

2005, 100 años de la Teoría de la Relatividad Especial

Los artículos de Einstein

El año de 2005 ocupa ya importante lugar en la historia humana. Además de otros acontecimientos en ese año, Albert Einstein publicó una serie de artículos que transformaron a la física moderna especialmente la teoría cuántica, la teoría molecular, y la teoría de la relatividad. Para los trabajadores de la energía, las propuestas sobre la naturaleza del electrón y la luz, y la transformación de materia en energía, son esenciales.

Al año 1905, en la vida de Einstein, se le llama *annus mirabilis* (año milagroso) porque, para una persona, es algo poco común. Ese año Einstein publicó cinco sobresalientes artículos. Antes, solamente Newton había hecho algo similar en 1665-1666 cuando propuso la ley de la gravitación, la teoría del color e inventó el cálculo diferencial e integral. Esta vez, Einstein volvió a revolucionar el conocimiento humano con sus propuestas nuevas acerca del mundo muy grande, a escala del universo (teoría de la relatividad), y del mundo muy pequeño, subatómico (teoría cuántica).

El Efecto Fotoeléctrico

Un 17 de marzo de 1905, Einstein envió a la revista alemana *Annalen der Physik* un artículo que a la postre, sería el motivo para reconocerlo con el Premio Nobel de Física de 1921. El artículo se intituló *Punto de vista heurístico concerniente a la emisión y la transformación de la luz*. Esta propuesta sería conocida como el Efecto Fotoeléctrico y se refiere a un nuevo concepto sobre la naturaleza de la luz. La luz interacciona con la materia como si estuviera formada por paquetes de energía, explicó.

Antes de Einstein, se conocía la teoría corpuscular (partículas materiales) de la luz propuesta por Newton. Ahora, de acuerdo a Einstein, la luz es una partícula y una onda a la vez. Es decir, la luz está formada por partículas (de energía) discretas pero, al mismo tiempo, tiene propiedades de onda. La luz es una dualidad onda-partícula.

Apenas en 1900, Max Planck había sugerido que la materia es una discontinuidad de la energía al indicar la existencia de cantidades discretas conocidas como *cuantos* de energía. Sin embargo, a la luz se le consideraba teóricamente como una onda electromagnética que oscilaba suavemente. Con la propuesta de Einstein fueron unificadas las ideas teóricas y experimentales al demostrar que los *cuantos* de luz, llamadas partículas de energía, podían explicar los fenómenos teórica y experimentalmente.

Este artículo fue recibido por la revista *Annalen der Physik* el 18 de marzo de 1905 y publicado el 19 de junio del mismo año. En dicho artículo Einstein aplicó el concepto de los *cuantos* para explicar el efecto fotoeléctrico, es decir, cómo un pedazo de metal cargado con electricidad estática podría descargar electrones al ser expuesto a la luz. Así fue como Einstein sugirió que la luz

2005 energía 5 (60) 32, FTE de México

está hecha de partículas conocidas como *fotones*.

Al contradecir la idea de que la luz era solamente una onda y explicar la naturaleza dual de la luz, al comportarse como partícula y onda, Einstein contribuyó a fundar la mecánica cuántica y a poner las bases, con el efecto fotoeléctrico, para varias tecnologías modernas.

El movimiento browniano

El 11 de mayo de 1905, la revista alemana de física recibió un nuevo artículo de Einstein, *Movimiento de partículas pequeñas suspendidas en líquidos en reposo exigido por la teoría cinético-molecular del calor*, mismo que fue publicado el 18 de julio.

Se conocía con anterioridad que la teoría cinética explicaba al calor como una consecuencia del continuo movimiento de agitación de los átomos. Este movimiento se aprecia mediante una prueba propuesta por Einstein, según la cual, si en un líquido se suspenden partículas muy pequeñas pero visibles, la acción irregular de los átomos invisibles del líquido debería producir que las partículas se movieran al azar.

Así ocurre en efecto. Tiempo ha, dicha experiencia había sido observada por los biólogos en el llamado "Movimiento browniano". Robert Brown al principio del siglo XIX había observado los movimientos irregulares y al azar de las partículas dentro de granos de polen en el agua.

