

Relatividad Especial

George Cuevas

Introducción

Todos sabemos que la luz consiste en ondas electromagnéticas. El medio de propagación puede ser el vacío, o puede ser un material apto para su propagación. Por ejemplo, un lente o un filamento de vidrio como la fibra óptica. La velocidad de la luz cuando se propaga en el vacío es de magnitud = 299 792 458 metros por segundo.

Nuestro universo está permeado de ondas electromagnéticas. La energía que transmite el sol consiste en ondas electromagnéticas. Hablando figurativamente, se puede decir que ondas electromagnéticas son la moneda común que usa la naturaleza para el intercambio de energía.

Las ondas electromagnéticas son también el medio principal que usamos para concebir la realidad del mundo en que vivimos. A través de nuestros sentidos recibimos el estímulo visual (ondas) y nuestro cerebro procesa las sensaciones visuales y de esta manera percibimos la actualidad y el pasado. Incluimos aquí el pasado porque el panorama (imagen) visual que contemplamos es un mosaico de lo que está ocurriendo actualmente (objetos cercanos) y de que ha ocurrido en el pasado cercano y en el pasado distante dependiendo de la perspectiva de la imagen. Quiero decir que lo que vemos en el horizonte del panorama es el pasado porque las ondas de objetos lejanos toman más tiempo en llegar al observador. Por ejemplo, la imagen del sol que contempla un observador terrestre no representa el estado actual porque hay una demora de 8 minutos que es el tiempo necesario para que las ondas procedentes del sol lleguen a los ojos del observador. En cambio, para objetos cercanos y propiamente en frente del observador y que son parte del panorama, la imagen de estos objetos representa la realidad actual.

Las ondas electromagnéticas tienen una propiedad mágica e inesperada que desafía la intuición y que no entendemos necesariamente de dónde viene y por qué se manifiesta, pero que a través de experimentación nos hemos percatado de ella. Esta propiedad es:

La velocidad de la luz es independiente del estado de movimiento de la fuente de dicha luz. La velocidad de la luz es también independiente del estado de movimiento del observador.

Esta propiedad se ha verificado por medio de numerosos experimentos durante la época de 1881 hasta 1930. Para esta época, Clerk Maxwell había

publicado las famosas "Ecuaciones de Maxwell" que gobiernan los fenómenos de electromagnetismo. La ecuación que gobierna el fenómeno de ondas electromagnéticas se puede derivar de las ecuaciones de Maxwell. En dichas leyes se manifiesta de manera explícita la velocidad "**(c)**" de la luz que es el inverso **de la raíz cuadrada de la permisividad eléctrica " (ϵ_0) " del espacio (vacío) multiplicada por la permeabilidad " (μ_0) " magnética del mismo.** La velocidad de la luz en el vacío se representa $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$.

Sin meternos mucho a la electromagnética, más adelante vamos a ver que la luz es mucho más de lo que nos dice Clerk Maxwell en sus ecuaciones.

Invariabilidad de las leyes de la Física

Las leyes de la Física son sacrosantas. Tienen un aspecto de infalibilidad como la del Santo Padre en Roma. Dicho aspecto nos dice que las leyes se cumplen en todo tiempo y lugar. Para enunciar estas leyes usamos coordenadas de tiempo y espacio. Usamos ejes cartesianos para marcar posiciones en el espacio y generalmente usamos cronógrafos para medir tiempo. De acuerdo con la Física Clásica, las dimensiones de espacio no están ligadas a las dimensiones de tiempo.

La invariabilidad de las leyes de la Física tiene dos aspectos que son: 1) Dichas leyes se cumplen en todo tiempo y lugar; 2) dichas leyes no cambian de forma, cuando se enuncian en diferentes sistemas de coordenadas o cuando se enuncian en referencia a diferente posición u orientación en el espacio.

