

Sobre el Espacio el Tiempo y el Espaciotiempo

Con una introducción a la Relatividad Especial.

Suceso: Un lugar en un instante.

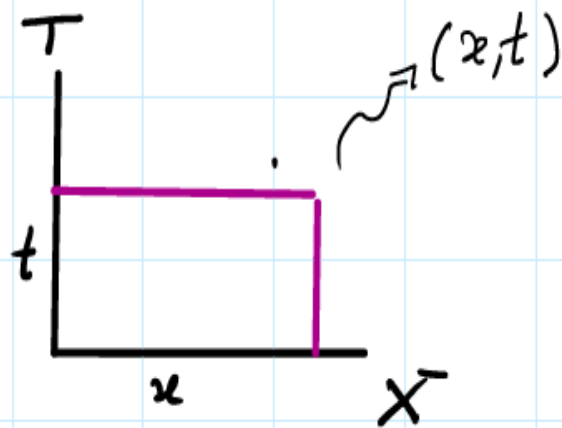
1) Suceso: ¹ Es un punto del espacio considerado en un instante de tiempo

Ejemplo: un suceso sobre la superficie terrestre viene determinado por tres números (longitud, latitud, tiempo) ↗
Si quieres quedar con alguien en medio del mar, ya sabes

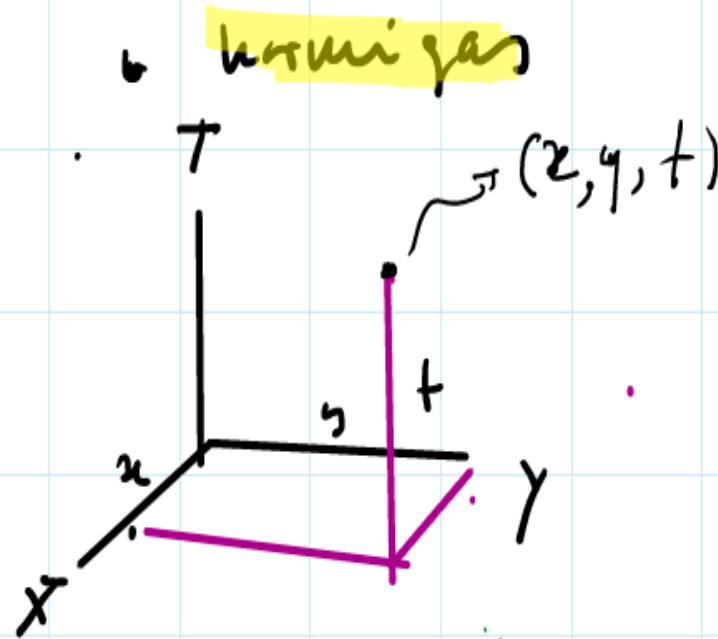
Espacio de sucesos.

2) Espacio de los sucesos

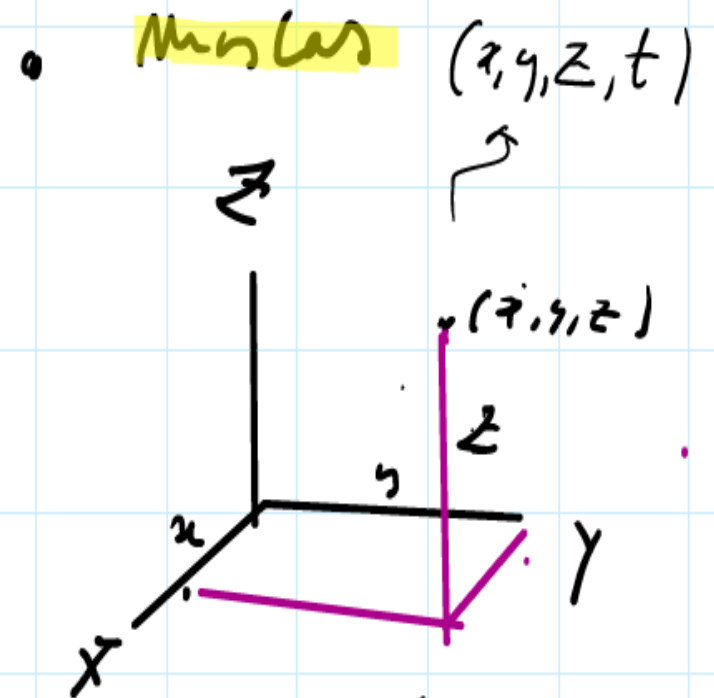
- **Cucarachas**



Viven en una
línea

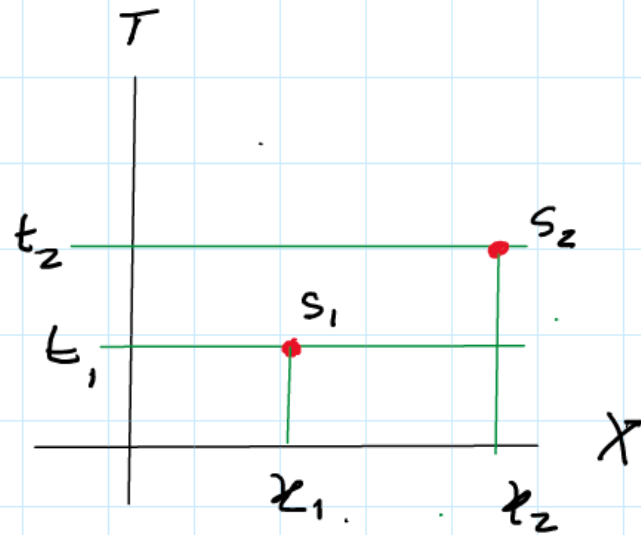


viven en el tiempo
(como nosotros en la tierra)



