

RELATIVIDAD

El célebre matemático francés Henri Poincaré (1854-1912) concibió el siguiente "experimento imaginario" para explicar el concepto de relatividad. Supongamos, decía, que una noche, mientras estamos profundamente dormidos, todo, absolutamente todo aumentara mil veces de tamaño en el Universo: el Sol, la Tierra, las estrellas, nuestra casa, nuestra cama, nosotros mismos [...] ¿Podríamos, al despertar, decir que algo ha cambiado? No, respondía Poincaré, porque nada vendría a demostrarlo. No tendría sentido alguno decir que el universo se ha vuelto más grande, ya que por esta expresión entendemos que algo es "más grande" que "otra cosa". Y, tratándose del universo, no existe ninguna "otra cosa". El concepto de tamaño es, pues, un concepto relativo.

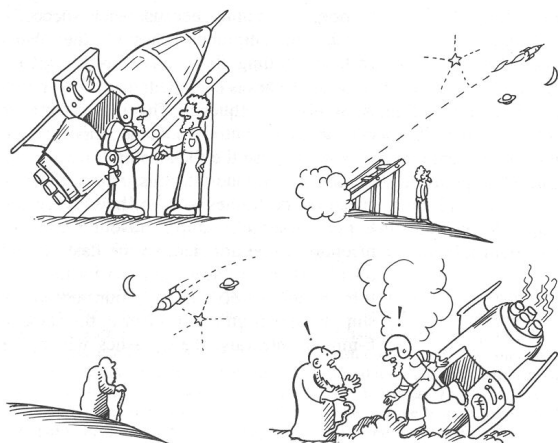
Según las leyes del movimiento de Newton, las velocidades de dos movimientos diferentes pueden sumarse mediante las reglas de la aritmética simple. Supongamos que esperando para cruzar una calle, vemos pasar un coche a 30 km/h, y que un pasajero del coche arroja hacia fuera una pelota a 20 km/h en la dirección y sentido de la marcha del coche. El pasajero del coche verá que la pelota se mueve a 20 km/h, pero nosotros la veremos moverse a 50 km/h, sumando las velocidades de la pelota y del coche. (Si la pelota se lanzase en sentido contrario a la marcha del coche, la veríamos moverse a sólo 10 km/h en el sentido del coche).

¿Cuál es la "verdadera" velocidad de la pelota? No tiene sentido hablar de "verdadera", lo que cuenta es la velocidad medida por un determinado observador, y el valor dependerá de su situación en relación al coche. Una teoría del movimiento que intente explicar cómo la velocidad y otros fenómenos conexos parecen variar de un observador a otro será una "teoría de la relatividad".

Einstein se planteó que lo que sucede con la pelota lanzada desde el coche

no parece que pueda aplicarse a la luz. Si en lugar de la pelota se lanza un rayo de luz, según Newton la velocidad de la luz debería sumarse o restarse con la velocidad del coche, según se lanzase en sentido igual o contrario a la marcha del coche, pero resulta que la luz parece moverse a su propia velocidad al margen de cómo se sea su movimiento respecto al coche. Así surgió la "teoría de la relatividad" de Einstein, al tratar de revisar las leyes de la física clásica para explicar este fenómeno que ponía de manifiesto la constancia de la velocidad de la luz.

Admitir que la luz posee una velocidad constante supone admitir, según la teoría de la relatividad de Einstein, algunos hechos sorprendentes que parecen ir en contra de nuestra forma de pensamiento lógico. Al moverse a velocidades muy grandes, próximas a la de la luz en el vacío (300.000 km/s), los objetos acortarían su longitud en la dirección de su movimiento, y su masa aumentaría considerablemente, a la vez que el paso del tiempo en ese objeto se haría más lento hasta detenerse totalmente en el caso de que alcanzase la velocidad de la luz citada, en cuyo caso el objeto haría nula su longitud e infinita su masa, ¡algo insólito!



