

Aula 4: Relatividade restrita

Bárbara Amaral

Instituto de Física da USP

Bibliografia

- ▶ Moysés: seção 6.3 e 6.5.
- ▶ Feynman: seções 15.3 a 15.5.
- ▶ Young and Freedman: seção 37.2 a 37.4.

Opção 3

O princípio da relatividade se aplica a todas as leis físicas e as equações de Maxwell estão corretas, mas a mecânica newtoniana precisa ser modificada.

Princípio da relatividade restrita

As leis físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

Princípio da constância da velocidade da luz

A velocidade da luz no vácuo é c em relação a todos os referenciais.

Precisamos alterar as leis da mecânica newtoniana.

Qual é a relação entre as coordenadas x, y, z, t e x', y', z', t' ?

Transformação de Galileu

$$x' = x - ut$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Transformação de Galileu para o tempo

$$t = t'$$

“O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por sua própria natureza, sem relação a nada externo, permanece sempre semelhante e imutável.”

Efeitos dos postulados de Einstein sobre os intervalos de tempo

Relatividade da Simultaneidade

Todos os nossos julgamentos a respeito do tempo são sempre julgamentos de eventos simultâneos.

É fácil saber se dois eventos que ocorrem na mesma região do espaço são simultâneos.

Como podemos saber se dois eventos que ocorrem em lugares diferentes são simultâneos?

Simultaneidade

A simultaneidade de eventos que ocorrem em duas regiões diferentes não tem significado a priori e deve ser definida por **convenção**.

Simultaneidade

Suponha que um evento 1 acontece no ponto P_1 no instante t_1 , sendo marcado por um sinal luminoso que parte de P_1 nesse instante de tempo.

Simultaneidade

Suponha que um evento 2 acontece no ponto P_2 no instante t_2 , sendo marcado por um sinal luminoso que parte de P_2 nesse instante de tempo.