viven en el
espacio

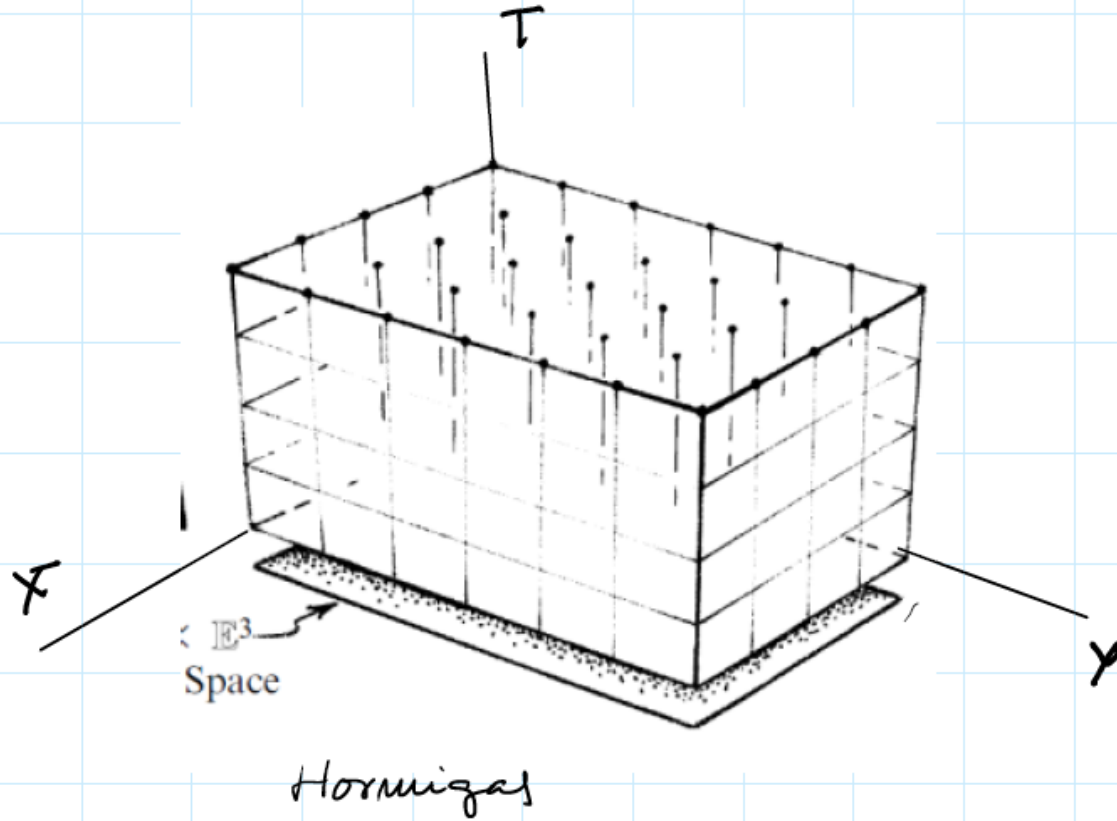
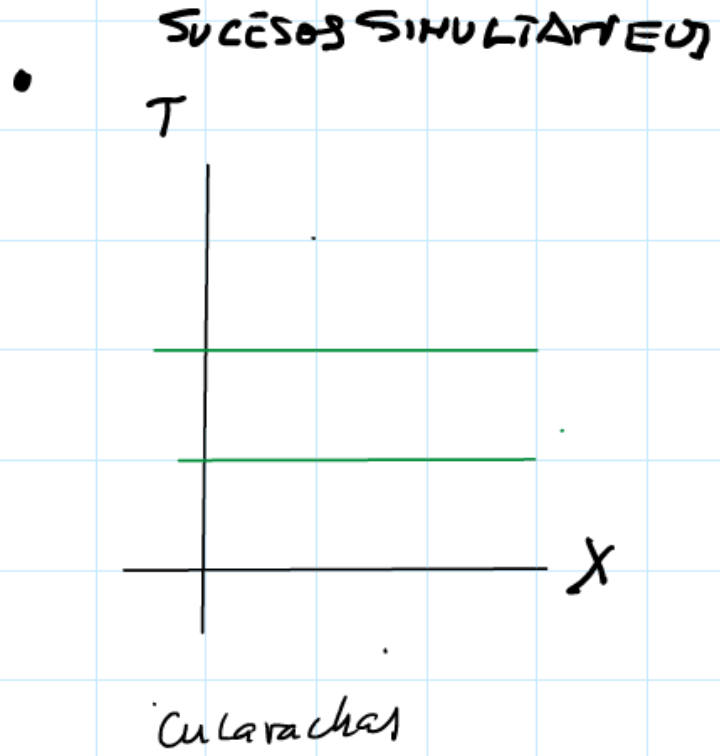
Espacio y tiempo absolutos!



