

Sobre los efectos Einstein-de Haas y Barnett

André Michaud

Service de Recherche Pédagogique

- [Click here for English version](#)
- [Cliquer ici pour version française](#)
- [Hier anklicken für die Deutsche Fassung](#)

Resumen:

La relación ortogonal entre el aspecto magnético (spin) de la energía de las partículas elementales y la dirección del movimiento de estas partículas puede demostrarse a nivel macroscópico por medios mecánicos.

Se puede demostrar que la alineación forzada de los espines de los electrones en los materiales ferromagnéticos hace que la energía portadora de los electrones relacionados se alinee ortogonalmente al campo, lo que puede causar un movimiento detectable a nivel macroscópico (el efecto Einstein-de Haas) cuando este movimiento no se inhibe mecánicamente.

También se puede demostrar que forzar mecánicamente a los electrones de los materiales ferromagnéticos para que se muevan en una dirección común obliga a que el espín de su energía portadora se alinee en paralelo, de modo que su campo magnético combinado se hace detectable a nivel macroscópico (el efecto Barnett).

Este artículo se publicó en 2013 en el *International Journal of Engineering Research and Development*:

Michaud, A. (2013) *On the Einstein-de Haas and Barnett Effects*. International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 6, Issue 12 (May 2013), PP. 07-11.

<http://ijerd.com/paper/vol6-issue12/B06120711.pdf>

Otros trabajos en el mismo proyecto:

[INDEX - Mecánica electromagnética \(El modelo de los 3-espacios\)](#)

Aquí está la traducción al español de este artículo:

Sobre los efectos Einstein-de Haas y Barnett

André Michaud

SRP Inc Service de Recherche Pédagogique Québec Canada

Resumen:- La relación ortogonal entre el aspecto magnético (spin) de la energía de las partículas elementales y la dirección del movimiento de estas partículas puede demostrarse a nivel macroscópico por medios mecánicos. Se puede demostrar que la alineación forzada de los espines de los electrones en los materiales ferromagnéticos hace que la energía portadora de los electrones relacionados se alinee ortogonalmente al campo, lo que puede causar un movimiento detectable a nivel macroscópico (el efecto Einstein-de Haas) cuando este movimiento no se inhibe mecánicamente. También se puede demostrar que forzar mecánicamente a los electrones de los materiales ferromagnéticos para que se muevan en una dirección común obliga a que el espín de su energía portadora se alinee en paralelo, de modo que su campo magnético combinado se hace detectable a nivel macroscópico (el efecto Barnett)..

Palabras clave:- Efecto Einstein-de Haas, efecto Barnett, alineación de los espines, material ferromagnético, espín, energía portadora, modelo de los 3 espacios.

I. El experimento del cilindro ferromagnético suspendido

En 1911, Albert Einstein y Johannes Wander de Haas, un famoso experimentador holandés, diseñaron y llevaron a cabo un experimento muy revelador sobre el comportamiento magnético de los electrones, conocido como el efecto Einstein-de Haas [1].

Entendiendo que los campos magnéticos macroscópicos se debían a algún tipo de alineación de los electrones, incluso antes del descubrimiento de la propiedad denominada "espín", que asocia claramente un campo magnético a cada electrón, dedujeron que si los electrones de un cilindro de material ferromagnético, hierro por ejemplo, que se hacía colgar de un alambre fino, se veían repentinamente obligados a alinearse ortogonalmente con respecto al eje de rotación proporcionado por el alambre de soporte, sometiendo el cilindro a un campo magnético externo, entonces los electrones del material deberían obligar a sus campos magnéticos microscópicos locales a alinearse paralelamente en la dirección opuesta y sus momentos angulares locales microscópicos, perpendiculares por estructura a su campo magnético microscópico local, deberían entonces alinearse también paralelamente y combinarse para hacerse observables a nivel macroscópico en forma de un momento angular del cilindro ferromagnético suspendido.

