omega^2 v^2 + \omega'^2 v'^2 - 2 \omega \omega' v v' \cos \theta = A \quad (21)$$

donde:

$$A = \Omega^2 \omega^2 c^2 \left(1 + \frac{2Mc^2}{\hbar \omega \Omega}\right) . \quad (22)$$

La Ec. (21) puede resolverse en forma simultánea con:

$$1 - \frac{v'^2}{c^2} = \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \quad (23)$$

para eliminar  $v'$ , dejando como sigue una ecuación para  $v$  y por ende  $m$  en términos de observables experimentales.

A partir de la Ec. (23):

$$v'^2 = c^2 \left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)\right) \quad (24)$$

y utilizando esta ecuación en la Ec. (21) se obtiene el resultado:

$$\omega^2 v^2 - \omega \omega' v v' \cos \theta = B \quad (25)$$

donde:

$$B = \frac{1}{2} \left(A - c^2 \left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^2\right) \omega'^2\right) . \quad (26)$$

Por lo tanto:

$$v' = \frac{\omega^2 v^2 - B}{\omega \omega' v \cos \theta} . \quad (27)$$

A partir de la Ec. (14):

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 \left(1 - \frac{v'^2}{c^2}\right) , \quad (28)$$

es decir:

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 + \frac{1}{c^2} \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 \left(\frac{\omega^2 v^2 - B}{\omega \omega' v \cos \theta}\right)^2 \quad (29)$$

que constituye una cuadrática en  $v^2$  :

$$\frac{v^4}{c^2} (1 - \cos^2 \theta) + \left( \left(1 - \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2\right) \cos^2 \theta - \frac{2B}{c^2 \omega^2} \right) v^2 + \left(\frac{B}{c \omega^2}\right)^2 = 0 . \quad (30)$$

La solución de esta cuadrática es:

$$v^2 = \frac{1}{2a} \left( -b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2} \right) \quad (31)$$

donde:

$$a = \frac{1}{c^2} (1 - \cos^2 \theta) , \quad (32)$$

$$b = \left(1 - \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2\right) \cos^2 \theta - \frac{2B}{c^2 \omega^2} , \quad (33)$$

$$c' = \left(\frac{B}{c \omega^2}\right)^2 . \quad (34)$$

Finalmente se obtiene la masa del fotón a partir de:

$$m = \frac{\hbar \omega}{c^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2} . \quad (35)$$

Dado que  $v^2$  debe de ser positiva y con un valor real, resulta directa la selección de la raíz pertinente de la cuadrática.

El cálculo de la masa del fotón a partir del efecto Compton es de gran importancia porque provee una prueba inequívoca para la física moderna, al evaluar  $m$  para varios ángulos de dispersión en un experimento de efecto Compton. Los resultados deben ser tales que la masa del fotón  $m$  sea constante y debe ser tal que  $v$  tenga significado físico. Un experimento reciente que utiliza el efecto Compton [15] fue elegido al azar para evaluar esta teoría. Este experimento se llevó a cabo con un rayo gamma incidente con una frecuencia angular:

$$\omega = 1.0052 \times 10^{21} \text{ rad s}^{-1} . \quad (36)$$

Los ángulos de dispersión medidos y sus frecuencias se presentan en la Tabla 1. Esto es un experimento de dispersión Compton con un rayo gamma, habiéndose transformado las unidades de los datos originales a unidades del S.I. utilizando:

$$1 \text{ eV} = 1.51924 \times 10^{15} \text{ rad s}^{-1} \quad (37)$$

La comparación de datos con la teoría se incluirá en la Sección 3.

Ángulo / radianes ( $\theta$ )	Frecuencia angular de dispersión $\omega'$ ( $10^{20}$ rad / seg)
0.1745	9.832
0.2618	9.583
0.4537	8.831
0.6457	7.940
0.8028	7.157
0.9250	6.597
1.0472	6.111
1.1589	5.615
1.2740	5.253
1.5707	4.416

Tabla 1, Frecuencias angulares de dispersión y sus ángulos [15]

### 3. Comparación de datos y teoría.

Las fórmulas (24), (31-35) y algunas fórmulas auxiliares se han evaluado para los datos experimentales de  $\theta$  y  $\omega'$  presentados en la Tabla 1, junto con  $\omega$  obtenidos a partir de la Ec. (36). Los argumentos de las fórmulas varían ampliamente en los exponentes (hasta 50 lugares decimales) de manera que fue recomendable guisar unidades atómicas con

$$\hbar = M = 1, \quad c = 137.0360, \quad (38)$$

y un factor de conversión de energía de

$$1 \text{ Hartree} = 27.211396 \text{ eV}. \quad (39)$$

Los resultados para las velocidades  $v$  y  $v'$  obtenidos a partir de los datos de dispersión se representan gráficamente en la Fig. 1. Existen dos soluciones a partir de la ecuación (31). Una solución proporciona valores  $v < c$ ,  $v' < c$  y un valor de masa de fotón positiva para todos los ángulos, en tanto que la otra solución proporciona velocidades mayores que  $c$  y masas imaginarias en casi todos los casos. En consecuencia, seleccionamos la primera solución.

