El límite maxwelliano de la teoría de De Broglie / Einstein acerca de la radiación electromagnética.

por

M.W.Evans

Departamento de Física

Universidad de Carolina del Norte

Charlotte,

NC28223

Traducción: Alex Hill (www.et3m.net)

Resumen.

En la teoría de Einstein / de Broglie de la radiación electromagnética, el fotón posee una masa en reposo de 10^{-68} kg (la masa fotónica de Einstein). En el marco de la estructura de esta teoría, se demuestra que existen campos electromagnéticos longitudinales relacionados analíticamente con las correspondientes componentes transversales, lo cual implica que los campos eléctrico y magnético en el vacío son 4-vectores, tal como propusieron originalmente Einstein y de Broglie. La observación de estos campos longitudinales serviría de respaldo a la teoría de Einstein / de Broglie, y se proponen algunos arreglos experimentales.

Introducción.

Se afirma casi universalmente en la literatura contemporánea que el fotón no posee masa, y que el alcance del campo electromagnético es infinito. Sin embargo, Einstein [1-5] propuso que la masa del fotón es de alrededor de 10^{-68} kgm, una estimación que se basa en la constante de Hubble. En consecuencia, el alcance de la radiación electromagnética es de alrededor de 10^{26} m, (varias decenas de miles de millones de años luz, pero finita). La masa finita del fotón constituye la base de la teoría de la luz [6] de Einstein / de Broglie, en la cual se rechaza la interpretación de Copenhague de Bohr y otros en favor del concepto de la luz como estando constituida por ondas maxwellianas reales en coexistencia con fotones en el espacio-tiempo de Minkowski. Esto constituye un modelo causal y estocástico de la radiación electromagnética. En la interpretación de Copenhague, por otro lado, la luz se conforma de ondas de probabilidad, que nunca pueden coexistir con fotones en el espacio tiempo. Un experimento reciente llevado a cabo por Mizobuchi y Ohtake [7] contradice la interpretación de Copenhague pero puede interpretarse en forma directa [8] mediante la teoría de Einstein / de Broglie. El experimento demuestra que las ondas electromagnéticas y los fotones coexisten.

En este documento se demuestra que la teoría de la luz de Einstein / de Broglie permite la existencia de campos electromagnéticos longitudinales en el vacío, campos que están analíticamente relacionados con los correspondientes componentes transversales a través de la ecuación recientemente desarrollada por Evans [9-11]:

$$\underline{B}^{(3)} = \frac{\underline{E}^{(1)} \times \underline{E}^{(2)}}{E^{(0)} c i} = \frac{\underline{B}^{(1)} \times \underline{B}^{(2)}}{B^{(0)} i} = B^{(0)} \underline{k} \qquad (1)$$

Aquí, $B^{(3)}$ es el campo magnético longitudinal, $E^{(1)}$ y $E^{(2)}$ son componentes transversales del campo eléctrico, $E^{(0)}/\sqrt{2}$ es la amplitud escalar el campo eléctrico, c es la velocidad de la luz en el vacío, $B^{(1)}$ y $B^{(2)}$ son los componentes transversales del campo magnético, y $B^{(0)}/\sqrt{2}$ su amplitud escalar. Farahi y Evans [12] han demostrado que un $B^{(3)}$ distinto de cero implica un $E^{(3)}$ distinto de cero, es decir un campo eléctrico longitudinal que viaja en el vacío junto con el fotón.

Se presenta una demostración sencilla acerca de la existencia de $B^{(3)}$ para una masa finita del fotón, y del hecho de que la Ec. (1) es el límite maxwelliano (masa fotónica igual a cero) de la teoría de Einstein / de Broglie. La observación experimental de $B^{(3)}$ y $E^{(3)}$ proporcionaría sustento a esta teoría, la cual implica [13] que los campos eléctrico y magnético en el vacío son 4-vectores, con componentes espaciales y temporales con sentido físico. Esta deducción también constituye el fundamento para una electrodinámica manifiestamente covariante, recientemente propuesta por Evans [14] sobre la base de la Ec. (1).

