



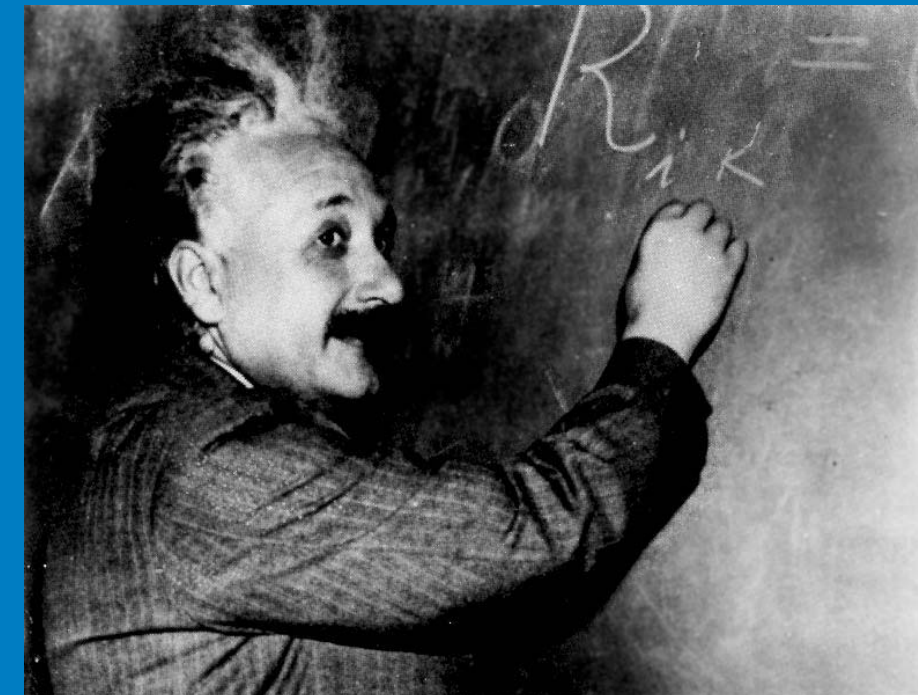
1905 El "Annus Mirabilis" de Einstein



Albert Einstein nació en Ulm, Alemania, en 1879, estudió en la escuela politécnica de Zurich y obtuvo la nacionalidad suiza en 1901. Con una personalidad poco convencional, antiautoritario y autodidacta, tuvo inicialmente problemas en ser aceptado en el mundo académico. En 1905 se doctoró por la Universidad de Zurich. Fue después de sus grandes logros con las Teorías Especial (1905) y General de la Relatividad (1915) cuando fue reconocido como un genio científico. Fue profesor en las universidades de Zurich, Praga y Berlín. En 1933, ante los problemas que por su

origen judío le ocasionó la subida de Hitler al poder se trasladó a Estados Unidos. Fue designado profesor del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton donde dedicó infructuosamente gran parte de sus esfuerzos a la elaboración de una teoría unificada que pudiera reunir la gravitación y el electromagnetismo. Tras la tragedia de Hiroshima, condenó la utilización bélica de la energía atómica y participó en numerosas campañas de paz internacional. En 1952 rechazó el ofrecimiento para ocupar la presidencia del estado de Israel. Murió en Princeton en 1955.

En 1905, trabajando como examinador de patentes en una oficina de Berna y sin apenas contacto con otros físicos, Einstein elaboró un conjunto de ideas que cambiaron el curso de la física. En este año, leyó su tesis doctoral y publicó en la revista alemana *Analen der Physik* cinco artículos, cada uno de los cuales constituye un gran logro dentro de la historia de la física. Dos tratan sobre Mecánica Estadística [2 y 3], otros dos sobre Relatividad [4 y 5] y uno sobre Mecánica Cuántica [1].