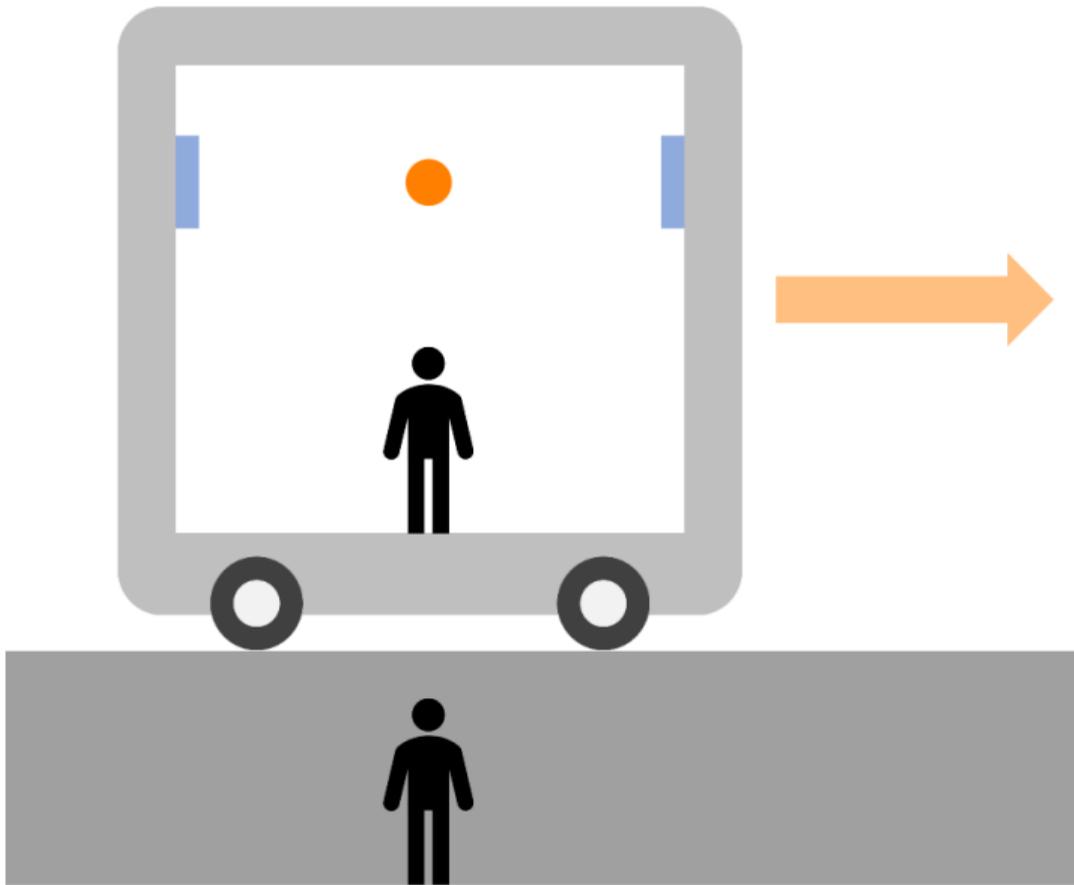
Simultaneidade

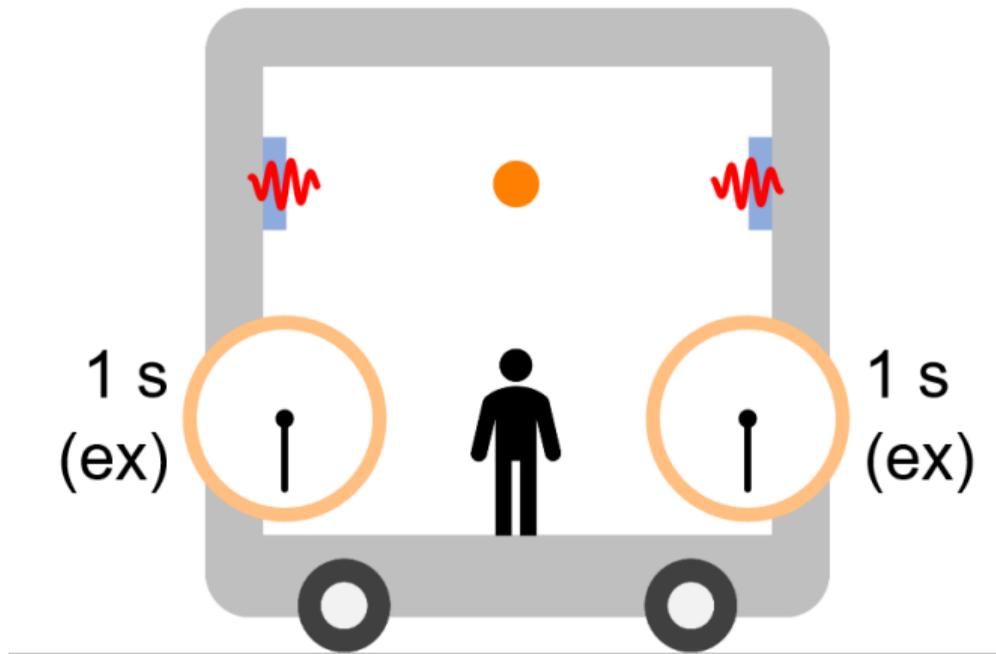
Dizemos que esses eventos são simultâneos ($t_1 = t_2$) quando o ponto de encontro dos dois sinais luminosos é o ponto médio do segmento $\overline{P_1P_2}$.

