

1a. lista de exercícios - Física 4

Interferência

35.9 Duas fendas separadas por uma distância de 0,450 mm são colocadas a uma distância de 75,0 cm de uma tela. Qual é a distância entre a segunda franja escura e a terceira franja escura na figura de interferência que se forma sobre a tela quando as fendas são iluminadas por luz coerente de comprimento de onda igual a 500 nm?

35.11 Uma luz coerente proveniente de uma lâmpada de vapor de sódio passa através de um filtro que bloqueia tudo e deixa passar um único comprimento de onda. A seguir ela incide sobre duas fendas separadas por uma distância de 0,460 mm. Na figura de interferência formada sobre uma tela situada a uma distância de 2,20 m, a distância entre duas franjas brilhantes adjacentes é igual a 2,82 mm. Qual é o comprimento de onda?

35.18 Uma estação de rádio FM emite ondas com frequência igual a 107,9 MHz e tem duas antenas idênticas separadas por uma distância de 12,0 m. As antenas irradiam em fase. A figura da radiação resultante apresenta intensidade máxima ao longo de uma linha reta horizontal passando perpendicularmente pelo centro do segmento que liga as duas antenas. Suponha que a intensidade seja observada em pontos para os quais as distâncias até as antenas sejam muito maiores do que 12,0 m. a) Em que ângulos (medidos a partir da linha de intensidade máxima) a intensidade é máxima? b) Em que ângulos ela é igual a zero?

35.23 Duas fendas distantes 0,260 mm uma da outra, colocadas a uma distância de 0,700 m de uma tela são iluminadas por uma luz coerente de comprimento de onda igual a 660 nm. A intensidade no centro do máximo central ($\theta = 0^\circ$) é igual a I_0 . a) Qual é a distância sobre a tela entre o centro do máximo central e o primeiro mínimo? b) Qual é a distância sobre a tela entre o centro do máximo central e o ponto no qual a intensidade se reduz para $I_0/2$?

35.27 Qual deve ser a espessura da película mais fina com $n = 1,42$ que devemos usar como revestimento sobre uma placa de vidro ($n = 1,52$) para que ocorra interferência destrutiva da componente vermelha (650 nm) na reflexão de um feixe de luz branca que incide no ar sobre a placa?

35.32 Uma película de plástico com índice de refração igual a 1,85 é colocada nos vidros das janelas de um carro para aumentar a refletividade e manter o interior do carro mais frio. O índice de refração do vidro da janela é 1,52. a) Qual é a espessura mínima da película necessária para que a luz de comprimento de onda de 550 nm, ao se refletir em ambas as superfícies da película, produza interferência construtiva? b) Verifica-se que é difícil fabricar e instalar uma película com a espessura calculada no item (a). Qual deve ser a espessura mais grossa seguinte para que se produza uma nova interferência construtiva?

35.36 Qual é a espessura mínima de uma película de sabão (excluindo o caso da espessura nula) para que se forme uma franja escura quando iluminada por luz de comprimento de onda igual a 480 nm? O índice de refração da película é 1,33 e existe ar em ambos os lados da película.

35.44 Duas antenas de rádio irradiam em fase e estão localizadas nos pontos A e B separados por uma distância de 200 m (Figura 35.23). As ondas de rádio têm uma frequência igual a 5,80 Hz. Um receptor de rádio é deslocado de B, sendo movido ao longo de uma reta perpendicular ao segmento que liga os pontos A e B (reta BC da Figura 35.23). A que distância de B ocorrerá interferência destrutiva? (Nota: a distância entre o receptor e a fonte não é grande em comparação com a distância entre as fontes, de modo que a Equação (35.5) não pode ser aplicada.)

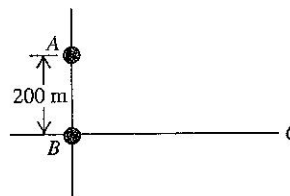


Figura 35.23 Problema 35.44.

35.52 Uma luz vermelha de comprimento de onda igual a 700 nm passa através de um dispositivo de fenda dupla. Simultaneamente, outro feixe de luz monocromática passa através do mesmo dispositivo. Em consequência, a maior parte da figura de interferência que se forma na tela é dada pela mistura de duas cores; contudo, o centro da terceira franja brilhante ($m = 3$) da luz vermelha é puramente vermelho, sem nenhuma tonalidade da outra cor. Qual é o comprimento de onda do segundo feixe de luz? Você precisa saber o valor da distância entre as fendas para responder à pergunta? Por quê?

