



Formulário

$$\vec{F}_e = q\vec{E}, \quad \vec{E} = k_0 \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad \left(k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right), \quad \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}, \quad \vec{E} = -\vec{\nabla}V, \quad V = k_0 \frac{q}{r}, \quad U = k_0 \frac{qq'}{r}$$

$$C = Q/V, \quad U = \frac{1}{2}QV, \quad u_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2, \quad I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A}, \quad \vec{J} = nq\vec{v}, \quad \vec{J} = \sigma\vec{E}, \quad V = RI, \quad P = VI,$$

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad d\vec{F}_m = Id\vec{\ell} \times \vec{B}, \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0, \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0 Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{enc}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}, \quad \epsilon_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{1}{a^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} + \text{const.}$$

Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

Indique com **V** se a afirmação é verdadeira, ou **F**, se falsa. Note que há a seguinte **PENALIZAÇÃO**: cada questão erradamente indicada corresponderá a uma diminuição de 0,2 ponto da nota do estudante obtida nesta seção. Caso não queira correr o risco de penalização, deixe a resposta em branco!

_____ Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.

_____ A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.

_____ O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.

_____ Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.

_____ A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.

_____ Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, no interior da espira.

_____ A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.

_____ Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .

_____ Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.

_____ Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.

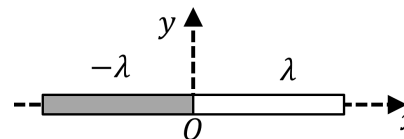
Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

1. Uma barra isolante fina é posicionada sobre o eixo Ox de um sistema de coordenadas, como mostrado na figura abaixo. o eixo Oy é perpendicular à barra e a origem O do sistema coincide com o seu ponto médio. A distribuição de cargas na barra é tal que sua metade à direita está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga λ ($\lambda > 0$) e sua metade à esquerda está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga $-\lambda$. Sobre essa situação, considere as seguintes afirmativas:

(I) Para todos os pontos sobre o eixo Oy , o campo elétrico aponta no sentido negativo de Ox .

(II) Para pontos sobre o eixo Oy , é possível determinar a intensidade do campo elétrico conhecendo apenas o potencial elétrico sobre esses pontos.

São corretas as afirmativas:

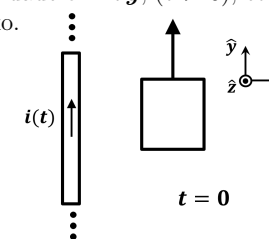


- (a) Apenas I.
- (b) Apenas II.
- (c) Nenhuma delas.
- (d) Todas elas.

2. Um anel circular isolante de raio R possui uma carga $q > 0$ uniformemente distribuída sobre seu comprimento. Uma partícula de carga $-q$ e massa m encontra-se inicialmente em repouso sobre o eixo do anel, em um ponto muito afastado de seu centro. Desprezando a ação da gravidade, os módulos da velocidade e da aceleração dessa partícula quando ela passa pelo centro do anel valem, respectivamente:

- (a) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
- (b) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
- (c) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
- (d) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
- (e) 0 e 0.

3. Uma espira retangular, rígida, condutora e um fio retilíneo, infinito, pelo qual passa uma corrente quase-estacionária $i(t) = \alpha t$ ($\alpha > 0$) encontram-se num mesmo plano, $z = 0$. No instante $t = 0$ a espira possui velocidade $\vec{v} = v\hat{y}$, ($v > 0$), como mostrado na figura abaixo.



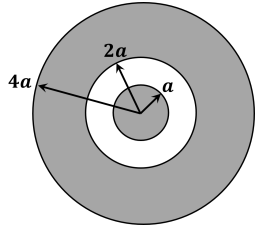
Desconsiderando o efeito da gravidade, qual gráfico melhor representa o movimento da espira logo após o instante $t = 0$?

- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e)
- (f) Nenhum dos gráficos anteriores.

