

FÍSICA RELATIVISTA

Introducción

Dos grandes revoluciones han tenido lugar en la Física a comienzos del siglo XX: la teoría de la relatividad, y la Física Cuántica. Tanto la relatividad como la Física cuántica representan generalizaciones de la Física clásica.

- La relatividad extiende el campo de aplicación de la Física a las regiones de las altas velocidades; la Física cuántica la extiende a las regiones de dimensiones pequeñas, atómicas.

- La relatividad se caracteriza por una constante universal, la velocidad de la luz, c ; la Física cuántica por otra constante universal h , llamada constante de Planck.

- La relatividad rompe con los conceptos clásicos de espacio, tiempo, masa y energía. La Física cuántica rompe también con otros conceptos fundamentales en el marco de la Física clásica, como son: la continuidad de la energía, el determinismo, la distinción clara entre ondas y partículas, la trayectoria, etc.

Fueron muchos los caminos que pusieron de manifiesto la insuficiencia de la Física clásica. La necesidad de la Física cuántica se manifestará por las contradicciones sistemáticas de las leyes clásicas en la explicación de fenómenos como:

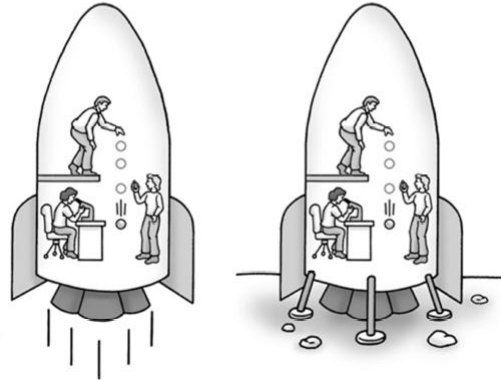
- La radiación del cuerpo negro.
- El efecto fotoeléctrico.
- El efecto Compton.
- Los espectros de emisión y absorción de la radiación electromagnética por los átomos.
- El calor específico de los sólidos.

Un grupo de científicos como Schrödinger, Heisenberg, Dirac, ... completó la revolución iniciada por Planck, De Broglie, Bohr..., con lo que hoy conocemos como Mecánica cuántica.

TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL

SISTEMA DE REFERENCIA INERCIAL

Un sistema de referencia es inercial si está en reposo o se mueve con movimiento rectilíneo y uniforme (MRU)



POSTULADOS DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL

PRIMER POSTULADO (Principio de Equivalencia)

Las leyes físicas son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales (no acelerados) y no podemos distinguir entre dos sistemas de referencia inerciales.

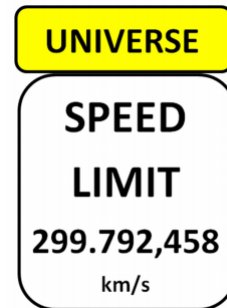
No existe, por tanto, ningún sistema de referencia inercial privilegiado, que se pueda considerar absoluto.

SEGUNDO POSTULADO

La velocidad de la luz en el vacío, c , es independiente del movimiento relativo de la fuente luminosa y de los observadores inerciales.

La velocidad de la luz “ c ” es una constante universal; en el vacío tiene el mismo valor para todos los observadores inerciales.

La velocidad de la luz en el vacío $c = 300\,000$ km/s es una constante, y representa la velocidad máxima teórica, que no se puede superar.



Estos postulados chocan con las ideas que tenemos respecto al concepto de velocidad relativa.

Así, si dos vehículos que se mueven con cierta velocidad, aproximándose uno al otro, miden la velocidad con se propaga un rayo de luz emitido por uno de ellos en dirección al otro, obtendrán un valor constante independientemente de la velocidad con que se desplacen, lo cual contradice el principio de relatividad de Galileo.

No existe una velocidad infinita para la transmisión de la información entre sistemas de referencia inerciales, con lo que se niega el fenómeno de la simultaneidad de acontecimientos para diferentes observadores.

El tiempo deja de ser un parámetro absoluto, que transcurre independientemente de los observadores, y se convierte en un parámetro propio de cada observador.

El espacio y el tiempo dejan de ser sistemas de referencia independientes y se engloban en una entidad llamada espacio-tiempo, propia de cada observador.

La negación de la simultaneidad supone que cada observador dispone de un medidor temporal, estacionario con él mismo, viajando con él y en el que se inscriben los sucesos según se vayan produciendo.

