

14. Discuta as analogias e as diferenças entre a lei de Gauss e a lei de Ampère.

15. Uma corrente constante é estabelecida num longo tubo de cobre. Existe campo magnético (a) dentro e/ou (b) fora do tubo?

16. Um fio retilíneo longo, de raio R , transporta uma corrente constante i . Como o campo magnético gerado por esta corrente depende de R ? Considere pontos tanto dentro como fora do fio.

17. Dois solenóides longos estão encaixados no mesmo eixo, como mostra a Fig. 31-27. Eles transportam correntes idênticas mas de senti-

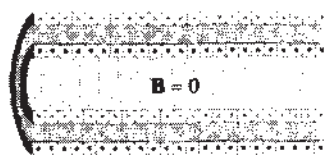


Fig. 31-27 Questão 17.

dos opostos. Se não existe campo magnético dentro do solenóide interno, o que se pode dizer sobre n , o número de espiras por unidade de comprimento, para os dois solenóides? Qual dos dois tem o maior valor?

18. Uma corrente constante é estabelecida em uma rede cúbica de fios resistivos, ligados como mostra a Fig. 31-28. Use argumentos de simetria para mostrar que o campo magnético no centro do cubo é zero.

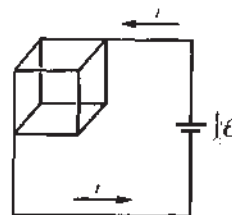


Fig. 31-28 Questão 18.

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

Seção 31-2 Cálculo do Campo Magnético

1E. Um fio n.º 10 (2,6 mm de diâmetro), de cobre desencapado, pode conduzir uma corrente de 50 A sem se aquecer em demasia. Para esta corrente, qual é o campo magnético na superfície do fio?

2E. O módulo do campo magnético a 88,0 cm do eixo de um fio retilíneo longo é $7,30 \mu\text{T}$. Calcular a corrente no fio.

3E. Um topógrafo está usando uma bússola a 6 m abaixo de uma linha de transmissão na qual existe uma corrente constante de 100 A. (a) Qual é o campo magnético no local da bússola em virtude da linha de transmissão? (b) Isso irá interferir seriamente na leitura da bússola? O componente horizontal do campo magnético da Terra no local é de $20 \mu\text{T}$.

4E. O canhão de elétrons em tubo de TV dispara um feixe de elétrons de 25 keV que atinge a tela na razão de $5,6 \times 10^{14}$ elétrons por segundo. O diâmetro do feixe é de 0,22 mm. Calcule o campo magnético produzido pelo feixe num ponto a 1,5 mm do eixo do feixe.

5E. A Fig. 31-29 mostra um segmento de fio de 3,0 cm, centrado na origem, transportando uma corrente de 2,0 A na direção $+y$. (Naturalmente este segmento deve fazer parte de um circuito completo.) Para calcular o campo \mathbf{B} num ponto a vários metros da origem, podemos usar a lei de Biot-Savart na forma $B = (\mu_0/4\pi) i \Delta s \sin \theta/r^2$, com $\Delta s = 3,0$ cm. Isto se deve ao fato de que r e θ são essencialmente constantes sobre o segmento de fio. Calcule \mathbf{B} (módulo, direção e sentido) nas seguintes posições (x, y, z) : (a) (0, 0, 5,0 m), (b) (0, 6,0 m, 0), (c) (7,0 m, 7,0 m, 0), (d) (-3,0 m, -4,0 m, 0).

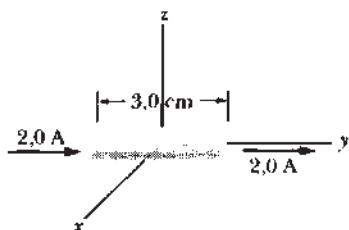


Fig. 31-29 Exercício 5.

6E. Um fio longo transportando uma corrente de 100 A é colocado num campo magnético externo de 5,0 mT. O fio é perpendicular ao campo. Localize os pontos onde o campo magnético resultante é zero.

7E. Em uma localização nas Filipinas, o campo magnético da Terra de $39 \mu\text{T}$ é horizontal e aponta para o norte. Exatamente 8,0 cm acima de um fio retilíneo longo, que transporta uma corrente constante, o campo resultante é zero. Quais são (a) a intensidade e (b) o sentido da corrente?

8E. Uma carga pontiforme q está se movendo com velocidade escalar v ao passar a uma distância d de um fio retilíneo longo percorrido por uma corrente i . Quais são o módulo, a direção e o sentido da força que atua sobre a carga, nessa posição, nos seguintes casos: (a) a carga se aproxima ortogonalmente do fio e (b) a carga se afasta ortogonalmente do fio?

