

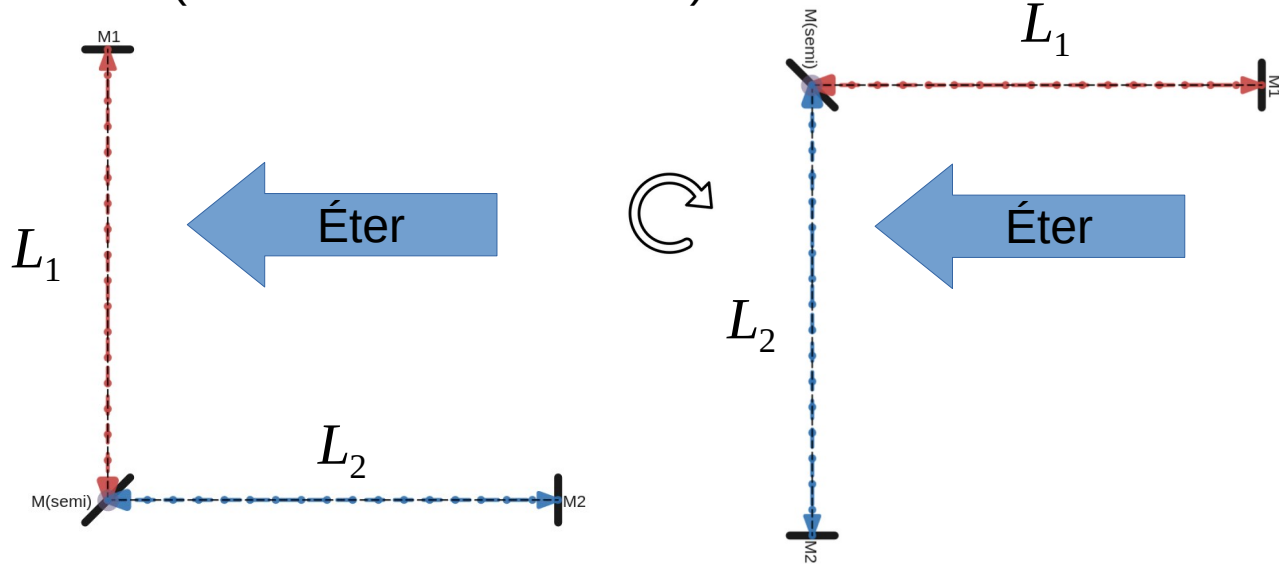
Física IV (IF 2023)

Aula 22

- Objetivos de aprendizagem
 - Enunciar os postulados da Relatividade Restrita
 - Verificar a simultaneidade de eventos distantes segundo a definição de Einstein
 - Explicar como sincronizar relógios para marcar o tempo em um dado referencial inercial
 - Comparar medidas de espaço e tempo em dois referenciais inerciais

M-M: Medindo com 2 orientações

(vide slide 21 da aula 20)



Contração de Lorentz

O braço em movimento na direção do éter é contraído pelo fator gama

$$\rightarrow \Delta d_{12} - \Delta d_{21} = 0$$

Resultado:

O movimento em relação ao éter é “indetectável” nesse experimento

$$\Delta d_{12} = 2 \gamma (L_1 - \gamma L_2')$$

$$L_2' = \frac{L_2}{\gamma}$$

$$\Delta d_{21} = 2 \gamma (\gamma L_1' - L_2)$$

$$L_1' = \frac{L_1}{\gamma}$$

Transformações de Lorentz

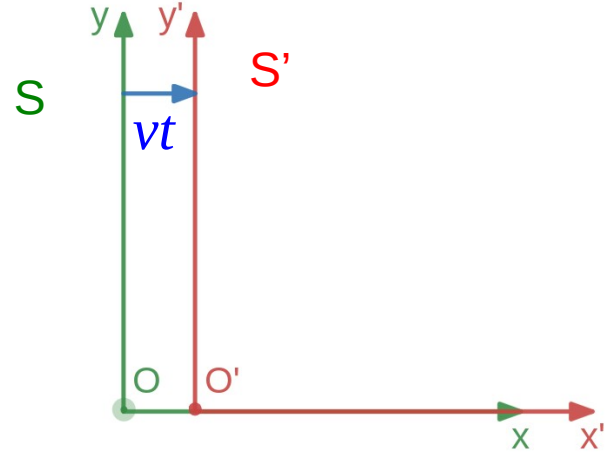
- Tempo “local”, e contração espacial no Éter

