



MINICURSOS PARA ENSINO MÉDIO

Lista de exercícios sobre relatividade - abril de 2019

Professor Lucas David

1. A teoria da relatividade restrita de Einstein fornece uma formalização adequada para o movimento dos corpos que viajam a velocidades próximas à da luz — nestas velocidades, a teoria de Newton mostrava-se inadequada. Com base nesta teoria, analise as seguintes afirmações e marque verdadeiro ou falso:

I. A velocidade limite para qualquer corpo é a velocidade da luz no vácuo, aproximadamente $3,0 \cdot 10^8$ m/s. ()

II. O tempo pode passar de maneira diferente para observadores a velocidades diferentes. ()

III. As dimensões de um objeto são sempre as mesmas, quer ele esteja em repouso, quer em movimento. ()

IV. A célebre equação $E = m \cdot c^2$ pode explicar a energia que o Sol emite quando parte de sua massa se converte em energia. ()

2. Admita que um avião voe de São Paulo para Roma (distância ~ 9000 Km) com velocidade constante de 300 m/s. Quanto tempo leva a viagem a) para um observador em repouso no solo?; b) para um observador no avião?

3. O múon positivo, μ^+ , uma partícula instável, tem um tempo médio de vida de $2,20 \mu\text{s}$ — medido a partir de seu próprio referencial — antes de sofrer um decaimento. a) se esta partícula está se movendo em relação a um referencial de laboratório com velocidade de $0,900c$, qual será seu tempo médio de vida em relação a este referencial? b) qual a distância média, medida no referencial de laboratório, percorrida pelo múon antes de decair?

4. O pión negativo, π^- , é uma partícula instável com tempo médio de vida de $2,60 \cdot 10^{-8}$ s — medido a partir de seu próprio referencial. Considere que um pión esteja se movendo a alta velocidade, de tal forma que seu tempo médio de vida (antes de decair) seja de $4,20 \cdot 10^{-7}$ s em relação a um referencial de laboratório. a) calcule a velocidade em questão; b) qual distância média, medida no referencial de laboratório, o pión percorre antes de decair?

5. Imagine que em um cenário de ficção científica você esteja viajando a velocidade constante em direção à Lua. Durante este percurso, uma nave lhe ultrapassa com uma velocidade constante de $0,80c$, relativamente a você. No momento em que a nave lhe ultrapassa, você e o condutor da outra nave iniciam seus relógios no tempo zero. a) No instante em que você mede que a nave que lhe ultrapassou está $1,20 \cdot 10^8$ m à sua frente, que tempo o condutor desta nave lê em seu relógio? b) No momento em que o condutor da outra nave lê o resultado obtido em «a», ele mede a distância entre você e ele. Qual resultado ele obtém? c) no instante em que o condutor da outra nave lê o resultado obtido em «a», qual o valor que você lê em seu relógio?

6. Uma nave espacial viaja da Terra com velocidade de $4,80 \cdot 10^6$ m/s relativamente à Terra e, posteriormente, retorna à Terra com a mesma velocidade. A nave espacial leva um relógio atômico que foi cuidadosamente sincronizado com um relógio idêntico que permaneceu em repouso na Terra. A nave retorna à sua posição inicial na Terra 365 dias depois, tal qual medido pelo relógio atômico que permaneceu na Terra. Qual a diferença entre os tempos marcados pelos relógios, medida em horas? Em qual dos dois relógios o tempo passou mais lentamente?

7. Múons são partículas subatômicas instáveis que decaem em elétrons. Seu tempo médio de vida é de $2,2 \mu\text{s}$. Estas partículas são produzidas quando raios cósmicos bombardeiam a atmosfera superior terrestre a cerca de 10 km de altura. Após serem produzidos, os múons viajam a velocidades próximas à da luz. A questão que queremos tratar é: por que encontramos tantos múons na superfície da Terra? a) qual seria a distância máxima percorrida por um múon durante seu tempo médio de vida? b) baseado na resposta obtida no item «a», seria de esperar que os múons jamais fossem encontrados na Terra. A questão é que os $2,2 \mu\text{s}$ são medidos no referencial do próprio múon, isto é, um referencial em repouso, e os múons se movem muito rapidamente. A uma velocidade de $0,999c$, qual é o tempo médio de vida de um múon mensurado por um observador na Terra? Considerando este tempo, qual seria a distância percorrida pelo múon? c) Do ponto de vista do múon, ele ainda «vive» apenas por $2,2 \mu\text{s}$, então como explicar o fato de ele chegar ao chão? Qual é a largura dos 10 km de atmosfera que o múon precisa percorrer, tal qual medida a partir do referencial do múon?

