

El Efecto Aharonov Bohm en la Teoría ECE2.

por

M. W. Evans y H. Eckardt
Civil List, AIAS y UPITEC

(www.webarchive.org.uk , www.aias.us , www.atomicprecision.com , www.upitec.org ,
www.et3m.net)

Traducción: Alex Hill (www.et3m.net)

Resumen.

El Efecto Aharonov Bohm se define en la teoría ECE2 como una región en la que los campos eléctrico y magnético están ausentes, pero en donde el 4-potencial del vacío es distinto de cero. El vacío de Aharonov Bohm se distingue del vacío definido por la ausencia de densidad de corriente de carga y se demuestra que el vacío de Aharonov Bohm contiene un potencial vectorial que puede causar resonancia de espín electrónico y resonancia magnética nuclear en ausencia de un campo magnético.

Palabras clave: teoría ECE2, el efecto Aharonov Bohm, REE provocada por el potencial del vacío.

1. Introducción.

En documentos recientes de esta serie [1-12] se ha desarrollado la relatividad restringida ECE2 para varios tipos de espectroscopía, en especial la resonancia de espín electrónico (REE) y resonancia magnética nuclear (RMN). La relatividad restringida ECE2 se define en un espacio con torsión y curvatura finitas. Durante el transcurso del desarrollo de la teoría ECE2 (UFT313-UFT320 y UFT322- UFT335 en el portal www.aias.us a la fecha) se han producido varios descubrimientos, en especial en teoría de campo, cosmología y espectroscopía. En la Sección 2 de este documento se define el vacío de Aharonov Bohm (AB) en ECE2 como regiones en las que los campos eléctrico y magnético están ausentes, pero en donde el 4-potencial del vacío AB es distinto de cero. Se demuestra que el potencial vectorial del vacío AB causa resonancia de espín electrónico (REE) en ausencia de un campo magnético. El conocido experimento de Chambers puede adoptarse para REE debido al vacío AB, demostrando que el vacío contiene un potencial vectorial.

Este documento es un resumen de los cálculos detallados en las cinco Notas de Acompañamiento de UFT336 en el portal www.aias.us . En la Nota 366(1), se desarrolla la teoría relativista de REE en un rayo de electrones, utilizando el método de cuantización de la ecuación de Schroedinger, es decir, la cuantización del momento lineal clásico. Esto constituye una pieza fundamental en el camino de una cuantización relativista rigurosa, una en la que se cuantiza el 4-momento relativista. Se cuantiza de esta forma la ecuación de Dirac. En la Nota 336(2), se utiliza la ecuación de onda ECE en el límite de Dirac para calcular la función de onda completa del electrón, una función de onda que depende tanto de la coordenada r como del tiempo t . Esta Nota utiliza cuantización relativista rigurosa para producir la frecuencia de resonancia REE en un rayo de electrones. El factor de Lorentz se define a través de las ecuaciones de de Broglie / Einstein. La Nota concluye que este tipo de REE puede emplearse como prueba de los fundamentos de la mecánica cuántica relativista y de las ecuaciones de de Broglie / Einstein. La Nota 336(3) efectúa un estudio preliminar del factor g anómalo del electrón en términos del potencial vectorial del vacío AB. La Nota 336(4) emplea las ecuaciones de campo de la teoría ECE2 (ver, por ejemplo, UFT318) para definir el vacío AB en términos de los potenciales de la teoría ECE2, y distingue el vacío AB del vacío definido tradicionalmente, en el que los campos eléctrico y magnético son distintos de cero, pero en el cual la densidad de corriente de carga es igual a cero. Finalmente, la Nota 336(5) calcula la frecuencia de resonancia de REE debida al potencial vectorial del vacío AB. La Sección 2 se basa en las Notas 336(4) y 336(5). La Sección 3 consiste en un análisis gráfico y computacional realizado por el coautor Horst Eckardt.

