

La Helicidad Dual y el ángulo crítico de Compton

Heber Gabriel PICO JIMENEZ

RESUMEN

Este es un artículo que utiliza las propiedades corpusculares del fotón para demostrar los fenómenos ondulatorios de la luz, eventos que clásicamente han sido transitados para demostrar los comportamientos ondulatorios de la radiación. Esto se logra aplicando la concepción dual del efecto Compton y la Helicidad dual a los choques entre el fotón y la materia. Fenómenos ondulatorios puros como la dispersión, la refracción, la coherencia espacial, la reflexión general especular y difusa, la polarización por absorción selectiva y por reflexión, los cambios de fases que presentan los Fotones después de los choques con ciertas superficies de separación. Además se demuestra lo tanto que influye la Helicidad sobre la longitud de onda para poder explicar su acción en la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética de los medios de propagación diferentes al vacío.

Palabras claves: Helicidad, Permitividad eléctrica, permeabilidad magnética, Coherencia.

ABSTRACT

This it is an article that uses the corpuscular properties of the photon to demonstrate the undulatory phenomena of the light, events that classically have been journeyed to demonstrate the undulatory behaviors of the radiation. This is obtained applying to the dual conception of the effect Compton and the dual Helicidad to the shocks between the photon and the matter. Pure undulatory phenomena like the dispersion, the refraction, the space coherence, the specular and diffuse general reflection, the polarization by selective absorption and reflection, the changes of phases that present/display Photons after the shocks with certain surfaces of separation. In addition one demonstrates as much that it influences the Helicidad the wavelength to be able to explain its action in the electrical permittivity and the magnetic permeability of means of propagation different.

Key Words: Helicidad, electrical Permittivity, magnetic permeability, Coherence.

1. Introducción

El Fotón no se dispersa al propagarse, ni se divide al encontrarse con un divisor de haz, se comporta como una partícula puntual, puesto que es absorbido o emitido en su conjunto por sistemas arbitrariamente pequeños, sistemas mucho más pequeños que sus longitudes de onda, tales como un núcleo atómico ($\cdot 10^{-15}$ m de diámetro) o incluso un electrón.

La longitud de onda de los fotones de rayos X está entre 10 a 0,1 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 3.000 PHz (de 50 a 5.000 veces la frecuencia de la luz visible). Al chocar la radiación electromagnética con la materia, el efecto Compton demuestra que la frecuencia o la longitud de onda de la radiación dispersada, depende única y exclusivamente de la dirección de dispersión, esto también se concluye con claridad en el trabajo de Compton dual:

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 \cos\theta \quad [1]$$

donde ϑ_2 es la frecuencia dispersada, ϑ_1 la frecuencia incidente y θ es el ángulo de dispersión de Compton.

El Fotón se comporta como una partícula cuando interacciona con la materia para transferir una cantidad fija de energía, que viene dada por la expresión:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad [2]$$

donde h es la constante de Planck, c es la velocidad de la luz, y λ es la longitud de onda. Esto difiere de lo que ocurre con las ondas clásicas, que pueden ganar o perder cantidades arbitrarias de energía. Además de energía, los fotones llevan también asociada una cantidad de movimiento o momento lineal, y tienen una polarización.

La radiación electromagnética al chocar con la materia reacciona de manera desigual en función de su frecuencia y del material con el que entra en contacto. El nivel de penetración de la radiación electromagnética es inversamente proporcional a su frecuencia. Cuando la radiación electromagnética es de baja frecuencia, atraviesa limpiamente las barreras a su paso. Cuando la radiación electromagnética es de alta frecuencia reacciona más con los materiales que aparecen en su camino.

En función de la frecuencia, las ondas electromagnéticas pueden no atravesar medios conductores. Esta es la razón por la cual las transmisiones de radio no funcionan bajo el mar y los teléfonos móviles se queden sin cobertura dentro de una caja de metal. Sin embargo, como la energía ni se crea ni se destruye, sino que se transforma, cuando una onda electromagnética choca con un conductor pueden suceder dos cosas. La primera es que se transformen en calor: este efecto tiene aplicación en los hornos de microondas. La segunda es que se reflejen en la superficie del conductor (como en un espejo).

