

TÓPICO	EQUAÇÕES RELEVANTES E OBSERVAÇÕES	
Vetor de Poynting	$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$	30-21
Quantidade de movimento e energia em uma onda eletromagnética	$p = \frac{U}{c}$	30-24
Pressão de radiação e intensidade	$P_r = \frac{I}{c}$	30-25

Respostas dos Problemas Práticos

- 30-2 $\vec{E} \cdot \vec{E} = E_0^2$ e $\vec{B} \cdot \vec{B} = B_0^2$
- 30-3 Aproximadamente 5 h para um laço de 10 g atirado a 10 m/s. Propulsão por feixe de luz leva aproximadamente o dobro do tempo que a propulsão pelo lançamento do laço de sapato.

Problemas

Em alguns problemas, você recebe mais dados do que necessita; em alguns outros, você deve acrescentar dados de seus conhecimentos gerais, fontes externas ou estimativas bem fundamentadas.

Interprete como significativos todos os algarismos de valores numéricos que possuem zeros em seqüência sem vírgulas decimais.

- Um só conceito, um só passo, relativamente simples
 - Nível intermediário, pode requerer síntese de conceitos
 - Desafiante, para estudantes avançados
- Problemas consecutivos sombreados são problemas pareados.

PROBLEMAS CONCEITUAIS

- 1 • Verdadeiro ou falso:
- (a) A corrente de deslocamento tem unidade diferente da corrente de condução.
- (b) A corrente de deslocamento apenas existe se o campo elétrico na região está variando no tempo.
- (c) Em um circuito LC oscilante, não existe corrente de deslocamento entre as placas do capacitor quando ele está momentaneamente completo de carga.
- (d) Em um circuito LC oscilante, não existe corrente de deslocamento entre as placas do capacitor quando ele está momentaneamente vazio.
- 2 • Usando unidades do SI, mostre que $\epsilon_0 d\phi/dt$ tem unidades de corrente.
- 3 • Verdadeiro ou falso:
- (a) As equações de Maxwell se aplicam apenas a campos elétricos e magnéticos que são constantes no tempo.
- (b) A equação de onda eletromagnética pode ser deduzida das equações de Maxwell.
- (c) Ondas eletromagnéticas são ondas transversais.
- (d) Os campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética no espaço livre estão em fase.
- 4 • Teóricos têm especulado sobre a existência de *monopólos magnéticos*, e muitas buscas experimentais por tais dipolos têm ocorrido. Considere que os momentos de dipolo tenham sido encontrados e que o campo magnético a uma distância r de um monopolo de intensidade q_m é dado por $B = (\mu_0/4\pi)q_m/r^2$. Modifique a lei de Gauss para que a equação do magnetismo seja consistente com tal descoberta.
- 5 • (a) Para cada um dos seguintes pares de ondas eletromagnéticas, qual tem a maior frequência: (1) luz visível ou raios X, (2) luz

verde ou luz vermelha, (3) ondas no infravermelho ou luz vermelha. (b) Para cada um dos seguintes pares de ondas eletromagnéticas, qual tem o maior comprimento de onda: (1) luz visível ou microondas, (2) luz verde ou luz ultravioleta, (3) raios gama ou luz ultravioleta.

6 • A detecção de ondas de rádio pode ser realizada com uma antena de dipolo elétrico ou uma antena circular. Verdadeiro ou falso:

- (a) A antena de dipolo elétrico funciona de acordo com a lei de Faraday.
- (b) Se uma onda de rádio linearmente polarizada se aproxima frontalmente de você de forma tal que seu campo elétrico oscila verticalmente, para melhor detectar esta onda a normal ao plano da antena circular deveria ser orientada ou para a direita ou para a esquerda.
- (c) Se uma onda de rádio linearmente polarizada se aproxima de você de forma tal que seu campo elétrico oscila em um plano horizontal, para melhor detectar esta onda usando uma antena de dipolo, a antena deveria ser orientada verticalmente.

7 • Um transmissor emite ondas eletromagnéticas usando uma antena de dipolo elétrico orientada verticalmente. (a) Um receptor para detectar as ondas também usa uma antena de dipolo elétrico que está a uma milha (1600 m) da antena transmissora e à mesma altitude. Como deveria ser orientada a antena de dipolo elétrico receptora para otimizar a recepção do sinal? (b) Um receptor para detectar estas ondas usa uma antena circular que está a uma milha (1600 m) da antena transmissora e à mesma altitude. Como deveria ser orientada a antena circular para otimizar a recepção do sinal?