2. Condición para el Efecto AB y REE por el Vacío.

El efecto Aharonov Bohm es bien conocido [1-12] y se describe mediante la presencia de

potenciales y la ausencia de campos electromagnéticos. Consideremos la densidad de flujo magnético \underline{B} en la teoría ECE2, definida por los potenciales \underline{W} y \underline{A} de ECE2 (p.ej., UFT318) de la siguiente manera:

$$\underline{B} = \nabla \times \underline{W} = \nabla \times \underline{A} + 2 \underline{\omega} \times \underline{A} \quad (1)$$

donde

$$\underline{W} = W^{(0)} \underline{\omega}, \quad \underline{A} = A^{(0)} \underline{q}. \quad (2)$$

Aquí, $\underline{\omega}$ es el vector de conexión de espín y \underline{q} es el vector de la tétrada. Por lo tanto, el vacío AB se define mediante la geometría de Cartan como:

$$\nabla \times \underline{\omega} = \underline{0} \quad (3)$$

y

$$\nabla \times \underline{q} = 2 \underline{q} \times \underline{\omega}. \quad (4)$$

Utilizando la identidad

$$\nabla \cdot \nabla \times \underline{q} = \underline{0} \quad (5)$$

La geometría de vacío AB puede definirse mediante una ecuación:

$$\underline{\omega} \cdot \nabla \times \underline{q} = 0 \quad (6)$$

es decir

$$\underline{W} \cdot \nabla \times \underline{A} = 0 \quad (7)$$

Con referencia a la Nota 336(4), la densidad de flujo magnético \underline{B} y la fuerza de campo eléctrico \underline{E} se definen en la teoría ECE2 a través de los vectores de espín y de curvatura orbital (UFT318) como sigue:

$$\underline{B} = W^{(0)} \underline{R} \text{ (espín)} \quad (8)$$

y

$$\underline{\underline{F}} = c W^{(0)} \underline{\underline{R}} \quad (\text{orb}) \quad (9)$$

De manera que los efectos AB se producen en regiones en donde no hay torsión ni curvatura, pero en donde la tétrada y la conexión de espín son cero. En notación mínima, la geometría de vacío AB [1-12] es como sigue:

$$T = d \wedge q + w \wedge q = 0 \quad (10)$$

$$R = d \wedge w + w \wedge w = 0 \quad (11)$$

de manera que

$$d \wedge q = -w \wedge q, \quad (12)$$

$$d \wedge w = -w \wedge w, \quad (13)$$

con

$$T = R = 0. \quad (14)$$

En la Nota 336(4), el vacío AB se distingue claramente del vacío tradicional definido por la ausencia de densidad de corriente de carga, pero un vacío en el cual los potenciales y campos eléctrico y magnético son distintos de cero. En el vacío AB los campos eléctrico y magnético, y el 4-vector de la densidad de corriente / carga son todos iguales a cero, pero los potenciales no son iguales a cero. El experimento de Chambers muestra que el vacío AB es un vacío físico, porque la difracción Young de ondas de materia de electrones se ve afectada por potenciales en ausencia de los campos. El tipo tradicional de vacío se define en la teoría ECE2 mediante:

$$\left. \begin{aligned} \underline{\nabla} \cdot \underline{\underline{B}} &= 0 \\ \underline{\nabla} \cdot \underline{\underline{E}} &= 0 \\ \frac{\partial \underline{\underline{B}}}{\partial t} + \underline{\nabla} \times \underline{\underline{E}} &= \underline{\underline{0}}, \quad \underline{\nabla} \times \underline{\underline{B}} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial \underline{\underline{E}}}{\partial t} = \underline{\underline{0}} \end{aligned} \right\} (15)$$

y por

$$\left. \begin{aligned} \underline{\underline{k}} \cdot \underline{\underline{B}} &= \underline{\underline{k}} \cdot \underline{\underline{E}} = 0 \\ k_0 c \underline{\underline{B}} + \underline{\underline{k}} \times \underline{\underline{E}} &= \underline{\underline{0}}, \quad k_0 \underline{\underline{E}} / c + \underline{\underline{k}} \times \underline{\underline{B}} = 0 \end{aligned} \right\} (16)$$

donde

$$K_0 = 2 \left(q_0 / r^{(0)} - \omega_0 \right), \quad (17)$$

$$K = 2 \left(q / r^{(0)} - \underline{\omega} \right), \quad (18)$$

en la notación del Modelo de Ingeniería (UFT303) y UFT318. La Nota 336(4) muestra que la solución:

$$K_0 = 0, \quad \underline{K} = 0 \quad (19)$$

significa que \underline{B} y \underline{E} desaparecen. La solución más sencilla de las Ecs. (15) a (19) es:

$$\underline{E} = \underline{B} = 0, \quad K_0 = 0, \quad \underline{K} = \underline{0} \quad (20)$$

en cuyo caso el vacío tradicional se reduce al vacío AB.

