

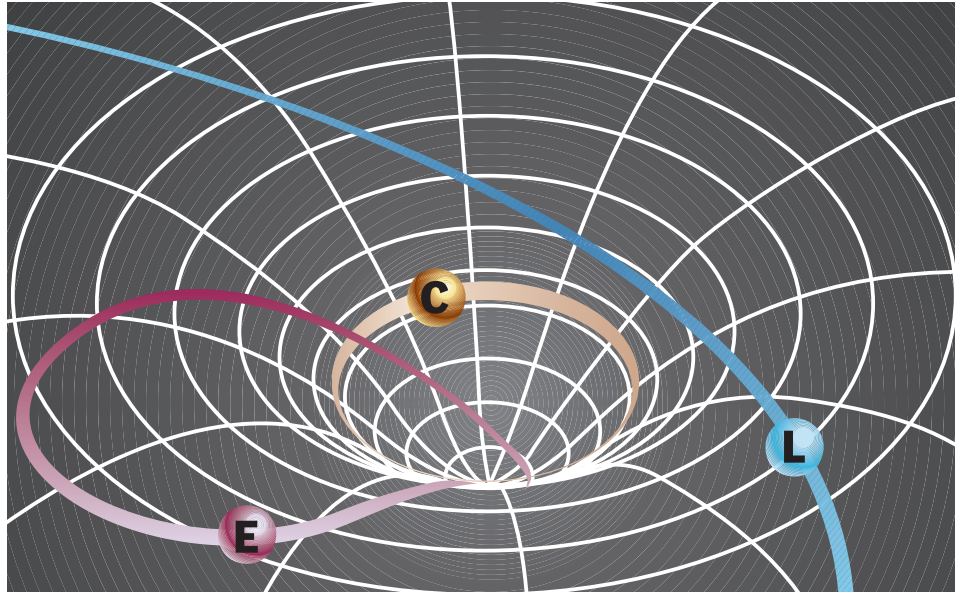
ECLIPSE DE 1919

LUZ La masa solar deforma el espacio a su alrededor, con lo que la trayectoria de los rayos de luz que proceden de estrellas lejanas, al pasar por su cercanía, debería desviarse levemente de la línea recta. Tal predicción de la Teoría General de la Relatividad es difícil de probar, porque el fulgor del Sol nos deslumbra e impide ver las estrellas. Sólo durante un eclipse total de Sol, cuando la Luna oculta completamente el Sol, es posible ver estrellas en pleno día.

En mayo de 1919 el astrónomo sir Arthur Eddington estaba en la isla Príncipe, lugar privilegiado para la observación del eclipse de Sol que iba a producirse. Deseaba comprobar si la posición aparente de las estrellas cambiaría cerca del Sol. Observó que sí, y justo en la medida predicha por la Teoría General de la Relatividad de Einstein.

