¿Qué otro aspecto fundamental influye en el hecho de que esta parte de la Física sea conocida como Física Moderna? El desarrollo de la ciencia está muy ligado al desarrollo y necesidades de la sociedad y también de las posibilidades de la técnica existente en un momento dado de comprobar y utilizar los resultados científicos. Un motor impulsor de la ciencia es el conjunto de necesidades y problemas que tiene la sociedad en cuestión.

Así, es conocido que la Mecánica se desarrolló a partir de la necesidad del cálculo del movimiento de los proyectiles y de los planetas. Por ello podemos decir que los problemas que atacan la Cuántica y la Relatividad son problemas de la sociedad del siglo XX, ya que tienen que ver con el mundo microscópico, átomos, partículas elementales, etc., y el estudio de procesos que se desarrollan a altas velocidades cercanas a la velocidad de la luz en el vacío. Estos problemas y sus soluciones no podían estar frente a un científico del siglo XV o XVI ya que no tenían la posibilidad real de estudiarlos ni de utilizar sus resultados.

Vamos a comenzar nuestro estudio sobre este tema de Física Moderna con el tema de la Relatividad.

A. TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

A.1. INTRODUCCION

Posiblemente, Albert Einstein es el físico más conocido en el mundo. Su teoría de la Relatividad es la que más se asocia con su nombre.

La relatividad incluye dos teorías: La Relatividad Especial y la Relatividad General. La Relatividad Especial trata acerca del movimiento, a velocidad constante, mientras que la Relatividad General incluye el movimiento acelerado y el movimiento en un campo gravitacional. La Relatividad Especial se puede entender utilizando matemáticas no más complicadas que el álgebra; mientras que la Relatividad General requiere matemáticas mucho más complejas. Por esta razón, se presentará sólo el tema de la Relatividad Especial.

Albert Einstein trabajaba como dependiente en la oficina de patentes en Bern, Suiza, cuando publicó tres artículos, en el año 1905. Un artículo acerca del efecto fotoeléctrico le ganó el premio Nobel, en 1921. Un segundo artículo, esta vez acerca del movimiento aleatorio de las partículas, conocido como el Movimiento Browniano, explicaba este fenómeno. El tercer artículo, titulado sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, presentaba la Teoría de la Relatividad y le ganó un lugar destacado en el campo de la Física y el reconocimiento de todos los científicos y el público en general. En el momento en que el artículo se publicó, el tema de la relatividad fue ignorado por algunos físicos y otros se opusieron al mismo. Sin embargo, las pruebas experimentales a las que se han sometido han confirmado sus predicciones. Así, pues, esta se ha aceptado como uno de los fundamentos de la física moderna y ha resuelto, además, muchos de los problemas mayores de la Física. Antes de continuar,

veamos las ideas que se tenían antes de que Einstein publicara su famosa teoría.

La relatividad galileana

Consideremos una bola que se lanza hacia arriba dentro de un avión que viaja a una velocidad constante de +200m/s. Para un pasajero en el avión, la velocidad horizontal de la bola es cero. Sin embargo, una persona que pudiera observar con un telescopio desde la Tierra, vería que la bola se mueve con una velocidad horizontal de +200m/s. Cada una de estas dos personas puede definir un sistema de coordenadas, ejes x y y, y utilizar las leyes de Newton para analizar el movimiento. Cada sistema de coordenadas es un marco de referencia. La única diferencia en los dos marcos es la velocidad horizontal de la bola. Para el pasajero, es cero; para la persona que observa desde la tierra, es +200m/s. El marco de referencia del pasajero se mueve a una velocidad de +200m/s con respecto al marco de referencia que se encuentra en la Tierra. Se dice que los dos marcos son equivalentes, ya que las leyes de Newton se pueden utilizar para analizar el movimiento en cualquiera de ellos, aunque inicialmente la bola se encuentra en reposo en uno de los marcos no hay nada especial acerca de ese marco de referencia.

Galileo demostró que en la Tierra prácticamente se cumple la ley de la inercia. Se sabe que de acuerdo con esta ley la acción de las fuerzas sobre un cuerpo se manifiesta en el cambio en la velocidad, en tanto que para mantener el movimiento a una velocidad de valor y dirección uniforme no se necesita la presencia de fuerzas.

A este marco de referencia, en el que se cumple la ley de la inercia, se le denominó inercial, es decir

un marco inercial de referencia es un marco de referencia en el cual un cuerpo libre de fuerzas, e inicialmente en reposo, permanecerá en reposo.

