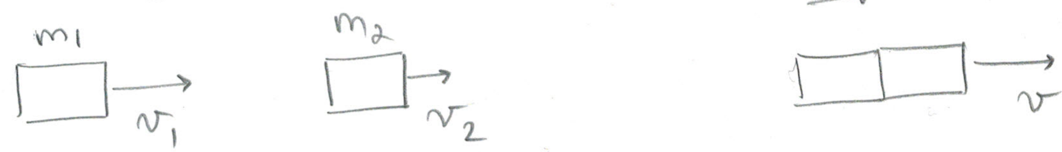
Problemas 2

1.

antes | depois

a)



$m = m_1 = m_2 = 5\ kg$, $v_1 = 3 m/s$, $v_2 = 1 m/s$

$m v_1 + m v_2 = (m+m) v$ $\qquad v = \dfrac{m(v_1 + v_2)}{2m} = \dfrac{v_1 + v_2}{2}$

$= \dfrac{3+1}{2} = 2\ m/s$

b) $v_1 = 3 - 2 = 1\ m/s$

$v_2 = 1 - 2 = -1\ m/s$ $\qquad v = 2 - 2 = 0\ m/s$

c) $p_{inicial} = 5 \times 1 + 5(-1)$ $\qquad p_{final} = 0\,(2 \times m)$

$= 0$ $\qquad = 0$

o momento é conservado

Problemas 2

2. $v_p = \frac{9}{10}c$ velocidade da passadeira rolante

$v_h = \frac{4}{5}c$ velocidade do passageiro em relação à passadeira

a) De acordo c/ a física clássica a velocidade do passageiro relativamente ao solo é

$$v = v_p + v_h = \frac{9}{10}c + \frac{4}{5}c = \left(\frac{9}{10} + \frac{8}{10}\right)c = \frac{17}{10}c = 1{,}7c > c!$$

b) De acordo c/ a relatividade restrita

$$v = \frac{v_p + v_h}{1 + \frac{v_p v_h}{c^2}} = \frac{\frac{17}{10}c}{1 + \frac{\frac{9}{10}c\,\frac{4}{5}c}{c^2}} = \frac{\frac{17}{10}c}{1 + \frac{36}{50}}$$

$$= \frac{\left(\frac{17}{10}c\right)}{\left(\frac{50+36}{50}\right)} = \frac{17}{10}c \times \frac{50}{86} = \frac{85}{86}c = 0{,}988\,c$$

Problemas 2

3.

a) velocidade da bala em relação ao solo: $v = \frac{1}{3}c + \frac{1}{2}c$

$$= \frac{5}{6}c = \frac{10}{12}c$$

$$v_2 = \frac{3}{4}c = \frac{9}{12}c \quad \rightarrow \quad v_2 < v_{bala}$$

Não. (de acordo c/ a física clássica a bala atinge os ladrões)

b) física relativista:

$$v_{AC} = \frac{v_{AB} + v_{BC}}{1 + \frac{v_{AB}\, v_{BC}}{c^2}}$$

$$v_{\substack{bala\\solo}} = \frac{v_1 + v_{bala}}{1 + \frac{v_1 v_{bala}}{c^2}} = \frac{\frac{1}{2}c + \frac{1}{3}c}{1 + \frac{\frac{1}{2}c\,\frac{1}{3}c}{c^2}} = \frac{\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}\right)c}{1 + \frac{1}{2} \times \frac{1}{3}}$$

$$= \frac{\frac{5}{6}c}{1 + \frac{1}{6}} = \frac{\frac{5}{6}c}{\frac{7}{6}} = \frac{5}{7}c = \frac{20}{28}c$$

O carro dos ladrões desloca-se à velocidade

$$v_2 = \frac{3}{4}c = \frac{21}{28}c \quad \left(\text{maior que } \frac{20}{28}c\right)$$

Os ladrões escapam-se!

Problemas 2

4.

a) o relógio (90) está situado à distância $90 \times 1 \times 10^9$
$x = 9 \times 10^{10}$ m

do relógio (0) (meu relógio)

A luz demora $t = \frac{x}{c}$ a percorrer a distância x.

$$t = \frac{9 \times 10^{10}}{3 \times 10^8} = 3 \times 10^2 \text{ s} = 5 \text{ min.}$$

Então quando o relógio (1) marcar 12^h00 está a chegar ao observador junto desse relógio luz que saiu do relógio (90) há 5 min. atrás, ou seja, esse observador vai "ver" no relógio (90) 11^h55 min

b) Mas o observador em (1) deverá corrigir este efeito para falar de observação. Por isso ele vai observar 12^h00 em todos os relógios.