Si la teoría de de Broglie fuese válida, entonces  $v$ , la velocidad del fotón entrante, debiera tener un valor cercano a  $c$ . Lo mismo debiera observarse para  $v'$  en el fotón saliente. Puede observarse que las velocidades varían ampliamente y son sólo del orden de un pequeño porcentaje de  $c$  en muchos casos. Esto es poco físico; en consecuencia la teoría de de Broglie Einstein fracasa.

Las masas de fotón obtenidas se muestran en la Fig. 2. Las velocidades varían ampliamente, y así también lo hace la masa  $m$  del fotón. Debiera de esperarse lo contrario a partir de la teoría de de Broglie Einstein. Más aún, el valor de  $m$  es del orden de la masa del electrón, lo cual constituye un error mayúsculo. Por lo tanto, la noción de masa debiera de reemplazarse con la curvatura escalar de la teoría ECE, la cual se define mediante

$$R = \left( \frac{mc}{\hbar} \right)^2. \quad (40)$$

Esta definición posee la ventaja de que las masas negativas y aún imaginarias se transformarían en un término de curvatura con significado físico. A partir de la Fig. 2, puede observarse que la curvatura varía en forma similar a la masa. Tal como se mencionó más arriba, una curvatura variable tiene sentido físico, pero una masa variable no lo tiene, y demuestra así el fracaso de la teoría de de Broglie Einstein y de los fundamentos de la física del siglo XX.

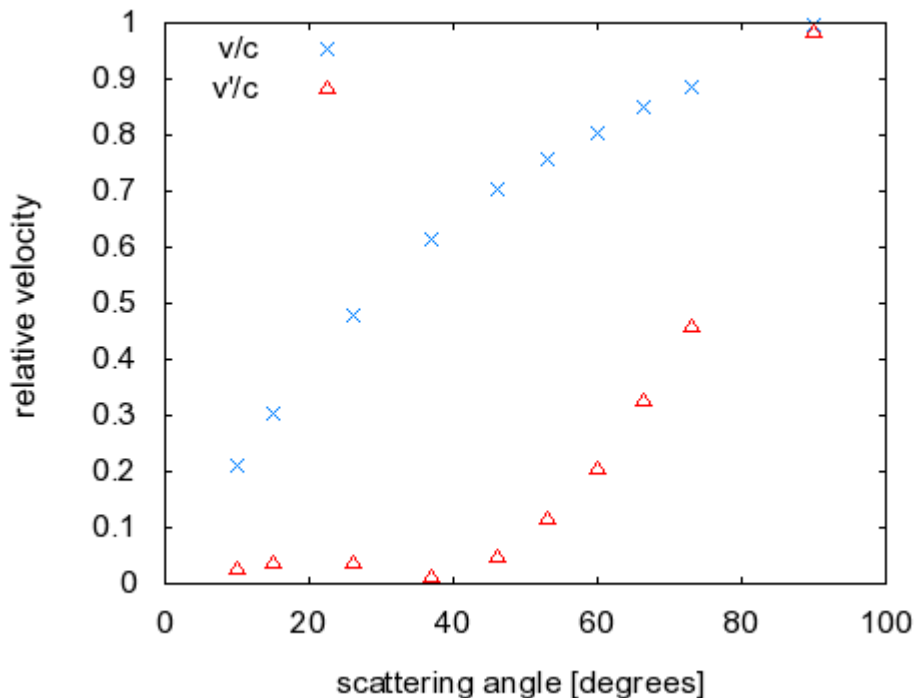


Fig. 1. Velocidades relativas en función del ángulo de dispersión  $\theta$  [15].