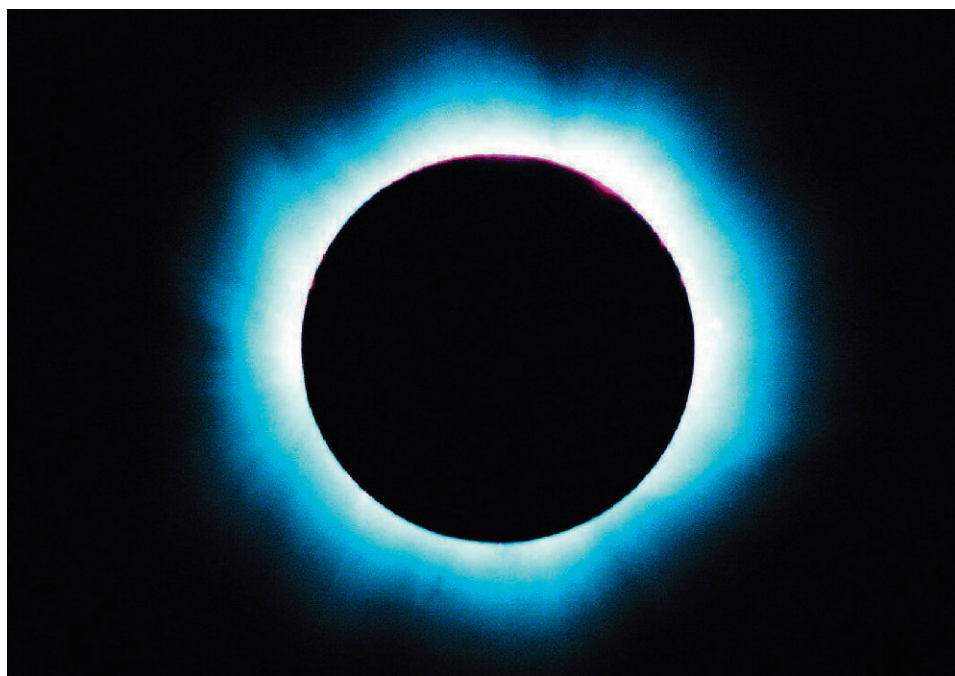
DESPUÉS DE EINSTEIN

El espacio-tiempo curvado alrededor del Sol desvía las trayectorias



L: trayectoria de un rayo de luz desviada por la curvatura del espacio-tiempo. **C:** órbita circular de un planeta alrededor del Sol. **E:** órbita elíptica de un cometa alrededor del Sol.

HERALDO



En los eclipses de Sol se estudia el desvío de la luz de las estrellas debido a la gravedad del Sol. REUTER

TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD

> LA REVOLUCIÓN DEL ESPACIO-TIEMPO

MUCHOS OPINAN QUE LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD DE EINSTEIN FUE UN GRAN LOGRO INTELECTUAL, PERO QUE HUBIERA SIDO DESCUBIERTA POR LOS FÍSICOS TEÓRICOS DE LA ÉPOCA MÁS TARDE O MÁS TEMPRANO. SIN EMBARGO, TODOS ESTÁN DE ACUERDO EN QUE SU EXTENSIÓN A LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD ES LA OBRA DE UN GENIO SIN PAR.



ATRACCIONES En 1916, Albert Einstein presentó la Teoría General de la Relatividad, una extensión de los conceptos de la Teoría Especial de la Relatividad para explicar la atracción gravitatoria. Lo más sorprendente de la nueva teoría era que el principio de Equivalencia, el punto crucial en que se fundamentaba, era de una sencillez sobrecojadora: la fuerza que sentimos en un sistema acelerado es de la misma naturaleza que la que realiza una atracción gravitatoria.

Todos habremos notado cómo al ponerse en marcha un ascensor y acelerar para subir, de repente, pesamos más, es como si apareciera una especie de fuerza de gravedad extra que tirara de nosotros. El principio de Equivalencia de Einstein arrojaba teóricamente esta experiencia cotidiana: aceleración y gravitación son la misma cosa, dos caras de la misma moneda. Con este punto de partida, Einstein cimentaba el edificio de la Teoría General de la Relatividad y resolvía un misterio que había calentado los cascos al mismísimo Newton y científicos posteriores: por qué la masa gravitatoria y la masa inercial son iguales.

La sensación de peso que percibimos es debida a la atracción gravitatoria que ejerce la Tierra sobre nuestra masa. En este caso, estamos hablando de masa gravitatoria, que está definida a través de la fuerza gravitatoria, de igual forma que la carga eléctrica viene definida mediante el campo electromagnético. Sin embargo, si pensamos, por ejemplo, en la resistencia que ofrece un camión al acelerar o al girar en una curva por el hecho de tener masa, nos estamos refiriendo a la masa inercial. Un vehículo con más masa ofrece más resistencia al cambio de velocidad. En este caso definimos masa a partir de la segunda ley de Newton. En el siglo XIX, R. Von Eötvös demostró experimentalmente con enorme precisión que la masa gravitatoria e inercial de distintas sustancias eran idénticas. Todos los experimentos realizados desde entonces para medir cualquier diferencia entre la masa inercial y la masa gravitatoria han concluido con el mismo resultado.