8 • Mostre que a unidade no SI para a expressão $(\vec{E} \times \vec{B})/\mu_0$ para o vetor de Poynting \vec{S} (Equação 30-21) é watts por metro quadrado (a unidade do SI para a intensidade da onda eletromagnética).

9 • Se um feixe de luz vermelha, um feixe de luz verde e um feixe de luz violeta, todos viajando no espaço vazio, têm a mesma intensidade, qual feixe tem a maior quantidade de movimento? (a) o feixe de luz vermelha, (b) o feixe de luz verde, (c) o feixe de luz violeta, (d) Eles todos têm a mesma quantidade de movimento. (e) Você não pode determinar que feixe tem a maior quantidade de movimento a partir dos dados fornecidos.

10 • Se uma luz vermelha do tipo onda plana, uma luz verde do tipo onda plana e uma luz violeta do tipo onda plana, todas viajando no espaço vazio, têm a mesma intensidade, qual onda tem o maior valor de pico para o campo elétrico? (a) a onda de luz vermelha, (b) a onda de luz verde, (c) a onda de luz violeta, (d) Eles todos têm o mesmo valor de pico do campo elétrico. (e) Você não pode determinar o valor máximo de pico para o campo elétrico a partir dos dados fornecidos.

11 • Duas ondas planas eletromagnéticas senoidais são idênticas, exceto que a onda A tem um valor de pico do campo elétrico que é três vezes maior que o valor de pico do campo elétrico da onda B. Como se comparam suas intensidades? (a) $I_A = \frac{1}{3} I_B$, (b) $I_A = \frac{1}{9} I_B$, (c) $I_A = 3 I_B$, (d) $I_A = 9 I_B$, (e) você não pode determinar como se comparam as intensidades a partir dos dados fornecidos.

ESTIMATIVA E APROXIMAÇÃO

12 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** No resfriamento e aprisionamento por laser, as forças associadas à pressão de radiação são usadas para diminuir a velocidade dos átomos desde velocidades térmicas de centenas de metros por segundo à temperatura ambiente, até velocidades de poucos metros por segundo ou menos. Um átomo isolado absorverá apenas radiação de frequências específicas. Se a frequência da radiação do feixe de laser é sintonizada para fazer com que os átomos do alvo absorvam a radiação, então a radiação é absorvida durante um processo chamado de *absorção ressonante*. A área da seção transversal do átomo para absorção ressonante é aproximadamente igual a λ^2 , onde λ é o comprimento de onda da luz do laser. (a) Estime a aceleração de um átomo de rubídio (massa molar de 85 g/mol) em um feixe de laser cujo comprimento de onda é 780 nm e intensidade é 10 W/m^2 . (b) Quanto tempo levará, aproximadamente, para que este feixe de luz diminua a velocidade do átomo de rubídio em um gás à temperatura ambiente (300 K) até velocidade próxima de zero?

13 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um dos primeiros satélites lançados com sucesso pelos Estados Unidos na década de 1950 era essencialmente um grande balão esférico (aluminizado) de Mylar a partir do qual sinais de onda de rádio eram refletidos. Depois de várias órbitas em volta da Terra, os cientistas observaram que a órbita dele estava mudando com o tempo. Eles determinaram, conseqüentemente, que a pressão de radiação da luz do Sol estava causando a variação da órbita deste objeto — um fenômeno não levado em consideração no planejamento da missão. Estime a razão entre a força da pressão de radiação exercida pela luz do Sol no satélite e a força gravitacional exercida pela Terra no satélite.

14 •• Alguns escritores de ficção científica têm descrito que velas solares poderiam propulsionar naves interestelares. Imagine uma vela gigante em uma nave espacial sujeita à pressão de radiação de nosso Sol. (a) Explique por que este arranjo funciona melhor se a vela tiver alto coeficiente de reflexão em vez de ter alto coeficiente de absorção. (b) Se a vela tiver alto coeficiente de reflexão, mostre que a força exercida pela luz solar na vela da nave é dada por $P_s A / (4\pi r^2 c)$ onde P_s é a potência do Sol ($3,8 \times 10^{26} \text{ W}$), A é a área da superfície da vela, r é distância do Sol e c é a velocidade da luz. (Considere que a área da vela é muito maior que a área da nave, logo toda a força é devida à pressão de radiação apenas na vela.) (c) Usando um valor razoável para A , compare a força na nave devida à pressão de radiação e a força na nave devida à força gravitacional do Sol na

nave. O resultado implica que tal sistema funcionará? Explique sua resposta.