De acuerdo con la definición de que constituye invariabilidad, los ejes cartesianos se pueden rotar o se pueden trasladar y estos movimientos no afectan la forma, o impiden el cumplimiento de dichas leyes. Se puede decir que las leyes de Física son invariables con respecto a rotación o traslación de los ejes. Se supone aquí que el movimiento (rotación o traslación) ocurre primero y después se lleva a cabo el experimento. Ahora hacemos una pregunta: ¿Qué pasa cuando el experimentador está en movimiento durante la observación del experimento? Por ejemplo, el experimento se lleva a cabo en el laboratorio en el cual está Juan. Miguel por el otro lado viaja con velocidad "**v**" con respecto al laboratorio y lleva consigo los instrumentos que necesita para medir el mismo fenómeno que observa Juan.

Respuesta: Si se comparan los resultados de Juan y Miguel podríamos ver lo siguiente:

1. Las leyes se cumplen en ambos sistemas a pesar de que las variables del experimento usadas por Juan son diferentes a las variables de Miguel. Sin embargo, se observa que la forma de la ley cambia cuando Juan convierte sus coordenadas de posición en el laboratorio a las coordenadas de Miguel quien es el observador que va viajando. Miguel por el otro lado también

observa la variabilidad de la forma de la ley que gobierna el experimento cuando aplica la conversión de sus coordenadas a las de Juan. Hay que notar que el cambio de coordenadas se llevó a cabo usando las Transformaciones de Galileo y en acuerdo con la Física Clásica; este es el método apropiado para llevar a cabo dicha conversión.

2. Juan y Miguel conducen otros experimentos, comparan resultados y notan de que cuando los experimentos contienen normas de la Física Mecánica las leyes se cumplen (por ejemplo, las leyes de Isaac Newton). También se nota que cuando se lleva a cabo la conversión de un sistema al otro, la forma de la ley no cambia.
3. Por otro lado, Juan y Miguel se dan cuenta de que la discordia que ocurre en cuanto a la forma de la ley solamente se manifiesta en experimentos de fenómenos electromagnéticos y ocurre más cuando se trata de las leyes de Ampère y Faraday. Quiere decir que las leyes de Maxwell que se basan en las leyes de Ampère y Faraday no mantienen su forma cuando las coordenadas cambian de un sistema al otro.

Las observaciones de Juan y Miguel son alarmantes. Se puede decir que las leyes de la Mecánica Clásica son invariantes con respecto a las Transformaciones de Galileo. Las leyes de Clerk Maxwell representan una excepción. Las leyes de Clerk Maxwell no son invariantes en forma con respecto a las transformaciones de Galileo. Esta falla causó consternación en el mundo científico de ese tiempo (aproximadamente en los años de 1880 hasta 1905). La falla también puso freno al triunfo de la unificación de las ramas de electricidad, magnetismo y óptica que se llevó a cabo por medio de las 4 ecuaciones de Clerk Maxwell. Quiere decir que dichas ecuaciones son válidas únicamente para el sistema local que está fijo con el laboratorio. Esta falla es problemática también, porque en realidad las forma de las leyes de Maxwell tienen que ser las mismas en el planeta Tierra y en todas partes del universo, por ejemplo, en el planeta Marte desde donde Miguel podría observar el mismo fenómeno que Juan observa (a través de un telescopio desde la Tierra). Este es el dilema que causaba consternación al mundo científico y que no se resolvió sino hasta en 1905 cuando Albert Einstein publicó su Teoría de Relatividad.

Las transformaciones de Galileo

Las transformaciones de Galileo conectan sistemas de coordenadas que están en movimiento con respecto el uno al otro. Generalmente se refiere uno a un laboratorio fijo y a una plataforma volante que se mueve con velocidad "**v**". Las coordenadas del sistema volante son **(x', y', z')**. Las coordenadas del laboratorio son (x, y, z). Por ejemplo, si la velocidad es en la dirección del eje

"**x**" y si el eje (**x'**) está alineado en la misma dirección del eje (x) entonces solamente las coordenadas x y **x'** son afectadas. En este caso las transformaciones son:

$$\begin{aligned}x' &= x - v \cdot t \\y' &= y \\z' &= z \\t &= t'\end{aligned}$$

La coordenada de tiempo no cambia porque el tiempo es considerado absoluto. Como se puede notar, estas transformaciones toman en cuenta la velocidad relativa de los sistemas de coordenadas.