¿Cómo es posible que las aceleraciones dinámicas y gravitatorias sean lo mismo? La razón es que los cuerpos se desplazan en un espacio-tiempo que se curva en presencia de una masa. Es decir, es la deformación del espacio-tiempo lo que sienten otros cuerpos como atracción gravitatoria. Una analogía reveladora, propuesta por primera vez por A. Eddington para divulgar la Teoría General de la Relatividad, consiste en imaginar el espacio-tiempo como una superficie elástica, como una sábana tensa. Cuando ponemos encima de ella una bo-

la pesada, el equivalente al Sol, por ejemplo, la sábana se deforma. La fuerza de atracción que siente un planeta, una pequeña bola a cierta distancia de la bola central, es consecuencia de la deformación del espacio, de la geometría del espacio-tiempo.

En algunos casos, el cuerpo central es tan masivo que deforma enormemente el espacio-tiempo que le rodea. Tanto que incluso la mismísima luz que pase por allí se verá obligada a trazar trayectorias cerradas alrededor del astro sin poder escapar. Se trata de un agujero negro, un cuerpo del que para escapar a su gravedad se necesitan velocidades mayores que la de la luz. Y dado que según la Teoría Especial de la Relatividad la velocidad máxima posible en el Universo es precisamente la de la luz en el vacío, nada podrá escapar de allí. Teoría hasta hace no mucho, pero a día de hoy ya se ha confirmado la existencia de varios de estos exóticos astros.

Sin duda, ésta ha sido la confirmación más espectacular del genio de Einstein.

BARTOLO LUQUE PERTENECE A LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AERONÁUTICOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. **FERNANDO J. BALLESTEROS** PERTENECE AL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA.

DISTANCIAS RELATIVISTAS

$$\sum \delta_{\mu\nu} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\alpha} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\beta}$$

$$\frac{c^2}{2} \left(1 + \frac{v^2}{c^2} \right) \left[\left(\frac{v}{c} \right)^2 + \dots \right]$$

$$\frac{c^2}{2} \left[\frac{v^2}{c^2} \right]$$

$$-2 \kappa \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\alpha} = -\frac{1}{2} c^2 \frac{\partial^2 v^2}{\partial x_\alpha^2}$$

$$\sum \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\mu} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\nu} = 0$$

$$-\frac{1}{2} \sum g_{\mu\nu} \delta_{\mu\beta} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\alpha} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\beta}$$

■ A los pocos años de la presentación de la Teoría Especial de la Relatividad, el matemático Hermann Minkowski formalizó elegantemente la teoría. Propuso una fusión entre las tres dimensiones del espacio y el tiempo: el espacio-tiempo cuatridimensional.

En el espacio euclídeo clásico, la distancia entre dos sucesos que se producen en dos puntos es la misma para todos los sistemas de referencia, estén girando y/o moviéndose. Sin embargo, en el espacio-tiempo relativista, este papel no lo cumple la distancia espacial, sino una medida llamada intervalo entre dos sucesos. Esta medida tiene en cuenta tanto la distancia entre los sucesos como el tiempo que pasa entre ellos. Distintos observadores en diferentes sistemas de referencia podrán medir diferentes valores para tiempos o distancias. Pero, en cambio, estarán de acuerdo en el intervalo espacio-temporal de la medida.



Formación: Tu gran acción

En Ibercaja Zentrum, continúa esta tarde el Foro de Experiencias «Martes tecnológicos en Ibercaja» con el título «Las nuevas ciudades en la Era de la Información: la Milla Digital». Esta sesión pretende ofrecer una visión global sobre la transformación que empieza a sufrir el espacio urbano y su planificación con la irrupción de las nuevas tecnologías de la información. Será impartido a partir de las 19.30 horas por José Carlos Arnal Losilla, licenciado en Ciencias de la Información y asesor técnico de alcaldía en el Ayuntamiento de Zaragoza.

Entrada libre.

Ibercaja Zentrum C/ Costa, 13, 50001 Zaragoza. Teléfono 976 48 28 12. E-mail: zentrum@ibercajaobrasocial.org