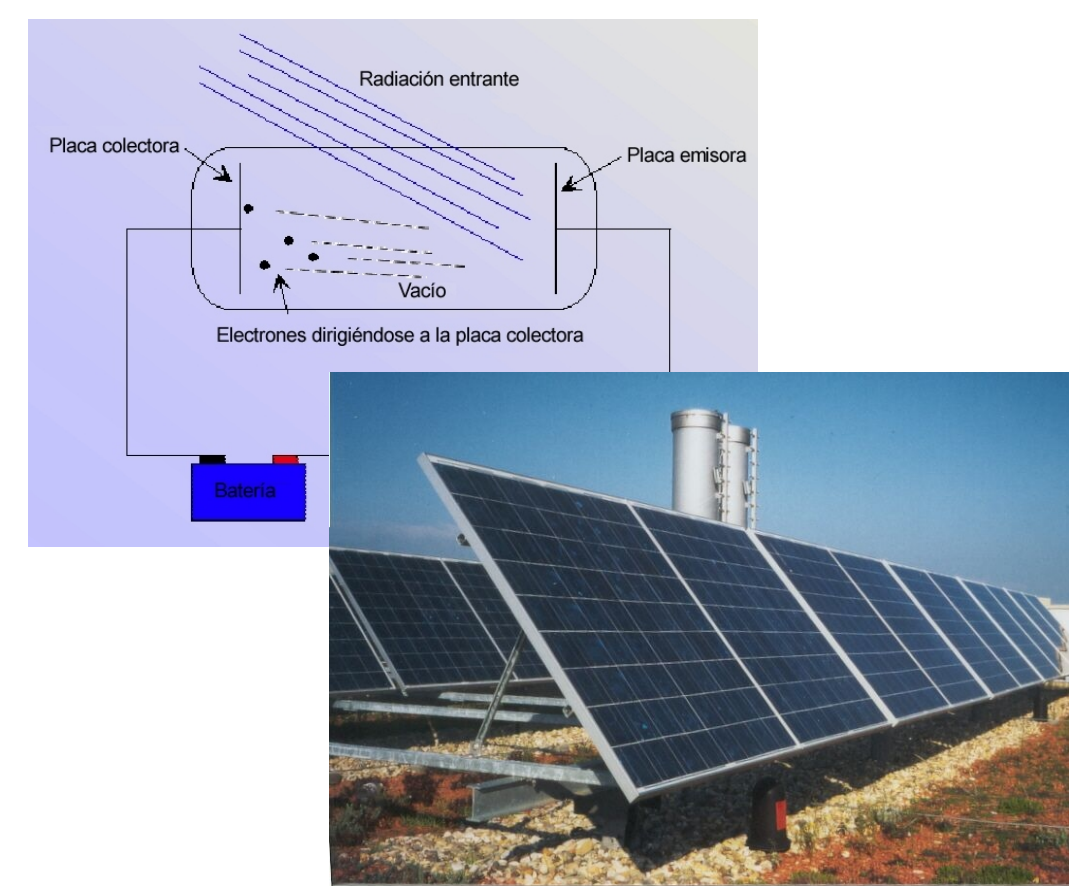
1.-"Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz"

En este artículo, Einstein propuso la existencia de hipotéticas partículas de luz, portadoras de una cantidad de energía E proporcional a la frecuencia de la luz (fotones):

$$E = h\nu$$

donde h es una constante de proporcionalidad conocida como *constante de Planck*. De esta manera, fue capaz de explicar el **efecto fotoeléctrico**, el cual consiste en que cuando un metal es iluminado con luz de una frecuencia superior a un cierto valor, éste emite electrones. Las ideas de este trabajo fueron fundamentales para el desarrollo posterior de la Mecánica Cuántica, y por las mismas, Einstein fue galardonado en 1921 con el Premio Nobel de Física.