CORRENTE DE DESLOCAMENTO DE MAXWELL

15 • Um capacitor de placas paralelas tem placas circulares e não há dielétrico entre elas. Cada placa tem raio igual a 2,3 cm e elas estão separadas por 1,1 mm. O fluxo de carga para a placa superior (e saindo da placa inferior) ocorre a uma taxa de 5,0 A. (a) Determine a taxa de variação da intensidade do campo elétrico na região entre as placas. (b) Calcule a corrente de deslocamento na região entre as placas e mostre que ele é igual a 5,0 A.

16 • Em uma região do espaço o campo elétrico varia com o tempo de acordo com $(0,050 \text{ N/C}) \sin \omega t$, onde $\omega = 2000 \text{ rad/s}$. Determine o valor de pico da corrente de deslocamento através de uma superfície perpendicular ao campo e com área igual a $1,00 \text{ m}^2$.

17 •• Para o Problema 15, mostre que a intensidade do campo magnético entre as placas a uma distância r do eixo que passa através do centro de ambas as placas é dado por $B = (1,9 \times 10^{-3} \text{ T/m})r$.

18 •• Nos capacitores referidos neste problema há apenas espaço vazio entre as placas. (a) Mostre que um capacitor de placas paralelas tem uma corrente de deslocamento na região entre suas placas que é dada por $I_d = C dV/dt$, onde C é a capacitância e V é a diferença de potencial entre as placas. (b) Um capacitor de placas paralelas de $5,00 \text{ nF}$ está conectado a um gerador ac ideal e a diferença de potencial entre as placas é dada por $V = V_0 \cos \omega t$, onde $V_0 = 3,00 \text{ V}$ e $\omega = 500\pi \text{ rad/s}$. Determine a corrente de deslocamento na região entre as placas como função do tempo.

19 •• Há uma corrente de 10 A em um resistor que está conectado em série com um capacitor de placas paralelas. As placas do capacitor têm uma área de $0,50 \text{ m}^2$ e não há nenhum dielétrico entre elas. (a) Qual é a corrente de deslocamento entre as placas? (b) Qual é a taxa de variação da intensidade do campo elétrico entre as placas? (c) Determine o valor da integral de linha $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell}$, onde o caminho C de integração é um círculo com raio de 10 cm que está em um plano paralelo às placas e está completamente inserido na região entre elas.

20 ••• Demonstre a validade da forma generalizada da lei de Ampère (Equação 30-4) mostrando que ela fornece o mesmo resultado que a lei de Biot-Savart (Equação 27-3) em uma situação específica. A Figura 30-13 mostra duas cargas puntiformes momentaneamente iguais, com sinais opostos ($+Q$ e $-Q$) no eixo x em $x = -a$ e $x = +a$, respectivamente. No mesmo instante, há uma corrente I no fio que as conecta, como mostrado. O ponto P está no eixo y em $y = R$. (a) Use a lei de Biot-Savart para mostrar que a magnitude do campo magnético no ponto P é dada por $B = \frac{\mu_0 I a}{2\pi R} \frac{1}{\sqrt{R^2 + a^2}}$. (b) Agora considere uma faixa circular de raio r e largura dr no plano $x = 0$ cujo centro

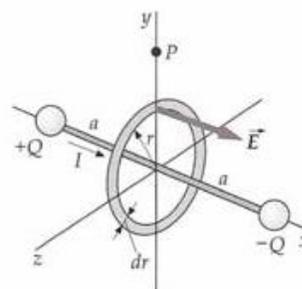


FIGURA 30-13 Problema 20

está na origem. Mostre que o fluxo do campo elétrico através desta faixa é dado por $E_x dA = \frac{Q}{\epsilon_0 (r^2 + a^2)^{3/2}} \pi r dr$. (c) Use o resultado da

Parte (b) para mostrar que o fluxo elétrico total ϕ_e através de uma superfície circular S de raio R é dado por $\phi_e = \frac{Q}{\epsilon_0} \left(1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + R^2}} \right)$. (d)

Determine a corrente de deslocamento I_d através de S e mostre que $I + I_d = I \frac{a}{\sqrt{a^2 + R^2}}$. (e) Finalmente, mostre que a forma generalizada da lei de Ampère (Equação 30-4) fornece o mesmo resultado para o campo magnético que o encontrado na Parte (a).

