

La estructura del fotón en los procesos de interferencia, entrelazamiento cuántico y la auto-organización del universo

Dr. Alfredo Bennun* and N. Ledesma
*Full Professor Emeritus of Biochemistry
Rutgers University

Abstract

El marco estándar de la cosmología requiere evaluar el entrelazamiento cuántico de los bosones Planck primordiales en un mismo estado cuántico. Una retroalimentación termodinámica regula volumen comóvil, a través de la ley de Hubble, respondiendo al acoplamiento del flujo de energía primordial con la dimensionalidad impresa al espacio-tiempo. La formación de pares en la que la coherencia entre los mismos estados cuánticos se manifestará en una superposición oscilatoria. Por lo tanto, dos posiciones casi simultáneas desplazan un valor de la longitud de onda. Así, un pequeño tiempo idéntico conforma el espacio-tiempo, separando la distancia-evento entre las interacciones de dos fotones. Por lo tanto, el flujo de energía a nivel microscópico alinea la evolución en fases homogéneas, lo que indica la presencia de un proceso regulador sobre expansión conectado a la edad del universo bajo planitud. La distensión-contracción debida a la interferencia del par de fotones (o de electrones) implica una suma de momentos angulares, en el instante de la re-configuración vectorial de los campos eléctrico y magnético. Por tanto, la longitud de onda transitoria de la superposición de fotones puede caracterizarse por dos estados excluyentes: constructivo (distensión del campo E) o destructivo (contracción del campo E). El entrelazamiento cuántico actúa como un potencial oscilatorio de coherencia-decoherencia disipativa, con conservación de momento entre la masa en reposo y la inercial. Así, moderando el incremento de entropía en función del cuello de botella que es la velocidad de la luz: c , y conservar el balance entre curvaturas abiertas y cerradas, o sea, planitud de la expansión.

Introducción

Se conjetura que el universo primordial comienza con un entrelazamiento cuántico de los bosones Planck. Estos emergen en un estado homogéneo, disipativo y coherente, creando el espacio-tiempo cuasi-continuo-causal. Al separarse la fuerza electrodébil a los 10^{-10} s predomina la densidad de radiación sobre la expansión del universo. PDC (parametric down-conversion) sería el proceso que permite que los fotones se dividan y disminuyan su frecuencia, creando espacio por elongación [1] [2].

Las ondas gravitacionales primordiales fluctúa el espacio-tiempo sobre el plasma primordial. Dando origen a las oscilaciones acústicas bariónicas (BAO, en inglés), que son fluctuaciones en la densidad de la materia bariónica visible (materia normal) del universo. El agrupamiento de materia BAO proporciona una “regla estándar” para la escala de longitud en cosmología [3].

Por lo tanto, imprime armónicos de sonido en las frecuencias vibratorias a lo largo del mapa estelar resultante de mirar hacia atrás en el tiempo (*lookback on time*, en inglés) [4]. Este último describe las etapas evolutivas localizando la uniformidad a lo largo de las etapas, diferenciando termodinámicamente el espacio-tiempo.

Alternativamente la ley de Hubble aplicada al origen permite correlacionar la velocidad de recesión con las coordenadas espacio-tiempo. La elongación de los fotones estaría así, sincronizada a la dimensionalidad del universo. El rol de PDC en la expansión del universo requiere profundizar la estructura interna de la coherencia y el entrelazamiento cuántico [5].

Resultados

Interferencia y fuentes coherentes

Red de difracción [6]: Cuando la luz roja de 632.8nm del láser de helio-neón incide sobre una red de difracción, se difracta a cada lado en múltiples órdenes. Se muestran los órdenes 1 y 2 a cada lado del rayo directo. Diferentes longitudes de ondas se difractan a diferentes ángulos, de acuerdo con la relación de la red. También se construyen para producir la acción láser en el verde a 534,5 nm y en el infrarrojo a 1523 nm.

Una red de difracción está constituida por un gran número de rendijas paralelas, muy próximas entre sí. La condición de máxima intensidad es la misma que la de la doble rendija. Pero con un gran número de rendijas, el máximo de intensidad está muy marcado y estrecho, proporcionando una alta resolución. La separación angular de los máximos es

generalmente mucho mayor debido a que el espaciado de las rendijas es muy pequeño para una rejilla de difracción. En la red, las intensidades de picos también son mucho mayores que en la doble rendija.

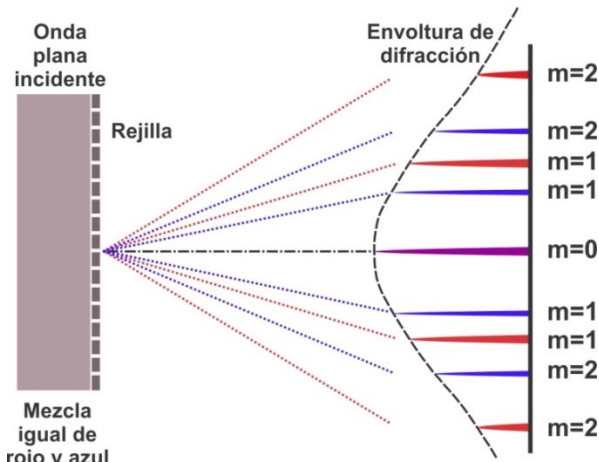


Figura 1: Red de difracción.

Cuando dos o más ondas electromagnéticas se traslapan en el espacio (interferencia), la onda resultante en un punto y en cualquier instante está gobernada por la superposición.

La onda electromagnética resultante se encuentra sumando los desplazamientos instantáneos que producirían en el punto las ondas individuales si cada una se presentara sola.

El láser de neón (como fuente de luz monocromática), que emite luz roja a 623.8 nm con un intervalo de longitud de onda del orden de $\pm 0.000001 \text{ nm}$, o alrededor de una parte en 10^9 , emitido en 10^{-9} s para producir fase vs desfase de la onda propagada, en el espacio-tiempo.

El experimento también puede realizarse con electrones, protones o neutrones, produciendo patrones de interferencia similares a los obtenidos cuando se realiza con luz. Usando la onda de De Broglie asociada a dichas partículas con masa: $\lambda = \frac{h}{mv}$, h es la constante de Planck, m es masa y v es frecuencia.

Interferencia constructiva y destructiva

Cuando hay una necesidad de separar la luz de diferentes longitudes de onda en alta resolución, la herramienta de elección más usada es la red (o rejilla) de difracción. Ese aspecto de "súper prisma" de la red de difracción, conduce a su aplicación en la medición de los espectros atómicos tanto en instrumentos de laboratorio como en telescopios.

Para que haya interferencia constructiva en un punto, la diferencia entre las trayectorias: $r_2 - r_1$

para dos fuentes debe ser un múltiplo de la longitud de onda: λ . Entonces, $r_2 - r_1 = m \cdot \lambda$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) (Interferencia constructiva, se dice que las fuentes están en fase).

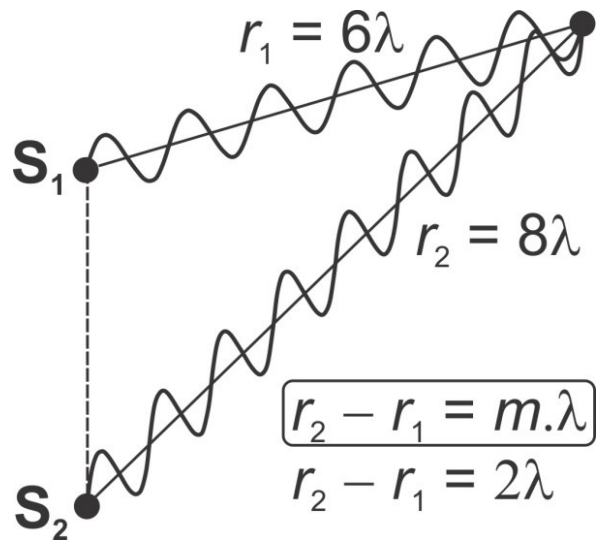


Figura 2: Interferencia constructiva.

