Sobre el Antitiempo. Tratados a su noción. Tratado I: El principio de la no-conmutatividad

Mario Beas Aliaño

Resumen— En este artículo se propone una lectura divulgativa sobre la noción del antitiempo como una dimensión conjugada al tiempo clásico. A partir de una formulación basada en el lenguaje de los conmutadores cuánticos, se introduce una relación formal entre tiempo y antitiempo, se discute su interpretación física y se exploran sus posibles implicaciones en contextos de gravedad cuántica y fenómenos extremos.

Palabras Claves— Antitiempo, Causalidad, Conmutador, Mecánica cuántica, Tiempo.

Ж

1. Introducción al antitiempo

Toda cosa, viviente o inerte, experimenta aquello que conocemos como el tiempo, le guste o no. El concepto del tiempo ocupa un lugar central en la física, pero comprender su verdadera naturaleza es tarea ardua y reservada para las mentes más curiosas e insistentes. En la descripción más clásica de este, podemos entenderlo como una variable continua que ordena los procesos y permite hacer distinción entre pasado, presente y futuro. Sin embargo, cuando nos movemos hacia marcos más complejos del pensar, como la mecánica cuántica o la relatividad, el tiempo deja de ser algo linear; llegando a formar identidades y estructuras matemáticas complejísimas que desafían a la visión intuitiva que los seres humanos poseemos respecto de éste.

En el seno de este contexto, emerge la mera y propia idea del antitiempo. Este, se presenta como una hipótesis conceptual: la dimensión temporal complementaria al tiempo clásico, capaz de arrojar sentido en el entender de la causalidad y la evolución física de las cosas desde una perspectiva menos lineal.

El objetivo de este primer tratado reside en proponer una formalización relativamente mínima del concepto de antitiempo, haciendo hincapié en la relación que guarda el tiempo clásico con el antitiempo, sentando así las bases del principio de la no-conmutatividad.

2. El concepto de antitiempo

Ahora bien, ¿a qué se refiere uno cuando habla del antitiempo? Véase pues, que el antitiempo se puede y debe entender como una magnitud conjugada del tiempo clásico que representada simbólicamente por Ж. Siendo, en sí mismo, una variable complementaria que podría capturar aspectos del sistema temporal no accesibles desde una experiencia común y corriente.

De tal manera, el tiempo clásico T describe el orden observable e intuitivo de los sucesos, mientras que el antitiempo Ж alberga en sí la estructura interna de la evolución temporal.

Esta noción, arroja sobre el pensar una temporalidad física antagónica a la unidimensionalidad clásica, entendiéndose el tiempo experimentado cotidianamente como la proyección efectiva de una estructura temporal más copiosa que guarece en sí toda potencialidad cronológica. Tal y como se presenta en la figura 1:

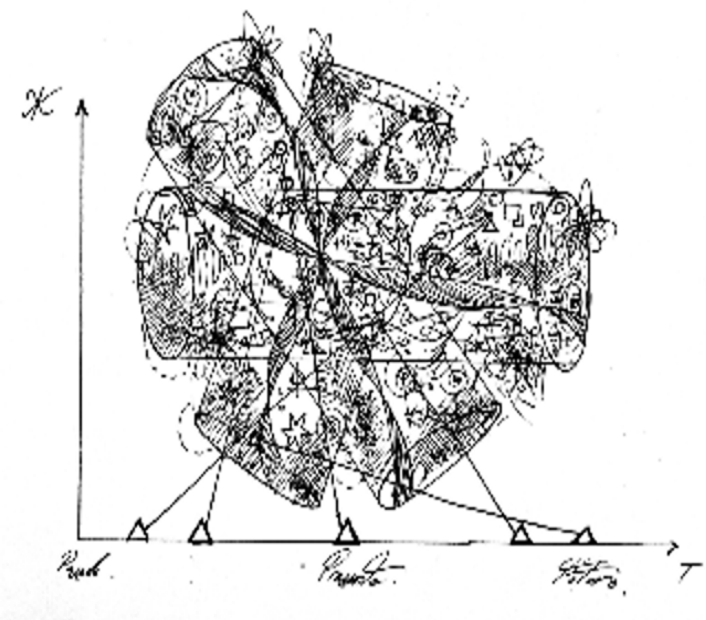


Fig. 1. Proyección efectiva del antitiempo (cúmulo de infinitas potencialidades) sobre la sucesión temporal clásica.