Las fórmulas clásicas para la energía y el momento lineal de la radiación electromagnética pueden ser expresadas también en términos de eventos fotónicos. Por ejemplo, la presión de radiación electromagnética sobre un objeto es debida a la transferencia de momento lineal de los fotones por unidad de tiempo y unidad de superficie del objeto, ya que la presión es fuerza por unidad de superficie y la fuerza a su vez, es la variación del momento lineal por unidad de tiempo.

La coherencia espacial hace referencia a una relación de fase definida entre puntos distintos que se encuentran en un área limitada de la sección transversal de un haz luminoso (superficie plana perpendicular a la dirección de propagación). Para las fuentes luminosas convencionales el área de coherencia espacial es del orden de 0.0001 mm cuadrados, mientras que para el Láser es del orden de 1 mm cuadrado. La

forma de detectar la coherencia espacial en un haz luminoso es mediante el experimento de Young.

La reflexión de la luz se da cada vez que pasa de un medio a otro que posee un índice de refracción diferente. En el caso más general, cierta parte de la luz es reflejada en la superficie de separación, y la parte restante sufre refracción. Resolviendo las Ecuaciones de Maxwell para un haz de luz que incide contra un material, se pueden derivar las Ecuaciones de Fresnel, con las que es posible determinar el ángulo de Brewster, establecer también qué cantidad de la luz incidente es reflejada y qué cantidad es refractada.

Cuando una onda electromagnética que se desplaza por un medio caracterizado por un índice de refracción , incide sobre la interfaz con otro medio que posee un índice de refracción, una parte de la onda se refleja y otra porción se transmite al otro medio.

La fase de un haz de luz experimentará un cambio de 180° cada vez que el haz se refleje en un material más denso (con un índice de reflexión mayor) que el medio externo. En contraste, un material menos denso (con un índice de reflexión menor) no afectará la fase del haz de luz en el momento de reflejarla. Éste es un principio muy importante en el campo de la óptica de capas ultra delgadas.

Según la interpretación cuántica, todas las interacciones entre fotones y materia se describen como una serie de absorciones y emisiones de fotones. Cuando un fotón que llega y golpea una molécula en la superficie de la materia, es absorbido y casi de inmediato vuelto a emitir. El "nuevo fotón" puede emitirse en cualquier dirección; esto causaría una reflexión difusa.

La reflexión especular (siguiendo la ley de la reflexión equi-angular de Hero) es un efecto de la mecánica cuántica, explicado como la suma de los caminos más probables tomados por los fotones. La interacción con materia liviana es un tópico de la electrodinámica cuántica, descrita en detalle por Richard Feynman en su libro QED: La Extraña Teoría de la Luz y la Materia.

La energía de un fotón que llega a una molécula puede que concuerde con la energía requerida para cambiar el estado de la molécula, causando una transición en el estado kinético, rotacional, electrónica o vibracional de la energía. Cuando esto ocurre, puede que el fotón absorbido no se reemita o puede que se reemita con pérdida de energía. Estos efectos son conocidos como Raman, Brillouin.

La velocidad de la luz en un medio se puede calcular a partir de su permitividad eléctrica y de su permeabilidad magnética de la siguiente manera:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad [3]$$

La permitividad eléctrica ϵ y la permeabilidad magnética μ de un medio diferente del vacío dependen, además de la naturaleza del medio, de la longitud de onda de la radiación. De esto se desprende que la velocidad de propagación de la radiación electromagnética en un medio depende también de la longitud de onda de dicha radiación. Por tanto, la desviación de un rayo de luz al cambiar de medio será diferente para cada color (para cada longitud de onda). El ejemplo más claro es el de un haz de luz blanca que se "descompone" en colores al pasar por un prisma.

La causa de que se produzca la dispersión es que el índice de refracción disminuye cuando aumenta la longitud de onda, de modo que las longitudes de onda más largas (rojo) se desvían menos que las cortas (azul).

Se denomina índice de refracción al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se busca. Se simboliza con la letra n y se trata de un valor adimensional.

$$n = \frac{c}{v} \quad [4]$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío y v , es la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula.