Problemas 2

5.

$$t_S = \gamma\, t_J$$

$t_J \equiv$ tempo medido pelo Johnny

$t_J = 7$ min

$v = 0{,}9c$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0{,}9c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1-0{,}81}} = \frac{1}{\sqrt{0{,}19}} = 2{,}29$$

$$t_S = 2{,}19 \times 7 \times \text{min}$$

$$= 16 \text{ min}$$

Problemas 2

6. $x = 4{,}3$ ano-luz

$= 4{,}3\ c \cdot \text{ano}$ distância medida na Terra

$v = 0{,}95\ c$

O tempo medido na Terra será

$$\Delta t_s = \frac{x}{v} = \frac{4{,}3\ \cancel{c} \cdot \text{ano}}{0{,}95\ \cancel{c}} = 4{,}53 \text{ ano}$$

O tempo medido na nave, t_{nave}, é tal que

$$\Delta t_s = \gamma\, t_o \quad , \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0{,}95\cancel{c}}{\cancel{c}}\right)^2}}$$

$$= 3{,}20$$

Então

$$\Delta t_o = \frac{1}{\gamma} t_s = \frac{1}{3{,}20} \cdot 4{,}53 \text{ ano} = 1{,}42 \text{ ano}$$

Problemas 2

7. Muões, produzidos na atmosfera à altitude de 10 Km

p/ observador no solo

$v = 0{,}999\,c$

"Tempo de vida" em repouso
$t = 2 \times 10^{-6}\ s$

(posteriormente veremos que é mais correcto falar em "tempo de meia vida" ou "período de semi-desintegração")

a) De acordo c/ a física clássica o muão viaja uma distância

$$x = vt = 0{,}999c \times 2 \times 10^{-6}$$
$$= 0{,}999 \times 3 \times 10^{8} \times 2 \times 10^{-6}$$
$$= 599\ m$$

$x < 10\ Km \Rightarrow$ os muões desintegrar-se-iam, em média, antes de chegarem ao solo

c) $t_s = \gamma t$ o tempo medido no solo é maior que aquele que é medido por um observador solidário c/ o muão (onde o muão está em repouso)

$$t_s = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\,t = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0{,}999c}{c}\right)^2}}\,t = \underbrace{22{,}4}_{\gamma} \times \underbrace{2\times10^{-6}}_{t}$$

Com este tempo de vida o muão viaja uma distância de

$$x = vt = 0{,}999c \times 22{,}4 \times 2 \times 10^{-6}$$
$$= 13\,400\ m \quad (> 10\,000\ m) \Rightarrow \text{os muões chegam ao solo}$$

8.

$v = 0{,}8c$

$\Delta t_{estação} = \gamma \Delta t_{maq}$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{0{,}8^2c^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1-0{,}64}} = \frac{1}{\sqrt{0{,}36}}$$

$$= \frac{1}{0{,}6} = \frac{1}{\frac{6}{10}} = \frac{5}{3}$$

$\Delta t_{estação} = 5\ h \qquad (17^h - 12^h)$

$$\Delta t_{maq} = \frac{1}{\gamma} \Delta t_{estação}$$

$$= \frac{3}{5} \times 5$$

$$= 3\ h$$

O relógio do maquinista marca $12h00 + 3h = 15h00$

comprimento próprio do comboio: $L_0 = 250\ m$

comprimento para observador que vê o comboio passar:

$$L = \frac{1}{\gamma} L_0$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{5}{3}\right)} L_0 = \frac{3}{5} \times 250$$

$$= 150\ m$$

9.

$\boxed{\text{Lincoln}}$

$\boxed{\text{VW}}$

$L_{LC} = 2\, L_{VW}$ (p/ osbservador em repouso relativo aos dois carros)

$$v_{VW} = \frac{1}{2}c \Rightarrow \gamma_{VW} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{1}{2}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{3/4}} = \sqrt{\frac{4}{3}} = 1{,}15$$

p/ o policia ambos os carros têm o mesmo comprimento qdo se movimentam em relação a ele.

$L_{LC_{(p)}} = L_{VW_{(p)}}$ (p/ o policia)

$$\text{Mas} \quad L_{LC_{(p)}} = \frac{1}{\gamma_{LC}} L_{LC} \quad , \quad L_{VW_{(p)}} = \frac{1}{\gamma_{VW}} L_{VW}$$

$$\frac{L_{LC}}{\gamma_{LC}} = \frac{L_{VW}}{\gamma_{VW}} \qquad \frac{2\cancel{L_{VW}}}{\gamma_{LC}} = \frac{\cancel{L_{VW}}}{1{,}15}$$