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

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

$$y' = y$$

$$z' = z$$



Mantém as equações de Maxwell covariantes por mudança de referencial

Interpretação difícil...

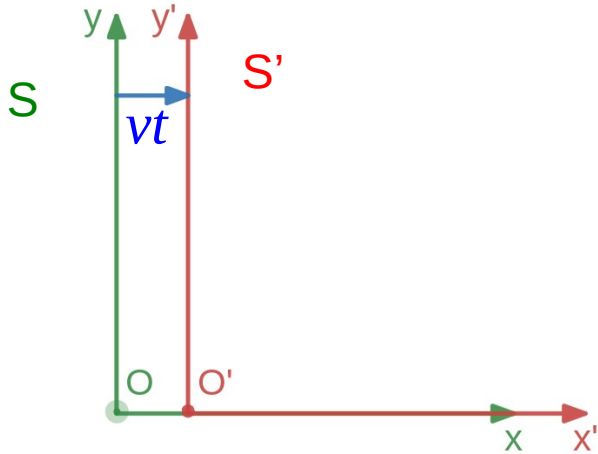
Conspiram para tornar impossível a detecção do movimento com relação ao éter

Postulados da Relatividade Restrita

(Restrita a referenciais inerciais, em MRU)

- 1) *“As leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais”*
- 2) *“A magnitude da velocidade da luz no vácuo, c , é a mesma, em qualquer direção em todos os referenciais inerciais, e é independente do movimento da fonte”*

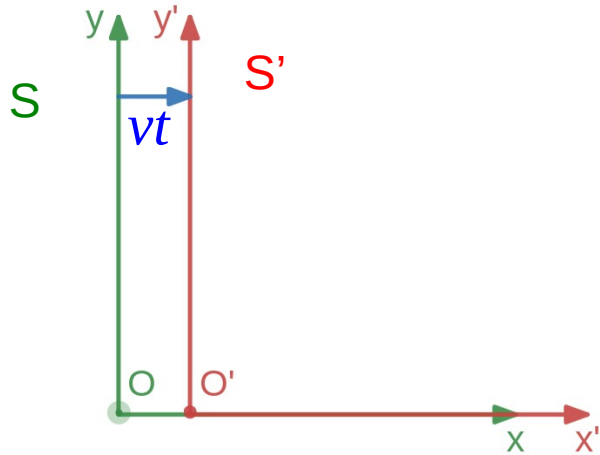
“Exemplo”



Referenciais **S** e **S'** com origens coincidentes em $t = t' = 0$.

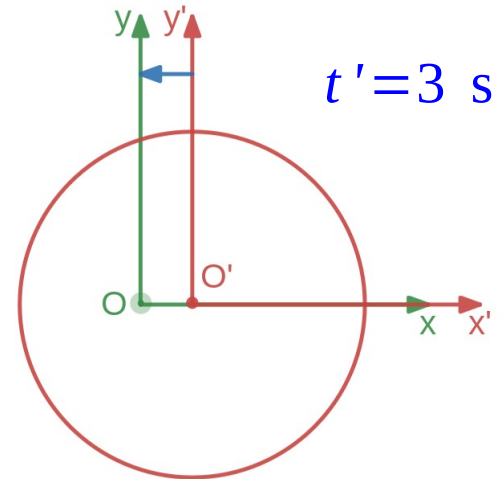
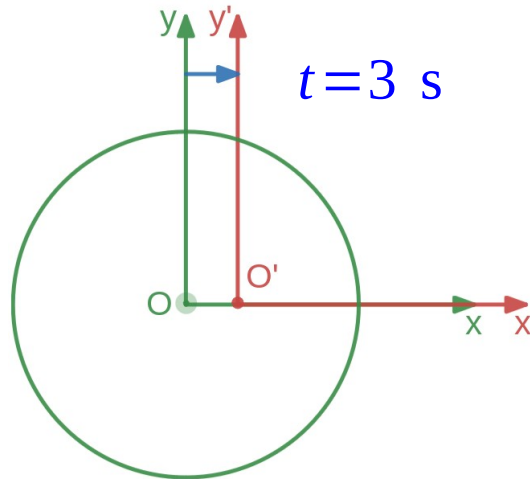
Como é a frente de onda de uma lâmpada acesa na origem no instante $t = 0$, em cada um dos referenciais, após, digamos, 3 s?