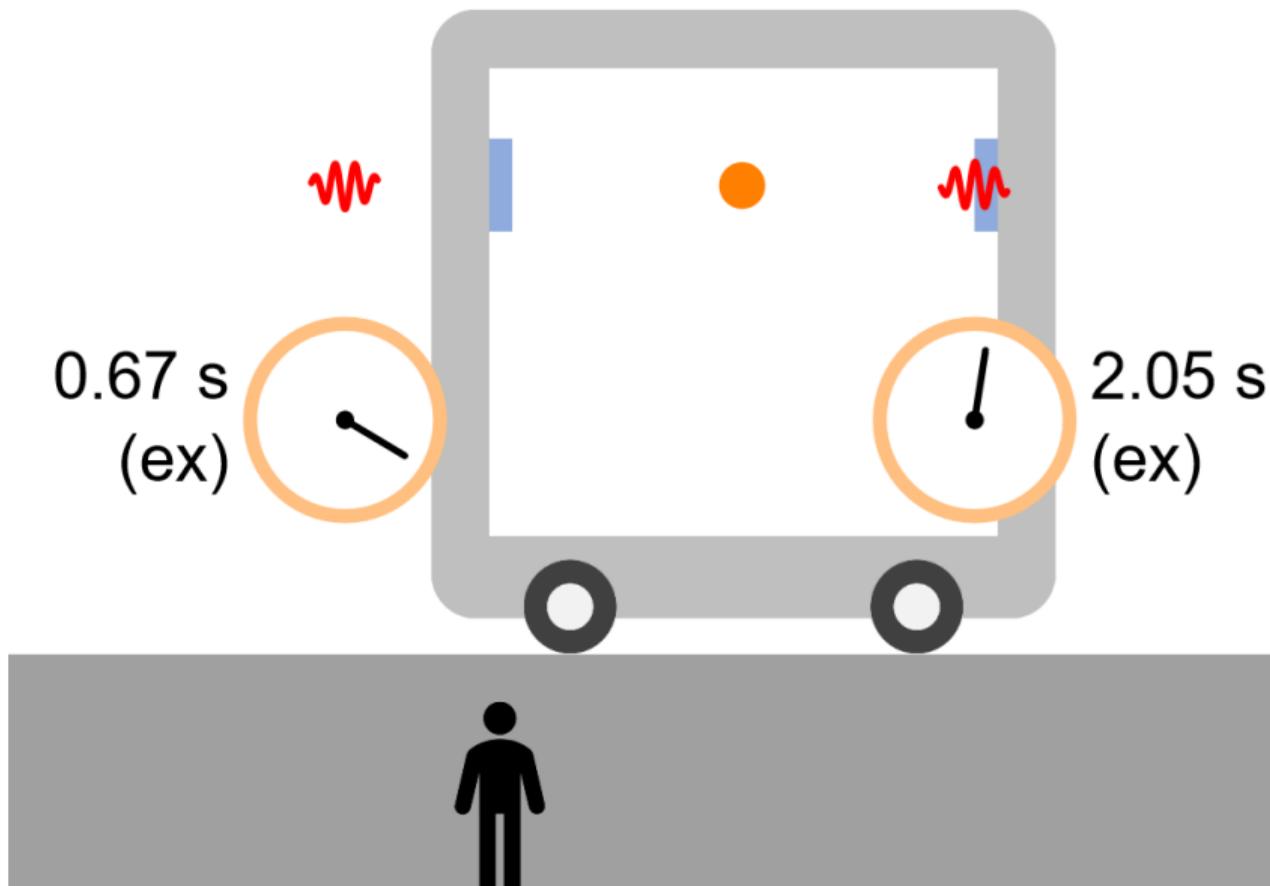
Simultaneidade

Essa definição implica imediatamente que a simultaneidade de eventos não tem caráter absoluto: **depende do referencial do observador!**