$$\gamma_{LC} = 2 \times 1{,}15 = 2{,}30$$

$$\text{Mas} \quad \gamma_{LC} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v_{LC}}{c}\right)^2}} \Rightarrow \sqrt{1-\left(\frac{v_{LC}}{c}\right)^2} = \frac{1}{2{,}30}$$

$$1-\left(\frac{v_{LC}}{c}\right)^2 = \left(\frac{1}{2{,}30}\right)^2 \qquad \frac{v_{LC}^2}{c^2} = 1 - 0{,}189$$

$$\frac{v_{LC}}{c} = \sqrt{0{,}811} = 0{,}901 \Rightarrow v_{LC} = 0{,}901\,c$$

Problemas 2

10. $\Delta x = 0$, $\Delta t = 3\,s$

$\Delta t' = 5\,s$

a) o intervalo de espaço-tempo é invariante. Toma, pois, o mesmo valor nos dois ref.

$(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2$

No ref. do laboratório

$(\Delta s)^2 = c^2 \cdot 3^2 - 0$

$= 9c^2$ (m)

No ref. da nave tem-se então

$c^2(\Delta t')^2 - (\Delta x')^2 = 9c^2$

$(\Delta x')^2 = c^2(\Delta t')^2 - 9c^2$

$(\Delta x')^2 = c^2(5^2 - 9)$

$= 16c^2 \implies \Delta x' = 4c$

$\Delta x' = 4 \times 3 \times 10^8$

$= 12 \times 10^8$

$= 1{,}2 \times 10^9$ m

b) No ref. da nave houve um deslocamento: o ponto do laboratório onde ocorreram os acontecimentos deslocou-se $1{,}2 \times 10^9$ m (ou 4c) em 5 s. Logo, a velocidade relativa vale:

$$\frac{\Delta x'}{\Delta t'} = \frac{4c}{5} = \frac{4c}{5}$$

Problemas 2

11. $L_0 = 30$ ft — comprimento da escada medido por um observador em repouso relativ/ à escada

$S_0 = 20$ ft
(comprimento da arrecadação)

$v = \frac{4}{5}c$

a) $L_s = \frac{1}{\gamma} L_0$ — $L_s \equiv$ comprimento da escada medido por um observador que se move c/ velocidade $\underline{v}$ relativamente à escada

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\frac{4}{5}c}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{16}{25}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{9}{25}}} = \frac{5}{3}$$

$$L_s = \frac{1}{\left(\frac{5}{3}\right)} L_0 = \frac{3}{5} \cdot 30 \text{ ft} = \frac{90}{5} = 18 \text{ ft}$$

$L_s < S$ $\Rightarrow$ a escada cabe na arrecadação

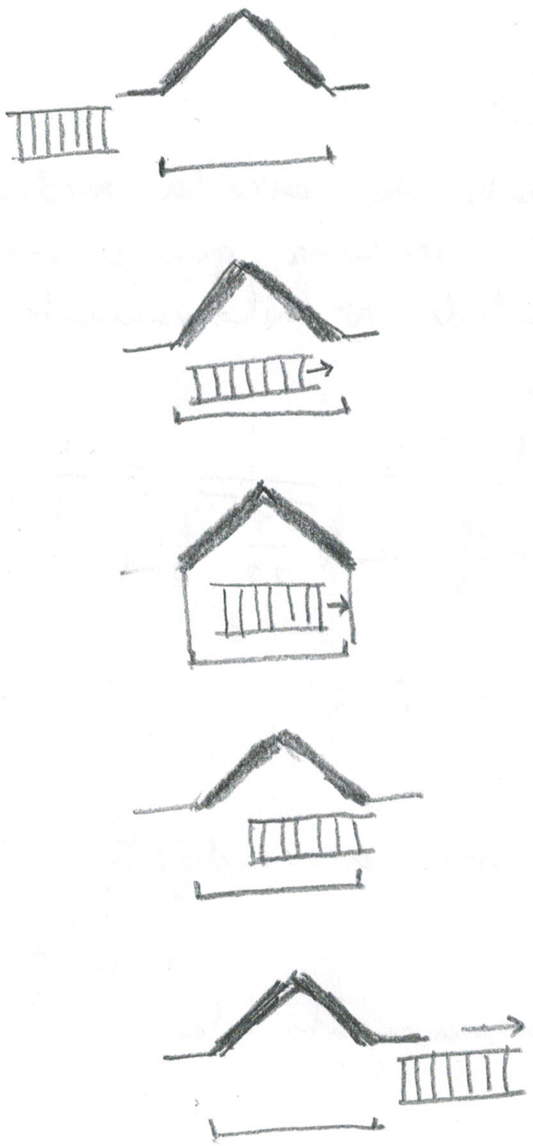
b) De acordo c/ o filho o comprimento da arrecadação vale

$$S_{filho} = \frac{1}{\gamma} S_0 = \frac{1}{\left(\frac{5}{3}\right)} 20 = \frac{3}{5} 20 = 12 \text{ ft}$$

