

ONDAS Y PARTÍCULAS

UN NUEVO ENFOQUE QUE CONDUCE A LAS FÓRMULAS DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL.

Por Marcelo A. Crotti - Argentina

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se muestra la manera de obtener las fórmulas de transformación para longitudes y tiempos, propias de la Teoría de la Relatividad Especial, mediante un modelo nuevo y simple. De acuerdo con este modelo, la velocidad de las ondas electromagnéticas está tan íntimamente ligada a la estructura de lo que denominamos materia, que todo intento para medir la velocidad de estas ondas se hace a través de ellas mismas. En el desarrollo se muestra que los cambios que se producen en los sistemas en movimiento son imposibles de detectar en mediciones que involucren viajes de ida y vuelta de las señales.

El presente modelo puede ser definido como "clásico", entendiendo como tal un sinónimo de "entendible" o "en concordancia con nuestra experiencia cotidiana".

La suposición básica, empleada para el desarrollo, es que las partículas elementales son sólo el resultado de las interacciones producidas en el interior de un medio "primordial" a una velocidad promedio coincidente con la velocidad de la luz ("c"). Este medio "primordial" se postula como un soporte de bajo nivel para todas las manifestaciones físicas tales como ondas, partículas, energía, etc., pero es totalmente diferente de la vieja concepción del "eter" luminífero. La idea básica de osciladores primarios es conceptualmente similar a la que da origen a la teoría de las Supercuerdas.

Dado que conduce a las mismas fórmulas de transformación que la Relatividad Especial, este modelo es totalmente compatible con la electrodinámica y con todos los otros fenómenos en que la Relatividad Especial ha sido aplicada con éxito.

El cambio fundamental se produce en la concepción de la estructura íntima de lo que conocemos como materia, ondas, energía o vacío. En forma notable, de acuerdo con el punto de vista aquí desarrollado, las expresiones "realmente ocurre que ..." y "parece que sucediera ..." de la Relatividad Especial, intercambian sus usos. Como consecuencia, el postulado de la constancia

de la velocidad de la luz mantendría su validez, pero enunciado como: "La velocidad de la luz *parece* ser constante para todos los sistemas inerciales". Como se muestra en este trabajo, la diferencia entre este enunciado y el postulado de la Relatividad Especial, se haría evidente con mediciones precisas de "c", empleando sólo caminos de "ida" de los rayos luminosos (recorridos en un solo sentido).

En su [publicación de 1905](#), Einstein estableció explícitamente que la constancia de "c" se postula sólo para recorridos de "ida" y "vuelta" cuando escribió:

"....

En concordancia con la experiencia, asumiremos que la cantidad

2AB

----- = c

$t'_A - t_A$

es una constante universal - La velocidad de la luz en el espacio vacío."

donde t'_A y t_A son lecturas de tiempo realizadas por el mismo reloj mientras el rayo luminoso recorre el camino de A hacia B y retorna a A.

En concordancia con el enfoque de Einstein, todas las interacciones físicas habituales se realizan a través del viaje de ida y vuelta de señales. Y como el modelo aquí desarrollado plantea diferencias en los recorridos en un solo sentido, para poner de manifiesto las diferencias sería necesario realizar mediciones que involucren mediciones de señales que empleen sólo recorridos de "ida". En mediciones de ida y vuelta, este nuevo modelo arroja los mismos resultados que la Teoría de la Relatividad Especial.

Sin embargo, la importancia de este modelo no reside en obtener las mismas fórmulas a través de un camino diferente, dado que esto no pasaría de ser un entretenimiento matemático. Si el análisis es correcto, conduciría a alterar en forma profunda la concepción del Universo y permitiría realizar nuevos enfoques teóricos y experimentales. A modo de ejemplo, el concepto de la dualidad onda-partícula perdería su entorno "misterioso" dado que, como consecuencia

de este modelo, la diferencia entre ambos fenómenos desaparecería.