Si se acepta la teoría del vacío tradicional, y se emplean soluciones de onda plana para las Ecs. (15), el resultado es:

$$\underline{K} = \left(\frac{K^2 + K_0^2}{K_x + K_y} \right) (\underline{i} + \underline{j}) \quad (21)$$

como se muestra en la Nota 336(4). Bajo la condición (21) ECE2 permite la existencia de campos eléctricos y magnéticos del vacío en ausencia de densidad de corriente de carga. Por otro lado, el vacío de Aharonov Bohm se define mediante la Ec. (20).

Resulta de interés desarrollar una teoría de la interacción del vacío AB con un electrón, porque esta teoría conduce a la posibilidad de REE y RMN en regiones en las que no hay densidad de flujo magnético \underline{B} . Esto sería una demostración precisa de la existencia del potencial vectorial del vacío AB, denotado como \underline{A} en la siguiente teoría. Como se mostró en detalle en la Nota 336(5), la teoría relativista de la interacción de un electrón con el vacío de Aharonov Bohm viene dada por la ecuación:

$$(\underline{E} - e\phi)^2 = c^2 (\underline{p} - e\underline{A}) \cdot (\underline{p} - e\underline{A}) + m^2 c^4 \quad (22)$$

que es la ecuación de energía de Einstein para el electrón modificada por la prescripción mínima:

$$P^\mu \longrightarrow P^\mu - eA^\mu \quad (23)$$

donde el 4-potencial del vacío AB es:

$$A^\mu = \left(\frac{\phi}{c}, \underline{A} \right). \quad (24)$$

La energía total y momento relativistas se definen mediante las conocidas ecuaciones de de Broglie / Einstein:

$$E = \gamma mc^2 = \hbar \omega \quad (25)$$

$$\underline{P} = \gamma \underline{p}_0 = \hbar \underline{k} \quad (26)$$

donde ω es la frecuencia angular de la onda de materia del electrón y \underline{k} es su vector de onda. Aquí, \hbar es la constante reducida de Planck. El factor de Lorentz por lo tanto se define como:

$$\gamma = \frac{\hbar \omega}{mc^2} = \left(1 - \frac{p_0^2}{m^2 c^2} \right)^{-1/2} \quad (27)$$

donde el momento relativista se define mediante:

$$\underline{P} = \gamma \underline{p}_0 = \gamma m \underline{v}_0 \quad (28)$$

Se deduce entonces que:

$$E - mc^2 = \frac{1}{(1+\gamma)m} \underline{\sigma} \cdot (\underline{P} - e\underline{A}) \left(1 - \frac{e\phi}{(1+\gamma)mc^2} \right)^{-1} \underline{\sigma} \cdot (\underline{P} - e\underline{A}) + e\phi \quad (29)$$

que se reduce a una teoría de tipo Dirac cuando:

$$\gamma \longrightarrow 1 \quad (30)$$

es decir, cuando la frecuencia angular del electrón se define a través de su frecuencia angular en reposo:

$$\hbar \omega_0 = mc^2 \quad (31)$$

Por lo tanto, la teoría de Dirac contiene una autocontradicción, porque el electrón no está en movimiento.

Como se ha ilustrado en documentos inmediatamente precedentes, la teoría de Dirac da origen al resultado sin sentido físico:

$$\hbar_0 = \hbar - mc^2 = ? 0. \quad (32)$$

Con el objeto de desarrollar la Ec. (29) de un modo analíticamente rastreable supongamos que:

$$e\phi \ll (1+\gamma)mc^2 \quad (33)$$

una aproximación que conduce a:

$$\begin{aligned} E - mc^2 \approx \frac{1}{(1+\gamma)m} \underline{\sigma} \cdot (\underline{p} - e\underline{A}) \underline{\sigma} \cdot (\underline{p} - e\underline{A}) \\ + \frac{1}{(1+\gamma)m} \underline{\sigma} \cdot (\underline{p} - e\underline{A}) \frac{e\phi}{(1+\gamma)mc^2} \underline{\sigma} \cdot (\underline{p} - e\underline{A}) + e\phi \end{aligned} \quad (34)$$

El lado derecho de esta ecuación contiene el término de REE en el primer término, y los efectos de órbita de espín en el segundo término. La cuantización relativista se define mediante

$$\hat{p}^{\mu} \psi = i \hbar \partial^{\mu} \psi \quad (35)$$

es decir

$$E \psi = i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (36)$$

y

$$\underline{p}\psi = -i\hbar \underline{\nabla}\psi. \quad (37)$$

Este procedimiento de cuantización no puede demostrarse *ab initio*. Es puramente empírica. De manera que hay muchas maneras de cuantizar la Ec. (34).