Cu la racha

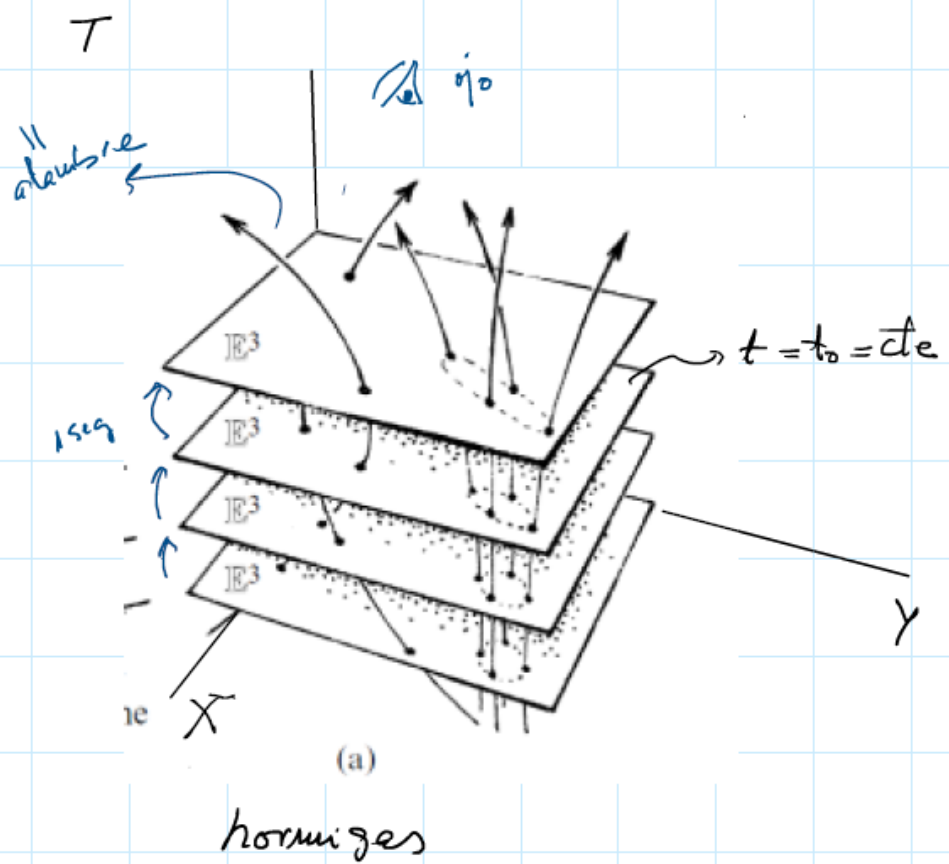
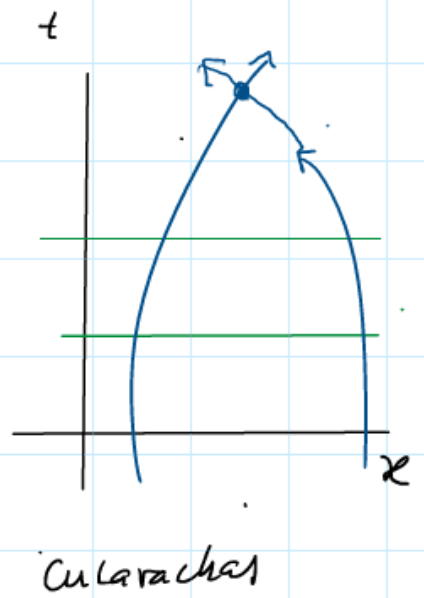
El tiempo transcurrido
entre S_1 y S_2 es $t_2 - t_1$ ¡y todo el mundo
está de acuerdo
la distancia entre los
sucesos S_1 y S_2 es $x_2 - x_1$

Simultaneidad



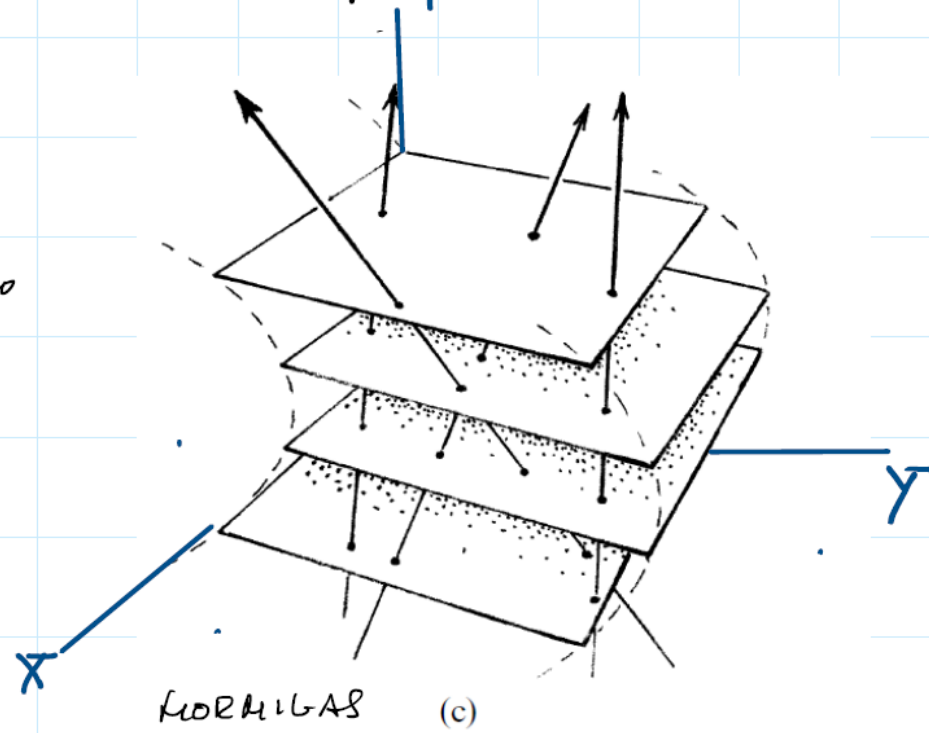
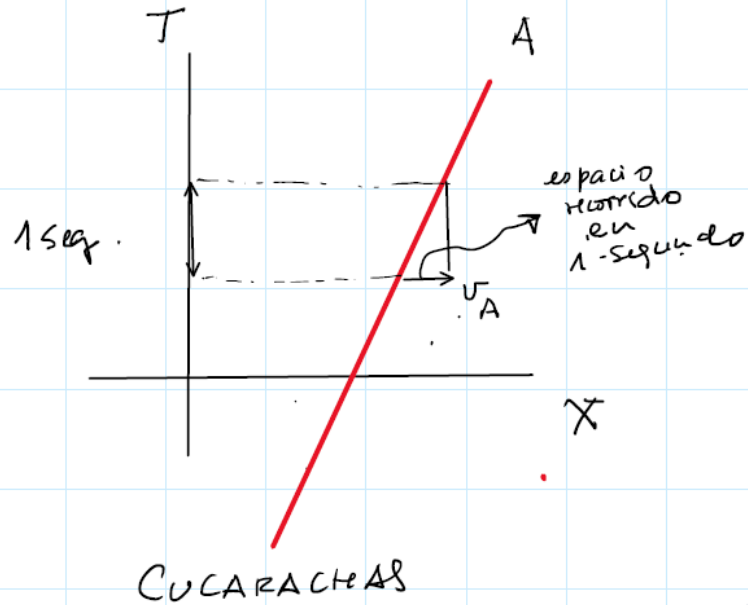
Movimiento