35.54 A luz branca se reflete com incidência normal na superfície inferior e na superfície superior de uma placa de vidro ($n = 1,52$). Existe ar em cima e embaixo da placa. Observa-se interferência construtiva para a luz cujo comprimento de onda no ar é igual a 477,0 nm. Qual é a espessura da placa sabendo que o comprimento de onda mais longo no qual ocorre interferência construtiva é 540,6 nm?

35.58 Um navio petroleiro derrama uma grande quantidade de petróleo ($n = 1,45$) no oceano ($n = 1,33$). a) Observando-se a mancha de petróleo verticalmente de cima para baixo, qual é o comprimento de onda da luz que se vê predominantemente em um local onde a espessura do petróleo é igual a 380 nm? A que cor corresponde esse comprimento de onda? (Sugestão: veja a Tabela 32.1). b) Na água embaixo da mancha de petróleo, qual seria o comprimento de onda predominante (medido em relação ao ar) da luz transmitida no mesmo local do item (a)?

Difração

36.18 Considere uma figura de difração de fenda única em que a amplitude da onda no ponto O mostrado na Figura 36.5a é E_0 . Para cada um dos seguintes casos, desenhe um diagrama de fasores como o da Figura 36.8c e determine graficamente a amplitude da onda no ponto em questão. (Sugestão: use a Equação (36.6) para determinar o valor de β em cada caso.) Calcule a intensidade e compare com a Equação (36.5). a) $\sin \theta = \lambda/2a$; b) $\sin \theta = \lambda/a$; c) $\sin \theta = 3\lambda/2a$.

36.21 Número de franjas no máximo de difração. Na Figura 36.12c o máximo central da difração contém exatamente sete franjas de interferência e nesse caso $d/a = 4$. a) Qual deve ser a razão d/a para que o máximo central da difração contenha exatamente cinco franjas? b) No caso considerado no item (a), quantas franjas há no primeiro máximo de difração existente de cada lado do máximo central?

36.36 Identificação de isótopos por meio do espectro. Isótopos diferentes do mesmo elemento emitem luz com diferentes comprimentos de onda. Um comprimento de onda do espectro de emissão do átomo de hidrogênio é igual a 656,45 nm; para o deutério, o comprimento de onda correspondente é igual a 656,27 nm. a) Qual é o menor número de fendas necessário para separar esses dois comprimentos de onda na segunda ordem? b) Se a rede possui 500 fendas/mm, determine os ângulos e a separação desses dois comprimentos de onda na segunda ordem.

36.53 Considere uma figura de difração de fenda única. O centro do máximo central, cuja intensidade é igual a I_0 , está localizado em $\theta = 0$. a) Designe por θ_+ e θ_- os dois ângulos de cada lado de $\theta = 0$ para os quais $I = \frac{1}{2} I_0$. A diferença $\Delta\theta = |\theta_+ - \theta_-|$ denomina-se *largura completa na metade do máximo* da franja central brilhante da difração. Determine $\Delta\theta$ quando a razão entre a largura da fenda a e o comprimento de onda λ é i) $a/\lambda = 2$, ii) $a/\lambda = 5$, iii) $a/\lambda = 10$. (Sugestão: sua equação para θ_+ e θ_- não pode ser resolvida analiticamente. Você poderá usar o método das tentativas ou resolvê-la graficamente.) b) A largura do máximo central pode ser definida de modo alternativo como $2\theta_0$, onde θ_0 é o ângulo referente a cada mínimo ao lado do máximo central. Calcule $2\theta_0$ para cada um dos casos do item (a) e compare com $\Delta\theta$.

36.62 Difração dos raios X do sal. Raios X com 0,125 nm de comprimento de onda são espalhados por uma rede cristalina cúbica (de um cristal de cloreto de sódio), cujo espaçamento entre átomos adjacentes é dado por $a = 0,282$ nm. a) Se considerarmos a difração em planos paralelos a uma face do cubo, em que ângulos θ do feixe incidente em relação aos planos do cristal os máximos devem observados? b) Repita o item (a) para a difração produzida pelos planos mostrados na Figura 36.24a, que estão separados por uma distância $a/\sqrt{2}$.