$S_{filho} < S_0$ $\Rightarrow$ a escada não cabe na arrecadação

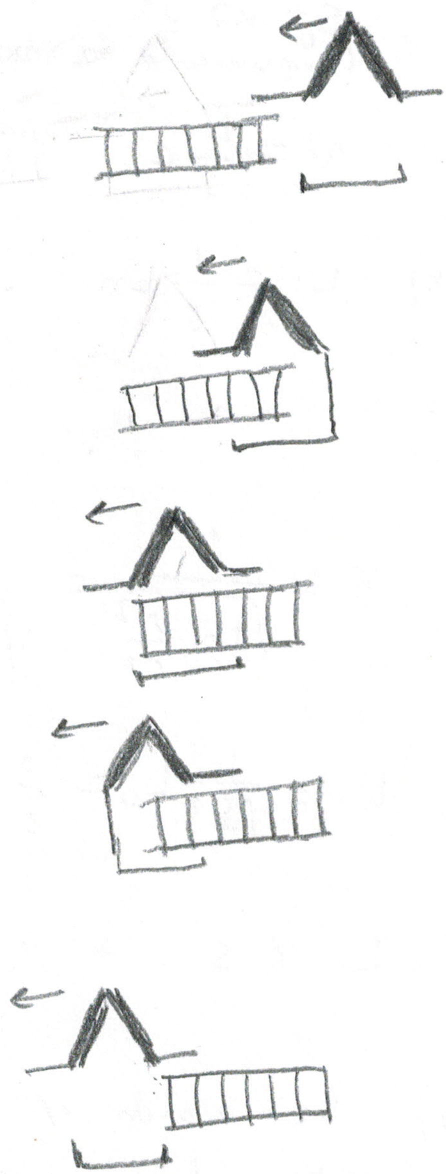
c) Os dois observadores têm razão, mas têm perspectivas diferentes relativamente à simultaneidade de acontecimentos

Perspectiva do agricultor



As duas portas fecham-se simultaneamente durante breves instantes enquanto a escada está no interior do barracão

Perspectiva do filho



A porta da direita fecha-se, durante breves instantes, mas antes da porta da esquerda. Qdo a porta da esquerda se fecha, durante breves instantes, já a porta da direita se abriu.

Problemas 2

12. $v = \frac{3}{5}c$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{3}{5}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{9}{25}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{16}{25}}} = \frac{5}{4}$$

Idade inicial do viajante : 21 anos
" final " " : 25 anos

$\Big\} \Delta t_0 = 4$ anos

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{5}{4} \cdot 4 = 5 \text{ anos}$$

Irmão gémeo que ficou na Terra terá

$$21 + 5 = 26 \text{ anos}$$

Problemas 2

13. $m_r = \gamma m$

$3m = \gamma m \Rightarrow \gamma = 3$

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 3 \qquad \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} = 9$$

$$1-\frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{9} \qquad \left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1-\frac{1}{9} \qquad \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{8}{9}$$

$$\frac{v}{c} = \frac{\sqrt{8}}{3} \qquad \frac{v}{c} = \frac{2\sqrt{2}}{3} \qquad v = \frac{2\sqrt{2}}{\cancel{3}} \times \cancel{3} \times 10^8$$

$v = 2{,}83 \times 10^8$ m/s

Problemas 2

14.

$$A \longrightarrow B + B$$

$$m_A = \gamma m_B + \gamma m_B$$ (conservação da massa relativista)

$$= 2\gamma m_B$$

$$m_B = \frac{2}{5} m$$

$$m_A = m$$

$$\cancel{m} = 2\gamma \times \frac{2}{5} \cancel{m}$$

$$\gamma = \frac{5}{4} \qquad \frac{5}{4} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{16}{25} \qquad \left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \frac{16}{25}$$

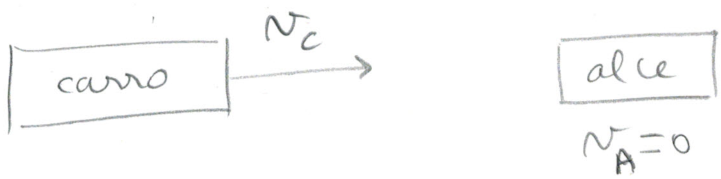
$$= \frac{9}{25}$$

$$\frac{v}{c} = \frac{3}{5} \qquad v = \frac{3}{5} c$$

Problemas 2

15. $m = 1000$ kg

$v_c = \frac{3}{5}c$



a) $\gamma_c = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{3}{5}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{9}{25}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{16}{25}}} = \frac{5}{4}$

