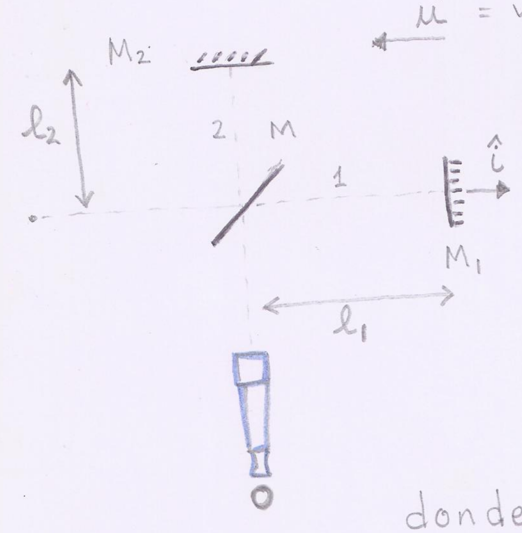
Experimento de Michelson - Morley

Vamos a suponer que en el Ejemplo 2.3 del Krane Modern Physics, reemplazamos: ① a la plataforma móvil (observador O') por el éter, ② a la persona que camina sobre la plataforma (con una velocidad de magnitud c con resp. a ésta), por un rayo de luz que tiene velocidad de magnitud c con resp. al éter (observador O' fijo a la plataforma) y ③ al observador O (fijo a Tierra) por el interferómetro de Michelson - Morley fijo a Tierra.

Se supone que el éter está fijo al sol. Como la Tierra rota alrededor del sol con una velocidad orbital de 30 km/s (en diferentes direcciones según la estación), entonces el éter (fijo al sol) se mueve con respecto a la Tierra o con respecto al interferómetro con rapidez $\mu = 30$ km/s.

$\vec{\mu}$ = velocidad del etér con resp. a Tierra (con resp. al interferómetro)



El tiempo t_1 medido por el observador O fijo a tierra (fijo al interferómetro) para que el rayo de luz vaya de M a M_1 y de vuelta a M es

$$t_1 = \frac{l_1}{\left|\vec{v}^{\,M\to M_1}_{LUZ,\,O}\right|} + \frac{l_1}{\left|\vec{v}^{\,M_1\to M}_{LUZ,\,O}\right|} \qquad (1)$$

donde $\vec{v}^{\,M\to M_1}_{LUZ,O} = \vec{v}^{\,M\to M_1}_{LUZ,O'} + \vec{v}^{\,M\to M_1}_{O',O} = \vec{v}^{\,M\to M_1}_{LUZ,\text{éter}} + \vec{v}^{\,M\to M_1}_{\text{éter},\text{tierra}}$ (2)