3) Movimento
• Historia de una partícula



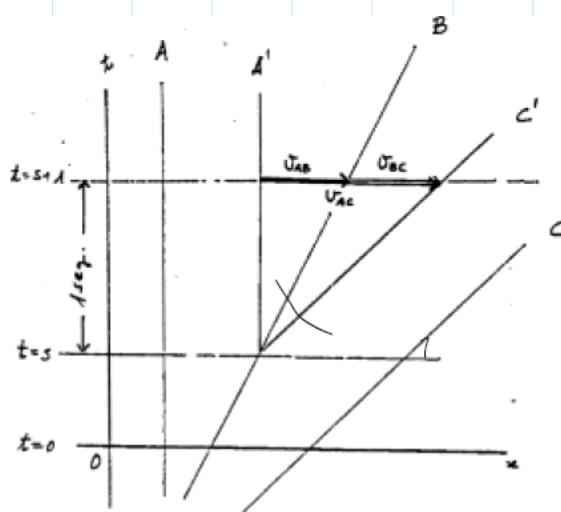
Observadores

- historia de una partícula material $T \equiv$ observador



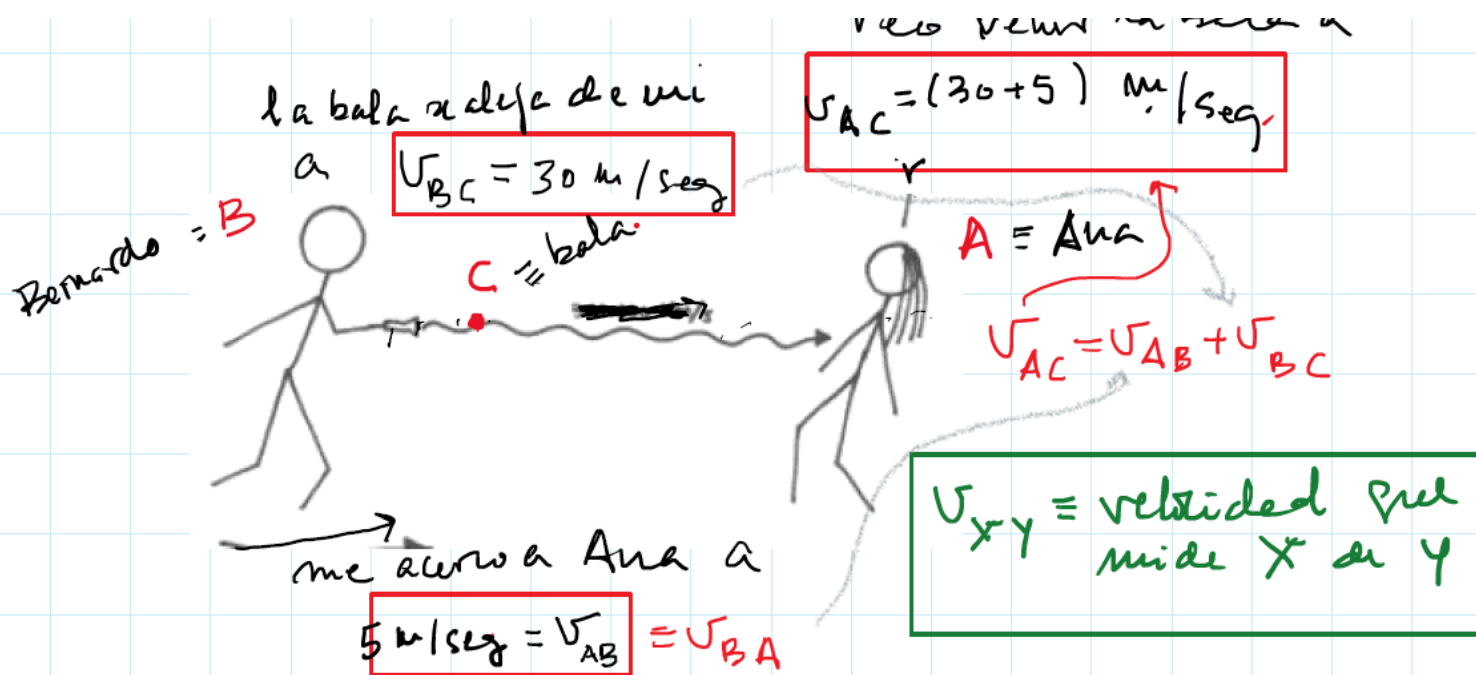
Regla (galileana) de adición de velocidades

