



Entorno nuclear

UN EXPERIMENTO MUY FAMOSO

Por Leandro Meléndez Lugo, lml@nuclear.inin.mx
Departamento de Física

*Lo importante es no dejar de
hacerse preguntas*
Albert Einstein (1879-1955)

Resumen

En este trabajo se pretende exhibir detalles, que pueden ser importantes, del famoso experimento de Michelson-Morley (1887) así como de algunos de los postulados de Einstein relacionados con aquel. Generalmente se afirma que los resultados de este famoso experimento dieron bases sólidas para el desarrollo de las teorías de Relatividad de Albert Einstein. Descubrimientos científicos recientes apuntan hacia la existencia de "algo" en el vacío, que parece estar relacionado con la materia y la energía "oscurecidas" de las teorías cosmológicas, el cual podría ser parte del legendario éter.

I.- Introducción

Un equipo de científicos británicos ha creado una réplica virtual del cerebro de uno de los genios más grandes de la historia, Albert Einstein, cuando se cumplen 50 años de su muerte. Originalmente, el cerebro fue dividido en 240 piezas tras el fallecimiento de Einstein. Las piezas, envueltas en celoidina, material transparente e impermeable, muestran, entre otras cosas, una gran cantidad de sinapsis (conexiones neuronales), en contraste con una

menor cantidad encontrada en el cerebro común. Éstas parecen ser la explicación de la genialidad, ya que el cerebro de Einstein resultó tener escaso peso (1,230 grs.) en comparación con los 1,400 grs. promedio del cerebro de un adulto.

La genialidad de Einstein lo hizo desarrollar, entre otras cosas, las famosas teorías de la relatividad. Ambas, muy controvertidas pero sin duda revolucionarias al grado que aun a cien años de la publicación de la teoría especial y casi noventa de la teoría general, permanecen en un plano muy relevante del escenario científico internacional. Resulta, pues, importante volver a los orígenes y repasar como sucedieron las cosas.

Una de las consideraciones básicas de Albert Einstein para la formulación de sus teorías de la Relatividad, parece haber sido los resultados contradictorios del experimento de Michelson-Morley, realizado en 1887 [1]. En su artículo, "Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento"[2], Einstein menciona los intentos infructuosos de detectar un movimiento de la tierra con relación al "medio lumínico"; esto conectado al concepto de reposo absoluto. En otro punto de este mismo artículo se afirma que la introducción de un "éter lumínico" es superflua.

En el mismo artículo de Einstein se dice: "*las leyes de la electrodinámica y la óptica serán*