Para que haya interferencia destructiva se cumple la condición:

$$r_2 - r_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

(se dice que las fuentes están en fase).

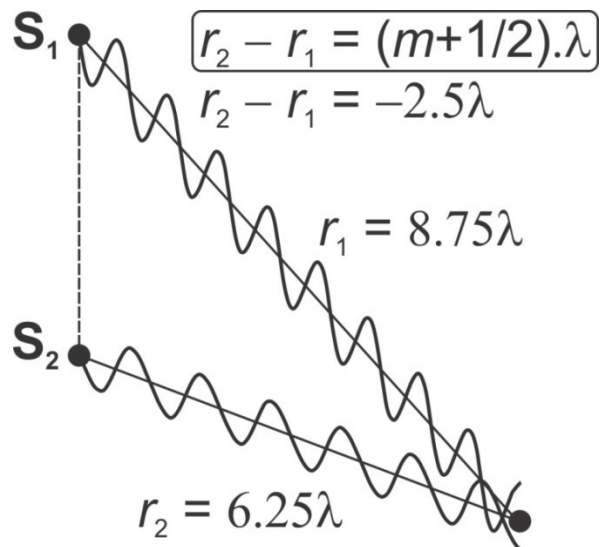


Figura 2: Interferencia destructiva.

Desde el punto de vista energético, todo lo que hace la interferencia es "canalizar" el flujo de energía de manera que sea máximo o un mínimo.

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = \frac{hc}{E_\lambda} \\ r = c \cdot t \end{array} \right\} c \cdot t_2 - c \cdot t_1 \propto m \cdot \frac{hc}{E_\lambda} \Rightarrow c \Delta t \propto \frac{hc}{E_\lambda} \Rightarrow \Delta t \propto \frac{h}{E_\lambda}$$

El valor Δt es el desfase electromagnético.

Tabla 1: Interferencia constructiva y destructiva.

Interferencia constructiva	Interferencia destructiva
$r_2 - r_1 = m \cdot \lambda$	$r_2 - r_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$
$\Delta t = m \cdot \frac{h}{E_\lambda}$	$\Delta t = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{h}{E_\lambda}$

Doble rendija

El experimento de Young demuestra la interferencia de la luz que pasa por dos ranuras. En la pantalla aparece un patrón de áreas brillantes y oscuras.

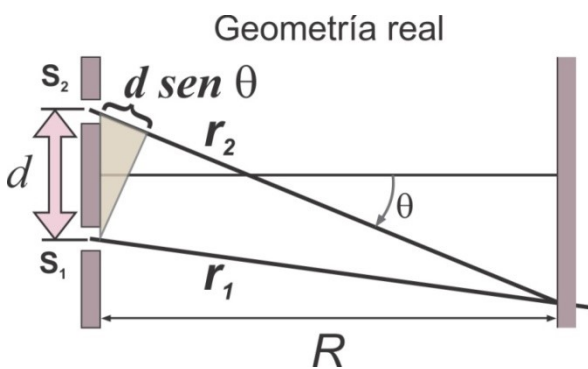


Figura 3: Doble rendija. En situación real la distancia R a la pantalla es mucho mayor que la distancia d entre las ranuras.

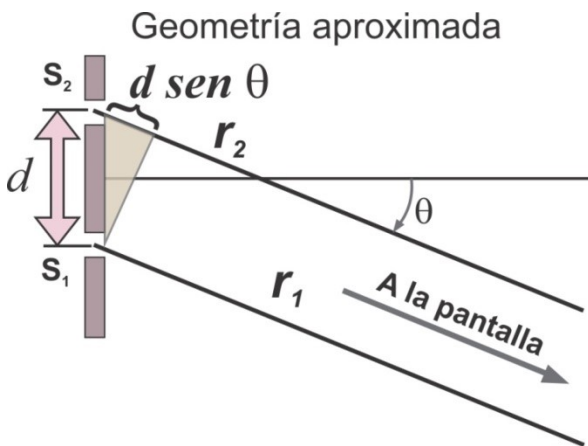


Figura 4: Doble rendija. Se puede considerar que los rayos son paralelos. En tal caso, la diferencia en la longitud de sus trayectorias es: $r_2 - r_1 = d \text{ sen}\theta$.

La luz procedente de S_1 y S_2 incide sobre la pantalla, generando un patrón de interferencia. Esta se iluminará con una intensidad máxima en P , cuando las ondas luminosas interfieren constructivamente, y oscura donde la interferencia es destructiva.

La distancia R es grande en comparación con la distancia d , que las líneas de S_1 y S_2 a P son casi paralelas (figura).

Entonces, la diferencia en la longitud de las trayectorias está dada por: $r_2 - r_1 = d \cdot \text{sen } \theta$.

Teniendo en cuenta $c\Delta t \propto \frac{h \cdot c}{E_\lambda}$, entonces, $c \cdot \Delta t = d \cdot \text{sen } \theta \Rightarrow \Delta t = \frac{d}{c} \cdot \text{sen } \theta$.

Tabla 2: Interferencia constructiva y destructiva.

Interferencia constructiva	Interferencia destructiva
$r_2 - r_1 = m \cdot \lambda = d \cdot \text{sen } \theta$	$r_2 - r_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$
$\Delta t = m \cdot \frac{h}{E_\lambda} = \frac{d}{c} \cdot \text{sen } \theta$	$\Delta t = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{h}{E_\lambda}$ $= \frac{d}{c} \cdot \text{sen } \theta$

Ondas electromagnéticas planas

Las propiedades de las ondas electromagnéticas pueden deducirse de las ecuaciones de Maxwell. Se asume que los vectores campo eléctrico (E) y campo magnético (B) tienen un comportamiento específico en el espacio-tiempo, que es consistente con las ecuaciones de Maxwell [4].

Se supondrá que la onda electromagnética es una onda plana y que está polarizada linealmente.

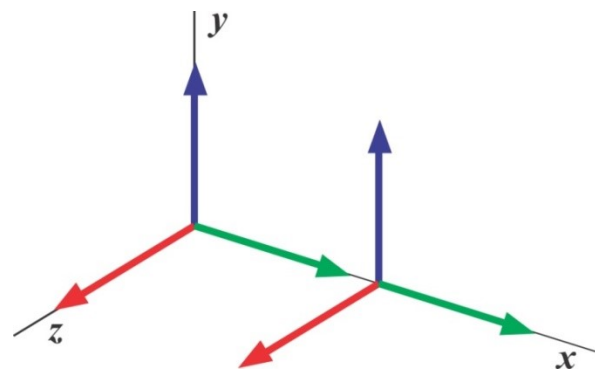


Figura 5: Onda electromagnética plana.

Ecuaciones de Maxwell en el vacío ($j = 0$, $\rho = 0$).