MODELO OSCILATORIO

Asumamos, momentáneamente, que existe un marco de referencia en el universo. Este marco de referencia no tiene por que ser estacionario y bien puede sufrir desplazamientos internos o depender de la acumulación de materia y/o energía en él.

A modo de ejemplo, consideremos los fenómenos que tienen lugar en el océano, donde el marco de referencia lo constituye el conjunto completo de las moléculas de agua. Las olas, mareas y corrientes se producen dentro de este marco de referencia.

Simultáneamente, en este marco, también se transmiten sonidos, fenómenos térmicos, etc.

Con independencia de la estructura molecular, cuando nadamos en el mar, habitualmente consideramos a las olas como fenómenos independientes sobreimpuestos a la gran masa de agua. Es posible desarrollar un modelo adecuado para describir las olas marinas, considerándolas un fenómeno independiente, pero es a través de la teoría cinética (que sí considera la estructura molecular del sistema) que podemos "entender" las características de la transmisión olas, de ondas acústicas y, en general, todos los fenómenos de transporte en el agua.

En el caso del Universo, supongamos que el marco de referencia está formado por entidades con propiedades oscilatorias.

Estas entidades se acoplarían entre sí para producir los componentes básicos de lo que denominamos materia, ondas, energía, etc. Y supongamos, adicionalmente, que la velocidad de interacción entre estos osciladores está gobernada por la velocidad de la luz en el vacío "c".

A partir de estas dos suposiciones básicas resulta posible conjeturar acerca del concepto subjetivo de tiempo para cualquier observador, en reposo o movimiento con respecto a este marco de referencia. Y a partir de este concepto subjetivo de tiempo puede derivarse el valor de la velocidad de la luz para cada observador.

De acuerdo a lo que sugiere la experiencia en otros campos, la velocidad de interacción puede considerarse constante dentro del marco de referencia, tal como ocurre con las ondas sonoras en el aire.

En este punto resulta importante clarificar el concepto de tiempo subjetivo. Una vez postulado que toda manifestación energética o material no es más que el resultado de la interacción de los osciladores primarios, si, por cualquier razón, estos osciladores varían su frecuencia de acoplamiento, todos los procesos asociados se alterarán en forma correlativa. A modo de ejemplo puede mencionarse la variación de la velocidad del sonido en el aire a diferentes temperaturas. Este fenómeno afectaría de igual forma a los relojes biológicos (ej. envejecimiento) o mecánicos.

Resumiendo el desarrollo realizado hasta este punto, y tal como se expresó, los postulados del modelo son:

- Todas las manifestaciones energéticas o materiales son el resultado de la interacción de osciladores lineales, que no sólo cubren sino que definen el espacio.
- La velocidad promedio de transmisión de información entre osciladores es constante dentro del marco definido por los osciladores.

La pregunta acerca de cuántos osciladores son necesarios para formar una partícula elemental (ej. un electrón) es similar a la pregunta acerca de cuántas moléculas son necesarias para formar una ola o un tornado. De acuerdo con el concepto desarrollado en este modelo, una partícula o una manifestación energética son simplemente un agrupamiento estable de entidades primarias que da lugar a un fenómeno diferenciado dentro del marco de referencia. Es irrelevante conocer cuántas moléculas de agua, o cuáles dentro de todas las disponibles, forman parte de una ola. La ola es un fenómeno diferenciado y estable dentro de la gran masa de agua, aunque las moléculas que originan la ola no se desplacen con ella. En esta explicación, "estable" debe tomarse como indicador de que el fenómeno se propaga durante un cierto tiempo, manteniendo su identidad. En la discusión siguiente, una longitud "L," se refiere al resultado físico observable de la interacción y agrupamiento de un gran número de osciladores primarios. En forma similar, los cambios en la longitud observable "L" o en el período interno de oscilación "T" para un sistema material, son la

representación macroscópica de los cambios producidos entre los osciladores primarios.

En este trabajo no se intenta definir conceptos físicos tales como la masa. Sólo se asume que los resultados macroscópicos, con respecto a las propiedades de las partículas, derivan de las propiedades intrínsecas de las entidades primarias y las características de su acoplamiento.