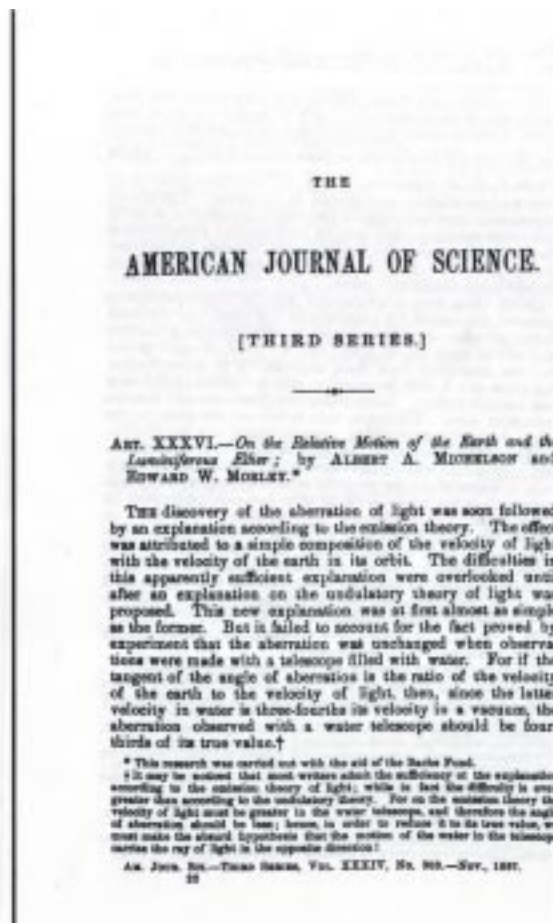
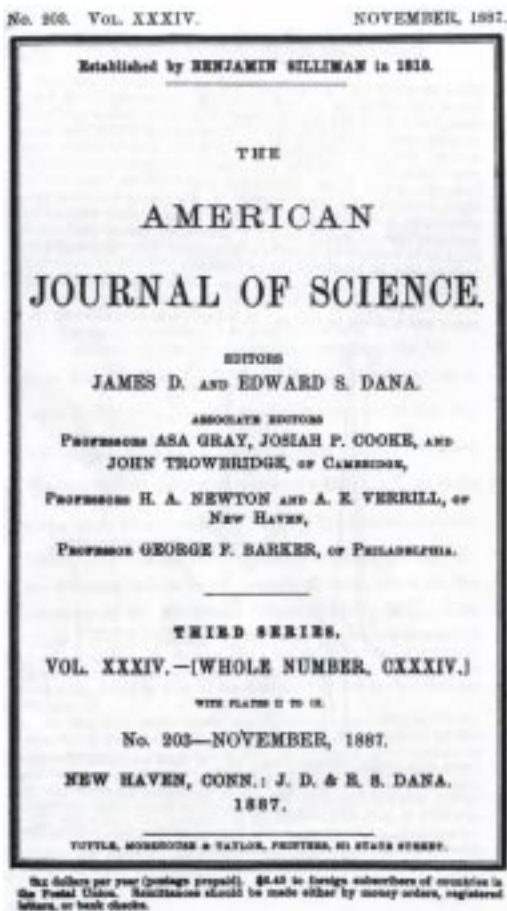


válidas para todos los sistemas de coordenadas en los que rigen las ecuaciones de la mecánica, como ya se ha mostrado para cantidades de primer orden. Elevaremos esta conjetura (cuyo contenido será denominado en adelante "el principio de relatividad") al estatus de un postulado e introduciremos también otro postulado, que es sólo aparentemente incompatible con él, a saber, que la luz se propaga siempre en el espacio vacío con una velocidad definida V que es independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor".

Nótese que el postulado que hace referencia a la velocidad de la luz sólo hace mención de una velocidad bien definida y a la velocidad

de la fuente, no al movimiento de un observador. No obstante, Einstein generaliza y en el punto 3 del artículo de marras dice: "Así pues, nuestra onda es también una onda esférica con velocidad de propagación V cuando se observa en el sistema en movimiento".

Aunque se han publicado una gran cantidad de trabajos que intentan contradecir las teorías de la relatividad[3] y también se ha mostrado que existen transformaciones más generales que las transformaciones de Lorentz[4], estas teorías han resultado ciertas a nivel experimental. A pesar de todo esto, en el presente trabajo se señalan algunos aspectos interesantes tanto del experimento de Michelson-Morley



Esta revista científica, fundada en 1818 por Benjamín Silliman, es la más antigua de los Estados Unidos que se haya publicado de manera continua, con un factor de impacto de 3.6 en el año de 2003. Es indudable la importancia y la seriedad del famoso artículo de 1887.

como del postulado de la velocidad de la luz, en relación con el éter que no acaba de morir.