9E. Um fio retilíneo longo transporta uma corrente de 50 A. Um elétron está se movendo a $1,0 \times 10^7$ m/s ao passar a 5,0 cm deste fio. Que força atua sobre o elétron se a sua velocidade estiver orientada (a) diretamente para o fio, (b) paralelamente ao fio e (c) perpendicular às direções definidas por (a) e (b).

10E. Um condutor retilíneo transportando uma corrente i , é dividido em voltas semicirculares idênticas, como é mostrado na Fig. 31-30. Qual é o campo magnético no centro C da espira circular resultante?



Fig. 31-30 Exercício 10.

11P. O fio mostrado na Fig. 31-31 transporta uma corrente i . Que campo magnético \mathbf{B} é produzido no centro C do semicírculo (a) por cada segmento retilíneo de comprimento L , (b) pelo segmento semicircular de raio R e (c) pelo fio inteiro?

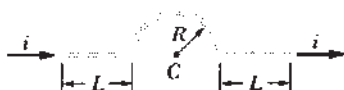


Fig. 31-31 Problema 11.

12P. Dois fios infinitamente longos transportam correntes iguais i . Cada um segue um arco de 90° sobre a circunferência de um mesmo círculo de raio R , na configuração mostrada na Fig. 31-32. Mostre, sem fazer um cálculo detalhado, que \mathbf{B} , no centro do círculo, é idêntico ao campo \mathbf{B} criado por um fio retilíneo infinito, percorrido por uma corrente i , a uma distância R abaixo dele.

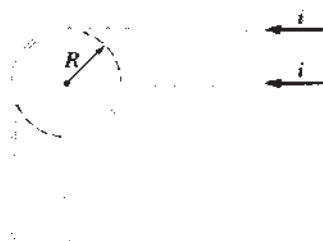


Fig. 31-32 Problema 12.

13P. Use a lei de Biot-Savart para calcular o campo magnético \mathbf{B} em C , o centro comum dos arcos semicirculares AD e HJ na Fig. 31-33. Os dois arcos de raios R_2 e R_1 , respectivamente, formam parte do circuito $ADJHA$ transportando uma corrente i .

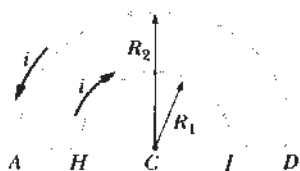


Fig. 31-33 Problema 13.

14P. Curva-se um fio de modo a fazer um longo "grampo de cabelo", como é mostrado na Fig. 31-34. Sabendo-se que o fio transporta uma corrente de 10 A, quais são o módulo, a direção e o sentido de \mathbf{B} (a) no ponto a e (b) no ponto médio b ? Considere $R = 5,0$ mm e a distância entre a e b muito maior que R .



Fig. 31-34 Problema 14.

15P. Um fio transportando uma corrente i tem a configuração mostrada na Fig. 31-35. Dois trechos retilíneos semi-infinitos, ambos tangentes ao mesmo círculo, estão ligados por um arco circular, de ângulo central θ , ao longo da circunferência do círculo, com todos os trechos dispostos no mesmo plano. Qual deve ser o valor de θ de modo que \mathbf{B} seja zero no centro do círculo?

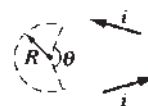


Fig. 31-35 Problema 15.

16P. Considere o circuito da Fig. 31-36. Os segmentos curvos são arcos de círculo de raios a e b . Os segmentos retilíneos estão ao longo de raios. Determine o campo magnético \mathbf{B} em P , considerando uma corrente i no circuito.

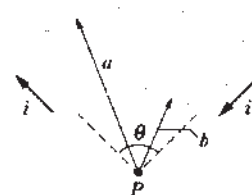


Fig. 31-36 Problema 16.

17P. Um segmento retilíneo de fio, de comprimento L , transporta uma corrente i . Mostre que o módulo do campo magnético \mathbf{B} produzido por este segmento, a uma distância R do segmento ao longo de sua mediatriz (veja a Fig. 31-37), é

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \frac{L}{(L^2 + 4R^2)^{1/2}}.$$

Mostre que esta expressão se reduz a um resultado esperado quando $L \rightarrow \infty$.

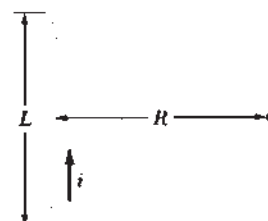


Fig. 31-37 Problema 17.