EQUAÇÕES DE MAXWELL E O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

21 • A cor predominante da luz do Sol está na região amarelo-verde do espectro visível. Estime o valor do comprimento de onda e da frequência da cor predominante emitida pelo nosso Sol. *Dica: Veja a Tabela 30-1.*

22 • (a) Qual é a frequência da radiação de microondas que tem comprimento de onda de 3,00 cm? (b) Usando a Tabela 30-1, estime a razão entre o menor comprimento de onda da luz verde e o menor comprimento de onda da luz vermelha.

23 • (a) Qual é a frequência de um raio X que tem 0,100 nm de comprimento de onda? (b) O olho humano é sensível à luz com comprimento de onda igual a 550 nm. Quais são a cor e a frequência desta luz? Comente a comparação entre esta resposta e a resposta para o Problema 21.

RADIAÇÃO DE DIPOLO ELÉTRICO

Nota: Todos os problemas nessa seção estão baseados na seguinte informação. Refira-se à Figura 30-11. Pode ser mostrado que a intensidade da radiação de um dipolo elétrico irradiando em um ponto de campo distante da antena é proporcional a $\sin^2 \theta/r^2$, onde θ é o ângulo entre o vetor momento de dipolo elétrico \vec{p} e o vetor posição \vec{r} do ponto de campo em relação ao centro da antena. O padrão de radiação deste tipo de antena é independente do ângulo azimutal, isto é, a forma dele não varia se você girar o padrão em torno do eixo da antena.

24 •• Considere um dipolo elétrico irradiando que esteja ao longo do eixo z . Seja I_1 a intensidade da radiação a uma distância de 10 m e a um ângulo de 90° . Determine a intensidade (em termos de I_1) a (a) uma distância de 30 m e a um ângulo de 90° , (b) uma distância de 10 m e um ângulo de 45° , e (c) uma distância de 20 m e a um ângulo de 30° .

25 •• (a) Para a situação descrita no Problema 24, em que ângulo a intensidade a uma distância de 5,0 m é igual a I_1 ? (b) A que distância a intensidade é igual a I_1 quando $\theta = 45^\circ$?

26 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA, RICO EM CONTEXTO** Você e sua equipe de engenharia estão encarregados de estabelecer uma rede de telefonia sem fio para uma pequena aldeia em uma região montanhosa. A antena transmissora de uma estação é uma antena de dipolo elétrico localizada no topo da montanha a 2,00 km acima do nível do mar. Há uma montanha na vizinhança que está a 4,00 km da antena e também tem 2,00 km acima do nível do mar. Naquela localização, um membro da equipe mede a intensidade do sinal como $4,00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Qual deveria ser a intensidade do sinal na aldeia que está localizada ao nível do mar e a 1,50 km do transmissor?

27 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Uma estação de rádio usa uma antena de dipolo elétrico vertical com radiodifusão a 1,20

MHz e tem uma potência total de 500 kW. Calcule a intensidade do sinal a uma distância horizontal de 120 km da estação.

28 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Regulamentações exigem que as estações de rádio licenciadas limitem a potência de sua radiodifusão para evitar interferência com sinais de estações distantes. Você está encarregado de verificar a conformidade com a lei. A uma distância de 30,0 km de uma estação de rádio que tem radiodifusão a partir de uma antena de dipolo elétrico vertical a uma frequência de 800 kHz, a intensidade da onda eletromagnética é $2,00 \times 10^{-13} \text{ W/m}^2$. Qual é a potência total irradiada pela estação?

29 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um pequeno avião particular se aproxima de um aeroporto voando a uma altitude de 2,50 km acima do nível do mar. Como controlador de voo no aeroporto, você sabe que seu sistema utiliza uma antena de dipolo elétrico vertical para transmitir 100 W a 24,0 MHz. Qual é a intensidade do sinal na antena receptora no avião quando ele está a 4,00 km do aeroporto? Considere que o aeroporto esteja no nível do mar.