Definida de este modo, una "partícula" es el resultado del acoplamiento de osciladores primarios y debe ser considerada como un oscilador macroscópico "observable" que representa el resultado global del acoplamiento.

De acuerdo con estas suposiciones, las propiedades medibles de las partículas son, como en los osciladores clásicos, el resultado del equilibrio entre las fuerzas internas restaurativas y la energía cinética derivada del desplazamiento coordinado de los osciladores primarios.

En forma similar al caso de las olas en el mar, los osciladores no se mueven con las partículas. En todo momento las partículas propagan su identidad incorporando y abandonando osciladores a medida que resulta necesario.

Durante las mediciones de longitud, o en cualquier otra interacción, cualquier partícula puede ser considerada como un oscilador lineal que es el resultado del agregado de numerosos osciladores elementales. Cada referencia a "partículas" en los párrafos siguientes debe ser considerada como un grupo de osciladores primarios acoplados. En el modelo propuesto no es posible hablar de partículas excluyendo los osciladores primarios del mismo modo que resulta imposible considerar olas en el agua sin moléculas de agua.

PRIMER CASO: Partícula estacionaria.

En los próximos párrafos se derivan las ecuaciones para osciladores lineales agrupados que se manifiestan como una partícula estacionaria. En este caso (estacionario) se emplea el sub-índice "0". Durante la derivación matemática siguiente, el término masa "m" se usa sólo como una variable auxiliar que se cancela al final del proceso. El término "m" debe ser incluido para emplear las fórmulas de la mecánica clásica que describen el comportamiento de los osciladores lineales. En función de la

simplicidad del desarrollo se asume que la masa "m" es una propiedad aditiva de los osciladores primarios. Como se postula que los osciladores primarios interactúan a velocidad "c", también la masa "m" (o el resultado de la adición de las propiedades equivalentes de los osciladores primarios), se desplaza a velocidad "c" en un sentido o en el contrario. Se emplearán los signos de adición (+) y de resta (-) para reflejar sentidos opuestos de la magnitud absoluta "c".

De acuerdo con esta explicación, la masa "m" no debe identificarse necesariamente con la masa medible de la partícula. Sólo debe ser considerada una "masa" interna, que es el resultado de la adición de alguna propiedad de los osciladores primarios. Como se explicó previamente, no se intenta definir el concepto de masa asociado a osciladores individuales.

Para una partícula material (de masa interna "m"), postulada como un oscilador lineal que refleja el acoplamiento de un grupo de osciladores primarios, la fuerza interna ("F₀"), originada en la energía cinética interna y en equilibrio con la fuerza restaurativa interna es, conforme a la mecánica clásica:

F₀ = Variación de la Cantidad de Movimiento / Período de Oscilación

Y con la masa interna "m" cambiando su velocidad de "+c" a "-c", tenemos:

Variación de la Cantidad de Movimiento = 2mc. (1)

y el período de oscilación "T₀" se relaciona con la longitud de la partícula "L₀" mediante:

$$T_0 = 2L_0 / c \quad (2)$$

lo que conduce a :

$$F_0 = 2mc / (2L_0/c) \quad (3)$$

y "L₀" queda determinado por la constante elástica "k", de acuerdo con:

$$F_0 = kL_0 \quad (4)$$

De modo que equilibrando las ecuaciones (3) y (4):

$$2mc / (2L_0/c) = kL_0$$

y

$$L_0 = (mc^2 / k)^{0.5} \quad (5)$$

SEGUNDO CASO: Partícula en movimiento.

El caso de una partícula en movimiento a velocidad "v" (sub-índice "1") con respecto al marco de referencia puede obtenerse en forma similar. Una vez más debe enfatizarse que los osciladores fundamentales no se trasladan con las partículas en movimiento, al

igual que las moléculas de agua no acompañan a las olas en su desplazamiento.