18P. Uma espira quadrada de fio de lado a transporta uma corrente i . Mostre que, no centro da espira, o módulo do campo magnético produzido pela corrente é

$$B = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 i}{\pi a}.$$

(Sugestão: Veja o Problema 17).

19P. Mostre que o módulo do campo magnético produzido no centro de uma espira retangular de fio, de comprimento L e largura W , transportando uma corrente i , é

$$B = \frac{2\mu_0 i}{\pi} \frac{(L^2 + W^2)^{1/2}}{LW}$$

Mostre que, para $L \gg W$, esta expressão se reduz a um resultado consistente com o resultado do Exemplo 31-3.

20P. Uma espira quadrada de fio, de lado a , transporta uma corrente i . Mostre que o módulo do campo magnético produzido num ponto sobre o eixo da espira e a uma distância x de seu centro é

$$B(x) = \frac{4\mu_0 i a^2}{\pi(4x^2 + a^2)(4x^2 + 2a^2)^{1/2}}$$

Prove que este resultado é consistente com o resultado do Problema 18.

21P. Dispõe-se de um fio de comprimento L , onde podemos estabelecer uma corrente i . O fio pode ser dobrado na forma de um círculo ou de um quadrado. Mostre que o quadrado dará o maior valor para B no ponto central.

22P. Um segmento retilíneo de fio, de comprimento L , transporta uma corrente i . Mostre que o campo magnético associado a ele, no ponto P , a uma distância perpendicular D de uma de suas extremidades (veja a Fig. 31-38), é dado em módulo por

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi D} \frac{L}{(L^2 + D^2)^{1/2}}$$

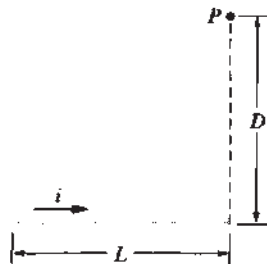


Fig. 31-38 Problema 22.

23P. Uma corrente i flui num segmento retilíneo de fio de comprimento a , como mostra a Fig. 31-39. Mostre que o campo magnético no ponto Q é zero e que em P o módulo do campo é dado por

$$B = \frac{\sqrt{2}\mu_0 i}{8\pi a}$$



Fig. 31-39 Problema 23.

24P. Determine o campo magnético B no ponto P da Fig. 31-40 (veja o Problema 23).

25P. Calcular o campo magnético B no ponto P da Fig. 31-41. Suponha que $i = 10$ A e $a = 8,0$ cm.

26P. A Fig. 31-42 mostra uma seção transversal de uma fita comprida e fina, de largura w , que está transportando uma corrente i uniformemen-

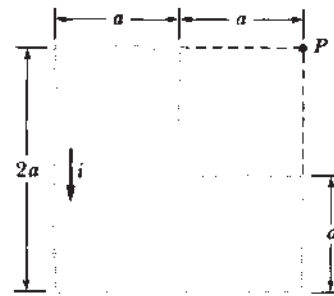


Fig. 31-40 Problema 24.

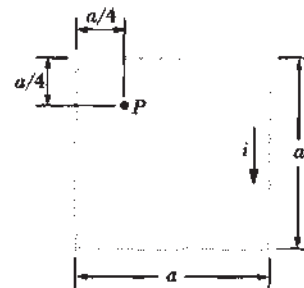


Fig. 31-41 Problema 25.



Fig. 31-42 Problema 26.

te distribuída, para o interior da página. Calcular o módulo, a direção e o sentido do campo magnético B no ponto P no plano da fita a uma distância d de sua extremidade. (Sugestão: Imagine a fita formada por vários fios finos, paralelos e compridos).

Seção 31-4 Dois Condutores Paralelos

27E. Dois fios longos e paralelos estão separados por uma distância de 8,0 cm. Que correntes iguais devem passar pelos fios para que o campo magnético a meia distância entre eles tenha módulo igual a $300 \mu\text{T}$? Considere as correntes: (a) paralelas e (b) antiparalelas.

28E. Dois fios paralelos, retilíneos e longos, separados por 0,75 cm estão perpendiculares ao plano da página, como é mostrado na Fig. 31-43. O fio 1 transporta uma corrente de 6,5 A para dentro da página. Qual deve ser a corrente (intensidade e sentido) no fio 2 para que o campo magnético resultante no ponto P seja zero?

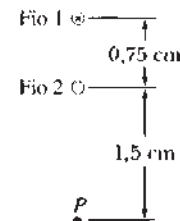


Fig. 31-43 Exercício 28.

29E. Dois fios longos e paralelos, separados por uma distância d , transportam correntes i e $3i$ no mesmo sentido. Localize o ponto ou os pontos em que seus campos magnéticos se cancelam.