- velocidad relativa entre 0



Cucarachas

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$



Relatividad Especial

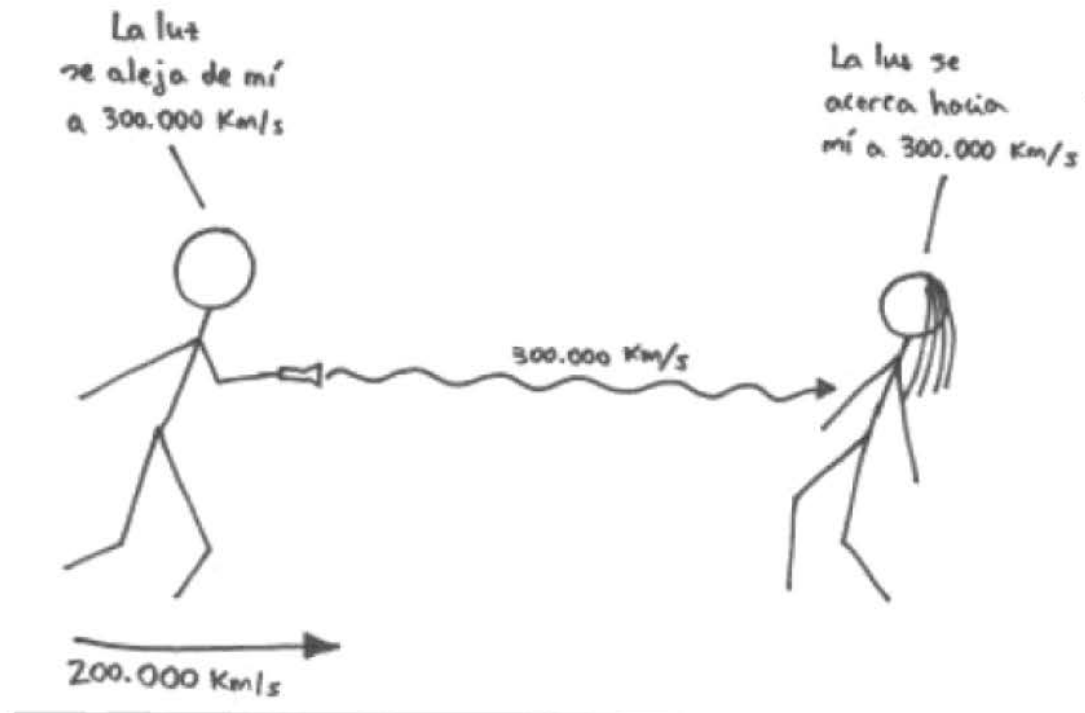
1. Todas las leyes de la física son válidas para todos los sistemas inerciales.
2. La velocidad de la luz en el vacío es igual para todos los observadores y tiene el valor de $299.792,458 \text{ km/s}$, independientemente del estado de movimiento de la fuente.

→ observadores

El primer postulado es el Principio de la Relatividad y fue formulado ya por Galilei para la mecánica alrededor de 1600. Einstein lo amplió para todas las leyes físicas, especialmente para el electromagnetismo, ya que la teoría de Maxwell parecía comportarse de manera diferente a la Mecánica Newtoniana. El Principio de la Relatividad afirma que no existe ningún experimento físico que sea capaz de distinguir si un observador está en reposo o en movimiento uniforme rectilíneo. Dos observadores que se mueven uno con respecto al otro ven la misma física y, por lo

¿Suma de velocidades?

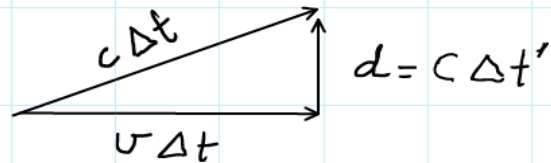
¡Este principio es incompatible con la regla de adición de velocidades!



deberían ser 500.000 Km/seg

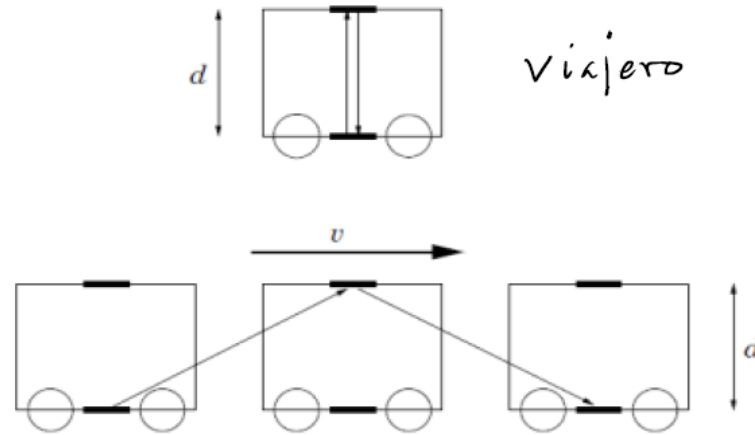
El tiempo propio

Retraso temporal



$\Delta t' \equiv$ tiempo que tarda la luz en ir del suelo al techo del vagón (según el viajero)

$\Delta t \equiv$ tiempo que tarda la luz en el mismo trayecto (según el parado)



$$(c\Delta t)^2 = (v\Delta t)^2 + (c\Delta t')^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (c^2 - v^2)\Delta t^2 = c^2\Delta t'^2 \Rightarrow \Delta t'^2 = \frac{c^2 - v^2}{c^2}\Delta t^2 = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)\Delta t^2$$

Por tanto: $\Delta t' > \Delta t$ por tanto $\Delta t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Delta t$

Contracción de Lorentz.

- si el viajero recorre el andén a velocidad v , y tarda según su reloj un tiempo $\Delta t'$ entonces, según él, la longitud del andén es de $\underline{L' = v \Delta t'}$

- si Δt es el tiempo (según el parado) que tarda el viajero en atravesar el andén, entonces según él la longitud del andén es de $v \Delta t$

- pero como $\Delta t' = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \Delta t$ resulta
$$L' = v \Delta t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} L$$

$u=v/c$ es la medida natural de velocidad.