Ahora imaginemos que un avión parte del reposo y acelera por una pista. Un pasajero observará que una bola que está colocada en el piso del avión se mueve hacia atrás. El pasajero notará que la bola acelera, aún cuando no hay ninguna fuerza que actúe sobre ella en la dirección de su movimiento. En una situación como ésta, se diría que las leyes de Newton se han violado. Sin embargo, para una persona que está en la Tierra, la bola ha permanecido estacionaria. Por lo tanto, las leyes de Newton continúan válidas para ella. Los dos marcos de referencia no son equivalentes, ya que uno de ellos está acelerado.

El hecho de que las leyes de Newton, las leyes de la mecánica, son válidas en cualquier marco de referencia que no está acelerado, se conoce como la relatividad galileana. La relatividad galileana se puede aplicar, también, aún cuando la bola tenga una velocidad horizontal en ambos marcos. Imaginémonos de nuevo que el avión viaja a una velocidad constante de +200m/s, pero, esta vez la bola se lanza hacia el frente. Si para el pasajero en el avión la bola tiene una velocidad de +10m/s, para la persona en la Tierra tiene una velocidad de (+220m/s) + (10 m/s) = +230m/s. Esto es, la velocidad de la bola es la suma de la velocidad relativa de los marcos de referencia más la velocidad de la bola en el marco en movimiento.

El electromagnetismo

Einstein hizo la siguiente pregunta: ¿Cómo se vería una onda de luz si uno se estuviera moviendo al lado de ella a la rapidez de la luz ? Sus campos eléctricos serían estacionarios. Pero, los campos eléctricos estacionarios no pueden inducir campos magnéticos.

Por eso, Einstein razonó; las leyes del electromagnetismo no pueden ser válidas en este marco de referencia. Esto es, la relatividad galileana no se puede aplicar en un marco de referencia que se mueve a la rapidez de la luz con respecto a otro marco.

Había también otro problema con el electromagnetismo. Los físicos del siglo XIX, pensando que la mecánica era el área más importante de la Física, trataban de construir modelos mecánicos de todo, incluyendo de los ondas electromagnéticas. El sonido es una onda de presión que viaja a través de un medio. ¿ Cuál es el medio por el cual se propaga la luz en el espacio ? Esto se resolvió inventando un medio, "el éter", sobre el cual los campos eléctricos y magnéticos oscilaban. El éter estaba en reposo, era el marco de referencia preferido y todos los objetos se movían a través de él. Esto le daba al éter algunas propiedades asombrosas. Por ejemplo, era sumamente rígido; sin embargo, la Tierra podía moverse por él sin que le ofreciera resistencia.

El físico norteamericano Albert Michelson pensó una manera de medir el movimiento de la Tierra por el éter. En 1887, diseñó un experimento en el cual un haz de luz era dividido en dos por medio de un espejo semiplateado. Uno de los rayos de luz viajaba paralelo a la dirección del movimiento de la Tierra, mientras que el otro viajaba perpendicular al primero. Los dos rayos de luz se reflejaban hacia el espejo, recombinándose en un solo rayo nuevamente ver figura 1. Si la luz tardaba el mismo tiempo en recorrer las dos trayectorias, los dos rayos tendrían que interferir constructivamente. Si uno de los rayos tardaba un tiempo igual al de media oscilación de la onda de luz, ocurriría una interferencia destructiva.

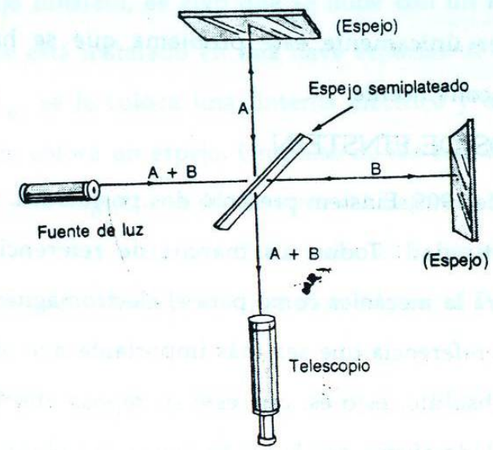

Figura 1. Aparato empleado por Michelson

Michelson asumió que el movimiento de la luz por el éter era similar al de una persona que nada en un río. El tiempo en nadar una distancia determinada, depende de si el nadador va a favor o en contra de la corriente o perpendicular a esta. De igual manera, el tiempo que le toma a la luz viajar desde el espejo semiplateado hasta el espejo reflector y de vuelta al primero, depende de si la luz viaja paralela o perpendicular al movimiento del éter.

