


Estudio de la aceleración de la luz en el vacío

 Oscar Monroy*¹ y Marco Merma¹

¹ *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú*

Recibido 22 Ene 2021 – Aceptado 06 Jun 2021 – Publicado 04 Jul 2021

Resumen

Como consecuencia de estudiar la variación de la velocidad de la luz con el tiempo en el vacío subyacente de los sistemas naturales, surge el concepto de aceleración de la luz. A partir del conjunto de ecuaciones paramétricas que expresan el sustrato o cinemática esencial del vacío se obtiene una fórmula la cual describe la aceleración de la luz en función del tiempo. Se observan dos posibles direcciones opuestas para la aceleración de la luz las cuales están correlacionadas con las dos posibles direcciones opuestas del cuanto vectorial local. El cuanto vectorial, así como la aceleración de la luz tendrían fluctuaciones intrínsecas. Para pequeñas fluctuaciones se establecen dos condiciones de cuasiequilibrio complementarias, las cuales permitirían explicar por qué se perciben los rayos de luz en línea recta en el espacio libre ordinario. También se deducen correlaciones tanto para las fluctuaciones de los cuantos vectoriales opuestos, así como para las fluctuaciones de los vectores aceleración de la luz opuestos. Finalmente se demuestra que el enrollamiento de los rayos de luz en el vacío subyacente de un sistema microscópico es mayor que el enrollamiento de los rayos de luz en el vacío subyacente de un sistema macroscópico.

Palabras clave: Cuanto vectorial local, aceleración de la luz, enrollamiento de rayos de luz, fluctuaciones de la aceleración de la luz, vacío subyacente de un sistema natural.

Study of the acceleration of light in vacuum

Abstract

As a consequence of the study on the variation of the speed of light with time in the underlying vacuum of natural systems, the concept of acceleration of light arises. From the set of parametric equations that express the substrate or essential kinematics of the vacuum, it is obtained a formula that describes the acceleration of light as a function of time. Two possible opposite directions for the acceleration of light are observed; these directions are correlated with the two possible opposite directions of the local vector quantum, as well as the acceleration of light, would have intrinsic fluctuations. For small fluctuations, two complementary quasi-equilibrium conditions are established, which would explain why light rays are perceived in a straight line in ordinary free space. Correlations are also deduced for the fluctuations of the opposite vector quanta, as well as for the fluctuations of the opposite acceleration vectors of light. Finally, it is shown that the winding of light rays in the underlying vacuum of a microscopic system is greater than the winding of light rays in the underlying vacuum of a macroscopic system.

Keywords: Local vector quantum, acceleration of light, curling of light rays, fluctuations in the acceleration of light, underlying void of a natural system.

Introducción

En las teorías físicas convencionales se admite como un hecho evidente la propagación rectilínea de la luz en el

espacio libre ordinario, y que la rapidez de la luz es una constante universal a toda escala espacial [1], [2]. Se ha divulgado relativamente poco sobre la posible variación de la velocidad de la luz con el tiempo y nada respecto

* omonroy@unmsm.edu.pe

© Los autores. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.



al concepto de aceleración de la luz. Esto se debe a que en la cosmología moderna convencional se mantienen las ideas preconcebidas basadas en la teoría de la relatividad general y de la mecánica cuántica [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Por otro lado, partir de la investigación sobre la existencia de un sistema de referencia inercial surgió la idea de que la superficie (tridimensional) que limita una esfera tetradimensional podría representar el 99,99% del espacio vacío subyacente a todos los sistemas naturales (el sustrato esencial) y que en dicho lugar la luz debería ser la influencia que transmite la información organizada para el funcionamiento inteligente de los sistemas naturales [9].

Esto indujo a plantear un sustrato el cual describa la cinemática de los puntos en el vacío subyacente de los sistemas naturales. El sustrato indica una cinemática esencial: cada punto del vacío gira, fluye y vibra. Así, a partir de un conjunto de ecuaciones paramétricas se halló que los rayos de luz describirían trayectorias en la forma de espirales cónicas y una fórmula que indica la variación de la velocidad de la luz con el tiempo [10].

La fórmula obtenida muestra dos posibles direcciones opuestas para la velocidad de la luz, las cuales están correlacionadas con las direcciones opuestas de dos cuantos vectoriales locales (velocidades angulares cuantificables a toda escala espacial que dirigen la circulación de los rayos de luz). Además, los cuantos vectoriales opuestos deberían cumplir una condición de cuasiequilibrio (con fluctuaciones muy pequeñas respecto a sus magnitudes), la cual permitiría explicar, parcialmente, por qué se percibe los rayos de luz en línea recta en el espacio libre ordinario [10].