ENERGIA E QUANTIDADE DE MOVIMENTO EM UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA

30 • Uma onda eletromagnética tem intensidade de 100 W/m^2 . Determine sua (a) intensidade rms do campo elétrico e (b) intensidade rms do campo magnético.

31 • A amplitude do campo elétrico de uma onda eletromagnética é 400 V/m . Determine (a) a intensidade rms do campo elétrico, (b) a intensidade rms do campo magnético, (c) a intensidade e (d) a pressão de radiação (P_r) da onda.

32 • O valor rms da intensidade do vetor campo elétrico de uma onda eletromagnética é 400 V/m . Determine (a) a intensidade rms do campo magnético, (b) a densidade média de energia e (c) a intensidade da onda.

33 •• (a) Uma onda eletromagnética com intensidade igual a 200 W/m^2 é normal a um cartão preto retangular de 20 cm por 30 cm que absorve 100 por cento da onda. Determine a força exercida no cartão pela radiação. (b) Determine a força exercida pela mesma onda se o cartão refletisse 100 por cento da onda.

34 •• Determine a força exercida pela onda eletromagnética no cartão na Parte (b) do Problema 33 se as ondas incidente e refletida estivessem a um ângulo de 30° em relação à normal.

35 • (a) Para uma dada distância de um dipolo elétrico irradiando, em que ângulo (expresso como θ e medido em relação ao eixo do dipolo) a intensidade é igual a 50 por cento do valor da intensidade máxima? (b) Em que ângulo θ a intensidade é igual a 1 por cento do valor da intensidade máxima?

36 •• Um pulso de laser tem energia de 20,0 J e o raio do feixe é de 2,00 mm. A duração do pulso é 10,0 ns e a densidade de energia é uniformemente distribuída no interior do pulso. (a) Qual é a extensão espacial do pulso? (b) Qual é a densidade de energia no pulso? (c) Determine os valores rms dos campos elétrico e magnético no pulso.

37 •• Uma onda plana eletromagnética tem um campo elétrico que é paralelo ao eixo y e tem um vetor de Poynting dado por $\vec{S}(x, t) = (100 \text{ W/m}^2) \cos^2(kx - \omega t) \hat{i}$, onde x está em metros, $k = 10,0 \text{ rad/m}$, $\omega = 3,00 \times 10^9 \text{ rad/s}$ e t está em segundos. (a) Quais são a direção e o sentido de propagação da onda? (b) Determine o comprimento de onda e a frequência da onda. (c) Determine os campos elétrico e magnético da onda como funções de x e t .

38 •• Um capacitor de placas paralelas está sendo carregado. O capacitor consiste em um par de placas circulares paralelas idênticas com raio b e distância de separação d . (a) Mostre que a corrente

de deslocamento no espaçamento do capacitor tem o mesmo valor que a corrente de condução nos contatos do capacitor. (b) Quais são a direção e o sentido do vetor de Poynting na região entre as placas do capacitor? (c) Determine uma expressão para o vetor de Poynting nesta região e mostre que seu fluxo na região entre as placas é igual à taxa de variação da energia armazenada no capacitor.

39 •• Um laser pulsado dispara um pulso de 1000 MW com duração de 200 ns em um pequeno objeto que tem massa de 10,0 mg e está suspenso por uma fina fibra de 4,00 cm de comprimento. Se a radiação for completamente absorvida pelo objeto, qual é o máximo ângulo de deflexão deste pêndulo? (Pense no sistema como se fosse um pêndulo balístico e considere que o pequeno objeto estivesse pendurado verticalmente antes que a radiação o atingisse.)

40 •• Os espelhos usados em um tipo particular de laser refletem 99,99 por cento da radiação incidente. (a) Se o laser emite uma potência média de 15 W, qual é a potência média da radiação incidente em um dos espelhos? (b) Qual é a força devida à pressão de radiação em um dos espelhos?

41 •• (a) Estime a força na Terra devida à pressão de radiação exercida pelo Sol na Terra e compare esta à força gravitacional do Sol na Terra. (Na órbita da Terra, a intensidade da luz solar é 1,37 kW/m². (b) Repita a Parte (a) para Marte, que está a uma distância média de $2,28 \times 10^8$ km do Sol e tem um raio de $3,40 \times 10^3$ km. (c) Qual dos planetas tem a maior razão entre a pressão de radiação e a atração gravitacional?