Experimento imaginado







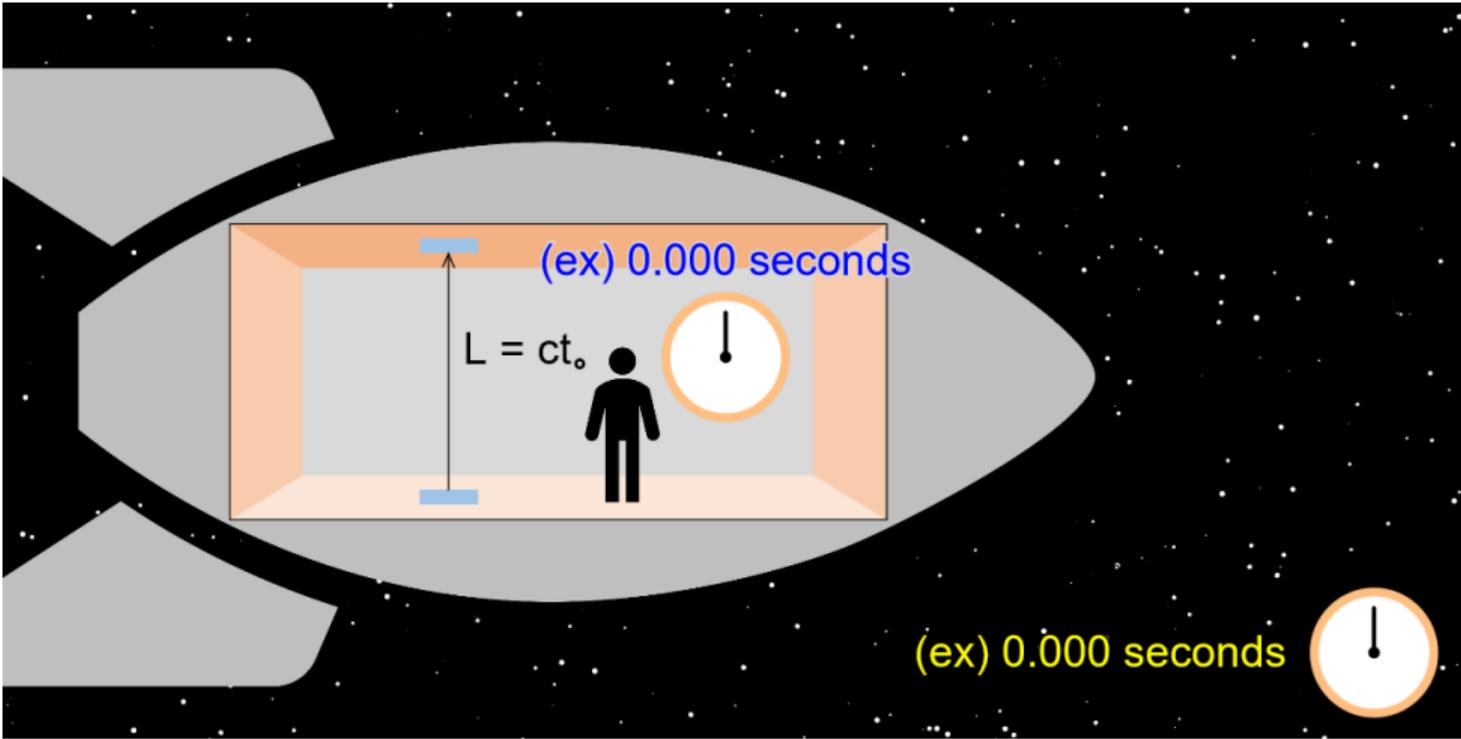
Os eventos são simultâneos para Bob, mas **não** são simultâneos para Alice!

Relatividade dos intervalos de tempo

Se não vale $t = t'$, como as coordenadas temporais se transformam?

