Revista Boliviana de Física **11**, 78–79 (2005)

¿DEPENDE LA INERCIA DE UN CUERPO DE SU CONTENIDO ENERGÉTICO? [1]

Albert Einstein

Berna, 27 de Septiembre de 1905

Los resultados de la investigación previa llevan a una conclusión muy interesante que se deducirá en este trabajo. Dicha investigación tuvo como base las ecuaciones de Maxwell-Hertz para el espacio vacío y la expresión de Maxwell para la energía electromagnética del espacio. Adicionalmente se tenía el principio de relatividad: *las leyes por la que se modifican los estados de los sistemas físicos, son independientes de la elección de cualquiera de dos sistemas de coordenadas que están en movimiento paralelo de traslación respecto uno del otro, y a los cuales se refieren dichas modificaciones de estado.*

Con estos principios ([2]) como base de mis investigaciones, deduje, *inter alia*, el siguiente resultado (sección 8): Sea un sistema de ondas planas luminosas que, referidas al sistema de coordenadas (x, y, z) posee energía l; supongamos que la dirección del haz luminoso forma un ángulo ϕ con el eje X del sistema. Si se introduce un nuevo sistema de coordenadas (ξ, η, ζ) con movimiento uniforme de traslación paralela con respecto al sistema (x, y, z), cuyo origen se mueve a lo largo de la coordenada x con velocidad v, entonces la energía de la luz medida en el sistema (ξ, η, ζ) es

$$l^* = l\frac{1 - \cos\phi\ v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

donde c denota a la velocidad de la luz. Haremos uso de este resultado en lo que sigue.

Supongamos que un cuerpo estacionario se encuentra en el sistema (x, y, z) y su energía, referida a este sistema, es E_0. La energía de este cuerpo con respecto al sistema (ξ, η, ζ) que se mueve con velocidad v será H_0. Ahora supongamos que este cuerpo emite ondas planas luminosas en la dirección que forma el ángulo ϕ con respecto al eje de las x, así como en la dirección opuesta; la energía de estas ondas será $L/2$ al medirse desde el sistema (x, y, z). El principio de energía debe aplicarse a este proceso con respecto a ambos sistemas de coordenadas (por el principio de relatividad). Llamemos E_1 o H_1 a la energía emitida cuando se mide en el sistema (x, y, z) o (ξ, η, ζ) respectivamente. Así, empleando la relación dada arriba se obtiene:

$$\begin{aligned} E_0 &= E_1 + L/2 + L/2, \\ H_0 &= H_1 + \frac{1}{2}L\frac{1 - \cos\phi\ v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + \frac{1}{2}L\frac{1 + \cos\phi\ v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ &= H_1 + \frac{L}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \end{aligned}$$

Por sustracción se obtiene:

$$H_0 - E_0 - (H_1 - E_1) = L\left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1\right].$$

Las dos diferencias de forma de $H - E$ que se encuentra en esta fórmula tienen significados físicos sencillos. H y E son los valores de la energía del mismo cuerpo referida a dos sistemas de coordenadas que se mueven uno con respecto al otro, estando el cuerpo en reposo en uno de estos sistemas (el sistema (x, y, z)). Está claro pues que $H - E$ puede diferir de la energía cinética K del cuerpo, con respecto al sistema (ξ, η, ζ), por una constante aditiva C que depende de la elección de las constantes aditivas de las energías H y E. Así, podemos escribir

$$\begin{aligned} H_0 - E_0 &= K_0 + C, \\ H_1 - E_1 &= K_1 + C, \end{aligned}$$

ya que C no varía durante la emisión de luz. Tenemos pues:

$$K_0 - K_1 = L\left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1\right].$$

Esto significa que la energía cinética del cuerpo respecto al sistema (ξ, η, ζ) disminuye como resultado de la emisión de luz, y la magnitud de dicha disminución es independiente de las propiedades del cuerpo. Es más: la diferencia $K_0 - K_1$, así como la energía cinética del electrón (sección 10), depende solamente de la velocidad. Despreciando las magnitudes de cuarto orden y órdenes superiores, podemos escribir

$$K_0 - K_1 = \frac{1}{2}\frac{L}{c^2}v^2.$$

De esta ecuación sigue directamente que: *Si un cuerpo emite una cantidad L de energía en forma de radiación, su masa disminuye en L/c^2.* El hecho de que la energía emitida por el cuerpo se convierta en energía de radiación, evidentemente no hace diferencia alguna, así que podemos escribir una conclusión más general:

[1] Traducción realizada por Diego Sanjinés C. a partir de "Does the Inertia of a Body depend upon its Energy-content?", A. Einstein, en *The Principle of Relativity* (Dover, 1952), p. 69.

[2] El principio de constancia de la velocidad de la luz ya está comprendido por la ecuaciones de Maxwell.

La masa de un cuerpo es una medida de su contenido energético; si la energía varía en L, entonces la masa varía asimismo en $L/(9 \times 10^{20})$, donde la energía se mide en ergios y la masa en gramos.

No es imposible que en aquellos cuerpos cuyo contenido energético sea muy variable (por ejemplo, sales de radio) esta teoría pueda ser verificada exitosamente. Si la teoría corresponde pues con los hechos, entonces la radiación transmite inercia entre los cuerpos emisores y absorbentes.