Lista de Exercícios - Relatividade

Questões:

1. Como testaríamos um referencial proposto para saber se ele é ou não um referencial inercial?

2. A velocidade da luz, no vácuo, é uma verdadeira constante da natureza, independente do comprimento de onda da luz e do referencial (inercial) escolhido. Há, então, algum sentido em afirmar que o segundo postulado de Einstein pode ser encarado como parte do conteúdo do primeiro postulado?

3. Sabemos que, quando dois eventos *A* e *B* são vistos por diversos observadores, um deles pode dizer que o evento *A* precedeu o evento *B*, mas um outro pode afirmar que o evento *B* precedeu o evento *A*. O que você diria a um amigo que lhe perguntasse qual dos eventos precedeu *realmente* o outro?

4. Dois eventos ocorrem num mesmo lugar e num mesmo instante para um certo observador. Para todos os outros observadores os mesmos dois eventos também serão simultâneos? Para todos os outros observadores, os eventos também ocorrerão no mesmo lugar?

5. Como o conceito de simultaneidade entra na medida do comprimento de um corpo?

6. Partículas de massa nula (como os fótons de luz) que têm a velocidade *c* num certo referencial, podem estar em repouso num outro referencial? Estas partículas podem ter uma velocidade diferente de *c*?

Problemas:

(Problemas marcados com * são fortemente sugeridos.)

1. Que fração da velocidade da luz corresponde a cada uma das seguintes velocidades, isto é, qual é o parâmetro de velocidade b? (a) a taxa típica da deriva continental (2,54 cm/ano). (b) A velocidade típica de deriva de um elétron num condutor que transporta uma corrente (0,5 mm/s). (c) Um limite de velocidade numa auto-estrada (90km/h). (d) A velocidade média quadrática de uma molécula de hidrogênio na temperatura ambiente. (e) a velocidade de um avião supersônico voando no Mach 2,5 (1.200 km/h). (f) A velocidade de escape de um projétil da superfície da Terra. (g) A velocidade da Terra na sua órbita em torno do Sol. (h) A velocidade típica de recessão de um quasar distante (3,0 x 104 km/s).

(A. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 1)

(D. (**Resposta:** (a) $2{,}69\times10^{-18}$; (b) $1{,}67\times10^{-12}$; (c) $8{,}33\times10^{-8}$ (d) $6{,}43\times10^{-6}$; (e) $1{,}11\times10^{-6}$; (f) $3{,}73\times10^{-5}$; (g) $9{,}93\times10^{-5}$; (h) 0,1.)

* **2.** Ache a velocidade de uma partícula que leva dois anos a mais do que a luz para percorrer a distância de 6,0 anos-luz.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 3)

(**Resposta:** 0,75 c)

3. Qual deve ser o parâmetro de velocidade β , se o fator de Lorentz γ for (a) 1,01, (b) 10,0, (c) 100 e (d) 1.000?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 4)

(**Resposta:** (a) 0,1404; (b) 0,995; (c) 0,99995; (d) 0,9999995)

4. A vida média de múons freados num bloco de chumbo, fixo num laboratório, é 2,2 μ s. A vida média dos múons com grande velocidade, numa explosão de raios cósmicos, observada da Terra, é 16 μ s. Ache a velocidade destes múons dos raios cósmicos em relação à Terra.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 5)

(**Resposta:** 0,9905 c)

* **5.** Os píons são criados na alta atmosfera da Terra, quando partículas de alta energia, de raios cósmicos, colidem com núcleos atômicos. Um píon assim formado desce em direção à Terra com a velocidade de 0,99*c*. Num referencial onde estejam em repouso, os píons decaem com a vida média de 26 ns. Num referencial fixo na Terra, qual é a distância percorrida (em média) pelos píons na atmosfera, antes de decaírem?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 7)

(**Resposta:** 54,7 m)

