



«EINSTEIN, TU NUNCA LLEGARAS A NADA» (1894, 15 años)

El 5.º Congreso de Física reunió en Bruselas, en 1927, a los más importantes físicos del mundo. Einstein, sentado, en el centro de la fotografía. De izquierda a derecha, empezando por arriba: Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, Ed. Herzen, Th. De Donder, E. Schrödinger, E. Verschoff, W. Pauli, W. Heisenberg, R. W. Flower, L. Brillouin, P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg, H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H. Compton, L. de Broglie, M. Born, N. Bohr, I. Langmuir, M. Planck, Mme Curie, H. A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, Ch. E. Guye, C. T. R. Wilson, O. W. Richardson. Ausentes: Sir. W. H. Bragg, H. DeLandree y E. Van Aubel.

La mayor parte de los hechos previstos por sus ideas ya han sido comprobados

La ciencia después de Einstein

Pocos científicos han ocupado tantas veces las portadas de las revistas como Albert Einstein. Pocos, o ninguno, han sido tan fotografiados, biografiados o citados, como Albert Einstein. Cualquier pretexto es válido —y bueno— para volver a hablar de uno de los mayores genios (¿el mayor?) que ha producido la humanidad.

La serie que TVE emite ahora por la Segunda Cadena (martes, 21, 30 horas) nos hace traer a las páginas de nuestro suplemento algunas de las ideas del hombre que cambió en nuestro siglo la historia de la física. Es un número en el que no se proponen actividades concretas. Estamos seguros de que su lectura provocará discusiones en la clase y preguntas de todo tipo. Con toda seguridad no llegaremos a alcanzar su pensamiento, pero si nos acercaremos algo a vislumbrar el enorme mundo de perspectivas para la ciencia actual y del futuro.

De los fenómenos físicos conocidos a comienzos de siglo son pocos los que necesitaron la teoría de la relatividad einsteiniana. Aparte de la controvertida existencia del éter, sólo el problema del anormal avance del perihelio del planeta Mercurio no queda completamente satisfecho por la mecánica de Newton. El astrónomo francés Leverrier había determinado en 1845 que el punto en que Mercurio está más cercano al Sol (su perihelio) avanzaba 40 segundos de arco más cada siglo de lo que podía preverse. Al aplicar las ecuaciones de la relatividad, la modificación del perihelio de Mercurio quedó completamente explicada. Pero desde que Einstein expuso sus ideas, los científicos han descubierto numerosos fenómenos y han buscado comprobaciones de hechos que no tendrían posible explicación al margen de las ideas del gran revolucionario de la ciencia, «Quijote de la especulación teórica y Sancho de la realidad empírica».

La materia se puede convertir en energía

Aunque no la primera, la comprobación más dramática de esta afirmación de Einstein consistió en la realidad de la fisión nuclear mediante la bomba atómica. El 16 de julio de 1945, en Alamogordo (Nuevo México), científicos norteamericanos experimentan el primer ingenio nuclear. Por primera vez el hombre convierte una cantidad apreciable de masa en luz, calor, sonido y el movimiento que llamamos energía. Días después otros harían explosión en Hiroshima y Nagasaki. Desde entonces, la ciencia ha buscado el utilizar las enormes posibilidades que supone la energía atómica en centrales nucleares y se trata de resolver los problemas ecológicos que puedan ocasionarse.

$$E = mc^2$$

La contrapartida de este fenómeno que consiste en la transformación de una energía en materia vino comprobada en 1935, cuando el físico inglés Blackett demostró que los rayos gamma (energía), al pasar a través del plomo, a veces desaparecían, dando lugar a un positrón y a un electrón, que son partículas materiales. Esto confirmaba la famosa ecuación de Einstein: $e = mc^2$.



La luz se curva al ser atraída por una masa

La comprobación de esta afirmación de Einstein tuvo lugar durante una observación realizada durante un eclipse de Sol de 29 de mayo de 1919. En una expedición dirigida por Eddington a las islas Príncipe, donde mejor podía apreciarse el eclipse, pudo observarse que el ángulo formado por los rayos de luz que llegan de dos estrellas colocadas en lados opuestos del disco solar es distinto si el Sol no se encuentra entre ellas. Esto es una prueba de que la masa del Sol modifica la trayectoria de la luz, curvándola.