Einstein publicó en 1905 un artículo titulado "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento", en el que recogía su teoría sobre esos fenómenos que transcurren cuando los cuerpos se mueven a velocidad constante, y basada en la constancia de la velocidad de la luz. Dicha teoría fue conocida más tarde como "Teoría restringida o especial de la relatividad".

No obstante, los efectos predichos en esa teoría sólo son perceptibles a muy grandes velocidades, próximas a la de la luz en el vacío. La mecánica clásica de Newton nos sigue siendo útil para las velocidades ordinarias a las que los efectos previstos por Einstein son demasiado pequeños para ser apreciados. Por ello, nuestra percepción del movimiento de los cuerpos a velocidades, digamos, normales, es la que consideramos lógica por ser habitual, frente a los extraños fenómenos que Einstein predice en su teoría cuando los objetos se mueven a esas extraordinarias velocidades que no nos resultan habituales. En cambio, cuando los científicos han estudiado las partículas subatómicas que se mueven a grandes velocidades en los aceleradores de partículas, han podido confirmar experimentalmente la realidad de las predicciones de Einstein.

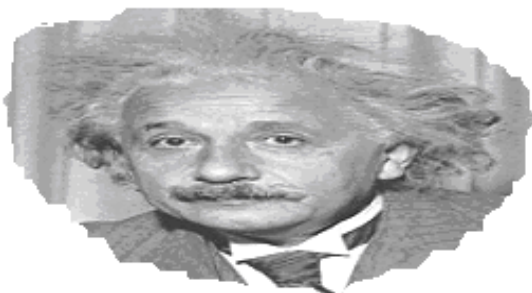
En 1916 Einstein elaboró una versión más compleja de la teoría restringida de la relatividad, y la publicó con el título "El fundamento de la teoría general de la relatividad". En ella incluía no sólo el movimiento a velocidad constante sino todo tipo de movimiento, incluyendo además una descripción del comportamiento de los efectos gravitatorios.

Como es sabido desde la época de Newton, el movimiento de un cuerpo en la Tierra se debe a la existencia de una fuerza gravitatoria, que se explica como una interacción entre la masa de ese cuerpo y la masa de la propia Tierra. Si soltamos una piedra desde cierta altura, caerá de modo rectilíneo y perpendicular hacia el suelo con una velocidad que aumenta a medida que cae. Si lanzamos la piedra horizontalmente con cierta velocidad inicial, describirá una parábola a medida que se acerca al suelo aumentado también su velocidad. En ambos casos hay una atracción gravitatoria, debida a sus masas, entre la piedra y la Tierra.

Por otra parte, Newton, con su Ley de Gravitación Universal, explicó de igual forma los movimientos que la Tierra y los demás planetas describen alrededor del Sol, diciendo que se deben también a la atracción gravitatoria entre ellos.

Einstein, en su Teoría General de la Relatividad, se ocupó del fenómeno de la gravitación. Elaboró un conjunto de ecuaciones con las que demostró que, si no hubiera en parte alguna materia ni, por tanto, gravitación, un cuerpo en movimiento seguiría una línea recta. Donde hay materia, el espacio que la rodea está deformado de

modo tal que un cuerpo en movimiento sigue una línea curva.



La idea base de la teoría general de la relatividad es el “principio de equivalencia”, según el cual *los efectos producidos por la gravitación son equivalentes a los de una aceleración*. Esta idea, que según el propio Einstein, fue la más feliz de su vida, la ejemplificaba con el siguiente experimento mental.

Sea una región del espacio tan alejada de cualquier estrella que podamos suponer que no existe campo gravitatorio en esa región. Para un hombre situado en el interior de una caja colocada en esa región no existirá campo gravitatorio, y si extrae un reloj y un pañuelo de su bolsillo y los deja caer, verá que se quedan junto a él en la posición en que los abandone.