Las observaciones de dos observadores inerciales deben poder correlacionarse, y esto se consigue con las ecuaciones de transformación de Lorentz, mediante el Factor de Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Las modificaciones que la teoría de la relatividad introduce en las leyes físicas son numerosas, aunque insignificantes en la vida práctica.

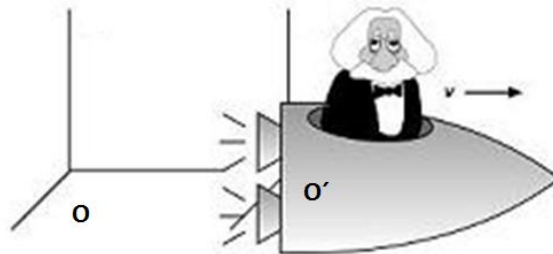
En efecto, las expresiones obtenidas a partir de la teoría de la relatividad solo deben ser tenidas en cuenta cuando la velocidad con que se mueve un sistema físico alcanza una fracción apreciable de la velocidad de la luz, lo que no ocurre casi nunca, salvo en el campo de las partículas elementales.

A partir de los postulados de Einstein se deducen una serie de transformaciones relativistas de un cuerpo cuando se desplaza con una velocidad cercana a la de la luz, que son:

- La contracción de la longitud.
- La dilatación del tiempo.
- La equivalencia masa – energía.

CONTRACCIÓN DE LA LONGITUD

Consideramos un objeto cuya longitud en reposo es L_0 . El objeto comienza a moverse con una velocidad v , respecto a un observador que consideramos en reposo, O . Un segundo observador, O' , se desplaza con el objeto.



La longitud medida por un observador en reposo, L , es menor que la longitud medida por un observador que se mueve con el objeto, L_0 .

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

L_0 es llamada “Longitud Propia” del objeto y se define como la longitud de dicho objeto medida en el sistema de referencia en el cual el objeto se encuentra en reposo.

CONTRACCIÓN DE LA LONGITUD

L = longitud medida por el observador en reposo.

L_0 = longitud medida por el observador que se mueve con el objeto.

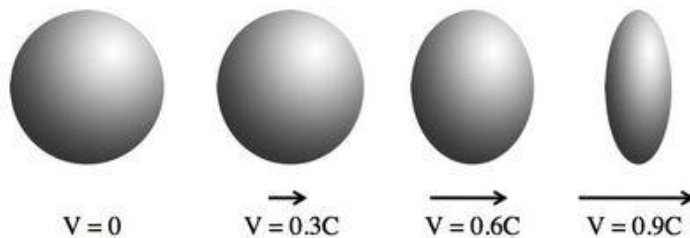
$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

Factor de Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Como $\gamma > 1 \rightarrow L < L_0$

Para un observador en reposo, la longitud de un objeto, medida en la dirección del movimiento, es menor a medida que el objeto aumenta su velocidad.



La contracción solo se produce en la dirección del movimiento.

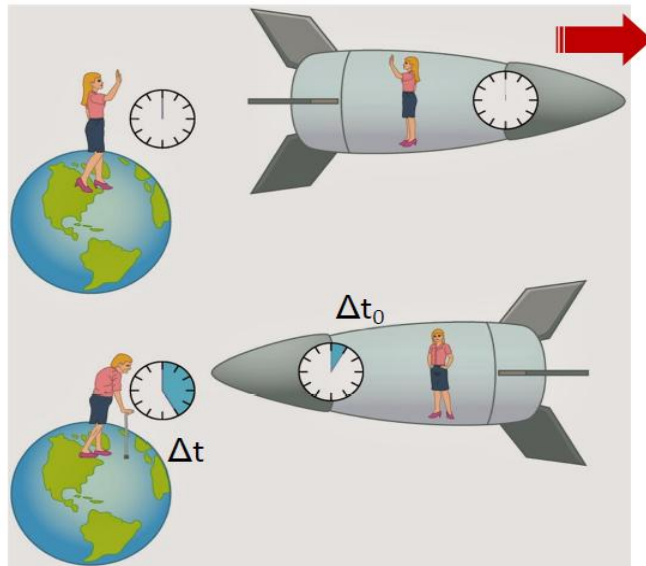
DILATACIÓN DEL TIEMPO

El tiempo transcurrido entre dos sucesos que ocurren en el mismo lugar de un sistema de referencia se denomina “tiempo propio”.