Dilatação do tempo

Experimento imaginado



Tempo próprio

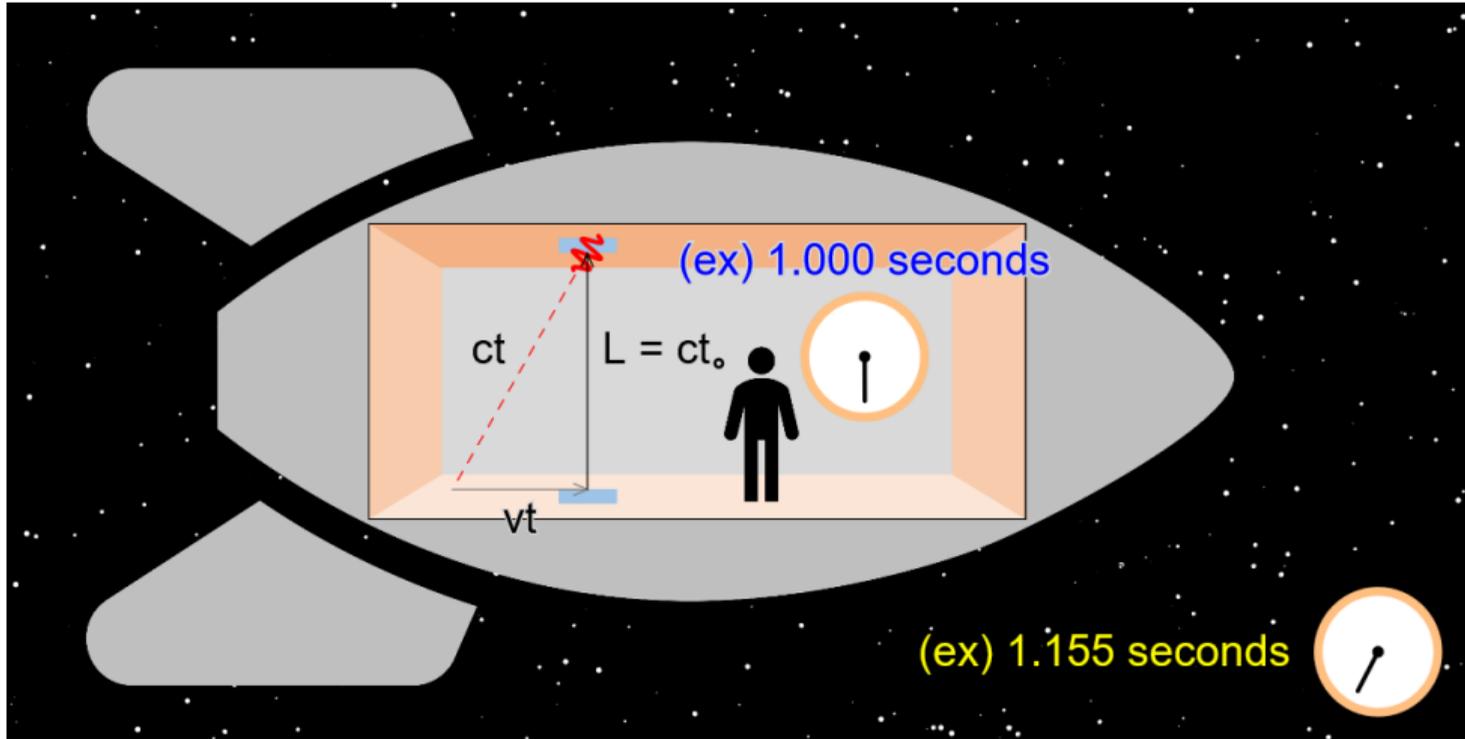
O intervalo de tempo Δt_0 medido por Bob é chamado de **tempo próprio**.

Tempo próprio

Mede intervalos de tempo entre eventos que acontecem no mesmo ponto do espaço para o referencial S' .

Dilatação do tempo

Qual é o valor do intervalo de tempo entre esses dois eventos quanto vistos do referencial S ?