En una analogía más cercana a la cotidianeidad, una o uno puede pensar en la relación de los tiempos como una sinfonía, en la que el tiempo clásico T es la melodía que suena nota a nota. Sería, entonces antitiempo Ж, la miscelánea de todas las notas, motivos, fraseos y, además, de todas las reglas lógicas de armonía que determinan la sucesión de esas notas concretas.

La idea de dimensiones adicionales a las archiconocidas espacio-temporales es algo que lleva en boca de los físicos teóricos desde principios del siglo XX. Un gran ejemplo de ello es la teoría Kaluza-Klein, la cual proponía una quinta dimensión espacial compacta (enrollada o cerrada sobre sí misma en una escala muy pequeña) con la esperanza de unificar la gravedad y el electromagnetismo. Kaluza introdujo un espacio-tiempo de cinco dimensiones y Klein explicó la pequeñez de la quinta dimensión (radio ~10^{-30} cm).

Este esquema de un mundo cilíndrico (analogía que hace referencia a un espacio donde una dimensión está extendida y otra está enrollada en forma de círculo, lo que permite que exista sin ser observable a gran escala) inspiró la teoría de cuerdas moderna y otros modelos de dimensiones extra (Arkani-Hamed, Dimopoulos y Dvali, Randall-Sundrum, ...).

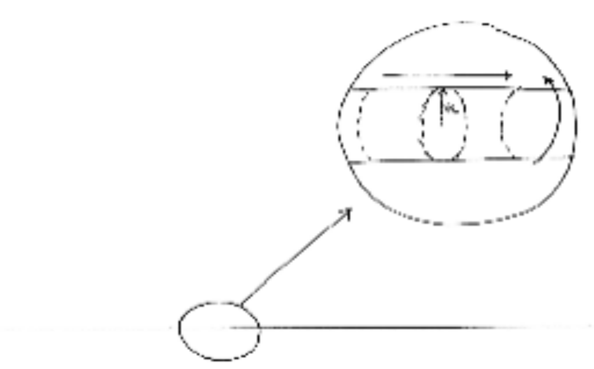


Fig. 2. Condición cilíndrica de la teoría Kaluza-Klein.

En definitiva, en el compendio de esta literatura histórica y contemporánea (teoría-M, modelos membrana) se contempla, de manera sistemática, la existencia de espacios de más de cuatro dimensiones con la quinta compactificada.

Sería pues, la noción del antitiempo, la extensión conceptual del mismo sendero lógico que condujo a la aceptación de estas dimensiones extra.

2.1. Aclaraciones sobre la conjetura

Cuando me he visto en la tesitura de exponer el concepto del antitiempo al público, aquello sobre lo que la gran mayoría se expele es a la imagen de una bifurcación narrativa de futuros posibles, tal y como se presenta en ciertos relatos interactivos.

Sin embargo, este entender sobre el concepto del antitiempo es profundamente erróneo. La noción del antitiempo va de la mano con el concepto de la retrocausalidad o anticausalidad (de esta segunda nomenclatura es de donde surge el propio nombre de "antitiempo").

En la analogía musical anteriormente planteada, se entiende a la retrocausalidad como el acorde final que, imperiosamente, demanda que las notas anteriores sean coherentes con él. La partitura es única; la interpretación (nuestra experiencia) es lineal. Se podría seguir infiriendo sobre la retrocausalidad y el antitiempo, mas ello es menester de futuros tratados, pues por el momento solo interesa dar una pequeña pincelada.

3. El principio de la no-conmutatividad

El tiempo clásico y el antitiempo guardan una relación compleja que encapsula la verdadera naturaleza de ambas dimensiones. Sin embargo, por muy enrevesada que pueda parecer en primera instancia, es posible hacer de ella expresión formal y matemática.

