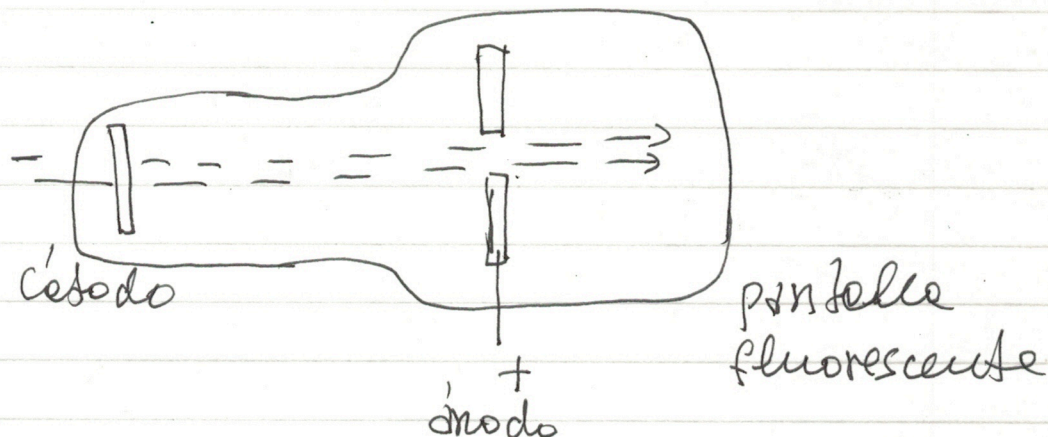


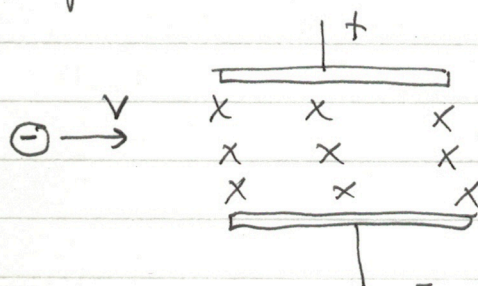
EL Electrón: "átomo de electricidad"

Rayos Catódicos:



rayos pueden desviarse con $\vec{B}$.

J.J. Thomson (1897) midió e/m :



$$eVB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \boxed{\frac{e}{m} = \frac{v}{RB}}$$

F. Lorentz

se ajusta el $\vec{E}$ externo hasta lograr cero deflexión

$$\Rightarrow eE = eVB \Rightarrow \boxed{v = E/B}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{e}{m} = \frac{E}{RB^2}} \approx 10^8 \text{ C/g}$$

Grande comparado con $\left(\frac{e}{m}\right)_H = 96500 \text{ C/g}$.

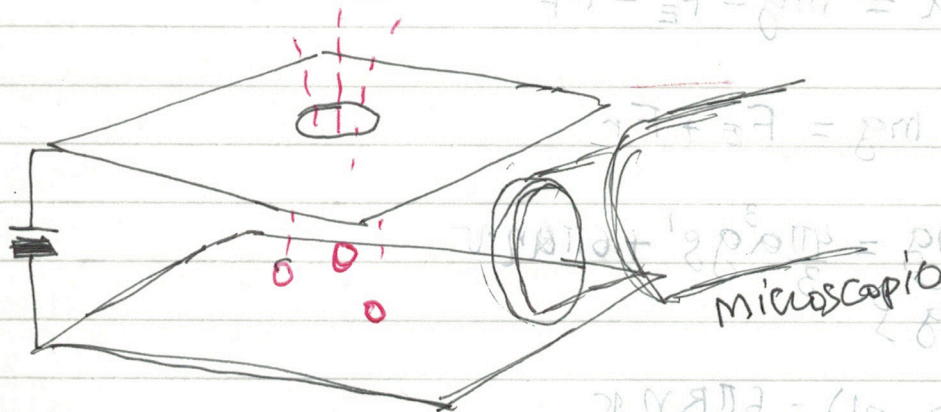
Midiendo la carga del electrón

prelimin: gota de fluido, densidad ρ , radio a ,
cayendo en un medio densidad ρ' , viscosidad η

veloc. terminal:
$$V_g = \frac{(2/9) g a^2 (\rho - \rho')}{\eta} \quad (1)$$

derivación: ejercicio

1906: Robert Millikan: medición directa de e



gotas de aceite cargadas eléctricamente. con entre 2 placas metálicas sobre las cuales se aplica un voltaje conocido.