Dilatação do tempo

Um observador que se move em relação ao referencial S' medirá um intervalo de tempo Δt dado por

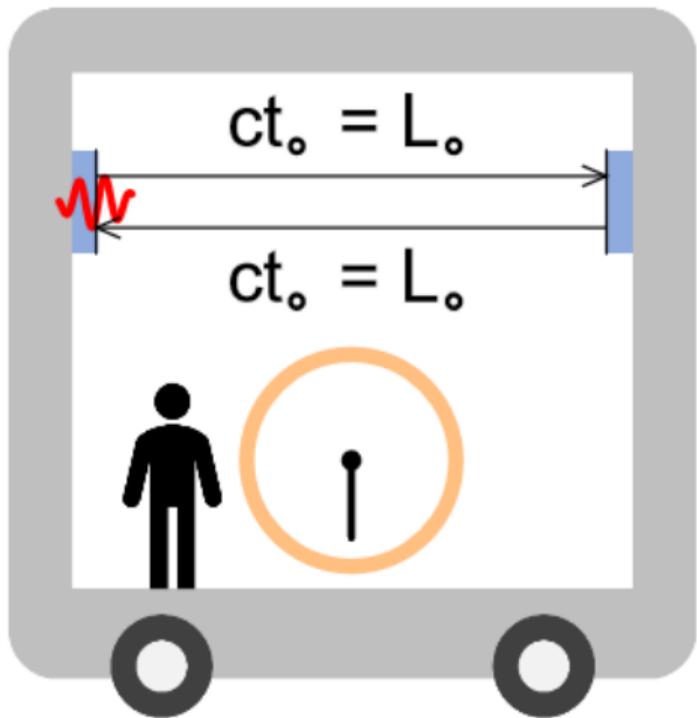
$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

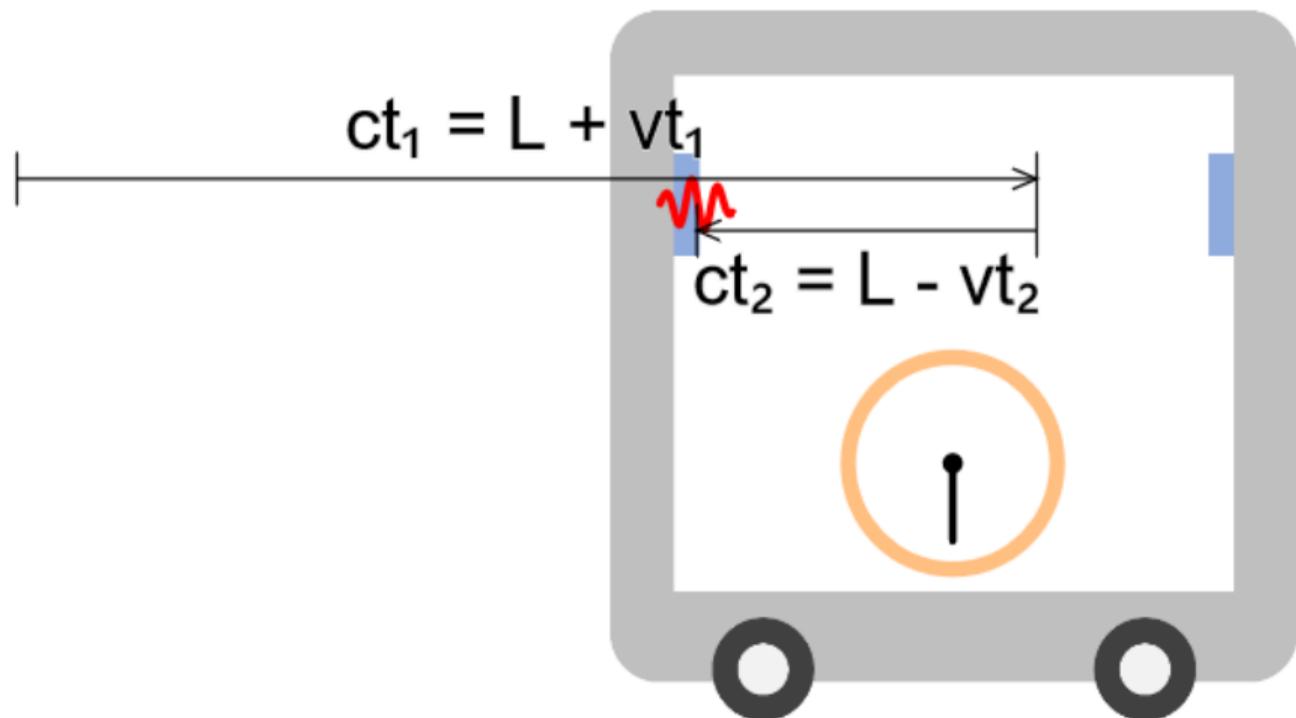
Efeitos dos postulados de Einstein sobre os comprimentos