“Exemplo”

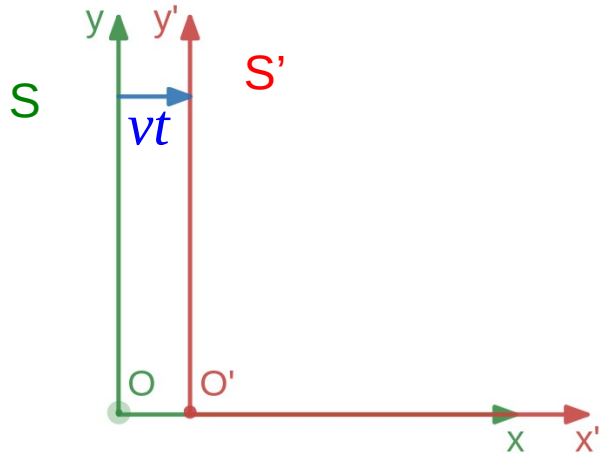


Referenciais S e S' com origens coincidentes em $t = t' = 0$.

Como é a frente de onda de uma lâmpada acesa na origem no instante $t = 0$, em cada um dos referenciais, após 3 s?



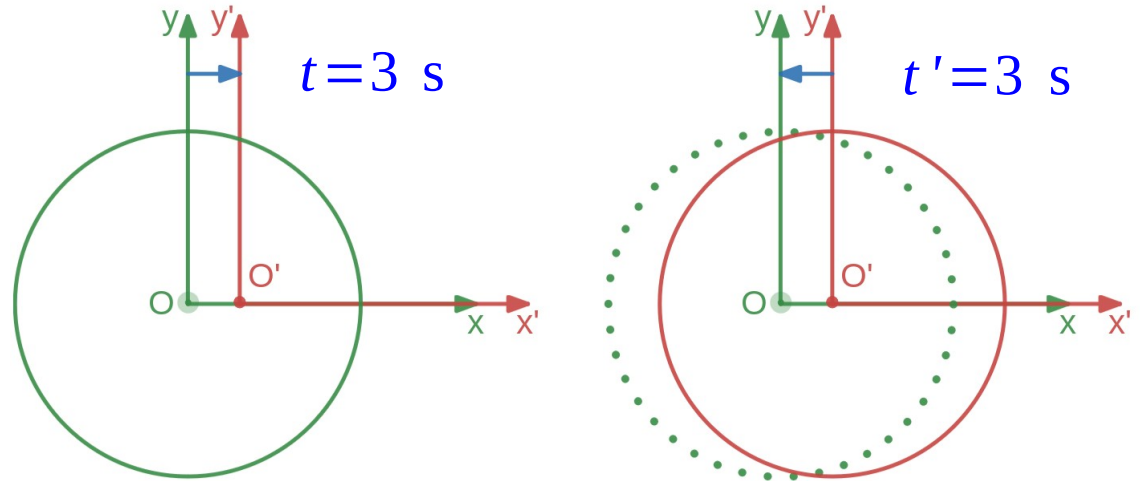
“Exemplo”