6. Desejamos fazer uma viagem de ida e volta, viajando numa espaçonave com velocidade constante e em linha reta, durante seis meses, e, então, retornar com a mesma velocidade. Desejamos, além disso, ao retornar, encontrar a Terra como ela seria após 1.000 anos contados do início da viagem. (a) Com que velocidade devemos viajar? (b) Importa, ou não, que a viagem se faça em linha reta? Se, por exemplo, viajássemos em círculo durante um ano, ainda assim, ao retornarmos, teriam decorridos 1.000 anos pelos relógios da Terra?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 8)

(**Resposta:** 0,9999995c)

7. Uma barra mantém-se paralela ao eixo x de um referencial S, movendo-se ao longo deste eixo com velocidade 0,630*c*. O seu comprimento de repouso é 1,70 m. Qual será seu comprimento medido em S.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 9)

(**Resposta:** 1,32 m)

8. Um elétron com β = 0,999 987 move-se ao longo do eixo de um tubo no qual se fez um vácuo, e que tem o comprimento de 3,00 m medido por um observador S no laboratório, em relação ao qual o tubo está em repouso. Um observador S', que se move com o elétron, veria o tubo passando por ele com uma velocidade escalar v (=β c). Que comprimento este observador mediria para o tubo?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 11)

(**Resposta:** 1,53 cm)

* **9.** Uma nave espacial, com um comprimento de repouso de 130 m, passa por uma estação de observação com a velocidade de 0,740c. (a) Qual é o comprimento da nave medido pela estação? (b) Qual é o intervalo de tempo registrado pelo monitor da estação entre a passagem da parte dianteira e a da parte traseira da nave?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 13)

(**Resposta:** (a) 87,44 m ; (b) 394 ns)

* **10.** Um astronauta parte da Terra com destino à estrela Vega, distante 26 anos-luz, deslocando-se com a velocidade de 0,99c. Qual o tempo decorrido medido pelos relógios da Terra? (a) quando o astronauta chega a Vega? e (b) quando os observadores, na Terra, recebem o aviso de sua chegada à Vega? (c) Quantos anos mais velho os observadores na Terra julgam que o viajante estará ao chegar a Vega?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 14)

(**Resposta:** (a) 26,3 anos; (b) 52,3 anos; (c) 3,7 anos)

* **11.** Um avião, cujo comprimento de repouso é de 40,0m, está se movendo, em relação à Terra, com uma velocidade constante de 630 m/s. (a) Em que fração do seu comprimento de repouso parecerá encurtado para um observador na Terra? (b) Quanto tempo demorará, de acordo com um observador na Terra, para que o relógio no avião se atrase de 1,00 μ s? (Suponha que somente a relatividade restrita seja aplicável.)

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 15)

(**Resposta:** (a) 2,21 x 10^{-12}; (b) 5,25 dias)

* **12.** (a) Pode uma pessoa, em princípio, viajar da Terra até o centro galático (que está a cerca de 23.000 anos-luz de distância) num intervalo igual ao de uma vida normal? Explique usando argumentos da dilatação do tempo ou da contração dos comprimentos. (b) Que velocidade constante seria necessária para fazer a viagem em 30 anos (tempo próprio)?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 16)

(**Resposta:** (a) Sim; (b) 0,9999992c)

13. A um certo evento, um observador S atribui as seguintes coordenadas espaço-tempo

$$x = 100 \text{ km e } t = 200\ \mu\text{ s}$$

Quais são as coordenadas deste evento num referencial S' que se move, no sentido positivo do eixo x, com a velocidade de 0,950c? Suponha $x = x'$ para $t = t' = 0$.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 17)

(**Resposta:** x' = 138 km; t' = $-374\text{x}10^{-6}$ s)

14. O referencial inercial S' se move com a velocidade de 0,60 c em relação ao referencial S. Dois eventos são registrados. No referencial S, o evento 1 ocorre na origem em $t = 0$ e o evento 2 ocorre no eixo dos x em $x = 3{,}0$ km e $t = 4{,}0\mu$ s. Quais são os instantes de ocorrência registrados pelo observador S' para estes mesmos eventos? Explique a diferença na ordem do tempo.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 19)

(**Resposta:** $t'_1 = 0$; $t'_2 = -\ 2{,}5\text{x}10^{-6}$ s)