Sin embargo, la condición de cuasiequilibrio de los cuantos vectoriales opuestos no sería suficiente para explicar la percepción rectilínea de los rayos de luz en el espacio libre ordinario, porque no describen qué tan enrollados están los rayos de luz. Por consiguiente, se requeriría otra condición de cuasiequilibrio complementaria.

Si la condición de cuasiequilibrio de los cuantos vectoriales fue una consecuencia de hallar la ecuación de la velocidad variable de la luz, a partir de la primera derivada temporal del sustrato, es de esperar que otra condición de cuasiequilibrio complementaria se obtenga de la segunda derivada temporal del sustrato.

Por consiguiente, el propósito de este trabajo es hallar una ecuación que describa la aceleración de la luz en el vacío subyacente de los sistemas naturales, la cual permita explicar por qué se perciben los rayos de luz en línea recta en el espacio libre ordinario, así como también

el consecuente enrollamiento de los rayos de luz.

La ecuación de la aceleración de la luz

Teniendo en cuenta las ecuaciones paramétricas que expresan el sustrato esencial del vacío subyacente en los sistemas naturales [10], las coordenadas de un rayo de luz son:

$$x(t) = at \cos \omega_n t \quad (1)$$

$$y(t) = at \sin \omega_n t \quad (2)$$

$$z(t) = bt \quad (3)$$

En estas ecuaciones a y b son constantes positivas definidas por:

$$a = \frac{1}{3}c \quad (4)$$

$$b = \frac{2\sqrt{2}}{3}c \quad (5)$$

donde c es la rapidez de la luz en el espacio libre ordinario. La cantidad ω en las Ecs. (1), (2) y (3) es la magnitud del cuanto vectorial local. Además, $t \geq t_p$, donde t_p es el tiempo de Planck.

Las derivadas de segundo orden respecto al tiempo t de las Ecs. (1), (2) y (3) son respectivamente:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -2a\omega \operatorname{sen}\omega t - a\omega^2 t \cos\omega t \quad (6)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = 2a\omega \operatorname{cos}\omega t - a\omega^2 t \operatorname{sen}\omega t \quad (7)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = 0 \quad (8)$$

Elevando al cuadrado las Ecs. (6), (7), (8) y luego sumando se tiene: 0000-0002-0739-2823

$$\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2 = a_\omega^2(t)$$

La cantidad $a_\omega(t)$ denotará la aceleración de la luz dependiente del tiempo t para una magnitud dada del cuanto vectorial local ω . Así, reemplazando (6), (7) y (8) se tiene:

$$a_\omega^2(t) = (2a\omega \operatorname{sen}\omega t + a\omega^2 t \operatorname{cos}\omega t)^2 + (2a\omega \operatorname{cos}\omega t - a\omega^2 t \operatorname{sen}\omega t)^2$$

$$a_\omega^2(t) = 4a^2\omega^2 \operatorname{sen}^2\omega t + a^2\omega^4 t^2 \operatorname{cos}^2\omega t + 4a^2\omega^3 t \operatorname{sen}\omega t \operatorname{cos}\omega t + 4a^2\omega^2 \operatorname{cos}^2\omega t + a^2\omega^4 t^2 \operatorname{sen}^2\omega t - 4a^2\omega^2 t \operatorname{cos}\omega t \operatorname{sen}\omega t$$

De donde se obtiene

$$a_\omega(t) = \pm 2a\omega \sqrt{1 + (\omega t/2)^2} \quad (9)$$

O también

$$a_\omega(t) = \pm 2a_{0\omega} \sqrt{1 + (\omega t/2)^2} \quad (10)$$

donde:

$$a_{0\omega} = 2\omega a = \frac{2}{3}\omega c \quad (11)$$

La cantidad $a_{0\omega}$ puede interpretarse como una aceleración inicial. Representaría el umbral de aceleración de la luz para un valor ω dado, característico de la escala espacial.