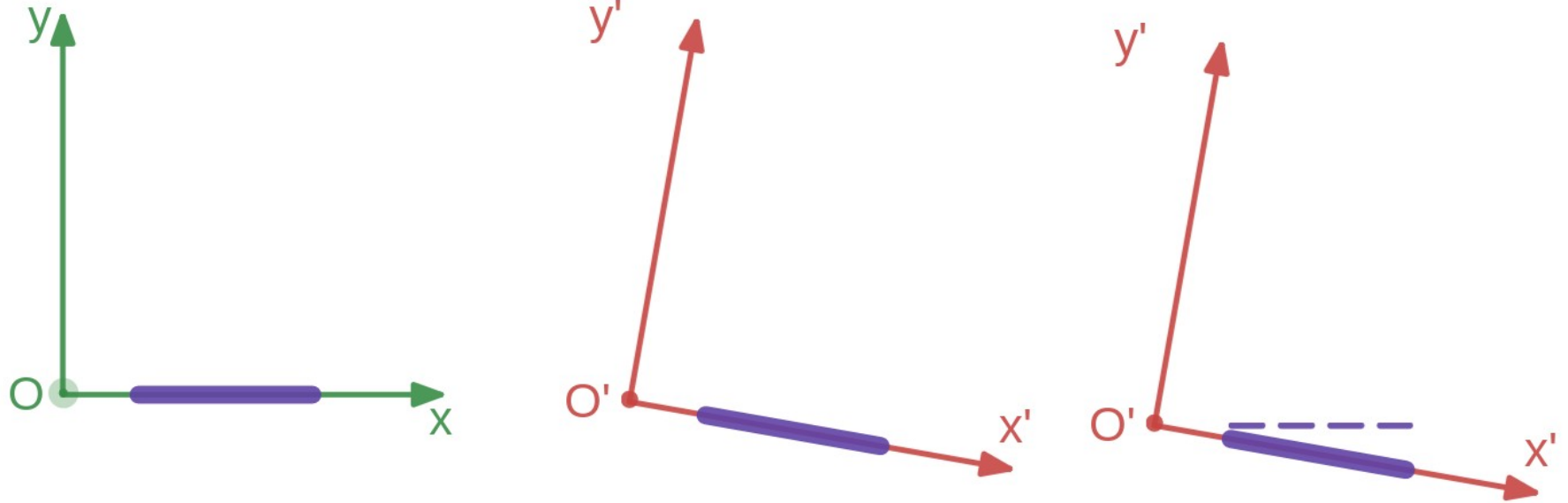
Referenciais S e S' com origens coincidentes em $t = t' = 0$.

Como é a frente de onda de uma lâmpada acesa na origem no instante $t = 0$, em cada um dos referenciais, após 3 s?

Como isso é possível?



Analogia com rotação



Barra deitada no eixo das abscissas do sistema de coordenadas.
Os pontos não coincidem, porque temos que considerar uma outra coordenada (a ordenada) que é diferente para cada ponto da barra na abscissa quando comparamos os referenciais.

Trem passando pela estação

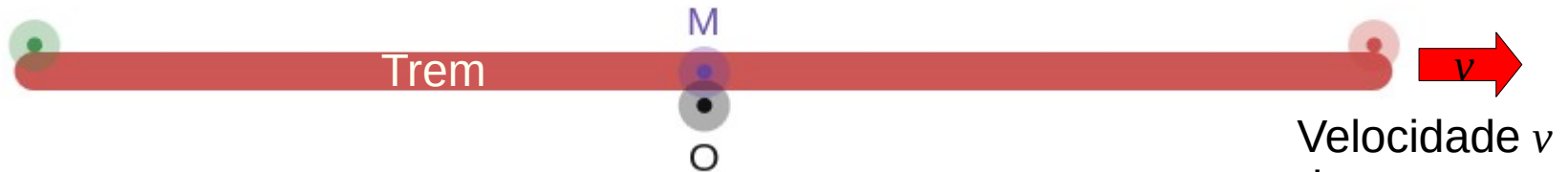


$$t = 0$$

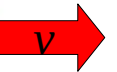
Pulso de luz (verde)

Observador no meio do trem

Pulso de luz (vermelha)



Trem



Velocidade v
do trem

Observador parado na estação
Vê os pulsos de luz ao mesmo tempo

<https://www.desmos.com/geometry/fv3rffeyan>

Simultaneidade

- Como saber se dois eventos são simultâneos, quando ocorrem em posições diferentes do espaço, em um dado referencial?