36.72 Pesquisa de planetas existentes fora do nosso sistema solar. A agência espacial norte-americana NASA está desenvolvendo um projeto chamado *Planet Imager* (gerador de imagens de um planeta) que permitiria a um astronauta ver detalhes de planetas que estão em órbita ao redor de outras estrelas. Seguindo o mesmo princípio adotado no *Very Large Array* (veja o final da Seção 36.7), o *Planet Imager* usará uma rede de telescópios infravermelhos espalhados ao longo de milhares de quilômetros no espaço. (A luz visível permitiria melhor resolução. Infelizmente, em comprimentos de onda visíveis, as estrelas são tão brilhantes que não é possível observá-las devido ao efeito de ofuscamento. Com o infravermelho, esse problema diminui.) a) Supondo um diâmetro de 6000 km para o *Planet Imager* e que a observação seja feita com radiação infravermelha de comprimento de onda igual a $10 \mu\text{m}$, qual é a maior distância para que se possa observar detalhes de 250 km de extensão (um tamanho correspondente à área da grande Los Angeles) sobre um planeta? Dê sua resposta em anos-luz (veja o Apêndice E). (Sugestão: use o critério de Rayleigh.) b) Para comparar, considere a resolução de um único telescópio infravermelho no espaço, com um diâmetro de 1,0 m e utilizando radiação infravermelha de comprimento de onda igual a $10 \mu\text{m}$. Qual é o menor detalhe que esse telescópio pode distinguir para pesquisar um planeta orbitando a estrela mais próxima do Sol, a Próxima Centauri, que está a uma distância da Terra de 4,22 anos-luz? Como esse valor se compara com o diâmetro da Terra ($1,27 \times 10^4$ km)? E com a distância média entre a Terra e o Sol ($1,50 \times 10^8$ km)? Um único telescópio desse tipo seria capaz de detectar a presença de um planeta como a Terra, em uma órbita de tamanho semelhante à da Terra, em torno de qualquer outra estrela? Explique. c) Suponha que o *Planet Imager* seja usado para observar um planeta em órbita em torno da 70 Virginis, uma estrela situada a uma distância da Terra de 59 anos-luz. Um planeta (embora não parecido com a Terra) girando em torno dessa estrela foi de fato detectado não pela observação direta da imagem, e sim pela medida da 'ondulação' produzida pelo movimento do conjunto da estrela e do planeta em torno do centro de massa comum do sistema. Qual é o tamanho do menor detalhe que o *Planet Imager* poderia distinguir sobre o planeta da estrela 70 Virginis? Como esse resultado se compara com o diâmetro de Júpiter ($1,38 \times 10^5$ km)? (Embora se acredite que o planeta da estrela 70 Virginis tenha uma massa 6,6 vezes maior do que a massa de Júpiter, seu raio provavelmente seria aproximadamente igual ao de Júpiter. Isso acontece porque planetas desse tipo devem conter muita matéria sob forma gasosa e não matéria sólida, de modo que esses gases podem ser comprimidos pela própria atração gravitacional das diferentes partes do planeta.)

Relatividade

37.1 Suponha que os dois raios da Figura 37.5a 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 primeiro o solo?

37.5 O pión negativo (π^-) 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 em relação ao 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?

37.7 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?

37.8 Uma espaçonave de outro planeta está voando a uma grande distância e passa sobre a vertical onde você está em repouso. Você vê o farol da espaçonave piscar durante 0,190 s. O comandante da espaçonave verifica que o farol ficou aceso durante 12,0 ms. a) Qual dessas duas medidas de intervalo de tempo corresponde ao tempo próprio? b) Qual é o módulo da velocidade da espaçonave expressa como uma fração de c ?

37.11 **Por que somos bombardeados por múons?** Múons são partículas subatômicas instáveis que sofrem decaimento e se transformam em elétrons com uma vida média de $2,2 \mu\text{s}$. Eles são gerados quando raios cósmicos bombardeiam as camadas superiores da atmosfera, a cerca de 10 km acima da superfície da Terra, e deslocam-se com uma velocidade muito próxima à da luz. O problema que gostaríamos de discutir é por que vemos múons na superfície da Terra. a) Qual é a maior distância que um múon poderia percorrer durante a sua vida média de $2,2 \mu\text{s}$? b) De acordo com a sua resposta à parte (a), seria de imaginar que os múons nunca chegariam à superfície. Mas a vida média de $2,2 \mu\text{s}$ é medida no sistema do múon, e múons se movem muito rápido. A uma velocidade de $0,999c$, qual é a vida média de um múon em referência a um observador em repouso na Terra? Que distância o múon percorreria nesse tempo? Esse resultado explica por que encontramos múons em raios cósmicos? c) Do ponto de vista do múon, ele continua vivendo apenas durante $2,2 \mu\text{s}$, então como ele alcança o solo? Qual é densidade dos 10 km de atmosfera que o múon precisa atravessar, em relação ao múon? Está claro agora como o múon consegue chegar ao solo?