Suponiendo:

$$E = (0, E, 0)$$

$$B = (0, 0, B)$$

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} = 0 \text{ Ley de Gauss}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \Rightarrow \frac{\partial E}{\partial y} = 0 \therefore E \neq E(y)$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\frac{\partial B}{\partial z} = 0 \therefore B \neq B(z)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\frac{E_{max}}{B_{max}} = c = \frac{E}{B}$$

$$\frac{\omega}{k} = \frac{2\pi\nu}{2\pi/\lambda} = \lambda \cdot \nu = c$$

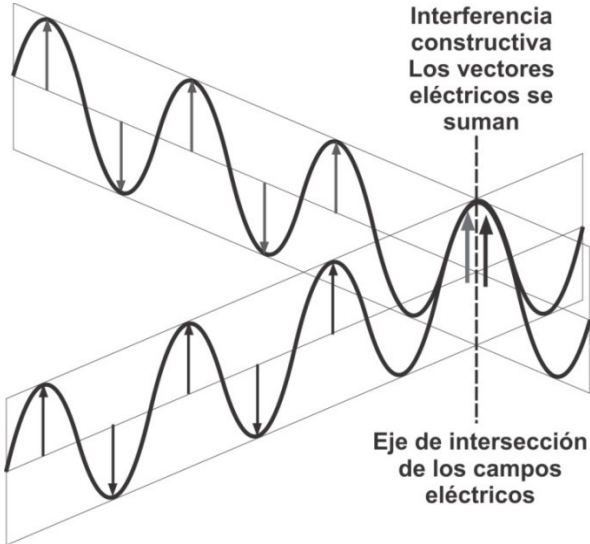


Figura 6: Interferencia constructiva. Los vectores eléctricos se suman sobre el eje de intersección.

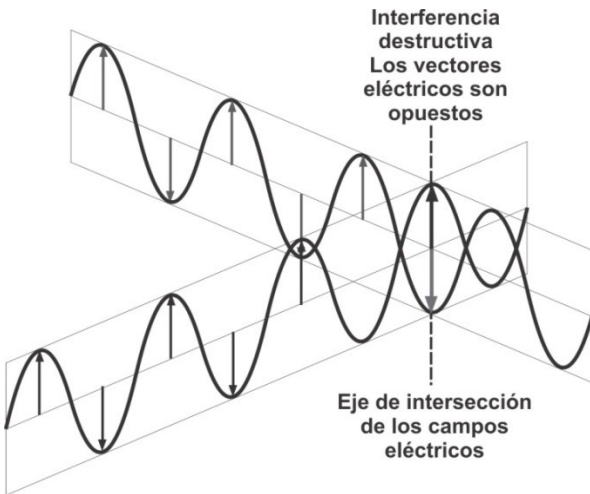


Figura 7: Interferencia destructiva. Los vectores eléctricos son opuestos.

La solución de onda plana más simple es una sinusoidal, para las cuales las amplitudes de E y B varían con x y t de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$E = E_{max} \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$B = B_{max} \text{sen}(kx - \omega t)$$

Donde: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; $\omega = 2\pi\nu$; $\frac{\omega}{k} = \lambda \cdot \nu = c$

Generación de entrelazamiento cuántico

Análisis de la difracción de una sola rendija de Fraunhofer [8] a una rendija más estrecha y más ancha resulta en una curvatura envolvente. Así, muestra por la luz difractada una conclusión inferida. La presencia de un momento angular permite que la luz converja en el espacio-tiempo emergente.

La expresión $\Delta t = \frac{d}{c} \sin \theta$ corresponde a $\frac{d}{c}$ en donde d se entiende que representa: λ , la longitud de onda de la luz ya que a una longitud de onda más corta mayor es la energía. Al estrechar la rendija la luz azul responde en un tren de fotones emergiendo con un ángulo de dispersión que proporciona una banda más ancha.

Un par de fotones entrelazados integran los campos [9], maximizando la densidad de energía, con un momento angular total mínimo, operando como una caja de resonancia. La decoherencia implica liberación de entropía.

La condición de ortogonalidad de los campos de los fotones entrelazados [10] [11] permite una resonancia interna entre espines. El acoplamiento de campos vectoriales es inestable y oculta una tendencia a decoherencia [12].

El entrelazamiento manifiesta un momento conjunto en un espacio muy pequeño: 10^{-9}cm . La incertidumbre energía vs tiempo de un sistema de dos fotones coherentes resulta en una estructura con resonancia. Esta incertidumbre podría manifestarse en la relación fluctuante entre los campos eléctricos vs magnéticos.

El entrelazamiento cuántico permite a los bosones Planck [13] emerger con un mismo estado cuántico, dando homogeneidad y sincronización a lo largo de las etapas de separación de fuerzas. La evolución disipativa de los bosones manifiesta propiedades causa y efecto operando como un continuo espacio-tiempo. En el cual, la energía decrece la frecuencia en un estado coherente que da homogeneidad y a una tasa baja de entropía. El sistema no es caótico sino auto-regulado. Así, la tasa de entropía ΔS [14] por tasa de tiempo Δt , es decir, $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ para un universo auto-regulado, mantiene un

ritmo mucho menor que la que para un universo con muchos grados de libertad [15] [16] [17].

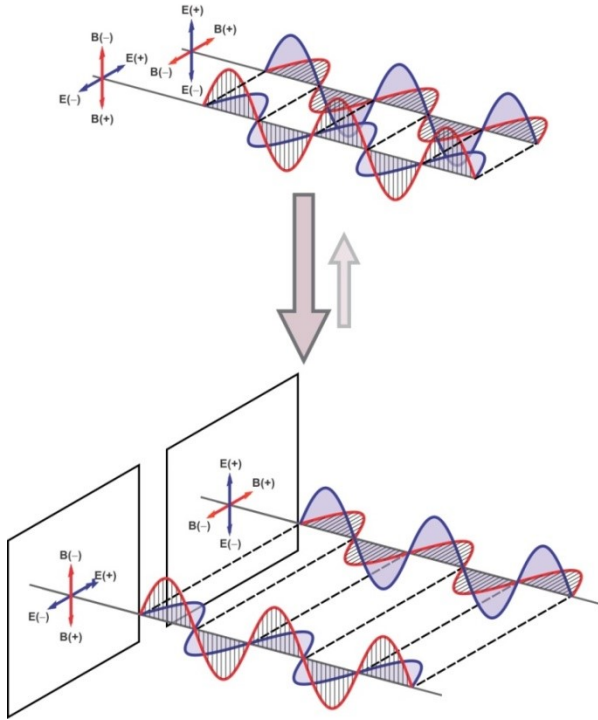


Figura 8: Entrelazamiento cuántico y coherencia de fotones.

Principio de incertidumbre de Heisenberg

La naturaleza de “dos fotones” por conversión paramétrica a la baja se debe al entrelazamiento de los dos fotones. La coherencia de dos fotones y el entrelazamiento de dos fotones son conceptos interrelacionados. El entrelazamiento de dos fotones en un grado dado de libertad implica coherencia de dos fotones en el dominio correspondiente. Los experimentos de interferencia permiten cuantificar el entrelazamiento cuántico de dos fotones [18] [19] [20].

El principio de incertidumbre de Werner Heisenberg establece que no es posible conocer simultáneamente con precisión posición y momento: $\Delta x \Delta p > \frac{\hbar}{2}$ y tampoco la energía y el tiempo: $\Delta E \Delta t > \frac{\hbar}{2}$. Se puede aplicar a interferencia y entrelazamiento cuántico este principio.

Para dos fotones entrelazados: $\Delta(2E) \frac{\Delta t}{2} > \frac{\hbar}{2}$, el Δt (tiempo de incertidumbre) disminuiría, lo que implica que para fotones de alta frecuencia, Δt sería menor y disminuiría la localización de acuerdo a la expresión: $\frac{\Delta x}{2} \Delta(2p) > \frac{\hbar}{2}$.