Massa relativista (inicial; que é igual à final)

$\gamma m_c + m_A = \frac{5}{4} \times 1000 + 400 = 1650$ kg

c) O momento linear relativista conserva-se

Momento inicial: $\gamma_c m_c v_c = \frac{5}{4} 1000 \cdot \frac{3}{5} c$

$= 750c$

$750c = 1650v \Rightarrow v = \frac{750}{1650}c = 1{,}36 \times 10^8$ m/s

b) $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{750}{1650}\right)^2}} = 1{,}123$

$m_r = \gamma m \Rightarrow m = \frac{1}{\gamma} m_r = \frac{1}{1{,}123} \cdot 1650$

$= 1470$ kg

Problemas 2

16. $$T_r = E_r - R$$
$$= \gamma mc^2 - mc^2$$
$$= (\gamma - 1) mc^2$$

energia cinética relativista

Dado: $T_r = R$

Qual é a velocidade para a qual a energia cinética é igual à energia de repouso?

$$\Downarrow$$

$$\gamma - 1 = 1 \Rightarrow \gamma = 2$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 2 \Leftrightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{4} \Leftrightarrow \frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{4}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4} \qquad v = \sqrt{\frac{3}{4}}\,c = \frac{\sqrt{3}}{2}c = 0{,}866c = 2{,}60 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Problemas 2

17.

$m_r = 2\ \mathrm{kg}$

$v = \frac{3}{5}c$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{9}{25}}} = \frac{5}{4}$$

a) $m_r = \gamma m$

$$= \frac{5}{4} \times 2 = 2{,}5\ \mathrm{kg}$$

b) $p_r = m_r v = 2{,}5 \times \frac{5}{4} c = \frac{5}{2}\,\frac{5}{4}\, 3\times 10^8 = 4{,}50 \times 10^8\ \mathrm{kg\,m/s}$

c) $E_r = m_r c^2 = 2{,}5 \times (3\times 10^8)^2 = 2{,}25 \times 10^{17}\ \mathrm{J}$

d) $R = mc^2 = 2 \times (3 \times 10^8)^2 = 1{,}8 \times 10^{17}\ \mathrm{J}$

e) $T_r = E_r - R$

$$= 2{,}25 \times 10^{17} - 1{,}8 \times 10^{17}$$

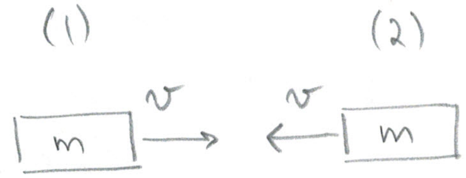
$$= 0{,}45 \times 10^{17}$$

$$= 4{,}5 \times 10^{16}\ \mathrm{J}$$

f) $T = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times \left(\frac{3}{5} c\right)^2 = \frac{9}{25} \times 9 \times 10^{16}$

$$= 3{,}24 \times 10^{16}\ \mathrm{J}$$

18:



$v = \frac{3}{5}c$, $m = 2\,Kg$

depois do choque ficam juntos

a) Momento linear do conjunto antes do choque é zero, pois $p_1 = \gamma m v$

$$p_2 = -\gamma m v$$

$$p_1 + p_2 = 0$$

Como os corpos ficam juntos depois do choque, então a conservação do momento linear implica que os corpos têm que ficar em repouso depois do choque

b) $E_R = \gamma_1 m_1 c^2 + \gamma_2 m_2 c^2$

$= 2\gamma m c^2 \quad (\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma)$

$= 2\,\frac{5}{4}\,2\,c^2$

$= 5c^2$

$= 5 \times (3 \times 10^8)^2$

$= 45 \times 10^{16}$

$= 4{,}5 \times 10^{17}\ J$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{5}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{9}{25}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{16}{25}}} = \frac{5}{4}$$

c) $m_{conj.} = 2m = 2 \times 2 = 4\ Kg$ (massa em repouso antes do choque)

→

: $E_{R}' = E_{R}$ (energia relativista conserva-se)

$$\underbrace{\gamma' m' c^2}_{\text{depois}} = \underbrace{2\gamma m c^2}_{\text{antes}}$$

, $\gamma' = 1$ (fica em repouso depois do choque)

$$m' = 2\gamma m$$

$$= 2\,\frac{5}{4} \times 2$$

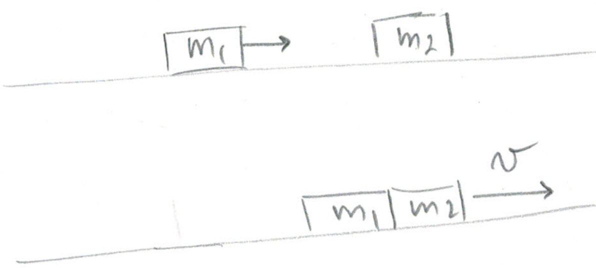
$$= 5 \text{ kg}$$

A massa (em repouso) aumentou.