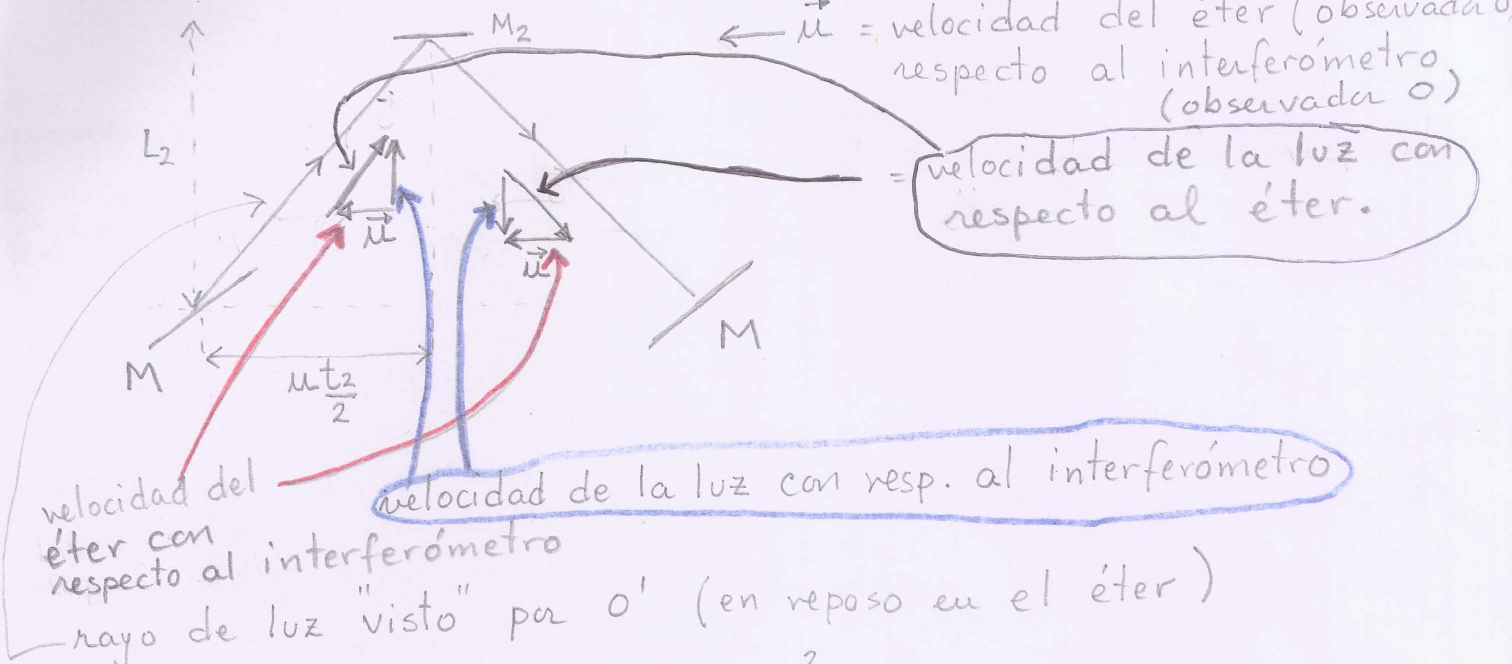
$$\vec{v}^{\,M\to M_1}_{LUZ,O} = (c-\mu)\,\hat{i} \qquad (3)$$

Por otro lado $\vec{v}^{\,M_1\to M}_{LUZ,O} = \vec{v}^{\,M_1\to M}_{LUZ,\text{éter}} + \vec{v}^{\,M_1\to M}_{\text{éter},\text{tierra}} = (-c-\mu)\,\hat{i}$ (4)

$$\Rightarrow \quad t_1 = \frac{l_1}{c-\mu} + \frac{l_1}{c+\mu} = \frac{2 l_1}{c}\,\frac{1}{1-(\mu/c)^2} \qquad (5)$$

La ecuación (5) és igual a la Ec. (7) del Ejemplo 2.3 Krane.

El tiempo t_2 para que el rayo de luz vaya de M a M_2 y de vuelta a M es medido por el observador O' fijo al éter



De la figura $\left(u\frac{t_2}{2}\right)^2 + L_2^2 = \left(c\frac{t_2}{2}\right)^2$ (6)

$$(c^2-u^2)\left(\frac{t_2}{2}\right)^2 = L_2^2 \Rightarrow t_2 = 2L_2\frac{1}{\sqrt{c^2-u^2}} \Rightarrow t_2 = \frac{2L_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \quad (7)$$

La Ec. (7) es igual a la Ec. (10) al Ejemplo 2.3 del Krane.
↳ del documento del curso relacionado

Nota: En física clásica el tiempo es un absoluto de forma que se supone que el tiempo que mide el observador O (fijo al interferómetro, fijo a tierra) es igual que el que mide el observador O' (fijo al éter, fijo al sol).

Nota: $\frac{u}{c} = \frac{30\ km/s}{300{,}000\ km/s} = 10^{-4} \Rightarrow \left(\frac{u}{c}\right)^2 \simeq 10^{-8}$ (8)

⇒ Las Ec. (7) y (5) para los tiempos t_2 y t_1 indican que corresponde el efecto a medir en un exp. de Michelson-Morley a $\left(\frac{u}{c}\right)^2 \simeq 10^{-8}$ (efecto de segundo orden). Ademas ambos tiempos aumentan con u.