Formulación de la Teoría de Einstein

Las alternativas que Einstein enfrentó fueron:

- Hay algo que es problemático en las teorías de la Mecánica Clásica
- Las ecuaciones de Maxwell son incorrectas y hay que modificarlas
- Las transformaciones de Galileo no son todo el tiempo adecuadas y necesitan modificación

Einstein seleccionó la tercera alternativa para resolver el problema. El punto de partida fue la adopción de dos postulados básicos. Estos son:

1. Las leyes de Electrodinámica (incluyendo la velocidad de la luz que por supuesto es un fenómeno de la Electromagnética) y las leyes de la Mecánica son las mismas en todo sistema inercial (vamos a definir lo que esto significa más adelante).
2. Todos los sistemas de coordenadas son equivalentes. No existe un sistema privilegiado con respecto al cual se puede identificar movimiento absoluto. No existe un experimento especial con respecto al cual se puede distinguir un sistema privilegiado diferente de los demás.

Einstein recurrió a la propiedad de la luz mencionada anteriormente: La velocidad de la luz es constante y no depende de la velocidad de la fuente de dicha luz, ni depende de la velocidad del observador. Einstein adoptó el uso de ondas esféricas de luz que emanan del punto de referencia y que van en la dirección del objeto cuya posición y tiempo se va medir. Por supuesto, este método tiene la ventaja de que la luz es la moneda oficial aceptada a través del Cosmos. Por ejemplo, la luz es como el Euro porque es aceptada por todo sistema de coordenadas, incluyendo sistemas que se mueven con respecto el uno al otro. Este método es propicio porque la velocidad de la luz no cambia cuando se lleva a cabo la conversión. Más adelante vamos a explicar cómo se hacen estas medidas y cómo se hace la conversión. Para comenzar, vamos a recurrir a un experimento clásico en donde es fácil incorporar los postulados de Einstein. En

este experimento vamos a ver cómo se usan las ondas de luz para medir épocas de tiempo y distancias en ambos sistemas y cómo se refieren las coordenadas de un sistema al otro.

