

2005, 100 años de la Teoría de la Relatividad Especial

El efecto fotoeléctrico

- Nuevo concepto de la estructura de la luz, es una onda y una partícula.
- Las partículas de luz son “cuantos de luz” o fotones.
- El átomo tiene propiedades cuánticas, el electrón también.

La hipótesis atómica

El artículo sobre el efecto fotoeléctrico fue enviado por Einstein a la revista *Annalen der Physik* el 17 de marzo, recibido al siguiente día y publicado el 9 de junio de 1905. Más tarde, por esta importante contribución, Einstein sería galardonado con el Premio Nobel de Física de 1921.

Para descubrir esas pequeñas “partículas” que nadie había visto, Einstein se basó en el amplio conocimiento acumulado previo. Los años anteriores habían sido intensos: J.J. Thompson en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, había realizado experimentos para investigar el interior del átomo.

Al tiempo de Einstein, los descubrimientos eran enormes. 2 mil años después de las primeras propuestas de los “atomistas” griegos representados, entre otros, por Demócrito y Epicuro la *hipótesis atómica* sobrevivía y era confirmada.

Hoy, la hipótesis “atómica” sigue siendo válida pero basada en nuevos conceptos. Por ejemplo, hoy se sabe que, el átomo es divisible e incluso tiene estructura y dinámica internas. La palabra *átomo* que significa indivisible es incorrecta pero, la idea esencial de un mundo construido por entidades esenciales, hoy conocidas como partículas elementales, sigue vigente.

La más fundamental de todas las partículas es el *electrón*. Einstein, desde su primer artículo

científico, estaba convencido de la existencia y validez de leyes universales.

El descubrimiento del electrón

Desde la antigüedad se conocía la naturaleza eléctrica y magnética de la materia. En 1893, Thompson dijo que había tenido la oportunidad de penetrar en los secretos de la electricidad. A partir de sus experimentos y los realizados por H. Hertz, P. Lenard y E. Wiechert, se descubrió una nueva estructura de la materia consistente en la existencia de partículas cargadas en el interior del átomo.

En 1897, se realizaron 3 importantes experimentos. Primero, se detectaron los famosos *rayos catódicos* mismos que depositaban una carga eléctrica. Pero la carga no podía estar separada de los rayos, se decía. Luego, se propuso desviar los rayos con un campo eléctrico y, eso, no ocurrió. Entonces, Thompson concluyó que los rayos catódicos eran cargas negativas de electricidad transportadas por pequeñas partículas de materia, partículas “corpúsculares” les llamó.

Después se propuso determinar las propiedades básicas de esas partículas y se midió la relación de la masa de la partícula a su carga eléctrica. Esta relación, numéricamente, resultó ser muy pequeña y lo es. Lo importante fue confirmar el descubrimiento de la nueva partícula que caracteriza a la estructura de la materia y tiene

2005 energía 5 (61) 36, FTE de México

amplia importancia en la vida diaria. Tecnologías como la televisión y la computación están basadas en la existencia, entendimiento y aplicación de las propiedades del electrón, lo mismo la industria eléctrica y las telecomunicaciones.

Desde 1891, G.J. Stoney le había llamado *electrón* a esa “partícula cargada”. En 1897, E. Rutherford descubrió que, efectivamente, el átomo tiene una estructura interna formada por un núcleo, masivo cargado positivamente, y una periferia ligera cargada negativamente, formada por electrones. El electrón tiene carga negativa y se considera como la más fundamental de las partículas elementales, es decir, el electrón no parece tener estructura interna evidente.

J.C. Maxwell y H. A. Lorentz establecieron la naturaleza ondulatoria de la radiación electromagnética, confirmada por diversos experimentos sobre interferencia, difracción y dispersión de la luz. En 1871, en el Laboratorio Cavendish, Maxwell desarrolló las ecuaciones de la electrodinámica unificando a la electricidad y el magnetismo. H. A. Lorentz propuso una primera teoría sobre el electrón.

Los cuantos de luz

Contradiendo a la noción prevaleciente en su época, de que la luz era solamente una onda electromagnética, Einstein propuso que la luz, en ciertas circunstancias, es una entidad continua y se comporta como una onda electromagnética pero, en otras circunstancias, se comporta como una entidad discontinua, es decir como partículas individuales (o discretas).