En aquella época, todavía se suponía que los electrones orbitaban alrededor de los núcleos de los átomos y era este momento angular el que se intentaba combinar para su observación a nivel macroscópico.

¡Y sí! En cuanto el cilindro suspendido se magnetizó, ¡comenzó a girar! Pero, para su sorpresa, el momento angular macroscópico observado del cilindro era, según los cálculos, sólo la mitad del momento angular combinado que se suponía que tenían los electrones si

realmente orbitaban alrededor de los núcleos, lo que les llevó a rechazar la idea de que el movimiento de los electrones en sus órbitas pudiera ser la causa del magnetismo. La causa directa del magnetismo macroscópico no se identificó hasta una década después, cuando se descubrió el "espín" y se comprendió su función.

Pero aún así se consiguió su notable resultado. Demostraron con éxito que es posible inducir un movimiento de rotación observable macroscópicamente en materiales ferromagnéticos simplemente forzando los espines de los electrones individuales no pareados de estos materiales a alinearse paralelamente. El mismo efecto se observa también al intentar magnetizar materiales paramagnéticos.

II. El experimento de la varilla ferromagnética giratoria

Pero un efecto aún más intrigante había sido observado antes por Samuel Jackson Barnett. En 1909 descubrió que si una varilla de material ferromagnético desmagnetizado se suspende de un hilo fino y se pone en rotación por cualquier medio mecánico, ¡la varilla se magnetiza!

Además, la intensidad del campo magnético macroscópico resultante era directamente proporcional a la velocidad angular de la varilla. Se trata del efecto Barnett [2].

III. Interpretación de los experimentos

Esto significa que cuando los materiales ferromagnéticos, que contienen electrones no pareados que el equilibrio electromagnético local deja libres para girar localmente como si estuvieran montados en cardanes, se ponen en movimiento mecánicamente, estos electrones tienden a girar de manera que sus espines se alineen lo más paralelamente posible, ya que son estructuralmente perpendiculares a la dirección de la energía de su momento individual, aunque en reposo tienden naturalmente a estabilizarse en la configuración de equilibrio mutuamente antiparalela de menor energía posible dentro del material, como tantos pequeños imanes a los que se les permitiría girar libremente cerca unos de otros impidiendo que se muevan unos hacia otros.

A. Ninguna explicación por parte de la Mecánica Cuántica

Ahora bien, ¿qué tiene en un tal movimiento inducido mecánicamente que podría forzar esa alineación de los espines de los electrones no pareados en los materiales? Hay que decir que la Mecánica Cuántica no ha propuesto nunca ninguna explicación mecánica para explicar este fenómeno más allá de su "explicación matemática".

Sin embargo, el modelo de los tres espacios sugiere claramente una posible explicación mecánica. Esta explicación surge de la forma en que las estructuras dinámicas internas del fotón portador y del electrón probablemente interactúan, como se explica en dos documentos separados [9] y ([10], Sección D).

Esta interacción explica cómo y por qué el aspecto magnético del fotón portador de un electrón no tiene otra opción que alinearse lo más antiparalelamente posible al aspecto magnético del electrón que "transporta".

En realidad, dado que la frecuencia de un fotón-portador rara vez será un múltiplo exacto de la de su electrón compañero, esta alineación será, en el mejor de los casos, lo más parecido a antiparalela que permita el vector resultante de las interacciones dinámicas de sus

respectivos movimientos cíclicos ([5], Sección "25.11 Relación entre el fotón-portador y la partícula transportada")

Pero en tanto que la energía del fotón-portador permanezca estable, esta alineación antiparalela "óptima" entre el aspecto magnético del fotón portador y el de su electrón cautivo no tiene otra opción que la de mantenerse de forma bastante rígida en un tal sistema de dos partículas relativamente aislado.