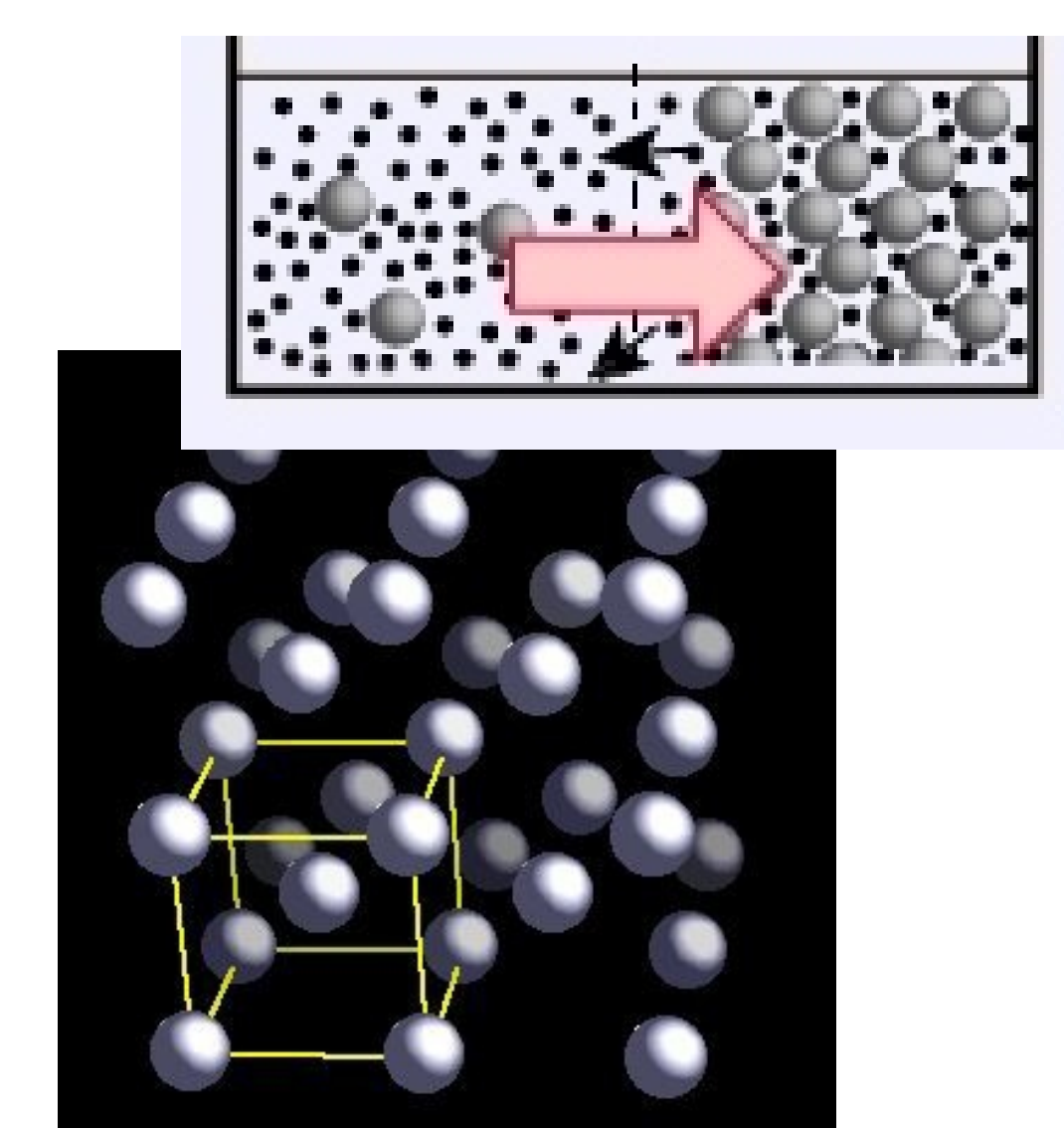
$$\frac{1}{2}mv_{\text{máx}}^2 = h\nu - w_0$$



2.-"Una nueva determinación de las dimensiones moleculares"

Esta publicación corresponde a su tesis doctoral. En ella, Einstein describe cómo se puede determinar el **número de Avogadro N** y el **radio P de los iones** en una disolución, a partir de medidas de la presión osmótica. Obtuvo de consideraciones hidrodinámicas, que la variación relativa del coeficiente de viscosidad k de un líquido es igual a la fracción del volumen ocupado por las moléculas del soluto. Este resultado, junto con el valor que obtuvo para el coeficiente de difusión D , le permitieron calcular N y P .

$$\frac{k^*}{k} - 1 = \phi = \frac{NP^3 4\pi\rho}{3m} \quad D = \frac{RT}{N} \frac{1}{6\pi kP}$$



3.-"Sobre el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en líquidos en reposo utilizando la teoría cinético-molecular del calor"

En este artículo, Einstein estudia el **movimiento Browniano**, descrito por el botánico *Robert Brown*, movimiento errático de semillas de polen suspendidas en fluidos. En el mismo, utiliza la teoría cinética y la hidrodinámica clásica para calcular las trayectorias de partículas microscópicas sometidas a colisiones aleatorias con las moléculas de un fluido. También deduce una ecuación para el **recorrido libre medio** de estas partículas en función del tiempo. Este trabajo proporcionó la evidencia de la existencia de los átomos.

$$\langle x^2 \rangle = 2Dt$$



4.-"Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento"