II.- Experimento de Michelson-Morley

A continuación se muestra una copia de los datos de la revista *The American Journal of Science* y la primera página de la publicación original de Michelson-Morley de 1887[1]:

El primer autor del artículo que aparece en esta copia, Albert A. Michelson, antes de realizar el famoso experimento hizo algunos estudios sobre la luz. Uno de sus éxitos fue determinar, con una precisión mejorada de acuerdo a la época, la velocidad de la luz como de 186,350 millas por segundo en 1879, probablemente con un error de alrededor de 30 millas por segundo. Después de este triunfo, Michelson y Morley enfrentaron el siguiente reto: detectar el viento del éter. Aunque la idea original del experimento tuvo como base *la aberración de la luz estelar* de James Bradley, este último había observado en 1725 un cambio aparentemente estacional en la posición de una estrella, llamada α Draconis, situada en el cenit, la cual parecía moverse en una órbita casi circular con un periodo de un año. Este fenómeno se denomina aberración y se debe a la velocidad finita de la luz y a la velocidad de la Tierra en su órbita alrededor del sol. Sin embargo, el mismo Michelson planteó el objeto del experimento sugiriendo que, así como la velocidad del sonido es relativa al aire, así también la velocidad de la luz podría ser relativa al éter.

En este punto Michelson tuvo una idea muy inteligente para detectar el viento del éter. Su hija relató como Michelson aclaró a sus hijos el problema a resolver, con un ejemplo muy simple:

Supóngase que tenemos un río con una anchura W (digamos 100 pies), dos nadadores que alcanzan ambos una misma velocidad c en agua quieta (digamos 5 pies por segundo). El río fluye a una velocidad constante V de 3 pies por segundo. Los nadadores compiten de la siguiente manera: parten del mismo punto muy cerca de una de las orillas del río. Uno nada directamente perpendicular a la corriente del río, buscando arribar al punto más cercano de la otra orilla, luego da vuelta y regresa al punto de partida. El otro nadador nada río arriba una distancia exactamente igual al ancho W del río, luego regresa al punto de partida. ¿Quién es el ganador?

El nadador transversal debe intentar arribar, no al punto más cercano de la otra orilla, sino a un punto, un poco río arriba ya que la corriente lo tiende a desviar en la dirección del flujo del agua. Dada una velocidad del nadador de 5 pies por segundo y una velocidad de la corriente de 3 pies por segundo, que lo tiende a desviar, la velocidad transversal efectiva resulta ser de 4 pies por segundo. Cruza en 25 segundos y emplea otros 25 segundos en regresar al punto de partida, total 50 segundos.

Un segundo nadador longitudinal, que nada a lo largo de la corriente, río arriba tiene una velocidad efectiva de 2 pies por segundo, por tanto emplea 50 segundos en recorrer los 100 pies. De regreso, su velocidad efectiva o relativa a la orilla del río es de 8 pies por segundo, emplea 12.5 segundos en regresar, en total 62.5 segundos.

El nadador transversal gana con una diferencia de 12.5 segundos.

En este punto, cabe hacer notar que si se considerara solamente el viaje de ida de los dos nadadores, la diferencia en tiempos sería mu-



cho mayor (25 segundos) en comparación con los 12.5 segundos de la diferencia en el recorrido total.

La idea de Michelson fue construir una carrera similar para pulsos de luz, con el viento del éter en lugar del río.

Los tiempos calculados para los dos pulsos de luz son:

Tiempo pulso transversal:

$$T_{tr} = (2W / C) / (1 - V^2 / C^2)^{1/2} \quad (1)$$

Tiempo pulso longitudinal:

$$T_{lo} = (2W / C) / (1 - V^2 / C^2) \quad (2)$$

La diferencia aproximada es:

$$\Delta T \approx (2W / C) (V^2 / C^2) / 2 \quad (3)$$

III.- Detalles del experimento

Cuando se ponen los valores $V = 3 \times 10^4$ m/s, para la velocidad con que la tierra se desplaza alrededor del sol, $C = 3 \times 10^8$ m/s para la velocidad de la luz, y para las dimensiones $W \approx 1$ m en las ecuaciones anteriores, se encuentra que $\Delta T \approx 10^{-17}$ s.

El tiempo que se intentaba medir en el experimento de Michelson-Morley era del orden de 10^{-17} segundos.