B. Movimiento del electrón en el átomo de hidrógeno aislado

Sin entrar en los detalles de la variación relativista de la inercia del electrón debido a las órbitas elípticas ([6], p.329), se entiende bien que la velocidad teórica de un electrón libre en el estado fundamental de un átomo de hidrógeno aislado es una función de la longitud de onda de de Broglie de la energía de su fotón-portador, que en este caso resulta ser la longitud de la órbita fundamental, multiplicada por su frecuencia, que es el número de veces que el electrón rodearía el núcleo cada segundo si el equilibrio electromagnético local lo permitiera.

Sabemos que este movimiento de traslación del electrón en un átomo de hidrógeno aislado podría ser real, ya que una oscilación del núcleo sincronizada con la hipótesis de tal movimiento orbital del electrón, que Bohr hipotetizó, le permitió calcular con gran precisión las constantes de Rydberg del átomo de hidrógeno aislado y del átomo de helio ionizado a partir de su modelo.

De hecho, el establecimiento por parte de Bohr de la constante de Rydberg de este modo es una prueba irrefutable de que el electrón y el núcleo están físicamente localizados en todo momento en dichos átomos, a pesar del rango estadístico de la Mecánica Cuántica teóricamente infinito de la posición del electrón y de su energía portadora en dichos átomos. De hecho, sólo parece físicamente posible un rango estadístico máximo de MC que dé cuenta de la inercia del electrón en movimiento permanentemente localizado ([7], Sección M).

Sin embargo, independientemente de la complejidad posible de la trayectoria del electrón en un átomo de hidrógeno aislado, los resultados de Bohr demuestran que el perfil orbital del electrón es cíclico en el átomo de hidrógeno aislado, y que una eventual mejor comprensión de la interacción entre la atracción electrostática y la repulsión magnetostática entre el electrón y el núcleo permitirá algún día calcular con precisión el movimiento del electrón, al menos en átomos aislados de hidrógeno y helio ionizados.

c. Inmovilización de los electrones en las moléculas

También sabemos que cuando dos átomos de hidrógeno se unen para formar una molécula de hidrógeno, resulta imposible que los electrones sigan moviéndose alrededor de sus núcleos, ya que se capturan mutuamente en orientación de espín antiparalela a mitad de camino entre los núcleos (un enlace covalente), como dos imanes microscópicos que se interpenetrarían, de modo que su longitud de onda de de Broglie, que básicamente se supone que representa la distancia real que el electrón recorrería alrededor de su núcleo por ciclo de su energía portadora, se convierte en cero, a pesar de que la energía de este fotón-portador está siempre totalmente inducida por la fuerza electrostática que constantemente ejercen los núcleos a la distancia involucrada.

Como resultado, el aspecto electro-magnético de los dos fotones-portadores de estos electrones unidos covalentemente no tiene otra opción que la de oscilar localmente, con las mitades unidireccionales de sus energías ahora luchando constantemente entre sí empujando en direcciones opuestas, lo que inmoviliza completamente a los dos electrones uno respecto

al otro, y que además también están encerrados juntos en una interacción magnética antiparalela (captura magnética antiparalela).

En materiales sólidos, sólo los electrones de la capa de electrones más externa de los átomos participan en la asociación de los átomos entre sí para formar moléculas y estos electrones, obviamente, desempeñan el mismo papel en los materiales ferromagnéticos.

D. Un electrón no apareado es libre de girar localmente

Sin embargo, algunos electrones permanecen no apareados en las capas inmediatas internas de los átomos en los materiales ferromagnéticos. Mientras se mantienen relativamente inmóviles en su ubicación por el equilibrio electromagnético local, permanecen relativamente libres para girar localmente, incluso si la mitad unidireccional de la energía de su fotón-portador – aunque no se oponga la de un compañero inmediato antiparalelo – no es lo suficientemente fuerte como para hacer que el electrón se mueva contra la fuerza del equilibrio electromagnético local.

Sin entrar en los detalles de la alineación de los dominios magnéticos y de la armonización por resonancia de fase de las frecuencias de los fotones-portadores de estos no apareados electrones que giran potencialmente libremente dentro cada dominio, se puede suponer que esta supresión forzada del componente normal de velocidad unidireccional de sus fotones-portadores debe dar lugar entonces a una "presión" constante para que esta velocidad se restablezca, y que cualquier circunstancia favorable probablemente haga que este componente de velocidad comience a expresarse de nuevo en una dirección impuesta externamente.