En la teoría convencional contemporánea de la radiación electromagnética [15] se rechaza como carente de sentido físico las polarizaciones espaciales y temporales longitudinales, lo cual constituye un procedimiento arbitrario y contradictorio [16], debido a que la ecuación de d`Alembert, y su contraparte cuantizada, la condición de Gupta Bleuler [17], producen cuatro polarizaciones. Investigaciones recientes [14] han demostrado que la existencia de cuatro polarizaciones con sentido físico pueden reconciliarse en forma directa con dos helicidades, provenientes de la teoría del grupo Poincaré. Por lo tanto, aún en el límite de ausencia de masa, la existencia de cuatro polarizaciones de campo (fotónicas) recibe un soporte riguroso a partir de consideraciones fundamentales. La Ec. (1) demuestra claramente que la noción (que ha ganado aceptación) de un rechazo arbitrario de los campos longitudinales por carecer éstos de sentido resulta insostenible, porque el componente longitudinal (3) es directamente proporcional al producto vectorial de los componentes transversales (1) y (2), estando asociada la componente temporal (0) con las amplitudes en el vacío del campo escalar.

Por lo tanto, la Ec.(1) constituye el vínculo fundamental entre los componentes físicamente significativos longitudinal y transversal de la radiación electromagnética, y proporciona nuevos enfoques en la teoría de Einstein / de Broglie. La ecuación se dedujo originalmente [9-11] mediante el empleo de las ecuaciones de Maxwell, lo cual equivale a una masa fotónica igual a cero, pero se demuestra en este documento que resulta válida para una masa fotónica finita. Sin embargo, la consecuencia más importante de la Ec. (1) es que implica la existencia de cuatro polarizaciones de campo electromagnético físicamente significativas, y esto también resulta implícito [13] en la teoría de Einstein / de Broglie. En la teoría contemporánea de la electrodinámica, sin embargo, se ha aceptado en forma acrítica la noción del abandono de dos polarizaciones (ya sea del campo clásico o del fotón). Esta noción debe de cuestionarse en vista de la Ec. (1) la cual es consistente con la teoría de Einstein / de Broglie. Surge de inmediato la pregunta respecto de si la Ec. (1) es consistente o no con la interpretación de Copenhague, y la mejor forma de contestarla es haciendo referencia al experimento de Mizobuchi / Ohtake [7] tal como lo interpreta Vigier [7]. Así, aún si pudiera lograrse que la interpretación de Copenhague satisficiera teóricamente la Ec. (1), seguiría estando en contradicción con los datos experimentales, lo cual implica que resulta más conveniente desde un principio trabajar dentro del marco de la teoría de Einstein / de Broglie. Significativamente, de Broglie [18] y Schroedinger [19] demostraron que esta teoría permite ondas tanto longitudinales como transversales en el vacío, y por ende polarizaciones fotónicas tanto longitudinales como transversales, las cuales coexisten con las ondas, pero aparentemente ninguno de estos dos autores parece haberse dado cuenta de la existencia de la Ec. (1). Esta última relaciona en forma rigurosa las polarizaciones transversales y longitudinales, y demuestra que la polarización longitudinal resulta independiente de la fase de la onda, y por ende satisface [8] el Teorema de Gauss en el vacío.

1. La Ecuación (1) para una masa de fotón finita.

Una de las ecuaciones fundamentales de la teoría de la luz de Einstein / de Broglie es

$$\Box \psi_\mu = 2\mu^2 \psi_\mu \qquad (2)$$

Donde ψ_μ es una onda vectorial compleja [7]. Como hemos mencionado, de Broglie y Schroedinger han demostrado que esta ecuación posee componentes longitudinales y transversales. En una teoría estructurada según el esquema de Maxwell, la Ec. (2) puede expresarse como una ecuación de d´Alembert con un término finito en el vacío en el lado derecho de la igualdad:

$$\Box \underline{A} = -\xi^2 \underline{A} \qquad (3)$$

donde ξ es una constante, y el operador de d´Alembert es, como de costumbre,

$$\Box \equiv -\underline{\nabla}^2 + \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} \qquad (4)$$

Utilizamos las transformaciones

$$\underline{\nabla} \longrightarrow \frac{i}{\hbar}\underline{p}\,, \quad \frac{\partial}{\partial t} \longrightarrow -\frac{i}{\hbar}\underline{E} \qquad (5)$$

para introducirnos a la mecánica cuántica [20], donde, como de costumbre, p y E denotan momento y energía respectivamente, de una partícula asociada con la ecuación de onda (3). Esta partícula es el fotón con la masa finita de Einstein:

$$\frac{1}{\hbar^2}\left(-p^2 + \frac{E^2}{c^2}\right)\underline{A} = \xi^2 \underline{A} \qquad (6)$$

y dado que A es una cantidad ondulatoria que pierde importancia [20] en un contexto de partículas:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \qquad (7)$$