En el entrelazamiento cuántico cada fotón está lo suficientemente cerca para aplicar el principio de incertidumbre en su conjunto [21] [22]. Esta

contracción del espacio-tiempo impone que los campos eléctricos se acomoden ortogonalmente, con la menor configuración de la energía y un aumento de la densidad y suman mutuamente su fluidez energética. Termodinámicamente el sistema entrelazado está sujeto a parámetros estadísticos que lo obligan a la decoherencia por el flujo de una mayor a una menor densidad.

La relación entre momento (p) y momento angular total (L) [23] [24] permite una expresión alternativa. Así, $\Delta p = \frac{\Delta L}{r}$ y $\Delta x = \Delta \phi r$, donde ϕ es el ángulo en radianes y x es una medida de la curvatura o circunferencia de un círculo, y por lo tanto, $\Delta L \Delta \phi \geq \frac{\hbar}{4\pi}$. Esta última muestra la incertidumbre entre momento angular (L) vs posición angular (ϕ).

El momento angular total del sistema de dos fotones entrelazados estaría compuesto principalmente por la suma de sus espines $L = s_1 + s_2 = 2s$. Por lo tanto $\Delta(s_1 + s_2) \Delta \phi \geq \frac{\hbar}{4\pi} \Rightarrow \Delta(2s_1) \frac{\Delta \phi}{2} \geq \frac{\hbar}{4\pi}$. En cambio, en un sistema de fotones coherentes $\Delta(s_1) \Delta \phi \geq \frac{\hbar}{4\pi}$. Esto permite concluir que $\Delta x = \frac{\Delta \phi}{2} r$, y por lo tanto, explica la contracción del espacio-tiempo de los fotones entrelazados [25].

El valor del momento angular total del sistema de dos fotones entrelazados sería menor al de un fotón coherente. Por lo tanto por el principio de incertidumbre la dimensión del entrelazamiento es menor que la coherencia.

En la interferencia de dos fotones la superposición permite localizar la posición, pero por el principio de incertidumbre no se puede conocer el momento del sistema. Esto puede tener implicaciones en el entrelazamiento cuántico de dos fotones. Se conoce con precisión el estado del par entrelazado pero no se puede saber el estado cuántico individual simultáneamente de cada uno. Por lo tanto, produce una zona de probabilidad y superposición para que opere el campo eléctrico, que le da una dinámica o plasticidad de configuración energética.

Tiempo de coherencia

En la onda electromagnética el tiempo de coherencia (τ : tau) es el que tarda en considerarse coherente [26] [27]. Lo que significa que su fase (período T) es predecible. Se calcula dividiendo la longitud de coherencia (es la distancia de propagación sobre la cual una onda coherente mantiene un grado específico de coherencia) por la

velocidad de fase de la luz (a la que se propaga la onda en algún medio), aproximadamente: $\tau = \frac{1}{\Delta\nu} \approx \frac{\lambda^2}{c\Delta\lambda}$

Donde λ es la longitud de onda central de la fuente, $\Delta\lambda$ es el ancho espectral de la fuente en unidades de frecuencia: $\Delta\nu$.

Un láser de fibra tiene un ancho de línea de unos pocos kHz, lo que corresponde a un tiempo de coherencia de unos pocos cientos de microsegundos. Los máseres de hidrógeno tienen un ancho de 1 Hz, lo que corresponde a un tiempo de coherencia de un segundo. Su longitud de coherencia corresponde a la distancia de la Tierra a la Luna.

Para una transmisión de larga distancia, el tiempo de coherencia puede reducirse por dispersión, esparcimiento y la difracción.

La coherencia temporal es la medida de la correlación promedio entre el valor de una onda y su retardo por τ , entre dos instantes, e indica qué tan monocromática es una fuente. Y qué tan bien puede interferir consigo misma en un momento diferente.

La longitud de coherencia (L_c) se define como la distancia que viaja la onda en el tiempo de coherencia (τ_c). Con un retraso de $\tau = 0$, el grado de coherencia es perfecto, mientras que disminuye significativamente a medida que el retraso pasa por $\tau = \tau_c$.

La caja de Schrödinger

En términos de la hipótesis de De Broglie [28] toda masa m , tiene asociada una longitud de onda (λ), mediante la ecuación: $mv = \frac{2\pi\hbar}{\lambda}$ \vee $mv = \frac{h}{\lambda}$. Consecuentemente esta relación se introduce en la expresión [29]:

1ra evaluación

$$\sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} = \sqrt{(mv)^2 c^2 + (m)^2 c^4} = \gamma \times mc^2 \Rightarrow$$

$$\sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} = mc\sqrt{v^2 + c^2}$$

$$\sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda} \frac{\sqrt{v^2 + c^2}}{v}$$

Despejando v se obtiene:

$$v = \frac{2\pi c\sqrt{G\hbar}}{\sqrt{c^3\lambda^2 - 4\pi^2 G\hbar}}$$

Cumpliendo la condición:

$$c^3\lambda^2 - 4\pi^2 G\hbar > 0 \quad \therefore \quad \lambda > 2\pi\sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \Rightarrow \lambda > 2\pi \times l_p$$

La fórmula muestra la relación entre el diámetro de la partícula y la longitud de onda correspondiente.

2da Evaluación

$$E_p = \sqrt{(mv)^2 c^2 + (m)^2 c^4} = \gamma \times mc^2$$

$$E_p = mc\sqrt{v^2 + c^2}$$

$$E_p = \frac{\hbar c}{\lambda} \frac{\sqrt{v^2 + c^2}}{v} \quad \text{Donde: } v = \frac{\hbar c^2}{\sqrt{E_p^2 \lambda^2 - c^2 \hbar^2}}$$

Debe cumplir con lo siguiente:

$$E^2 \lambda^2 - c^2 \hbar^2 > 0 \quad \therefore \quad \lambda > \frac{c\hbar}{E_p}$$

Numéricamente:

$$\lambda > \frac{2.9979 \times \frac{10^{10} \text{ cm}}{\text{s}} \times 4.1357 \times 10^{-21} \text{ MeV.s}}{1.221 \times 10^{22} \text{ MeV}}$$

$$\lambda > 1.015 \times 10^{-32} \text{ cm}$$

Parametrización cuántica de la variación de la masa relativista mediante la caja de Schrödinger

El tratamiento relativista se puede homologar al cuántico, asumiendo que la caja de Schrödinger, con un electrón dentro, responde al incremento de energía cinética. Por lo cual, al aplicar una fuerza capaz de redimensionar la caja, también redimensiona al electrón. Así, la transformación de energía cinética debe cumplir con el aumento de masa y la contracción de la longitud, mediante el coeficiente de dilatación relativista: $m = \gamma \times m_0$ \wedge $l = \frac{l_0}{\gamma}$.

$$\text{Factor de Lorentz: } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad [30]$$

Partiendo de esta concepción relativista, relacionamos cuánticamente espacio-tiempo con la absorción de la energía debida al incremento de velocidad, mediante el parámetro de dilatación: γ .

Dentro de la caja la partícula tiene la energía cuantificada en niveles n , donde "a" es la longitud de la caja: $E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8ma^2}$. Supongamos que la longitud de la caja coincide con el diámetro de la partícula \emptyset ,

entonces: $E_n = \frac{n^2 h^2}{8m\phi^2}$. Aplicando un trabajo en la dirección del eje-x que contiene el ancho de la caja y consideraciones relativistas, se obtiene: $E_n = \frac{n^2 h^2}{8(\gamma m_0)(\frac{\phi}{\gamma})^2} \therefore E_n = \gamma \frac{n^2 h^2}{8m_0 \phi^2}$, [31] $[E] = \frac{J^2 s^2}{kg \times m^2}$.