A massa extra (de 1 Kg) tem origem na conservação da energia. (a energia cinética foi convertida em energia de repouso).

Problemas 2

19. $m_1 = 9\ \text{Kg}$ $\quad v_1 = \frac{4}{5}c$ $\qquad m_2 = 5\ \text{Kg}$ $\quad v = 0$



antes do choque

depois do choque

a) $m_{1r} = \gamma_1 m_1$, $\gamma_1 = \dfrac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \dfrac{1}{\sqrt{1-\frac{16}{25}}} = \dfrac{5}{3}$

$m_{1r} = \frac{5}{3} \times 9 = 15\ \text{Kg}$

b) $m_{2r} = m_2 = 5\ \text{Kg}$

$M_r = 15 + 5 = 20\ \text{Kg}$ (porque a massa relativista se conserva)

c) $p_1 = m_{1r} v_1 = 15 \times \frac{4}{5}c = 12c$

d) $p_{inicial} = p_1 = 12c$, $p_{final} = M_r v$

conservação do momento : $12c = M_r v \Leftrightarrow 12c = 20v$

$v = \frac{12}{20}c$

$= \frac{3}{5}c$

e) $M_r = \gamma M$ $\qquad \gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{3}{5}\right)^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{\frac{16}{25}}} = \dfrac{5}{4}$

$M = \frac{1}{\gamma} M_r = \frac{4}{5} 20 = 16\ \text{Kg}$

Problemas 2

20. $m = 46\ g$

$= 0{,}046\ kg$

$v = c/10 = 3\times10^{7}\ m/s$

a) $T = \frac{1}{2} m v^2$

$= \frac{1}{2}\times 0{,}046 \times (3\times10^{7})^2$

$= 2{,}0700\times10^{13}\ J$

b) $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-0{,}1^2}} = 1{,}005037815$

$T_r = (\gamma - 1) m c^2$

$= 0{,}005037815 \times 0{,}046 \times (3\times10^{8})^2$

$= 2{,}08566\times10^{13}\ J$

Problemas 2

21. $E_r = \gamma m c^2$

$p_r = \gamma m v$

Substituindo em $E_r^2 - p_r^2 c^2$ vem:

$$E_r^2 - p_r^2 c^2 = (\gamma m c^2)^2 - (\gamma m v)^2 c^2$$

$$= \gamma^2 m^2 c^4 - \gamma^2 m^2 v^2 c^2$$

$$= \gamma^2 m^2 c^4 - \gamma^2 m^2 v^2 \frac{c^4}{c^2}$$

$$= \gamma^2 m^2 c^4 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$= \gamma^2 m^2 c^4 \frac{1}{\gamma^2} \quad , \text{ pois } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$= m^2 c^4$$

Problemas 2

22.

$$^{238}U \longrightarrow {}^{234}Th + {}^{4}He$$

$m_U = 238{,}05079\ u$ $\qquad u = 1{,}66 \times 10^{-27}\ kg$

$m_{Th} = 234{,}04363\ u$

$m_{He} = 4{,}00260\ u$

a) $\Delta m = \text{massa}_{\text{inicial}} - \text{massa}_{\text{final}} = 238{,}05079 - 234{,}04363 - 4{,}0026$
$= 4{,}56 \times 10^{-3}\ u$

$\Delta m = 4{,}56 \times 10^{-3} \times 1{,}66 \times 10^{-27}\ kg$
$= 7{,}57 \times 10^{-30}\ kg$

b) $T = \Delta m . c^2 = 7{,}57 \times 10^{-30} \times (3 \times 10^8)^2 = 6{,}81 \times 10^{-13}\ J$

c) $1\ kWh = 1 \times 10^3 \times 3600 = 3{,}60 \times 10^6\ J$

Nº de desintegrações p/ gerar 1 kWh: $n = \dfrac{3{,}60 \times 10^6}{6{,}81 \times 10^{-13}} = 5{,}29 \times 10^{18}$

d) Nº de átomos de ^{238}U em 1 g:

$$N = \frac{1 \times 10^{-3}}{238 \times 1{,}66 \times 10^{-27}} = 2{,}53 \times 10^{21} \text{ átomos}$$

$$W = \frac{2{,}53 \times 10^{21}}{5{,}29 \times 10^{18}} = 478\ kWh$$

Problemas 2

23. $E_r = 4{,}30 \times 10^{-19}$ J

a) $E_r = p_r c$

$$p_r = \frac{E_r}{c} = \frac{4{,}30 \times 10^{-19}}{3 \times 10^{8}} = 1{,}43 \times 10^{-27} \text{ kgms}^{-1}$$

b) A massa em repouso de um fotão é zero.