Discusión y resultados

La Ec. (10) significa la rapidez con que cambia la velocidad de la luz dentro del vacío subyacente de un sistema natural. Se puede considerar complementaria con la ecuación que describe la variación de la velocidad de la luz con el tiempo [10]:

$$c_\omega(t) = \pm c \sqrt{1 + (\omega t/3)^2} \quad (12)$$

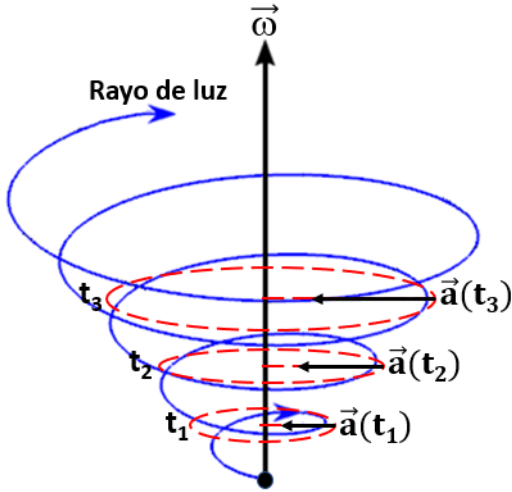


Figura 1: Interpretación geométrica de la aceleración de la luz. En cada instante un punto del rayo de luz tendrá una aceleración en un plano perpendicular al cuanto vectorial local.

La Ec.(8) significa que en cada instante la aceleración que experimenta un rayo de luz es en un plano paralelo a la sección transversal de la espiral cónica descrita por el rayo, como muestra la Figura 1.

El doble signo en la Ec.(10) significa que la aceleración de la luz tiene dos posibles direcciones opuestas, las cuales estarían correlacionadas con las dos posibles direcciones opuestas de los cuantos vectoriales que se muestra en la referencia [10]. Por otro lado, estos cuantos vectoriales no serían exactamente opuestos, por lo que tendrían fluctuaciones intrínsecas de exceso y defecto de magnitud

$\Delta\omega$. Para pequeñas fluctuaciones $\Delta\omega \ll \omega$, se cumple la condición de cuasiequilibrio dada por:

$$\vec{\omega} + \vec{\omega}' \approx \vec{0} \quad (13)$$

donde $\vec{\omega}$ y $\vec{\omega}'$ son los cuantos vectoriales opuestos asociados a la propagación de la luz en el vacío subyacente de los sistemas naturales [10].

La condición de cuasiequilibrio (13) significa que la percepción humana de los rayos de luz es rectilínea en el espacio libre ordinario [10]. Además, como existe correlación entre los pares de cuantos vectoriales opuestos y los pares de la aceleración de la luz opuestas, se requiere una segunda condición de cuasiequilibrio complementaria a (13) dada por:

$$\vec{a}_\omega + \vec{a}'_{\omega'} \approx \vec{0} \quad (14)$$

donde \vec{a}_ω y $\vec{a}'_{\omega'}$ son las aceleraciones de la luz opuestas asociadas con los cuantos vectoriales opuestos.

La condición de cuasiequilibrio (14) implica que existirían fluctuaciones intrínsecas (Δa) de la aceleración de la luz en el vacío subyacente de los sistemas naturales. En la Figura 2 se muestra un diagrama de vectores para indicar la correspondencia entre $(\vec{\omega}; \vec{a}_\omega)$ y $(\vec{\omega}'; \vec{a}'_{\omega'})$ así como sus fluctuaciones intrínsecas $\Delta\omega$ y Δa .

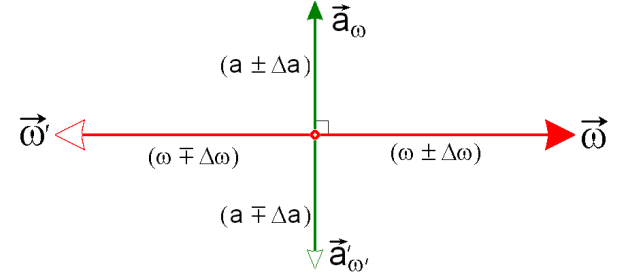


Figura 2: Diagrama para indicar la correlación entre los pares de cuantos vectoriales opuestos y los pares de vectores de aceleración de la luz opuestos, asociados al vacío subyacente de los sistemas naturales. También se indican las correlaciones de sus fluctuaciones intrínsecas.

Es claro que la ecuación de la aceleración de la luz depende de la magnitud del cuanto vectorial local, el cual está definido por [10]:

$$\omega = \frac{2\pi c}{3r} \quad (15)$$

donde r es el radio de acción del cuanto vectorial.