$\vec{E} = 0$

F_v medio viscoso $F = -a v$ $\leftarrow$ masa efectiva gota

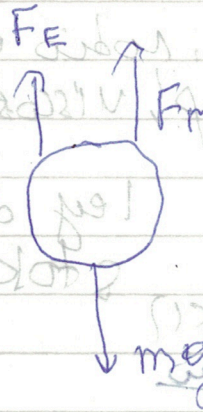
$V_g = K F_v = K \mu g \quad (2)$

$\mu = \frac{4\pi}{3} a^3 (\rho - \rho') \quad \leftarrow$ aceite $\leftarrow$ aire $\quad (3)$

comparando con (1) $\Rightarrow K = 1/(6\pi\eta a) \quad (4)$

Midiendo $V_g \rightarrow$ determinando $e \rightarrow$ det. μ y K

Notwendig ist auch die Wahl der



$$mg = \frac{4\pi}{3} \rho g$$

$$F_E = \frac{4\pi}{3} \rho' g$$

$$F_r = 6\pi R \eta v$$

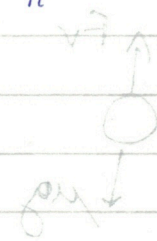
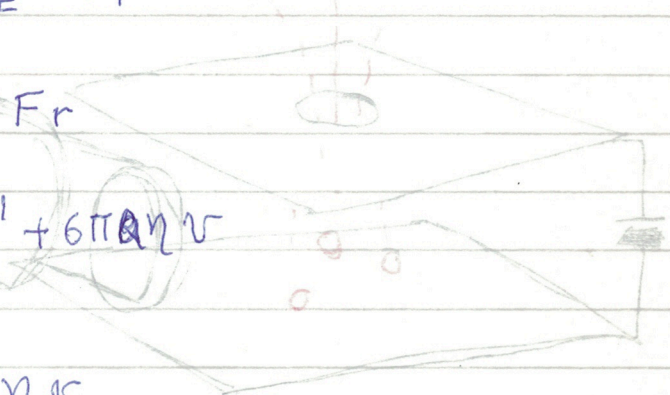
$$ma = mg - F_E - F_r$$

$$\text{In } v = v_g \Rightarrow mg = F_E + F_r$$

$$mg = \frac{4\pi}{3} \rho g s' + 6\pi R \eta v$$

$$\frac{4\pi}{3} \rho g (s - s') = 6\pi R \eta v$$

$$v = \frac{4\pi \rho g (s - s')}{3 \cdot 6\pi R \eta} = \left(\frac{2}{9}\right) \frac{\rho (s - s') g}{\eta}$$