El término requerido de REE viene dado por la cuantización:

$$\begin{aligned} (\underline{E} - mc^2)\psi &= \frac{1}{m(1+\delta)} (\underline{\sigma} \cdot (-i\hbar \underline{\nabla} - e\underline{A})) \cdot ((\underline{\sigma} \cdot \underline{p} - e\underline{A})\psi) \\ &= \frac{ie\hbar}{m(1+\delta)} \underline{\sigma} \cdot \underline{\nabla} \underline{\sigma} \cdot \underline{A}\psi + \dots \end{aligned} \quad (38)$$

Utilizando álgebra de Pauli:

$$\underline{\sigma} \cdot \underline{\nabla} \underline{\sigma} \cdot \underline{A} = \underline{\nabla} \cdot \underline{A} + i \underline{\sigma} \cdot \underline{\nabla} \times \underline{A} \quad (39)$$

De manera que la parte real relevante y con sentido físico de la Ec. (38) es:

$$(\underline{E} - mc^2)\psi = -\frac{e\hbar}{m(1+\delta)} \underline{\sigma} \cdot \underline{\nabla} \times \underline{A}\psi + \dots \quad (40)$$

El momento angular de espín del electrón es:

$$\underline{S} = \frac{\hbar}{2} \underline{\sigma} \quad (41)$$

De manera que

$$(\underline{E} - mc^2)\psi = -\frac{2e}{m(1+\delta)} \underline{S} \cdot \underline{\nabla} \times \underline{A}\psi + \dots \quad (42)$$

En teoría cuántica, es bien sabido que:

$$\hat{S}_z \psi = \hbar m_s \psi \quad (43)$$

donde

$$m_s = -S, \dots, S \quad (44)$$

Aquí, S es el número cuántico angular de espín del electrón, un fermión, de manera que:

$$S = \frac{1}{2} \quad (45)$$

y

$$m_s = \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \quad (46)$$

por lo tanto:

$$(\hat{E} - mc^2) \psi = -\frac{ze\hbar}{m(1+\gamma)} m_s (\nabla \times \underline{A})_z \quad (47)$$

y la resonancia de espín electrónico se define mediante:

$$\hbar \omega_{res} = -\frac{ze\hbar}{m(1+\gamma)} \left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) (\nabla \times \underline{A})_z \quad (48)$$

de manera que la frecuencia de resonancia es:

$$\omega_{res} = \frac{ze}{m(1+\gamma)} (\nabla \times \underline{A})_z \quad (49)$$

Por lo tanto, el efecto del vacío de tipo AB es el causar REE en ausencia de un campo magnético, QED.

3. Análisis computacional y gráfico.

Demostramos algunas propiedades del potencial vectorial a fin de explicar que resulta dificultoso determinar el tipo de potencial vectorial a partir de su aspecto. En primer lugar, consideramos un campo vectorial dipolar en dos dimensiones:

$$\underline{A}(X, Y) = q_1 \left(\frac{X - X_0}{((X - X_0)^2 + Y^2)^{3/2}} \right) + q_2 \left(\frac{X + X_0}{((X + X_0)^2 + Y^2)^{3/2}} \right) \quad (50)$$

Los vectores de dirección de este campo se han representado gráficamente en la Fig. 1, junto con las líneas de equipotencial que se obtienen del potencial de tipo Coulomb

$$V(X, Y) = \frac{q_1}{((X - X_0)^2 + Y^2)^{1/2}} + \frac{q_2}{((X + X_0)^2 + Y^2)^{1/2}} \quad (51)$$

Los dos valores de carga se seleccionaron diferentes entre sí: $q_1 = 1$, $q_2 = -1.6$. Como resultado, el potencial y el campo dipolar del lado derecho de la imagen está mucho más contraído que el de la izquierda, y puede observarse del lado derecho una estructura rotacional de vectores direccionales. De toda maneras, el rotor de un campo dipolar desaparece, tal como puede calcularse a partir de la Ec.(50):

$$\nabla \times \underline{A}(X, Y) = 0. \quad (52)$$

Esto pareciera no resultar como habría de esperarse al primer golpe de vista.

