

# RELATIVIDAD

## 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.

## Movimientos y Sistemas de Referencia. Relatividad

A finales del siglo XIX los científicos suponían que podían describirse los fenómenos de la naturaleza mediante tres grandes leyes físicas desarrolladas en los siglos anteriores: la mecánica newtoniana, la teoría cinética y la teoría electromagnética. Con ellas el mundo natural se explicaba perfectamente y aunque quedaban algunos interrogantes, se creía que estos podrían explicarse aplicando las leyes ya conocidas. Sin embargo esas dificultades no eran tan simples como podría parecer.

El fenómeno más obvio que observamos a nuestro alrededor es el movimiento. Un objeto se encuentra en movimiento cuando su posición medida con respecto a un sistema, que se toma como referencia, varía con el tiempo. Por otra parte, si esta posición no cambia con el tiempo, el objeto se encuentra en reposo en relación con el sistema de referencia elegido.

Tanto el movimiento como el reposo son conceptos relativos, esto es, dependen de la condición del objeto con relación al sistema que se utilice como referencia. Una casa se encuentra en reposo relativo con relación con la Tierra, pero está en movimiento relativo con respecto al sol.

Para describir un movimiento, el observador debe definir en primer lugar un sistema de referencia con relación al cual se pueda describir el objeto en movimiento que se estudie.

Para pasar de un sistema de referencia a otro que se mueve respecto al primero con movimiento uniforme (esto es, un sistema inercial) es suficiente tener en cuenta las transformaciones de Galileo. El principio de relatividad de Galileo afirma que las leyes de la dinámica deben ser las mismas en todos aquellos sistemas de referencia que se mueven con velocidad constante unos respecto a otros.

Sin embargo la luz no cumple ese principio, ya que su velocidad de propagación es constante, independientemente del sistema de referencia que utilicemos para medir.

En estos sistemas de referencia que hemos denominado inerciales, se cumple el principio de conservación de la cantidad de movimiento y se encuentra la definición de fuerza, lo que nos permite explicar cada momento el comportamiento del sistema desde el punto de vista dinámico.

Sin embargo la experiencia nos indica que algo está mal. Debemos revisar nuestros postulados de partida, modificando aquellos que sean incorrectos. Eso es lo que hizo Einstein.

## Relatividad Especial

En 1905, Einstein presentó su teoría de la relatividad especial, que enunció en forma de dos postulados. Estos postulados son los siguientes:

1. Principio de Equivalencia: Las leyes de la Física tienen la misma forma en todos los sistemas de referencia inerciales (no acelerados), y no podemos distinguir entre dos sistemas inerciales.
2. La velocidad de la luz “c” es una constante universal; en el vacío tiene el mismo valor para todos los observadores inerciales.

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 que 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 que contradice el principio de relatividad de Galileo.

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 deduce 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 y la equivalencia masa-energía.

### Contracción de la longitud

La longitud de un objeto medida por un observador que se desplaza a una velocidad está relacionada con la longitud de este mismo objeto que mediría un observador en reposo mediante la expresión:

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

*“l es la longitud propia de un 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”*

### Dilatación del tiempo

El tiempo  $\Delta t'$  que tarda en ocurrir un fenómeno, medido en un sistema de referencia que se desplaza a una velocidad está relacionado con el tiempo  $\Delta t$  que tarda en ocurrir el fenómeno, medido en un sistema de referencia que está en reposo. La relación es la siguiente:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

*“ $\Delta t'$  se denomina tiempo propio, y es el tiempo que mide un observador que se mueve junto al reloj”*

## Equivalencia masa-energía

La expresión de la energía cinética de un cuerpo en términos relativistas es la siguiente:

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

La energía total relativista de una partícula se definiría como el primer sumando de la fórmula anterior. Así pues, cuando una partícula está en reposo,  $V=0$ , se obtiene la expresión

$$E = mc^2$$

De esta expresión se deduce la equivalencia entre la masa de un cuerpo y la energía.

## Consecuencias de la Teoría de la Relatividad

1. Las leyes del movimiento de Newton son una aproximación de otras leyes reales mas generales.
2. La noción de espacio tomada aisladamente, carece de sentido, pues solo tiene realidad el conjunto espacio – tiempo.
3. Ninguna velocidad puede exceder la velocidad de la luz.
4. La energía está dotada de una especie de inercia y es equivalente a la materia.
5. Las dimensiones de los cuerpos varían con la velocidad de que estén animados. Cuando la velocidad del cuerpo alcanza la de la luz, desaparece la tercera dimensión hasta el punto de aparecer el cuerpo sin espesor.
6. 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.
7. No existe tiempo general y absoluto, sino tiempo local propio de cada sistema de referencia.

La **masa relativista** vendría dada por la siguiente expresión:

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