$0 \leq u < 1$. $u = \frac{1}{3}$ significa que $v = \frac{1}{3}c$... etc -

Si tomamos como unidad de longitud
 $1 m_0 =$ distancia que recorre la luz en 1 segundo

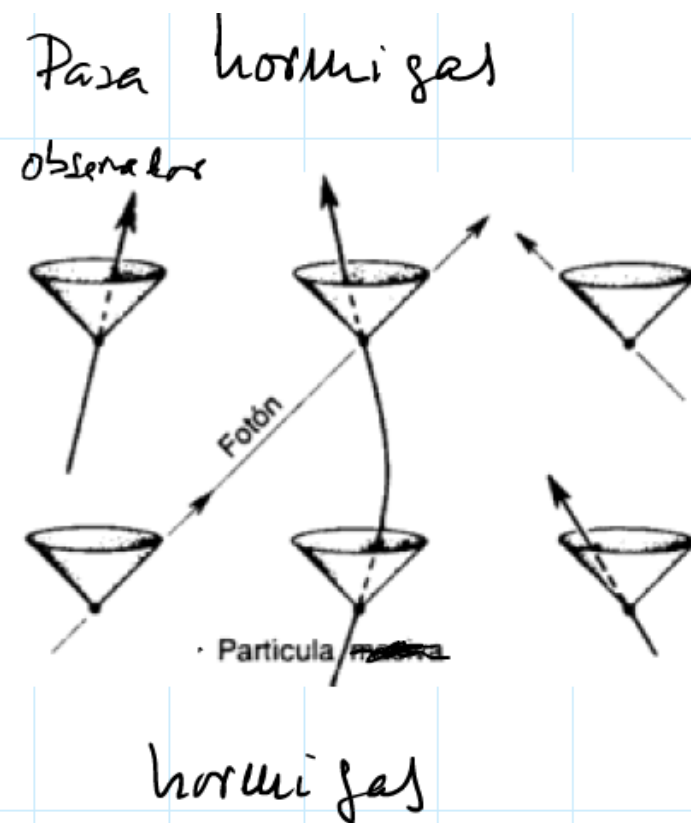
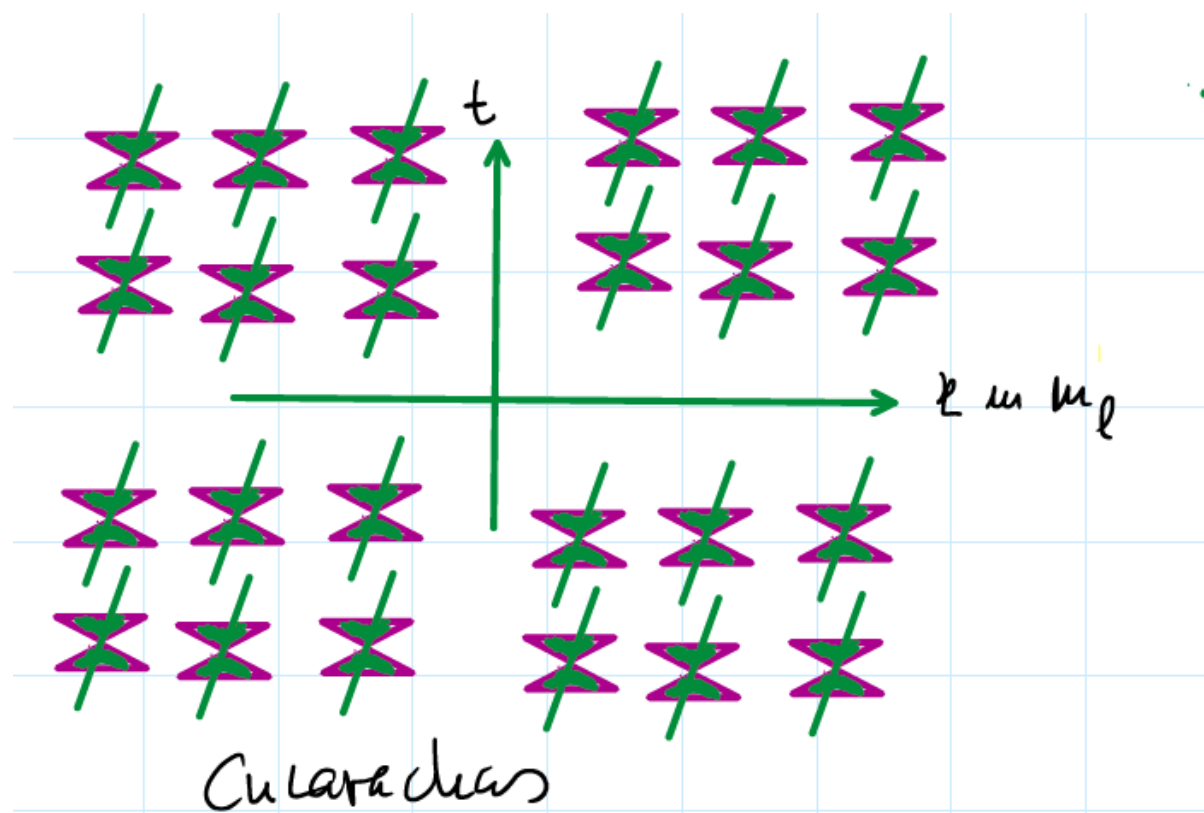
$v \equiv$ velocidad en m_0/seg

$u \equiv$ velocidad en m_0/seg

$$v = uc$$

Como la velocidad u en m_0/seg no puede superar a la de la luz $1 m_0/\text{seg}$, la historia de los observadores está representada por rectas dentro del cono de luz, (inclinadas más de 45°) y los fotones por rectas inclinadas 45°

Conos de luz



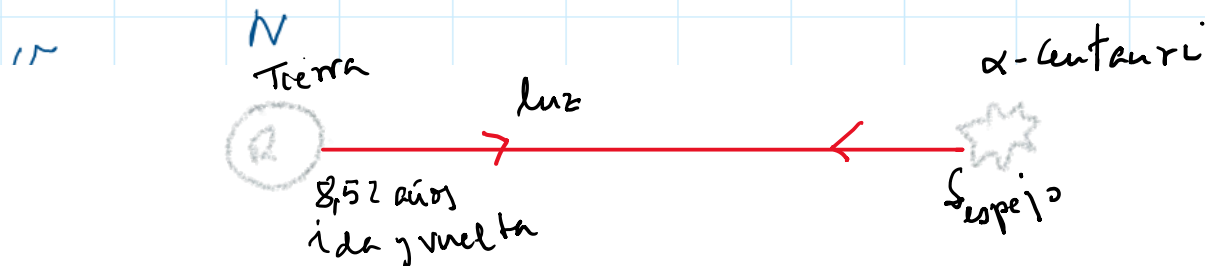
Un experimento intergaláctico (1)