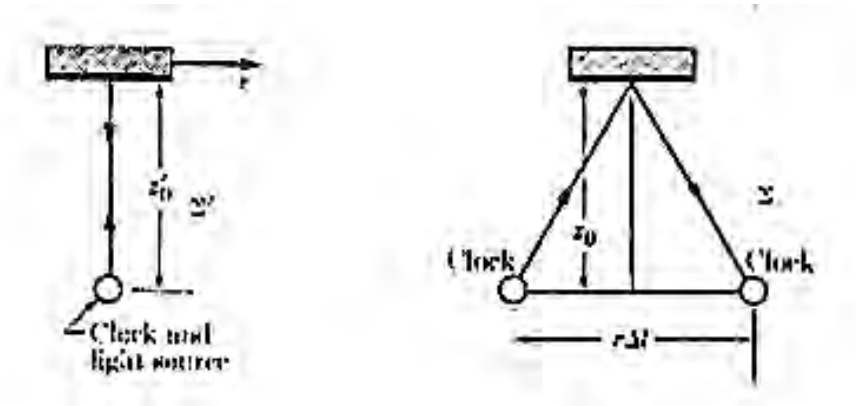


Figura 1. Este es el experimento de Juan y Miguel

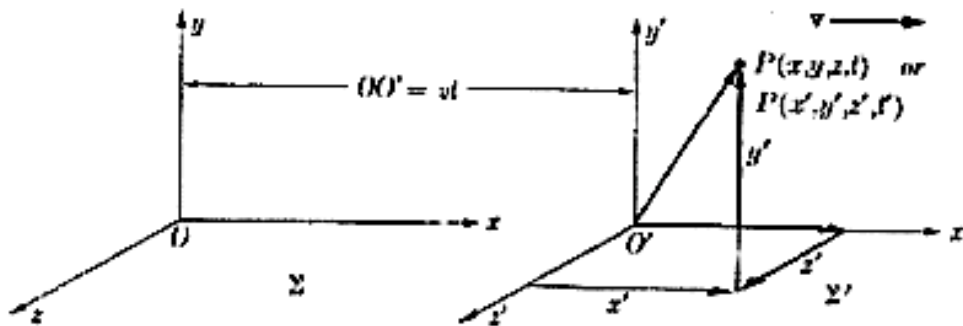


Figura 2. Estos son los sistemas de coordenadas de Juan (derecha) y Miguel (izquierda).

Experimento de Juan y Miguel

Esta vez Miguel se queda en el laboratorio mientras Juan viaja en una nave **de propulsión atómica. Digo "atómica" porque la nave** puede viajar a velocidades comparables con la velocidad de la luz. Para Juan el experimento consiste en medir el tiempo necesario para que un rayo de luz emanado en su nave viaje de ida y vuelta en dirección transversal a la trayectoria de la nave. Esto se hace poniendo un espejo que permite al rayo de luz reflejarse y volver al mismo lugar de origen. Miguel por supuesto va a observar también este mismo experimento

desde su laboratorio. Vamos a decir que Juan permanece fijo con respecto al experimento y Miguel observa el experimento mientras la nave se aleja del laboratorio. Con respecto a la Figura 1, hay que cambiar la dirección de la flecha (Figura 2) que indica la velocidad en la dirección opuesta de manera que la nave de Juan viaja hacia la izquierda en referencia al sistema del laboratorio.

La trayectoria de la nave es de baja altura. La nave lleva un marcador que instantáneamente emite un arco de descarga eléctrica y carboniza (deja una marca) el punto en el laboratorio (que está al aire libre) al momento de pasar. Esto es cuando la fuente de luz en la aeronave emite su luz hacia el espejo. Al regresar al mismo punto (de la aeronave) después de ser reflejado, la aeronave automáticamente emite una segunda descarga eléctrica y marca el punto en el laboratorio que corresponde al retorno del rayo de luz. Juan lleva un reloj y mide el tiempo de ida y vuelta. La pantalla de este reloj da las medidas en nanosegundos. Multiplicando por la velocidad de la luz Juan puede convertir nanosegundos a distancia recorrida por el rayo de luz que es el objeto del experimento. El tiempo medido por Juan es de 10.00692286 nano segundos y al ser multiplicado por la velocidad de la luz (0.299792458 metros/nano segundo) resulta en 3 metros.

Por otra parte, en el laboratorio Miguel mide la distancia entre los puntos que la aeronave marcó. La diferencia que es que Miguel mide intervalos de espacio (distancia entre las marcas). Con esta medida Miguel puede calcular la longitud de la hipotenusa (Figura 5). Miguel mide (Δx) = 4 metros en la dirección de la trayectoria de la nave. En el laboratorio hay estacas cada metro que facilitan la medida de distancia. Hay también relojes en cada estaca que marcan el tiempo local. Entonces es posible para Miguel también leer el tiempo local que corresponde a cada estaca. Por el momento Miguel no se va a preocupar por el tiempo que marcan estos relojes. La dirección de la hipotenusa representa la