Simultaneidade

- Como saber se dois eventos são simultâneos, quando ocorrem em posições diferentes no espaço, em um dado referencial:
- Um evento no ponto P1 no instante t_1 é simultâneo a um evento no ponto P2, no instante t_2 (ou seja, $t_1 = t_2$), se um sinal luminoso emitido de P1 no instante t_1 encontra um sinal luminoso emitido de P2 no instante t_2 no ponto médio entre P1 e P2.

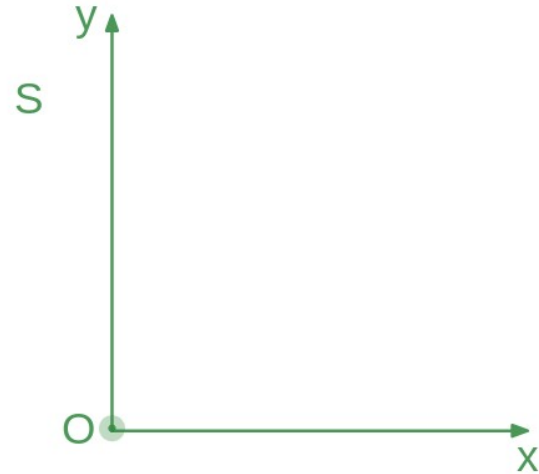
(Definição de Einstein, baseada no postulado 2)

Simultaneidade

- Eventos simultâneos em um mesmo ponto do espaço, são simultâneos em todos os referenciais. Por exemplo, os observadores na estação e no meio do trem se cumprimentam na origem O no instante $t = t' = 0$ (dar outros exemplos...).
- Eventos simultâneos em pontos afastados num referencial podem não ser simultâneos em outro referencial. A luz verde e a luz vermelha são observadas em instantes diferentes, no meio do trem, mas são vistas simultaneamente pelo observador da estação, na origem (dar outros exemplos...).

Construindo um referencial

- Precisamos de operações confiáveis para definir medidas de tempo e distância para descrever processos físicos em um referencial inercial (S, por exemplo).



Como medir o tempo?

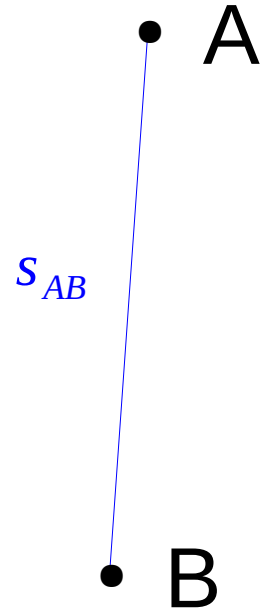
Como medir o tempo?

- Usar um relógio

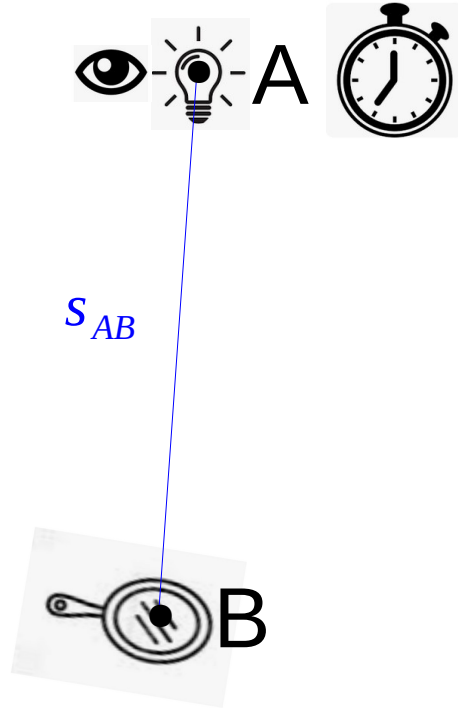
<https://www.bipm.org/en/si-base-units/second>

(e confiar no postulado 1)

Como medir distâncias?



