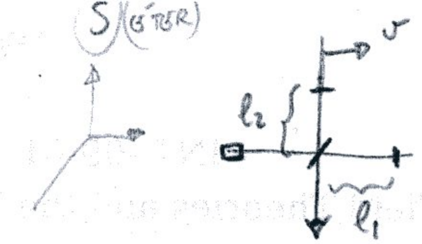
① M & M

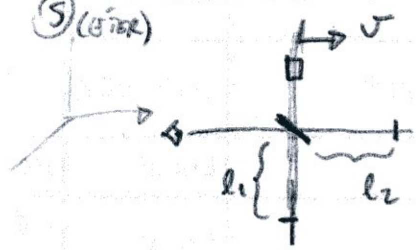
$\theta = 0°$



$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2}{c}\left[\frac{l_1}{1-\beta^2} - \frac{l_2}{\sqrt{1-\beta^2}}\right]$$

$\theta = 90°$



$$\Delta \bar{t} = \bar{t}_1 - \bar{t}_2 = \frac{2}{c}\left[\frac{l_1}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{l_2}{1-\beta^2}\right]$$

$$\Delta t - \Delta \bar{t} = \frac{2(l_1+l_2)}{c}\left[\frac{1}{1-\beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}\right]$$

$$\simeq \frac{2}{c}(l_1+l_2)\left[\left(1+\beta^2+\dots\right) - \left(1+\frac{\beta^2}{2}+\dots\right)\right]$$

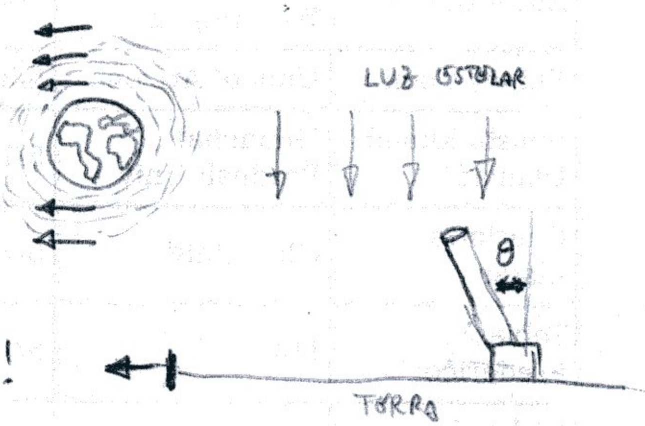
$$\approx \boxed{\frac{(l_1+l_2)}{c}\beta^2}$$

$c \simeq 300.000\ \mathrm{km/s}$

$v_{TERRA} \simeq 30\ \mathrm{km/s}$

TENTANDO SALVAR O ÉTER

ⓐ "ARRASTAMENTO" DO ÉTER:



* DESCARTADA PELA ABERRAÇÃO DA LUZ ESTELAR!

ⓑ CONTRAÇÃO DE LORENTZ-FITZGERALD (~1892)

$$l_{\parallel} \to l_{\parallel}\sqrt{1-\beta^2}$$

$$\Delta t = \frac{2}{c}\frac{(l_1-l_2)}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \text{(0 GRAUS)}$$

$$\Delta \bar{t} = \frac{2}{c}\frac{(l_1-l_2)}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \text{(90 GRAUS)}$$

EXPLICARIA M & M

RELEMBRAR É VIVER...

1. MEC ⟷ NEWTON, ↘ PR ↗ — EM ⟷ MAXWELL, ↘ ~~PR~~ ↗
2. MEC ⟷ NEWTON, ↘ PR ↗ — EM ⟷ ~~MAXWELL~~, ↘ PR ↗
3. MEC ⟷ ~~NEWTON~~, ↘ PR ↗ — EM ⟷ MAXWELL, ↘ PR ↗

(2) **E O EM DE MAXWELL!**

$\phi = E_i$ OU B_i $\longrightarrow$ $\boxed{\dfrac{\partial^2\phi}{\partial x^2} - \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = 0}$ (I)

SE (I) VALE PARA (S), COMO FICARIA PARA (S')?

TRANSF. GALILEANA: $\boxed{\begin{array}{l} x' = x - vt \\ t' = t \end{array}}$ $\Rightarrow$ $\boxed{\dfrac{\partial^2\phi}{\partial x^2} - \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \neq \dfrac{\partial^2\phi}{\partial x'^2} - \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial^2\phi}{\partial t'^2}}$

(DEMONSTRE!)