Con su artículo, Einstein explicó detalladamente ese movimiento, reforzando la teoría cinética y creando una poderosa herramienta para el estudio de los átomos. Este artículo es una importante contribución a la mecánica estadística moderna. En breve descripción, Einstein demostró que los átomos existen como objetos reales.

Teoría de la relatividad especial

Este artículo, sobre la teoría de la relatividad especial, se recibió por *Annalen der Physik* el 30 de junio y fue publicado el 26 de septiembre. *Electrodinámica de los cuerpos en movimiento* lo intituló Einstein.

En general, el Principio de Relatividad se conocía mucho tiempo antes. Se sabía desde los tiempos de Galileo y Newton que

los objetos se comportan de la misma forma cuando están en reposo que cuando se mueven con velocidad uniforme (constante). En 1632, Galileo había sugerido que, en tales condiciones, todas las leyes de la física son las mismas. Newton, en el siglo XVII, aplicó el Principio de la Relatividad a las leyes de la mecánica.

Sin embargo, de acuerdo a la teoría electromagnética desarrollada por Maxwell y Lorentz, la luz no seguía este principio, es decir, la teoría predecía que las medidas de la luz se verían afectadas por el movimiento de la fuente. Pero ningún efecto se había detectado, en todos los casos resultaba que la luz no variaba.

La situación era terrible porque si el Principio se aplicaba solo a los fenómenos mecánicos, entonces Maxwell estaría equivocado pero, si se aplicaba solo a los fenómenos electromagnéticos, el que estaría equivocado sería Newton y, eso, estaba igual de mal o peor.

De acuerdo a las ecuaciones de Maxwell, la radiación electromagnética se mueve a través del espacio en forma de ondas. En esa época, los físicos pensaban que debía haber un medio a través del cual ocurriera ese movimiento, algo equivalente a las ondas del sonido que se mueven a través del aire. Entonces, inventaron al llamado *éter*, mismo que nunca fue encontrado pues no existe. En todos los experimentos realizados se ha demostrado que la velocidad de la luz es siempre la misma; en el vacío son 300 mil kilómetros por segundo.

Einstein dijo una vez que, cuando empezó a pensar en la teoría de la relatividad se ponía muy nervioso. "Solía estar durante aquellas semanas en un estado de confusión", dijo. Pero no, Einstein pensaba congruentemente en el asunto desde hacía al menos 10 años y estaba convencido que el Principio de la Relatividad debía aplicarse a todos los fenómenos sean mecánicos o electromagnéticos.

Efectivamente, con la nueva teoría de Einstein fue posible explicar la aparente incompatibilidad de la mecánica con el electromagnetismo. Los postulados de la relatividad (especial) de Einstein son dos: 1- Las leyes de la naturaleza son válidas en todos los marcos de referencia inerciales, 2- La velocidad de la luz es una constante. El

segundo postulado implica que la velocidad de la luz es siempre la misma no importando con que velocidad se muevan los observadores; y, el tiempo, se apreciará más lento cuando alguien se aproxime a la velocidad de la luz.

La teoría de Einstein conocida como Teoría Especial (o restringida) de la Relatividad se basa en un nuevo concepto del espacio y del tiempo. En breve descripción, para Newton, el tiempo y el espacio eran absolutos; para Einstein, ambos son relativos. Más aún, Einstein unificó esos conceptos en uno solo, el espacio-tiempo. Espacio y tiempo dejaron de ser conceptos separados; hoy, vivimos en un espacio-tiempo de 4 dimensiones.

Para arribar a sus conclusiones, Einstein descartó al *éter* lo que no hicieron otros relativistas como Henri Poincaré. Entonces, al eliminar al *éter*, fue posible explicar la mecánica de Newton y el electromagnetismo de Maxwell, pero solamente para cuerpos en movimiento uniforme, es decir, aquellos que se mueven en línea recta a velocidades constantes. Por eso, a esta teoría se le llama *restringida* o *especial*. Para explicar el movimiento del mundo real, en el cual los cuerpos cambian de velocidad y dirección, es decir, están sujetos a una aceleración la principal de las cuales es la gravedad, Einstein formuló en 1915 la teoría *general* de la relatividad.

Equivalencia de materia y energía

Este artículo fue recibido por la revista alemana de física el 27 de septiembre de 1905 y fue publicado el siguiente 21 de noviembre como *¿La inercia de un cuerpo depende de su contenido de energía?*. Este fue una adición al previo y establece, precisamente, que "la masa de un cuerpo es una medida de su contenido de energía".