A los fotones se les reconoce propiedades tanto ondulatorias como corpusculares sin embargo, la naturaleza dual onda-partícula puede ser difícil de visualizar por el hecho de que unas propiedades son mostradas para un solo tipo de fenómenos, mientras a otros eventos le corresponden otro tipo de comportamientos. En otras palabras: son ondas para unos fenómenos y partículas para otros. Entonces resulta fácil decir: es lo uno y es lo otro. Es onda y es partícula. Es mejor decir que el fotón es una partícula que se manifiesta como una onda. Convenciera más si por ejemplo los comportamientos como partícula sirvieran para demostrar las propiedades como onda. Pues en este trabajo queremos utilizar precisamente las propiedades corpusculares para demostrar fenómenos clásicamente ondulatorios.

En esta introducción se han presentado los puntos básicos actuales sobre los cuales se va a mover el objetivo de este trabajo, que es definir el papel de la Helicidad dual y el Compton dual en la explicación de la aparente relación misteriosa de la longitud de onda con el comportamiento de la luz al chocar con la materia y la extraña helicidad de la luz y la materia.

2. Desarrollo

Figura como misteriosa la relación entre la frecuencia, o si se quiere decir la longitud de onda de un rayo de luz, con la capacidad de penetración electromagnética en la materia. Decimos misteriosa porque en realidad por el momento, sino tener en cuenta la helicidad dual y su capacidad para poder determinar la intensidad de la rotación circular del área de la sección transversal de un fotón, la frecuencia definida de una onda electromagnética de por sí sólo como frecuencia, no alcanza explicar con claridad el mecanismo práctico por el cual ella misma ejerce su acción para determinar lo que influye al chocar la materia con un rayo de luz. Casi siempre, o por lo menos así se entiende, se expresa es como una correlación práctica de tipo mnemotécnica para recordar la regla al comparar el tamaño de las partículas del material chocado, con el tamaño de la longitud de onda del fotón en cuestión.

Es muy fácil entender que la parte del fotón que le toca de primero tener que enfrentar a la materia cuando choca un rayo de luz con ella, pues esa parte es precisamente la cara frontal o área plana limitada de la sección transversal del rayo luminoso (superficie plana perpendicular a la dirección de propagación). Esta área virtual esta construida por la helicidad dual en cualquiera de sus dos posibles estados de polarización circular de los campos electromagnéticos de un fotón. La variabilidad en la

intensidad de la rotación y superficie de esta área, no depende de si la helicidad es en un sentido o en el otro, ni tampoco depende del espín que es constante para todo fotón, pero si depende directamente de la cantidad de movimiento del rayo luminoso.

Entonces organizando las ideas para poder entenderlas, creemos que el área circular de la sección transversal indicada para referirse a la coherencia espacial de un rayo láser, corresponde precisamente a la misma área construida por la rotación circular de los vectores de los campos electromagnéticos en sus dos posibles estados de polarización circular del fotón.

Se denomina entonces helicidad dual al producto de la cantidad de movimiento del fotón por su espín. Se simboliza con la letra griega γ quien no se trataría de un valor adimensional:

$$\gamma = \pm\sigma \cdot p \quad [5]$$

donde σ es el espín del fotón y p la cantidad de movimiento del mismo rayo.

Es bien sabido que la cantidad de movimiento de un fotón depende directa y proporcionalmente de la frecuencia que presente el rayo, pues entonces la helicidad dual también dependerá de ella.

Tras esto esperamos que la medida de la rotación y área de la sección transversal de un rayo luminoso o, rotación del área de coherencia de un rayo de luz infrarroja por ejemplo según este planteamiento, debe ser inferior a la muestra de un rayo de luz ultravioleta cualquiera, esto para hacer solo por ahora una comparación para entender la idea, sin todavía llegar al área del Rayo Láser dual que debe ser superior en área a la elemental del mismo respectivo color.

Podemos hasta ahora decir que, para dejar identificado plenamente un fotón, además de la frecuencia, dato donde se deja también implícita la intensidad de la rotación del área de la sección transversal, hay que mencionar además si es un fotón dextrógiro o levógiro.