POINCARÉ + LORENTZ: ESPAÇO E TEMPO INTER-CONECTADOS

(MAS O ÉTER AINDA EXISTINDO!)

* GENERALIZAÇÃO DAS T.G.

$$\boxed{x' = \gamma(x - vt) \quad e \quad t' = \gamma(t - vx/c^2)}$$

(S) → ÉTER, (S') → TERRA

$$t' = 0 \rightarrow t = \frac{vx}{c^2} \Rightarrow x' = \gamma(1 - v^2/c^2)x$$

SE $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow x' = \sqrt{1-\beta^2}\, x$ (CONTRAÇÃO DE LORENTZ-F)

(t': TEMPO LOCAL)

RESULTADO: EQS. DE MAXWELL INVARIANTES!

3

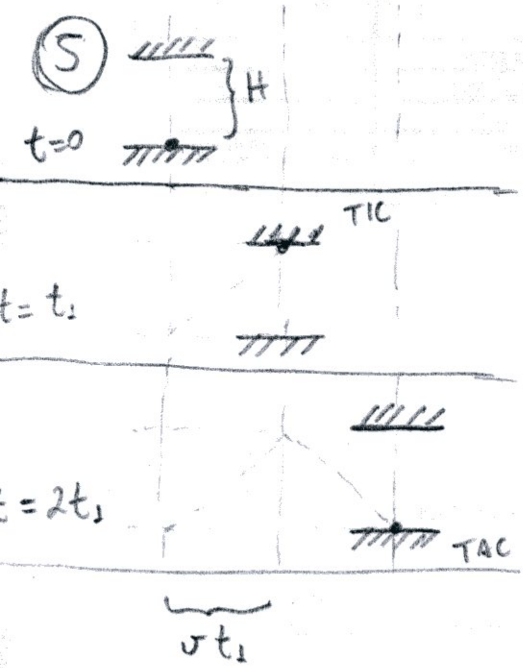
POSTULADOS DA RELATIVIDADE RESTRITA

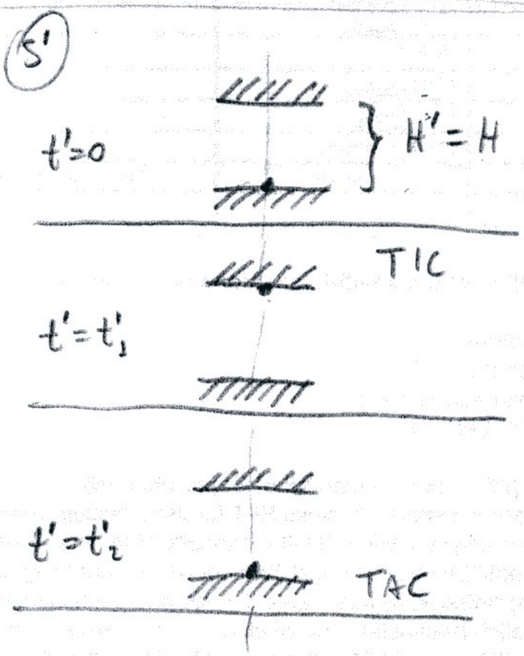
• **TODOS** OS SISTEMAS INERCIAIS SÃO EQUIVALENTES PARA A FORMULAÇÃO DE **TODAS** AS LEIS DA NATUREZA (PR)

• A **LUZ** PROPAGA-SE, NO VÁCUO, DE MODO RETILÍNEO E COM A MESMA VELOCIDADE $\boxed{c}$ EM TODOS OS TEMPOS, TODAS AS DIREÇÕES E EM TODOS OS SISTEMAS INERCIAIS, INDEPENDENTEMENTE DO MOVIMENTO DA FONTE DE LUZ.

2.º POSTULADO: COMPLETA MUDANÇA DE PARADIGMA NA CIÊNCIA!

$\boxed{c}$ SEMPRE CONSTANTE $\Rightarrow$ CONTRADIÇÕES? [OLHANDO-SE NO ESPELHO
LUZ PARADA





$$\Delta s = \sqrt{H^2+(vt_1)^2} = ct_1$$

$$t_1^2c^2 = t_1^2v^2 + H^2$$

$$t_1 = \frac{H}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{H}{c}\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \gamma\frac{H}{c}$$

MAS EM S' $\quad H' = ct'_1 = H$

$$t'_1 = \frac{H}{c} \Rightarrow t_1 = \gamma t'_1 = \frac{t'_1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} > t'_1$$

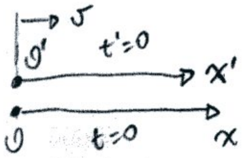
DILATAÇÃO DO TEMPO!