Tras una laboriosa meditación y estudio, se llega a la conclusión de que existen unas identidades matemáticas que pueden dar base y comienzo al enunciar del nexo de los tiempos; los conmutadores. Para dos operadores A y B, el conmutador se define como:

$$[A, B] = AB - BA$$

Si el valor del conmutador se corresponde con el cero, podemos concluir que ambos operadores conmutan, es decir, que el orden en el que los operadores actúan no afecta al resultado final. Si en cambio, el resultado fuese distinto de cero, el orden de aplicación sí que altera el resultado.

3.1. La Dualidad de los Tiempos

Supongamos la existencia de un operador que actúa como generador de transformaciones entre T y Ж. Expresado formalmente:

$$[\Phi, T] = i\text{Ж}$$

Aplicar sobre T, produce antitiempo.

$$[\Phi, \text{Ж}] = iT$$

Aplicar Φ sobre Ж, produce tiempo.

En estas propiedades, podemos entender *i* como la unidad imaginaria. Su presencia es debida a los principios de la mecánica cuántica, donde el conmutador de dos operadores hermitianos es antihermitiano. Al formalizarse de tal manera que $[A, B] = iC$ con C real o hermitiano, se conserva la congruencia matemática y se garantiza que la magnitud física asociada a C tenga valores observables reales.

Un operador hermitiano es aquel que coincide con su adjunto (A †$= A$) y es efigie de una magnitud medible, debido a que sus autovalores son reales.

En claroscuro, un operador antihermitiano cumple A † $= -A$ y aparece naturalmente en conmutadores, generadores de transformaciones y objetos cuyo resultado puro sería imaginario, es decir, que tal como está escrito, ese objeto matemático no representa directamente una magnitud medible. Cuando se habla de "medir" en mecánica cuántica, se hace referencia a la acción de interactuar con un sistema cuántico mediante un aparato de medida de forma que el resultado obtenido corresponda a un observable representado por un operador hermitiano A . Ese operador tiene un abanico de autovalores a_n, y una medición ideal de A solo puede devolver uno de esos autovalores, nunca un valor arbitrario.

3.2. La identidad de Jacobi

En matemáticas, la identidad de Jacobi es una condición que puede cumplir una operación binaria y que establece cómo influye el orden en que se agrupan las operaciones. A diferencia de las operaciones asociativas, en las que el orden de agrupación no altera el resultado, aquellas que satisfacen la identidad de Jacobi ese orden sí resulta relevante y está sujeto a una relación específica. Toma la siguiente forma:

$$\big[A,\ [B,\ C]\big] + \big[B,\ [C,\ A]\big] + \big[C,\ [A,\ B]\big] = 0$$

Es precisamente esta entidad matemática aquella que puede verificar la consistencia algebraica de la relación de no conmutatividad que guardan entre sí los tiempos. Para ello, tomamos los operadores:

$$A = \Phi,\ B = T,\ C = Ж$$

Entonces:

$$\big[\Phi, [T, Ж]\big] + \big[T, [Ж, \Phi]\big] + \big[Ж, [\Phi, T]\big]\ = 0$$

Si sobre la identidad aplicamos la dualidad de los tiempos expuesta anteriormente, nos queda:

$$\big[\Phi,\ [T,\ Ж]\big] + [T,\ -iT] + [Ж,\ iЖ] = 0$$

Pero:

$$[T,\ T] = 0$$
$$[Ж,\ Ж] = 0$$

Por lo que ambos términos se anulan en la identidad tal que:

$$[T,\ -iT] = -i[T,\ T] = -i \cdot 0 = 0$$

Y

$$[Ж,\ iЖ] = i[Ж,\ Ж] = i \cdot 0 = 0$$

Tras la anulación de los términos, nos queda:

$$\big[\Phi,\ [T,\ Ж]\big] = 0$$

Ello nos viene a significar que el conmutador $[T,\ Ж]$ conmuta con el operador Φ, valga la redundancia. Lo que se traduce en que la relación entre tiempo y antitiempo (su conmutador) es invariante bajo la transformación generada por Φ. Es más, se nos hace cierto que la dualidad de los tiempos es independiente a las permutaciones que deseemos encomendarle. Es, de sí sobre sí, propiedad intrínseca del espacio-tiempo mismo.