El artículo se refiere a una de las consecuencias de la Teoría de la Relatividad Especial relacionada con la equivalencia de materia y energía. Esta equivalencia se debe a que *masa* y *energía* son cantidades proporcionales. Es decir, una pequeña *masa* implica una gran *energía* porque la proporcionalidad es la velocidad de la luz y, ésta es grande. Esto se expresa en la más famosa de las ecuaciones de la física de

2005 energía 5 (60) 33, FTE de México

todos los tiempos: $E=mc^2$, donde m representa a la masa, E es la energía y c es la velocidad de la luz igual a 300 mil km/s.

En síntesis, de acuerdo al propio Einstein, "... la masa es una medida directa de la energía contenida en los cuerpos...". Por otra parte, de acuerdo al Principio de Relatividad "... la luz transfiere masa...".

Los novedosos conceptos, han sido probados y comprobados varias veces hasta el día de hoy, sin embargo, le parecían chistosos a Einstein. "Esta idea es divertida y contagiosa pero posiblemente no puedo saber si el buen Dios no se ríe de ella y está tratando de embaucarme...", escribió. Pero no, se trata de verdades con grandes consecuencias no solamente para el conocimiento sino para la vida del mundo. Hoy en día, muchas tecnologías modernas, como los microchips, se basan en la teoría de la relatividad especial.

Teoría del movimiento browniano

Hacia fines de aquel 1905, Einstein escribió un artículo más, Teoría del movimiento browniano, recibido el 19 de diciembre y publicado el 8 de febrero de 1906.

Los artículos de 1905 no fueron los únicos trabajos de Einstein, vendrían muchos más, entre otros la Teoría General de la Relatividad (1915). Pero, desde 1905 Einstein elevó el entendimiento humano del cosmos a una nueva dimensión.

En 1905, también, Einstein presentó su disertación doctoral y recibió el grado de doctor (PhD) por la Universidad de Zúrich, Suiza. La tesis había sido rechazada en 1901 y era un excepcional trabajo sobre la teoría cinética de los gases. Einstein había descartado la idea de volver a presentar la "comedia", como le llamó a la obtención de un grado avanzado. Pero, en 1905, decidió volver a intentarlo. De acuerdo a su hermana Maja, presentó un trabajo sobre Relatividad Especial pero la Universidad lo encontró "un poco inexplicable". Entonces, cambió la propuesta por "Una nueva determinación de las dimensiones moleculares" la cual fue terminada el 30 de abril y aceptada en julio de 1905.

En ese tiempo Einstein tenía 26 años, se había casado con Mileva Marič y habían nacido Liesserl y Hans Albert. En 1906, en su

2005 energía 5 (60) 34, FTE de México

modesto trabajo, reconociendo el éxito de su disertación doctoral, de experto técnico de tercera clase en la Oficina de Patentes de Suiza el genio fue ascendido a técnico experto de segunda clase.

A ese momento, en realidad, Einstein estaba convertido en titán de la ciencia después de Galileo, Newton, Maxwell y Lorentz "... los cuatro hombres que situaron los fundamentos de la física, basado en los cuales yo he sido capaz de construir mi teoría...", como diría después. Las contribuciones de Einstein se podrían resumir en tres grandes ideas: la velocidad de la luz, el destino del universo y la naturaleza del tiempo.

Los trabajadores de la energía de México, estamos interesados en tan importante conocimiento porque nuestro trabajo diario se relaciona, nada menos, que

con las ideas de Einstein y sus consecuencias acerca de la luz, el electrón, y la transformación de materia en energía, esencia del proceso de trabajo energético.

Referencias

- Bahen D. 1995, Teoría Especial de la Relatividad, UNAM.
- Bahen D. 2004, Special Theory of Relativity, UK.
- Burnham R. 2005, en Astronomy, February 2005, www.astronomy.com
- Stix G. 2004, en Scientific American, September 2004, www.sciam.com
- The Center for History of Physics 1996-2005, American Institute of Physics, www.aip.org



Academia Olimpica de Einstein en Berna, Suiza.
Eran miembros de la misma, Konrad Habicht,
Maurice Solovine y Albert Einstein.
FOTO: ETH-Bibliothek, Zürich

A. Einstein