

## CAPÍTULO 6 – RELATIVIDADE

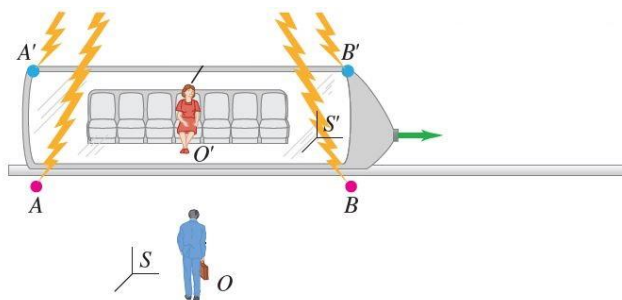
(\*) Capítulo 37 do Livro Texto

### 6ª LISTA DE EXERCÍCIOS

#### 1 - Exercícios

##### 1.1 - Relatividade da simultaneidade

1- (Exercício 1 – Livro Texto) Suponha que os dois raios da Figura ao lado atinjam simultaneamente o solo em relação a um observador dentro do trem. Mostre que esses eventos não ocorrem simultaneamente em relação a um observador situado no solo. Para o observador no solo, qual dos dois raios atinge o solo primeiro?



##### 1.2 - Relatividade nos intervalos de tempo

2- (Exercício 3 – Livro Texto) Com que velocidade um foguete deve se deslocar em relação à Terra para que o tempo no foguete “se retarde” até a metade de sua taxa em referência a observadores situados na Terra? Os aviões a jato modernos chegam perto dessa velocidade?

3- (Exercício 5 – Livro Texto) O pión negativo ( $\pi^-$ ) é uma partícula instável que possui vida média aproximadamente igual a  $2,60 \times 10^{-8} s$  (medida no sistema de referência do pión). (a) Quando o pión se desloca com velocidade muito grande em relação ao laboratório, sua vida média medida no laboratório é de  $4,20 \times 10^{-7} s$ . Calcule a velocidade do pión expressa como uma fração de  $c$ . (b) Qual é a distância que o pión percorre no laboratório durante sua vida média?

4- (Exercício 7 – Livro Texto) Uma espaçonave se afasta da Terra com velocidade de  $4,80 \times 10^6 m/s$  em relação à Terra e a seguir volta com a mesma velocidade. A espaçonave transporta um relógio atômico que foi cuidadosamente sincronizado com outro relógio idêntico que permaneceu na Terra. A espaçonave retorna a seu ponto de partida **365 dias** (um ano) mais tarde, conforme medido pelo relógio que ficou na Terra. Qual é a diferença entre os intervalos de tempo, em horas, medidos pelos dois relógios? Qual dos dois relógios, o que ficou na Terra ou o da espaçonave, indica o menor intervalo de tempo?

##### 1.3 - Relatividade do comprimento

5- (Exercício 10 – Livro Texto) Uma régua de um metro move-se em relação a você com velocidade muito elevada. O movimento é paralelo ao comprimento longitudinal da régua. Se, usando uma régua de um pé, você verifica que a régua de um metro possui comprimento igual a um pé ( $1 \text{ pé} =$

$0,3048 m$ ) — por exemplo, comparando-a com uma régua de um pé que está em repouso em relação a você — com que velocidade a régua de um metro se desloca em relação a você?

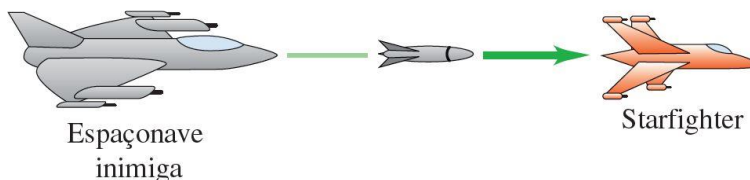
6- (Exercício 14 – Livro Texto) Um foguete passa pela Terra a 91% da velocidade da luz. Em seu interior, um astronauta que está passando por um exame físico tem sua altura medida enquanto está deitado, paralelo à direção em que a nave está se movendo. (a) Se a altura medida por seu médico dentro da nave fosse de  $2,00 m$ , qual seria a altura medida pela pessoa que assiste a partir da Terra? (b) Se a pessoa na Terra tivesse medido  $2,00 m$ , qual seria a altura do astronauta medida pelo médico que está na nave espacial? Essa seria uma altura razoável? (c) Suponha que o astronauta no item (a) se levante após o exame e esteja com seu corpo perpendicular à direção do movimento. Qual seria agora a altura medida pelo médico no foguete e pelo observador em terra?