A EQUAÇÃO DE ONDA PARA ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

42 • Mostre por substituição direta que a Equação 30-8a é satisfeita pela função de onda $E_y = E_0 \sin(kx - \omega t) = E_0 \sin k(x - ct)$, onde $c = \omega/k$.

43 • Use os valores de μ_0 e ϵ_0 em unidades no SI para calcular $1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ e mostre que é igual a $3,00 \times 10^8$ m/s.

44 •• (a) Use as equações de Maxwell para mostrar para uma onda plana, na qual \vec{E} e \vec{B} são independentes de y e z , que $\frac{\partial E_z}{\partial x} = \frac{\partial B_y}{\partial t}$ e $\frac{\partial B_x}{\partial x} = \mu_0\epsilon_0 \frac{\partial E_z}{\partial t}$. (b) Mostre que E_z e B_y também satisfazem à equação de onda.

45 •• Mostre que qualquer função da forma $y(x, t) = f(x - vt)$ ou $y(x, t) = g(x + vt)$ satisfaz a equação de onda (Equação 30-7).

PROBLEMAS GERAIS

46 • Uma onda eletromagnética tem frequência de 100 MHz e está viajando no vácuo. O campo magnético é dado por $\vec{B}(z, t) = (1,00 \times 10^{-5} \text{ T}) \cos(kz - \omega t)\hat{i}$. (a) Determine o comprimento de onda e a direção de propagação desta onda. (b) Determine o vetor campo elétrico $\vec{E}(z, t)$. (c) Determine o vetor de Poynting e use-o para determinar a intensidade da onda.

47 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um anel circular feito de fio pode ser usado para detectar ondas eletromagnéticas. Considere que a intensidade do sinal de uma estação de rádio FM de 100 MHz que está a 100 km de distância seja $4,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$, e considere que o sinal esteja verticalmente polarizado. Qual é a máxima tensão rms induzida em sua antena, considerando que ela seja um anel de 10,0 cm de raio?

48 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** A intensidade do campo elétrico de uma estação de rádio a certa distância de uma antena transmissora tipo dipolo elétrico é dada por $(1,00 \times 10^{-4} \text{ N/}$

$\text{C}) \cos[(1,00 \times 10^6 \text{ rad/s})t]$. (a) Qual o valor da tensão de pico em um fio de 50,0 cm de comprimento paralelo à direção do campo elétrico? (b) Qual é a tensão máxima que pode ser induzida por esta onda eletromagnética em um anel condutor de raio 20,0 cm e que orientação é necessária para o anel?

49 ••• Um capacitor de placas paralelas tem placas circulares de raio a separadas por uma distância d . No espaçamento entre as duas placas está um fino fio retilíneo de resistência R que conecta os centros das duas placas. Uma tensão dependente do tempo dada por $V_0 \sin \omega t$ é aplicada nas placas. (a) Qual é a corrente consumida no capacitor? (b) Qual é o campo magnético como função da distância radial r até a linha central no interior das placas do capacitor? (c) Qual é o ângulo de fase entre a corrente consumida no capacitor e a tensão aplicada?

50 •• Um feixe de 20 kW de radiação eletromagnética é normal a uma superfície que reflete 50 por cento da radiação. Qual é a força exercida pela radiação na superfície?

51 •• Os campos elétricos de duas ondas harmônicas eletromagnéticas de frequências angulares ω_1 e ω_2 são dados por $\vec{E}_1 = E_{10} \cos(k_1x - \omega_1t)\hat{j}$ e por $\vec{E}_2 = E_{20} \cos(k_2x - \omega_2t + \delta)\hat{j}$. Para a resultante destas duas ondas, determine (a) o vetor de Poynting instantâneo e (b) a média temporal do vetor de Poynting. (c) Repita as Partes (a) e (b) se o sentido de propagação da segunda onda for invertido, ou seja, $\vec{E}_2 = E_{20} \cos(k_2x + \omega_2t + \delta)\hat{j}$.

52 •• Mostre que $\frac{\partial B_z}{\partial x} = -\mu_0\epsilon_0 \frac{\partial E_y}{\partial t}$ (Equação 30-10) sai de $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0\epsilon_0 \int_S \frac{\partial E_n}{\partial t} dA$ (Equação 30-6d e onde $I = 0$) integrando ao longo de uma curva conveniente C e sobre uma superfície conveniente S de maneira semelhante à dedução da Equação 30-9.