Para $\gamma = 1$, masa del electrón en reposo: $m = 9.1 \times 10^{-31} kg$, constante de Planck: $h = 6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$, una longitud de onda de Compton: $\lambda = \frac{h}{mc}$ para el electrón: $\lambda = 2.426 \times 10^{-12} m$, se obtiene: $E_n = 1.23864 \times n^2$.

Tabla 3: Salto de nivel de energía en un electrón dimensionado por la caja de Schrödinger.

Nivel de la caja de Schrödinger	Energía	Cambio de energía $\Delta E = E_1 - E_2 $	λ asociada en metros	λ asociada en nano-metros
	(E) [J]	(ΔE) [J]	[m]	[nm]
1	1,024E-14			
2	4,095E-14	3,071E-14	6,468E-12	0,00647
3	9,213E-14	5,118E-14	3,881E-12	0,00388
4	1,638E-13	7,166E-14	2,772E-12	0,00277
5	2,559E-13	9,213E-14	2,156E-12	0,00216
6	3,685E-13	1,126E-13	1,764E-12	0,00176
7	5,016E-13	1,331E-13	1,493E-12	0,00149
8	6,551E-13	1,536E-13	1,294E-12	0,00129
9	8,292E-13	1,740E-13	1,141E-12	0,00114
10	1,024E-12	1,945E-13	1,021E-12	0,00102
11	1,239E-12	2,150E-13	9,240E-13	0,00092
12	1,474E-12	2,354E-13	8,437E-13	0,00084
13	1,730E-12	2,559E-13	7,762E-13	0,00078
14	2,006E-12	2,764E-13	7,187E-13	0,00072
15	2,303E-12	2,969E-13	6,691E-13	0,00067

El espectro visible es la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. La luz visible para el ojo humano típico responderá a longitudes de onda de 380 a 750 nm [32].

Tabla 4: Longitud de onda del espectro visible.

Espectro Visible	λ [nm]
Rojo	618-780 nm
Anaranjado	581-618 nm
Amarillo	570-581 nm
Verde	497-570 nm
Cian	476-497 nm
Azul	427-476 nm
Violeta	380-427 nm

La dimensionalidad del electrón por la caja de Schrödinger, podría describir el fenómeno: “Luz prohibida”, donde pulsos de luz a frecuencias de terahercios (billones de pulsos por segundo) para acelerar electrones conocidos como pares de Cooper.

La luz emitida por los pares de electrones acelerados, encontraron “emisiones de luz del

segundo armónico” o una luz al doble de la frecuencia entrante utilizada para acelerar los electrones.

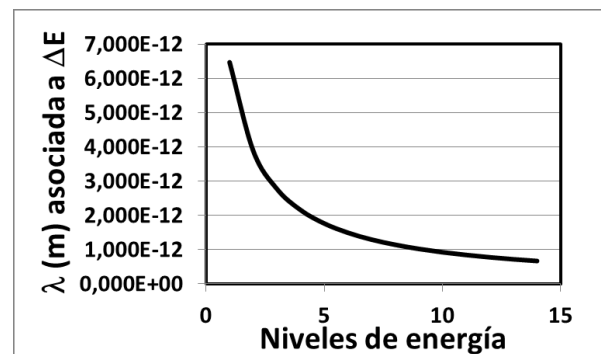


Figura 9: λ asociada al salto de energía dentro de la caja de Schrödinger [33].

Se puede interpretar que los fotones incidentes al acomodar su energía como masa inercial dentro del par de Cooper, con aumento de densidad de energía, contraen el espacio-tiempo del electrón. Como no puede acomodar la energía solo puede emitir un fotón con doble frecuencia.

Desde la perspectiva de la caja de Schrödinger la interferencia sería un salto de nivel energético con posterior emisión de dos fotones. Longitudes ondas de los fotones que pueden entrar a un electrón dimensionado por una caja de Schrödinger de acuerdo a Compton. Esta es la única escala de longitud que puede asociarse a tales partículas, la cual determina la escala de los efectos cuánticos y es inversamente proporcional a la masa de las partículas. Pero ni siquiera esa escala puede definirse antes de los 10^{-11} s después de la gran explosión. Esto es lógico, ya que la fuerza electrodébil se separa a los 10^{-10} s.

Un aspecto fundamental de la mecánica cuántica es la naturaleza ondulatoria de la materia. Así pues las cargas eléctricas que componen la materia se comportan, cuando vibran, a modo de diminutas antenas que emiten ondas electromagnéticas, mostrando el funcionamiento de un nivel microscópico-cuántico. Ella quizá remedie las singularidades de la teoría clásica al reemplazar lo que antes era un punto por regiones de tamaño finito, y desterraría el error de dividir por cero.

Una onda luminosa es la combinación de un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí. La polarización se define sobre la dirección del campo eléctrico, imponiendo direccionalidad y tiempo. Por lo tanto, rompe la simetría y sería necesaria para que quede un remanente de materia en la aniquilación partícula-antipartícula.

Este comportamiento está propiciado por el efecto de superposición cuántica. Permite que una partícula sea simultáneamente, una partícula y su propia antipartícula. Lo investigadores de Oxford han observado por primera vez es que los mesones *charm* oscilan entre ambos estados. El mesón no tiene la misma masa cuando adopta el estado de partícula y el de antipartícula. La diferencia es muy pequeña (10^{-38} g) [34]. Esto significa que pueden adoptar la forma de partícula, saltar al estado de antipartícula y recuperar nuevamente el estado de partícula, en forma espontánea.

Entropía cuántica

La relación lineal simple entre S y k dada por la ecuación: $S = \frac{4}{3} k A_T$ y apoya el postulado de que la entropía estadística de una colección de fotones desarrollados en mecánica estadística surge de un “cuanto de entropía”. En física estadística, la entropía a menudo se relaciona con la noción de desorden. Desde esta perspectiva, los fotones codifican cuantos de desorden de emisores y desorden de transporte a absorbedores. Además, la

cantidad mínima de transporte de desorden es del orden de k .

La teoría proporciona un análogo de fotón único atractivo a la conocida fórmula de Bose-Einstein para un sistema de fotones en un recinto físico de volumen V . En ambos casos, se encuentra que:

$$\begin{aligned} S &= \left(\frac{4}{3}\right) a T^3 V \\ U &= a T^4 V \\ P &= \frac{1}{3} a T^4 = \frac{1}{3} \frac{U}{V} \end{aligned}$$

Para el caso de un simple fotón: $a = \frac{A_T^4 k^4}{A_V (hc)^3}$. Esto se compara con el coeficiente de Bose-Einstein: $a_{BE} = \frac{8\pi^5 k^4}{15 (hc)^3}$.

K_{PB} es fundamental ya que surge en cosmología, mecánica cuántica y radiación de cuerpo negro. Además, conecta la física estadística con la termodinámica clásica y la física determinista ejemplificada por las dimensiones fundamentales Planck: L_P , T_P y M_P .

Para los sistemas de fotones, la segunda ley no impone la restricción rígida de transporte paralelo de energía y entropía que impone a los sistemas clásicos en contacto térmico. Este ejemplo proporciona una base de fotones para la distinción entre procesos adiabáticos e isentrópicos que se aplica a las investigaciones clásicas.

Dos fotones coherentes llevan cada uno la misma información. Dos fotones entrelazados son ortogonales y cada uno lleva la mitad de la información, por lo tanto, generan la mitad de entropía que la coherencia clásica.

La entropía del estado cuántico comprimido es cero, porque es un estado puro. Sin embargo, debido a la interacción con otros grados de libertad, las fluctuaciones deben describirse mediante una matriz de densidad ρ . La cantidad relevante es entonces la entropía de von Neumann [35] [36] [37]: $S = -\text{Tr}(\rho \ln \rho)$

Entropía del fotón

La entropía del entrelazamiento es la entropía de Von Neumann de la matriz de densidad reducida para cualquiera de los subsistemas. Si no es cero, el subsistema está en un estado mixto, indica que los dos subsistemas están entrelazados [38].