#### 1.4 - As transformações de Lorentz

7- (Exercício 15 – Livro Texto) Uma observadora em um sistema  $S'$  move-se da esquerda para a direita (no sentido  $+x$ ) com velocidade  $v = 0,600 c$ , afastando-se de um observador em repouso no sistema  $S$ . A observadora no sistema  $S'$  mede a velocidade  $u'$  de uma partícula que se afasta dela da esquerda para a direita. Qual é a velocidade  $u$  que o observador no sistema  $S$  mede para a velocidade da partícula quando (a)  $u' = 0,400 c$ ? (b)  $u' = 0,900 c$ ? (c)  $u' = 0,990 c$ ?

8- (Exercício 17 – Livro Texto) Uma nave do planeta Tatooine está tentando alcançar um cruzador da Federação do Comércio. Em relação a um observador em Tatooine, o cruzador está se afastando do planeta com uma velocidade de  $0,600 c$ . A nave está se deslocando com uma velocidade de  $0,800 c$  em relação a Tatooine, no mesmo sentido que o cruzador. (a) Para a nave alcançar o cruzador, a velocidade dele em relação a ela deve ser na direção que vai ao encontro da nave, ou se distanciando dela? (b) Qual é a velocidade do cruzador em relação à nave?

9- (Exercício 18 – Livro Texto) Uma espaçonave inimiga está perseguindo sua espaçonave Starfighter com velocidade, medida em relação a você, igual a  $0,400 c$ . A espaçonave inimiga dispara um míssil para atingir a Starfighter com uma velocidade, em relação à espaçonave inimiga, de  $0,700 c$  (Figura ao lado). (a) Qual é a velocidade do míssil em relação a você? Expresse sua resposta em termos da velocidade da luz. (b) Se você mediu uma distância igual a  $8,0 \times 10^6 km$  entre você e a espaçonave inimiga no instante em que o míssil foi disparado, qual será o tempo que o míssil levará para atingir você?



10- (Exercício 20 – Livro Texto) Duas partículas provenientes de um acelerador de partículas de alta energia se aproximam frontalmente com uma velocidade relativa igual a  $0,9380 c$ , medida no laboratório. Qual é o módulo da velocidade com a qual uma partícula se aproxima da outra?

11- (Exercício 22 – Livro Texto) Uma espaçonave da Armada Imperial se desloca com velocidade elevada em relação ao planeta Arrakis e dispara um foguete na direção do planeta com uma velocidade de  $0,920 c$  em relação à espaçonave. Um observador na superfície de Arrakis verifica que o foguete está se aproximando com velocidade de  $0,360 c$ . Qual é a velocidade da espaçonave em relação ao planeta Arrakis? A espaçonave está se aproximando ou se afastando de Arrakis?

### 1.5 - O efeito Doppler para ondas eletromagnéticas

12- (Exercício 23 – Livro Texto) Diga isso ao juiz. (a) Qual deve ser a velocidade com a qual você tem de se aproximar de um sinal de trânsito vermelho ( $\lambda = 675 \text{ nm}$ ) para que ele aparente uma cor amarela ( $\lambda = 575 \text{ nm}$ )? Expresse sua resposta em termos da velocidade da luz. (b) Se você usou isso como desculpa para não pagar a multa pelo avanço do sinal vermelho, quanto você teria de pagar de multa pelo excesso de velocidade? Suponha que seja cobrada uma multa de R\$ 1,00 (um real) para cada  $\text{km/h}$  de excesso de velocidade acima da velocidade permitida de  $90 \text{ km/h}$ .

13- (Exercício 24 – Livro Texto) A radiação eletromagnética emitida por uma estrela é observada com um telescópio situado na Terra. A estrela se afasta da Terra a uma velocidade de  $0,520 c$ . Se a radiação possui uma frequência de  $8,64 \times 10^{14} \text{ Hz}$  no sistema de repouso da estrela, qual é a frequência medida por um observador na Terra?

### 1.6 - Momento linear relativístico

13- (Exercício 27 – Livro Texto) Um próton possui momento linear com módulo  $p_0$  quando sua velocidade é de  $0,400 c$ . Em termos de  $p_0$ , qual é o módulo do momento linear do próton quando sua velocidade dobra para  $0,800 c$ ?

14- (Exercício 30 – Livro Texto) Um elétron sofre a influência de uma força de  $5,00 \times 10^{-15} \text{ N}$  em razão de um campo elétrico. Encontre a aceleração que essa força produz em cada caso: (a) a velocidade do elétron é de  $1,00 \text{ km/s}$ . (b) A velocidade do elétron é de  $2,50 \times 10^8 \text{ m/s}$  e a força é paralela à velocidade.

### 1.7 - Trabalho e energia na relatividade

15- (Exercício 31 – Livro Texto) Qual é a velocidade de uma partícula cuja energia cinética é (a) igual à sua energia de repouso? (b) cinco vezes maior que o valor de sua energia de repouso?

16- (Exercício 33 – Livro Texto) Um próton (massa de repouso  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ) apresenta uma energia total que é 4,00 vezes a sua energia de repouso. Quais são: (a) a energia cinética do próton; (b) o módulo do momento linear do próton; (c) a velocidade do próton?