c) $p_r = m_r v$

$$m_r = \frac{p_r}{v}$$

$$= \frac{1{,}43 \times 10^{-27}}{3 \times 10^{8}}$$

$$= 4{,}78 \times 10^{-36} \text{ Kg}$$

Problemas 2

24. Mesão π neutro decai em 2 fotões:

$$\pi^0 \longrightarrow \gamma + \gamma \qquad (\gamma \text{ representa o fotão})$$

$$m_{\pi^0} = 2{,}40 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

a) Energia do mesão π^0: $E_{\pi^0} = m_{\pi^0} c^2$

$$= 2{,}40 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2$$

Esta energia é igual à energia dos dois fotões

$$2E_\gamma = E_\pi$$

$$E_\gamma = \frac{1}{2}\left(2{,}40 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2\right)$$

$$= 1{,}08 \times 10^{-11} \text{ J}$$

b) $E_\gamma = p_\gamma c \qquad p_\gamma \equiv$ momento do fotão

$$p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c} = \frac{1{,}08 \times 10^{-11}}{3 \times 10^8} = 3{,}60 \times 10^{-20} \text{ kg m/s}$$

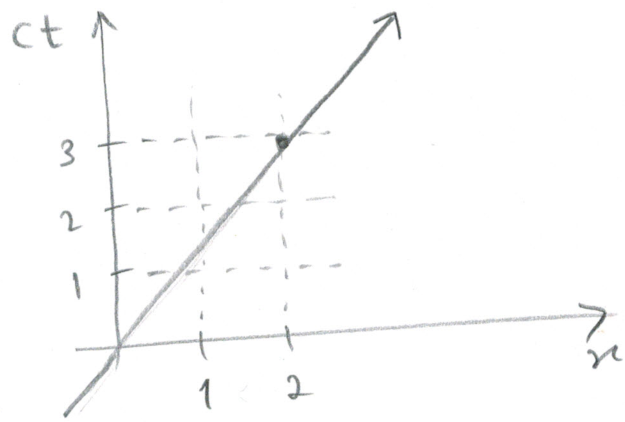
Problemas 2

25. 1 segundo-luz $\equiv$ distância percorrida pela luz em 1 s

$$1 \text{ segundo-luz} = \underbrace{(3\times 10^8)}_{c}\times\underbrace{(1)}_{\Delta t} = 3\times 10^8\,\text{m}$$

Problemas 2

26.