El efecto Compton constituyó la demostración final de la noción cuántica de la radiación electromagnética tras los estudios de Planck en el cuerpo negro y Einstein en el efecto fotoeléctrico. Este efecto de Compton que no puede ser explicado a través de la naturaleza ondulatoria de la luz, en ningún momento se utiliza para explicar la interacción de la luz con la materia, a pesar de ser el único trabajo que se ha encargado de explicar la decisiva dependencia exclusiva y única que tiene la luz de la dirección de propagación, tanto es que de acuerdo al grado en que varía la dirección de la misma, decrece también la frecuencia o longitud de onda de la radiación dispersada. Este efecto es quien regula y precisa la cantidad de energía que sacrifica una radiación por el simple hecho de cambiar la dirección en la trayectoria incidente.

En el caso más general de un fotón que se desplaza por un medio caracterizado por un índice de refracción, incidiendo perpendicular sobre una superficie de separación entre dos medios de diferente índices, en este momento el área plana y frontal en rotación de la sección transversal del fotón, chocará también de manera plana y plena sin ninguna inclinación contra la referida interface, entonces aquí en este momento hay que tener en cuenta que la radiación electromagnética al chocar con la materia reacciona de manera desigual en función de su frecuencia y del material con el que entra en contacto. El nivel de penetración de la radiación electromagnética es inversamente proporcional a su frecuencia. Lo más probable por esto es que haya algún grado de reflexión especular mínima y también exista algún grado de absorción en refracción máxima parcial o total del fotón de acuerdo al material y la frecuencia de la onda pero, será siempre en la misma dirección también normal a la frontera, pues

no habrá cambio de dirección de la radiación refractada ni reflejada que permita la naturaleza de los materiales y el área en rotación circular de la longitud de onda del rayo incidente. Cambiará cuantitativamente en algún grado el sentido de las trayectorias de los rayos reflejados y refractados, pero jamás cambiaran de dirección. En este caso una fracción máxima de la energía total del fotón incidente, será transmitida al segundo medio en sentido "retro especular" de acuerdo al fotón y al material. Otra fracción mínima será reflejada de manera especular.

Cuando el rayo incidente es aproximadamente normal a la superficie entre los medios, los coeficiente de reflexión y transmisión están dados por las formulas de Fresnel, pero solo en función de la naturaleza de los materiales, sin tener en cuenta para nada las propiedades de la frecuencia de la onda.

En un caso más específico, cuando una onda electromagnética que se desplaza por un medio caracterizado por un índice de refracción n_1 , incide de cualquier manera sobre la interface que se tiene con otro medio que posee un índice de refracción mayor n_2 , en este momento el área plana y frontal en rotación de la sección transversal del fotón, chocará también describiendo con la interface el mismo ángulo de inclinación incidente, jugando un papel delante de una onda polarizada en paralelo al plano de incidencia. Esto conlleva que el cálculo de la fracción reflejada y refractada en la interface depende de la polarización que tenga el rayo incidente. Se puede llegar a configurar el ángulo de Brewster. Cuando finalmente el ángulo de incidencia alcance casi los 90 grados, la fracción reflejada será máxima pero, en ese preciso momento la porción transmitida conformará el ángulo crítico en el segundo medio y será mínima. Ver fig.No.2

$$n_2 > n_1 \quad [6]$$

Así las cosas el ángulo de desviación y dispersión Compton que sufre el rayo "retro especular" en la refracción respectiva ya en el segundo medio de propagación, este ángulo Compton estará limitado así: un lado por la prolongación en el segundo medio de la trayectoria del rayo incidente, el otro lado por el rayo refractado, es decir:

$$\theta = \theta_i - \theta_t \quad [7]$$

Donde θ_i es el ángulo de incidencia, θ_t ángulo de refracción y θ ángulo de Compton. Pero cuando una onda electromagnética que se desplaza por un medio caracterizado por un índice de refracción n_1 , incide de alguna manera sobre la interface con otro medio que posee un índice de refracción menor n_2 , en este momento el área plana y frontal en rotación de la sección transversal del fotón, chocará también describiendo con la interface el mismo ángulo de inclinación incidente. Esto se traduce que la fracción reflejada y refractada en la interface depende de la polarización que tenga el rayo incidente. Se puede llegar también a configurar el ángulo de Brewster. Cuando el ángulo de incidencia alcanza ser casi el ángulo crítico entonces la refracción es mínima. Cuando el ángulo de incidencia alcanza ya el valor del ángulo crítico aparece la reflexión máxima o llamada reflexión interna total. Ver fig.no.1

$$n_2 < n_1 \quad [8]$$

De esta manera el ángulo de desviación y dispersión Compton que sufre el rayo de la refracción en el respectivo segundo medio de propagación, este ángulo estará limitado