Queremos medir o comprimento de um objeto em movimento.

Comprimentos paralelos à direção de movimento

Experimento imaginado





Contração do comprimento

Comprimento próprio

O comprimento l_0 medido por Bob é chamado de **comprimento próprio**.

Contração do comprimento

Um observador que se move em relação ao referencial S' medirá um comprimento l dado por

$$l = \frac{l_0}{\gamma}.$$

Contração do comprimento

$$l = \frac{l_0}{\gamma}$$

Contração do comprimento

$$l = \frac{l_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Comprimentos perpendiculares à direção de movimento

Experimento imaginado

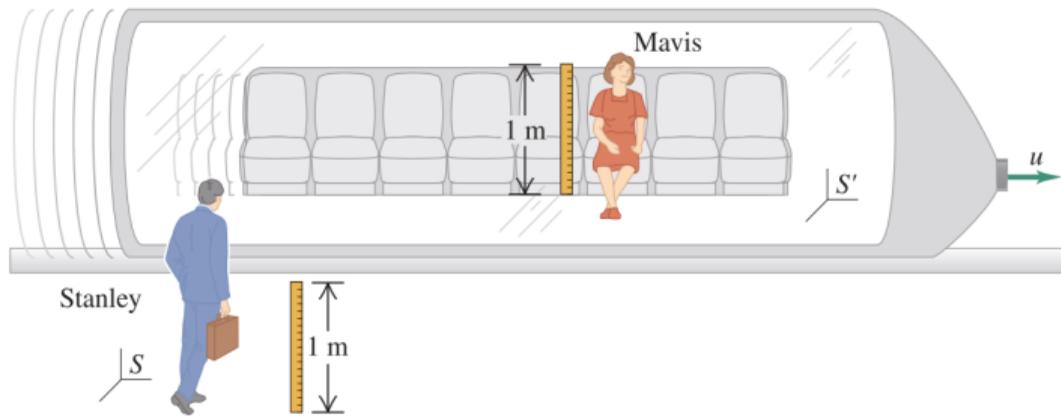
Considere duas régua idênticas.

Uma régua está em repouso no sistema de referência S e está sobre o eixo Oy com uma de suas extremidades no ponto O , a origem do sistema S .

A outra régua está em repouso no sistema de referência S' e está sobre o eixo Oy' com uma de suas extremidades no ponto O' , a origem do sistema S' .

No instante inicial, quando as duas origens coincidem, as duas réguas estão sobre a mesma linha reta.

Nesse instante, Mavis marca a posição correspondente a 50 cm de sua própria régua sobre a régua de Stanley, e ele faz a mesma marca correspondente sobre a régua dela.



Suponha que Stanley observe que a régua de Mavis tem comprimento maior que sua própria régua.