30E. A Fig. 31-44 mostra cinco fios longos e paralelos no plano xy . Cada fio transporta uma corrente $i = 3,00 \text{ A}$ no sentido positivo do eixo x . A separação entre fios adjacentes vale $d = 8,00 \text{ cm}$. Determine a força magnética por metro exercida sobre cada um dos cinco fios pelos outros fios.

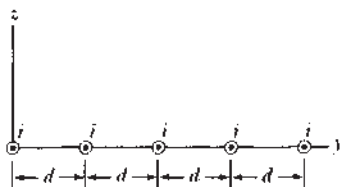


Fig. 31-44 Exercício 30.

31E. Para os fios do Exemplo 31-3, mostre que a Eq. 31-15 vale para pontos além dos fios, isto é, para pontos com $|x| > d$.

32E. Dois fios paralelos, retilíneos e longos, estão separados de uma distância de 10 cm e, cada um deles transporta uma corrente de 100 A . A Fig. 31-45 mostra uma seção transversal, com os fios dispostos perpendicularmente à página e o ponto P situado sobre a mediatriz da linha entre os fios. Determine o módulo, a direção e o sentido do campo magnético em P , quando a corrente no fio da esquerda aponta para fora da página e a corrente no fio da direita aponta: (a) para fora da página e (b) para dentro da página.

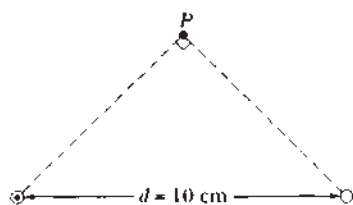


Fig. 31-45 Exercício 32.

33P. Na Fig. 31-10a, considere que ambas as correntes têm o mesmo sentido, para fora do plano da figura. Mostre que o campo magnético no plano definido pelos fios é

$$B(x) = \frac{\mu_0 i x}{\pi(x^2 - d^2)}.$$

Suponha $i = 10 \text{ A}$ e $d = 2,0 \text{ cm}$, na Fig. 31-10a, e faça o gráfico de $B(x)$ para a faixa $-2 \text{ cm} < x < 2 \text{ cm}$. Considere que os diâmetros dos fios sejam desprezíveis.

34P. Quatro fios longos de cobre estão paralelos entre si, a seção transversal do conjunto formando os vértices de um quadrado de 20 cm de lado. Cada fio é percorrido por uma corrente de 20 A , no sentido indicado na Fig. 31-46. Quais são o módulo, a direção e o sentido de \mathbf{B} no centro do quadrado?

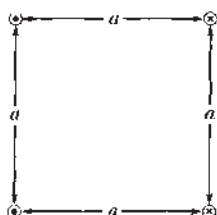


Fig. 31-46 Problemas 34, 35 e 36.

35P. Suponha, na Fig. 31-46, que as correntes idênticas i estejam todas apontando para fora da página. Qual é a força por unidade de comprimento (módulo, direção e sentido) sobre qualquer um dos fios?

36P. Na Fig. 31-46, qual é a força por unidade de comprimento, em módulo, direção e sentido, atuando sobre o fio inferior à esquerda? As correntes idênticas i têm os sentidos indicados na figura.

37P. Dois fios longos, separados por uma distância d , transportam correntes iguais i antiparalelas, como se vê na Fig. 31-47. (a) Mostre que o módulo do campo magnético no ponto P , que é equidistante dos fios, é dado por

$$B = \frac{2\mu_0 i d}{\pi(4R^2 + d^2)}.$$

(b) Em que direção aponta \mathbf{B} ?

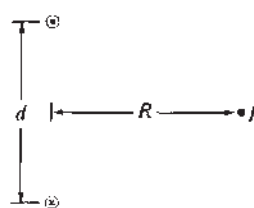


Fig. 31-47 Problema 37.

38P. Na Fig. 31-48, o fio retilíneo longo transporta uma corrente de 30 A e a espira retangular transporta uma corrente de 20 A . Calcular a força resultante atuando sobre a espira. Suponha que $a = 1,0 \text{ cm}$, $b = 8,0 \text{ cm}$ e $L = 30 \text{ cm}$.

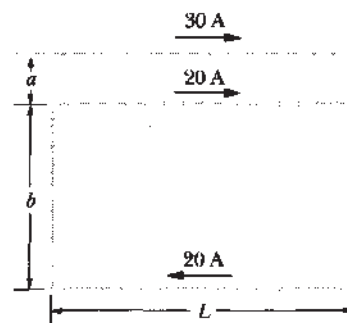


Fig. 31-48 Problema 38.