• VÍDEO: SIMULTANEIDADE

4

EINSTEIN E AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

EM $t = t' = 0$ AS ORIGENS O E O' COINCIDEM $\Rightarrow$ EMISSÃO DE UM PULSO DE LUZ



$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

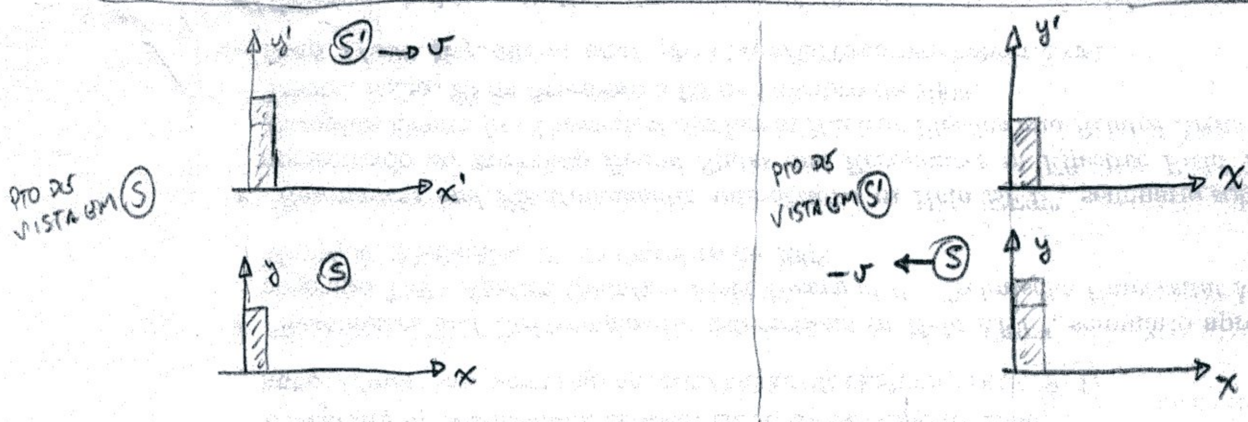
$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$$

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = a\left(x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2\right)$$

SE $v = 0$ ENTÃO $x' = x, \dots$ $\Rightarrow$ $\boxed{a = 1}$

- ISOTROPIA DO ESPAÇO NAS DIREÇÕES TRANSVERSAIS AO MOVIMENTO:

$$y' = y \quad \text{e} \quad z' = z$$



- RELAÇÃO ENTRE AS "DIREÇÕES" LONGITUDINAL E TEMPORAL

$$ct' = f(v)\,x + g(v)\,ct$$

$$x' = h(v)\,x + j(v)\,ct$$

PARA $v = 0$ $\Rightarrow$ $\boxed{f(0) = j(0) = 0}$, $\boxed{g(0) = h(0) = 1}$

- TRANSFORMAÇÃO INVERSA:

$$ct = \frac{f x' - h ct'}{fj - hg} \qquad \Delta = fj - hg = \begin{vmatrix} f & g \\ h & j \end{vmatrix} \neq 0$$

$$x = \frac{-g x' + j ct'}{fj - hg}$$

(5) MOVIMENTO DAS ORIGENS O e O':

O': (em S)
$$\frac{dx_{o'}}{dt} = v = \frac{dx}{dt'}\frac{dt'}{dt} = \frac{dx}{dt'}\left(\frac{dt}{dt'}\right)^{-1} = \frac{jc}{\Delta}\left(-\frac{h}{\Delta}\right)^{-1} = \boxed{-\frac{jc}{h}}$$