$$v_g = k F_v - k \eta v$$

$$v = \frac{4\pi}{3} \rho g (s - s')$$

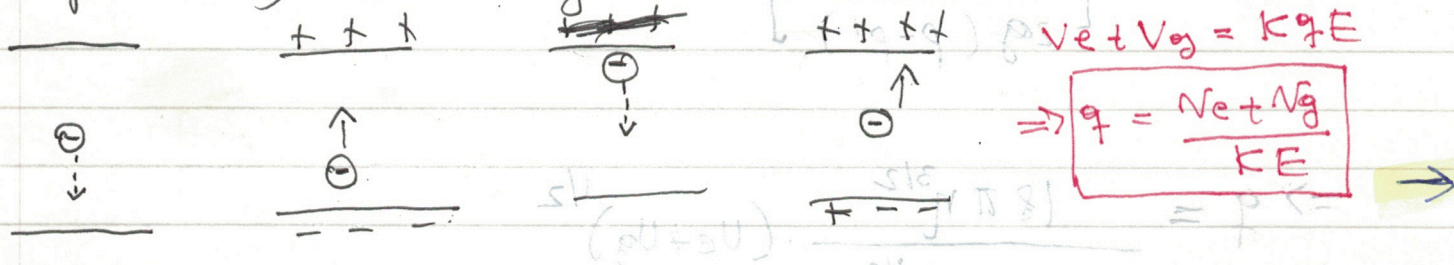
$$(N) \quad k = \dots$$

Mit dieser v ist dann die Geschwindigkeit des Körpers gegeben

La carga total en la gota se del. de mediciones de V_g en presencia de E :

$$V_e = K(Eq - \mu g) \quad \checkmark$$

Se sigue a una gota individual a través de un ciclo de aplicaciones de voltaje:



Ocasionalmente, la gota cambia su carga total debido a colisiones con las moléculas de aire

$$V_{e1} = K(Eq_1 - \mu g)$$

$$V_{e2} = K(Eq_2 - \mu g)$$

$$\Rightarrow V_{e1} - V_{e2} = K(Eq_1 - Eq_2) \Rightarrow q_1 - q_2 = \left(\frac{V_{e2} - V_{e1}}{KE} \right)$$

← entero

se encuentra que $q_1 - q_2 \approx Ne$

También se halló que $q \approx Ne$.

P. Nobel 1923

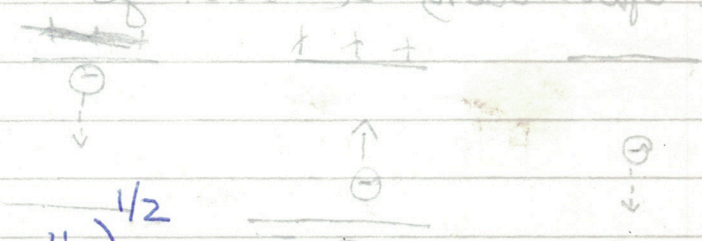
la charge totale en la zone de déplétion de E est $Q = K(E_d - n_0)$

$$q = \frac{(V_e + V_g) \cdot 6 \pi a n}{E}$$

$$V_e = K(E_d - n_0)$$

se trouve à une distance a du substrat de la charge de déplétion de la zone de déplétion de E est $Q = K(E_d - n_0)$

but $a = \left[\frac{q V_g n}{2 q (p - p_1)} \right]^{1/2}$



$$\frac{q(V_e + V_g)}{E} = p$$

$$\Rightarrow q = \frac{18 \pi n^{3/2} \cdot (V_e + V_g)^{1/2}}{[2 q (p - p_1)]^{1/2} E}$$