La Figura 3 muestra el comportamiento de la aceleración de la luz con el tiempo para tres cuantos vectoriales ω_1 , ω_2 y ω_3 , siendo $\omega_1 > \omega_2 > \omega_3$. Para cada uno de ellos la aceleración de la luz aumenta con el tiempo de acuerdo a la Ec.(10) a partir de valores iniciales $a_{0\omega_1}$, $a_{0\omega_2}$ y $a_{0\omega_3}$, siendo $a_{0\omega_1} > a_{0\omega_2} > a_{0\omega_3}$. Además, obsérvese en la Ec.(15) que si $r = \infty$ entonces $\omega = 0$ y el universo se

percibiría como un sistema inercial ya que las expresiones (10) y (12) se reducen respectivamente a los valores:

$$a_0(t) = 0; |c_0(t)| = c \quad (16)$$

Es decir, cuando $\omega = 0$ la aceleración de la luz es nula, significaría que los rayos de luz no se enrollarían y que la rapidez de la luz c permanecería constante.

En la Figura 3 se muestra la gráfica de la aceleración de la luz en función del tiempo. Es evidente que su magnitud es creciente con el tiempo y que existe simetría especular respecto a los valores $\omega = 0$; $a_0(t) = 0$. Es claro que los signos \pm corresponden a los pares de aceleraciones opuestas $\pm a_\omega(t)$, los cuales están correlacionados con los pares de cuantos vectoriales opuestos $\pm \omega_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$). También, a partir del tiempo de Planck t_p se tiene que para cuantos vectoriales de magnitudes $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$ tales que $\omega_1 > \omega_2 > \omega_3 \dots$ existirían los valores umbrales de la aceleración de la luz $a_{0\omega_1}, a_{0\omega_2}, a_{0\omega_3}, \dots$ siendo $a_{0\omega_1} > a_{0\omega_2} > a_{0\omega_3} \dots$

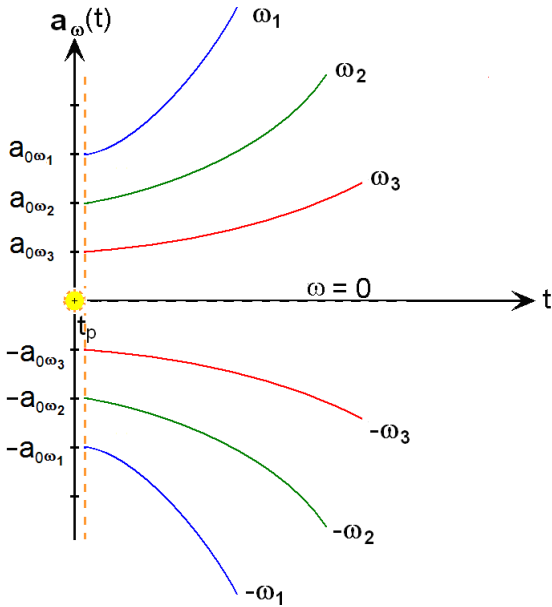


Figura 3: Variación de la aceleración de la luz con el tiempo para tres cuantos vectoriales de magnitudes ω_1, ω_2 y ω_3 tales que $\omega_1 > \omega_2 > \omega_3$. A partir del tiempo de Planck t_p existirían valores umbrales $a_{0\omega_1}, a_{0\omega_2}, a_{0\omega_3}$ tales que $a_{0\omega_1} > a_{0\omega_2} > a_{0\omega_3}$. Cuando $r = \infty$, $\omega = 0$, se obtienen los valores $a_0(t) = 0$ y $|c_0(t)| = c$

Los valores de la aceleración de la luz que se muestran en la Figura 3 no serían exactamente opuestos. Empíricamente existirían pequeñas fluctuaciones intrínsecas en dichos valores, como muestra la Figura 2, de modo que se satisfagan las dos condiciones de cuasiequilibrio (13) y (14).

Por consiguiente, en el vacío subyacente de los sistemas naturales existirían fluctuaciones fundamentales de exceso y defecto de los pares de cuantos vectoriales opuestos, y de los pares de aceleración de la luz opuestos. Estas fluctuaciones podrían explicar de algún modo la percepción humana de los fenómenos naturales.