El tiempo de una oscilación completa (" T_1 ") puede determinarse con:

$$T_1 = L_1 / (c+v) + L_1 / (c-v)$$

que, luego de reagrupar los términos, conduce a :

$$T_1 = 2L_1c / (c^2 - v^2) \quad (6)$$

y la fuerza promedio puede calcularse como:

$$F_1 = 2mc / (2L_1c / (c^2 - v^2)) \quad (7)$$

Estas ecuaciones están siempre expresadas de acuerdo con las observaciones realizadas desde el sistema estacionario. La variación del momento es el mismo que en el caso anterior puesto que cada oscilador elemental posee una velocidad promedio de "+c" or "-c" dado que permanece estacionario respecto al sistema de referencia (los propios osciladores son el sistema de referencia). Sin embargo la longitud " L_1 " no puede ser determinada en forma directa.

Como en el caso previo, la fuerza elástica restaurativa se relaciona con " L_1 " de acuerdo con

$$F_1 = kL_1 \quad (8)$$

y a partir de (7) y (8) resulta:

$$L_1 = (m(c^2 - v^2) / k)^{0.5} \quad (9)$$

mientras que dividiendo las ecuaciones (9) y (5) se obtiene:

$$L_1 = L_0 (1 - v^2 / c^2)^{0.5} \quad (10)$$

y dividiendo (2) y (6):

$$T_1 = T_0 (L_1 / L_0) (c^2 / (c^2 - v^2)) \quad (11)$$

donde, luego de reemplazar el cociente de longitudes, en base a la ecuación (10), se obtiene:

$$T_1 = T_0 / (1 - v^2 / c^2)^{0.5} \quad (12)$$

Las ecuaciones (10) y (12) expresan la relación entre longitudes y períodos para un sistema en movimiento, con respecto a los mismos valores obtenidos para un sistema en reposo. Ambos valores corresponden a la medición desde el sistema en reposo

Como puede observarse, los resultados obtenidos son las transformaciones de Lorentz, que gobiernan las transformaciones de coordenadas en la Relatividad Especial. Pero las consecuencias son notablemente diferentes. En general los "parece que ..." de la Relatividad Especial se transforman en "realmente ocurre que ..." y viceversa.

Como consecuencia de este modelo, los relojes en movimiento son realmente más lentos que los relojes estacionarios. Sin

embargo, esta propiedad no resulta evidente en el sistema en movimiento cuando se realizan experiencias que incluyen desplazamientos de ida y vuelta de las señales. La explicación reside en que los relojes y varillas del observador se afectan de igual forma que todas las manifestaciones materiales de su sistema.

El análisis previo es una consecuencia de que indirectamente, durante el proceso de medición, se usa la misma propiedad que se intenta medir.

Incluso si la velocidad del sistema cambia, el tiempo que emplea la luz para cubrir la distancia de un trayecto ida y vuelta, tal como la mide el observador en movimiento, permanece inalterada. La situación es diferente para recorridos en un solo sentido de la señal luminosa. En este punto es necesario destacar que todas las mediciones precisas de la velocidad de las ondas electromagnéticas (que condujeron al postulado de la constancia de "c") se han realizado mediante viajes de ida y vuelta de la señal. Mediciones en un solo sentido (tal como la de Römer mediante los eclipses de las lunas de Jupiter, o la aberración estelar de Bradley) no tienen la precisión necesaria para poner de manifiesto velocidades del orden de las velocidades locales del sistema solar.

Quizás el postulado de un marco de referencia en el Universo puede ser tomado como un intento de reflotar el viejo concepto de eter luminífero, pero el modelo aquí presentado involucra un concepto totalmente diferente. El medio soporte, en este modelo, no se postula como un medio en el que se propagan las ondas luminosas y es atravesado (con o sin fricción) por los sistemas materiales. De acuerdo con el desarrollo aquí presentado, la materia es una abstracción derivada de la interacción de los osciladores primarios.