El tiempo se hace más lento al viajar a grandes velocidades

Esta es una de las conclusiones de la teoría de la relatividad que ha abierto más puertas a la fantasía y a la ciencia-ficción. En la película «El planeta de los simios» se presentaba el caso de unos astronautas que, sin saberlo, volvía a la Tierra, cuando aquí ya habían pasado cientos de años sin que ellos, por haber viajado a gran velocidad, hubieran pasado más de unos días. Quizás esto sea una realidad aún lejana para nosotros, pero la idea de poder salir de la Tierra y volver a ella a ver a nuestros nietos cuando sean mayores que nosotros, después de nuestro viaje espacial, tiene un encanto indiscutible.

La primera comprobación experimental de la dilatación del tiempo la realizó H. E. Ives en 1936. Comparó la luz emitida por los rayos de hidrógeno a gran velocidad con la emitida por otros átomos de hidrógeno en reposo, encontrando que la frecuencia de vibración de los átomos en movimiento se retrasa conforme a las predicciones de Einstein. Hoy todos los físicos que trabajan con partículas subatómicas saben que la vida media de algunas partículas es más corta en reposo que al ser acelerada a grandes velocidades.



La longitud de onda de la luz aumenta al aumentar el campo gravitatorio

La primera verificación de este hecho la hizo en 1925 el astrónomo Adams, que vio cómo en la Compañera de Sirio, una estrella de las llamadas «enanas blancas», con campos gravitatorios extraordinariamente altos, se produce un cambio de líneas del espectro de absorción de la luz visible, acercándose al rojo.

En 1960 Mössbauer comprueba la variación de la longitud de onda de los rayos gamma emitidos por una sustancia al pasar por el último piso de un edificio y por el bajo del mismo, debido a la diferencia de gravedad entre ambos lugares.

La idea de la relatividad en Galileo

El concepto de relatividad, de diferentes «puntos de vista» con respecto a la posición y al movimiento de las cosas existe en nuestro sentido común, y fue formulado ya con base matemática por Galileo (1564 - 1642) y Newton. El movimiento de un objeto que le cae de la mano a un viajero de un tren lo ven de distinta manera el viajero y una persona que se encuentra parada en el exterior. Newton ya sabía que uno puede aferrarse o tomar una sopa en un barco que se mueve en línea recta con movimiento uniforme y afirmar que el plato «está quieto» de la misma manera que lo haría en su casa, sin llegar a saber si el barco se está moviendo o no. Tampoco ningún tipo de experiencia realizada dentro del barco podría llevar a la idea de que el barco se mueve. En 1687 Newton enunciaba: «Los movimientos entre sí de los cuerpos encerrados en un lugar dado son los mismos tanto si ese lugar está en reposo como si se mueve uniformemente en línea recta.» Eso era, para Newton y Galileo, la afirmación del movimiento relativo. El plato que no se mueve desde el punto de vista del pasajero del barco, se mueve bajo la perspectiva de un espectador en el muelle.

Pero Newton admitía también la existencia de un movimiento absoluto. Para

La teoría de la relatividad



La teoría de la relatividad simbolizada por esta imagen, ha hecho de Einstein un personaje casi mítico.

ello simplemente era necesario postular la existencia de un espacio real, absoluto, fijo e inmóvil, que estaba ocupado por el éter, que servía como sistema de referencia absoluto para los movimientos.

La relatividad en Einstein

En 1905, cuando sólo tenía veintiséis años, Einstein da a luz tres trabajos de importancia trascendental: en uno de ellos explica el efecto fotoeléctrico, apli-

cando a la luz las ideas de Planck sobre los cuanta de energía (por él recibiría el premio Nobel en 1921); en otro explica el movimiento browniano; en el tercero, titulado «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento», expone por primera vez unas ideas revolucionarias que modificarían el pensamiento científico.

Einstein rechaza la existencia del éter, y con él la idea de que el espacio pueda constituir un sistema de referencia fijo y en reposo, que permitía distinguir entre

movimientos absolutos y relativos. Para Einstein no hay nada fijo en el Universo; no hay movimientos absolutos, todos son relativos. El espacio no tiene límites ni direcciones; en él todas las posiciones son relativas. El espacio está vacío, el espacio es simplemente el orden o relación de las cosas entre sí.