39P. A Fig. 31-49 mostra um esquema idealizado de um canhão sobre trilhos. O projétil P fica entre dois trilhos largos e circulares; uma fonte envia corrente através dos trilhos e do projétil (condutor). Não foi previsto o uso de fusível. (a) Seja w a distância entre os trilhos, R o raio dos

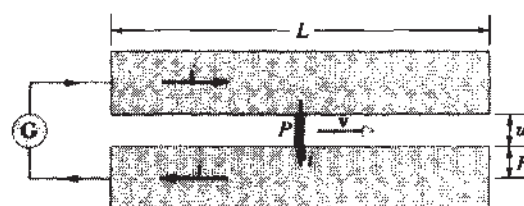


Fig. 31-49 Problema 39.

trilhos e i a corrente. Mostre que a força sobre o projétil está dirigida para a direita ao longo dos trilhos e é dada aproximadamente por

$$F = \frac{i^2 \mu_0}{2\pi} \ln \frac{w + R}{R}.$$

(b) Sabendo-se que o projétil (neste caso uma bala-teste) parte do repouso da extremidade esquerda dos trilhos, determine a velocidade escalar v com que é lançado à direita. Suponha que $i = 450$ kA, $w = 12$ mm, $R = 6,7$ cm, $L = 4,0$ m e que a massa da bala é $m = 10$ g.

Seção 31-5 Lei de Ampère

40E. Cada um dos oito condutores mostrados na Fig. 31-50 transporta uma corrente de 2,0 A para dentro ou para fora da página. Dois caminhos são indicados para a integral de linha $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$. Qual é o valor da integral para (a) o caminho pontilhado e (b) para o caminho tracejado?



Fig. 31-50 Exercício 40.

41E. Oito fios cortam a página perpendicularmente, nos pontos mostrados na Fig. 31-51. Um fio marcado com o número inteiro k ($k = 1, 2, \dots, 8$) transporta a corrente ki_0 . Para os fios com k ímpar, a corrente está para fora da página; para os com k par, a corrente está para dentro da página. Calcular $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ ao longo do caminho fechado no sentido indicado.

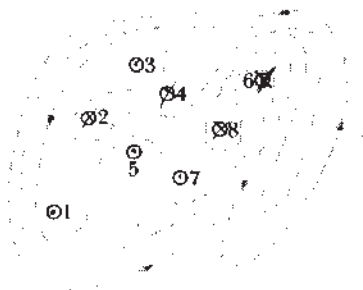


Fig. 31-51 Exercício 41.

42E. A Fig. 31-52 mostra uma seção transversal de um condutor cilíndrico longo, de raio a , transportando uma corrente i uniformemente distribuída. Suponha $a = 2,0$ cm e $i = 100$ A e faça o gráfico de $B(r)$ na faixa de $0 < r < 6,0$ cm.

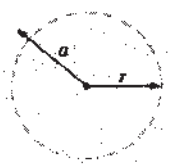


Fig. 31-52 Exercício 42.

43E. Em uma certa região existe uma densidade de corrente uniforme de 15 A/m² no sentido positivo do eixo z . Considere a curva fechada formada pelos três segmentos de reta que ligam os pontos de coordenadas $(4d, 0, 0)$, $(4d, 3d, 0)$ e $(0, 0, 0)$, onde $d = 20$ cm. Qual é o valor de $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ ao longo dessa curva fechada?

44P. Duas espiras quadradas, condutoras, transportam correntes de 5,0 A e 3,0 A, como é mostrado na Fig. 31-53. Qual é o valor de $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ para cada uma das curvas fechadas mostradas?

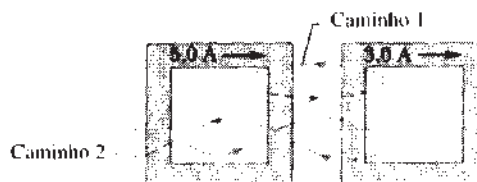


Fig. 31-53 Problema 44.

45P. Mostre que um campo magnético uniforme \mathbf{B} não pode cair abruptamente a zero, quando o percorremos perpendicularmente, como é sugerido pela seta horizontal que passa pelo ponto a na Fig. 31-54. (Sugestão: Aplique a lei de Ampère ao caminho retangular mostrado pelas linhas tracejadas.) Em ímãs reais sempre aparece uma deformação das linhas de \mathbf{B} , o que significa que \mathbf{B} se aproxima de zero de maneira gradual. Modifique as linhas do campo, na figura, para indicar uma situação mais real.

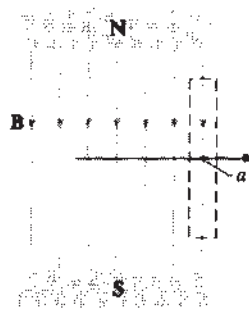


Fig. 31-54 Problema 45.