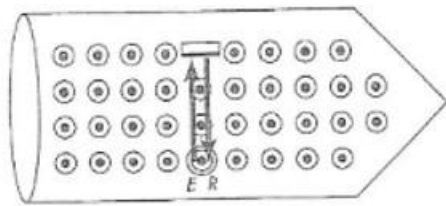


Figura 3. Diagrama de lo que observa Miguel

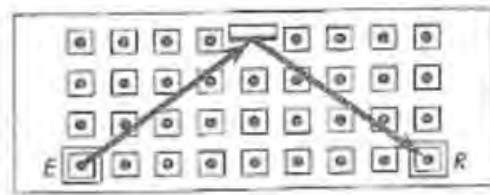


Figura 4. Diagrama de lo que observa Juan

dirección del espejo reflector en el laboratorio (Figura 4). La longitud de la hipotenusa representa el nuevo intervalo de tiempo que se deriva de la medida de Juan pero que al transformarse a coordenadas del laboratorio ha incurrido en una amplificación de tamaño. Este intervalo era 3 metros cuando fue medido por Juan en la aeronave y ha crecido a 5 metros en el laboratorio.

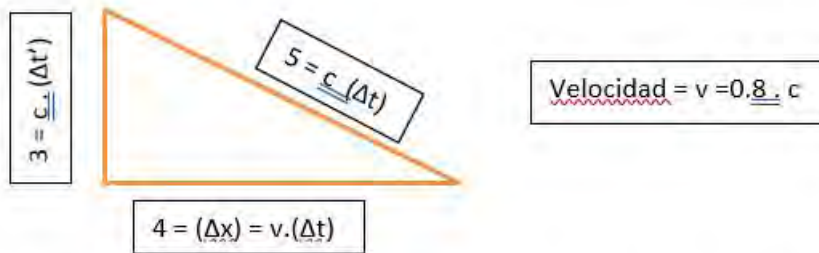


Figura 5. Construimos un triángulo integrando lo que ve Miguel con lo que observa Juan

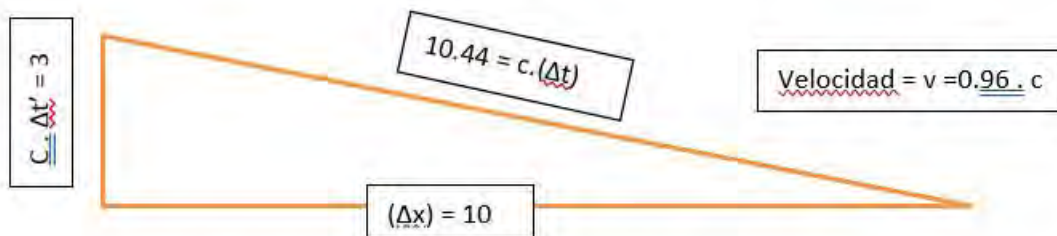


Figura 6. Al aumentar la velocidad el triángulo crece en la dimensión (Δx) pero $\Delta t'$ no cambia

El Triángulo de Lorentz

Mirando las Figuras 3 y 4 se puede notar que la distancia vertical mide 3 metros igualmente para Juan y Miguel. Esta distancia no cambia porque la velocidad de la nave es en dirección transversal a la trayectoria del rayo de luz. Las dimensiones del triángulo aparecen en metros. Al mismo tiempo que el rayo de luz viaja 5 metros la aeronave de Juan recorre 4 metros. La velocidad de la nave es entonces 0.8 la velocidad de la luz

La Figura 5 es el mapa que simultáneamente denota la historia de cómo se desarrolla el experimento en los 2 sistemas de coordenadas. El cateto vertical representa la trayectoria del rayo de luz que es objeto del experimento. Este es

el panorama que observa Juan. A la derecha se mira el panorama que ve Miguel y este consiste de la hipotenusa y el cateto horizontal. La hipotenusa marca la trayectoria del rayo de luz que es el objeto del experimento y la dirección se extiende diagonalmente desde el punto que marco la nave en el laboratorio (al **tiempo "cero" del experimento**) **hacia la posición del espejo en el laboratorio**. El cateto horizontal representa la trayectoria de la nave y la historia de cómo se mueve en el espacio simultáneamente con el rayo de luz del experimento.