Esta es la ecuación relativista de Einstein que relaciona masa y energía, con una masa fotónica

$$m = \frac{\hbar}{c}\xi \qquad (8)$$

Esta masa es de 10^{-68} kgm [7], calculada a partir de la constante de Hubble. La Ec. (8) da la constante

$$\xi = \frac{mc}{\hbar} \doteq 10^{-26} m^{-1} \qquad (9)$$

y el alcance finito del campo electromagnético:

$$\frac{1}{\xi} = \frac{\hbar}{mc} \doteq 10^{26} m \qquad (10)$$

(algunas decenas de miles de millones de años luz, una dimensión cósmica pero finita del orden del diámetro del universo). La ecuación de d´Alembert (3) resulta entonces:

$$\Box \underline{A} \doteq 10^{-52} \underline{A} \qquad (11)$$

Para propósitos prácticos, el lado derecho de la igualdad es tan pequeño que resulta esencialmente igual a cero, y la Ec. (11) se reduce a la tradicional ecuación de d´Alembert en el vacío:

$$\Box \underline{A} = 0 \qquad (12)$$

Por lo tanto, resulta claro que la teoría de la luz de Einstein / de Broglie se aproxima significativamente a las ecuaciones de Maxwell en el régimen clásico descrito por la ecuación de onda (11). Resulta también claro que las soluciones de la Ec. (11) coexisten con aquellas de la Ec. (7), para fotones de masa finita. La Ec. (1) también se cumple para una excelente grado de aproximación en la descripción maxwelliana de la teoría de Einstein / de Broglie, (la Ec. (11)), porque la Ec. (1) es consistente con la ecuación de d´Alembert (12).

Más aún, la Ec. (3) implica la siguiente ecuación en la densidad de flujo magnético en el vacío:

$$\nabla^2 \underline{B} = \xi^2 \underline{B} \qquad (13)$$

cuya solución física [3] es un campo longitudinal en el vacío con decadencia exponencial:

$$\underline{B}^{(3)} = B^{(0)} \exp(-\xi Z) \underline{k} \qquad (14)$$

(Empleando la relación

$$\underline{B} = \underline{\nabla} \times \underline{A} \qquad (15)$$

en la Ec. (13) implica

$$\nabla^2(\underline{\nabla}\times\underline{A}) = \xi^2\underline{\nabla}\times\underline{A}\ ;\ \text{o sea}\ \ \nabla^2\underline{A} = \xi^2\underline{A} \tag{16}$$

cuya forma covariante según Lorentz se obtiene [20] reemplazando el laplaciano por el operador de d´Alembert. Así, la Ec. (3) implica la Ec. (13) y viceversa.

Para todo propósito práctico, la Ec. (14) es:

$$\underline{B}^{(3)} = B^{(0)}\underline{k} \tag{17}$$

que es el lado izquierdo de la Ec. (1). Por lo tanto, resulta directo demostrar que la Ec. (1) corresponde a la forma maxwelliana, con masa fotónica igual a cero, de la teoría de la luz de Einstein/de Broglie.

2. Discusión y consecuencias fundamentales.

Es importante notar que la Ec. (1) viene implícita en el trabajo de Moles y Vigier [21] y en el de Bass y Schroedinger [22]. Esto se ha vuelto claro a través de los siguientes comentarios de Vigier [23]. El campo E^L de Moles y Vigier [21] es paralelo al campo $B^{(3)}$ de la Ec. (1). Los tres vectores E_i^T y B_i^T vienen definidos entonces por

$$E_i^T = \frac{1}{2}\epsilon_{ijk}F^{jk}\ ;\quad B_i^T = \frac{1}{2}\epsilon_{ijk}F^{jk} \tag{18}$$

según la anotación de Moles y Vigier [21]. La Ec. (1) de este documento puede entonces expresarse en dicha notación como

$$B_k^{(3)} = \frac{1}{2}\epsilon_{kij}E_i^T\frac{E_j^{T_0}}{(B_0 c i)} = \frac{1}{2}\epsilon_{kij}B_i^T\frac{B_j^{T_0}}{(B_0 i)} \tag{19}$$

de manera que B_k es paralela a k_k y B_0^2 $(J_0)^2$ si mantenemos la notación de la referencia [21]. Dado que todas las amplitudes de campo vienen en esa notación multiplicadas por exp-(kX − ωt) , es decir kT = - iħ ($A_\nu\partial_\mu A_\nu$ − c.c.) y E^T, H^T y k son mutuamente perpendiculares entre sí, tenemos [21]:

$$\underline{B}^{(3)} = B^0\underline{k}\ \ \text{y}\ \ \underline{E}^L \parallel \underline{k} \tag{20}$$

que resulta la Ec. (1) de este documento.