A estas partículas les llamó “cuantos de luz” porque transportan un “cuanto”, es decir, una cantidad (discreta) de energía. La cantidad de energía de un haz de luz está formada por la suma de las energías de esos “cuantos de luz”, llamados también “fotones”.

Las teorías, como la electromagnética, en las cuales la energía está “cuantizada” se llaman teoría “cuánticas”. El antecedente inmediato de Einstein ocurrió en Alemania con los trabajos de Max Planck.

La teoría cuántica

Con la llegada del siglo XX, en 1900, Planck a partir de la teoría electromagnética de Maxwell y Lorentz había realizado experimentos para explicar

la peculiaridad del espectro de radiación del llamado *cuero negro* y tratado, sin éxito, de obtener una expresión matemática para la distribución observada de la distribución de energía emitida con diferentes longitudes de onda.

Para resolver el problema, Planck sugirió que la energía de la radiación no es continua, como se esperaría de las ondas, sino que está cuantizada, es discontinua, formada por cantidades discretas o “cuantos de energía”. De esta manera, Planck descubrió la estructura cuántica de la radiación electromagnética.

La comprensión teórica de resultados previos fue realizada por Einstein, precisamente con la propuesta del efecto fotoeléctrico. Einstein aplicó a la electrodinámica la formulación termodinámica de L. Boltzmann, quien había sugerido que las leyes de la termodinámica podrían derivarse de la aplicación de la mecánica estadística al movimiento de los átomos.

La aproximación de Boltzmann implicaba la discontinuidad de la materia. Eso llevó a Einstein al descubrimiento del fotón y de sus propiedades fundamentales.

El efecto fotoeléctrico

En síntesis, este efecto fotoeléctrico consiste en la expulsión (o descarga) de electrones cuando una placa de metal, cargada con electricidad estática, es irradiada con luz. La teoría ondulatoria no explica satisfactoriamente este fenómeno porque la energía de una onda (continua) se extiende sobre la superficie del metal. Los cuantos de luz, sin embargo, actúan como partículas que interaccionan con los electrones del metal, los cuales absorben al cuanto de luz y, luego, son expulsados del metal.

Varios experimentos, con diferentes materiales, se han realizado para comprobar el efecto fotoeléctrico. De acuerdo a la teoría de Einstein, la luz está formada de partículas y la energía de cada partícula es proporcional a la frecuencia de la luz. La constante de proporcionalidad es la llamada constante de Planck. Esta es una constante de la naturaleza y es muy pequeña pero de gran significado. Es tan pequeña que las propiedades “cuantizadas” de la luz no las podemos ver pero nos ayudan a explicarnos muchos fenómenos de la naturaleza.

Para remover al electrón, de la superficie de una placa de metal u otro material sólido, se necesita una cierta cantidad mínima de energía la

cual depende del material. Si la energía de un fotón es mayor que éste valor mínimo, el electrón es emitido de la superficie del metal. Es decir, el electrón es expulsado transportando una cierta cantidad de energía cinética debida a su propio movimiento.

Estas y otras ideas de Einstein revolucionaron al conocimiento moderno de la humanidad. Con el concepto de la naturaleza dual de la luz, que se comporta como onda y como partícula, Einstein puso sólidas bases para el desarrollo de la física cuántica.

Hoy se sabe que el átomo exhibe una estructura cuántica, el electrón también tiene propiedades cuánticas. La teoría cuántica significa el entendimiento del átomo y permite una explicación de la estructura de la materia. El electrón es la primera de todas las demás partículas elementales y es de naturaleza cuántica dual (onda-

2005 energía 5 (61) 37, FTE de México partícula). El efecto fotoeléctrico, a su vez, es la base de varias tecnologías modernas.

Referencias

- Bahen D. 2000, *La Hipótesis Atómica*, FTE.
- Bahen D. 2000, *El Efecto Fotoeléctrico*, FTE.
- Cassidy D. 1999, *Einstein and our World*, Humanity Books.
- Hey T., Walters P. 1997, *Einstein's Mirror*, Cambridge University Press.
- Smolin L. 2004, en *Discover*, vol 25, no.9, p.36. www.discover.com
- Stix G. 2004, en *Scientific American*, sep 2004, p.28. www.sciam.com
- The Center for History of Physics 1996-2005, American Institute of Physics, www.aip.org.



Albert Einstein en 1921 en Londres. Con base en sus aportaciones sobre el efecto fotoeléctrico fue reconocido con el Premio Nobel de Física correspondiente a 1921.