46P. A Fig. 31-55 mostra uma seção transversal de um condutor cilíndrico, oco, de raios a e b , transportando uma corrente i uniformemente distribuída. (a) Mostre que $B(r)$ para a faixa $b < r < a$ é dado por

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi(a^2 - b^2)} \left(\frac{r^2 - b^2}{r} \right).$$

(b) Mostre que, quando $r = a$, esta equação dá o campo magnético B para um fio retilíneo longo; quando $r = b$, dá campo magnético nulo e

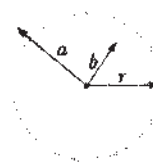


Fig. 31-55 Problema 46.

quando $b = 0$, dá o campo magnético no interior de um condutor sólido. (c) Suponha $a = 2,0$ cm, $b = 1,8$ cm e $i = 100$ A e faça o gráfico de $B(r)$ na faixa $0 < r < 6$ cm.

47P. A Fig. 31-56 mostra uma seção transversal de um condutor longo de um tipo chamado de cabo co-axial. Seus raios (a , b , c) são mostrados na figura. Existem correntes iguais i mas de sentidos opostos nos dois condutores. Obtenha as expressões para $B(r)$ nas faixas (a) $r < a$, (b) $a < r < b$, (c) $b < r < c$ e (d) $r > c$. (e) Teste estas expressões para todos os casos especiais que lhe ocorrerem. (f) Suponha $a = 2,0$ cm, $b = 1,8$ cm, $c = 0,40$ cm, $i = 120$ A e faça o gráfico de $B(r)$ na faixa de $0 < r < 3$ cm.

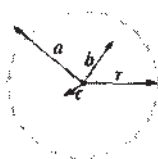


Fig. 31-56 Problema 47.

48P. A densidade de corrente no interior de um fio cilíndrico comprido e maciço, de raio a está na direção do eixo central e varia linearmente com a distância radial r de acordo com $J = J_0 r/a$. Determine o campo magnético no interior do fio.

49P. Um tubo comprido e circular, com um raio externo R , transporta uma corrente i_0 (uniformemente distribuída), para dentro da página, como é mostrado na Fig. 31-57. Um fio está disposto paralelamente ao tubo a uma distância igual a $3R$, medida centro a centro. Calcule a intensidade e o sentido da corrente que deve ser estabelecida para que o campo magnético resultante no ponto P tenha módulo igual, mas sentido oposto ao do campo resultante no centro do tubo.

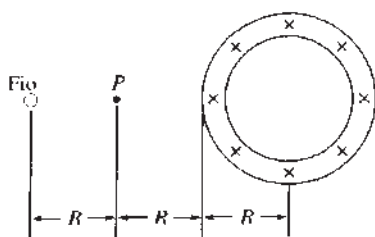


Fig. 31-57 Problema 49.

50P. A Fig. 31-58 mostra uma seção transversal de um condutor cilíndrico longo, de raio a , contendo um buraco cilíndrico longo de raio b . Os eixos dos dois cilindros são paralelos e estão separados por uma distância d . Uma corrente i está uniformemente distribuída sobre a área escura na figura. (a) Use o princípio da superposição para mostrar que o campo magnético no centro do buraco é

$$B = \frac{\mu_0 i d}{2\pi(a^2 - b^2)}.$$

(b) Discuta os dois casos especiais $b = 0$ e $d = 0$. (c) Use a lei de Ampère para mostrar que o campo magnético no buraco é uniforme. (Sugestão: A distribuição de corrente especificada no problema proposto pode ser achada superpondo-se uma densidade de corrente uniforme (\mathbf{J}) que se estende por todo o interior do condutor, incluindo o buraco, a uma densidade de corrente de módulo igual mas de sentido oposto ($-\mathbf{J}$), que se estende apenas sobre a região onde o buraco está situado).

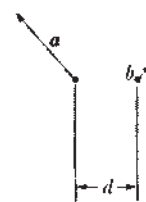


Fig. 31-58 Problema 50.

51P. A Fig. 31-59 mostra uma seção transversal de uma chapa condutora infinita com uma corrente por unidade de comprimento λ emergindo perpendicularmente do plano da página. (a) Use a lei de Biot-Savart e a simetria para mostrar que para todos os pontos P acima da chapa, e todos os pontos P' abaixo dela, o campo magnético \mathbf{B} é paralelo à chapa e tem o sentido indicado. (b) Use a lei de Ampère para provar que $B = \mu_0 \lambda / 2$ em todos os pontos P e P' .