Por lo tanto, la Ec. (1) resulta directamente implícita a partir de las ecuaciones de Moles y Vigier [21] en un documento que discute las posibles consecuencias físicas de la existencia de una masa fotónica distinta de cero en la interacción de la luz y la materia. Se vuelve claro que los campos $B^{(3)}$y $E^{(3)}$ son las formas limitantes maxwellianas de los campos longitudinales implícitos por la teoría de la luz de Einstein / de Broglie, y para todos los propósitos prácticos, resultan indistinguibles (porque ξ en la Ec. (14) es del orden de 10^{-26} m^{-1}). Así, la evidencia experimental acerca de la existencia de $B^{(3)}$y $E^{(3)}$ resultaría evidencia suficiente para la existencia de una masa finita para el fotón, porque resultaría consistente tanto con la teoría de Einstein / de Broglie como con otras evidencias experimentales acerca de la masa finita del fotón analizadas por Vigier [8]. No existe evidencia experimental que respalde una masa fotónica igual a cero.

En caso de que produjesen resultados positivos, los siguientes experimentos propuestos pueden considerarse [23] como evidencia de la existencia de una masa fotónica finita, así como de la existencia de los campos longitudinales $B^{(3)}$y $E^{(3)}$, el intercambio de fotones longitudinales, la acción de fotones longitudinales sobre la materia, y el hecho de que las fuentes emiten tanto fotones longitudinales como transversales en TRES estados de polarización, en lugar de dos como establece la interpretación convencional de la luz.

La principal consecuencia experimental de la Ec. (1), (o de la Ec. (17)) es la existencia de los campos longitudinales $B^{(3)}$ y $E^{(3)}$, los cuales son proporcionales a la raíz cuadrada de la intensidad de la luz en el vacío [9-11]. En el contexto de $B^{(3)}$, por ejemplo, el campo posee todos los atributos de una densidad de flujo magnético [9-11,14] y por ende debiera producir efectos ópticos en analogía con efectos debidos a un campo magnético convencional. Se han propuesto y discutido ejemplos en detalle en la literatura [9-11,14] e incluyen los siguientes, todos ellos proporcionales a la raíz cuadrada de la intensidad de la luz (watt m^{-2}) de un pulso de láser con polarización circular:

a) Un efecto Faraday inverso (magnetización).

b) Un efecto Faraday óptico (rotación azimutal).

c) Un efecto Zeeman óptico (división espectral).

d) Desplazamientos ópticamente inducidos en RES y RMN.

e) Efectos Majorana y Cotton Mouton ópticamente inducidos.

f) Efectos de birrefringencia hacia adelante y hacia atrás, inducidos ópticamente.
g) Efectos adicionales en la dispersión de Compton.
h) Otros efectos magnéticos.

Adicionalmente, el campo longitudinal $E^{(3)}$ debiera de producir efectos ópticamente inducidos similares, tales como los desplazamientos Stark, que dependen de $E^{(3)}$ en primer orden.

Más aún, se ha demostrado [9-11, 14] que interpretaciones convencionales de fenómenos tan conocidos como la simple absorción, elipticidad, dicroísmo circular, el efecto Kerr, dispersión antisimétrica, y bien conocidos parámetros tales como los de Stokes [15], pueden desarrollarse en términos de $E^{(3)}$ y/o $B^{(3)}$ con una validez semejante a la interpretación convencional en términos de $E^{(1)}$, $E^{(2)}$, $B^{(1)}$ y $B^{(2)}$, los campos transversales y oscilantes.

Por lo tanto, podemos concluir que la teoría de Einstein / de Broglie, la cual se ha demostrado que puede verificarse experimentalmente a través de trabajos recientes [7], produce campos eléctricos y magnéticos longitudinales físicamente significativos que se vinculan con los campos transversales a través de la Ec. (1), y que se espera producirían nuevos efectos [9-11,14] tal como se ha resumido en esta sección. Es interesante notar que existe una literatura creciente [23] acerca de soluciones nuevas y físicamente significativas, de las ecuaciones de Maxwell en el vacío. Risset, por ejemplo, ha demostrado [24] que hay una clase de soluciones no difractantes que emergen como una superposición de ondas evanescentes con polarización circular, denominadas "ondas labiales". Aparecen como ondas EMT con polarización circular, no difractantes, y Risset [24] ha propuesto dos interpretaciones alternativas, en especial que en estas soluciones, el campo electromagnético progresa, como un todo, a lo largo de su eje con una velocidad de fase c, o que el campo gira, sin una aparente propagación, alrededor de su eje, con una velocidad angular $\epsilon\,\omega/2$, donde $\epsilon = \pm 1$, y ω es la frecuencia angular. Aplicando la Ec.(1) a estas soluciones, se vuelve claro que las ondas labiales también implica una polarización fotónica longitudinal, dada en la notación de Risset [24] como