Por lo tanto, no es ilógico pensar que un movimiento forzado inducido mecánicamente de un material ferromagnético pueda proporcionar una tal circunstancia favorable.

Recordemos aquí que en el modelo de los tres espacios, la mitad unidireccional de la energía de un fotón (ya sea portador o libre) es mecánicamente incapaz, por estructura, de orientarse de otra forma que perpendicularmente al campo magnético local constituido por la otra mitad oscilante de la energía del fotón.

IV. Puesta en movimiento del cilindro de Einstein y de Haas

Cuando el cilindro utilizado por Einstein y de Haas estaba en reposo y no estaba sometido a un campo magnético externo, todos los electrones no apareados eran, por tanto, libres de girar localmente en el material del cilindro, y entonces pasarían por defecto a la configuración más antiparalela de mínima acción posible que permitiera el equilibrio electromagnético local, dejando a nivel macroscópico o bien ningún campo magnético perceptible o bien un campo magnético apenas perceptible.

Sin embargo, cuando un campo magnético externo se aplica al cilindro, todos estos electrones que giran libremente no tienen otra opción, precisamente debido a esta libertad, que alinear todos sus campos magnéticos individuales tan antiparalelos como posible a este fuerte campo externo, obligando así a todas las mitades unidireccionales de sus fotones-portadores a reorientarse para permanecer perfectamente perpendiculares a su propio campo magnético local que acaba de cambiar de orientación, Esto hace que todas estas cantidades individuales de energía unidireccional se sumen en la misma dirección perpendicular al eje determinado por el hilo que soporta el cilindro, en número suficiente para inducir un

movimiento de rotación de toda la masa del cilindro, una rotación que se hace medible a nivel macroscópico.

Cuando se desactiva el campo magnético externo, todos estos electrones vuelven a su estado mutuo antiparalelo de energía de mínima acción y el movimiento de rotación del cilindro se detiene.

v. **Establecimiento de un campo magnético en una varilla de Barnett**

En el caso del cilindro ferromagnético, es una reorientación forzada de los campos magnéticos individuales de los electrones libres de girar para alinearse paralelamente al eje de rotación lo que obliga a todas las cantidades de energía unidireccionales de sus fotones a alinearse perpendicularmente al eje de rotación. Sin embargo, en el caso de la varilla ferromagnética de Barnett (mismo material que el del cilindro de Einstein-de Haas) ocurre lo contrario.

Cuando la barra suspendida es forzada mecánicamente a girar, las cantidades de energía unidireccionales de los fotones-portadores de los electrones que giran libremente encuentran finalmente una dirección común en la que pueden aplicarse, forzando a los campos magnéticos individuales de estos fotones-portadores a alinearse paralelamente entre sí, sumando un campo magnético mayor que puede medirse a nivel macroscópico.

Si la velocidad de rotación de la barra aumenta aún más, las energías unidireccionales de todos los fotones-portadores de estos electrones también aumentarán, de la única manera posible para ellos. Como se describe en la Referencia ([9], Sección VII), esta energía añadida se repartirá por igual entre la mitad unidireccional y la electromagnética en la estructura de cada fotón-portador de los electrones implicados, con la consecuencia automática de un aumento correspondiente de la fuerza de los campos magnéticos de todos los fotones-portadores individuales implicados y, en consecuencia, del campo magnético macroscópicamente medible que resulta de su adición por alineación paralela.

También es bastante seguro que si el cilindro de Einstein-de Haas fuera forzado a una rotación mecánica similar, se produciría el mismo fenómeno de automagnetización en función de la velocidad angular.