Como segundo ejemplo, consideramos el potencial vectorial de un solenoide infinitamente largo en coordenadas cilíndricas (r, θ, Z) . A partir de la electrodinámica se sabe que el potencial vectorial correspondiente posee solamente un componente θ . Surge linealmente dentro del solenoide (hasta el radio a) y cae en forma hiperbólica fuera del mismo:

$$A_\theta = \begin{cases} fr & \text{para } r \leq a \\ f \frac{a^2}{r} & \text{para } r > a \end{cases} \quad (53)$$

donde f es un factor. El componente Z del rotor de este potencial vectorial es

$$(\nabla \times \underline{A})_z = \begin{cases} 2f & \text{para } r \leq a \\ 0 & \text{para } r > a \end{cases}$$

(54)

los otros componentes son iguales a cero. Esto describe el hecho que un solenoide infinito idealizado contiene dentro un campo magnético homogéneo, y el campo magnético desaparece afuera del mismo, como sucede en el caso del efecto Aharonov Bohm. El potencial vectorial se representa gráficamente en la Fig. 2, con algunos círculos describiendo isolíneas de la magnitud de A . Aun cuando la estructura de este potencial es muy regular si se le compara con la Fig. 1, el rotor no desaparece en la parte interior del mismo. El rotor resulta a partir de la dependencia respecto de las coordenadas de los componentes de A de una manera bastante intrincada. La Fig. 2 puede servir como demostración del potencial para el efecto Aharonov Bohm, donde el solenoide normalmente posee una forma cerrada, de tipo toroidal. Interpretando a A como un potencial del vacío, hasta podría permitirse que no desapareciese el rotor. Según los resultados experimentales más recientes, podría haber campos eléctricos y magnéticos fluctuantes presentes en el vacío durante una escala de tiempo muy corta. Esto justifica el enfoque hacia la resonancia de espín electrónico (la Ec.(49)) utilizado en este documento.

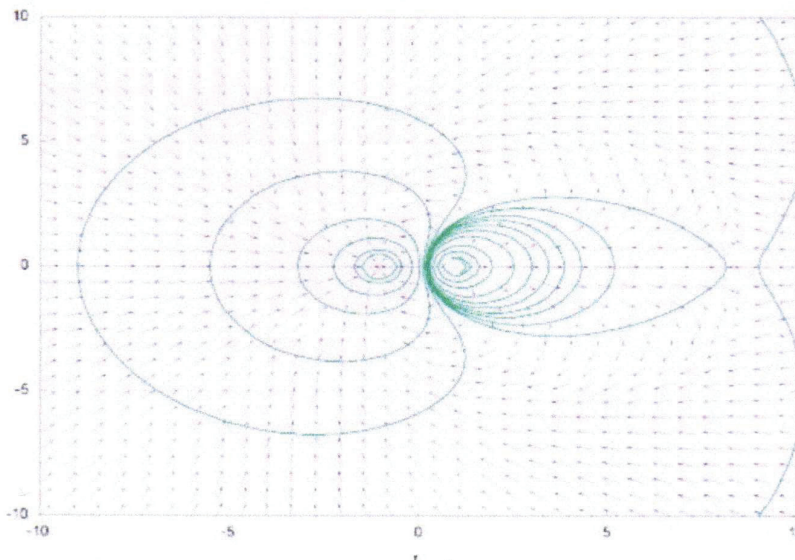


Figura 1: Líneas equipotenciales y vectores de dirección de un campo dipolar.

