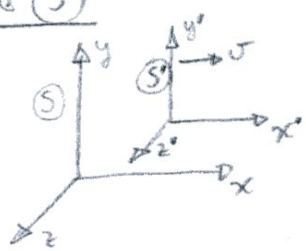
CONSEQUÊNCIAS DOS POSTULADOS DE EINSTEIN

- DEFINIÇÃO DE COMPRIMENTO PRÓPRIO: COMPRIMENTO DE UM OBJETO MEDIDO EM SEU PRÓPRIO <u>REFERENCIAL DE REPOUSO</u> (ONDE O OBJETO ENCONTRA-SE PARADO). EM QUALQUER OUTRO REFERENCIAL INERCIAL, O COMPRIMENTO DO OBJETO SERÁ <u>MENOR</u> QUE SEU COMPRIMENTO PRÓPRIO.

- DEFINIÇÃO DE TEMPO PRÓPRIO: INTERVALO DE TEMPO MEDIDO POR <u>UM ÚNICO RELÓGIO</u>, EM SEU PRÓPRIO <u>REFERENCIAL DE REPOUSO</u>. INTERVALOS DE TEMPO MEDIDOS EM QUALQUER OUTRO REFERENCIAL INERCIAL (POR RELÓGIOS EM POSIÇÕES DIFERENTES) SERÃO <u>MAIORES</u> QUE O INTERVALO DE TEMPO PRÓPRIO.

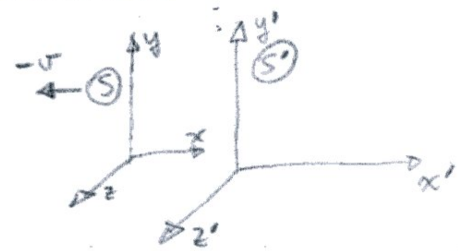
- AS LEIS DA FÍSICA SÃO <u>AS MESMAS</u>, INDEPENDENTEMENTE DO REFERENCIAL:

$\Rightarrow$ <u>COMO S VÊ S'</u>



S OBSERVA { CONTRAÇÃO DO ESPAÇO EM S'
DILATAÇÃO DO TEMPO EM S'

$\Rightarrow$ <u>COMO S' VÊ S</u>



S' OBSERVA { CONTRAÇÃO DO ESPAÇO EM S
DILATAÇÃO DO TEMPO EM S

- SIMULTANEIDADE É RELATIVA! $\Rightarrow$ RESTAURA A LÓGICA DO ÍTEM ANTERIOR

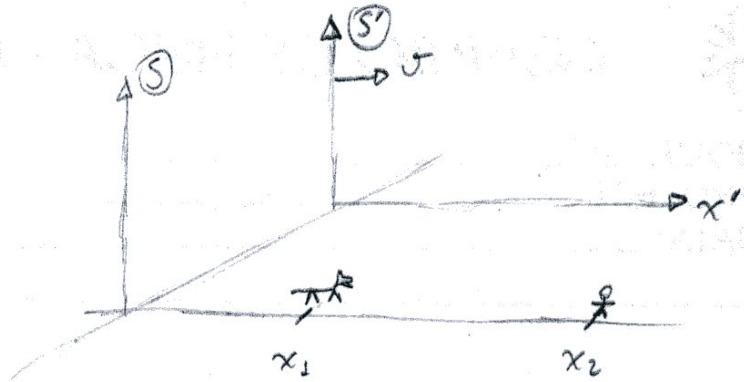
A $\boxed{\text{ORDEM}}$ DE EVENTOS <u>DEPENDE</u> DO REFERENCIAL.
(TEMPO)

CAUSA E EFEITO TAMBÉM SÃO RELATIVOS?

(2) CAUSALIDADE

E1 : CACHORRO LATINDO

E2 : CRIANÇA CHORANDO



EM (S)

$$E1\,(x_1, t_1) \qquad E2\,(x_2, t_2) \Rightarrow \Delta t = t_2 - t_1 = 1\,\mu s \quad (t_2 > t_1)$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 500\,m$$

E1 ANTES DE E2

L

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$$

EM (S')

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = \gamma\left[(t_2 - t_1) - \frac{v}{c^2}(x_2 - x_1)\right]$$

É POSSÍVEL $t'_2 < t'_1$?

E'1 DEPOIS DE E'2?

$$\Delta t' < 0 \Rightarrow (t_2 - t_1) < \frac{v}{c}\frac{(x_2 - x_1)}{c} \Rightarrow \boxed{\frac{v}{c} > \frac{c(t_2 - t_1)}{x_2 - x_1}}$$

SERÁ? $c(t_2 - t_1) = 3\times10^8\,m/s \times 1\times10^{-6}\,s = \boxed{300\,m} \neq \boxed{x_2 - x_1 = 500\,m}$

$\therefore$ SE $\frac{v}{c} > \frac{3}{5}$ TEREMOS $\Delta t' < 0 \Rightarrow$ É POSSÍVEL A INVERSÃO TEMPORAL!