$$\underline{B}^{(3)} = \frac{\underline{B} \times \underline{B}^{*}}{B_0 i} = 2B_0 \delta^4 \frac{(x^2 - y^2 + 4xy)^2}{(x^2+y^2)^4}\, \underline{k}$$

donde δ es la constante de normalización para la longitud [24]. Risset incluye un esquema para las ondas labiales en la página 1057 de la ref. [24], a lo cual debieran de agregarse los campos longitudinales generados como se menciona arriba mediante sus novedosas soluciones para las ecuaciones de Maxwell.

Agradecimientos

El autor intercambió correspondencia con el Prof. J.P. Vigier, en particular una pre impresión de la ref. [7], que contiene mucha información valiosa respecto del estado experimental actual de la teoría de Einstein / de Broglie de la radiación electromagnética. La sugerencia de que la Ec.(1) pudiera ser el límite de masa igual a cero de la teoría de Einstein / de Broglie se menciona en una carta del 4 enero 1993 al autor, proveniente del Prof. Vigier desde la Université Pierre et Marie Curie, en París. Comentarios adicionales, recibidos en una carta del 28 mayo (ref. [23]) se han discutido como en el texto. Estos comentarios relacionan los campos $B^{(3)}$ y $E^{(3)}$ al trabajo de Moles y Vigier [21] acerca de la teoría de la luz de Einstein / de Broglie. El trabajo mencionado en dicha carta describe una sencilla demostración eurística del límite maxwelliano de la teoría.

Referencias bibliográficas.

[1] A. Einstein, Werk. Deutsch. Phys. Ges. **18** (1916) 318.

[2] A. Einstein, Mitt. Phys. Ges. Zurich **16** (1916) 47.

[3] A. Einstein, Phys. Zeit., **18** (1919) 121.

[4] A. Einstein, Cartas a Besso, Ago 8, Sept 6, (1916).

[5] A. Einstein, Ann. Phys. **18** (1917) 121.

[6] L. de Broglie, “La Mecanique Ondulatoire du Photon”. (Gauthier Villars, Paris, 1936);

L. de Broglie y J.P.Vigier, Phys.Rev.Lett, 28 (1972) 79; J.P.Vigier, IEEE Trans. Plasma Sci., **18** (1990) 64.

[7] Y. Mizobuchi y Y. Ohtake, citado por J.P.Vigier, comunicación de un documento presentado en una conferencia al autor, enero, 1993, desde la Universié Pierre et Marie Curie, Paris.

[8] J.P. Vigier, “Present experimental status of the Einstein / de Broglie theory of light” (preimpresión de un documenot de una conferencia, comunicación de la ref. [7].

[9] M.W. Evans, Physica B, 182 (1992) 227.

[10] M.W. Evans, Physica B, 182 (1992) 237; en prensa, 1993.

[11] M.W. Evans, “The photon´s magnetic field” (World Scientific, Singapur, primavera 1993).

[12] F. Farahi y M.W. Evans, Phys. Rev. E, en prensa, marzo 1993.

[13] J.P. Vigier, carta al autor de enero 4, 1993, desde la Université Pierre et Marie Curie, París.

[14] M.W. Evans, Phys Rev. E, presentado, partes 1 a 3.

[15] J.D. Jackson, “Classical Electrodynamics”. (Wiley, Nueva York, 1962) y muchos otros libros de texto.

[16] descrito por L.S.Ryder. “Quantum Field Theory”. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1987), cap. 4.

[17] por ejemplo en el gaude de Lorentz, como en la ref. [16].

[18] descrito en la p. 10 de la preimpresión, ref.[8]. Las soluciones longitudinales son el la práctica ondas escalares independientes, independientes de la frecuencia, como en la Ec.(1).

[19] como en la ref. [18].

[20] L.S. Ryder, “Elementary particles and symmetries.” (Gordon & Breach, Londres, 1986, 2a ed.) pp. 244 y 245.

[21] M. Moles y J.P. Vigier, Comptes Rendues, **276** (1973) 697.

[22] L. Bass y E. Schroedinger, Proc. Roy. Soc. (Londres), **232A** (1955) 1.

[23] Carta del 28 de enero, 1993 al autor del Prof. J.P. Vigier, UPMC, Paris, Departamento de Física Teórica, Institut Henri Poincaré.

[24] C.A. Rousset, Comptes Rendues, **315**, (1992) 1055.