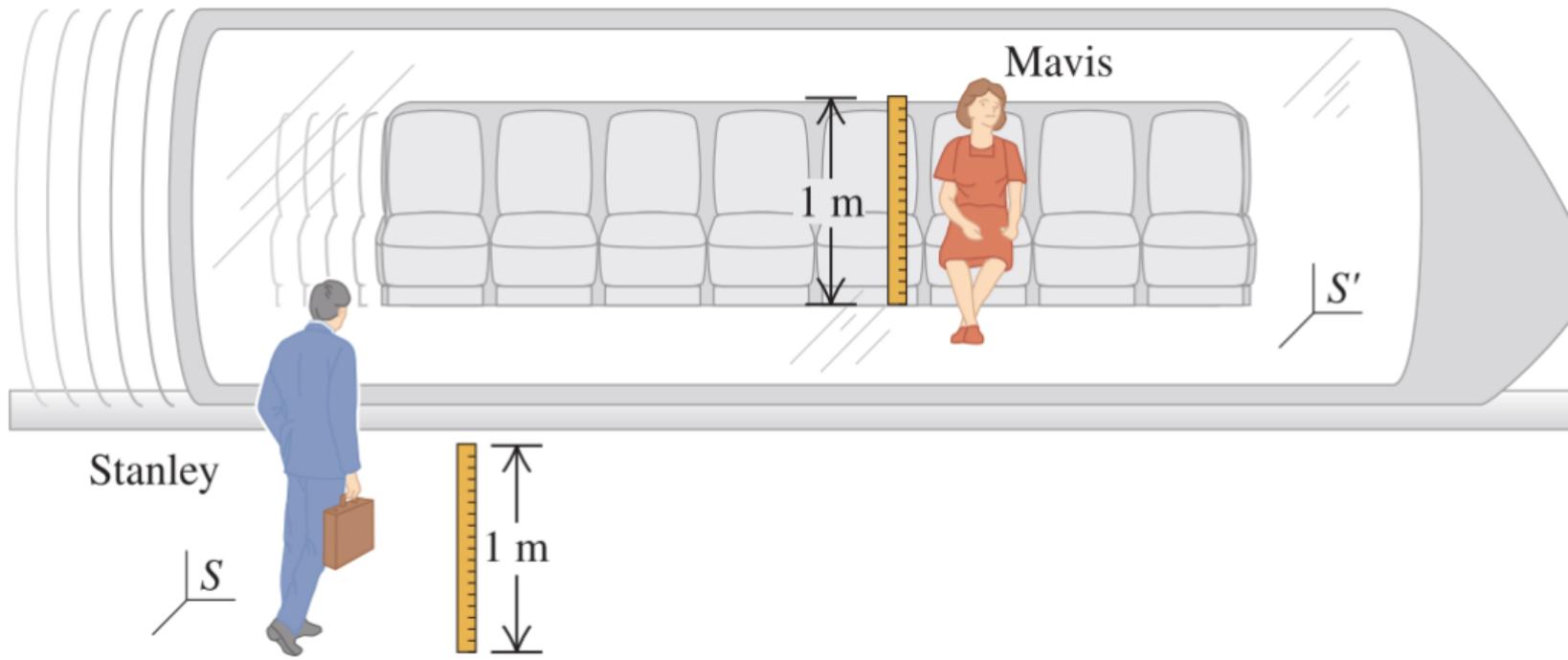
Então a marca que Stanley fez na régua de Mavis estaria abaixo do centro da régua. Nesse caso, Mavis pensaria que a régua de Stanley ficou mais curta, uma vez que a metade do comprimento da régua dele coincide com menos da metade da régua dela.

Portanto, Mavis observaria uma contração da régua de Stanley, enquanto ele observaria um aumento do comprimento da régua dela.

Porém, isso implica uma assimetria entre os dois sistemas de referência, contrariando o postulado fundamental da relatividade, segundo o qual todos os sistemas de referência inerciais são equivalentes.

Concluimos que a obediência ao princípio da relatividade exige que ambos os observadores vejam as réguas com os mesmos comprimentos.

Assim, não existe nenhuma contração do comprimento quando duas réguas estão dispostas em direções perpendiculares à direção da velocidade relativa.



Comprimentos perpendiculares à direção de movimento não se alteram.