SE $x_2 - x_1 = 200\,m$? $\quad \frac{v}{c} > \frac{300\,m}{200\,m} \Rightarrow \boxed{v > \frac{3}{2}c}$ IMPOSSÍVEL!

Δt: SEPARAÇÃO TEMPORAL ENTRE 2 EVENTOS

Δx: SEPARAÇÃO ESPACIAL ENTRE 2 EVENTOS

$$c\frac{\Delta t}{\Delta x} \geq 1 \Rightarrow \text{CONECTADOS CAUSALMENTE}$$

(IMPOSSÍVEL OCORRER A

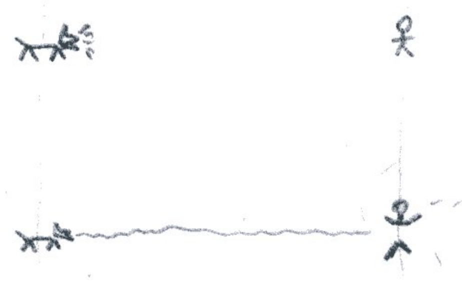
(3)

E1: CACHORRO LANÇA LASER $(x_1; t_1)$

E2: CRIANÇA MORRE $(x_2; t_2)$

$t = t_1$

$t = t_2$



$$t_2 - t_1 = \frac{x_2 - x_1}{c} \Rightarrow \frac{c\,\Delta t}{\Delta x} = 1 \Rightarrow$$ CONECTADOS CAUSALMENTE!

TROQUE O LASER POR UM REVÓLVER $\Rightarrow$ v_B: VELOCI// DA BALA

$$t_2 - t_1 = \frac{x_2 - x_1}{v_B} \Rightarrow \frac{c\,\Delta t}{\Delta x} = \frac{c}{\Delta x}\,\frac{\Delta x}{v_B} = \frac{c}{v_B} > 1 \Rightarrow$$ CONECTADOS CAUSALMENTE!

(4)

TRANSFORMAÇÕES DAS VELOCIDADES EM RELAT. RESTR.

$$x' = \gamma(x - v t) \; ; \; t' = \gamma\left(t - \frac{v x}{c^2}\right) \; ; \; y' = y \; ; \; z' = z$$

$$dx' = \gamma(dx - v\,dt) \; ; \; dt' = \gamma\left(dt - \frac{v}{c^2}dx\right) \; ; \; dy' = dy \; ; \; dz' = dz$$

$$u_x \equiv \frac{dx}{dt} \; ; \; u_y \equiv \frac{dy}{dt} \; ; \; u_z \equiv \frac{dz}{dt}$$

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{\gamma(dx - v\,dt)}{\gamma\left(dt - \frac{v}{c^2}dx\right)} = \frac{\cancel{dt}\left(\frac{dx}{dt} - v\right)}{\cancel{dt}\left(1 - \frac{v}{c^2}\frac{dx}{dt}\right)} = \boxed{\frac{u_x - v}{1 - \frac{v u_x}{c^2}}}$$

$$u'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{\gamma\,dt\left(1 - \frac{v}{c^2}\frac{dx}{dt}\right)} = \boxed{\frac{u_y}{\gamma\left(1 - \frac{v u_x}{c^2}\right)}} \qquad \boxed{u'_z = \frac{u_z}{\gamma\left(1 - \frac{v u_x}{c^2}\right)}}$$

(5)

$\vec{v} = 0{,}8c\,\hat{i}$ $\qquad$ $\vec{w} = -0{,}6c\,\hat{i}$

S' : REFERENCIAL DA A

$$w'_x = \frac{w_x - v}{1 - \frac{v u_x}{c^2}} = \frac{-0{,}6c - 0{,}8c}{1 - \frac{(0{,}8c)\times(-0{,}6c)}{c^2}}$$

