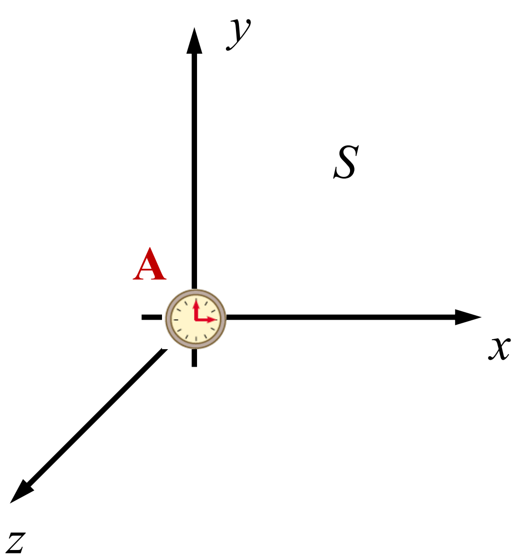
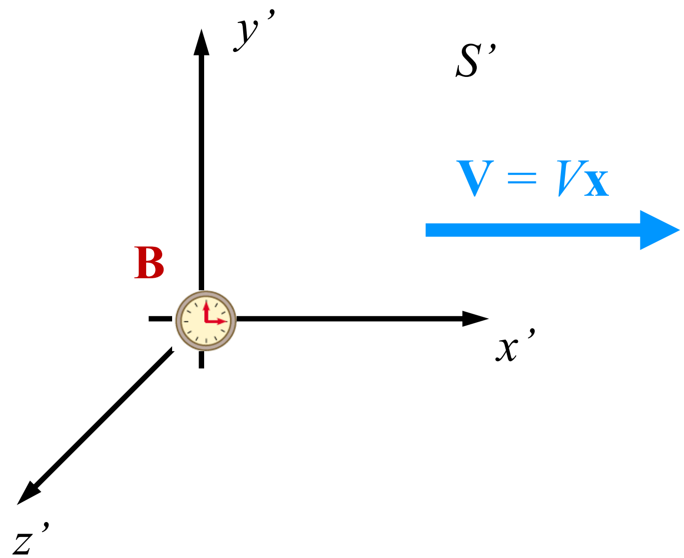
4302212 – Física IV

Dilatação Temporal - II

Vamos admitir a sincronização usual, $t = t' = 0$ quando $O = O'$.





O relógio *A* mede um intervalo de tempo próprio Δt em *S*:

$$\begin{cases} x = x_0 \\ t = t_0 + \Delta t \end{cases}$$

$$\Delta t' = \gamma \Delta t$$

O relógio *B* mede um intervalo de tempo próprio $\Delta t'$ em *S'*:

$$\begin{cases} x' = x'_0 \\ t' = t'_0 + \Delta t' \end{cases}$$

$$\Delta t = \gamma \Delta t'$$

Questão: Uma espaçonave viaja com velocidade constante em relação ao planeta X. Uma tripulante da nave mede sua frequência cardíaca, obtendo 80 bpm. Para um observador em repouso no planeta X:

(a) A frequência cardíaca é a mesma.
(b) A frequência cardíaca é maior que 80 bpm.
(c) A frequência cardíaca é menor que 80 bpm.

Questão: Uma espaçonave viaja com velocidade constante em relação ao planeta X. Uma tripulante da nave mede sua frequência cardíaca, obtendo 120 bpm. Para um observador em repouso no planeta X:

(a) A frequência cardíaca é a mesma.
(b) A frequência cardíaca é maior que 80 bpm.
(c) A frequência cardíaca é menor que 80 bpm.

Seja Δt o intervalo de tempo (próprio) entre batimentos sucessivos medidos na nave, enquanto $\Delta t'$ o intervalo (não próprio) entre batimentos medidos no planeta:

$$f = \frac{1}{\Delta t} \qquad\qquad f' = \frac{1}{\Delta t'} = \frac{1}{\gamma \Delta t} < f$$

Questão: No laboratório de física, um estudante mede o período de oscilação de um pêndulo, obtendo 1.0 segundo. Suponha que uma nave espacial se mova com velocidade $0.95c$ em relação à Terra. Para um tripulante dessa nave, qual o período de oscilação do pêndulo?

O tripulante da nave observa o laboratório se movendo com velocidade –0.95c, medindo um período de oscilação não próprio:

$$\Delta t' = \gamma \Delta t \frac{1.0}{\sqrt{1-(0.95)^2}} = 3.2\,\mathrm{s}$$

Questão: Dois relógios idênticos, A e B, são postos em movimento uniforme um em relação ao outro. Para um observador em repouso em relação ao relógio B, como se comporta o relógio A?