la charge totale en la zone de déplétion de E est $Q = K(E_d - n_0)$

$$V_e = K(E_d - n_0)$$

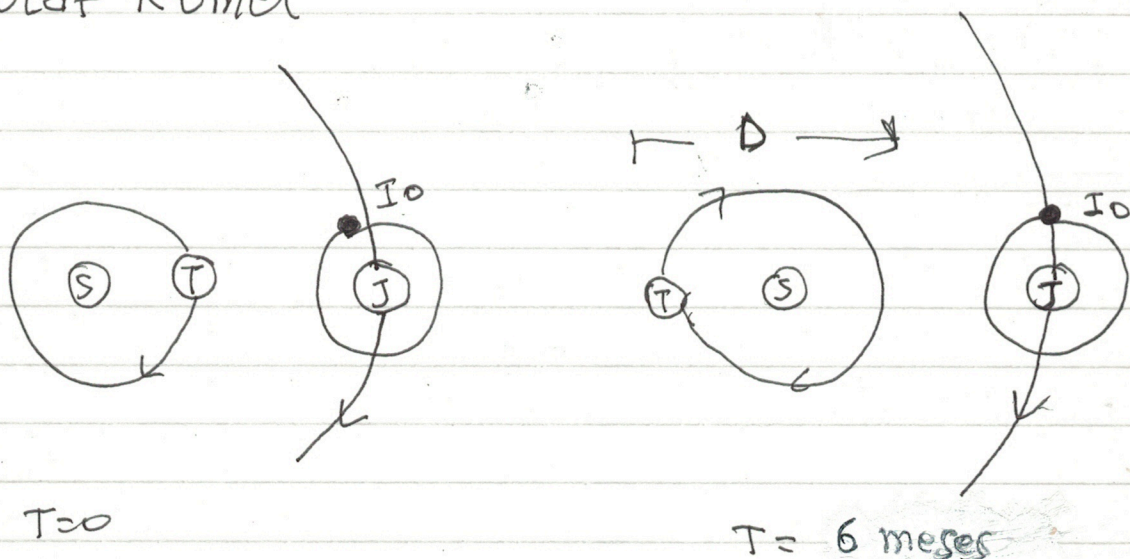
$$V_g = K(E_d - n_0)$$

$$\Rightarrow V_e - V_g = K(E_d - E_d) = 0 \Rightarrow p - p_1 = \left(\frac{V_e - V_g}{K E} \right)$$

la charge totale en la zone de déplétion de E est $Q = K(E_d - n_0)$

$$Q = K(E_d - n_0)$$

1676: Olf Römer



se observó un retraso de 22 min., atribuible a una
 cuando $D \approx 293.000.000$ km distancia "extra"

$$\Rightarrow c \approx 222,000 \text{ km/s}$$

myella!

coeff.
dilator. ediab.
$$\kappa = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

gase

$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$; $v = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$
 sólidos líquidos

mod. compresibilidad

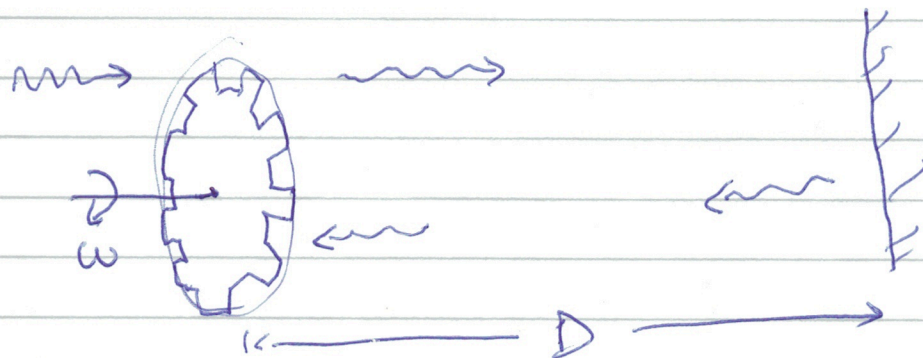
de Young

$$v = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$$

líquidos

c) $\Rightarrow$ implicar que $\exists$ de un medio con $g \ll 1$: ETER

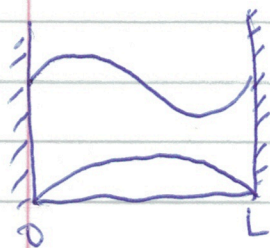
Medición Directa (Fizeau) 1849.



conociendo D , # dientes y ω

$$\Rightarrow c = 313.000 \text{ (cm/s)}$$

1946 : L. Essen & A.C. Gordon-Smith



cavidad
resonante

$$c = \lambda f$$

λ, f medidos independiente.

$$c = 299.792 \text{ (km/s)}$$

La Teoría de la Relatividad

Mecánica: lo que se observa es el cambio de posición de un cuerpo c/n a otro. No parece haber forma de observar mov. c/n a un sist. de referencia "absoluto".