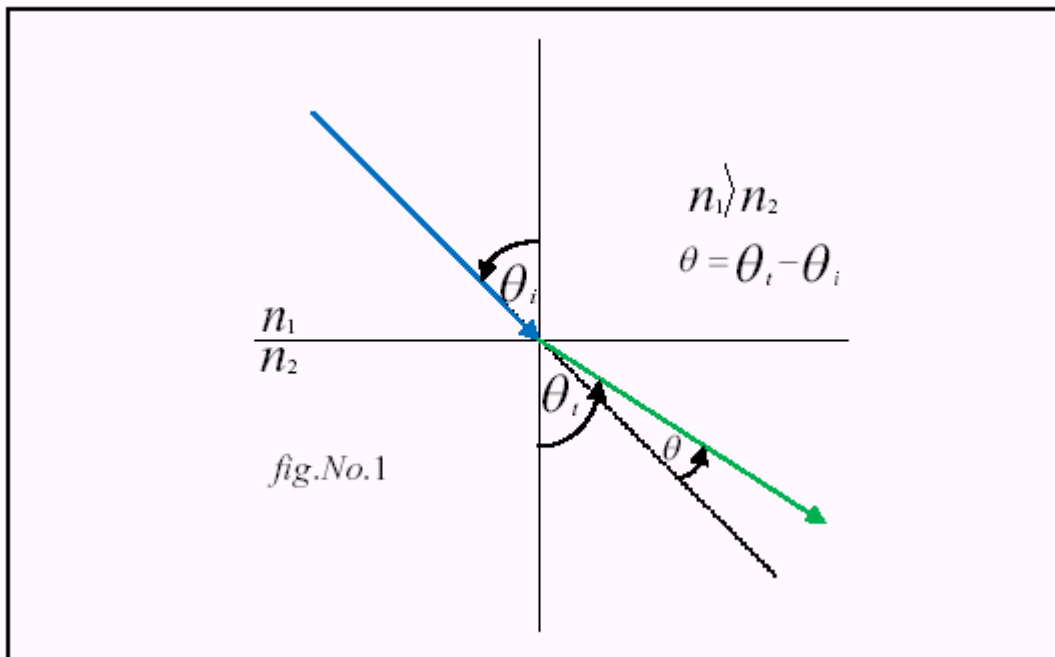
en un lado por el rayo refractado y por el otro la prolongación en el segundo medio de la trayectoria del rayo incidente:

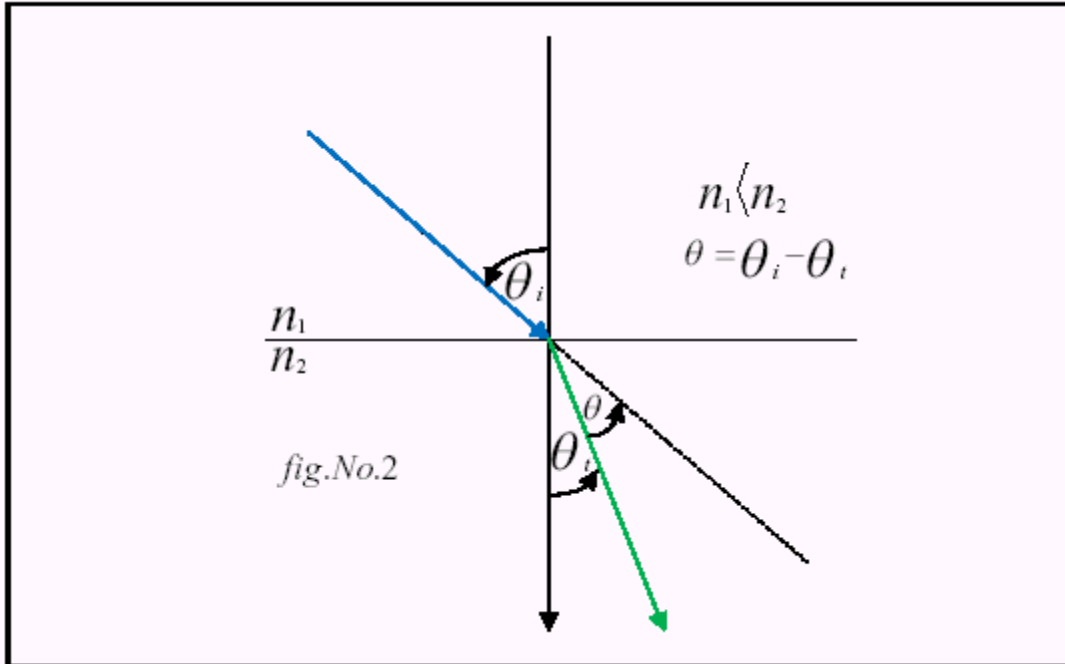
$$\theta = \theta_r - \theta_i \quad [9]$$