4. Um capacitor cilíndrico é formado por um cilindro condutor de raio a e comprimento L , com $L \gg a$, coaxial a uma casca cilíndrica espessa, também condutora, de raio interno $2a$, raio externo $4a$ e comprimento L . A capacitância desse capacitor é dada por:

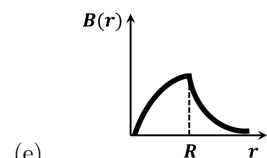
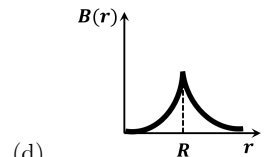
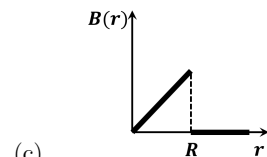
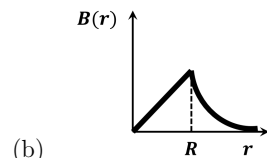
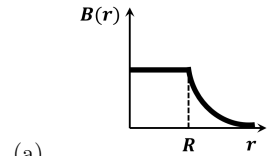
- (a) $2\pi \ln(4)\epsilon_0 L$,
- (b) $2\pi \ln(2)\epsilon_0 L$,
- (c) $2\pi\epsilon_0 L$,
- (d) $2\pi\epsilon_0 L/\ln(2)$,
- (e) $2\pi\epsilon_0 L/\ln(4)$,

5. Uma esfera condutora de raio a , em equilíbrio eletrostático, possui carga $-Q$. Uma casca esférica espessa, condutora, de raio interno $2a$ e raio externo $4a$, concêntrica à esfera, possui carga $2Q$, como mostra a figura abaixo. Considerando o potencial elétrico nulo no infinito, a que distância finita do centro da esfera o potencial também é nulo?



- (a) $\frac{3}{2}a$;
 (b) $\frac{4}{3}a$;
 (c) $\frac{5}{4}a$;
 (d) $\frac{6}{5}a$;
 (e) $\frac{7}{6}a$;
 (f) Não há nenhuma posição, a uma distância finita do centro da esfera, em que o potencial seja nulo.

6. Um cilindro circular maciço, infinito e condutor, de raio R , possui uma densidade de corrente estacionária, dada por $\vec{J}(r) = kr\hat{z}$, onde k é uma constante positiva, r é a distância ao eixo do cilindro e \hat{z} é um vetor unitário cuja direção é paralela ao eixo do cilindro. Assinale a alternativa cujo gráfico melhor representa o comportamento do módulo do campo magnético B produzido pelo cilindro como função da distância r .



[2,8 pontos]

Considere um fio infinito formado por dois trechos retilíneos semi-infinitos e perpendiculares entre si, ligados por um arco de circunferência de raio R (um quarto de circunferência). Por esse fio flui uma corrente estacionária I , como mostrado na Figura 1. Utilize o sistema de eixos cartesianos desenhado na Figura 1. Com essa escolha, um dos trechos retilíneos é paralelo ao eixo Oy , enquanto o outro é paralelo ao eixo Ox , e o arco de circunferência tem centro na origem O .

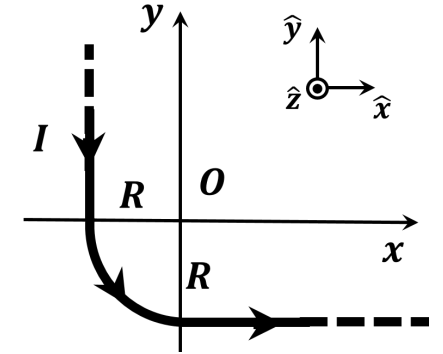


Figura 1: Questão discursiva 1.