Incorporación de los postulados de Einstein

Es importante notar que los postulados de Einstein se han integrado en el experimento y que las Figuras 1-5 toman en cuenta estos postulados:

- En el sistema de coordenadas en la nave, Juan observa al rayo de luz ir y venir de manera independiente al movimiento de la nave. En otras palabras, el rayo de luz va y viene en la dirección vertical. Esto es de conformidad con el principio de que la velocidad de la luz no depende del movimiento del observador
- En el sistema de Miguel también se cumplen los postulados. Por ejemplo, en el panorama de Miguel la luz tiene la misma velocidad y el movimiento de la fuente de luz (el movimiento de la aeronave) no afecta la velocidad de la luz

La Física Clásica (sin los postulados de Einstein) no hubiera permitido que hubieran 2 distintos panoramas. El panorama de Miguel sería el mismo al de Juan. En este panorama la luz se mueve a través del éter que está fijo con respecto al laboratorio. Aquí Juan se mueve en su aeronave con respecto al éter y la velocidad de la luz que mide Juan es diferente a la velocidad que observa Miguel. Aquí se deben usar las transformaciones de Galileo adonde el tiempo es absoluto y adonde se toma en cuenta la velocidad de Juan con respecto al éter. Aquí también se usa la simple Geometría Euclidiana en donde el espacio se conforma a las normas de Euclides y de Pitágoras.

En cambio, la incorporación de los postulados de Einstein permite el uso de 2 panoramas. Estos 2 panoramas se combinan de la manera indicada en Figura 5 y así se construye el famoso Triángulo de Lorentz que es utilizado en la Física Mecánica de Einstein. Lo asombroso que ocurre al integrar los 2 panoramas es que al cruzar del panorama de Juan al de Miguel se observa que (Referencia a Figura 5):

- El espacio y tiempo en el mundo de Miguel incurren una distorsión de magnitudes proporcionales a la velocidad de Juan. Comparando Figuras 5 y 6 se puede notar este hecho. Dicha distorsión ocurre en ambas direcciones

- La distorsión de la medida de tiempo consiste en que el tiempo se estira en la dirección de Miguel. Cambiando de dirección también se puede decir que el tiempo se encoge en la dirección de Juan
- La distorsión espacial consiste que en la dirección de la trayectoria de la nave las distancias se encogen cuando uno atraviesa el portal y va al mundo de Juan. El reverso pasa cuando uno atraviesa el portal en dirección opuesta.
- Mientras que en el mundo de Juan en donde el experimento se desarrolla la geometría es simple (Euclidiana), al atravesar el portal uno entra al mundo de Miguel en donde se estira el tiempo y el espacio. Esto se puede observar al ver el Triángulo de Lorentz (Figura 5 y 6). Dicho triángulo indica que la trayectoria del rayo que fue vertical en la nave, en el mundo de Miguel se ha estirado y el rayo ahora se manifiesta como la hipotenusa del triángulo. La distorsión de la distancia **(Δx)** no se puede ver porque en el diagrama de Juan **(Δx) = 0**. Sin embargo, la reducción de distancia la vamos a demostrar más tarde. Lo que se puede decir es que al estirarse las distancias en la dirección "x" -mientras las dimensiones en los otros ejes no cambian-, esto nos dice que estamos en un mundo en donde la geometría no es Euclidiana. Aquí el teorema de Pitágoras no se cumple y hay que usar el Intervalo de Lorentz para medir la distancia de tiempo y espacio. Las normas que aplican al Intervalo de Lorentz son entonces equivalentes al Teorema de Pitágoras. ¡Bienvenidos a la Geometría de Lorentz!