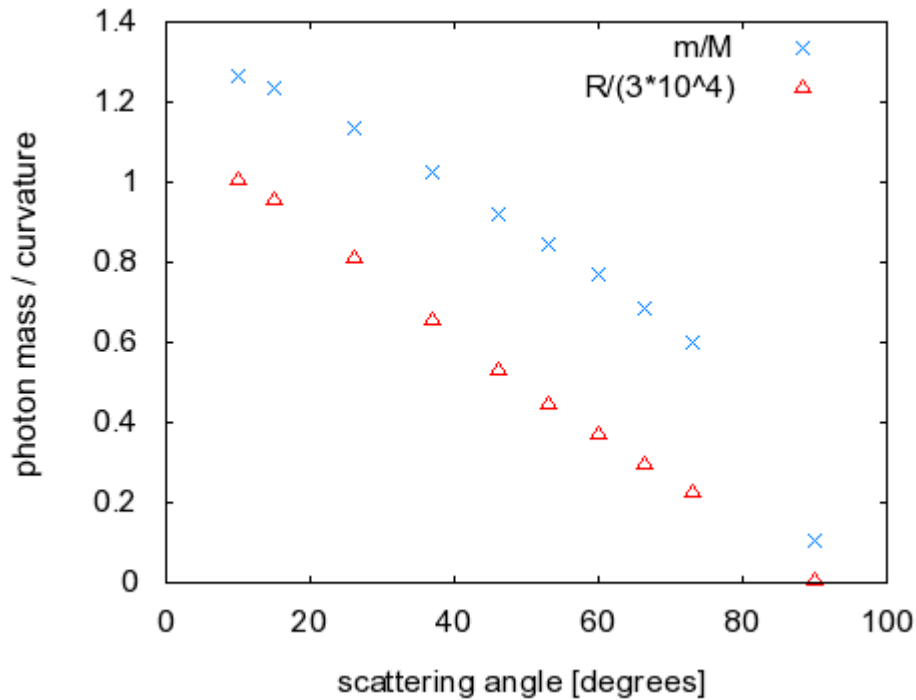


Fig. 2. Masa relativa del electrón y curvatura en función del ángulo de dispersión  $\theta$  [15].

## Reconocimientos

Se agradece al Gobierno Británico por el otorgamiento de la Pnesión Civil Vitalicia, así como a muchos colegas a nivel mundial por muchas discusiones interesantes. Se agradece a Alex Hill y a sus colegas por las traducciones y tipografiado y a David Burleigh por su publicación en [www.aias.us](http://www.aias.us).

## Referencias.

- [1] L. de Broglie, Comptes Rendues, 177, 507 (1923).
- [2] L. de Broglie, Phil. Mag., 47, 446 (1924).
- [3] M. W. Evans et al., “Generally Covariant Unified Field Theory” (Abramis 2005 y siguientes), en siete volúmenes a la fecha.
- [4] M. W. Evans, S. Crothers, H. Eckardt y K. Pendergast, “Criticisms of the Einstein Field Equation” (Abramis, en prensa, 2010).
- [5] L. Felker, “The Evans Equations of Unified Field Theory” (Abramis, 2007, traducido al español en [www.aias.us](http://www.aias.us)).

- [6] Los portales de ECE: [www.aias.us](http://www.aias.us) ([www.webarchive.org.uk](http://www.webarchive.org.uk)) de la Biblioteca Nacional de Gales y los Archivos Nacionales Británicos de portales , [www.atomicprecision.com](http://www.atomicprecision.com), [www.et3m.net](http://www.et3m.net) y [www.upitec.org](http://www.upitec.org).
- [7] M. W. Evans, H. Eckardt y D. Lindstrom, “ECE Theory of Hydrogen Bonding”, plenaria en la Conferencia Internacional sobre Agua, Uniones H y Nanomedicina, Academia de Ciencias de Serbia, Banja Luka, Sept 4, 2010, a publicarse. La Conferencia decidió que la teoría ECE debiera formar parte de nuevos desarrollos en física.
- [8] K. Pendergast, “The Life of Myron Evans” (Abramis, en prensa).
- [9] Publicaciones de la teoría ECE en Found. Phys. Lett., Physica B., Acta Phys. Polonica, y plenarias.
- [10] M. W. Evans, ed., “Modern Non-Linear Optics” (Wiley 2001, segunda edición), en tres volúmenes.
- [11] M. W. Evans y J.-P. Vigiér, “The Enigmatic Photon” (Kluwer, 1994 a 2002) en cinco volúmenes.
- [12] M. W. Evans y L. B. Crowell, “Classical and Quantum Electrodynamics and the B(3) Field” (World Scientific, 2001).
- [13] J. D. Jackson “Classical Electrodynamics” (Wiley, 1999, tercera edición).
- [14] P. W. Atkins, “Molecular Quantum Mechanics” (Oxford, 1983, 2a y otras ediciones).
- [15] E. G. Milewski, Chief Ed., “The Vector Analysis Problem Solver” (Research and Education Association, Nueva York).
- [16] ODEC Project “Mass of the Electron from Compton Scattering”.