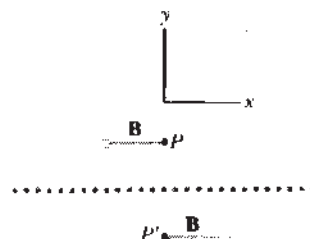


Fig. 31-59 Problema 51.

52P*. Em uma certa região existe um campo magnético dado em militeslas por $\mathbf{B} = 3,0 \mathbf{i} + 8,0(x/d^2) \mathbf{j}$, onde x é a distância, medida em metros, ao longo do eixo coordenado x e d é uma constante com unidade de comprimento. Alguma corrente deve estar fluindo pela região para produzir o campo \mathbf{B} especificado. (a) Calcular a integral $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ ao longo do segmento de reta que vai de $(d, 0, 0)$ até $(d, d, 0)$. (b) Faça $d = 0,50$ m na expressão para \mathbf{B} e aplique a lei de Ampère para determinar a corrente que está fluindo através de um quadrado cujo lado mede 0,5 m e que se encontra no primeiro quadrante do plano xy , com um vértice na origem. (c) Esta corrente está na direção \mathbf{k} ou na direção $-\mathbf{k}$?

Seção 31-6 Solenóides e Toróides

53E. Um solenóide de 95,0 cm de comprimento tem um raio de 2,00 cm, um enrolamento de 1.200 espiras e transporta uma corrente de 3,60 A. Calcule o módulo do campo magnético no interior do solenóide.

54E. Um solenóide de 200 espiras tendo um comprimento de 25 cm e um diâmetro de 10 cm transporta uma corrente de 0,30 A. Calcule o módulo do campo magnético \mathbf{B} próximo ao centro do solenóide.

55E. Um solenóide de 1,30 m de comprimento e 2,60 cm de diâmetro transporta uma corrente de 18,0 A. O módulo do campo magnético no interior do solenóide é 23,0 mT. Determine o comprimento do fio que constitui o solenóide.

56E. Um toróide, tendo seção transversal quadrada, com 5,00 cm de lado e um raio interno de 15,0 cm, possui 500 espiras e transporta uma corrente de 0,800 A. Qual é o módulo do campo magnético no interior do toróide (a) no raio interno e (b) no raio externo do toróide?

57E. Mostre que se a espessura de um toróide for muito pequena comparada com seu raio de curvatura (toróide muito fino), a Eq. 31-22 para o campo no interior de um toróide se reduz a Eq. 31-21 para o campo no interior de um solenóide. Explique por que este resultado é esperado.

58P. Considere um solenóide ideal como um condutor cilíndrico fino, cuja corrente por unidade de comprimento, medida paralelamente ao eixo do cilindro, é λ . Desse modo, mostre que o módulo do campo magnético, no interior de um solenóide, no interior de um solenóide ideal, pode ser escrito como $B = \mu_0 \lambda$. Este é o valor da *variação* em B que se obtém quando passamos de dentro para fora do solenóide, pela sua parede. Mostre que essa mesma variação ocorre quando atravessamos uma chapa infinita de corrente como aquela da Fig. 31-59 (veja o Problema 51). Tal igualdade o surpreende?

59P. Na seção 31-6 mostramos que o módulo do campo magnético para qualquer raio r no interior de um toróide é dado por

$$B = \frac{\mu_0 i_0 N}{2\pi r}.$$

Mostre que, quando passamos de um ponto imediatamente dentro de um toróide para um ponto imediatamente fora, o módulo da *variação* em B que encontramos — para qualquer raio r — é exatamente $\mu_0 \lambda$. Aqui λ é a corrente por unidade de comprimento ao longo de uma circunferência de raio r dentro do toróide. Compare com o resultado semelhante encontrado no Problema 58. Tal igualdade não é surpreendente?

60P. Um solenóide longo com 10,0 espiras/cm e um raio de 7,00 cm transporta uma corrente de 20,0 mA. Uma corrente de 6,00 A flui num condutor retilíneo localizado ao longo do eixo do solenóide. (a) A que distância radial do eixo, a direção do campo magnético resultante fará 45° com a direção axial? (b) Qual é o módulo do campo magnético nesta posição?

61P. Um solenóide longo tem 100 espiras por centímetro e transporta uma corrente i . Um elétron se move no interior do solenóide num círculo de raio 2,30 cm perpendicular ao eixo do solenóide. A velocidade escalar do elétron é 0,0460c (velocidade escalar da luz). Determine a corrente i no solenóide.

