

SESIÓN 14

TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

I. CONTENIDOS:

1. Experimento de Michelson-Morley.
2. Dilatación de la longitud.
3. Contracción de la longitud.
4. Transformación de Lorentz.
5. Equivalencia masa-energía.

II. OBJETIVOS:

Al término de la Sesión, el alumno:

- Analizará los postulados de la teoría especial de la relatividad.
- Analizará el experimento Michelson-Morley.
- Explicará los planteamientos de espacio-tiempo, dilatación del tiempo, aumento de la masa con la velocidad y contracción de la longitud.

III. PROBLEMATIZACIÓN:

Comenta las preguntas con tu Asesor y selecciona las ideas más significativas.

- ¿Pasa el tiempo igual en una fiesta que en una clase?
- ¿Cómo medirías el tiempo fuera de la tierra?
- ¿Cuánto pesa una bomba atómica?
- ¿Qué le pasaría a una nave espacial si viajara a la velocidad de la luz?

IV. TEXTO INFORMATIVO-FORMATIVO:

1.1. Experimento de Michelson-Morley

El éter era, para los científicos del siglo XIX, una sustancia que podía penetrar todo y nada podía influir sobre él, era el medio en el que se propagaban las ondas electromagnéticas. Estaban convencidos de la existencia del éter; para comprobar su existencia se ideó un experimento con luz, la velocidad de la luz debería ser diferente cuando viajaba en el sentido de movimiento del éter que cuando viajaba en dirección opuesta.

El experimento de Michelson-Morley ha sido catalogado como uno de los más ambiciosos proyectos de la óptica. Pretendía detectar el movimiento de la tierra en el éter. El interferómetro de Michelson-Morley es un artefacto que emplea la interferencia de dos haces de luz que tienen trayectorias perpendiculares. La interferencia de los haces de luz es semejante a la estudiada en el experimento de Thomas Young. Si la luz que se emplea en el interferómetro es monocromática, se observa un patrón de círculos concéntricos siempre y cuando la luz viaje a la misma velocidad en cada trayectoria. Al girar el interferómetro en todas las direcciones posibles, utilizando una cama de mercurio, el patrón de interferencia debería detectar las diferentes velocidades de la luz a causa del movimiento de la tierra. Sin embargo, nunca se pudo ver un solo patrón de interferencia. Las conclusiones fueron que: o no existía el éter, o la tierra lo arrastra, o los cuerpos se contraen en la dirección de su movimiento, o la velocidad de la luz es constante con respecto a la fuente que la emite.

2.1. Teoría especial de la relatividad

Albert Einstein nació en la ciudad de Ulm, Alemania en 1879. Estudió física en el Instituto Tecnológico de Zurich y se graduó en 1900, como no fue un estudiante brillante no pudo conseguir

un trabajo como físico. Se empleó como revisor de las solicitudes de patentes en Berna Suiza. En sus ratos libres continuaba con sus estudios de física, le interesaba un problema de la época: si las ecuaciones de la física son invariantes, no cambian de un sistema de referencia a otro, ¿porqué las ecuaciones de la teoría electromagnética de Maxwell no son invariantes?; sin embargo, había un trabajo de un matemático holandés llamado Hendrick Lorentz que mediante una transformación matemática podía hacer que las ecuaciones de Maxwell quedaran invariantes. Pero tenía un problema, había que cambiar el tiempo cuando se trasladaba a otro sistema de referencia. El tiempo tenía que ser medido de forma diferente en cada sistema de referencia.

En el año de 1905 Einstein, publicó un trabajo sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. Entre otras cosas establece que las ecuaciones de Maxwell deben tener la misma forma en cualquier sistema de referencia; para ello debe tener validez la transformación de Lorentz. Esto permitía considerar que la medición del tiempo entre dos eventos depende del movimiento del observador. Que la velocidad de la luz es la única medida invariante en los diferentes sistemas de referencia, que el éter no existe.

El decir que la velocidad de la luz es la única cantidad invariante del universo, significa que el transcurrir del tiempo es diferente en cada sistema de referencia, que las longitudes, masas y velocidades de los cuerpos son diferentes según la velocidad del observador. La teoría de la relatividad había nacido.

La física clásica establece que para localizar un punto en el espacio es necesario conocer tres números que son las coordenadas de la posición del punto en el espacio. Por otra parte, el tiempo es posible medirlo con un solo número. En la teoría de la relatividad, el espacio y el tiempo se unen para formar un continuo espacio-tiempo de cuatro dimensiones, tetradimensional.

3.1. Transformación de Lorentz

La transformación de Hendrik Antoon Lorentz, físico holandés; permite describir cómo se vinculan las mediciones de un fenómeno físico por dos observadores en marcos de referencia diferentes, preservando constante la velocidad de la luz. La transformación de Lorentz permitió a Einstein comenzar su grandiosa Teoría de la Relatividad.

Desde que el experimento de Michelson –Morley no pudo demostrar el arrastre del éter por el movimiento de la Tierra, se buscaron explicaciones. Una de ellas fue que los objetos que se mueven en contra del éter deben empujarlo y por ello resultarían comprimidos en la dirección del movimiento. Como el interferómetro de Michelson se movía, al igual que cualquier otro objeto en el éter, entonces sufriría una compresión tal que se anularía la interferencia de la luz que tanto se deseaba para comprobar la existencia del mismo éter.