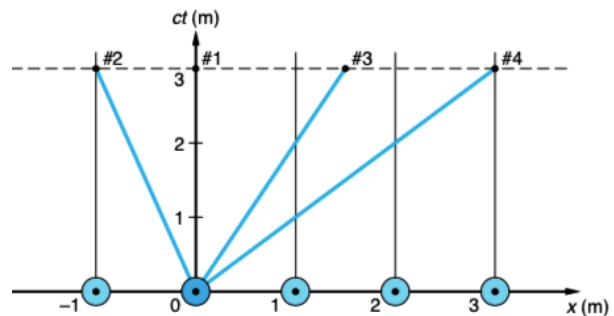
8. Um observador num referencial S' está se movendo para a esquerda (direção $+x$) com velocidade de $u = 0,60c$, de forma a se distanciar de um observador num referencial S . O observador S' mede uma velocidade v' de uma partícula se afastando dele para a direita. Qual será a velocidade v medida pelo observador de S se a) $v' = 0,40c$; b) $v' = 0,90c$; c) $v' = 0,99c$?

9. Imagine uma nave espacial extraterrestre se afastando da Terra após um infeliz encontro com seus habitantes. À medida que se afasta, a nave lança um míssil em direção à Terra. Um observador na Terra faz uma medição e indica que a nave se afasta da Terra com velocidade de $0,60c$. Um observador dentro da nave mede que o míssil se afasta dele com $0,80c$. A partir de um referencial estacionário na Terra, com qual velocidade o míssil se aproxima?

10. Suponha que dois raios cósmicos estejam se dirigindo à Terra como mostra a figura ao lado. As velocidades com respeito à terra são $v_1 = 0,6c$ e $v_2 = -0,8c$. a) Qual é a velocidade da Terra relativa a cada um dos feixes? b) Qual a velocidade de cada feixe com respeito ao outro?



11. Encontre a velocidade u da partícula 3 no diagrama ao lado.



12. Duas partículas em um acelerador de alta energia estão se aproximando tendo cada uma delas uma velocidade de $0,9520c$, medida no referencial do laboratório. Qual a magnitude da velocidade de uma partícula com relação à outra?

13. Uma nave espacial, viajando a alta velocidade, lança um míssil em direção a um planeta com velocidade de $0,920c$ com respeito à própria nave. Um observador no planeta mede que o míssil se aproxima com velocidade de $0,360c$. Qual é a velocidade da nave espacial relativamente ao planeta? A nave está se aproximando ou se afastando?

14. Dois prótons (cada com massa de repouso $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg) estão inicialmente se movendo com a mesma velocidade ao longo de uma mesma direção, mas com sentidos opostos. Os prótons continuam a existir após uma colisão que produz um partícula η^0 . A massa de repouso desta partícula é de $9,75 \cdot 10^{-28}$ kg. a) se os dois prótons e a partícula η^0 estão todos em repouso após a colisão, encontre a velocidade inicial dos prótons em função da velocidade da luz. b) qual a energia cinética de cada próton? Dê sua resposta em MeV. c) qual a energia de repouso de η^0 expressa em MeV?

15. O Sol produz energia por reações de fusão nuclear, na qual matéria é convertida em energia. Medindo a quantidade de energia que recebemos do Sol, sabemos que ele está produzindo energia a uma taxa de $3,8 \cdot 10^{26}$ W. a) quantos kg de matéria o Sol perde a cada segundo? Converta esse valor em toneladas. b) considerando esta taxa, quanto tempo levará para o Sol perder toda sua massa?

16. Após ser produzido em uma colisão entre partículas elementares, um pión positivo (π^+) deve percorrer um tubo de 1,90 km para chegar a uma área onde serão feitos experimentos. O tempo médio de vida da partícula é de $2,60 \cdot 10^{-8}$ s (tempo para que a partícula decaia, medido em seu próprio referencial). a) qual deve ser a velocidade do pión de modo a percorrer o tubo completamente sem decair? (*dica*: como u , a velocidade do pión, será próxima a c , escreva $u = (1 -$

$\Delta)c$ e dê sua resposta em termos de Δ , em vez de u). b) O pión tem uma energia de repouso de 139,6 MeV. Qual é a energia total do π^+ na velocidade calculada no item a)?

17. O físico soviético P.A. Tcherenkóv descobriu que uma partícula carregada viajando num sólido com velocidade maior que a velocidade da luz no material emite radiação eletromagnética. Este efeito é análogo ao estrondo sônico, quando um avião ultrapassa a barreira do som. Qual a energia cinética mínima (em elétron volts) que um elétron deve ter para emitir radiação Tcherenkóv ao viajar dentro de um vidro de índice de refração 1,52?

18. Use táquions e diagramas espaço-tempo para mostrar que a existência de tais partículas (que se moveriam mais rapidamente que a luz no vácuo) poderia servir para alterar a história e, conseqüentemente, o futuro, criando um paradoxo.