Desarrollaron una expresión para la densidad de radiación y concluyeron: “La entropía por fotón es, por lo tanto, igual a: $k (1 - \ln f_r)$ ”. Donde f_r es la función de distribución de fotones y k es la constante de Boltzmann.

El análisis proporciona una explicación clásica del valor mínimo de entropía de un sistema termodinámico aislado, cuyo valor es del orden de k y es transportado por fotones. Esta entropía intrínseca del fotón es independiente de la longitud de onda del fotón. Esto concuerda con los resultados de la termodinámica de los agujeros negros [39] [40], cuando el radio de Schwarzschild y la longitud Planck son comparables [41].

El espacio emergente en función del tiempo cronológico responde a la evolución de la constante de Hubble

La ley de Hubble-Lemaître puede formularse como: $z = \frac{H_0}{c} D$, donde z es el *redshift*, D la distancia comóvil a la galaxia, H_0 la constante de Hubble y c la velocidad de la luz.

El ritmo de expansión del universo no es constante, con lo que la ley es válida para distancias cosmológicas locales, con valores pequeños de *redshift* $z < 0.1$ donde se puede aproximar: $H_{(z)} \approx H_{(z < 0.1)} \equiv H_0$.

El parámetro de Hubble dependiente del tiempo se define como: $H_{(t)} = \frac{\dot{a}(t)}{a(t)}$, donde $a(t)$ es el parámetro de expansión. También se establece que: $\frac{dH}{dt} = -H^2 (1 + q)$, donde q es el parámetro de desaceleración adimensional definido como $q = -\frac{\ddot{a}}{\dot{a}^2}$.

Todas las formas de masa-energía postuladas producen un parámetro de desaceleración: $q \geq -1$. Observaciones de supernovas revelan un valor: $q \sim -0,6 \pm 0,2$, que evidencia la aceleración cósmica, que posteriormente se ha vuelto más fuerte.

A medida que la constante cosmológica se vuelve cada vez más dominante sobre la materia, H tenderá a un valor constante de 57 km/s/Mpc, y el factor de escala del universo operará mayormente sobre los *voids* para que crezcan exponencialmente, desligándose de la materia.

Se asume un valor de la constante de Hubble actual de $71 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$. La inversa de la constante permite calcular la edad del universo: $13.7 \times 10^9 \text{ año} - \text{luz}$ ($4.34 \times 10^{17} \text{ s}$).

La constante de Hubble fue primordialmente muy grande y disminuye en función del tiempo. El proceso PDC (parametric down-conversion, en inglés) muestra que la división y elongación de la energía de las partículas duplica las distancias y disminuye a la mitad la frecuencia, en función de los

bosones Planck sigue este patrón restringido por c [42].

Esto sería concordante con la polarización de la luz, que se define en la dirección en la que oscila el campo eléctrico. Un polarizador absorbente girado en cualquier ángulo, siempre transmitirá la mitad de la intensidad incidente, cuando se promedia a lo largo del tiempo.

La disipación de los bosones Planck distiende el espacio en función de la entalpía, conservando estados cuánticos homogéneos. La entropía cuántica (de un bosón Planck), eventualmente se acumula estadísticamente como entropía cosmológica global.

El espacio no impone relaciones de causa y efecto. Esta relación de que un suceso (causa) implique necesariamente a otro (efecto), su separación es siempre en función temporal, que delimita cronologías.

El espacio creado por la disipación de los bosones Planck en función PDC (parametric down-conversion) impone una flecha temporal. Esto explicaría la homogeneidad primordial.

La velocidad de la luz relaciona todas las unidades Planck y por eso es una constante. Por lo tanto, inflación no se puede derivar del tiempo delimitado por la termodinámica de c . Y por lo tanto, depende de cambios espaciales asociados a causa-efecto que evoluciona en función de PDC.

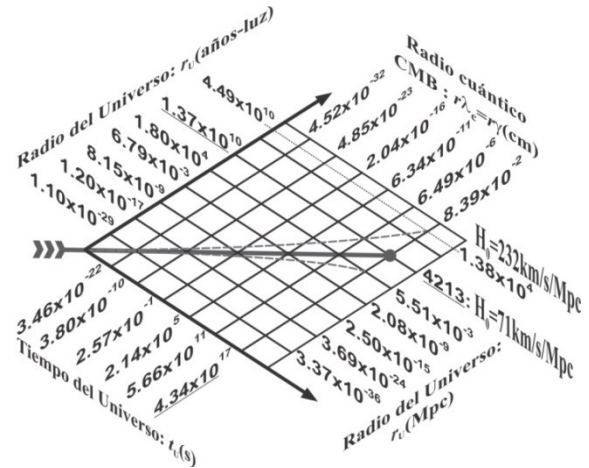


Figura 10: Relación entre las velocidades de recesión vs las coordenadas radio y tiempo del universo. Para un tiempo presente de $4.34 \times 10^{17} \text{ s}$ resolviendo: $H_0 \times r = v$ [43].

La emergencia de espacio en función del tiempo cronológico responde a la evolución de la constante de Hubble.

La ley de Hubble para un universo en expansión uniforme, en el espacio de coordenadas cartesiano/newtoniano tridimensional, se considera como un espacio métrico e isotrópico (las propiedades no varían con la ubicación o dirección).

Sin embargo, $H(t)$ cambia en función de la mirada hacia atrás en el tiempo.

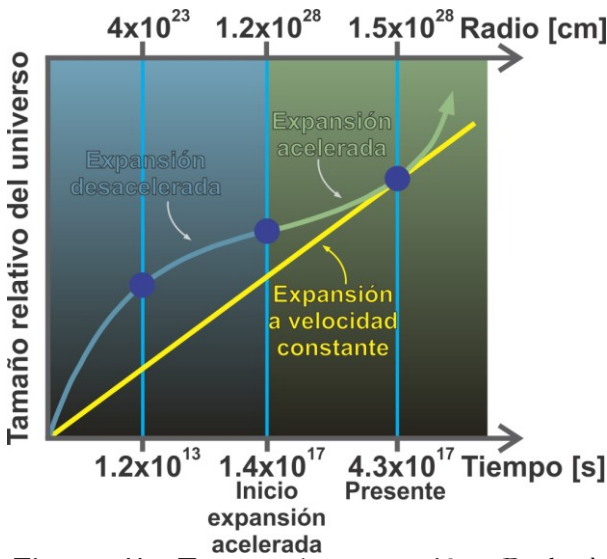


Figura 11: Etapas de expansión. Desde la desaceleración hasta aceleración actual.

Cuando la velocidad de recesión de las galaxias, hace que las partículas se aproximen a c , el momento que transforma la energía en masa inercial no puede ser absorbido. Por lo cual, incrementa la emisión de radiación de fotones con transferencia de momento a momento angular en forma de spin.

Sistemas organizados en función de la frecuencia

Se considera el universo como la evolución de un sistema auto-organizado, por la función disipativa de los bosones Planck entrelazados. En cada etapa la energía se configura con densidad y frecuencia decrecientes.

La propagación de las ondas gravitacionales primordiales produce en el plasma fluctuaciones de densidad que producen sonido y las semillas para la formación eventual de galaxias. En el ínterin, la energía remanente de las ondas gravitacionales al hacer oscilar el plasma emite radiación que manifiesta dicho efecto al manifestar polarización.