37.13 Em relação a um observador na Terra, a pista de lançamento de uma espaçonave possui comprimento de 3600 m. a) Qual é o comprimento da pista medido pelo piloto de uma espaçonave que se desloca com velocidade igual a $4,0 \times 10^7$ m/s em relação à Terra? b) Uma observadora em repouso na Terra mede o intervalo de tempo desde o momento em que a espaçonave está diretamente sobre o início da pista até o instante em que a espaçonave está diretamente sobre o final da pista. Que resultado ela obtém? c) O piloto da espaçonave mede o intervalo de tempo desde o momento em que a espaçonave passa diretamente sobre o início da pista até o instante em que ela passa diretamente sobre o final da pista. Que resultado ele obtém?

37.14 Resolva as equações (37.21) e obtenha x e t em função de x' e t' para mostrar que a transformação resultante possui a mesma forma da transformação original, exceto que o sinal de u fica invertido.

37.16 A astronauta Mavis passa sobre Stanley com velocidade relativa igual a $0,800c$. Mavis e Stanley sincronizam o instante zero de seus respectivos cronômetros quando a espaçonave de Mavis está diretamente acima de Stanley. Quando o cronômetro de Mavis indica 5,0 s, ela liga uma fonte luminosa muito forte sob a frente da espaçonave. a) Use as transformações de Lorentz deduzidas no Exercício 37.14 e no Exemplo 37.7 para calcular os valores de x e t do evento da ligação da luz. b) Aplique a fórmula da dilatação do tempo, Equação (37.6), para calcular o intervalo de tempo entre os dois eventos (o instante em que a espaçonave passa sobre sua cabeça e o instante em que a luz se acende), conforme medida realizada por Stanley. Compare com o valor de t que você calculou no item (a). c) Multiplique o intervalo de tempo pela velocidade de Mavis, usando ambos os valores medidos por Stanley para calcular a distância que ela se deslocou, como foi verificado por Stanley até o momento em que a luz se acende. Compare com o valor de x que você calculou no item (a).

37.19 Duas partículas são produzidas em um acelerador de partículas de alta energia e se afastam em sentidos opostos. A velocidade de uma das partículas, medida no laboratório, é igual a $0,650c$, e a velocidade relativa entre as duas é de $0,950c$. Qual é a velocidade da outra partícula, medida no laboratório?

37.22 Uma espaçonave inimiga está perseguindo sua espaçonave Starfighter com velocidade, medida em relação a você, igual a $0,400c$. A espaçonave inimiga dispara um míssil para atingir a Starfighter com uma velocidade, em relação à espaçonave inimiga, de $0,700c$ (Figura 37.28). 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?

Figura 37.28 Exercício 37.22.



37.25 **Diga isso ao juiz.** a) Qual deve ser a velocidade com a qual você tem de se aproximar de um sinal de trânsito vermelho ($\lambda = 675$ nm) para que ele aparente uma cor amarela ($\lambda = 575$ 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 km/h de excesso de velocidade acima da velocidade permitida de 90 km/h.

37.26 Mostre que, se uma fonte de ondas eletromagnéticas se afasta de nós com velocidade igual a $0,600c$, a frequência que medimos é igual à metade da frequência medida no sistema no qual a fonte está em repouso.

37.54 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 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 h. Qual é a diferença entre os intervalos de tempo medidos pelos dois relógios e qual deles indica o intervalo de tempo mais curto? (*Sugestão:* como $u \ll c$, você pode simplificar $\sqrt{1 - u^2/c^2}$ usando a série binomial.)

37.65 Dois eventos observados em um sistema S possuem posições e tempos dados por (x_1, t_1) e (x_2, t_2) , respectivamente. a) O sistema S' se move ao longo do eixo Ox com uma velocidade apenas suficiente para que esses dois eventos ocorram no mesmo ponto em relação ao sistema S' . Mostre que, para o sistema S' , o intervalo de tempo $\Delta t'$ entre os dois eventos é dado por

