¿Depende la masa inercial de la Energía?

A. Einstein

Los resultados de la anterior investigación nos llevan a deducir aquí una interesante conclusión.

He basado mi investigación en las ecuaciones de Maxwell-Hertz para el espacio vacío, junto con la expresión maxweliana para la energía electromagnética en el espacio, y, además, en el principio de que *las leyes por las que se altera el estado de los sistemas físicos son las mismas cuando se expresan en dos sistemas de coordenadas distintos que se desplazan en movimiento uniforme y rectilineo.* (Principio de Relatividad).

Sea un sistema de ondas planas de luz expresado en el sistema de coordenadas (x,y,z) que posee energía E; sea ϕ el ángulo que la dirección de propagación de las ondas forma con el eje x del sistema. Si introducimos entonces otro sistema de coordenadas $(\varepsilon,\eta,\varsigma)$ moviéndose en traslación rectilínea y uniforme con respecto al sistema (x,y,z) y manteniendo su orígen de coordenadas en movimiento a lo largo del eje x con velocidad v, entonces, esta cantidad de luz medida en el sistema $(\varepsilon,\eta,\varsigma)$ tiene la energía

$$E^* = E.\frac{1-\frac{v}{c}\cos\phi}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

donde es *c* la velocidad de la luz. Haremos uso de este resultado en lo que sigue.

Consideremos un cuerpo estacionario con respecto a (x,y,z) y sea E_0 su energía en dicho sistema. Sea también E_0^* la energía de dicho cuerpo medida en el sistema $(\varepsilon,\eta,\varsigma)$ que se mueve con velocidad v.

Este cuerpo envía, en la dirección que forma un ángulo ϕ con el eje x, ondas planas de luz, de energía $\frac{1}{2}E$ medida en el sistema (x,y,z), y simultaneamente, envia una cantidad igual de luz en la dirección opuesta. Mientras tanto, el cuerpo permanece en reposo con respecto al sistema (x,y,z). Por el Principio de constancia de la velocidad de la luz, las ecuaciones de Maxwell pueden aplicarse a este proceso (pues las ecuaciones de Maxwell contienen implícitamente el Principio de Relatividad).

Si llamamos E_p y E_p^* la energía no emitida, medida, respectivamente, en el sistema (x,y,z) y en el sistema $(\varepsilon,\eta,\varsigma)$, entonces, empleando la relación antedicha obtenemos:

$$E_o = E_p + \frac{1}{2}E + \frac{1}{2}E$$

$$E_o^* = E_p^* + \frac{1}{2}E\frac{1-\frac{v}{c}\cos\phi}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} + \frac{1}{2}E\frac{1+\frac{v}{c}\cos\phi}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = E_p^* + \frac{E}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Por sustracción, obtenemos la relación

$$\left(E_o^* - E_o\right) - \left(E_p^* - E_p\right) = E.\left[\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1\right]$$

Las dos diferencias que aparecen, de la forma $E_0^* - E_0,\ E_p^* - E_p$ tienen un significado físico sencillo. $E_0^*\ y\ E_0$ son los valores de la energía del mismo cuerpo referida a dos sistemas de coordenadas que están en movimiento relativo, manteniendose el cuerpo en reposo con respecto a uno de los dos sistemas (x,y,z). Así, está claro que la diferencia de energía, $E_0^* - E_0,\ E_p^* - E_p$, difiere de la energía cinética T del cuerpo con respecto al sistema $(\varepsilon,\eta,\varsigma)$ solo en una constante arbitraria C, que depende solo de la elección arbitraria de las constantes aditivas para las energías $E_0^*\ y\ E_0$. Por tanto, podemos anotar:

$$\begin{aligned} E_o^* - E_o &= T_o + C \\ E_p^* - E_p &= T_p + C \end{aligned}$$

donde la constante C no cambia durante la emisión de luz. Tenemos entonces

$$T_o - T_p = E.\left[\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1\right]$$

La energía cinética del cuerpo con respecto al sistema $(\varepsilon,\eta,\varsigma)$ disminuye como resultado de la emisión de luz, y la magnitud de esta disminución es independiente de las propiedades del cuerpo. Es más, la diferencia T_0 - T_p disminuye con la velocidad. Podemos desarrollar la anterior expresión, desechando aproximaciones de cuarto orden:

$$T_o - T_p = E.\frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{2}.\frac{E}{c^2}.v^2$$

y de esta ecuación se sigue inmediatamente que *si un cuerpo emite energía E en forma de radiación, su masa disminuye la cantidad* $m = \frac{E}{c^2}$*. Evidentemente, el hecho de que la energía que emite el cuerpo se convierta en radiación no impide que lleguemos a la conclusión de que la masa de un cuerpo es la medida de su contenido energético. Si la energía cambia en una cantidad* ΔE*, la masa cambiará en el mismo sentido que el cambio energético en* $\Delta m = \Delta E / c^2$*. Si* $c=3.10^{10}$ *cm/s la energía se mediría en este caso en ergios y la masa en gramos.*

No es imposible que en los cuerpos cuyo contenido energético varía (por ejemplo en las sales de radio), la teoría pueda ponerse a prueba con éxito.

Si la teoría se corresponde con los hechos, puede afirmarse, por tanto, que la radiación emitida modifica la masa del cuerpo emisor.

Berna, 27 de septiembre de 1905
Annalen der Physik 17 (1905): 639-641

Traducción: Carlos S. Chinea
casanchi.com