En cuanto a la polarización de las ondas gravitatorias, a diferencia de las ondas electromagnéticas, que admiten múltiples polarizaciones, las gravitatorias admiten solo dos tipos de polarización independiente. En la Teoría General de la Relatividad de Einstein las ondas gravitatorias solo admiten la polarización plus y la polarización cruzada y el ángulo entre ambas es de $\pi/4$ [44].

A nivel cosmológico la disminución de la frecuencia está asociada (acoplado) a expansión y

esta al aumento de la dimensionalidad en función de PDC como una inversa de la llamada constante de Hubble, que al disminuir, refleja la cronología.

A nivel microscópico, la caracterización de la relación Hubble macroscópica se puede vincular a una disminución regulada por entrelazamiento de la densidad primordial de los bosones Planck. La misma está asociada a la disminución de la frecuencia en la función de onda (división, disminución de frecuencia: ν y λ -elongación de fotones).

La misma también responde a PDC. Al disminuir la densidad energética por expansión del espacio-tiempo, la misma mantiene la disminución microscópica de la frecuencia en relación Planck: $2^n \times 5.4 \times 10^{-44} \text{s}$, $n = 1, 2, 3, \dots$ la localización de densidad microscópica de la energía en función de un solo bosón Planck. Por lo tanto, el tiempo se conjuga con la misma vectorialidad en cosmología que en mecánica cuántica, cuando se usa la relación PDC para explicar la disminución de frecuencia, que afecta al total de los bosones Planck [45] [46].

Aplicando la termodinámica de un universo auto-contenido solo permite localización interna de entropía por incremento del volumen de los voids.

Se puede explicar por la proposición de que en estos la expansión responde a la distensión de la frecuencia, elongación de fotones en función del decrecimiento de la cuarta potencia de la temperatura (T) [47].

El espectro CMB se detecta como una longitud de onda de: $5.27 \times 10^{-1} \text{cm}$ a $T = 2.725 \text{K}$ emitida a $T = 3000 \text{K}$. Por lo tanto, PDC permite que los fotones se multipliquen por 2 y que el volumen crezca por 16.

La densidad presente es de 411 fotones por cm^3 y se corresponde con un total de 3.78×10^{87} fotones del universo [48]. Este número multiplicado por el volumen de Compton del fotón corresponde con el volumen presente de causalidad del universo presente. Aplicando PDC a la Era de última dispersión los fotones se elongaron 1000 veces aproximadamente.

A lo largo de la cronología dimensionada mirando hacia atrás en el tiempo (*lookback on time*) aparecen los armónicos de decreciente frecuencia de las ondas acústicas bariónicas. Estas no se propagan en el vacío como las ondas electromagnéticas, pero están asociadas a la cronología.

Línea de 21 cm del gas de hidrógeno

La línea de 21 cm del hidrógeno consiste en la línea espectral de la radiación electromagnética que

se crea por un cambio en el estado de energía de los átomos de hidrógeno neutro.

La conversión del estado del espín rompe la contención local por deslocalización del electrón entre dos posiciones, permite absorber energía cinética y emitir fotones.

En un par de fotones entrelazados la cercanía de los campos eléctricos permite una resonancia de superposición de energías, disminuyendo el volumen de entrelazamiento por el principio de incertidumbre.

La dinámica del espacio-tiempo está presente en las relaciones espín-geometría, que se manifiesta como una tensión entre espines, generando curvatura. Información geométrica que cambia, asignando información diferenciable para cada partícula, pero compartida por el par [49] [50] [51].

El par interconecta cuánticamente el espacio y el tiempo, permitiendo el clásico espacio-tiempo emergente del entrelazamiento cuántico, a través del proceso de decoherencia.

Cosmológicamente, un proceso coherente confiere momento a los bariones confinados en los *voids* para ser expulsados, e incorporarse a los discos de acreción estelares. Los *voids* pueden ser tratados como un sistema termodinámico que manifiesta tensión superficial.

La termodinámica ligada a la constante de Hubble permite idénticas partículas de alta coherencia, con una dirección disipativa por decrecimiento de la densidad de energía, e incremento de la entropía. La Ley de Hubble permitiría a la masa absorber energía, manteniendo la planitud de la expansión. Esta adición de energía incrementaría la atracción gravitacional.

El momento lineal y el momento angular, que no tiene un valor máximo límite, requiere re-interpretar las propiedades internas de la energía y el espín, en sus distintos contextos de configuración, ya sea como partículas, fotones, gas de hidrógeno o galaxias.

Estos avances pueden generar un modelo cosmológico que describa la evolución de los bosones Planck primordiales entrelazados, como un sistema internamente abierto y disipativo.

Conclusiones

Una reinterpretación de la dualidad debería estar condicionada por la frecuencia de la onda exigiendo una dimensión espacio-tiempo, o espacio de localización, menor para mayor densidad de energía. Por lo tanto, permite que un fotón azul penetre en el electrón, cambiando su masa inercial y su momento, pero el tamaño del fotón rojo excede la longitud de onda Compton del electrón.

La masa en reposo podría ser modificada como se muestra por microscopía electrónica, con compresión magnética es capaz de generar mayor resolución, involucrando magnificación del impulso electrónico por la contracción de su tamaño, fenómeno que no corresponde al rol de una partícula.

La conformación del espacio electromagnético del electrón permite que solo los fotones de alta frecuencia se ubiquen en él. Esta respuesta electromagnética del electrón le confiere plasticidad cuántica mediante los niveles de energía interna, de las transiciones orbitales entre una posición dinámica interna a una externa, y que da como resultado la emisión de fotones.

El entrelazamiento cuántico permite examinar enfoques experimentales muy exitosos, a partir de los cuales se pueden deducir la naturaleza de la superposición entre dos fotones en un mismo estado, y el espacio-tiempo de coherencia vs estado de decoherencia, determinando la estructura de onda de correspondencia entre campo eléctrico y magnético.

Referencias

- [1] Bennun, A. and Ledesma, N. An open system thermodynamic pathway from Planck particles to hadrons. viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2010.0119 <https://vixra.org/abs/2010.0119> (2020-10-16).
- [2] Bennun, A. and Ledesma, N. Asymmetric Gravitational Wave Functions by Retarding Attraction Between Planck's Particles Allows a Quantum Inflationary Cosmos. viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2009.0019 <https://vixra.org/abs/2009.0019> (2020-09-03).
- [3] Eisenstein, D.J. Dark energy and cosmic sound. *New Astronomy Reviews*. 49 (7–9): 360 (2005).
- [4] Blanton, M.R.. Sloan Digital Sky Survey IV: Mapping the Milky Way, Nearby Galaxies, and the Distant Universe. *Astrophysics > Astrophysics of Galaxies*. arXiv.org > astro-ph > arXiv:1703.00052 [Submitted on 28 Feb 2017 (v1), last revised 29 Jun 2017 (this version, v2)]
- [5] Bennun, A. and Ledesma, N. PDC-dependent sequence of CMB divisions analyzed as a Schrödinger's energy-box. viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2008.0155 <https://vixra.org/abs/2008.0155> (2020-08-21).
- [6] Kinoshita, S., Yoshioka, S. and Miyazaki, J. Physics of structural colors. *Reports on Progress in Physics*. 71 (7): 076401(2008).
- [7] Griffiths, D.J. (1999). *Introduction to electrodynamics* (Third ed.). Prentice Hall. pp. 559–562. ISBN 978-0-13-805326-0.