$$\Delta t' = \sqrt{(\Delta t)^2 - \left(\frac{\Delta x}{c}\right)^2}$$

onde $\Delta x = x_2 - x_1$ e $\Delta t = t_2 - t_1$. Portanto, mostre que, se $\Delta x > c \Delta t$, não existe nenhum sistema S' no qual os dois eventos ocorrem no mesmo ponto. O intervalo $\Delta t'$ algumas vezes é chamado de *intervalo de tempo próprio* para os dois eventos. Esse termo é apropriado? b) Mostre que, se $\Delta x > c \Delta t$, existe um sistema S' diferente no qual os dois eventos ocorrem *simultaneamente*. Calcule a distância entre os dois eventos no sistema S' ; expresse sua resposta em termos de Δx , Δt e c . Essa distância algumas vezes é chamada de *distância própria*. Esse termo é apropriado? c) Verifica-se que em relação a um sistema S' dois eventos ocorrem simultaneamente em pontos separados por uma distância igual a 2,50 m. Em um segundo sistema S que se move em relação ao sistema S' , parece que os dois eventos estão separados por uma distância de 5,0 m. Qual é o intervalo de tempo entre os dois eventos em relação ao sistema S ? (*Sugestão:* aplique o resultado do item (b).)

Interferência

- 35.9** 0,83 mm
35.11 590 nm
35.18 (a) $\theta = \pm 13.4^\circ, \pm 27.6^\circ, \pm 44.1^\circ, \pm 68.1^\circ$ (b) $\pm 6.66^\circ, \pm 20.4^\circ, \pm 35.5^\circ, \pm 54.3^\circ$
35.23 (a) 0,889 mm; (b) 0,444 mm
35.27 114 nm
35.32 (a) 74.3 nm; (b) 223 nm
35.36 (a) 96.4 nm; (b) 192 nm, 289 nm e 386 nm
35.44 20,05 m
35.52 Há duas respostas: $\lambda_2 = 600$ nm para $m = 3$ e $\lambda_2 = 467$ nm para $m = 4$. Os valores de d e de θ são eliminados durante os cálculos.
35.54 1334 nm
35.58 (a) 441 nm; (b) 551 nm
-

Difração

- 36.18** (a) $\beta = \pi, I = 4I_0/\pi^2$; (b) $\beta = 2\pi, I = 0$; $\beta = 3\pi, I = 4I_0/(9\pi^2)$.
36.21 (a) $d/a = 3$; (b) duas
36.36 (a) 1820 fendas; (b) $\theta_1 = 41,0297^\circ, \theta_1 = 41,0160^\circ, \Delta\theta = 0,0137^\circ$.
36.45 92 cm
36.53 (a) i) $25,6^\circ$ ii) $10,2^\circ$ iii) $5,1^\circ$; (b) i) $60,0^\circ$ ii) $23,1^\circ$ iii) $11,5^\circ$
36.62 (a) $m = 1 : \theta = 12,8^\circ$; $m = 2 : \theta = 26,3^\circ$; $m = 3 : \theta = 41,7^\circ$; $m = 4 : \theta = 62,4^\circ$; (b) $m = 1 : \theta = 18,3^\circ$; $m = 2 : \theta = 38,8^\circ$; $m = 3 : \theta = 70,1^\circ$.
36.72 (a) 13,1 anos-luz (b) $4,84 \times 10^8$ km (3 vezes a distância da Terra ao Sol) (c) o tamanho do menor detalhe é de 1130 km ($8,19 \times 10^{-3}$ vezes o diâmetro de Júpiter).
-

Relatividade

- 37.1** O raio em AA'
37.5 (a) 0,998c; (b) 126m
37.7 1,12h, o relógio na espaçonave
37.8 (a) O tempo próprio é medido no referencial onde os dois eventos ocorrem no mesmo ponto. (b) 0,998c
37.11 (a) $6,6 \times 10^2$ m; (b) $1,48 \times 10^{-5}$ s; (c) 447 m
37.13 (a) 3,57 km (b) $9,00 \times 10^{-5}$ s; (c) $8,92 \times 10^{-5}$ s
37.16 (a) $x = 2,00 \times 10^9$ m, $t = 8,33$ s; (b) $t = 8,33$ s, igual ao do item (a); (c) $2,00 \times 10^9$ m, igual ao do item (a)
37.19 0,784c
37.22 (a) 0,859c; (b) 31,0 s
37.54 $\Delta t - \Delta t_0 \approx \frac{u^2}{2c^2} \Delta t = 5,01 \times 10^{-9}$ s
37.65 (b) $\Delta x' = \sqrt{\Delta x^2 - (c\Delta t)^2}$; (c) $1,44 \times 10^{-8}$ s