En este trabajo se expone lo que en la actualidad es conocido como **Teoría Especial de la Relatividad**. El principio básico es que la **velocidad de la luz es constante** en todos los sistemas de referencia inerciales. A partir de este principio y del hecho según el cual las leyes de la naturaleza deben ser independientes del sistema de referencia inercial utilizado para describirlos (Principio de Relatividad), deduce que las medidas de espacio y de tiempo dependen de la velocidad v del sistema de referencia utilizado. Las ecuaciones que relacionan las coordenadas espaciales y temporales (x, y, z, t) de un suceso en un sistema de referencia con las correspondientes (x', y', z', t') en otro sistema que se mueve con velocidad v con respecto al primero a lo largo del eje x , vienen dadas por las conocidas como **transformaciones de Lorentz**:

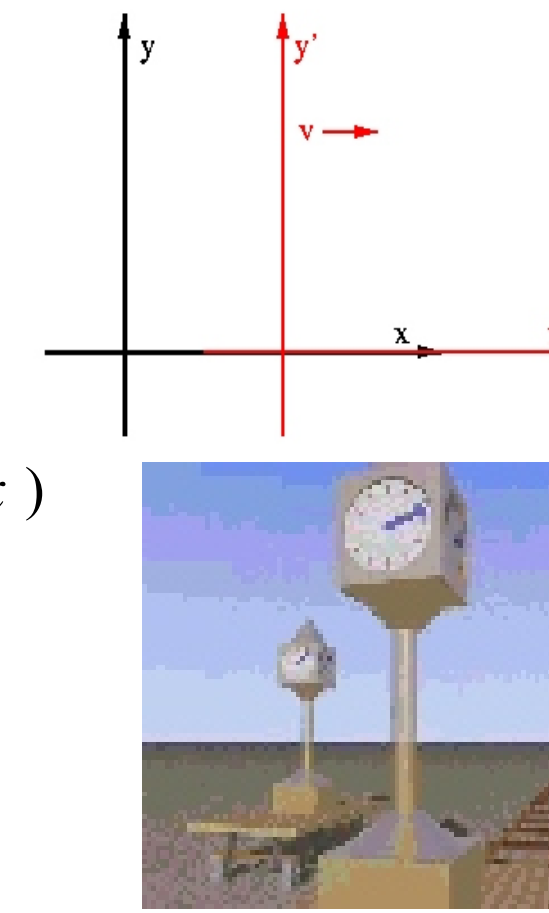
$$x' = \gamma (x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)$$

