

1. [2 valores] Visto da lua, uma nave espacial parece ser contraída no seu comprimento por um fator de dois. Faça um desenho da lua visto da nave espacial.
2. [6 valores] Num referencial R um evento B acontece  $2 \mu\text{s}$  ( $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ ) depois o evento A a uma distância  $\Delta x = 1.5 \text{ km}$ .
- (a) Com qual velocidade (expresso como uma fração de  $c$ ) terá um observador se deslocar ao longo do eixo dos  $xxs$  para observar os dois eventos com sendo simultâneos?
  - (b) Será possível que eventos A e B ocorrem no mesmo sítio por algum observador que se desloca ao longo o eixos dos  $xxs$ ? Justifique a sua resposta.
3. [6 valores] Uma nave espacial com comprimento próprio de  $100\text{m}$  passa acima da Terra. Segundo um relógio estacionário na Terra o tempo de passagem é apenas  $(1/3) \times 10^{-6}$  segundos.
- (a) Qual á a velocidade da nave relativa a Terra?
  - (b) Segundo um observador na Terra qual é o comprimento da nave?
4. [6 valores] Um fotão com uma energia de  $12 \text{ TeV}$  ( $1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$ ) incide numa partícula de massa  $M_0$  em repouso. Da colisão sai uma única partícula de massa  $M$  com uma velocidade de  $(12/13)c$ . Determine:
- (a) o momento da partícula final ( em unidades de  $\text{TeV}/c$ );
  - (b) a massa final  $M$  (em unidades de  $\text{TeV}/c^2$ );
  - (c) a massa inicial  $M_0$  (em unidades de  $\text{TeV}/c^2$ );.

Algumas expressões que podem ser uteis:

$$c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} ;$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{massa do eletrão: } m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} ; \text{ massa do protão: } m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}; \quad \beta = v / c \quad \text{Contração do comprimento: } \Delta L_0 = \gamma \Delta L$$

$$\text{Dilatação do tempo: } \Delta t = \gamma \Delta t_0 \quad \text{Efeito do relógio atrás estar adiantado: } v L_0 / c^2$$

$$\Delta x = \gamma [\Delta x' + \beta (c \Delta t')]$$

$$\text{Transformações do Lorentz: } c \Delta t = \gamma [\beta \Delta x' + (c \Delta t')]$$

$$\Delta y = \Delta y'; \quad \Delta z = \Delta z'$$

$$\text{Soma das velocidades longitudinais: } u' = (v + u) / (1 + uv/c^2)$$

$$\text{Intervalo invariante: } \Delta s^2 = (c \Delta t)^2 - [\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2]$$

$$\text{Produto invariante entre 2 tetra-vetores: } \mathbf{A} \bullet \mathbf{B} = A_t B_t - (A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z)$$

$$\text{Tetra-vetor energia momento: } P = (E / c, \vec{p}) = (\gamma_v m c, \gamma_v m \vec{v})$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4; \quad \frac{\vec{v}}{c} = \frac{c \vec{p}}{E} \quad \text{Energia cinética: } E - m c^2$$

Fotões não têm massa.

$$\text{Fotões: } E = h f = 1240 (eV \cdot nm) / \lambda \quad f \lambda = c \quad p = h / \lambda$$