La relatividad del tiempo

Otra afirmación de Einstein, quizás aún más revolucionaria, es la de que no existe un tiempo absoluto. No hay ningún fluir inexorable y constante del tiempo que nos lleve invariablemente del pasado al futuro. El sentido del tiempo para Einstein, como el sentido del color, no es más que una forma de percepción. De la misma manera que no habría colores sin unos ojos para distinguirlos, no hay horas ni días sin unos sucesos que los marquen. El tiempo no es más que un orden o relación de los sucesos entre sí, el tiempo es relativo, es subjetivo, depende de cada sistema de observación. Un reloj no es más que algo que produce una serie de sucesos que puede ser contada, atribuyéndole a cada cosa un «antes», un «después» y un número.

El tiempo para Einstein no existe si no contamos con un sistema de referencia. Nunca podremos hablar de simultaneidad, de «ahora», sin un sistema de referencia.

La teoría general de la relatividad

En la teoría de la relatividad restringida, publicada en 1905, Einstein afirmaba la ausencia de espacio y tiempo absolutos y la constancia de la velocidad de la luz. En 1916 publica la «Teoría general de la relatividad», en donde amplía y da forma matemática

a sus ideas. Es un tópico ya decir que es muy difícil exponer las ideas de Einstein de una manera asequible; he aquí algunas consecuencias de la relatividad sobre la luz, el espacio, el tiempo, la masa, la energía y sobre las leyes de la física.

1. Sobre la luz

—La luz se propaga en el vacío siempre con la misma velocidad (se representa por la letra *c*), independientemente del estado de movimiento del cuerpo emisor.
—Los rayos de luz están sometidos a la atracción gravitatoria, y se curvan en pre-

sencia de un cuerpo. Ningún móvil puede sobrepasar la velocidad de la luz.
—En un campo gravitatorio muy intenso, las líneas de observación del espectro de la luz se acercan al rojo.

2. Sobre el espacio

—No hay un espacio absoluto.
—La distancia entre dos puntos fijos de un sistema que se mueve se acorta en la dirección del movimiento. Un metro de madera que se mueve a una velocidad del 90 por ciento de la luz tendría, para

un hipotético observador en reposo, una longitud de medio metro (pero un observador que fuese «cabalgando» sobre él no apreciaría ese acortamiento de la longitud).

CONTRACCIÓN DE LONGITUD

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

L': longitud de un cuerpo en reposo
L: longitud en la dirección del movimiento si el cuerpo se desplaza en velocidad *v*
c: velocidad de la luz

3. Sobre el tiempo

—Cada sistema de referencia tiene su propio tiempo. No existe un tiempo absoluto.

—La velocidad del paso del tiempo varía con la velocidad del sistema de movimiento. Un reloj se retrasaría al aumentar su velocidad. Si una persona viajara a velocidades próximas a las de la luz, los latidos de su corazón, su respiración y todos sus procesos vitales se retardarían, pero él no podría observarlos porque su reloj sufriría el mismo retardamiento. Sólo al volver a la Tierra se daría cuenta de que aquí habría pasado mucho más tiempo, y él sería más joven que sus hijos, por ejemplo.

DILATACIÓN DEL TIEMPO

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

t': tiempo que transcurre para un cuerpo a velocidad *v*
t: tiempo que transcurre para un observador en reposo

4. Sobre la masa y la energía

—La masa de un cuerpo (o mejor dicho, la inercia) aumenta con su velocidad. Esto hace difícil que se pueda mover una nave espacial a velocidades próximas a las de la luz, porque su masa inerte sería muy grande.

—Cuando un cuerpo absorbe una energía, su masa aumenta. La masa es equivalente a la energía. La energía tiene masa (esto viene expresado en la ecuación más famosa de la historia: $E = mc^2$).

CONVERSIÓN DE MASA EN ENERGÍA

$$E = mc^2$$

E: Energía
m: masa
c: velocidad de la luz
(en el año $c = 299.792,5 \text{ km/s}$)

VARIACIÓN DE LA MASA

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

m: masa de un cuerpo en movimiento con velocidad *v*
*m*₀: masa de ese cuerpo en reposo
c: velocidad de la luz

5. Sobre las leyes de la física

—Las leyes de la electrodinámica y de la óptica son válidas en todos los sistemas de referencia en que se cumplen las leyes de la mecánica, es decir en los sistemas estacionarios (con un movimiento uniforme y rectilíneo).
—La gravitación no es más que un

efecto de la curvatura del mundo tetradimensional. El mundo tiene 4 dimensiones; tres de ellas relativas al espacio y una al tiempo. La masa de la Tierra curva el espacio - tiempo a su alrededor y hace que los cuerpos caigan sobre ella.