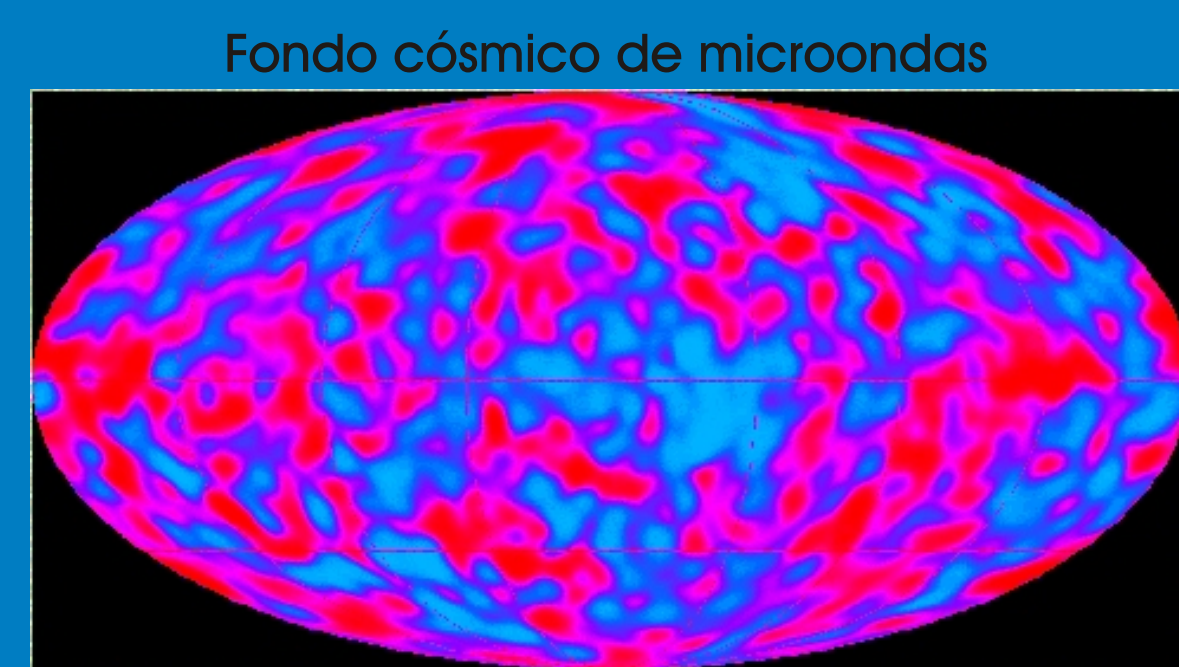
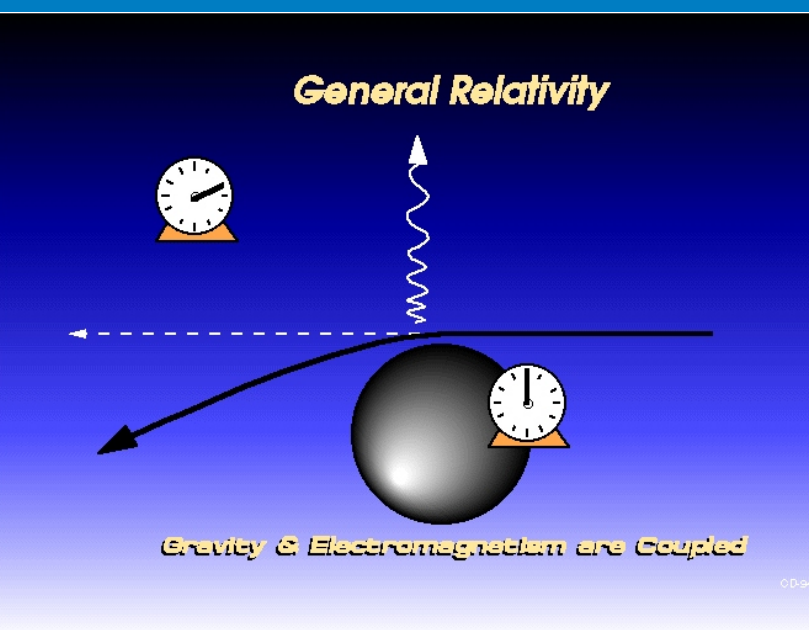
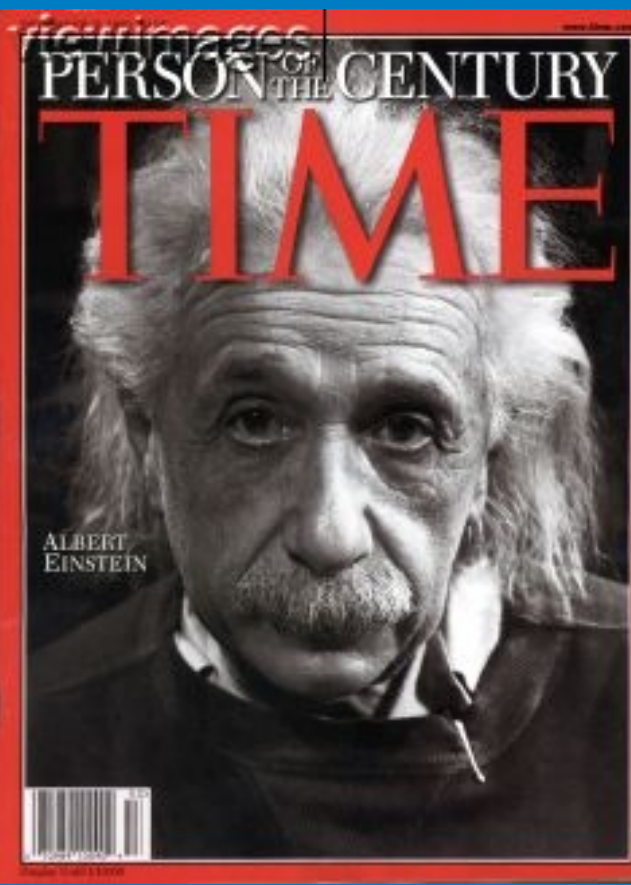