La propuesta de Lorentz era que como la materia estaba formada por átomos y los átomos están formados por partículas con cargas eléctricas, se generan campos eléctricos y magnéticos. El éter debe tener también campos electromagnéticos, entonces cuando un cuerpo se mueve se presenta una interferencia entre los campos electromagnéticos del éter y de los cuerpos. El efecto es que se deben aproximar más los átomos del cuerpo en la dirección del movimiento. Entre mayor sea la rapidez del cuerpo mayor es la compresión del cuerpo. La fórmula que desarrolló, utilizando la teoría electromagnética es:

$$l = l_o \sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}$$

4.1. Contracción del tiempo y de la longitud

Cuando un vehículo se mueve, a velocidad constante, como un sistema inercial y su rapidez es muy grande; el tiempo transcurre de manera diferente. Para un observador en la tierra, el tiempo que transcurre en un vehículo espacial que se desplaza a una velocidad cercana a la de la luz es menor de acuerdo a un factor dado por la fórmula de Lorentz:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}$$

Donde v es la velocidad del vehículo espacial, y C es la rapidez de la luz en el vacío.

Ejemplo 1 ¿Qué tiempo se registrará en una nave espacial que viaja a una velocidad de $0.98 C$, si en la tierra pasaron 4 años desde la partida de la nave hasta su regreso?

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}} = \sqrt{1 - \frac{(0.98C)^2}{C^2}} = \sqrt{1 - \frac{0.9604C^2}{C^2}} = \sqrt{1 - 0.9604} = \sqrt{0.0396} = 0.19899$$

Como en la tierra han transcurrido cuatro años:

$$(4)(0.19899) = 0.79596 \text{ años} = 9 \text{ meses y } 21 \text{ días.}$$

Mientras que en la tierra han transcurrido cuatro años, los tripulantes de la nave sólo han envejecido el tiempo correspondiente a 9 meses y 21 días.

La longitud de los cuerpos que se mueven a velocidades relativistas es percibida menor que cuando los mismos cuerpos están en reposo. Esto es una deformación óptica, se debe al tiempo desigual que tarda la luz en viajar desde las diferentes partes del cuerpo. Si el cuerpo se mueve a velocidad constante, la contracción de la longitud está determinada por el mismo factor:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}$$

Ejemplo 2 Un cuerpo en reposo tiene una longitud de 3 metros, si el cuerpo se mueve con una rapidez de $0.99 C$, ¿Qué longitud se percibirá, desde un marco de referencia en reposo, para el cuerpo?

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}} = \sqrt{1 - \frac{(0.99C)^2}{C^2}} = \sqrt{1 - 0.9801} = \sqrt{0.0199} = 0.14106$$

Multiplicando la longitud por el factor: $(3)(0.14106) = 0.4232 m$

Entonces el objeto se percibiría con una longitud de 42 cm. y 3.2 mm.

Los fenómenos que ocurren cuando un móvil se desplaza a una velocidad cercana a la de la luz, para un observador externo, son: se percibe un transcurrir del tiempo más lento, se percibe una contracción de la longitud en la dirección del movimiento, se percibe un incremento de la masa. Entre más se aproxime a la velocidad de la luz, la velocidad del móvil, más lento transcurre el tiempo, más se contrae la longitud del vehículo en la dirección del movimiento y más se incrementa la masa del móvil. Por ello hay un límite para la velocidad que puede alcanzar un vehículo y éste es la velocidad de la luz.

5.1. Equivalencia masa-energía

La masa de los núcleos de cualquier átomo no corresponde a la masa de los neutrones y protones que los constituyen. Por ejemplo, el carbono 12, es el isótopo de carbono más común y tiene en su núcleo 6 protones y 6 neutrones; si se mide con precisión la masa de los neutrones y protones por separado, no hay correspondencia con la masa del núcleo en donde están las mismas partículas. La masa de cualquier núcleo atómico es ligeramente menor a la masa que corresponde a las partículas por separado.

Esa aparente falta de masa es la energía que mantiene unido al núcleo atómico. La fórmula de la transformación de masa en energía o de energía en masa es:

$$E = mC^2$$

La energía asociada a una determinada masa es igual al producto de la masa por el cuadrado de la rapidez de la luz en el vacío.

Ejemplo 3 Si cada kWh que se consume en una fábrica tiene un costo de \$ 2.50 pesos, y recibieron un cobro por \$ 200 000 pesos, ¿cuánta masa es el equivalente a la energía que consumieron?

Para resolver el problema debemos calcular los Joules de energía eléctrica que consumió la fábrica.

Dividimos 200 000 entre 2.5 para calcular los kWh que se consumieron:

$$\frac{200000}{2.5} = 80000$$

Después calculamos los joules multiplicando por 3600000, esto porque cada kWh equivale a 3600000 Joules.

$$(80000)(3600000) = 288000000000$$

Finalmente se despeja de la fórmula, la masa y se sustituyen los datos:

$$m = \frac{E}{C^2} = \frac{288000000000}{(299792458)^2} = 3.204 \times 10^{-6} \text{ kg.}$$

El resultado significa que en tres punto dos miligramos de materia hay concentrada la energía que se consumió.

Actualmente no es posible hacer estas transformaciones; los problemas por el abasto de energéticos desaparecerían si se pudiera lograr. De manera parcial, en un bajo porcentaje, se transforma la masa de los combustibles de los reactores nucleares en energía que se aprovecha para el suministro de electricidad en las grandes ciudades.