La diferencia en tiempo de recorrido de los haces 1 y 2 son:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2}{c}\left[\frac{L_2}{\sqrt{1-(u/c)^2}} - \frac{L_1}{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}\right] \qquad (9)$$

Supongamos que giramos el interferómetro 90° de modo que L_1 y L_2 se intercambian. Entonces la nueva diferencia de tiempo será

$$\Delta t' = \frac{2}{c}\left[\frac{L_2}{1-(u/c)^2} - \frac{L_1}{\sqrt{1-(u/c)^2}}\right] \qquad (10)$$

La rotación cambia las diferencias en tiempo de recorrido.
El cambio de las diferencias en tiempo recorrido es

$$\Delta(\Delta t' - \Delta t) = \frac{2}{c}\left[\frac{L_1+L_2}{1-(u/c)^2} - \frac{L_1+L_2}{\sqrt{1-(u/c)^2}}\right] \qquad (11)$$

La expansión binomial dice que $(1+x)^n = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2 + \dots$

$$(1-x^2)^{-1} = (1+y)^{-1} \simeq 1 - y + \frac{(-1)(-2)}{2}y^2 \simeq 1 + x^2 = 1 + \left(\frac{u}{c}\right)^2$$

$$(1-x^2)^{-1/2} = (1+y)^{-1/2} \simeq 1 - \frac{1}{2}y + \frac{(-1/2)(-3/2)}{2}y^2 = 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{u}{c}\right)^2$$

$$\Delta(\Delta t' - \Delta t) \simeq \frac{2}{c}(L_1+L_2)\left[1 + \left(\frac{u}{c}\right)^2 - 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{u}{c}\right)^2\right] = \frac{\cancel{2}}{c}(L_1+L_2)\frac{1}{\cancel{2}}\left(\frac{u}{c}\right)^2$$

$$\Delta(\Delta t' - \Delta t) \simeq \frac{L_1+L_2}{c}\left(\frac{u}{c}\right)^2 \qquad (12)$$

Si la diferencia de camino óptico $c\Delta(\Delta t' - \Delta t)$ es igual a Δx, entonces habrá un corrimiento de ΔN franjas en el patrón de interferencia visto por el observador O si $\Delta x = \Delta N \lambda$

$$c\Delta(\Delta t' - \Delta t) = \Delta N \lambda \Rightarrow \Delta N = \frac{c}{\lambda}\Delta(\Delta t' - \Delta t) = \frac{L_1+L_2}{\lambda}\left(\frac{u}{c}\right)^2 \qquad (13)$$

Exp. Michelson $\Rightarrow L_1 + L_2 = 22\,m \quad L_1 = L_2 = L \Rightarrow \Delta N = \frac{2L}{\lambda}\left(\frac{u}{c}\right)^2$

Con $\lambda = 5.5\times10^{-7}\,m$ y $v/c = 10^{-4} \Rightarrow \Delta N = 0.4$. En este experimento, era posible detectar un $\Delta N = 0.01$. Pero no se encontró ningún corrimiento. ΔN dió cero.

De acuerdo al experimento M-M (Michelson-Morley) el corrimiento ΔN de franjas esperado era

$$\Delta N = \frac{l_1 + l_2}{\lambda} \left(\frac{u}{c} \right)^2 .$$

El resultado fue $\Delta N = 0$

Esto implica que $u = 0$

$\vec{u}$ = velocidad del éter con respecto al planeta Tierra

$\Rightarrow$ velocidad de la Tierra con respecto al Sol es cero!!

OOPPSSSSS!!!

ó

que el "famoso" éter no existe y todo el análisis de velocidades (basado en las TG's) hecho en el experimento M-M <u>no aplica</u>.

Entra en la <u>escena</u> Einstein y propone dos postulados.

La velocidad de la luz es la misma en todas las direcciones y con respecto a todos los marcos de referencia inerciales.

Bajo esta suposición, el número de franjas que se corre el patrón de interferencia en el experimento M-M es cero porque (simplemente) la velocidad de la luz es la misma a lo largo de cualquiera de los brazos (l_1 y l_2) del interferómetro de M-M bajo cualquier condición. De esta forma, la velocidad de la luz es siempre $\vec{c}$ y no $\vec{c}+\vec{v}$.

En el documento del experimento de M-M:

$$t_1 = \frac{2l_1}{c} \quad (5)$$

$$t_2 = \frac{2l_2}{c} \quad (7)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2}{c}(l_2 - l_1)$$

Después de rotar el interferómetro M-M en 90°:

$$t_1' = 2\frac{l_2}{c}, \quad t_2' = 2\frac{l_1}{c} \Rightarrow \Delta t' = \frac{2}{c}(l_2 - l_1)$$

$$\Rightarrow \Delta(\Delta t' - \Delta t) = 0 \Rightarrow c\,\Delta(\Delta t' - \Delta t) = \lambda\,\Delta N = 0$$

$$\Rightarrow \Delta N = 0$$