- [8] Born, M. and Wolf, E. (1999) Principles of Optics: Electromagnetic theory of propagation, interference, and diffraction of light. Cambridge University Press, London.
- [9] Jha, A.K., Malik, M. and Boyd, R.W. Exploring energy-time entanglement using geometric phase. Phys. Rev. Lett. 101, 180405 (2008).
- [10] Brunner, N., Cavalcanti, D., Pironio, S., Scarani, V., Wehner, S. Bell nonlocality. Rev. Mod. Phys. 86(2):419-478 (2014). arXiv:1303.2849.
- [11] Werner, R.F. Quantum States with Einstein-Podolsky-Rosen correlations admitting a hidden-variable model. Physical Review A. 40 (8): 4277-4281 (1989).
- [12] Bennun, A. Quantum State Transition from Liquid to Vapor Water by Physiological Entanglement. viXra.org > Biochemistry > viXra:2106.0053 <https://vixra.org/abs/2106.0053> (2021-06-08).
- [13] Bennun, A. Simulation of the Dynamics of Integration of Space-Time-Energy by Planck's Temperature Black Body Emission Spectrum. viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2008.0210 <https://vixra.org/abs/2008.0210> (2020-08-28).
- [14] Vedral, V. and Plenio, M.B. Entanglement measures and purification procedures. Phys. Rev. A 57, 1619 (1998).
- [15] Franson, J.D. Bell inequality for position and time. Phys. Rev. Lett. 62, 2205 (1989).
- [16] Kwiat, P.G., Steinberg, A.M. and Chiao, R.Y. High-visibility interference in a Bell-inequality experiment for energy and time. Phys. Rev. A 47, R2472 (1993).
- [17] Brendel, J., Mohler, E. and Martienssen, W. Time-resolved dual-beam two-photon interferences with high visibility. Phys. Rev. Lett. 66, 1142 (1991).
- [18] Jha, A.K., O'Sullivan, M.N. Chan, K.W.C. and Boyd, R.W. Temporal coherence and indistinguishability in two-photon interference effects. Phys. Rev. A 77, 021801(R) (2008).
- [19] Takesue, H. and Inoue, K. Generation of polarization-entangled photon pairs and violation of Bell's inequality using spontaneous four-wave mixing in a fiber loop. Phys. Rev. A 70, 031802 (2004).
- [20] Mandel, L. Coherence and indistinguishability. Opt. Lett. 16, 1882 (1991).
- [21] Howell, J.C., Bennink, R.S., Bentley, S.J. and Boyd, R.W. Realization of the Einstein-Podolsky-Rosen paradox using momentum- and position-entangled photons from spontaneous parametric down conversion. Phys. Rev. Lett. 92, 210403 (2004).
- [22] Rarity, J.G. and Tapster, P.R. Experimental violation of Bell's inequality based on phase and momentum. Phys. Rev. Lett. 64, 2495 (1990).
- [23] Beth, R.A. Mechanical Detection and Measurement of the Angular Momentum of Light. Phys. Rev. 50, 115 (1936).
- [24] Allen, L., Beijersbergen, M.W., Spreeuw, R.J.C. and Woerdman, J.P. Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes. Phys. Rev. A 45, 8185 (1992).
- [25] Jha, A.K., Jack, B., Yao, E., Leach, J. Boyd, R.W., Buller, G.S., Barnett, S.M., Franke-Arnold, S. and Padgett, M.J. Fourier relationship between the angle and angular momentum of entangled photons. Phys. Rev. A 78, 043810 (2008).
- [26] Sinatra, A., Castin, Y. and Witkowska, E. Coherence time of a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. A 80, 033614 (2009).
- [27] Ladd, T.D., Maryenko, D., Yamamoto, Y., Abe, E. and Itoh, K.M. Coherence time of decoupled nuclear spins in silicon. Phys. Rev. B 71, 014401 (2005).
- [28] De Broglie, L. Tentative d'Interpretation Causale et Non-Liniere de la mécanique Ondulatoire. Gauthier-Villards, Paris (1956); D. Bohm, Phys. Rev. 85, 166, 180 (1952).
- [29] Schrödinger, E. An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules. Phys. Rev. 28, 1049 (1926).
- [30] Tyukhtin, A.V. Determination of the particle energy in a waveguide with a thin dielectric layer. Phys. Rev. ST Accel. Beams 15, 102801 (2012).
- [31] Zimmerman, J.E. and Mercereau, J.E. Compton wavelength of superconducting electrons. Phys. Rev. Lett. 14, 887 (1965).
- [32] Nichols, E.L. On the distribution of energy in the visible spectrum. Phys. Rev. (Series I) 21, 147 (1905).
- [33] Fraga, S. Schrödinger local energies. Phys. Rev. A 19, 31 (1979).
- [34] LHCb collaboration: R. Aaij, et al. Observation of the mass difference between neutral charm-meson eigenstates. arXiv.org > hep-ex > arXiv:2106.03744. [Submitted on 7 Jun 2021].
- [35] Hu, B.L. and Kandrup, H.E. Entropy generation in cosmological particle creation and interactions: A statistical subdynamics analysis. Phys. Rev. D 35, 1776 (1987).
- [36] Brahma, S. Alaryani, O. and Brandenberger, R. Entanglement entropy of cosmological perturbations. Phys. Rev. D 102, 043529 (2020).
- [37] Kiefer, C. Entropy of gravitational waves and primordial fluctuations. AIP Conference Proceedings 555, 499 (2001).
- [38] Srednicki, M. Entropy and area. Phys. Rev. Lett. 71, 666 (1993).

- [39] Dreyer, O. Quasinormal Modes, the Area Spectrum, and Black Hole Entropy. *Phys. Rev. Lett.* 90, 081301 (2003).
- [40] Hod, S. Bohr's correspondence principle and the area spectrum of quantum black holes. *Phys. Rev. Lett.* 81, 4293 (1998).
- [41] Kirwan Jr., A.D. Intrinsic photon entropy? The darkside of light. *International Journal of Engineering Science.* 42(7), 725-734 (April 2004).
- [42] Avelino, A. and Kirshner, R. The dimensionless age of the universe: A riddle for our time. *Astrophysical Journal.* 828(1) (September 2016).
- [43] Bennun, A. Recession Velocity and the Space-Time Parameters Are Restricted by the Velocity of Light. *viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2008.0047* <https://vixra.org/abs/2008.0047> (2020-08-07).
- [44] Golat, S., Lim, E.A. and Rodríguez-Fortuño, F.J. Evanescent gravitational waves. *Phys. Rev. D* 101, 084046 (2020).
- [45] Bennun, A. and Ledesma, N. Conjecture of the contribution of the zero point energy to the universe expansion. *viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2008.0208* <https://vixra.org/abs/2008.0208> (2020-08-28).
- [46] Bennun, A. and Ledesma, N. The Half-life of Particles As a Thermodynamics Parameter of the Selection Principle. *viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2010.0116* <https://vixra.org/abs/2010.0116> (2020-10-16).
- [47] Segal, I.E. Radiation in the Einstein universe and the cosmic background. *Phys. Rev. D* 28, 2393 (1983).
- [48] Bennun, A. A Model Dimensioning the Space-Time by Parametric Down-Conversion. *viXra.org > Relativity and Cosmology > viXra:2008.0050* <https://vixra.org/abs/2008.0050> (2020-08-07).
- [49] Ekert, A.K. Quantum cryptography based on Bell's theorem. *Phys. Rev. Lett.* 67, 661 (1991).
- [50] Bennett, C.H. and Wiesner, S.J. Communication via one- and two-particle operators on Einstein-Podolsky-Rosen states. *Phys. Rev. Lett.* 69, 2881 (1992).
- [51] Bennett, C.H., Brassard, G., Crépeau, C., Jozsa, R., Peres, A., Wootters W.K. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels. *Phys. Rev. Lett.* 70(13):1895-1899 (1993).