VI. **Sobre la inmovilización forzada de la energía unidireccional de los fotones-portadores**

Esto nos lleva a observar que en la naturaleza, la mitad unidireccional de cada fotón-portador de la mayoría de las partículas elementales tiende a ser inhibida en su movimiento por los equilibrios electromagnéticos locales que se le imponen, por la suma vectorial de todas las interacciones electromagnéticas en las que está inmerso en las grandes estructuras atómicas y moleculares de las que es cautivo.

Para comprender mejor esta situación, consideremos por similitud un caso mucho más concreto de equilibrio, pero esta vez inducido por la gravitación. El tipo de inmovilización por equilibrio electromagnético local que acabamos de considerar para los fotones-portadores, con toda la fuerza inductiva de la energía aún aplicada, es bastante similar, paradójicamente, a la de una masa en reposo sobre la superficie de la Tierra.

SOBRE LOS EFECTOS EINSTEIN-DE HAAS Y BARNETT

En un contexto gravitacional, se ha considerado conveniente expresar esta relación como una relación de *fuerza por unidad de masa* F/m (Newton por kg, o N/kg). Esta relación está determinada por la aceleración (g) a una distancia específica del centro de masa (la Tierra), a cuya distancia se encuentra una masa de prueba de 1 kg. Así,

$$F/m = g \quad \text{o} \quad F = mg$$

donde F es la fuerza expresada en Newtons ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$).

El valor de g que se suele utilizar es de $9,8 \text{ m/s}^2$, que es la aceleración media en la superficie de la Tierra. Se trata de una media entre la aceleración precisa de $9,83208 \text{ m/s}^2$ en los polos y la aceleración precisa de $9,78036 \text{ m/s}^2$ al nivel medio del mar en el ecuador. La razón de esta diferencia es que los polos están situados más cerca del centro de la Tierra que cualquier punto del ecuador, debido a un aplamamiento del planeta resultante de la "fuerza" centrífuga causada por la rotación de la Tierra.

Por lo tanto, como g es una aceleración, por supuesto podemos escribir

$$F = mg = ma$$

Ahora bien, sabemos que la aceleración orbital viene dada por el producto del cuadrado de la velocidad angular por el radio de la órbita, o bien, por el cuadrado de la velocidad transversal dividido por el radio de la órbita, que se expresa por $a = \omega^2 r = v^2/r$, por lo que de forma similar

$$a = g = \omega^2 r = \frac{v^2}{r} \quad \text{y} \quad F = mg = m \frac{v^2}{r}$$

Sabiendo que el radio ecuatorial de la Tierra es de 6378140 m, podemos hallar la velocidad transversal que tendría un cuerpo si orbitara a ras de suelo en el ecuador (hipotéticamente, claro). Así, a partir de $g = v^2/r$, obtenemos la siguiente figura:

$$v = \sqrt{(g r)} = \sqrt{(9.78036 * 6378140)} = 7898.133028 \text{ m/s}$$

Si volvemos a la ecuación $F = ma = mg = mv^2/r$, y suponemos una masa de 1 kg, ahora podemos observar con mucha más claridad que la fuerza aplicada permanentemente a esta masa es

$$F = 1 \text{ kg} \times (7898.133028 \text{ m/s})^2 \div 6378140 \text{ m}$$

$$F = 9.78036 \text{ kg}\cdot\text{m} / \text{s}^2 \text{ (Newton)}$$

Esto significa que una masa de 1 kg se mantiene contra el suelo con una fuerza de 9,78036 N en el ecuador. También significa que hay que ejercer una fuerza de 9,78036 N para levantar esta masa de 1 kg del suelo para compensar la fuerza de atracción de 9,78036 N que la mantiene contra el suelo.

Además, como la presencia de materia circundante impide que los cuerpos se muevan fácilmente por sí mismos en la dirección transversal a nivel del suelo, la velocidad de los objetos respecto a la materia circundante en la superficie de la Tierra es generalmente nula, aunque la fuerza ortogonal que actúa sobre ellos sería suficiente para mantenerlos en órbita a 7898,133028 m/s si se les dejara libres para hacerlo y se les proporcionara un impulso para ponerlos en movimiento en la dirección transversal.