* **15.** Um experimentador arma um mecanismo para disparar simultaneamente dois holofotes, um de flash azul, localizado na origem do seu referencial, e um de flash vermelho, em $x = 30$ km. Um segundo observador, movendo-se com a velocidade de 0,250c no sentido dos x crescentes, também vê os flashes. (a) Qual é o intervalo de tempo que ele registra entre os flashes? (b) Qual é o flash que, para ele, ocorre em primeiro lugar?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 20)

(**Resposta:** (a) $-25{,}8\text{x}10^{-6}$ s; (b) O segundo holofote emite primeiro no segundo referencial. Note que, devido ao efeito Doppler, a luz não será vermelha.)

* **16.** Pela medição do deslocamento para o vermelho, da luz emitida, conclui-se que um quasar Q_1 se afasta de nós com a velocidade de 0,800c. O quasar Q_2, que está na mesma direção no espaço, porém mais próximo de nós, afasta-se com a velocidade de 0,400c. Que velocidade seria medida para Q_2, por um observador em Q_1?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 29)

(**Resposta:** 0,588 c, afastando-se.)

17. Para circular em torno da Terra, numa órbita baixa, um satélite deve ter uma velocidade de aproximadamente 27.353 km/h. Suponha que dois desses satélites orbitem a Terra em sentidos opostos. (a) Qual é a velocidade relativa, com que um passa pelo outro, de acordo com a equação de transformação da velocidade de Galileu? (b) Que erro foi cometido em (a) por não ter sido usada a equação (correta) de transformação relativística?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 31)

(**Resposta:** (a) 54.706 km/h; (b) $6{,}4\text{x}10^{-10}$)

18. Uma nave espacial, afastando-se da Terra com uma velocidade de 0,900c, transmite sinais para a

Terra numa freqüência (medida no referencial da nave) de 100 MHz. Em que freqüência os receptores da Terra devem ser sintonizados a fim de receber os sinais?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 33)

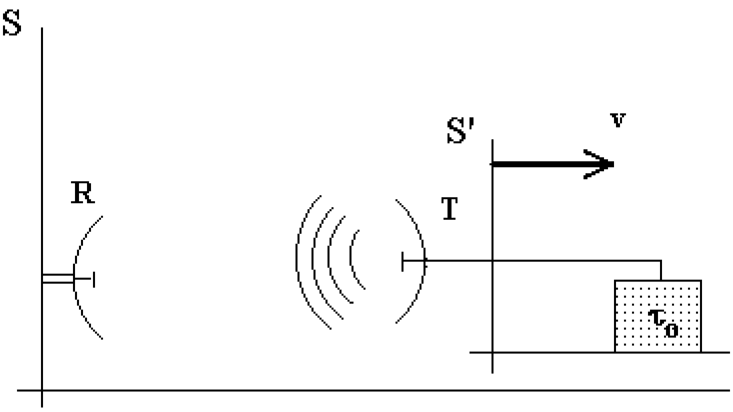
(**Resposta:** 22,94 MHz)

* **19.** Uma nave espacial está se afastando da Terra com uma velocidade de 0,20*c*. Uma luz, na popa da nave, parece azul (λ = 450 nm) aos passageiros da nave. Que cor pareceria a um observador na Terra?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 36)

(Resposta: amarelo, λ = 551nm)

20. Um transmissor de radar *T* está fixo num referencial *S'* que se move para a direita com a velocidade **v** em relação a um referencial *S*, de acordo com a figura ao lado. Um cronômetro mecânico (essencialmente um relógio) no referencial *S'*, tendo um período τ_o (medido em *S'*), provoca o transmissor *T* a emitir pulsos de radar, que se propagam com a velocidade da luz e são recebidos por um receptor *R*, fixo no referencial *S*. (a) Qual é o período τ do cronômetro detectado pelo observador *A* que está fixo no referencial *S* ? (b) Mostre que o receptor *R* observaria o intervalo de tempo entre os pulsos que chegam de *T*, não como τ ou τ_o, mas como



$$\tau_R = \tau_o\,[(c + v) / (c - v)]^{1/2}$$

(a) Explique porque o observador em *R* mede para o transmissor um período diferente daquele medido pelo observador *A*, que está no mesmo referencial que ele. (*Sugestão*: um relógio e um pulso de radar não são a mesma coisa).