(a) Permanece sincronizado com B.

(b) Adianta em relação a B.

(c) Atrasa em relação a B.

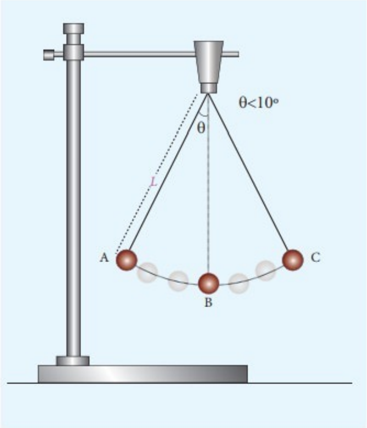
Questão: Dois relógios idênticos, A e B, são postos em movimento uniforme um em relação ao outro. Para um observador em repouso em relação ao relógio B, como se comporta o relógio A?

(a) Permanece sincronizado com B.

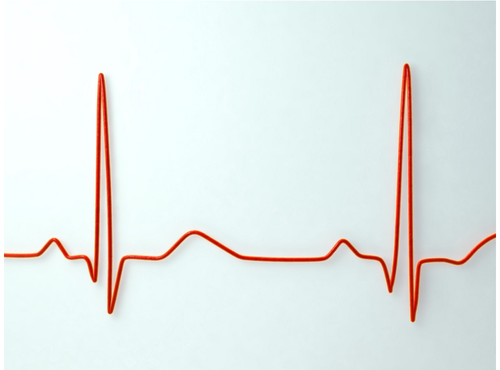
(b) Adianta em relação a B.

(c) Atrasa em relação a B.

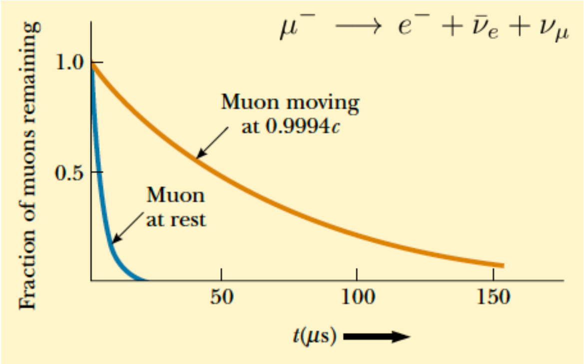
O avanço dos ponteiros/mostradores do relógio se baseia em algum processo físico (como o pêndulo) com período próprio $\Delta t = \Delta t_B$. Uma vez que $\Delta t_\mathrm{A} > \Delta t_\mathrm{B}$ (período não próprio Δt_A), o relógio em movimento avança mais devagar para o observador "estacionário". Em outras palavras, os "tics" do relógio em movimento ocorrem em intervalos maiores, segundo o observador em B.



Exemplo 1: relógio baseado no pêndulo (1 "tic" por período de oscilação). Com o relógio (pêndulo) em movimento, o período (não próprio) de oscilação será dilatado, tornando os "tics" mais lentos (relógio em movimento atrasa).