Luz = onda electromagnética (Maxwell) $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$

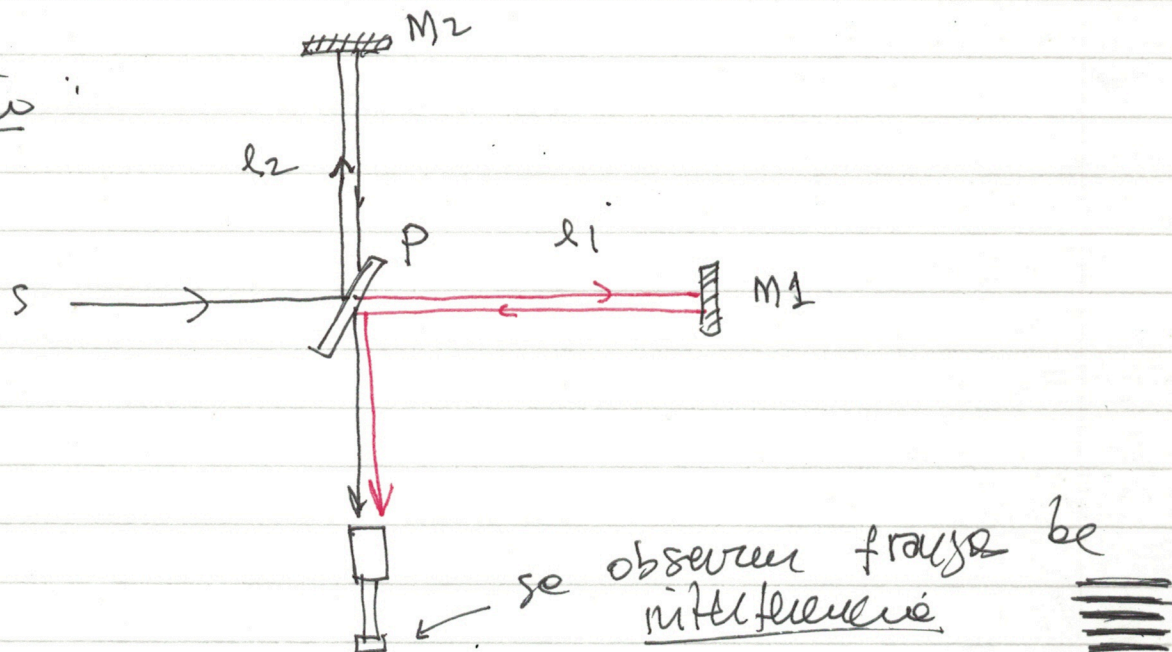
→ ¿cuál es el medio sobre el que viaja la luz? se le llamó "éter luminífero". No posea masa, No ofrece resistencia al mov. de cuerpos materiales a través de él.

[sin embargo la luz sí interactúa con la materia; p.ej, la presión de radiación]

le veloc. de ondas ^{en un medio} dep. de las prop. del medio
⇒ la veloc. de la luz c es c/n al "éter" ⇒ si se mide la veloc. de la luz desde un cuerpo en mov. c/n al "éter", éste debería diferir dec.

El experimento de Michelson-Morley

Interferómetro:

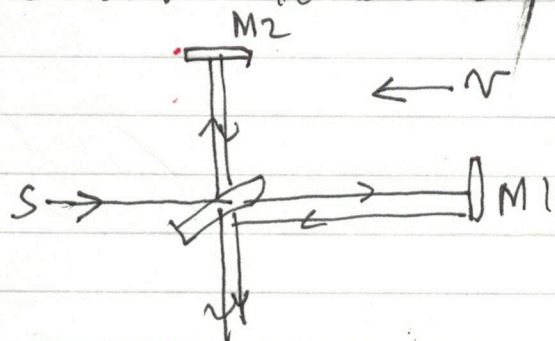


$$2(l_1 - l_2) = m\lambda \quad \text{interferencia constructiva} \\ \text{(franja brillante)}$$

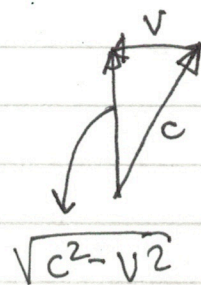
$$2(l_1 - l_2) = (2m+1)\frac{\lambda}{2} \quad \text{interferencia destructiva} \\ \text{(franja oscura)}$$

Interferómetro puede detectar cambios en el camino óptico del orden de $\lambda \rightarrow$ muy preciso

T. en mov. ch el éter $\Rightarrow$ "brisa" de éter.



Lab:



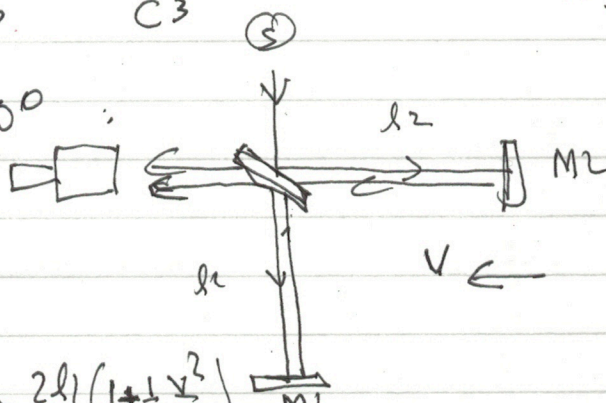
$$PM2: t_2 = \frac{2l_2}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l_2/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

$$PM1: t_1 = \frac{l_1}{c-v} + \frac{l_1}{c+v} = \frac{2cl_1}{c^2 - v^2} = \frac{2l_1/c}{1 - (v/c)^2}$$

$$\Delta \equiv t_1 - t_2 \approx \frac{2l_1}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{2l_2}{c} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$\Delta \approx \frac{2(l_1 - l_2)}{c} + \frac{2l_1 v^2}{c^3} - \frac{l_2 v^2}{c^3} \quad (1)$$

Rotar el aparato 90°



$$t_1' = \frac{2l_1}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l_1/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \approx \frac{2l_1}{c} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$t_2' = \frac{l_2}{c-v} + \frac{l_2}{c+v} = \frac{2l_2/c}{1 - (v/c)^2} \approx \frac{2l_2}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$\Delta' \equiv t_1' - t_2' = \frac{2(l_1 - l_2)}{c} + \frac{l_1 v^2}{c^3} - \frac{2l_2 v^2}{c^3}$$

$$\delta = \frac{c}{\lambda} (\Delta - \Delta') = \frac{2(v/c)^2}{\lambda/l}$$

[corrimiento en #
de franjas = 0.44]
prediccion

NO SE OBSERVO CORRIMIENTO $\Rightarrow$ Tiene en reposo ch el et
 $\lambda = 500 \times 10^9$ $l = 11$ m

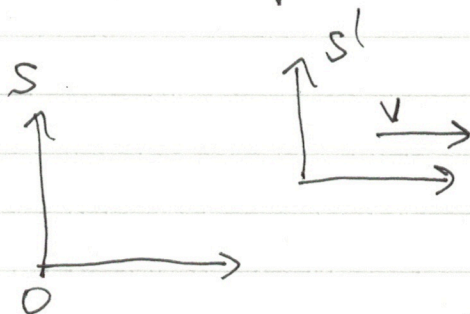
Nobel 1907 (interferometria)

Sist. Inercial · Sist. de ref. libre de fuerzas externas, se mueve con veloc. constante. Dado un objeto

Principio de Relatividad Newtoniana

Las leyes de la mecánica son las mismas en todos los sist. Inerciales → ya notado por Galileo.

For. de transf. Galileanas



$$x' = x - vt \quad (\text{y } x = x' + vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

$$u_x' = u_x - v \quad (\text{y } u_x = u_x' + v)$$

$$a_x' = a_x$$

} (1)

Sea F la fuerza entre 2 cuerpos sup, $F_{12} = f(x_2 - x_1)$

En el sist. S, $f(x_2 - x_1) = m_2 a_2$

(2)

En el sist. S' , tenemos $F_{12}' = f(x_2' - x_1')$

(2')

$$= f(x_2 - vt - (x_1 - vt)) = f(x_2 - x_1) = F_{12}$$

(3)

por otro lado, $m_2' = m_2$ (escalares)

y $a_2' = a_2$
 $\therefore (2')$ queda $f(x_2' - x_1') = m_2' a_2'$
 o sea $\boxed{F_{12}' = m_2' a_2'} \quad (3')$

ley de mov. Newtoniana $\rightarrow$ inválida por la T. G.