La disparidad y sencillez de este tema

La ironía del nuevo capítulo que abrió Albert Einstein en el mundo de la Física es que, por una parte, abrió el portal a la Geometría de Lorentz. Por otra parte, aplicó el Teorema de Pitágoras al Triángulo de Lorentz que en parte existe en el mundo de Juan y por otra parte corresponde al mundo de Miguel en donde el Teorema no se cumple. De acuerdo con el Triángulo en Figura 5 la hipotenusa es

$$(c.\Delta t')^2 + (v.\Delta t)^2 = (c.\Delta t)^2$$

Se puede también decir que

$$(c.\Delta t')^2 = (c.\Delta t)^2 - (v.\Delta t)^2 = (\Delta t)^2 \cdot (c^2 - v^2)$$

(Fórmula 1)

De aquí se deduce que

$$(\Delta t) = \Delta t' / [1 - (v/c)^2]^{1/2}$$

(Fórmula 2)

También se dice que

$$(\Delta t) = \gamma(\Delta t') \text{ donde } \gamma = 1 / [1 - (v/c)^2]^{1/2}$$

(Fórmula 3)

No se ha probado, pero distancias $(\Delta x')$ encogen

$$(\Delta x') = (\Delta x) [1 - (v/c)^2]^{1/2}$$

(Fórmula 4)

$$[\text{Intervalo de Lorentz}]^2 = [c \times (\text{Separación Temporal})]^2 - [\text{Separación Espacial}]^2$$

En símbolos matemáticos la ecuación es:

$$(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2$$

(Fórmula 5)

El Intervalo de Lorentz se deriva aplicando el Teorema de Pitágoras al Triángulo de Lorentz.

Mas Experimentos

Las conclusiones a las que llegamos desafían la lógica. Vamos a repetir el experimento, pero esta vez vamos a incrementar la velocidad de la aeronave a 0.9578 la velocidad de la luz. El triángulo que representa este experimento se puede ver en la Figura 6. Seguimos incrementando la velocidad y los resultados son lo mismo. La dimensión (Δx) y la hipotenusa crecen mientras el cateto vertical que representa (Δt) mantiene la misma dimensión. Esto se puede ver en la Tabla 1. Los números que aparecen en Tabla 1 fueron calculados usando Fórmulas 1 – 5. Las columnas 5 y 4 demuestran cómo el triángulo crece a medida que la v (velocidad) aumenta. El cateto vertical permanece fijo (columna 3). También se ve que el intervalo de Lorentz es invariable a pesar que las coordenadas (Δx) y (Δt) cambian de valor.

Tabla 1. Se ve cómo el triángulo se estira en la dirección horizontal mientras la altura se mantiene fija

1	2	3	4	5	Intervalo de Lorentz = Δs	7	8
v	gamma (γ)	c ($\Delta t'$)	(Δx)	c (Δt)		(Δt)	($\Delta t'$)
0.8	1.66666667	3	4	5	3	16.6782	10.0069229
0.93632918	2.84800125	3	8	8.544003745	3	28.49973	10.0069229
0.95782629	3.48010217	3	10	10.44030651	3	34.82511	10.0069229
0.9701425	4.12310563	3	12	12.36931688	3	41.2596	10.0069229
0.98287219	5.42627353	3	16	16.2788206	3	54.3003	10.0069229
0.98893635	6.74124947	3	20	20.22374842	3	67.45916	10.0069229

El concepto de simultaneidad

El hecho de que usamos ondas esféricas electromagnéticas (luz) para medir tiempo y lugar resulta en un lazo de unión inextricable entre tiempo y espacio. Es porque la onda medidora consiste de círculos concéntricos que simultáneamente -a medida que avanza- marcan el eje del tiempo y el eje de la posición espacial. Quiere decir que cada punto en el espacio lleva su propia marca de tiempo. Estas 2 marcas (porque ocurren simultáneamente) son inseparables y debemos hablar de posición y tiempo para cada punto en el espacio. Esta propiedad asociativa es esencial y se debe mantener en los experimentos. Esto se llama la *simultaneidad de la relatividad*.