La distancia de la tierra a α -Centauri es de

$$L = 4,17 \times 10^{15} \text{ m} = 4,26 \text{ al} \quad \text{al} = \text{años luz} = \left\{ \begin{array}{l} \text{distancia recorrida por} \\ \text{la luz en un año} \end{array} \right.$$

(Tomamos como velocidad de la luz $c = 299.792.458 \text{ m seg}$)

Esto significa que si lanzamos desde la tierra un rayo de luz que se refleja en un espejo situado en α -Centauri, vuelve a la tierra en $2 \times 4,26 = 8,52$ años



Un experimento intergaláctico (2)

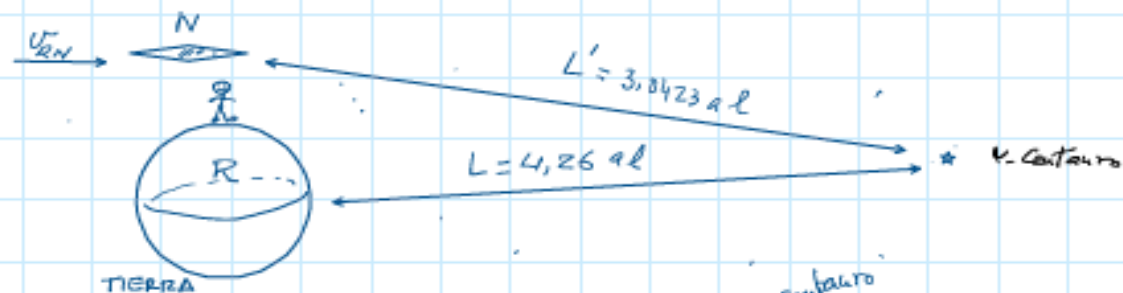
UN EXPERIMENTO INTERGALÁCTICO

La distancia de la tierra a α -Centauri es de

$$L = 40,17 \times 10^{15} \text{ m} = 4,26 \text{ al} \quad \text{al} = \text{años luz} = \left. \begin{array}{l} \text{distancia recorrida por} \\ \text{la luz en un año} \end{array} \right\}$$

(Tomamos como velocidad de la luz $c = 299.792.458 \text{ m seg}^{-1}$)

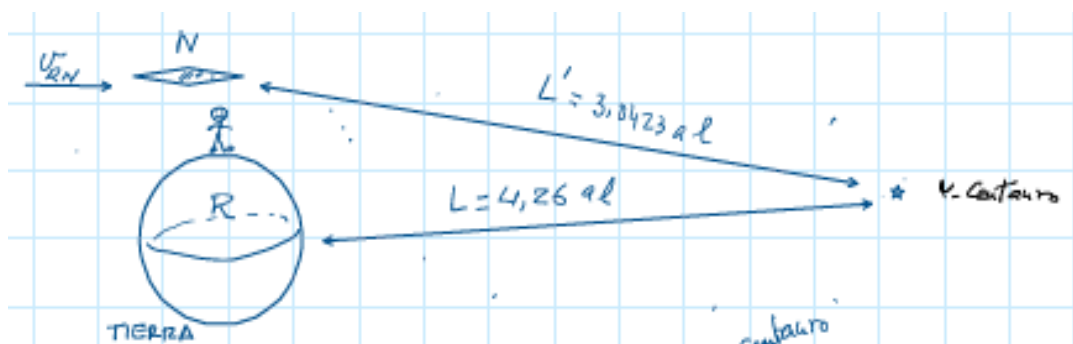
Esto significa que si lanzamos desde la tierra un rayo de luz que se refleja en un espejo situado en α -Centauri, vuelve a la tierra en $2 \times 4,26 = 8,52$ años



Una nave N pasa por encima de mi cabeza ^{hacia α -Centauri} a una velocidad $u_{RN} = c \cdot u_{RN}$ con $0 < u_{RN} < 1$. Hacia α -Centauri, percibe a α -Centauri una distancia de $L' = L \sqrt{1 - u_{RN}^2}$ así que si $u_{RN} = 0,7$ resulta $L' = 4,26 \sqrt{1 - 0,7^2} = 3,0423 \text{ al}$

- Esto significa que un rayo de luz lanzado desde la nave N tarda en llegar según su reloj un tiempo de L' años

Un experimento intergaláctico (3)



$$\text{Además si } T_R = \frac{L}{v_{RN}} = \frac{4,26}{0,7} = 6,09 \text{ años}$$

es el tiempo en años medido desde la tierra que tarda la nave N en llegar a α -centauro, y T_N de la duración del viaje que miden los astronautas.

$$\text{así que: } T_N = T_R \sqrt{1 - v_{RN}^2} = \frac{L}{v_{RN}} \sqrt{1 - v_{RN}^2} = 4,35 \text{ años}$$

Paradoja de los Gemelos

PARADOJA DE LOS GEMELOS

continuando con el ejemplo, suponemos que el hermano de la tierra tiene un hermano gemelo en la nave

- Una vez que la nave ha llegado a α -centauri, podría darse la vuelta a la tierra a la misma velocidad entonces