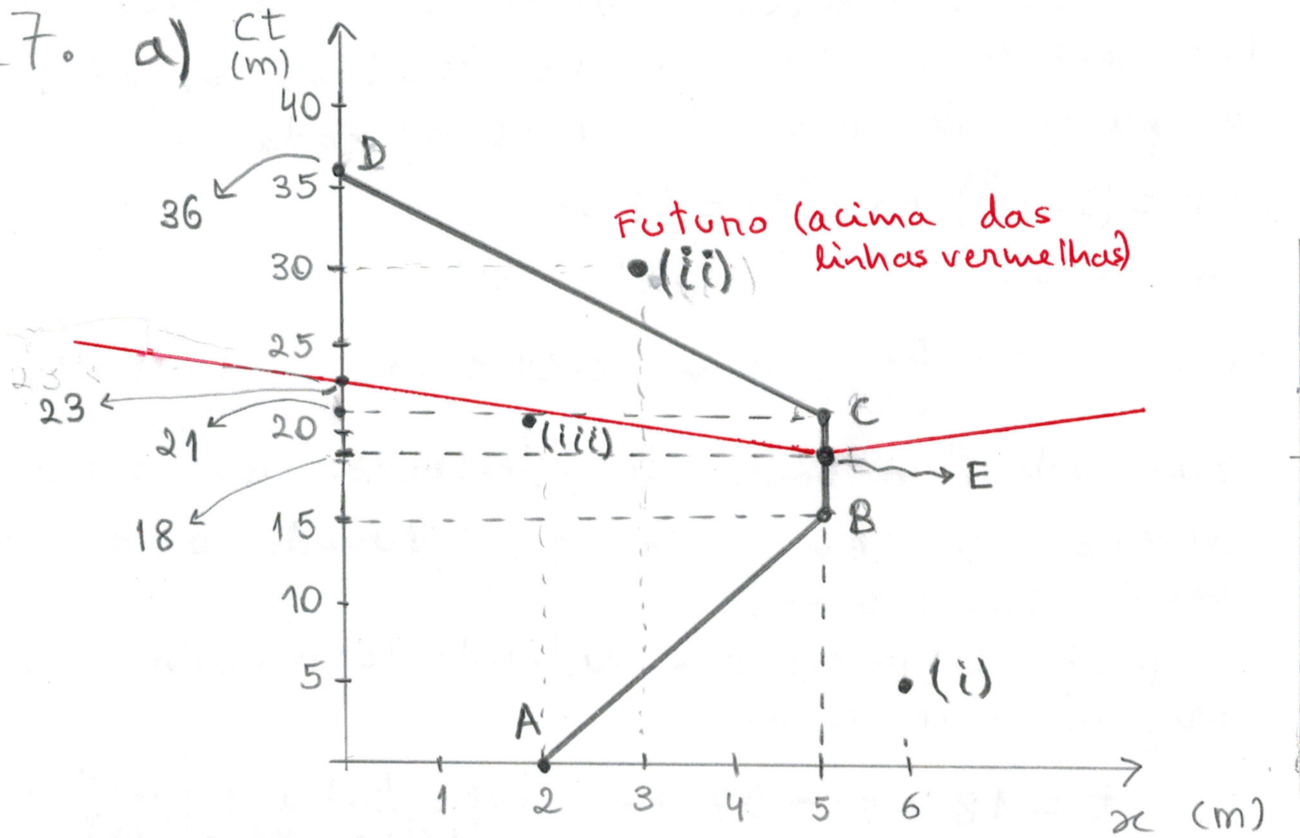
a) $Q^{\underline{do}}$ $\Delta x = 2$, $c\Delta t = 3 \Rightarrow \Delta t = \frac{3}{c}$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2}{\left(\frac{3}{c}\right)} = \frac{2}{3}c$$

b) $v = \frac{2}{3} 3 \times 10^8 = 2 \times 10^8$ m/s

Problemas 2

27. a)



Ponto A: $x = 2$ m ; $ct = 0$

Ponto B: $x = x_0 + vt$ (movimento uniforme)

$x_0 = 2$ m

$v = \frac{1}{5}c = \frac{1}{5}\, 3\times10^{8}$ m/s , $t = 5\times10^{-8}$ s

$$x = 2 + \frac{1}{5}(3\times10^{8})\cdot(5\times10^{-8}) = 2 + 3 = 5 \text{ m}$$

$$ct = (3\times10^{8})(5\times10^{-8}) = 15 \text{ m}$$

Ponto C: $x = 5$ m ; $ct = 15 + (3\times10^{8})(2\times10^{-8}) = 21$ m

Ponto D: $x = 0$; $t = 12\times10^{-8}$ s

$$ct = (3\times10^{8})(12\times10^{-8}) = 36 \text{ m}$$

A linha de acontecimentos (ou linha do universo) está traçada a preto no gráfico. (linha ABCD).

b) É necessário traçar as linhas correspondentes a um deslocamentos à velocidade da luz (no sentido positivo e no sentido negativo) a partir do ponto E de coordenadas

$ct = (3 \times 10^8)(6 \times 10^{-8}) = 18$ m

$x = 5$ m

Como $c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, vem $c . \Delta t = \Delta x$

Para achar o ponto de intersecção com o eixo ct devemos ter em conta que quando $\Delta x = 5$ m, vem $c\Delta t = 5$ m.

O ponto de intersecção referido (ordenada na origem) vale então

$ct = 18 + 5 = 23$ m (ver linha vermelha de declive negativo)

A linha correspondente ao deslocamento no sentido positivo (à veloc. da luz) tem declive de igual módulo, mas positivo. (ver gráfico).

A região do futuro para $t = 6 \times 10^{-8}$ s é toda a região acima das linhas a vermelho no gráfico.

c) (i) $x = \underline{6 \text{ m}}$, $t = 2 \times 10^{-8}$ s

$\left.ct = (3 \times 10^8)(2 \times 10^{-8}) = \underline{6 \text{ m}}\right\}$ passado

(ii) $x = \underline{3 \text{ m}}$, $t = 10 \times 10^{-8}$ s

$\left.ct = (3 \times 10^8)(10 \times 10^{-8}) = \underline{30 \text{ m}}\right\}$ futuro

(iii) $x = \underline{2 \text{ m}}$, $t = 7 \times 10^{-8}$ s

$ct = (3 \times 10^8)(7 \times 10^{-8}) = \underline{21 \text{ m}}$ } região inacessível (outro lugar)

Os pontos (i), (ii), (iii) estão marcados no gráfico.