17- (Exercício 37 – Livro Texto) Uma partícula possui massa de repouso de  $6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$  e momento linear igual a  $2,10 \times 10^{-18} \text{ kg} \times \text{m/s}$ . (a) Qual é a energia total (energia cinética mais energia de repouso) dessa partícula? (b) Qual é a energia cinética dessa partícula? (c) Qual é a razão entre a energia cinética e a energia de repouso dessa partícula?

18- (Exercício 39 – Livro Texto) Calcule a energia cinética de um próton (massa igual a  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ) usando a expressão relativística e a expressão não relativística e calcule a razão entre os dois resultados (relativística dividida pela não relativística) para velocidades de (a)  $8,0 \times 10^7 \text{ m/s}$  e (b)  $2,85 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

19- (Exercício 41 – Livro Texto) (a) A que diferença de potencial um elétron precisa ser acelerado, a partir do repouso, para alcançar uma velocidade de  $0,980 c$ ? (b) Qual é a energia cinética do elétron a essa velocidade? Expresse sua resposta em joules e em elétrons-volt.

## 2 - Problemas

20- (Exercício 44 – Livro Texto) Dentro de uma espaçonave passando pela Terra viajando a  $3c/4$ , um pêndulo está oscilando. (a) Se cada ciclo de oscilação leva  $1,80 \text{ s}$  quando medido pelo astronauta que está realizando o experimento, qual será a duração desse mesmo ciclo, se for medido por uma pessoa que está no controle da missão (na Terra), que também está observando o experimento? (b) Se cada ciclo de oscilação medido pela pessoa no controle da missão levar  $1,80 \text{ s}$ , qual será a duração desse mesmo ciclo, se for medido pelo astronauta que está na espaçonave?

21- (Exercício 48 – Livro Texto) Um múon é criado a  $55,0 \text{ km}$  da superfície da Terra (medido no sistema da Terra). A vida média de um múon, medida em seu sistema de repouso, é de  $2,20 \mu\text{s}$  e o múon que estamos considerando possui essa vida média. No sistema do múon, a Terra está se movendo em direção ao múon com uma velocidade de  $0,9860 c$ . (a) No sistema do múon, qual é sua altura inicial acima da superfície da Terra? (b) No sistema do múon, qual a distância mais próxima que o múon fica da Terra durante sua vida média? A que fração da altura inicial corresponde essa distância, medida em relação ao sistema do múon? (c) No sistema de referência da Terra, qual é a vida média do múon? Nesse sistema da Terra, até qual distância o múon percorre durante sua vida média? A que fração da altura inicial corresponde essa distância, medida em relação ao sistema da Terra?

22- (Exercício 51 – Livro Texto) **Dilatação do tempo na vida cotidiana.** Dois relógios atômicos são cuidadosamente sincronizados. Um deles permanece em Nova York e o outro é montado em um avião que se desloca com velocidade média igual a  $250 \text{ m/s}$  e posteriormente volta para Nova York. Quando o avião retorna, o intervalo de tempo total medido pelo relógio no solo é igual a  $4,00 \text{ h}$ . Qual é a diferença entre os intervalos de tempo medidos pelos dois relógios e qual deles indica o intervalo mais curto? (Dica: como  $u \ll c$ , você pode simplificar usando a série binomial:  $\sqrt{1 - v^2/c^2} = (1 - v^2/c^2)^{1/2} \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$ ).

23- (Exercício 53 – Livro Texto) **Radiação Cerenkov.** O físico russo P. A. Cerenkov descobriu que ocorre uma emissão de ondas eletromagnéticas quando uma partícula carregada se desloca em um meio material com velocidade superior à velocidade de propagação da luz no mesmo material. (Esse efeito é análogo ao estrondo sônico produzido por um avião que se desloca no ar com velocidade superior à velocidade de propagação do som no ar. Cerenkov ganhou o Prêmio Nobel por essa descoberta em 1958.) Qual é a energia cinética mínima (em elétrons-volt) que um elétron deve possuir ao se deslocar ao longo de uma barra de vidro crown ( $n = 1,52$ ) para que ele possa emitir radiação Cerenkov?

24- (Exercício 59 – Livro Texto) Um dos comprimentos de onda emitidos pelos átomos de hidrogênio submetidos a condições normais de laboratório é  $\lambda = 656,3 \text{ nm}$ , na região vermelha do espectro eletromagnético. Observando-se essa mesma luz emitida por uma galáxia distante, verifica-se que ela sofre um deslocamento Doppler para  $\lambda = 953,4 \text{ nm}$ , na região infravermelha do espectro eletromagnético. Qual é a velocidade desses átomos emitidos em relação à Terra? Estão se aproximando ou se afastando dela?