(a) Determine a contribuição \vec{B}_a ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho do fio correspondente ao arco de circunferência. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_a . [1,0 ponto]

(b) Determine a contribuição \vec{B}_b ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho horizontal do fio. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_b . [1,2 ponto]

(c) Determine o campo magnético \vec{B} (módulo, direção e sentido) produzido pelo fio completo, na origem O do sistema de coordenadas. [0,6 ponto]

Seção 3. Questões discursivas (1×2,8 = 2,8 pontos)

Todas as respostas devem ter justificativas!

1.

Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

- F Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.
- V A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.
- V O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.
- F Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.
- F A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.
- V Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{ext}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{ext}(t)$, no interior da espira.
- V A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.
- F Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .
- F Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.
- F Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.

Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (a) | 4. (d) |
| 2. (a) | 5. (b) |
| 3. (b) | 6. (d) |

Seção 3. Questões discursivas (1×2,8 = 2,8 pontos)

1. **Resolução:**

(a) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo arco de circunferência é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2},$$

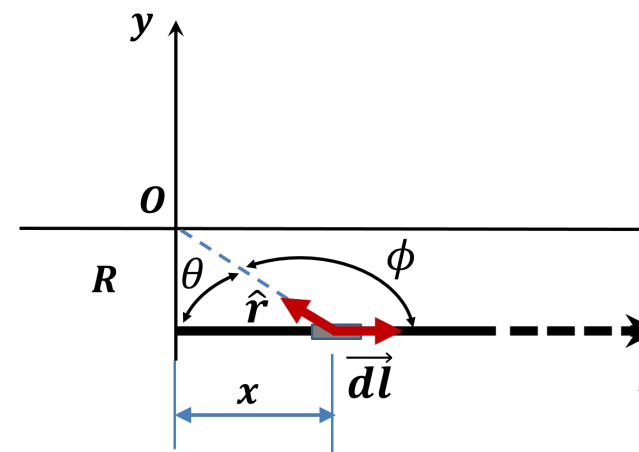
$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{|d\vec{l}|}{R^2} \hat{z},$$

$$\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \hat{z} \int_0^{\frac{\pi}{2}} R d\theta,$$

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{8R} \hat{z}.}$$

(b) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo segmento paralelo ao eixo x é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}.$$



De acordo com a Figura 2, temos:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I \hat{z}}{4\pi} \frac{\sin\phi}{(x^2 + R^2)} dx,$$

mas $\sin\phi = \sin(\theta) = R/\sqrt{x^2 + R^2}$, assim:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I R \hat{z}}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Pelo formulário fornecido:

$$\int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} = \left(\frac{1}{R^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right)_0^{\infty} = \frac{1}{R^2},$$

assim:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \hat{z}.}$$

(c) O campo \vec{B} de todo o fio na origem do sistema de coordenadas é dado por:

$$\vec{B} = 2\vec{B}_h + \vec{B}_a,$$

pois o campo produzido pelo segmento semi-infinito de fio paralelo ao eixo y é igual a \vec{B}_h , logo:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) \hat{z}.}$$



Formulário

$$\vec{F}_e = q\vec{E}, \quad \vec{E} = k_0 \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad \left(k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right), \quad \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}, \quad \vec{E} = -\vec{\nabla}V, \quad V = k_0 \frac{q}{r}, \quad U = k_0 \frac{qq'}{r},$$

$$C = Q/V, \quad U = \frac{1}{2}QV, \quad u_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2, \quad I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A}, \quad \vec{J} = nq\vec{v}, \quad \vec{J} = \sigma\vec{E}, \quad V = RI, \quad P = VI,$$

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad d\vec{F}_m = Id\vec{\ell} \times \vec{B}, \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0, \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0 Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{4\pi r^2},$$

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{enc}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}, \quad \epsilon_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{1}{a^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} + \text{const.}$$

Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

Indique com **V** se a afirmação é verdadeira, ou **F**, se falsa. Note que há a seguinte **PENALIZAÇÃO**: cada questão erradamente indicada corresponderá a uma diminuição de 0,2 ponto da nota do estudante obtida nesta seção. Caso não queira correr o risco de penalização, deixe a resposta em branco!