$$w'_x = \frac{-1{,}4c}{1 + 0{,}48} = \boxed{-\frac{1{,}4}{1{,}48}c < c}$$

$$\vec{u}_L = -c\cos\theta\,\hat{i} + c\,\mathrm{sen}\,\theta\,\hat{j}$$

$$u_{Lx} = -c\cos\theta$$

$$u_{Ly} = c\,\mathrm{sen}\,\theta$$

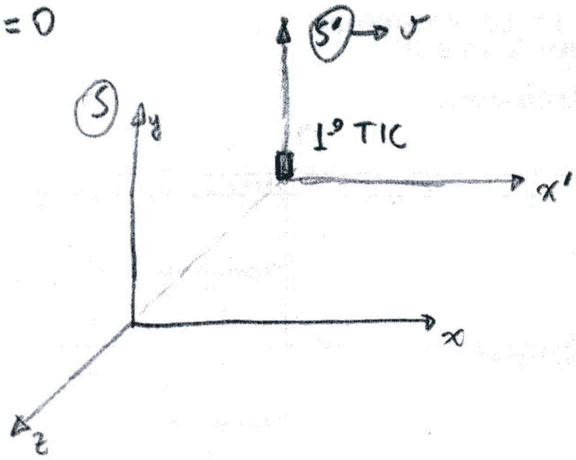
$$u'_{Lx} = \frac{u_{Lx} - v}{1 - \frac{v u_{Lx}}{c^2}} = \frac{-c\cos\theta - 0{,}8c}{1 - \frac{(0{,}8c)\times(-c\cos\theta)}{c^2}} = \boxed{-\frac{(0{,}8 + \cos\theta)\,c}{1 + 0{,}8\cos\theta}}$$

$$u'_{Ly} = \frac{u_{Ly}}{\gamma\left(1 - \frac{v u_{Lx}}{c^2}\right)} = \frac{c\,\mathrm{sen}\,\theta}{\gamma(1 + 0{,}8\cos\theta)} = \boxed{\frac{c\,\mathrm{sen}\,\theta}{(1 + 0{,}8\cos\theta)}\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

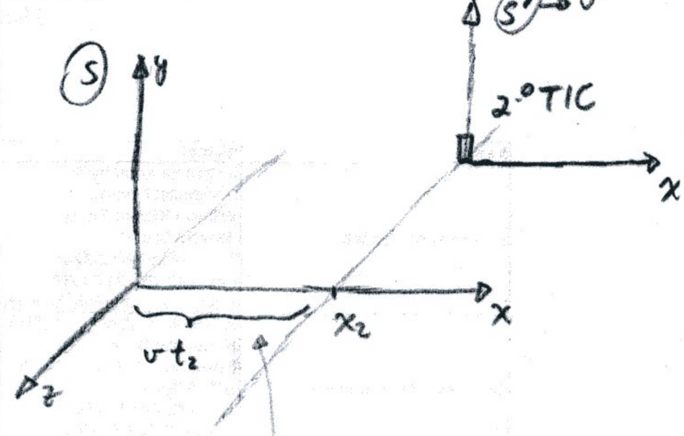
5

DOPPLER RELATIVÍSTICO

E1: $t = t' = 0$



E2: $t = t_2$



EM S' $\quad E'1: \; t'_1 = 0 \; ; \; x'_1 = 0$

$E'2: \; t'_2 = T_0 \; ; \; x'_2 = 0$ (POR QUÊ?)

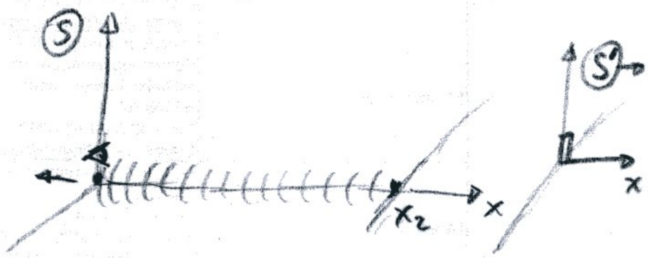
$$x'_2 = \gamma (x_2 - v t_2) = 0 \Rightarrow \boxed{x_2 = v t_2}$$

$$t'_2 = \gamma \left(t_2 - \frac{v}{c^2} x_2\right) = \gamma \left(t_2 - \frac{v^2}{c^2} t_2\right) = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}\, t_2 (1-\beta^2) = t_2 \sqrt{1-\beta^2} = \boxed{\frac{t_2}{\gamma}}$$

$$\boxed{t_2 = \gamma t'_2 = \gamma T_0}$$ (DILATAÇÃO DO TEMPO!!!)

CHEGADA DO SINAL DO 2.º TIC AO OBSERVADOR DE S FIXO NA ORIGEM:

$$\Delta t = \frac{x_2}{c} = \frac{v}{c} t_2 = \boxed{\beta \gamma T_0}$$



$$T = t_2 + \Delta t = \gamma T_0 + \beta \gamma T_0 = \gamma T_0 (1+\beta)$$

$$T = T_0 \frac{(1+\beta)}{\sqrt{1-\beta^2}} = T_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{T_0}\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$$

$\therefore$ $\boxed{f = f_0 \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}}$ AFASTANDO

ANALOGAMENTE:

$\boxed{f = f_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}}$ APROXIMANDO