En este tiempo la luz recorre una distancia de aproximadamente $\Delta X \approx 10^{-5}$ milímetros o una centésima de micra. Esta distancia podría ser rebasada por un error en la posición de cualquiera de los espejos.

Por otra parte, en la página 4 del artículo original, Michelson y Morley, entre otras cosas,

dicen que *utilizaron ondas de luz amarilla* para reducir errores tratando de mantener una sola longitud de onda para generar el patrón de interferencia.

En la misma página también señalan que al *girar el aparato se producía distorsión*. Otro problema fue *la extrema sensibilidad a la vibración*. *Esta era tan grande que fue imposible ver las franjas de interferencia, excepto en intervalos breves, cuando trabajaban en la ciudad hacia las dos de la mañana*. Esta última dificultad, según afirman en la página 5, la resolvieron *incrementando, con repetidas reflexiones en los espejos, la trayectoria de la luz en alrededor de diez veces*.

En esta misma página señalan que la luz utilizada la produjeron con un farol, (*"an argan burner"*).

Toda la porción óptica fue cubierta con madera para prevenir cambios bruscos de temperatura ya que, después de cada giro del aparato, se debían de esperar medio minuto para realizar la lectura ya que en este tiempo había deformaciones que, suponían, eran producidas por cambios en la temperatura.

En el interferómetro tenían un tornillo para ajustar la posición de un espejo, lo cual, a su vez, variaba la longitud de la trayectoria de la luz. En en la página 7 dicen: *el tornillo que alteraba la longitud de la trayectoria se movía lentamente (una vuelta del tornillo de cien hilos por pulgada alteraba la trayectoria cerca de 1000 longitudes de onda)*. Con una vuelta completa, el tornillo avanza aproximadamente algunas décimas de milímetro. Para variar la longitud de la trayectoria de la luz en $\Delta X \approx 10^{-5}$ milímetros habría que girar el tornillo una pequeñísima fracción de una vuelta, aproximadamente 10^{-2} grados.



Por último, cabe señalar que claramente dicen en la página 8: *parece justo concluir de la figura que si hay un desplazamiento debido al movimiento relativo de la tierra y el éter luminífero, éste no puede ser mucho mayor que 0.01 de la distancia entre las franjas.*

IV.- El éter

Aproximadamente 200 años antes de la medición de la velocidad de la luz realizada por Michelson, Newton sugirió que la luz consistía de pequeñas partículas generadas en un objeto caliente. El archienemigo de Newton, Robert Hooke, exteriorizó que la luz debería ser algún tipo de movimiento ondulatorio.

Un argumento fuerte para describir a la luz mediante partículas es que la luz viaja en línea recta. El sonido, que es vibración del aire que se trasmite, se puede escuchar a la vuelta de una esquina a cierta distancia, sin ver directamente al emisor; pero no es posible ver algo que esté a la vuelta de la esquina. En caso de que la luz fuera una onda ¿qué es lo que vibra?, ya que aun en el vacío, entre la tierra y el sol, se trasmite la luz.

Tiempo después de estas especulaciones, alrededor del año 1800, se estableció que la luz es algún tipo de onda. Fue hasta cierto punto natural suponer que la luz se propaga a través de un medio material misterioso (éter).

Si el éter existiera como un medio material en el que las ondas de luz se propagan, tal como Einstein afirmó habría que dotarlo de propiedades especiales.