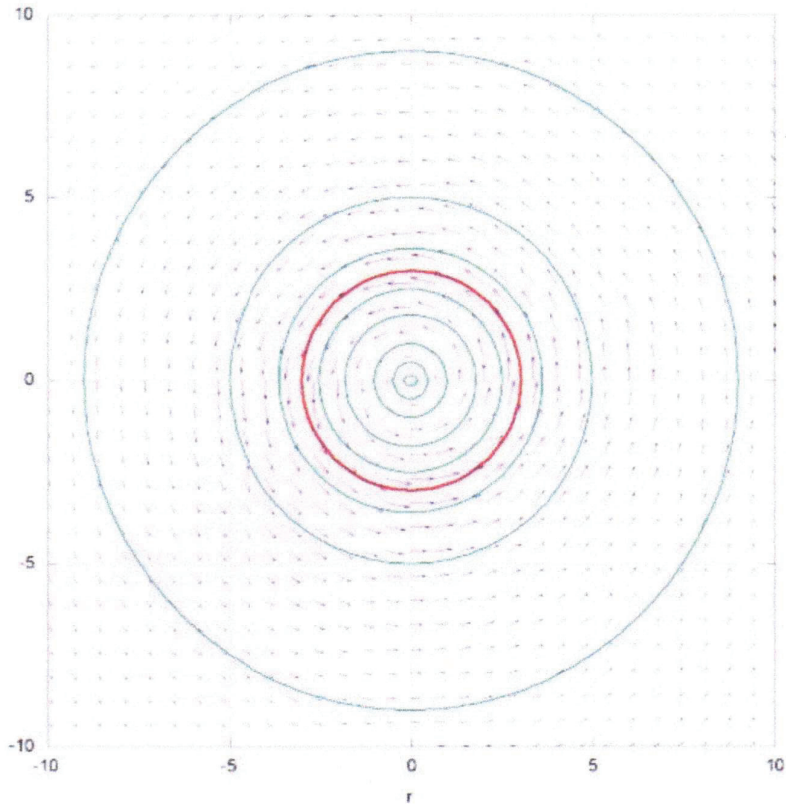


Figura 2: Potencial vectorial y líneas de igual magnitud para un solenoide infinito (sección transversal). El círculo rojo indica el radio del solenoide.

Agradecimientos.

Se agradece al Gobierno Británico por la Pensión Civil Vitalicia para MWE y al equipo técnico de AIAS y otros por muchas discusiones interesantes. Se agradece a Dave Burleigh por el mantenimiento al portal, las publicaciones en el mismo y a la programación y mantenimiento del sistema de retroalimentación, a Alex Hill por las traducciones y lecturas en idioma castellano y a Robert Cheshire por las lecturas en idioma inglés.

Referencias bibliográficas.

- [1] M. W. Evans, H. Eckardt, D. W. Lindstrom y S. J. Crothers, "The Principles of ECE Theory" (UFT281 a UFT288 en el portal www.aias.us , en la Sección en Español y en New Generation Publishing, en prep.).
- [2] M. W. Evans, H. Eckardt y D. W. Lindstrom, "Generally Covariant Unified Field Theory" (Abramis en siete volúmenes, y los documentos relevantes de la serie UFT en el portal www.aias.us).
- [3] M. W. Evans, Ed., J. Found. Phys. Chern., (Cambridge International Science Publishing 2001, CISP, y los documentos relevantes en el portal www.aias.us).
- {4} M .W. Evans, Ed., "Definitive Refutations of the Einsteinian General Relativity" (edición especial de la referencia [3] y de libre acceso en el portal www.aias.us).
- [5] M. W. Evans, S. J. Crothers, H. Eckardt y K. Pendergast, "Criticisms of the Einstein Field Equation" (CEPE, CISP 2010 y UFT301).
- [6] L .Felker, "The Evans Equations of Unified Field Theory" (Abramis 2007, UFT302, traducido al castellano por Alex Hill en la Sección en Español del portal www.aias.us).
- [7] H. Eckardt, "The ECE Engineering Model" (UFT303, ecuaciones reunidas).
- [8] M .W. Evans, "Collected Scientometrics" (UFT307, New Generation 2015).
- [9] M .W. Evans y L. B. Crowell, "Classical and Quantum Electrodynamics and the B⁽³⁾ Field" (World Scientific 2001 y de libre acceso en la sección Omnia Opera, www.aias.us).
- [10] M .W. Evans y S. Kielich (eds.), "Modern Nonlinear Optics" (Wiley Interscience, Nueva York, 1992, 1993, 1997, 2001) en dos ediciones y seis volúmenes.
- [11] M. W. Evans y J. - P. Vigiér, "The Enigmatic Photon" (Kluwer 1994 - 2002 y en la sección Omnia Opera) en diez volúmenes, con encuadernación dura y blanda.
- [12] M .W. Evans y A. A. Hasanein, "The Photomagnetron in Quantum Field Theory" (World Scientific, 1994).