62P. Um efeito interessante (e frustrante) ocorre quando tentamos confinar uma coleção de elétrons e íons positivos (um plasma) no campo magnético de um toróide. As partículas que se movem perpendicularmente ao campo magnético não percorrem trajetórias circulares porque a intensidade do campo varia com a distância radial ao eixo do toróide. Tal efeito, que é mostrado (exageradamente) na Fig. 31-60, faz com que as partículas de sinais opostos sejam deslocadas em sentidos opostos, paralelamente ao eixo do toróide. (a) Qual é o sinal da carga da partícula, cuja trajetória está esboçada na figura? (b) Se a trajetória da partícula tiver um raio de curvatura de 11,0 cm, quando sua distância radial média ao eixo do toróide for de 125 cm, qual será o raio de curvatura quando a partícula estiver a uma distância radial média de 110 cm do eixo?

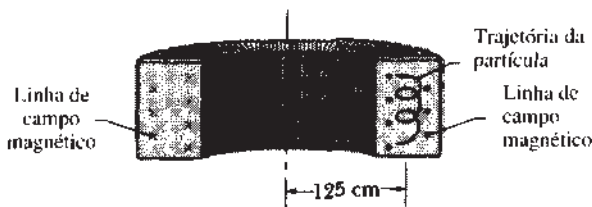


Fig. 31-60 Problema 62.

Seção 31-7 Uma Bobina de Corrente e suas Propriedades de Dipolo Magnético

63E. Qual é o momento de dipolo magnético μ do solenóide descrito no Exercício 54?

64E. A Fig. 31-61a mostra um fio curvado na forma de uma bobina circular de uma única espira transportando uma corrente i . Na Fig. 31-

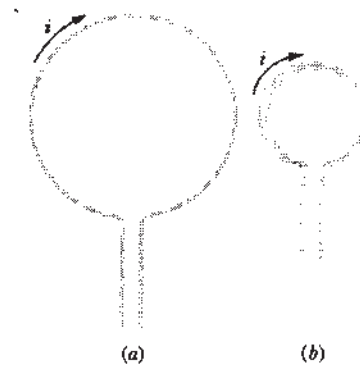


Fig. 31-61 Exercício 64.

61b o mesmo fio foi curvado mais apertadamente, resultando numa bobina de duas espiras, com a metade do raio original. (a) Sendo B_a e B_b os módulos dos campos magnéticos nos centros das duas bobinas, qual é a razão B_b/B_a ? (b) Qual é a razão entre os módulos dos momentos de dipolo μ_b/μ_a das bobinas?

65E. A Fig. 31-62 mostra um arranjo conhecido como bobina de Helmholtz. Ela consiste em duas bobinas circulares co-axiais cada uma com N espiras e raio R , separadas por uma distância R . As duas bobinas transportam correntes iguais i no mesmo sentido. Determine o campo magnético no ponto P , a meio caminho entre as bobinas.

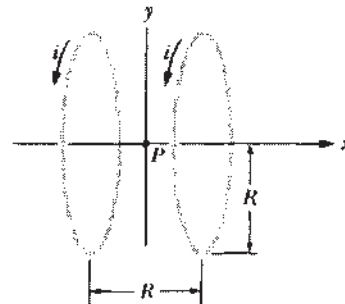


Fig. 31-62 Exercício 65; Problemas 69 e 70.

66E. Um estudante constrói um eletroímã enrolando 300 voltas de fio em torno de um cilindro de madeira de diâmetro $d \approx 5,0$ cm. A bobina é ligada a uma bateria produzindo uma corrente de 4,0 A no fio. (a) Qual é o momento magnético deste dispositivo? (b) A que distância axial $z \gg d$ o campo magnético deste dipolo será de $5,0 \mu\text{T}$ (aproximadamente um décimo do campo magnético da Terra)?

67E. O módulo $B(x)$ do campo magnético em pontos sobre o eixo de uma espira de corrente quadrada, de lado a , é dado no Problema 20. (a) Mostre que o campo magnético axial para esta espira, para $x \gg a$, é o de um dipolo magnético (veja a Eq. 31-25). (b) Qual é o momento de dipolo magnético desta espira?

68P. Um fio formando um circuito fechado, com raios a e b , como mostra a Fig. 31-63, é percorrido por uma corrente i . (a) Quais são o módulo, a direção e o sentido de B no ponto P ? (b) Determine o momento de dipolo magnético do circuito.

69P. Duas bobinas, de 300 espiras cada uma, são percorridas por uma corrente i . Elas estão separadas por uma distância igual ao raio delas, como se vê na Fig. 31-62. Para $R = 5,0$ cm e $i = 50$ A, faça o gráfico de B em função da distância x ao longo do eixo comum desde $x = -5$ cm