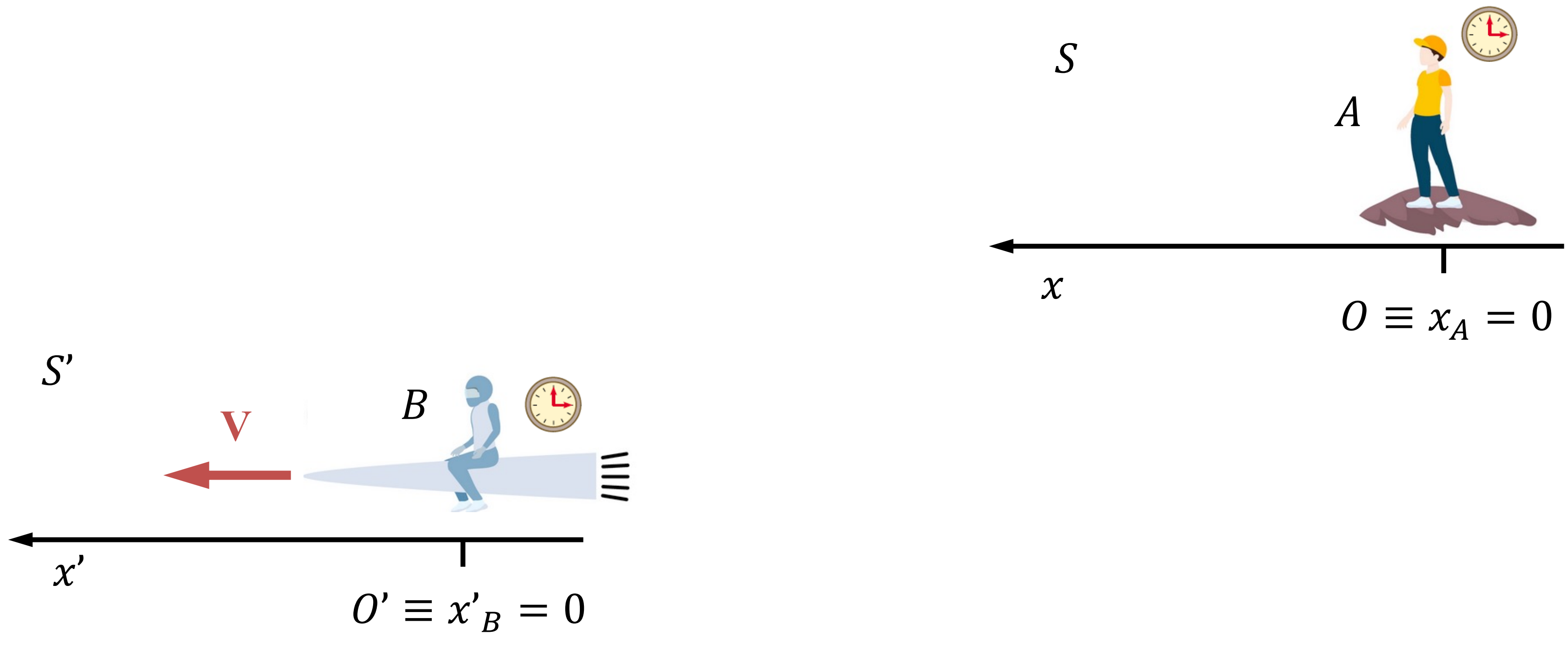


Exemplo 2: relógio baseado nos batimentos cardíacos de uma pessoa repousando (1 "tic" por batimento). Com o relógio (pessoa) em movimento (repousando em uma nave), o intervalo (não próprio) entre batimentos será dilatado, tornando os "tics" mais lentos (relógio em movimento atrasa).



Exemplo 3: relógio baseado no decaimento de múons (1 "tic" por elétron detectado). Com o relógio (múons) em movimento, o intervalo (não próprio) entre decaimentos (emissões de elétrons) será dilatado, tornando os "tics" mais lentos (relógio em movimento atrasa).

Problema: Antônio (A) está em repouso na posição $x_A = 0$ no referencial S. Bruna (B) se movimenta com velocidade $\mathbf{V} = V\mathbf{x}$ em relação a Antônio, estando em repouso na posição $x'_B = 0$ no referencial S'. Admita que os relógios em S e S' tenham sido sincronizados da forma usual ($t = t' = 0$ com as origens coincidentes). Seja t_A o tempo decorrido no relógio de Antônio. Obtenha o tempo correspondente observado por Bruna (a) na posição de Antônio, x_A, e (b) em sua própria posição, $x_B = Vt_A$. (c) Interprete os resultados. São conflitantes?



Vamos utilizar a TL para os eventos (simultâneos em S) dados nas posições de Antônio ($x_A = 0$, t_A) e de Bruna ($x_B = Vt_A$, $t_B = t_A$).

(a) Tempo na posição de Antônio (tal como observado por Bruna em S'):