Moncho Núñez

Conclusión final

Las afirmaciones que preceden son, sin duda, controvertidas. Están en contra del sentido común; pero para Einstein el sentido común está basado simplemente en nuestra experiencia, que se limita a objetos de tamaño ordinario moviéndose a velocidades pequeñas. En estas condiciones es perfectamente aplicable a la mecánica de Newton, porque la diferencia con la de Einstein es indetectable. Pero cuando estudiamos la profundidad del átomo o del Universo el sentido común ya no es guía. Hay una diferencia apreciable entre los dos puntos de vista y, en esos casos, el de Einstein es más útil que el de Newton.



Algunas fechas de la vida de Einstein

1879. Nace en Ulm (Baviera) el 14 de marzo.

1882. Cuando ya tiene tres años aún no sabe hablar. Algunos familiares temen que esto será signo de retraso mental.

1885. Los padres de Albert hacen que éste tome clases de violín.

1888. Termina los estudios primarios.

1891. Albert conoce la geometría de Euclides, la única cosa de la vida escolar que acepta con agrado.

1894. A los quince años causa baja en el colegio debido a sus malas notas en latín y griego. El profesor le dice: «Einstein, tú nunca llegarás a nada.»

1895. Suspende el examen de ingreso en la Escuela Politécnica de Zurich.

1896. Termina su bachillerato e ingresa en la Escuela Politécnica de Zurich para estudiar física. Sigue teniendo dificultades en su adaptación a la reglamentación escolar.

1901. Obtiene la licenciatura en Física.

1902. Empieza a trabajar como asesor científico en una oficina de patentes en Berna.

1903. Se casa con Mileva Maristah.

1904. Nace su hijo Hans Albert.

1905. A los veintiséis años tiene su «año genial». Obtiene el título de doctor y publica cinco trabajos que suponen tres avances importantes en ciencia: explicación del efecto fotoeléctrico, del movimiento browniano y planteamiento de la

teoría de la relatividad espacial.

1909. Es admitido como profesor de Física en la Universidad de Zurich.

1910. Nace su hijo Edward.

1916. Publica la versión definitiva de la teoría general de la relatividad.

1919. Se divorcia y se vuelve a casar.

1921. Recibe el premio Nobel por su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico.

1923. Visita España y es recibido por Alfonso XIII.

1933. Hitler toma el poder. En Ulm, ciudad natal de Albert, una calle deja de llevar su nombre. Su casa ha sido registrada y sus bienes confiscados. Einstein es judío. A finales de año marcha a EE.UU.

1936. Muere su segunda esposa, Elsa.

1939. Presionado por sus amigos, escribe una carta al presidente Roosevelt sobre el riesgo de que los nazis construyan una bomba atómica. Esta carta parece influir en la determinación del presidente de iniciar el proyecto Manhattan.

1945. Einstein expresa su dolor y rechazo sobre la explosión de las bombas en el Japón.

1952. Le ofrecen la posibilidad de ser nombrado presidente de Israel. Einstein expresa su profundo rechazo del maccarismo. Trabaja en su último sueño, la búsqueda de una teoría del campo unificado y disfruta tocando el violín.

1955. Fallece en Princeton (New Jersey).

Un viejo concepto físico que la teoría de Einstein hizo innecesario

Eter Luminífero

A la hora de elegir una palabra viva, representativa de la contribución einsteiniana al mundo de la física, la tarea no es fácil. Como consecuencia de sus ideas, numerosos fenómenos y conceptos de la ciencia han cambiado de perspectiva y de validez. Las nociones de *espacio y tiempo*, de *relatividad*, *movimiento*, *masa*,

energía, *gravitación*, *inercia*, *simultaneidad*, *reposos*, los fenómenos del *efecto fotoeléctrico* y del *movimiento browniano* se han de consi-
derar en el marco de las nuevas ideas. Pero la vieja idea del éter, la quinta sustancia aristotélica, no pudo sobrevivir a las teorías del genio.

El quinto elemento de Aristóteles

Para Aristóteles, todo el mundo está compuesto por cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego, mientras que el mundo celeste, los cuerpos espaciales, estaban formados por una quinta sustancia llamada éter, que constituía un quinto elemento que les confería propiedades distintas, características de una mayor perfección.