Como medir distâncias?



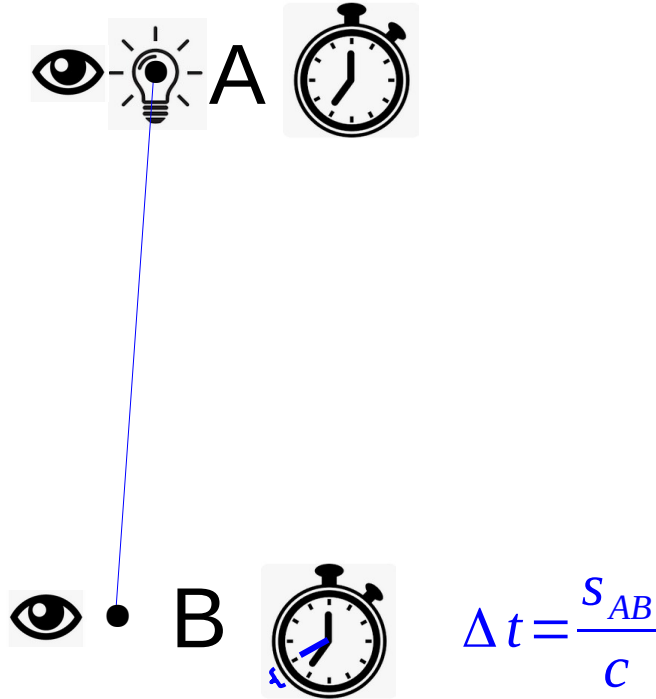
$$\Delta t = t_{\text{recepção}} - t_{\text{emissão}}$$

(pulso de luz)

$$s_{AB} = c \frac{\Delta t}{2}$$

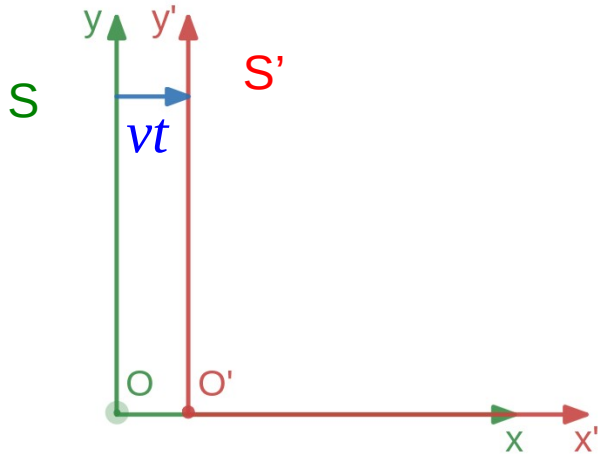
(e confiar no postulado 2)

Como sincronizar relógios?



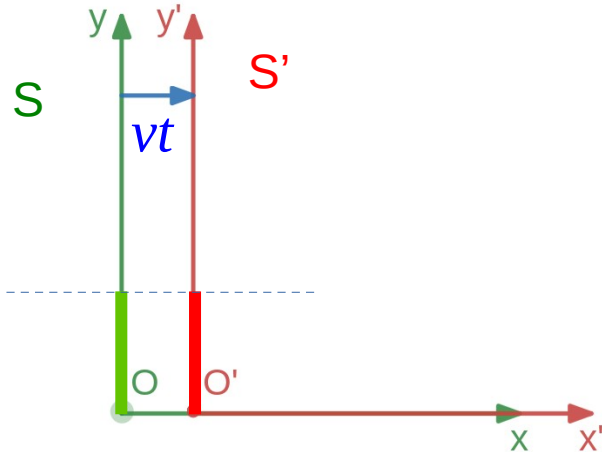
Comparando 2 referenciais

- Cada referencial deve ser adequadamente preparado com os procedimentos de calibração que discutimos para medidas de tempo e distância.
- Devemos atentar para argumentos de isotropia e uniformidade do espaço e simetrias (em cada referencial, e na relação entre referenciais)
- Devemos nos basear nos 2 postulados da relatividade restrita