Tiempo propio

El mero hecho de estar ubicado en el punto cero en donde toma lugar el experimento quiere decir que **(Δx) = 0**. Las medidas de tiempo que hace dicho observador son medidas propias. El observador que hace medidas propias es el observador primordial del experimento. Para el observador primordial el intervalo de Lorentz consiste únicamente en medida de tiempo utilizando el mismo reloj. Para cualquier otro observador que viaja con respecto al sitio del experimento, el intervalo de Lorentz consiste en 2 cantidades, **(Δt)** y **(Δx)**. Cada observador tiene su propia medida y vimos que estas medidas cambian de observador a observador dependiendo en la velocidad. El tiempo propio medido por el observador primordial es el Intervalo de Lorentz como se puede ver en Tabla 1. En el experimento que mencionamos anteriormente, Juan es al observador primordial. La medida de tiempo que hizo Juan (3 unidades de tiempo) constituyen el tiempo propio. Toda otra medida hecha por observadores remotos lleva la distorsión causada por la velocidad. Estas medidas pueden ser erróneas y solamente el

observador primordial quien permanece fijo con respecto al experimento obtiene medidas que son representativas de la realidad. Sin embargo, no hay que preocuparse: el Intervalo de Lorentz que puede ser calculado por cada observador proporciona el medio para que cada observador calcule el propio tiempo.

Distorsión del tiempo

El tiempo transcurre más despacio para Juan que para Miguel y el espacio se encoge también. Esto lo vamos a demostrar más adelante. Cuánto es la reducción temporal, depende en la velocidad como se puede observar en Tabla 1. El factor que expresa la reducción se llama **" γ "** (gamma) y se calcula de acuerdo con Formula 3. De acuerdo con la Tabla 1, Juan puede viajar a 0.9889 la velocidad de la luz a otro sistema solar. De acuerdo con Tabla 1, el viaje de ida y vuelta tomaría 20.22 años (hay que cambiar nano segundos a años luz) y este intervalo de tiempo se leería en el reloj de Juan. Por otra parte, el reloj de Miguel, quien permanece en el planeta Tierra, marca 67.46 años al regresar Juan. Juan se asombra porque ve a Miguel ya anciano y no puede entender por qué Miguel ha envejecido 67.46 años. ¿Cómo se explica esta disparidad?

Einstein revolucionó el mundo de la Física al presentar su nueva teoría. La imposición del aspecto invariable de la velocidad de la luz fue un mandato de la misma naturaleza. Einstein lo aceptó y la consecuencia que resultó fue la distorsión de las medidas de tiempo y espacio. El método de medir tiempo y distancia exige que tiempo y espacio sean inseparables y de aquí nace el concepto de simultaneidad. La idea de que hay tiempo propio y de que la medida del Intervalo de Lorentz representa el tiempo propio que es la realidad actual, tiene implicaciones de que hay que corregir las leyes de la Física para incorporar el tiempo propio. Las leyes de Isaac Newton tienen que ser modificadas. La nueva forma ahora envuelve el uso del tiempo propio y de allí se desarrolla una nueva definición de Momento y Energía. Estas fórmulas llegan a explicar la equivalencia de energía y materia y son de gran utilidad en procesos de reacciones nucleares y en la Física de Alta Energía (en el laboratorio de Hadron Particle Collider). ...Menciono todo esto para despertar el interés de los lectores en este campo de la Física.

El mundo de la Física es como un mar inmenso y hemos tocado solamente la superficie. En el horizonte inmediato veo que tenemos que aterrizar en el campo de las transformaciones de Lorentz. Un pequeño vuelo sobre la Cinemática va a seguir. Tenemos que hablar de velocidad constante y de qué pasa cuando la velocidad cambia. Esto nos va a llevar al concepto de aceleración. Aquí vamos a hablar de curvatura del espacio-tiempo y vamos a considerar la fuerza de gravedad. Son materias inseparables y como se dice, quiero hacer salivar a los lectores.

Referencias

-Some pictures were taken from Edwin F. Taylor and John Archibald Wheeler *Spacetime Physics*. Second Edition. W. H. Freeman. New York 1992

-Wolfgang K. H. Panofsky and Melba Phillips *Classical Electricity and Magnetism*. 2nd Edition. Addison Wesley London, England. 1962 ■