Esta vieja palabra adquiere una dimensión distinta después de la revolución científica que supuso la mecánica newtoniana. Aunque la obra de Newton (1642 - 1727), al poder explicar la caída de los cuerpos en la Tierra y los movimientos de los planetas en el espacio con las mismas ecuaciones, supuso la ruptura con la idea aristotélica de la existencia de dos mundos (el terrenal y el celeste) con tipos de leyes diferentes, Newton seguía necesitando del éter. La mecánica newtoniana concebía el Universo lleno de un medio invisible (éter) donde se mueven las estrellas y a través del cual se propaga la luz. El éter era el elemento físico que materializaba la idea de espacio, fijo e inamovible, que la cosmología de Newton necesitaba como sistema de referencia con respecto al cual podía hablarse de movimientos absolutos. Ya antes Descartes (1596 - 1650) había afirmado que la simple separación entre las cosas demostraba la existencia de algo entre ellas.

Un soporte para las ondas de luz

La necesidad de la existencia del éter había de cobrar fuerza con el desarrollo de la teoría ondulatoria de la luz. Fresnel (1788 - 1827) afirma que si la luz está constituida por ondas, es necesario aceptar que el espacio está lleno con algo que pueda transportarlas, de la misma manera que el agua de un estanque transporta las ondas que se transmiten en su superficie.



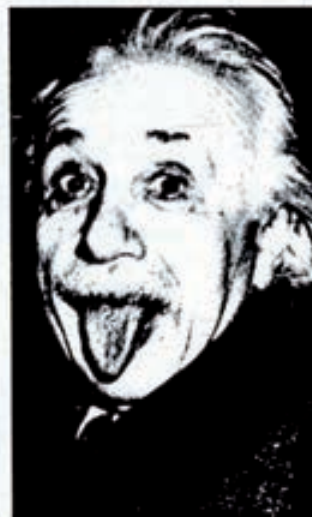
Los filósofos de la antigüedad definían al éter como «el alma del mundo». Para Aristóteles el éter era una quinta sustancia que confería a los cuerpos celestes propiedades distintas.



La mecánica newtoniana concebía el Universo lleno de un medio invisible (éter) donde se mueven las estrellas y a través del cual se propaga la luz.

Si la luz es onda y puede viajar del Sol y las estrellas hasta nosotros, el espacio interestelar debe estar lleno de éter.

Este éter, de cuya existencia no teníamos otras pruebas, debería ser un fluido muy ligero, muy tenue, que no opusiera ningún rozamiento al movimiento de los astros, pero que por otra parte debería



Para Einstein el éter no es necesario, el éter no existe.

tener propiedades comunes con los sólidos elásticos al poder transmitir ondas transversales. Era un sólido —pero— gas, de extrañas propiedades, que matemáticos como Cauchy (1788 - 1857) intentaron, sin éxito, poner en forma de ecuaciones.

El «viento» del éter

Los científicos A. A. Michelson y E.

W. Morley realizaron en 1881 una experiencia que pretendía medir la acción de frenado del éter sobre la luz, de la misma manera que es frenado un nadador cuando avanza río arriba. Al moverse la Tierra a través del éter debería generarse un «viento» del mismo que modificaría la velocidad de la luz, retrasando a un rayo que fuera emitido en la dirección del movimiento de la Tierra alrededor del Sol y acelerando a un rayo emitido en sentido contrario. La diferencia entre los dos valores debería ser el doble de la velocidad de la Tierra. Dado que la velocidad de la luz es muy grande comparada con la velocidad de la Tierra, la diferencia sería muy pequeña, pero el dispositivo de Michelson y Morley sería capaz de detectarla. El resultado de la experiencia fue sorprendente: No se observaba ninguna diferencia o, dicho de otra manera, la velocidad de la Tierra con respecto al éter era nula. No había «viento del éter». Morley repitió numerosas veces la experiencia llegando a la misma conclusión.

El éter no existe

El resultado de Michelson y Morley supuso un enorme problema para la comunidad científica. O se rechazaba la existencia del éter, tan necesario para explicar la transmisión de las ondas de luz, o había que poner en duda el movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

La solución al problema ya apuntada por el físico H. A. Lorentz, vino aportada por Einstein. La luz no necesita de ningún medio material para transmitirse, pues está formada por *cuantos* de luz (fotones), que son al mismo tiempo onda y partícula material y se propagan a través del vacío con una velocidad que es siempre constante, independientemente de que el cuerpo emisor esté o no en movimiento. Para Einstein, por tanto, el éter no es necesario, el éter no existe.

R. N. C.