Estas propiedades podrían ser:

a).- Tendrían que vibrar sus partes "materiales" del mismo modo que el aire vibra al transmitir las ondas sonoras. Si no hay aire no hay soni-

do, si no hay éter parece que ¡sí hay luz!

b).- Como sucede con una onda material, la velocidad de la luz no depende de la velocidad del emisor (el postulado de Einstein vale para ondas sonoras. Así que quizá se pueda establecer una teoría de relatividad para ciegos o para murciélagos).

c).- Conforme aumenta la elasticidad de los medios materiales la velocidad de las ondas aumenta y, por tanto, el éter debería ser muy elástico.

d).- Conforme un medio se hace más ligero la velocidad de las ondas aumenta; por tanto, el éter debería ser sumamente ligero.

e).- Debido a que tanto los cuerpos materiales como la luz no sufren de rozamiento cuando se mueven a través del éter, éstos se comportan como los electrones (pares de Cooper) en un superconductor y el éter resultaría ser un superconductor de materia y energía.

f).- Una característica del éter parece manifestarse mediante la aceleración del universo. Actualmente se considera que existe una fuerza del vacío, representada en algunos casos por la constante cosmológica de Einstein, que acelera al universo en su expansión. Este efecto se le atribuye a la llamada "energía oscura", distinta de la también etérea "materia oscura" con la que se justifica la excesiva velocidad de rotación de estrellas y galaxias. Esta energía oscura ha sido detectada a través de la observación de explosiones de supernovas, cuya luz parece ser afectada por la aceleración de la expansión del universo. Por tanto, debe de existir algo más que puramente vacío, algo muy sutil (que actúa sobre el espacio, no sobre la materia) pero que acelera la expansión del universo.



g).- Las características de la luz propagándose en el éter parecen ser muy distintas a las ondas gravitacionales propagándose en el espacio-tiempo. ¿Afectaría la curvatura del espacio-tiempo a la velocidad de propagación de las ondas gravitacionales? Se podría pensar en la existencia de una teoría de la relatividad para ciegos y sordos con base en ondas gravitacionales. Desafortunadamente no se han podido detectar las ondas gravitacionales.

h).- Podría la radiación de fondo, detectada por Penzias y Wilson, ser parte del éter: ¿podría, esta radiación, hacer las veces de un sistema de referencia absoluto?

V.- Algunos comentarios y conclusiones

Se han realizado infinidad de experimentos que confirman el resultado "nulo" del experimento original de Michelson-Morley [5] y también muchos que no obtienen tal resultado "nulo"[6].

Algunos autores como Miller[6], quien tuvo una fuerte confrontación con Einstein, dijo que midió una velocidad de la tierra a través del éter de aproximadamente 10 km/s. Él argumentó que el sistema solar se mueve, en la galaxia, a aproximadamente 200 km/s perpendicularmente a la eclíptica.

De hecho, resulta sumamente aventurado afirmar que con el experimento de Michelson-Morley se podría determinar una velocidad del viento del éter de 30 km/s. Además de los movimientos propios del planeta (rotación y traslación) y los movimientos del sistema solar con respecto al centro de la galaxia, existen seguramente los movimientos de la propia galaxia dentro del grupo local, y también los movimientos del cúmulo completo a través del éter. Determinar la dirección y la rapidez del

viento del éter parece ser muy complicado.

El resultado "nulo" no parece ser posible, desde el punto de vista experimental, hecho que confirman Michelson-Morley al decir, en la página 8 de su artículo, que si acaso existe, el desplazamiento buscado no debe exceder de 0.01 de franja. Este comentario del artículo original de Michelson-Morley deja abierta la posibilidad de tener algún valor para la velocidad del viento del éter.

Ha habido otros experimentos famosos en los que sí se han tenido errores monumentales, por ejemplo: Las predicciones de Einstein sobre la desviación de la luz cuando pasa cerca de masas gravitacionales relativamente grandes, no pudieron ser comprobadas inmediatamente, en 1915, a causa de la primera guerra mundial, y no fue posible hacerlo hasta 1919, en que una expedición británica, observando un eclipse desde África oriental, demostró que la luz era verdaderamente desviada por el sol, justo como la teoría predecía. Stephen W. Hawking relata que[7]: *Esta comprobación de una teoría alemana por científicos británicos fue reconocida como un gran acto de reconciliación entre los dos países después de la guerra. Resulta irónico, que un examen posterior de las fotografías tomadas por aquella expedición mostrara que los errores cometidos eran tan grandes como el efecto que se trataba de medir.*

Volviendo al tema del éter, éste ha parecido ir y venir: Albert Einstein, quien consideró superflua la introducción de un éter lumínico, en cierto modo lo substituyó con el espacio-tiempo que se curva ante la presencia de materia y energía, con respecto al cual los móviles se desplazan siguiendo trayectorias geodésicas, el cual, sin duda, también está dotado de propiedades especiales como las tuvo el éter.