Pero imaginemos que mediante una cuerda sujeta a la parte superior externa de la caja, se tira de ella con una fuerza constante. Si ahora se repite el experimento, el reloj y el pañuelo chocarán con el suelo porque la caja está acelerada hacia arriba y el suelo de la caja alcanzará a ambos al mismo tiempo. Esto es lo que pensaremos nosotros que vemos el experimento desde fuera de la caja. Pero, ¿qué dirá el hombre que está dentro de la caja? Por su experiencia en la Tierra con el campo gravitatorio que hace caer a todos los cuerpos con la misma acele-

ración independientemente de su masa, pensará que se encuentra en la misma situación y que está actuando un campo gravitatorio en la caja, que hace caer el reloj y el pañuelo con la misma aceleración, lo que explica que lleguen al mismo tiempo al suelo.

Por tanto, por experimentos realizados en el interior de la caja no podremos distinguir si la causa ha sido un campo gravitatorio o una aceleración de dicha caja hacia arriba. Ambas explicaciones son razonables y permiten establecer el mencionado principio de equivalencia.

Esta equivalencia se extiende así mismo a la luz, que también sufre los efectos de los campos gravitatorios. Las trayectorias, tanto de la luz como de los cuerpos materiales en las cercanías del Sol, pueden interpretarse de dos formas equivalentes: o bien se deben a la acción de alguna fuerza sobre ellos y experimentan una aceleración, es decir, una variación de su trayectoria, o bien se mueven en un campo gravitatorio que curva el espacio. Cuanto mayor es la masa de un cuerpo, mayores son las aceleraciones que produce en otras masas o, de modo equivalente, mayores son los efectos gravitatorios y la curvatura que genera en el espacio que le rodea. “Las masas producen una curvatura del espacio cerca de ellas, de forma que tanto la luz como cualquier objeto se desplaza en sus cercanías según unas trayectorias llamadas geodésicas”

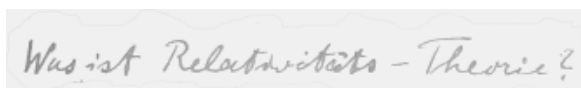
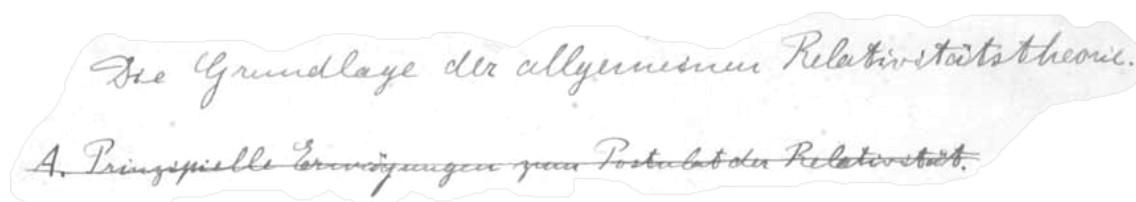
La comprobación experimental de esta teoría tuvo lugar en 1919 con ocasión de un eclipse total de Sol. Según la teoría relativista, un rayo de luz procedente de una estrella que pasara

próximo al Sol se desviaría de su trayectoria, pero la observación de este fenómeno desde la Tierra sólo es posible durante un eclipse que oculte el brillo del Sol y permita ver las estrellas. Un equipo de astrónomos encabezados por el inglés Arthur Eddington midió la magnitud de la desviación observada que coincidió con los cálculos previstos por Einstein. Esta comprobación supuso un éxito total para Einstein y su teoría general de la relatividad.

Sirviéndose de la geometría que el matemático alemán Georg Riemann había propuesto en 1851, para descri-

bir espacios curvos de cualquier número de dimensiones, Einstein postuló que el espacio de tres dimensiones se curva en una cuarta dimensión "el tiempo". La relatividad general describe los efectos gravitatorios como efectos de la curvatura del llamado "continuo espacio-tiempo".

En palabras del matemático alemán Hermann Weyl: "Con su teoría de la relatividad, Einstein contribuyó al progreso de nuestras ideas sobre la estructura del universo y nos acercó mucho al momento en el cual podremos comprender el plan general que rige todo acontecimiento físico".



Das Gesetz von der Äquivalenz von Masse und Energie ($E = mc^2$)

- 1) den Satz von der Erhaltung der Energie
- 2) den Satz von der Erhaltung der Masse.