El intervalo de tiempo entre dos sucesos tiene mayor duración cuando dichos sucesos ocurren en un sistema de referencia con movimiento relativo respecto a un observador, Δt , que cuando el observador está en reposo respecto del sistema de referencia, Δt_0

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

Como $\gamma > 1$ se cumple que $\Delta t > \Delta t_0$



Δt = intervalo de tiempo medido en el sistema de referencia en reposo.

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

Δt_0 = tiempo propio, intervalo de tiempo medido en el sistema de referencia en movimiento.

MASA RELATIVISTA

Einstein demostró que la masa de un objeto en movimiento aumenta.

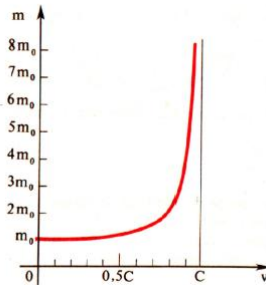
La masa no es invariante, depende de la velocidad según la ecuación:

$$m = \gamma \cdot m_0$$

Donde m_0 es la masa de un objeto en reposo, en el sistema de referencia del observador, y m es la masa cuando se mueve con velocidad v

Consecuencias:

- ✓ Para velocidades ordinarias ($v \ll c$) se cumple que $m \approx m_0$
- ✓ Al aproximarnos a la velocidad de la luz ($v \approx c$) se cumple que $m \rightarrow \infty$



ENERGÍA RELATIVISTA **EQUIVALENCIA MASA - ENERGÍA**

La energía relativista total de un cuerpo es la suma de su energía cinética y su energía en reposo.

$$E = E_c + E_0$$

La energía cinética relativista será

$$E_c = (m - m_0) \cdot c^2$$

Llamamos $E = m \cdot c^2$ a la energía relativista total de un cuerpo. Su valor depende de la velocidad a la que se desplace.

Llamamos $E_o = m_o \cdot c^2$ a la energía en reposo de la partícula.

Ten en cuenta que $m = \gamma \cdot m_o$

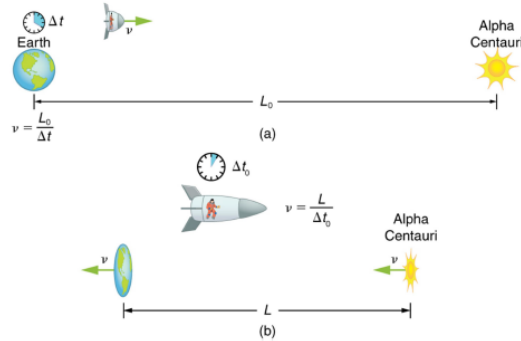
Equivalencia masa – energía

Cuando se produce una pérdida de masa en un sistema como consecuencia de un choque inelástico, se libera una cantidad de energía equivalente

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Actividad Resuelta Una nave espacial, cuya longitud propia es de 20 m, viaja desde la Tierra hacia Alfa Centauro con una velocidad de 0,8c. Determinar:

- La longitud de la nave que medirá un observador en un sistema de referencia en reposo respecto a la nave.
- El tiempo transcurrido en la Tierra cuando en la nave han transcurrido 30 días.



Calculamos, en primer lugar, el valor del factor de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,8 \cdot c}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,8^2}} = \frac{1}{0,6}$$

La longitud de la nave medida por un observador en reposo:

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = \frac{20}{\frac{1}{0,6}} = 12 \text{ m}$$

El tiempo transcurrido en la Tierra:

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0 = \frac{1}{0,6} \cdot 30 = 50 \text{ días}$$

Consecuencias de la Teoría de la Relatividad

- Las leyes del movimiento de Newton son una aproximación de otras leyes reales más generales.
 - La noción de espacio tomada aisladamente, carece de sentido, pues solo tiene realidad el conjunto espacio – tiempo.
 - Ninguna velocidad puede exceder la velocidad de la luz.
 - La energía está dotada de una especie de inercia y es equivalente a la materia.
-
- Las dimensiones de los cuerpos varían con la velocidad que estén animados. Cuando la velocidad del cuerpo alcanza a la de la luz, desaparece la tercera dimensión hasta el punto de aparecer el cuerpo sin espesor.
 - La masa de un cuerpo en movimiento aumenta con la velocidad, hasta hacerse infinita si el cuerpo llega a alcanzar la velocidad de la luz.
 - No existe tiempo general y absoluto, sino tiempo local propio de cada sistema de referencia.