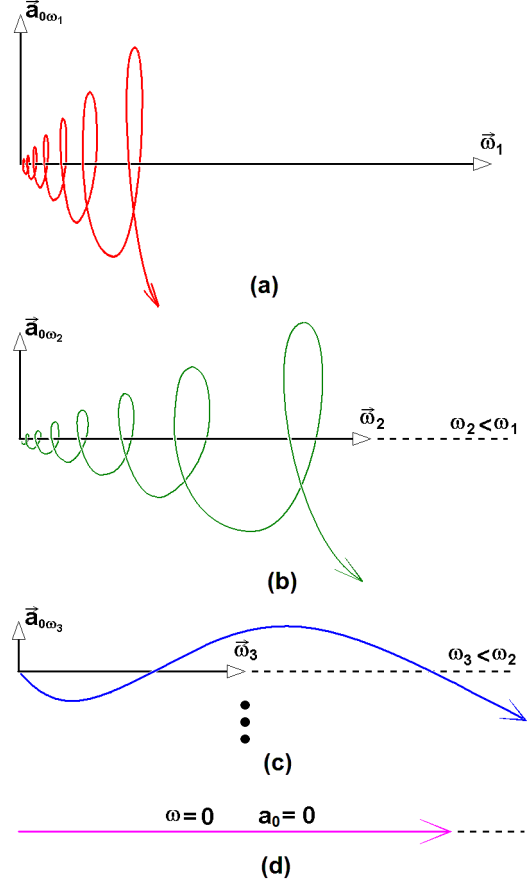


Figura 4: Niveles de enrollamiento de los rayos de luz. Debido a que la aceleración de la luz y el cuanto vectorial asociado tienen mayor magnitud a menor escala espacial que a mayor escala espacial, los rayos de luz se enrollarán más cuanto menor sea la escala espacial. Los rayos de luz estarán menos enrollados a medida que aumenta la escala espacial. Cuando $\omega = 0$ y $a_0 = 0$, estarían totalmente desenrollados y se perciben en línea recta, como se muestra en el caso (d).

Entonces de acuerdo con lo que sugiere la Figura 2, se cumpliría que un exceso en el valor de uno de los pares de cuantos vectoriales y de los pares de aceleración de la luz estarían en correspondencia con un defecto de sus opuestos, y viceversa. Esto puede expresarse:

$$\pm \Delta \omega \rightleftharpoons \mp \Delta \omega ; \pm \Delta a \rightleftharpoons \mp \Delta a$$

Por otro lado, según las Ecs. (9) y (15) se deduce que, para un mismo intervalo de tiempo, en la escala micro-

cósmica la aceleración de la luz será de mayor magnitud que en la escala macrocósmica, debido a que la magnitud del cuanto vectorial es cada vez mayor a medida que la escala espacial aumenta.

En la Figura 4 se muestran niveles de enrollamiento de los rayos de luz. Es claro que si $\omega_1 > \omega_2$, $a_{0\omega_1} > a_{0\omega_2}$. Esto significa que para el valor ω_1 los rayos de luz estarán más enrollados con respecto al valor menor ω_2 , para un mismo intervalo de tiempo de circulación del rayo (véanse las Figuras 4a y 4b).

Análogamente, si $\omega_2 > \omega_3$, $a_{0\omega_2} > a_{0\omega_3}$. Esto significa que para el valor ω_2 el rayo de luz mostrará más enrollamiento con respecto al valor ω_3 , para el mismo intervalo de tiempo de circulación del rayo (véanse las Figuras 4b y 4c). Y así sucesivamente, el rayo de luz se va desenrollando cada vez más a medida que disminuyen los valores de la aceleración de la luz y los cuantos vectoriales asociados a ella. Cuando $\omega = 0$ los rayos de luz se mostrarían totalmente desenrollados, verificándose: $a_0(t) = 0$; $|c_0(t)| = c$, como muestra la Figura 4(d).

Evaluando la fórmula de la aceleración de la luz (10) para $t = 1$ s, en las diferentes escalas espaciales correspondientes a estructuras físicas, desde un núcleo atómico típico hasta la Vía Láctea (véase la tabla 1), se demuestra que, al disminuir la magnitud de la aceleración de la luz conforme aumenta la escala espacial, los rayos de luz pasarán de un estado más enrollado desde la escala espacial microcósmica a un estado cada vez menos enrollado en la escala espacial macrocósmica. Esto explicaría por qué el universo a gran escala se percibe aparentemente estático.

Es conveniente definir una unidad cosmológica para la aceleración de la luz. Lo natural sería a partir de la escala de Planck. En este régimen se verifica:

$$\omega_p t_p = 2\pi \tag{17}$$

Reemplazando (17) en la Ec.(10) se tiene:

$$a_{\omega_p}(t_p) = \frac{2}{3}\omega_p c \sqrt{1 + (\omega_p t_p / 2)^2}$$

$$a_{\omega_p}(t_p) \equiv a_p = 10^{43} c \tag{18}$$

La cantidad a_p se puede denominar la aceleración de Planck, la cual se define como la aceleración que adquiere la luz a partir de la escala de Planck por acción del cuanto vectorial $\vec{\omega}_p$ en el tiempo t_p .