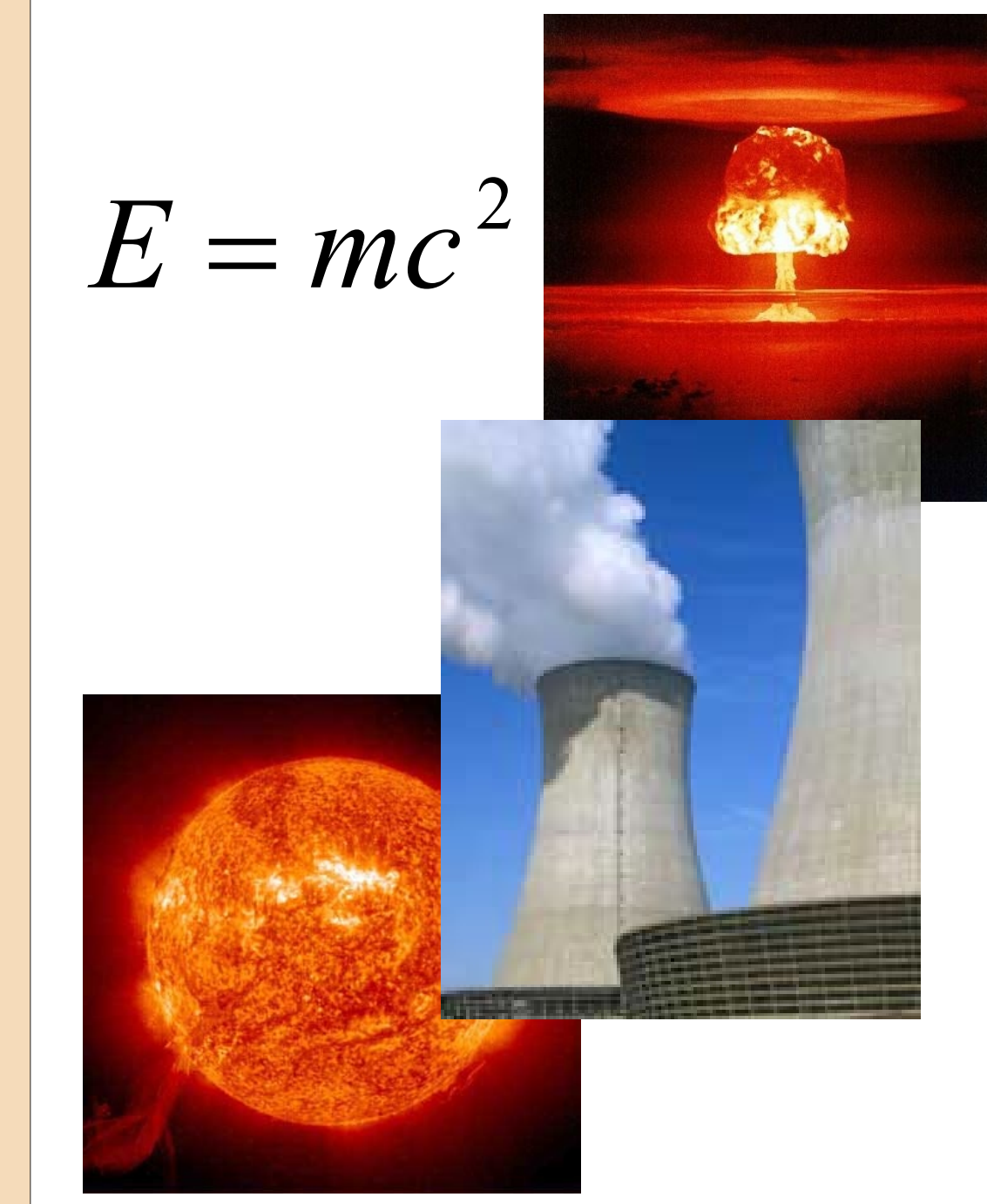
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



