



Fundamentos del principio de relatividad

El enorme movimiento de curiosidad que en todos los espíritus cultos ha despertado en estos últimos tiempos el llamado principio de relatividad por las consecuencias imprevistas y en ocasiones opuestas, al parecer, con lo que entendemos como sentido común, ha dado lugar a que la mayoría, por no decir todas, las publicaciones científicas y técnicas del mundo entero consagrasen numerosos estudios y memorias para exponer el referido principio y analizar las diversas cuestiones que del mismo se derivan.

La Revista de nuestra Asociación tenía en ello un vacío que llenar, tanto más, cuanto por la exposición fragmentaria e incompleta de trabajos aparecidos en otras publicaciones como por su forma excesivamente vulgar en unos casos y, por lo tanto, científicamente poco demostrativa, o por remontarse en otros a abstracciones a las que los técnicos, en general, no están habituados, reina entre muchos de ellos cierta desorientación en las ideas que, por otra parte, pueden perfectamente encauzarse no utilizando para ello más utillaje matemático que el que se adquiere en los cursos de nuestras Escuelas. A este fin responde el presente trabajo.

1. Imposibilidad cinemática de definir el movimiento absoluto.—Cuando al empezar el estudio de la Cinemática se habla de los sistemas de referencia o sistemas coordinados y se define el movimiento absoluto de un sistema material como el que dicho sistema posee respecto a ejes coordinados fijos, inmediatamente se pone de relieve el carácter convencional de esta definición al observar que, para poder decidir si los ejes coordinados a los cuales referimos las diversas posiciones o configuraciones del sistema material está realmente fijo, sería preciso referirlo a su vez a otro sistema coordinado, éste a otro y así sucesivamente. Así, ya se conviene en que los movimientos que cabrá observar y estudiar en realidad serán siempre relativos, pero luego, con una falta de lógica manifiesta, se vuelve a tomar en consideración el movimiento absoluto por estimarse sus leyes como más sencillas. Además, referente a los ejes coordinados, se sienta la hipótesis de que son indeformables, pero bajo el punto de vista absoluto el concepto de indeformabilidad presenta las mismas

dificultades que hemos señalado en cuanto a la definición del movimiento absoluto.

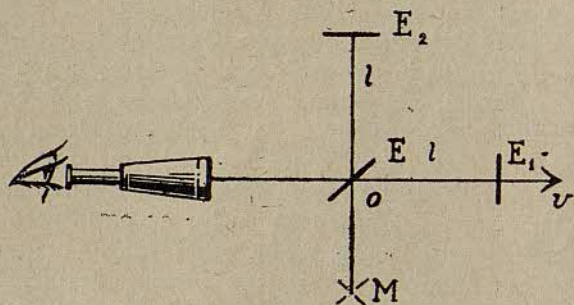
2. Medición del tiempo.—Para medir el tiempo será necesario que podamos establecer una unidad o patrón, del mismo modo que en geometría métrica debemos definir una unidad de longitud.

Ahora bien, consideremos un sistema material que animado de un cierto movimiento y partiendo de una cierta configuración vuelve en otra época a tener la misma configuración primitiva; si este sistema está infinitamente alejado de todos los demás sistemas materiales para que la influencia de estos sea nula y, por lo tanto, no tengamos que preocuparnos de las modificaciones que puedan sufrir sus configuraciones propias o relativas, según el principio de causalidad, el sistema considerado seguirá evolucionando de tal modo que se sucederán sus configuraciones según el mismo orden en que se sucedieron entre las dos épocas para las cuales hemos comprobado una misma configuración. Este sistema constituirá un reloj, es decir, un aparato que nos permitirá medir el tiempo conviniendo, por definición, que entre dos configuraciones iguales media la unidad de tiempo. Tal ocurre, por ejemplo, con un péndulo y la Tierra si consideramos bajo el punto de vista práctico como infinitamente alejados todos los demás cuerpos celestes.

Obsérvese que para definir la unidad de tiempo, hemos tenido que introducir la noción geométrica de configuración de un sistema material, lo cual nos pone de manifiesto que, si bien por abstracción estamos habituados a desligar las nociones de espacio y tiempo del mismo modo que en geometría, por abstracción consideramos superficies o líneas, es decir, cuerpos desprovistos de una o dos dimensiones, en el fondo espacio y tiempo son nociones íntimamente ligadas e inseparables de tal modo que la medida del tiempo vendrá condicionada por el modo como nosotros procedamos para hacer las mediciones que nos permiten establecer la configuración de un sistema material. Este enlace indestructible entre el tiempo y el espacio es precisamente uno de los puntos capitales de la nueva teoría y si bien llegamos a él sin necesidad de recurrir a hechos nuevos era necesario formularlo de un modo explícito para desvanecer desde luego una

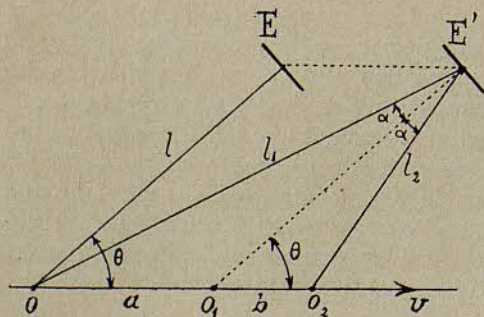
de las ideas equivocadas que se encuentran entre los conceptos clásicos.