3.3. El centro del álgebra

Bajo la hipótesis adicional de que dicha cantidad invariante pertenece al centro del álgebra, puede identificarse con una constante proporcional a la identidad, tal que:

$$[T,\ Ж] = c\mathbb{1}$$

Nótese que cuando se habla de "pertenecer al centro del álgebra", a lo que uno se suele referir es a un objeto que conmuta con todo lo demás. De tal manera que si tenemos un operador X , que sea central significa que:

$$[X,\ A] = 0 \quad \forall A$$

Uno de los ejemplos más claros e importantes nos viene dado por la identidad $\mathbb{1}$:

$$[\mathbb{1},\ A] = 0 \quad \forall A$$

De esta manera, al afirmar la relación de los tiempos viene definida por una constante natural y proporcional a la identidad, lo que realmente se está expresando es la suposición de que el conmutador se entiende como elemento central algebraico.

4. La constante de Guadiana

4.1. Surgencia de la constante

Es ahora, cuando conviene arrojar una nueva conjetura sobre el modelo. Tal es así que la incorporación del antitiempo como magnitud física resultará natural si se representa mediante un operador hermitiano, ya que esta elección hace posible el asociarle una interpretación física, análoga a la de otros observables cuánticos.

En este marco, el conmutador de los tiempos es necesariamente antihermitiano; en consecuencia, la constante c debe ser puramente imaginaria. Procédase en menester de una demostración:

Si tenemos:

$$T^\dagger = T \ \ y \ \ Ж^\dagger = Ж$$

El adjunto del conmutador entre ambos debe de ser:

$$[T,\ Ж]^\dagger = (\,TЖ\ -\ ЖT\,)^\dagger =$$
$$Ж^\dagger T^\dagger - T^\dagger Ж^\dagger =$$
$$= ЖT - TЖ = -[T,\ Ж]$$

Verificándose que el conmutador de dos operadores hermitianos es antihermitiano. Si además aplicamos la expresión desarrollada en el apartado 3.3:

$$[T, Ж] = c1$$

Al tomar adjunto se obtiene:

$$[T, Ж]^{\dagger} = (c1)^{\dagger} = c^{*}1.$$

Pero como ya se ha demostrado que:

$$[T, Ж]^{\dagger} = -[T, Ж]$$

Sustituyendo la forma proporcional a la identidad resulta:

$$c^{*}1 = -c1 \rightarrow c^{*} = -c$$

Esta condición acaba por implicar que c no puede tener parte real. Ello se verifica al escribir:

$$c = a + ib \rightarrow c^{*} = a - ib$$

Al fijar la igualdad $c^{*} = -c$ sobre la expresión anterior:

$$a - ib = -(a + ib)$$

Las partes reales se cancelan:

$$a = -a \rightarrow a = 0$$

Luego c es puramente imaginario, y acaba resultando natural parametrizarla como:

$$c = i\square,\ \square \in \mathbb{R}$$

Pudiéndose expresar la relación de los tiempos de la forma:

$$[T, Ж] = i\square 1,\ \square \in \mathbb{R}$$

Donde $\square$ es una constante real y fija la escala característica de la no conmutatividad temporal, bautizada bajo el nombrar de la constante de Guadiana.

4.2. La naturaleza de la constante de Guadiana

Se ha demostrado que la relación que guardan entre sí los tiempos puede expresarse según:

$$[T, Ж] = i\square$$

con $\square$ como una constante real que fijará la escala de la relación.

Sin embargo, en el horizonte se nos eleva un nuevo enigma, relativo a el valor numérico y real de la constante. Este valor revelará la intensidad con la que la estructura antitemporal se manifiesta.