En este modelo el concepto de "corpúsculo" asociado a las manifestaciones materiales carece de sentido. Si tales "corpúsculos" no son otra cosa que agrupamientos estables de los componentes del medio soporte, no es conveniente pensar en ellos como constituidos por algún material especial, pues en ese caso la materia debería atravesar el medio soporte (la vieja teoría del eter). En este modelo, los corpúsculos se propagan a través del medio soporte. En forma similar,

las olas del mar no atraviesan el agua sino que se propagan por ella. Y sin embargo, las olas son agrupamientos bastante estables de los componentes primarios que definen el medio soporte (moléculas de agua).

Como ya se estableció, las diferencias entre este modelo oscilatorio y la Relatividad Especial sólo puede ponerse de manifiesto midiendo la velocidad de las ondas electromagnéticas en recorridos en un solo sentido, u observando el resultado de interacciones en un solo sentido. Estas mediciones no resultan fáciles de realizar, pero son posibles. De hecho, el Dipolo de Anisotropía en el fondo de Microondas Cósmico ("Cosmic Microwave Background"-CMB) es fácilmente explicado como el resultado del efecto Doppler originado por el desplazamiento de La Tierra con respecto al increíblemente uniforme fondo de microondas cósmico. Y el efecto Doppler contra un fondo homogéneo es el resultado típico de una interacción en un solo sentido pues no hay necesidad de retornar la señal para medir el resultado de la experiencia. Y en este caso el modelo aquí presentado es más adecuado que la Relatividad Especial para explicar el resultado experimental.

CONCLUSIONES.

Las fórmulas de transformación para longitud y tiempo, que se obtienen mediante la Teoría de la Relatividad Especial, pueden ser derivadas usando un modelo "clásico" de Universo. El modelo aquí presentado es simple y conduce directamente a las citadas ecuaciones.

De acuerdo con el modelo oscilatorio propuesto, la velocidad de la luz sería una propiedad fundamental del Universo. Sin embargo esta propiedad no tendría el significado asignado por la Relatividad Especial, sino que sería una consecuencia de las propiedades intrínsecas de lo que conocemos como materia, ondas o energía. El valor de "c" cumpliría un rol similar al de la velocidad de las moléculas en la teoría cinética de los gases. En este caso sería la velocidad de interacción entre los componentes primarios del Universo.

Dentro de los lineamientos de este modelo, el concepto de ondas o corpúsculos como

entidades independientes carece de sentido. Estas entidades serían sólo un resultado de las interacciones entre los componentes primordiales.

El tiempo "absoluto" podría coexistir con los tiempos propios de cada sistema inercial. Cada sistema podría tener su propio tiempo, cualquiera que sea el significado de esta expresión.

La velocidad de la luz sería un límite práctico para los sistemas materiales que conocemos, pero no tendría por que ser un límite absoluto para transmisión de información.

Como ya se expresó, los "parece que ..." de la Relatividad Especial se transforman en "realmente ocurre que ..." y viceversa.

Basándose en este modelo, aunque podría haber diferentes sistemas en algo conceptualmente equivalente al "reposo absoluto", estos sistemas no podrían detectarse empleando recorridos de ida y vuelta de las señales.

Este modelo no implica la existencia de un sistema "absoluto" de referencia y los sistemas móviles sólo existirían con respecto al marco de referencia local que define el espacio en la zona en estudio. Este concepto es similar al movimiento de las olas y corrientes marinas con respecto a la gran masa de agua de la que forman parte. Aunque no existen moléculas de agua en reposo absoluto, los fenómenos de transporte en el mar sólo tienen sentido cuando se los refiere al comportamiento de la masa local de agua.

La diferencia con la Relatividad Especial sólo puede ponerse de manifiesto en interacciones que involucren recorridos en un solo sentido.

El Dipolo de Anisotropía en el Fondo de Microondas Cósmico (CMB) está en mejor concordancia con este modelo oscilatorio que con la Relatividad Especial. Este Dipolo, mediante ondas electromagnéticas, ha puesto de manifiesto un movimiento "absoluto" de La Tierra del orden de las centenas de Km/seg. Y este era el objetivo del experimento de Michelson-Morley.