Se supone que la Tierra y el instrumento viajen a través del éter. El instrumento se puede hacer girar por 90° en relación con el movimiento de la Tierra por el éter. Se debe observar que la interferencia cambia de destructiva a constructiva a medida que el instrumento gira. Sin embargo, Michelson encontró que no hubo cambio alguno. Michelson se unió más tarde al científico norteamericano E. W. Morley y repitió el experimento, utilizando un instrumento mucho más sensible. Sin embargo, el resultado fue el mismo. No se pudo detectar el movimiento de la Tierra por el éter. Se trató de proponer varias explicaciones para este resultado tan desconcertante. Sin embargo, todas ellas se

crearon para resolver únicamente este problema que se había presentado. Ninguna de ellas era convincente.

A. 2. POSTULADOS DE EINSTEIN

En su artículo de 1905, Einstein presentó dos postulados. A uno le llamó el Principio de la Relatividad: Todos los marcos de referencia inerciales son equivalentes, tanto para la mecánica como para el electromagnetismo. Esto es, no hay ningún marco de referencia que sea más importante que otro. No existe un marco de referencia absoluto; esto es, que esté en reposo absoluto. No existe el éter. El segundo postulado afirma que la luz se mueve por el espacio, siempre a la misma velocidad ($c = 3x10^8$ m/s). Principio de la constancia de la velocidad de la luz: La rapidez de la luz es independiente del movimiento de la fuente de luz y del movimiento del observador. La luz que emite el farol de un avión se mueve a $3x10^8$ m/s con respecto al avión y a $3x10^8$ m/s con respecto a un observador que está en reposo sobre la Tierra. Las velocidades no se suman de la misma manera a que estamos acostumbrados.

A. 3. CONSECUENCIAS DE LOS POSTULADOS

Veamos ahora cómo cambian los conceptos de tiempo, longitud y cómo se relacionan la masa y la energía, al aplicar la nueva teoría.

A.3.1. Dilatación del tiempo

Einstein reconoció que estos postulados parecían contradecirse; que daban la impresión de no tener sentido al considerarlos a la vez. El problema, escribió Einstein, consiste en que la medición de la posición y del tiempo debe considerarse cuidadosamente.

El tiempo, dijo Einstein, es algo que se mide con un reloj. Consideremos un reloj especial que está instalado en una nave espacial. A un extremo de una vara, de longitud L_o se le coloca una linterna eléctrica y un detector. Al otro extremo de la vara se coloca un espejo. Un pulso de luz sale desde la lámpara, se refleja en el espejo y se registra en el detector. El detector hace que la linterna accione y produzca otro pulso de luz. Cada pulso es como el tic-tac de un reloj. Este no es un reloj convencional, pero sirve para ilustrar el Principio.

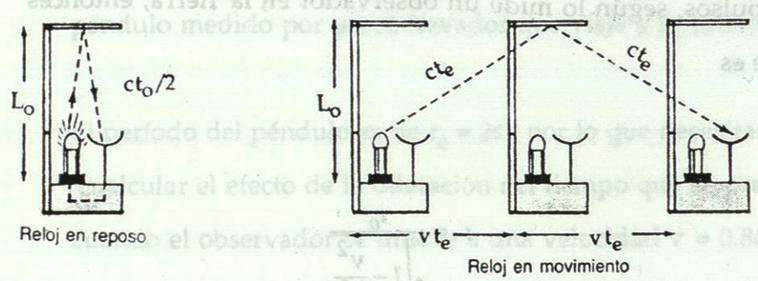

Figura 2. Equipo experimental para medir el tiempo por medio de la luz.

Un astronauta en reposo en relación con el reloj, encontraría que el tiempo entre dos pulsos t_o es igual a la distancia que viaja $2L_o$ dividida por la rapidez de la luz c. Esto es, $t_o = 2L_o/c$. En otras palabras, $ct_o = 2L_o$.

Consideremos lo que un observador en la Tierra vería, si la nave espacial se mueve a una velocidad v en una dirección perpendicular a la vara. La linterna enviaría un pulso, pero en el tiempo en que el pulso llega al espejo t_e, el espejo se habrá movido en una distancia igual a vt_e. Como se ilustra en la figura 2, la trayectoria del pulso de luz es la hipotenusa de un triángulo recto. La altura es L_o