O: (em S')
$$\frac{dx'_o}{dt'} = -v = \frac{dx'}{dt}\frac{dt}{dt'} = \frac{dx'}{dt}\left(\frac{dt'}{dt}\right)^{-1} = jc(g)^{-1} = \boxed{\frac{jc}{g}}$$

$$-v = \frac{jc}{g} = \frac{jc}{h} \Rightarrow \boxed{g(v) = h(v)}$$

- CONSTÂNCIA DA PROPAGAÇÃO DA LUZ:

$$x^2 - c^2t^2 = x'^2 - c^2t'^2 = (h^2x^2 + 2hj\,xct + j^2c^2t^2)$$
$$-(f^2x^2 + 2fh\,xct + h^2c^2t^2) = (h^2-f^2)x^2 - (h^2-j^2)c^2t^2 + 2xct(hj - fh)$$

$$\left.\begin{aligned} h^2 - f^2 &= 1 \\ h^2 - j^2 &= 1 \end{aligned}\right\} \boxed{f(v) = j(v)} \Rightarrow \boxed{hj - fh = 0}$$

$$\beta = \frac{v}{c} = -\frac{j}{h} = -\frac{f}{h} \Rightarrow h^2 - f^2 = h^2\left(1 - \frac{f^2}{h^2}\right) = h^2(1-\beta^2) = 1$$

$$h \equiv \gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$f = -h\beta = \boxed{-\beta\gamma}$$

$$\therefore \quad \begin{aligned} ct' &= fx + gct = -\beta\gamma x + \gamma ct = \gamma(ct - \beta x) \\ x' &= hx + jct = \gamma x - \beta\gamma ct = \gamma(x - \beta ct) \end{aligned}$$

$$\boxed{\begin{aligned} x' &= \gamma(x - vt) \\ t' &= \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right) \end{aligned}}$$

RESUMO: TRANSF. DE LORENTZ

$$ct' = fx + gct \qquad ct = \frac{fx' - hct'}{\Delta}$$
$$x' = hx + jct \qquad x = \frac{-gx' + jct'}{\Delta}$$
$$\Delta = fj - hg$$

- MOVIM/O DAS ORIGENS O E O': $\boxed{\frac{v}{c} = -\frac{j}{h}}$, $\boxed{g = h}$

- C CONST.: $\boxed{f = j}$ $\qquad \boxed{h^2 - j^2 = 1}$

$$\Delta = fj - hg = j^2 - h^2 = -1 \qquad \boxed{g = h \equiv \gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}} \qquad \boxed{f = j = -h\frac{v}{c} = -\gamma\beta}$$

$$ct' = \gamma(-\beta x + ct) \qquad ct = -\gamma(-\beta x' - ct')$$
$$x' = \gamma(x - \beta ct) \qquad x = -\gamma(-x' - \beta ct')$$

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

CONSEQUÊNCIAS PRINCIPAIS

- NENHUMA CONTRAÇÃO NAS DIREÇÕES TRANSVERSAIS AO MOVIMENTO
- DILATAÇÃO DO TEMPO: RELÓGIOS EM MOVIMENTO ANDAM MAIS DEVAGAR COM RELAÇÃO AOS "PARADOS". RELÓGIOS EM REPOUSO SÃO OS MAIS RÁPIDOS (TEMPO PRÓPRIO)
- CONTRAÇÃO DO ESPAÇO: RÉGUAS EM MOVIMENTO SÃO MAIS CURTAS QUE AS QUE PERMANECEM "PARADAS". RÉGUAS EM REPOUSO SÃO MAIORES (COMPRIMENTO PRÓPRIO)
- RELÓGIOS DESSINCRONIZADOS NOS REFERENCIAIS EM MOVIMENTO.