5.-"¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido energético?"

Este artículo se apoya en el anterior y en él se deduce la **equivalencia entre masa y energía**, la cual viene dada por la famosa fórmula $E=mc^2$. Esta fórmula proporciona la cantidad de energía liberada E al desaparecer una cierta cantidad de masa m , tal como ocurre en los procesos de fusión y de fisión nucleares. Procesos que son la base de la **producción de energía en las estrellas**, como el Sol, en las **bombas atómicas** y en las **centrales nucleares**.

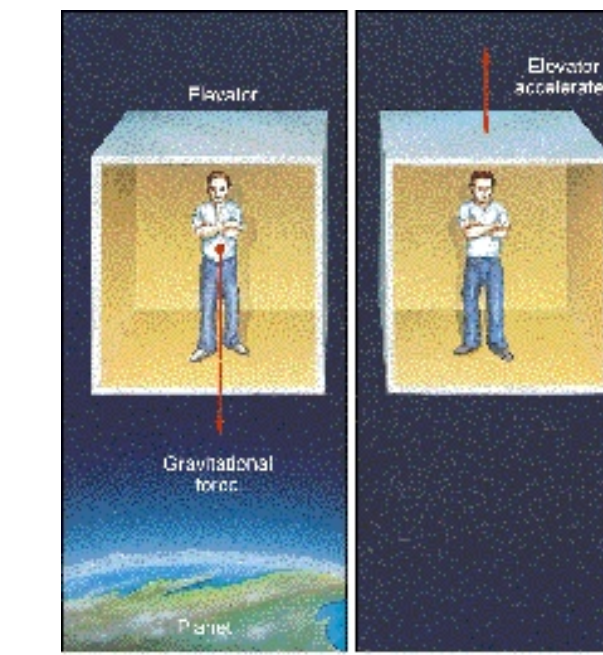
$$E = mc^2$$



En 1915, publicó la Teoría General de la Relatividad, la cual extiende la relatividad especial para el caso de campos gravitatorios. En esta teoría es la distribución de masa-energía T la que fija la curvatura del espacio-tiempo G , y por otra parte es esta curvatura la que determina el movimiento de los cuerpos.

$$G^{\mu\nu} = \kappa T^{\mu\nu}$$

El principio guía de Einstein fue el llamado Principio de Equivalencia, el cual afirma: "Un sistema de referencia acelerado linealmente respecto a un sistema de referencia inercial es localmente equivalente a un sistema en reposo en un campo gravitatorio uniforme".