$2T_N \equiv$ duración del viaje de ida y vuelta para los astronautas

$\frac{2L}{U_{RN}} = 2T_N \equiv$ duración del viaje contemplada desde la tierra

$$2(T_R - T_N) = 2 \frac{L}{U_{RN}} (1 - \sqrt{1 - U_{RN}^2}) \approx 3,48 \text{ años}$$

diferencia de edad
entre los gemelos
cuando se vuelven
en la tierra

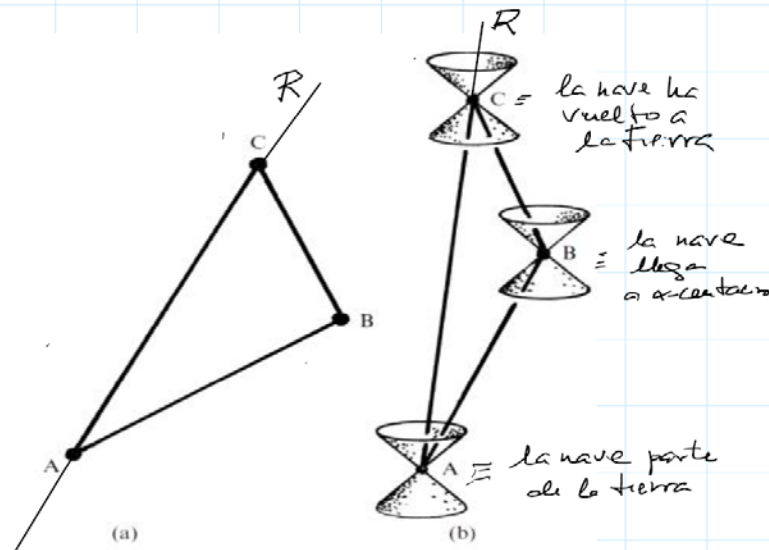


Tabla del viaje a Alfa-Centauri para distintas velocidades de la nave

-

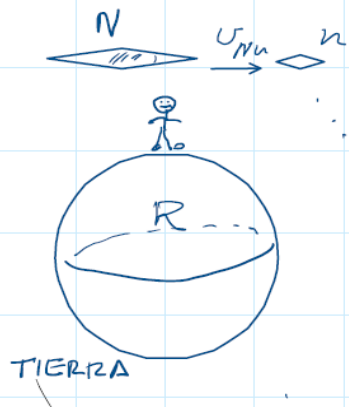
Tabla para un viaje más largo

-

Regla relativista de adición de velocidades

REGLA RELATIVISTA DE ADICIÓN DE VELOCIDADES

Si desde nave N lanzamos una nave nodriza n a velocidad $U_{Nn} = U_{Nn} \cdot c$ medida desde N , entonces la velocidad $U_{Rn} = U_{Rn} \cdot c$ de n medida desde la tierra es

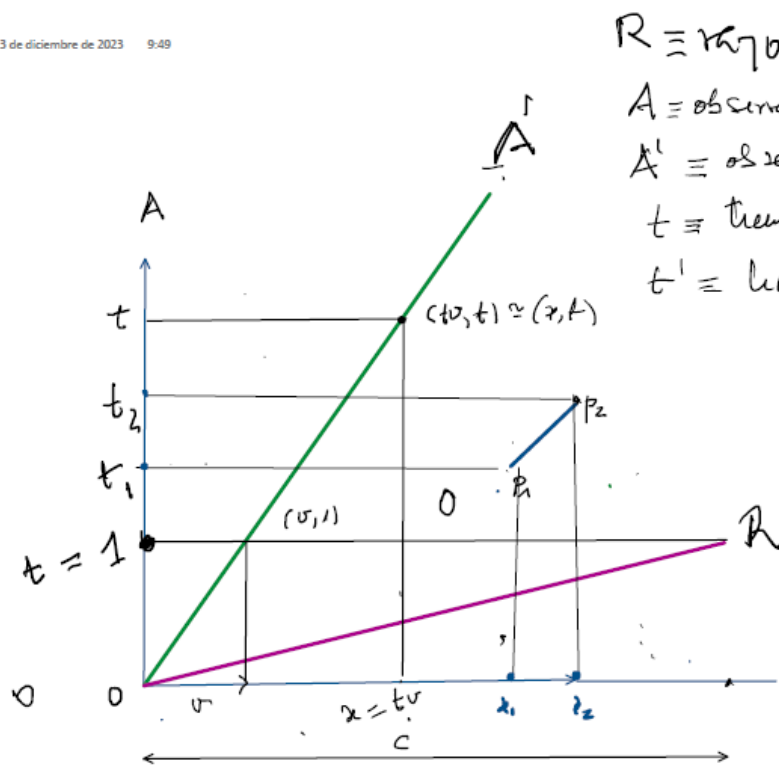


$$U_{Rn} = \frac{U_{RN} + U_{Nn}}{1 + U_{RN} U_{Nn}}$$

así por ejemplo, si $U_{RN} = 0.7 \text{ m/s}$ $U_{Nn} = 0.5 \text{ m/s}$

$$\text{se tiene } U_{Rn} = \frac{0.7 + 0.5}{1 + 0.7 \times 0.5} = \frac{1.2}{1.35} = 0.88 \text{ m/s}$$

El espaciotiempo (de las cucarachas).



$R \equiv$ rayo de luz
 $A \equiv$ observador del andén
 $A' \equiv$ observador viajero
 $t \equiv$ tiempo propio en A
 $t' \equiv$ tiempo propio de A'
 $t \equiv$ tiempo propio en A
 $t' \equiv$ tiempo propio de A'

$$\Delta(p_1, p_2) = (t_2 - t_1)^2 - \left(\frac{x_2 - x_1}{c}\right)^2$$

$\sigma(p_1, p_2) = \sqrt{\Delta(p_1, p_2)}$ representa el tiempo propio entre los sucesos p_1 y p_2 de un observador $Obs(p_1, p_2)$ que vive ambos sucesos

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} t \Rightarrow t'^2 = t^2 \left(\frac{c^2 - v^2}{c^2}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t'^2 = t^2 - \left(\frac{tv}{c}\right)^2 = t^2 - \left(\frac{x}{c}\right)^2 = \Delta_0(x, t)$$

es el intervalo entre los sucesos $(0,0)$ y (x,t) en general