Lo anterior No ocurriría si $F_{12} = f(x_2^2 - x_1^2)$ por ef.
 (observado)

sin embargo, no se han hallado fuerzas de este tipo en la naturaleza.

Einstein y el tiempo.. tiempo $\rightarrow$ lo que mide un reloj

- Reloj mecánico
- Rotación de la Tierra
- Luz de moléculas de amoníaco en un MASER
- Cristal de cuarzo
- una población de partículas radiactivas
- El pulso

Veloc. de un cuerpo.. $\vec{v} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1}$

~~○~~ $\rightarrow$

$$\vec{r} = \vec{r}_1$$

$$t = t_1$$

~~○~~ $\rightarrow$

$$\vec{r} = \vec{r}_2$$

$$t = t_2$$

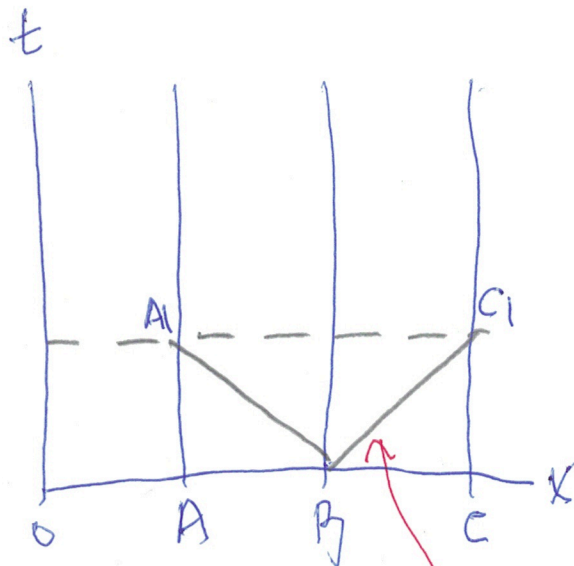
Postulados de Einstein

- (1) Todos los sist. inerciales son equivalentes con
a todas las leyes de la Física
- (2) la veloc. de la luz en el vacío siempre tiene
el mismo valor c .

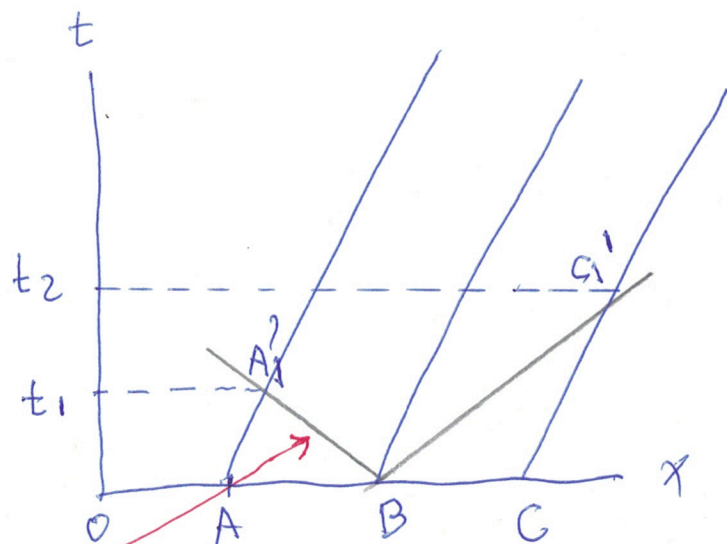
Evidencia de consistencia

- (i) El exp. de Michelson - Morley
- (ii) El exp. de Kennedy - Thorndike (1932)
 - Diferentes long. para los brazos del interferómetro
 - El aparato estuvo fijo en el lab., y se observaron
los frangos de interferencia durante varios meses
→ no se observó ningún cambio
- (iii) Mov. aparente de estrellas binarias





A_1, C_1 eventos simultáneos



A'_1, C'_1 NO simultáneos en S'

ej. entre sist. inerciales $\Rightarrow A'_1$ y C'_1 son simultáneos en S'

simultaneidad depende del sist. de referencia usado