También en la Mecánica Cuántica Relativista, ▶

en particular con relación a los espectros de las soluciones de la ecuación de Dirac, se hizo necesario introducir la existencia de una especie de éter, llamado el Mar de Dirac, que fue dotado también con propiedades muy peculiares.

Retomando al postulado de Einstein de la velocidad de la luz, que también se satisface en la propagación de ondas sonoras a través de un medio material, se han realizado un número importante de experimentos. Se ha demostrado experimentalmente el postulado relativo a la luz: Es posible producir piones neutros que viajan a 185,000 millas/s. A esta velocidad decaen en una pequeña explosión emitiendo rayos gama[8]. Se mide la velocidad de esta luz y resulta ser 185,300 millas/s.

Un tema clave que incomoda, desde el punto de vista de la física tradicional, es el que la velocidad de la luz sea la misma para todos los observadores. Este hecho contradice la ley de la naturaleza que dice que la velocidad de las ondas materiales depende de la velocidad del observador respecto del medio. El argumento es que no se trata de ondas materiales

sino de ondas de luz. Esto, sin duda indica que la luz es algo extraordinario en la naturaleza. Por una parte, se le adjudican a la luz dos propiedades importantes que cumplen las ondas materiales: es un movimiento ondulatorio y su velocidad no depende de la velocidad del emisor. Por otra parte, se elabora una ley que no existe en otro caso en la naturaleza: viaja con la misma velocidad para todos los observadores. Esto último no forma parte del postulado de la luz de la relatividad, sin embargo Einstein lo utiliza en el trabajo antes mencionado como un hecho.

Ciertamente, no es fácil tener observadores que viajen a grandes velocidades. El observador más veloz que encontraron Michelson y Morley, la tierra, viaja a sólo 30 km/s. Esta velocidad parece demasiado pequeña como para dejar satisfechos a los inconformes.

Habrà en el futuro seguramente mucha especulación al respecto. Sin duda, este es un buen año para reflexionar sobre esa y otras cuestiones revolucionarias de la ciencia. ☐

REFERENCIAS.

- [1] Albert A. Michelson and Edward W. Morley, "On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether", *The Amer. Jour. of Sci.*, Vol. 34, 333 (1887).
- [2] John Stachel, "Einstein 1905: un año milagroso(Cinco artículos que cambiaron la física)", *Drakontos Clásicos, EDITORIAL CRITICA, S. L.* (2001).
- [3] Leon Brillouin, "Relativity Reexamined", *Academic Press* (1970).
- [4] F. Sèller, "Noninvariant One-Way Velocity of Light", *Found. of Phys.*, Vol. 26, 641 (1996).
- [5] Holger Müller, et al., "Modern Michelson-Morley Experiment Using Cryogenic Optical Resonators", *Phys. Rev. Lett.*, Vol 91, 020401-1 (2003).
- [6] Dayton C. Miller, "The Ether-Drift Experiment and the Determination of the Absolute Motion of the Earth", *Rev. of Mod. Phys.* Vol. 5, 203 (1933).
- [7] Stephen W. Hawking, "A BRIEF HISTORY OF TIME(From the Big Bang to Black Holes)", Bantam Books (1990).
- [8] T. Alvåger et al. *Phys. Lett.* Vol. 12, 260 (1964).[1] NORMA Oficial Mexicana NOM-156-SSA1-1996, Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.