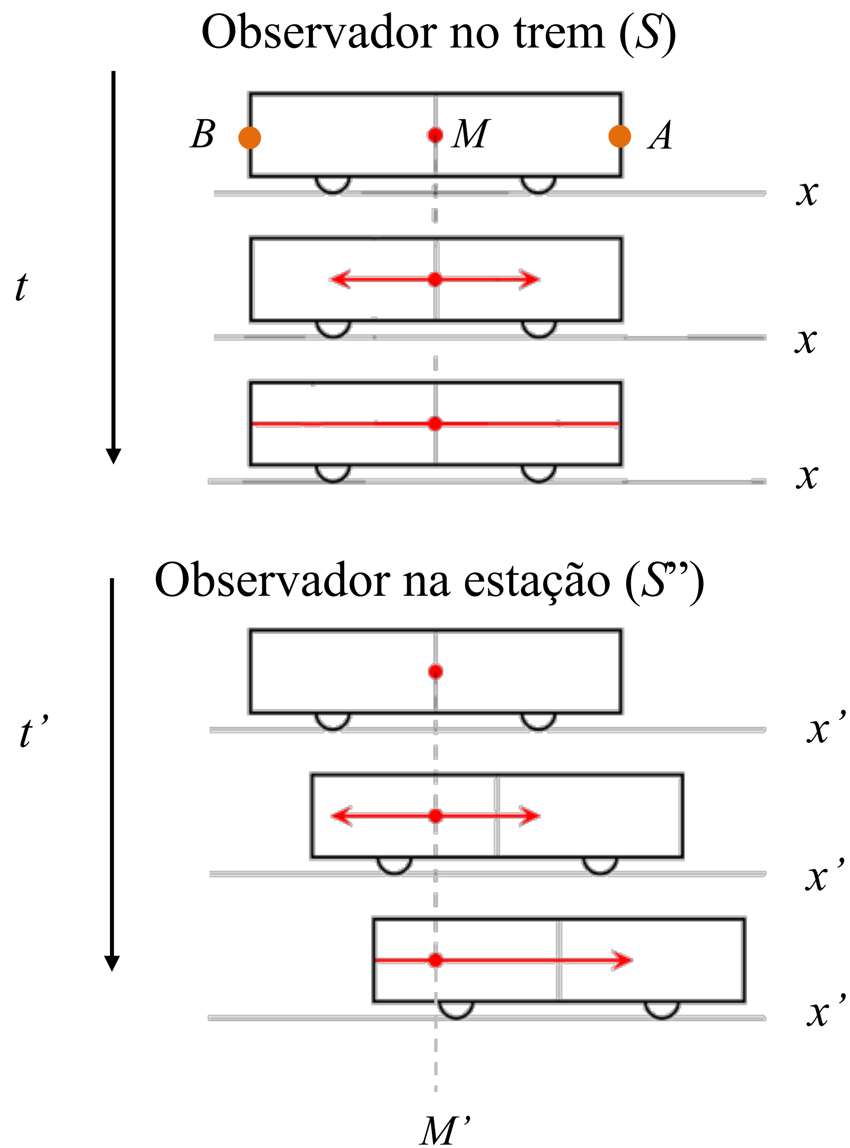
$$t'_A = \gamma \left(t_A - \frac{V}{c^2} \cancelto{0}{x_A} \right) = \gamma t_A$$

(b) Tempo na posição de Bruna (tal como observado por Bruna em S'):

$$t'_B = \gamma \left(t_A - \frac{V}{c^2} x_B \right) = \gamma \left(t_A - \frac{V}{c^2} (V t_A) \right) = \frac{1}{\gamma} t_A$$

(c) Perceba que t_A e t'_B são tempos próprios em S e S', respectivamente. Tomando t_A como um tempo próprio em S, $t_A' = \gamma t_A$ está em acordo com a discussão anterior. Tomando t'_B como tempo próprio em S', $t_A = \gamma t'_B$ também é consistente.

$O \equiv x_M = 0$



$O' \equiv x'_M = 0$

Sinais de luz são emitidos do centro do vagão (*M*) que está em movimento (**V**= *V***x**) em relação à plataforma.

A emissão ocorre quando as origens dos referenciais *S* (vagão) e *S*' (plataforma) coincidem, $O = x_M = x'_M = O' = 0$.

Utilize a TL para concluir se a detecção da luz nos pontos *A* e *B*, nas extremidades do vagão, ocorre ou não simultaneamente nos referenciais *S* e *S*'.

Os tempos observados no referencial S (vagão) são próprios. Impondo $t_0 = 0$ por conveniência, e denotando por L o comprimento do vagão nesse referencial:

$$t_A = \frac{(x_A - \cancelto{0}{x_M})}{c} \equiv \frac{L}{2c} \qquad\qquad t_B = \frac{(x_B - \cancelto{0}{x_M})}{(-c)} = \frac{L}{2c} = t_A$$

As detecções são, portanto, simultâneas em S. Em S', lembrando que a emissão corre em $t'_0 = 0$ e $x'_M = 0$:

$$t'_A = \gamma\left[t_A - \frac{(-V)}{c^2}x_A\right] = \gamma\left[\frac{L}{2c} + \frac{V}{c^2}\frac{L}{2}\right] = \gamma\frac{L}{2c}(1+\beta)$$

$$t'_B = \gamma\left[t_B - \frac{(-V)}{c^2}x_B\right] = \gamma\left[\frac{L}{2c} + \frac{V}{c^2}\left(-\frac{L}{2}\right)\right] = \gamma\frac{L}{2c}(1-\beta)$$

No referencial S' (plataforma), a detecção ocorre primeiro na traseira do vagão (B):

$$t'_A - t'_B = \gamma\beta\frac{L}{c} > 0$$