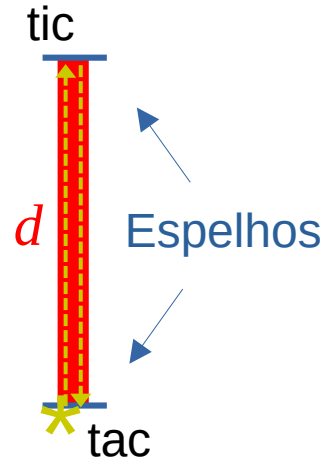
Dimensões transversais

- Ex.: Barras verticais com 30 cm de comprimento



- Em $t = t' = 0$ as origens coincidem (por construção)
- Em algum momento, as pontas superiores das barras de um referencial cruzam o eixo vertical do outro referencial.
- Neste momento, as pontas das duas barras tem que coincidir, por simetria (qual altura poderia ser maior?)
- Se um pulso de luz for emitido no instante em que as pontas das barras “colidem”, as origens dos sistemas serão iluminadas por esse pulso no instante $t = t' = 1$ ns, portanto, o pulso foi emitido no instante $t = t' = 0$, quando as origens eram coincidentes.
- A conclusão é que $y' = y$.

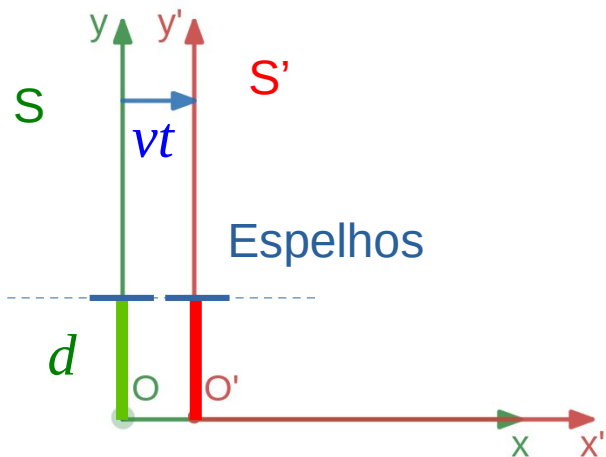
Relógios de luz



$$\Delta t_{tac} = 2 \Delta t_{tic} = 2 \frac{d}{c}$$

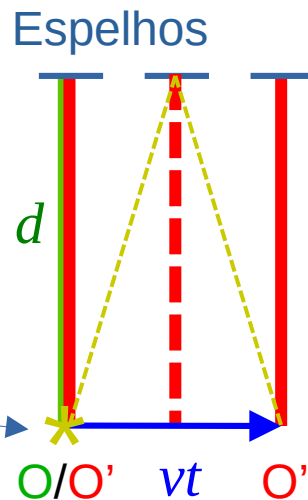
d conhecida

Comparando relógios



- Lâmpada é acesa na origem no instante $t = t' = 0$.

- Evento: Instante em que o pulso de luz volta a O' (visto de S).



a) Quais são as coordenadas (x,t) e (x',t') deste evento?

b) Como este processo é descrito em S' ? Quais são as coordenadas espaço-temporais do evento simétrico: "Pulso volta a O".

Barra na horizontal em S'

Desenhar processo de passagem da origem O (de S) pela barra:

- Visto de S'
- Visto de S

Identificar “tempo próprio” e “comprimento próprio”
(valores no referencial em que o objeto está em repouso)

Usar o resultado anterior (comparando relógios) para o tempo próprio

Notar que a magnitude da velocidade relativa v é a mesma

Comparar as medidas de comprimento da barra entre S e S'