La frecuencia que tiene el rayo refractado en el segundo medio cuando todavía el fotón incidente es normal a la interface, a esa frecuencia es a quien se le puede aplicar la relación número uno (1) del efecto Compton dual. En este momento el ángulo θ de Compton es de cero grados. Pero a medida que crece el ángulo de incidencia, este ángulo de Compton crece, a este son que esto sucede el rayo refractado pierde frecuencia alejándose de la dirección del rayo incidente, a ese mismo ritmo busca conseguir el ángulo crítico conocido en la reflexión interna total que coincide exactamente con un valor crítico también del ángulo θ de Compton:

$$\theta + \theta_c = 90^\circ \quad [10]$$

Donde es el ángulo de Compton que es crítico también en esta relación y c es el ángulo crítico conocido. Todas las interacciones entre fotón y materia son descritas como una serie de absorciones y emisiones efectuadas a su vez, por una serie de sistemas de excitaciones cuánticas de la materia, que pueden absorber y emitir fotones a distintas velocidades y direcciones. Cuando un fotón golpea una molécula en la superficie de la materia, es absorbido y casi de inmediato vuelto a emitir. El "nuevo fotón" puede emitirse en cualquier dirección y tiempo de acuerdo a los gradientes del equilibrio térmico en los diferentes puntos de la superficie de los sistemas excitados.





3. Conclusiones

a)-Una conclusión o predicción de este artículo es que el tamaño y rotación del área de coherencia espacial o, área limitada de la sección transversal de un fotón, depende precisamente de la frecuencia del mismo, si tiene mayor frecuencia pues debe tener mayor rotación y área de la sección transversal. Esta predicción es verificable mediante la experimentación quien deberá corroborar o rechazar este pronóstico, hay datos que hablan de experiencias en áreas de coherencia pero son estudios frente al Láser, agrupando fuentes luminosas convencionales con el interés de compararlos delante al Láser. Los fotones de onda largas en radio frecuencia, debe ser una de las más reducidas tanto en área como en la rotación circular de la polarización y por eso, estos fotones tienen mayor penetración en la materia, mayor velocidad a través de los medios por el que se propagan que les garantiza presentar un menor índice de refracción.

b)-Otra conclusión o predicción de este artículo es que la relación de número uno (1) en la frecuencia refractada en dirección normal, se corroborará que a medida que se aleja de la dirección de incidencia, también disminuye calculada por la relación Compton dual. Esta predicción es verificable mediante la experimentación quien deberá corroborar o rechazar este pronóstico.

c)-El ángulo de Compton crítico coincide en el momento que precisamente aparece el ángulo crítico ya conocido en la reflexión interna total.

d)-La predicción del Compton dual.

e)-Según lo sostenido en este artículo, el cambio de fase en 180° que experimenta una onda electromagnética, cada vez que se refleja en un material más denso, corresponde según este trabajo, a un cambio en la rotación ya sea de dextrógira a levógira o a la inversa. Es un cambio de sentido en la rotación de la sección transversal del fotón. Nos referimos aquí a la parte del fotón que le toca de primero enfrentar a la materia cuando choca un rayo de luz con ella, pues esa parte es precisamente la cara frontal o área plana limitada de la sección transversal del rayo luminoso (superficie plana perpendicular a la dirección de propagación). Esta área virtual esta construida

por la helicidad dual en cualquiera de sus dos posibles estados de polarización circular de los campos electromagnéticos de un fotón.