MEDIDAS EM UM REFERENCIAL INERCIAL

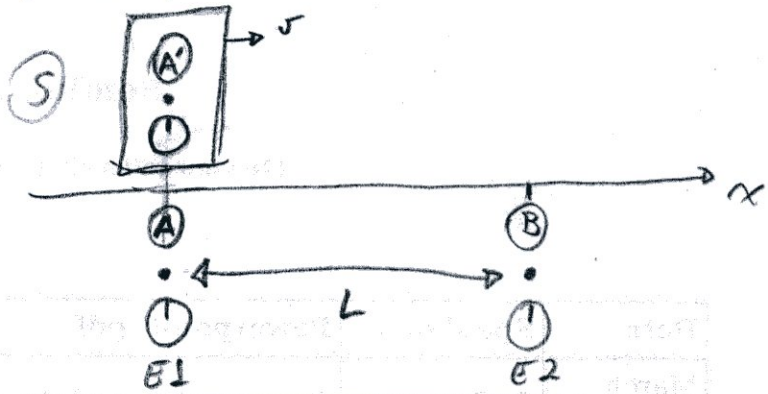
- PULSO DE LUZ: CALIBRANDO DISTÂNCIAS

  SINCRONIZANDO RELÓGIOS

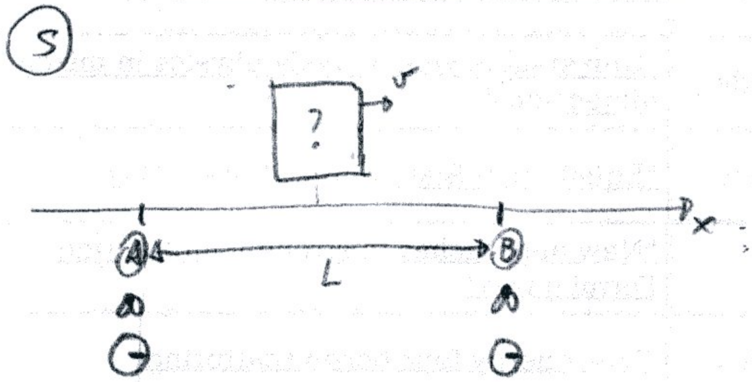
(7) DILATAÇÃO DO TEMPO E CONTRAÇÃO DO ESPAÇO

$\boxed{\text{EM } S}$: NASCIMENTO DAS MOSCAS A E B SIMULTANEAMENTE EM $t=0$

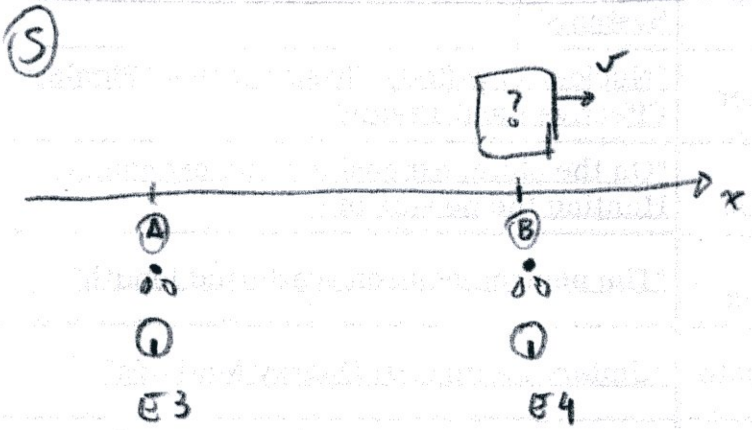
$\boxed{\text{EM } S'}$: NASCE A MOSCA A' EM $t'=0$



$t = \frac{1}{2}$ DIA



$t = t_M = 1$ DIA



E1: $(0;0)$ E3: $(0;t_M)$ $(L = v\,t_M)$

E2: $(L;0)$ E4: $(L;t_M)$

$v = 0{,}6c = \frac{3}{5}c \Rightarrow \boxed{\beta = 0{,}6 = \frac{3}{5}}$

$$\sqrt{1-\beta^2} = \sqrt{1-\frac{9}{25}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{5}{4}$$

(8) EM (S'): USAR AS TL's

$$\boxed{E'1: (0;0)}$$

$$E'2: \begin{cases} x'_2 = \gamma(x_2 - v t_2) = \gamma x_2 = \boxed{\frac{5}{4} L} \\ t'_2 = \gamma\left(t_2 - \frac{v x_2}{c^2}\right) = -\frac{v}{c}\frac{L}{c} = -\beta^2 t_M = -\frac{9}{25} t_M = \boxed{-0{,}36 \text{ DIA}} \end{cases}$$

$$\boxed{E'2: \left(\frac{5}{4} L; -0{,}36\, t_M\right)}$$

$$E'3: \begin{cases} x'_3 = \gamma(x_3 - v t_3) = -\gamma v t_M = -\gamma L = \boxed{-\frac{5}{4} L} \\ t'_3 = \gamma\left(t_3 - \frac{v x_3}{c^2}\right) = \gamma t_M = \frac{5}{4} t_M = \boxed{1{,}25 \text{ DIA}} \end{cases}$$