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 37)

(**Resposta:** (a) $\tau_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$).

21. Um elétron desloca-se a uma velocidade tal que poderia circunavegar a Terra, no equador, em 1,00 s no referencial da Terra. (a) Qual é a sua velocidade em termos da velocidade da luz? (b) Qual é a sua energia cinética *K*? (c) Qual é o erro percentual cometido se a energia cinética *K* for calculada pela fórmula clássica?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 39)

(**Resposta:** (a) 0,134 c; (b) 4,62 keV; (c) 1,36 %)

22. Admite-se que os quasares sejam os núcleos de galáxias ativas em estágios primitivos de formação. Um quasar típico irradia energia à taxa de 10+41 W. A que taxa estará a massa de um quasar sendo reduzida para fornecer esta energia? Expresse sua resposta em unidades de massa solar por ano, sabendo que uma unidade de massa solar é igual à massa do nosso Sol (1 ums = 2,0 x 10+30 kg).

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 45)

(**Resposta:** 17,5 ums/ano)

* **23.** Qual é o trabalho necessário para aumentar a velocidade de um elétron de (a) 0,18*c* até 0,19*c* e (b) 0,98*c* até a 0,99*c*? Observe que o aumento de velocidade (= 0,01*c*) é o mesmo, nos dois casos.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 46)

(**Resposta:** (a) 996,1 eV; (b) 1,0545 MeV)

* **24.** (a) De acordo com a física clássica, que diferença de potencial aceleraria um elétron até a velocidade da luz ? (b) Com esta diferença de potencial, que velocidade realmente atingiria ?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 48)

(**Resposta:** (a) 25,5 kV; (b) 0,745*c*)

25. Uma partícula de massa *m* tem um momento linear igual a *mc*. Quais são (a) o seu fator de Lorentz, (b) a sua velocidade e (c) a sua energia cinética?

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 49)

(**Resposta:** (a) 1,414; (b) 0,707 c; (c) 0,414 mc^2)

* **26.** Imagine as seguintes partículas, todas elas em movimento no vácuo: um fóton de 2,0 eV, um elétron de 0,40 MeV e um próton de 10 MeV. (a) Qual delas se move mais rapidamente ? (b) Qual delas se move mais lentamente? (c) Qual delas tem o maior momento linear ? (d) Qual delas tem o menor momento linear? *Observação*: um fóton é uma partícula de luz, com massa nula.)

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 51)

(**Resposta:** (a) o fóton; (b) o próton; (c) o próton; (d) o fóton.)

27. A vida média dos múons em repouso é 2,20 μ s. Em medidas realizadas em laboratório, sobre o decaimento de múons altamente energéticos provenientes de um feixe que emerge de um acelerador de partículas, encontra-se para a vida-média 6,90 μ s. (a) Qual é a velocidade destes múons no laboratório? (b) Qual é a energia cinética e (c) Qual é o seu momento linear? A massa de um múon é 207 vezes a massa de um elétron.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 55)

(**Resposta:** (a) 0,948 c; (b) 225,954 MeV; (c) 314,41 MeV/c)

* **28.** (a) Qual é a quantidade de energia liberada na explosão de uma bomba de fissão contendo 3,0 kg de material fissionável? Suponha que 0,10% da massa é convertida em energia liberada. (b) que massa de TNT precisaria explodir para liberar a mesma quantidade de energia? Admita que cada mol de TNT libere 3,4 MJ de energia na explosão. A massa molecular de TNT é 0,227 kg/mol. (c) Para a mesma massa de explosivo, calcule a maior eficiência das explosões nucleares em relação às de TNT. Isto é, compare as frações da massa que são convertidas em energia em cada caso.

(D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 56)

(**Resposta:** (a) $2{,}7\text{x}10^{+14}$ J; (b) $1{,}8\text{x}10^{+7}$ kg; (c) $6{,}0\text{x}10^{+6}$)