VII. Velocidades de rotación en la superficie de la Tierra

Compárese esta velocidad con la velocidad transversal real en el ecuador de la Tierra debida a su rotación diaria (unos 464 m/s), que es unas 17 veces más lenta que la necesaria para que los cuerpos en su superficie se vuelvan ingravidos y orbiten realmente a nivel del suelo, si se induce el movimiento transversal y no hay obstáculos físicos en el camino.

Debido a esta velocidad de rotación, la masa de la Tierra se hincha en el ecuador y se aplana en los polos, lo que hace que la Tierra parezca un esferoide aplanado en lugar de una verdadera esfera. Mientras que el radio ecuatorial medio se estima en unos 6378 km, el radio polar desciende a unos 6357 km, una diferencia de unos 21 km.

Sin embargo, este aplanamiento es casi insignificante para la mayoría de las estimaciones generales, ya que se encuentra en el mismo rango que la mayor diferencia de altitud entre el pico más alto y la fosa oceánica más profunda, que son el Everest (8,8 km de altitud) y la Fosa de las Marianas (11 km de profundidad) para una diferencia total de 19,8 km. En realidad, los polos están sólo unos 10 km más cerca del centro de la Tierra que el fondo de la Fosa de las Marianas, que está relativamente cerca del ecuador.

Cabe señalar que se han ideado una veintena de métodos, algunos de ellos muy complejos, para calcular el radio de la Tierra en cualquier punto de su superficie, pero que todos ellos siguen siendo aproximados por diversas razones. He aquí una ecuación simplificada para estimar las velocidades superficiales aproximadas en cualquier punto de la superficie terrestre:

$$v = \frac{2\pi [r + 21 \sin(90 - \text{latitud})] \sin(90 - \text{latitud})}{24 \times 60 \times 60}$$

Donde r es el radio polar de la Tierra. La primera ocurrencia de $\sin(90 - \text{latitud})$ asegura que la diferencia entre el radio ecuatorial y el radio polar es máxima en el ecuador (21 km) y disminuye a cero en el polo (90 grados de latitud). La segunda ocurrencia de $\sin(90 - \text{latitud})$ se utiliza para calcular el radio aproximado normal al eje polar de la Tierra en la latitud en cuestión. La constante 2π se utiliza entonces para calcular la circunferencia media de la Tierra en esa latitud, es decir, la distancia que recorre un lugar en ese paralelo en 24 horas. El divisor $24 \times 60 \times 60$ da, por supuesto, el número de segundos en 24 horas.

Por ejemplo, la velocidad estimada de la ciudad de Columbus Ohio, que se encuentra precisamente en el paralelo 40, sería la siguiente

$$v = \frac{2\pi [r + 21 \sin(50)] \sin(50)}{24 \times 60 \times 60} = 355 \text{ m/s}$$

¡que, en la notación más familiar de km/h, corresponde a la asombrosa velocidad de rotación de 1279 km/h! En comparación, Nome Alaska, que se encuentra en el paralelo 64,5, gira a sólo 717 km/h.

VIII. Rotaciones y traslaciones compensadas y no compensadas

También hay que distinguir claramente entre una *rotación o traslación no compensada inducida mecánicamente* y una *rotación o traslación permanentemente compensada inducida electrostática o gravitatoriamente*, tal y como se analiza en la Referencia ([5], Sección "23.7 Movimiento de traslación permanentemente compensado").

Los primeros gastarán gradualmente su energía de rotación o traslación según una curva exponencial, tal como se ha analizado en el capítulo mencionado, mientras que los segundos mantendrán permanentemente su movimiento porque la energía gastada por el cambio constante de dirección se repone de forma natural y constante por la cantidad fija de energía inducida naturalmente en su distancia de rotación o traslación estable por la fuerza causal que induce la energía aplicada permanentemente.

El efecto Barnett pertenece por definición a la categoría de los efectos mecánicos no compensados, ya que la energía necesaria se suministra de forma artificial y, por tanto, temporalmente.