3. **Ensayos físicos para definir el movimiento absoluto.**—La imposibilidad cinemática de la definición del movimiento absoluto, durante mucho tiempo se consideró físicamente resuelta tomando como sistema de referencia al éter luminoso; pero, en verdad, se trataba más bien de una solución hipotética que no real pues faltaba estudiar algún fenómeno en el que se manifestase de un modo evidente el referido movimiento. A este fin, en 1881 el físico americano Michelson imaginó y realizó la siguiente experiencia que debía permitir la determinación del movimiento absoluto de la Tierra o sea, según lo indicado, su movimiento respecto al éter.



Un rayo luminoso que parte del punto M incide sobre el espejo semi plateado E que pasando por o forma un ángulo de 45° con la dirección Mo; el rayo luminoso parcialmente es reflejado y dirigido sobre el espejo E₁ normal a dicho rayo reflejado y parcialmente atraviesa el espejo E para incidir normalmente sobre el espejo E₂; los espejos E₁, E₂ reflejan a su vez los rayos que sobre ellos inciden para venir a reunirse estos nuevamente en el punto o; de este punto, el rayo E₁o directamente y el E₂o por reflexión se reúnen en el anteojo A para ser observados. El aparato, que puede girar al rededor de un eje que se proyecta en o se orienta primero de tal modo que oE₁ esté dirigida según el supuesto movimiento de la Tierra y luego se hace girar el aparato de 90° . Vamos a exponer la teoría de esta experiencia para deducir lo que debería observarse.

Consideremos de un modo general un punto o arrastrado por la Tierra con una velocidad v y del cual parte una señal luminosa que irá a incidir sobre el espejo E invariablemente unido con o, formando oE un ángulo θ con la dirección de v y siendo el espejo E normal a oE.



Si el punto o y el espejo E estuviesen fijos, la dirección del rayo luminoso que partiendo de o y reflejándose en E debiera volver a ser observado por o sería evidentemente oE; pero si el punto o y junto con él el espejo se mueven, la señal luminosa que ha de reflejarse en el espejo deberá partir de o según una dirección l₁ tal que vaya a encontrar al espejo en la posición E' que habrá alcanzado durante el tiempo que ha invertido el rayo luminoso en su propagación. El rayo luminoso será reflejado por E' y encontrará a ov en el punto o₂ que será la posición que ocupará el punto o en este instante, que podrá observar, por lo tanto, el rayo luminoso que de él partió. En efecto: si o₁ es la posición que ocupa el observador o cuando el espejo se encuentra en E', o₁E' será paralela a oE y, por lo tanto, será normal a E'; así pues, el rayo luminoso incidente oE' y el reflejado E'o₂ formarán el mismo ángulo α con o₁E' de lo cual se deduce

$$\frac{a}{b} = \frac{l_1}{l_2} \quad (1)$$

Designemos, ahora, por t₁ el tiempo que invierte el rayo luminoso de velocidad c en recorrer l₁, que será el mismo que invertirá o en pasar a o₁, por t₂ el tiempo que invierte el rayo luminoso en recorrer l₂ y t₃ el que invertirá o en pasar de o₁ a o₂ con su velocidad v. Se tendrá

$$\begin{cases} l_1 = ct_1 & , & l_2 = ct_2 & \left\{ \begin{array}{l} \frac{l_1}{l_2} = \frac{t_1}{t_2} \\ \frac{a}{b} = \frac{t_1}{t_3} \end{array} \right. \\ a = vt_1 & , & b = vt_3 & \left\{ \begin{array}{l} \frac{a}{b} = \frac{t_1}{t_3} \end{array} \right. \end{cases}$$

y en virtud de (1)

$$\frac{t_1}{t_3} = \frac{t_1}{t_2}$$

por lo tanto

$$t_3 = t_2$$

de modo que, en efecto, en o₂ se encontrarán simultáneamente el observador o y el rayo luminoso reflejado por E'.

Calculemos ahora t₁ + t₂. De la figura se deduce

$$\begin{aligned} l_1^2 &= l^2 + a^2 + 2al \cos \theta \\ l_2^2 &= l^2 + b^2 - 2bl \cos \theta \end{aligned}$$

y substituyendo a, b, l₁, l₂, por sus valores

$$\begin{aligned} c^2 t_1^2 &= l^2 + v^2 t_1^2 + 2vlt_1 \cos \theta \\ c^2 t_2^2 &= l^2 + v^2 t_2^2 - 2vlt_2 \cos \theta \end{aligned}$$

o bien

$$\begin{aligned} t_1^2 - \frac{2vl \cos \theta}{c^2 - v^2} t_1 - \frac{l^2}{c^2 - v^2} &= 0 \\ t_2^2 + \frac{2vl \cos \theta}{c^2 - v^2} t_2 - \frac{l^2}{c^2 - v^2} &= 0 \end{aligned}$$

de donde

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \frac{vl \cos \theta + \sqrt{v^2 l^2 \cos^2 \theta + l^2 (c^2 - v^2)}}{c^2 - v^2} \\ t_2 &= \frac{-vl \cos \theta + \sqrt{v^2 l^2 \cos^2 \theta + l^2 (c^2 - v^2)}}{c^2 - v^2} \end{aligned} \right\} t_1 + t_2 = \frac{2l \sqrt{c^2 - v^2 \sin^2 \theta}}{c^2 - v^2}$$