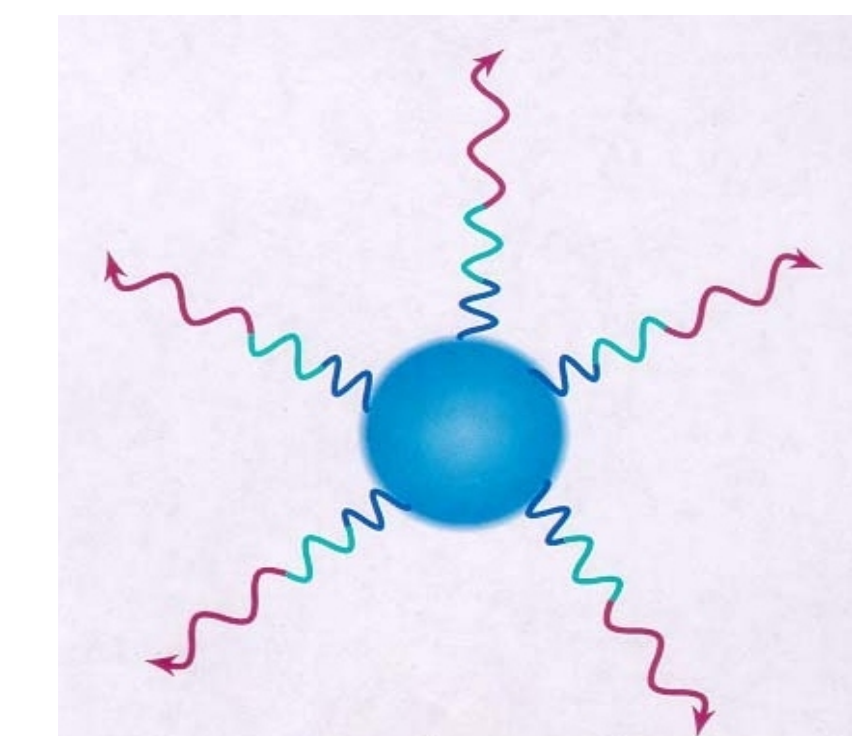
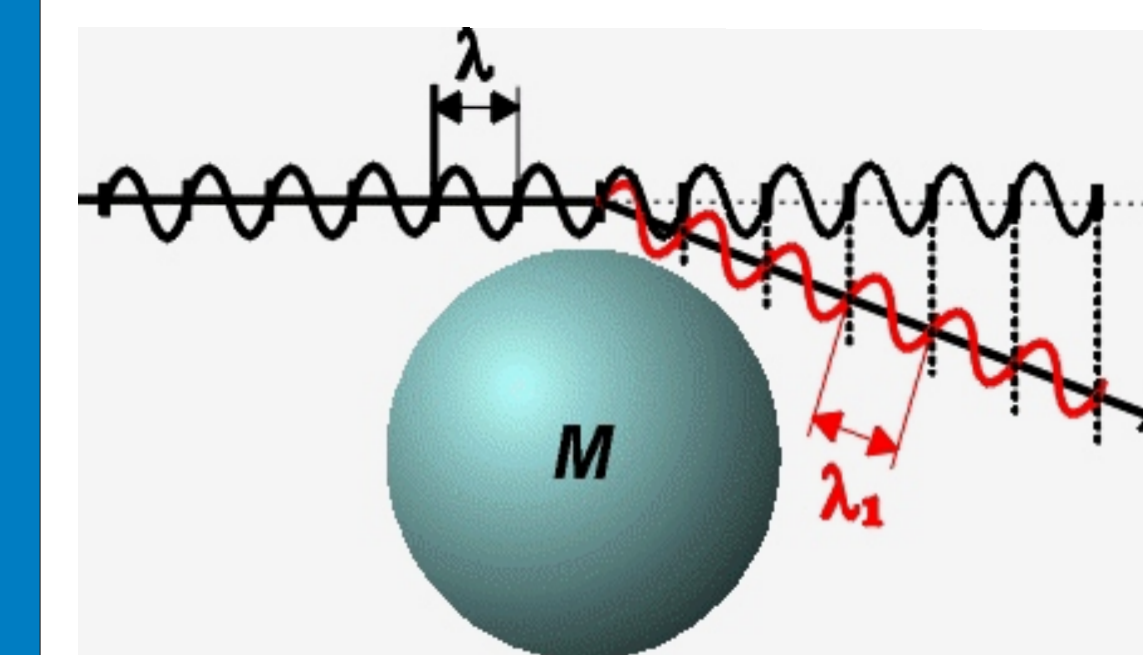
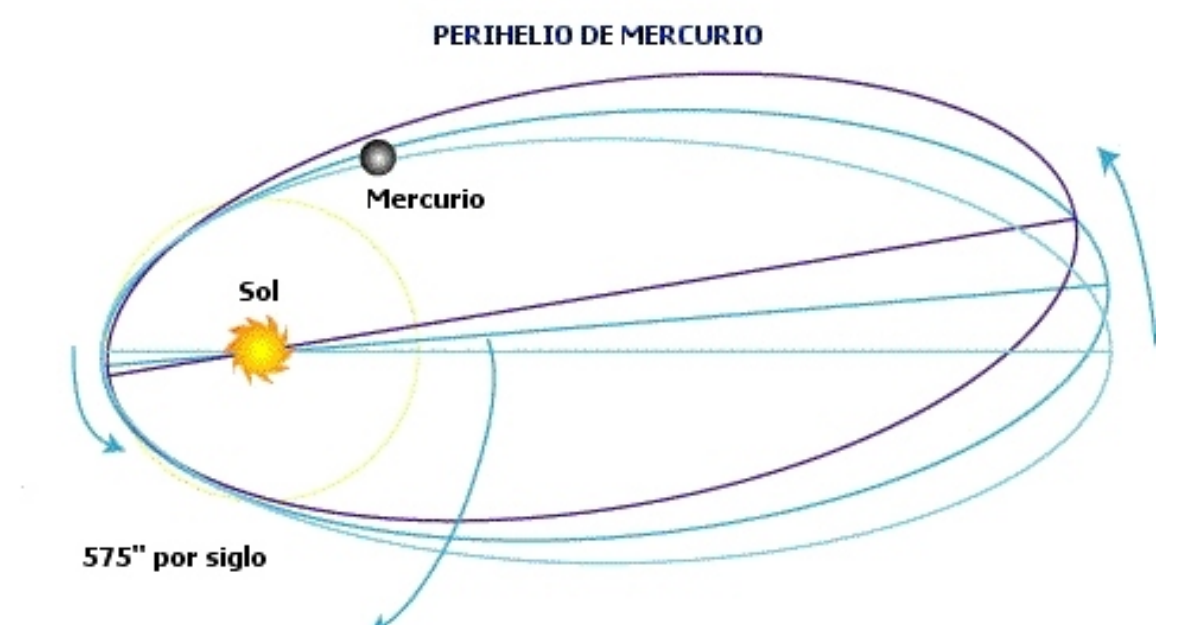
$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Los tres tests clásicos de la Relatividad General:

- avance del perihelio de Mercurio,
- deflexión de la luz debido a un campo gravitatorio,
- corrimiento hacia el rojo gravitatorio.



Realizado por: Carlos Criado Cambón y Javier Ruiz del Castillo. Departamento de Física Aplicada I. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga.

$$\tau = \int_0^t \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2} dt$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \left(\frac{1+v/c}{1-v/c}\right)^{1/2}$$



$$w = \frac{u+v}{1 + \frac{uv}{c^2}}$$



$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$