IX. Conclusión

Pero se plantea la cuestión de si podrían existir naturalmente sistemas de Einstein-de Haas estables y permanentemente compensados, ya que este efecto es inducido magnéticamente, ¿dada la extensión del campo magnético del Sol en todo el sistema solar!

¿Qué pasa con la rotación muy estable de la Tierra alrededor de su eje? Para empezar, sabemos que el núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y que, en general, todos los planetas del sistema solar que tienen satélites tienen períodos de rotación más cortos que su período de traslación alrededor del Sol ("día" más corto que su "año"), mientras que los planetas sin satélites tienden a no rotar ("día" generalmente igual a su "año"), lo que significa que siempre tienen el mismo lado hacia su primario, a pesar de oscilaciones locales.

Entonces, ¿podría el campo magnético de la Luna, por débil que sea, ser lo suficientemente fuerte como para alinear un número suficiente de electrones en el núcleo de la Tierra para causar y mantener la rotación estable permanente de la Tierra? ¿Podría el tándem Tierra-Luna ser un gigantesco sistema estable de Einstein-de Haas? ¿O es el campo magnético del Sol el que está en juego aquí, o una combinación de ambos?

¿Podría el efecto Einstein-de Haas ser un factor en la rotación de todos los planetas con satélites?

¡Qué perspectiva tan sorprendente!

Bibliografía

- [1]. Davison, C.J. & Beams, J.W. (1953) *A New Variation of the Rotation-by-Magnetization Method of Measuring Gyromagnetic Ratios*. Rev.Mod.Phys. Vol 25, 246.
<https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.25.246>
- [2]. Barnett, S.J. (1935) *Gyromagnetic and Electron-Inertia Effects*. Rev.Mod.Phys. Vol 7, 129.
<https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.7.129>
- [3]. Resnick, R. & Halliday, D. (1967) *Physics*. John Wiley & Sons, New York.
- [4]. Landau, L.D., Lifshitz, E.M. and Pitaevskii, L.P. (2001) *Electrodynamics of Continuous Media*, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann

SOBRE LOS EFECTOS EINSTEIN-DE HAAS Y BARNETT

- [5]. Michaud, A. (2004) *Expanded Maxwellian Geometry of Space*, 4th edition, SRP Books.
<http://www.smashwords.com/books/view/163704>
- [6]. Yvette Cauchois. *Atomes, Spectres, Matière*. Éditions Albin Michel, Paris, 1952.
- [7]. Michaud, A. (2013) *On the Magnetostatic Inverse Cube Law and Monopoles*, International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X, Volume 7, Issue 5 (June 2013), PP.50-66.
<http://www.ijerd.com/paper/vol7-issue5/H0705050066.pdf>
- [8]. Michaud, A. (2007) *Field Equations for Localized Individual Photons and Relativistic Field Equations for Localized Moving Massive Particles*, International IFNA-ANS Journal, No. 2 (28), Vol. 13, 2007, p. 123-140, Kazan State University, Kazan, Russia.
https://www.researchgate.net/publication/282646291_Field_Equations_for_Localized_Photons_and_Relativistic_Field_Equations_for_Localized_Moving_Massive_Particles
- [9]. Michaud, A. (2013) *From Classical to Relativistic Mechanics via Maxwell*, International Journal of Engineering Research and Development, e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 6, Issue 4 (March 2013), PP. 01-10.
(<http://ijerd.com/paper/vol6-issue4/A06040110.swf>).
https://www.researchgate.net/publication/282353551_From_Classical_to_Relativistic_Mechanics_via_Maxwell
- [10]. Michaud, A. (2013) *The Mechanics of Electron-Positron Pair Creation in the 3-Spaces Model*. International Journal of Engineering Research and Development, e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X. Volume 6, Issue 10 (April 2013), PP. 36-49.
<http://ijerd.com/paper/vol6-issue10/F06103649.pdf>