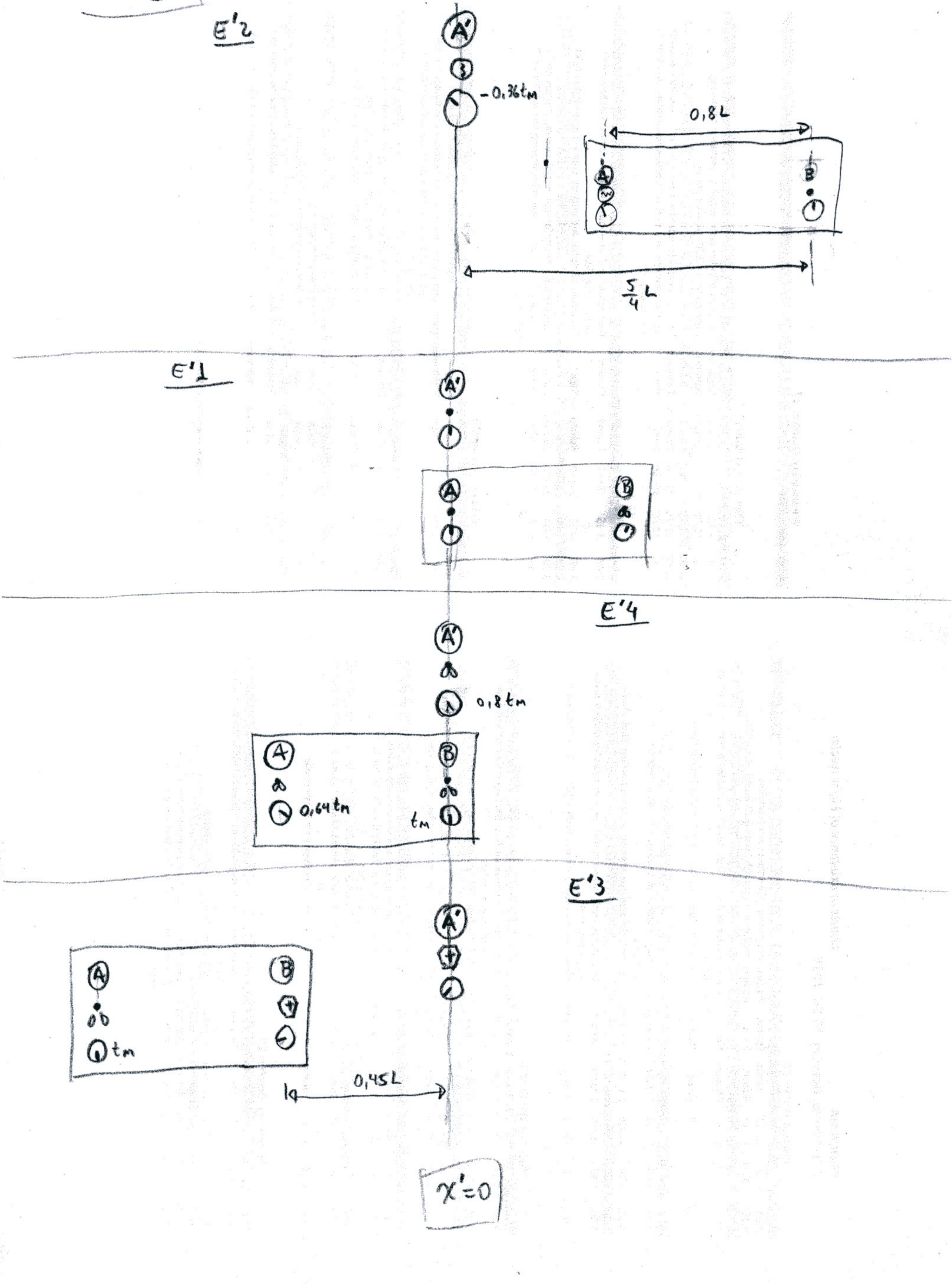
$$\boxed{E'3: \left(-\frac{5}{4} L; 1{,}25\, t_M\right)}$$

$$E'4: \begin{cases} x'_4 = \gamma(L - v t_M) = \boxed{0} \\ t'_4 = \gamma\left(t_M - \frac{vL}{c^2}\right) = \gamma t_M (1 - \beta^2) = t_M \sqrt{1-\beta^2} = \frac{4}{5} t_M = \boxed{0{,}8\, t_M} \end{cases}$$

$$\boxed{E'4: (0; 0{,}8\, t_M)}$$

ORDEM DOS EVENTOS: $E'2 / E'1 / E'4 / E'3$ (!)

9 EM S'


E'2
A'
3
-0,36tm
0,8L
A
B
5/4 L
E'1
A'
A
B
E'4
A'
0,8tm
A
B
0,64tm
tm
E'3
A'
A
B
tm
0,45L
x'=0