53 •• Para suas excursões, você comprou um rádio capaz de detectar um sinal tão fraco quanto $1,00 \times 10^{-14} \text{ W}/\text{m}^2$. Este rádio tem uma antena circular com 2000 voltas e raio de 1,00 cm enrolada em torno de um núcleo de ferro que aumenta o campo magnético por um fator 200. A frequência de radiodifusão da estação de rádio é 1400 kHz. (a) Qual é a intensidade de pico do campo magnético de uma onda eletromagnética com esta intensidade mínima? (b) Qual é a fem de pico que ela é capaz de induzir na antena? (c) Qual seria a fem de pico induzida em um fio metálico de 2,00 m de comprimento orientado paralelamente à direção do campo elétrico?

54 •• A intensidade da luz solar incidente na atmosfera superior da Terra é 1,37 kW/m². (a) Determine os valores rms dos campos magnético e elétrico desta luz. (b) Determine a potência média emitida pelo Sol. (c) Determine a intensidade da pressão de radiação na superfície do Sol.

55 ••• Um condutor no formato de um longo cilindro sólido com comprimento L , raio a e resistividade ρ , conduz uma corrente estacionária I que está uniformemente distribuída na sua seção transversal. (a) Use a lei de Ohm para relacionar o campo elétrico E no condutor a I , ρ e a . (b) Determine o campo magnético \vec{B} no lado de fora do condutor. (c) Use os resultados da Parte (a) e da Parte (b) para calcular o vetor de Poynting $\vec{S} = (\vec{E} \times \vec{B})/\mu_0$ em $r = a$ (a borda do condutor). Em que direção e sentido está \vec{S} ? (d) Determine o fluxo $\oint \vec{S}_n \cdot dA$ através da superfície do cilindro e use o fluxo para mostrar que a taxa de fluxo de energia para dentro do condutor é I^2R , onde R é a resistência do cilindro.

56 ••• Um longo solenóide com n voltas por unidade de comprimento conduz uma corrente que aumenta linearmente com o tempo. O solenóide tem raio R , comprimento L e a corrente I nas voltas é dada por $I = at$. (a) Determine o campo elétrico induzido a uma distância $r < R$ do eixo central do solenóide. (b) Determine a magnitude, a direção e o sentido do vetor Poynting \vec{S} em $r = R$ (no interior das voltas do solenóide). (c) Calcule o fluxo $\oint \vec{S}_n \cdot dA$

para dentro do solenóide e mostre que o fluxo é igual à taxa de aumento da energia magnética no interior do solenóide.

57 ••• Pequenas partículas são sopradas pelo sistema solar pela pressão de radiação da luz do Sol. Considere que cada partícula seja esférica de raio r , massa específica de $1,00 \text{ g/cm}^3$ e absorva toda a radiação em uma seção transversal de área πr^2 . Considere que as partículas estejam localizadas a certa distância d do Sol, que emite uma potência total de $3,83 \times 10^{26} \text{ W}$. (a) Qual é o valor crítico para o raio r da partícula para a qual a força de radiação de repulsão equilibre a força gravitacional de atração do Sol? (b) As partículas que têm raios maiores que o valor crítico são ejetadas do sistema solar, ou são apenas as partículas que têm raios menores que o valor crítico que são ejetadas? Explique sua resposta.

58 ••• Quando uma onda eletromagnética em incidência normal em uma superfície perfeitamente condutora é refletida, o campo elétrico da onda refletida na superfície refletora é igual e tem sentido oposto ao campo elétrico da luz incidente na superfície refletora. (a) Explique por que esta afirmativa é válida. (b) Mostre que a superposição das ondas incidente e refletida resulta em uma onda estacionária. (c) Os campos magnéticos das ondas incidentes e das ondas refletidas na superfície refletora são iguais e com sentidos opostos, da mesma maneira? Explique sua resposta.

59 ••• Uma fonte pontual e intensa de luz irradia $1,00 \text{ MW}$ isotropicamente (uniformemente em todas as direções). A fonte está localizada a $1,00 \text{ m}$ acima de um plano infinito e perfeitamente refletor. Determine a força que a pressão de radiação exerce no plano.