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 1, y el significado Ec.(10) se formula la siguiente proposición: *Los rayos de luz se encuentran en un estado más enrollado en la escala espacial microcósmica que en la escala espacial macrocósmica.*

Sistema	r_n (m)	$\omega_n/2\pi$ (Hz)	$a_\omega(t = 1s)$
Núcleo atómico	10^{-15}	10^{23}	$10^4 a_p$
Atomo	10^{-10}	10^{18}	$10^{-6} a_p$
Humano	1	10^8	$10^{-26} a_p$
Tierra-Luna	10^6	10^2	$10^{-44} a_p$
Solar	10^{11}	10^{-3}	$10^{-46} a_p$
Vía láctea	10^{20}	10^{-12}	$10^{-55} a_p$

Tabla 1: Órdenes de magnitud de la aceleración de la luz en $t = 1$ s calculados a partir de los radios de las extensiones espaciales (r) y de valores de cuantos vectoriales representativos (ω) de algunos sistemas físicos.

Por tanto, en el contexto de este nuevo nivel de descripción de la Física la proposición anterior tendría implicaciones cosmológicas relevantes. Hasta ahora había pasado desapercibido la posibilidad de que en el 99,99 % del enigmático vacío subyacente que hay en los sistemas naturales los rayos de luz podrían estar enrollados de modo que puedan transmitir información organizada para el funcionamiento inteligente de los sistemas naturales que observamos en el universo a toda escala espacial.

Conclusiones

La magnitud de la aceleración de la luz en el vacío subyacente de los sistemas naturales se incrementa con el tiempo a partir de valores iniciales para una magnitud dada del cuanto vectorial local asociado.

En el vacío subyacente de los sistemas naturales la aceleración de la luz tiene dos posibles direcciones opuestas, las cuales estarían correlacionadas con las dos posibles direcciones opuestas de los cuantos vectoriales asociados.

Existirían fluctuaciones intrínsecas para los pares de aceleración de la luz opuestas. Si estas fluctuaciones son pequeñas respecto a la magnitud de la aceleración de la luz surge una condición de cuasiequilibrio complementaria a la de los cuantos vectoriales asociados. Estas condiciones permitirían explicar la trayectoria rectilínea de los rayos de luz en el espacio libre ordinario.

Las fluctuaciones de exceso/defecto de los pares de aceleración de la luz opuestas estarían correlacionadas con las fluctuaciones de exceso/defecto de los pares de cuantos vectoriales asociados.

La interpretación del significado de la ecuación que describe la aceleración de la luz conduce a la siguiente conclusión: Los rayos de luz se encuentran en un estado más enrollado en la escala espacial microcósmica que en la escala espacial macrocósmica.

Referencias

- [1] R. Penrose. *El camino a la Realidad*, Random House Mondadori, S.A., México (2008).
- [2] S.W. Hawking. *A hombros de gigantes*, Ed. Crítica, S.L, España (2004).
- [3] JP Petit. Modelo cosmológico con velocidad variable de la luz: la interpretación del corrimiento hacia el rojo. *Mod. Phys. Lett. A* 3(18): 1733–1744 (1988).
- [4] J. Magueijo. *Más rápido que la velocidad de la luz*, Ed. Fondo de Cultura Económica S.A, Argentina (2006).
- [5] P. Pedram, S. Jalalzadeh. Quantum cosmology with varying speed of light: Canonical approach. *Physics Letters B* 660, 1–6 (2008).
- [6] H. Shojaie. Variable speed of light cosmology as a solution to the Pioneer anomaly. *Canadian Journal of Physics* 90(3): 229-234 (2012).
- [7] J. Racker, P. Sistema, H. Vucetich. Thermodynamics in variable speed of light theories. *Physical Review D* 80 (2009).
- [8] J. Moffat. Variable Speed of Light Cosmology and Second Law of Thermodynamics, cds.cem.ch, Canadá (2002).
- [9] O. Monroy. Análisis de un sistema de referencia inercial. *Revista de Investigación de Física*, Vol 21, No. 1 (2018).
- [10] O. Monroy. *Variación de la velocidad de la luz en el vacío*, Enseñanza y Aprendizaje, Editorial Académica Española, España (2019).