4. Referencias

- [1] http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_la_relatividad_general
- [2] http://es.wikipedia.org/wiki/Atracci%C3%B3n_gravitatoria
- [3] http://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad_cu%C3%A1ntica
- [4] http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_los_dos_cuerpos
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_los_tres_cuerpos
- [6] ©2007 Heber Gabriel Pico Jiménez MD.
- [7] ©"Concepción dual del efecto Compton"2007
- [8] ©"Concepción dual del efecto fotoeléctrico"2007.
- [9] ©"Teoría del Todo"2007.
- [10] ©"Unidades duales de la constante de Planck"2007.
- [11] ©"Trayectoria dual de la luz"2007.
- [12] ©"Compton Inverso"2007.
- [13] ©"Quinta dimensión del espacio dual"2007.
- [14] ©"Compton Inverso y Reflexión Interna Total"2007
- [15] <http://personales.ya.com/casanchi/fis/ondacorpusculo01.pdf>
- [16] <http://www.textoscientificos.com/fisica/efecto-fotoelectrico/dualidad-onda-coopus-culo>
- [17] <http://www.textoscientificos.com/fisica/efecto-fotoelectrico/unidades-duales-constante-planck>
- [18] <http://www.monografias.com/trabajos48/efecto-compton/efecto-compton.shtml>
- [19] <http://www.textoscientificos.com/fisica/efecto-fotoelectrico/efecto-compton>
- [20] <http://www.textoscientificos.com/fisica/efecto-fotoelectrico/efecto-fotoelectrico-dual>
- [21] <http://www.textoscientificos.com/fisica/efecto-doppler/transverso-oblicuo-de-broglie>
- [22] <http://www.textoscientificos.com/fisica/efecto-doppler/algebra-efecto-doppler>
- [23] <http://www.textoscientificos.com/fisica/gravedad/cuantica-dual>
- [24] <http://www.textoscientificos.com/fisica/gravedad/leyes-kepler-dual>
- [25] <http://www.textoscientificos.com/fisica/constante-kepler-sub-pe>
- [26] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/gravedad-cuantica-dual/gravedad-cuantica-dual.pdf>
- [27] http://es.wikipedia.org/wiki/Leyes_de_Kepler
- [28] <http://www.textoscientificos.com/fisica/kepler-cuantico>
- [29] <http://www.textoscientificos.com/fisica/formulacion-matematica-tercera-ley-kepler>
- [30] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/matematica-tercera-ley-kepler/matematica-tercera-leykepler.pdf>
- [31] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sabor-color-constante-planck/sabor-color-constanteplanck.pdf>
- [32] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/estructura-dual-nucleos-atomicos>
- [33] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/sabor-color-constante-planck>
- [34] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/estructura-dual-nucleos-atomicos/estructura-dual-nucleosatomicos.shtml>
- [35] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sabor-color-constante-planck/sabor-color-constanteplanck.shtml>
- [36] <http://www.alt64.org/wiki/index.php/L%C3%A1ser>
- [37] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/rayo-laser-dual>
- [38] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/helicidad-foton-laser/helicidad-foton-laser.pdf>
- [39] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/helicidad-foton-laser>
- [40] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/longitud-onda-movimiento-tierra-particula/longitud-ondamovimiento-tierra-particula.shtml>
- [41] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/masa-dual-vectorial/masa-dual-vectorial.shtml>
- [42] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/masa-dual-vectorial>
- [43] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/longitud-onda-asociada-planeta-tierra>
- [44] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/masa-dual-vectorial/masa-dual-vectorial.pdf>
- [45] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/masa-dual-vectorial>

Copyright © Derechos Reservados.

Heber Gabriel PICO JIMÉNEZ
heberpico@telecom.com.co