Pues bien, por consistencia del modelo, la constante exige una expresión conforme a las unidades de tiempo presentes en la relación de T y Ж, la cual se entiende en unidades de tiempo al cuadrado. Una combinación natural de constantes fundamentales que cumple esta condición es:

$$\square = \frac{\hbar G}{c^{5}}$$

Siendo $\hbar$ es la constante de Planck reducida, G la constante de gravitación universal y c la velocidad de la luz. Aunque aún no se haya demostrado experimentalmente, el uso de estas constantes es una forma de vincular la propuesta con escalas físicas relevantes.

La naturaleza de la constante de Guadiana toma esa forma concreta debido a que es la única combinación posible que resulta en unidades de tiempo al cuadrado.

$$\square = \frac{\hbar G}{c^{5}} = \frac{(M * L^{3} * T^{-1}) * (M^{-1} * L^{3} * T^{-2})}{L^{5} * T^{-5}}$$

Al despejar, se verifica que queda T^{2}. Si ahora sustituimos los valores numéricos de cada una de las constantes:

$$\hbar = 1{,}054571817 \times 10^{-34}\, Js$$

$$G = 6{,}67430 \times 10^{-11}\, m^{3}kg^{-1}s^{-2}$$

$$c = 299792458\, m/s$$

obtenemos:

$$\square \approx 2{,}9 \times 10^{-87}\, s^{2}$$

La magnitud resultante es extremadamente pequeña, lo que sugiere que cualquier efecto asociado al antitiempo quedaría lejos, muy lejos de la experiencia consuetudinaria. Su posible relevancia aparecería, en todo caso, en escenarios de extrema densidad, en los procesos de la curvatura misma del espacio-tiempo, ...

5. Conclusiones

La principal aportación de esta este artículo es la oferta de una forma estructurada de pensar el tiempo superior a su interpretación habitual y cotidiana. Aunque el modelo, de momento, es especulativo, resulta útil como ejercicio de reflexión teórica y como punto de partida para discutir la posible profundidad de la temporalidad en la naturaleza de las cosas.

Si el antitiempo formase parte de la estructura fundamental del universo, podrían revisarse algunas de nuestras intuiciones sobre causalidad, reversibilidad y flecha temporal. Ofreciéndose, además, una lectura alternativa de ciertos problemas abiertos en la relación entre mecánica cuántica y gravedad.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mis compañeras (que cursan y sufren conmigo la carrera) su genuino interés y atención a mis ideas. El diálogo honesto y libre es sustancial para el avance del saber; es por ello que, sin mis amigas, jamás podría haber llegado a las anteriormente propuestas conclusiones, ¡Gracias!

Referencias

[1] Wikipedia (es). Teoría de KaluzaKlein. https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_Kaluza-Klein

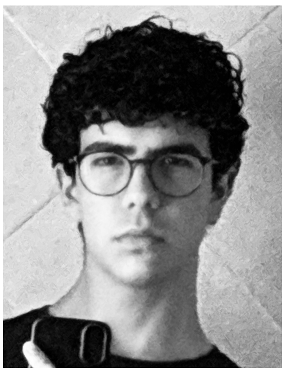
[2] Overduin, J. M. & Wesson, P. S. (1997). Kaluza–Klein Gravity. Phys. Rept. 283, 303–380. DOI: 10.1016/S0370-1573(96)00046-4.

[3] Klein, O. (1926). Quantentheorie und fünfdimensionale Relativitätstheorie. Zeitschrift für Physik 37, 895–906. DOI: 10.1007/BF01397481.

[4] Salminen, T. & Tureanu, A. (2011). Noncommutative Time in Quantum Field Theory. Phys. Rev. D 84, 025009. DOI: 10.1103/ PhysRevD.84.025009

[5] Wikipedia (en). Five-dimensional space. https://es.wikipedia.org/wiki/Quinta_dimensi%C3%B3n

[6] Wikipedia (es). Retrocausalidad. https://es.wikipedia.org/wiki/Retrocausalidad



Mario Beas Aliaño, Grado en Física, 1er curso.