_____ Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.

_____ A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.

_____ Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .

_____ A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.

_____ Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.

_____ Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.

_____ Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.

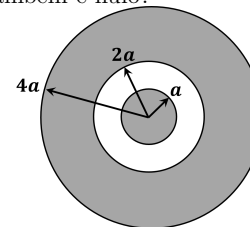
_____ A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.

_____ Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, no interior da espira.

_____ O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.

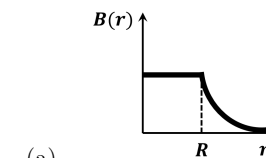
Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

1. Uma esfera condutora de raio a , em equilíbrio eletrostático, possui carga $-Q$. Uma casca esférica espessa, condutora, de raio interno $2a$ e raio externo $4a$, concêntrica à esfera, possui carga $2Q$, como mostra a figura abaixo. Considerando o potencial elétrico nulo no infinito, a que distância finita do centro da esfera o potencial também é nulo?

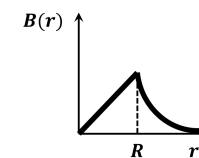


- (a) $\frac{3}{2}a$;
- (b) $\frac{4}{3}a$;
- (c) $\frac{5}{4}a$;
- (d) $\frac{6}{5}a$;
- (e) $\frac{7}{6}a$;
- (f) Não há nenhuma posição, a uma distância finita do centro da esfera, em que o potencial seja nulo.

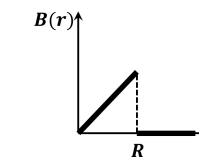
2. Um cilindro circular maciço, infinito e condutor, de raio R , possui uma densidade de corrente estacionária, dada por $\vec{J}(r) = kr\hat{z}$, onde k é uma constante positiva, r é a distância ao eixo do cilindro e \hat{z} é um vetor unitário cuja direção é paralela ao eixo do cilindro. Assinale a alternativa cujo gráfico melhor representa o comportamento do módulo do campo magnético B produzido pelo cilindro como função da distância r .



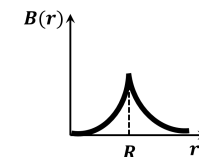
(a)



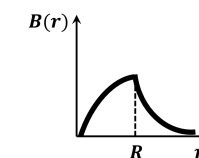
(b)



(c)



(d)



(e)

3. Um capacitor cilíndrico é formado por um cilindro condutor de raio a e comprimento L , com $L \gg a$, coaxial a uma casca cilíndrica espessa, também condutora, de raio interno $2a$, raio externo $4a$ e comprimento L . A capacitância desse capacitor é dada por:

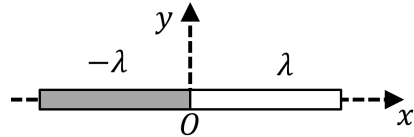
- (a) $2\pi\ln(4)\epsilon_0 L$,
- (b) $2\pi\ln(2)\epsilon_0 L$,
- (c) $2\pi\epsilon_0 L$,
- (d) $2\pi\epsilon_0 L/\ln(2)$,
- (e) $2\pi\epsilon_0 L/\ln(4)$,

4. Uma barra isolante fina é posicionada sobre o eixo Ox de um sistema de coordenadas, como mostrado na figura abaixo. o eixo Oy é perpendicular à barra e a origem O do sistema coincide com o seu ponto médio. A distribuição de cargas na barra é tal que sua metade à direita está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga λ ($\lambda > 0$) e sua metade à esquerda está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga $-\lambda$. Sobre essa situação, considere as seguintes afirmativas:

(I) Para todos os pontos sobre o eixo Oy , o campo elétrico aponta no sentido negativo de Ox .

(II) Para pontos sobre o eixo Oy , é possível determinar a intensidade do campo elétrico conhecendo apenas o potencial elétrico sobre esses pontos.

São corretas as afirmativas:



- (a) Apenas I.
- (b) Apenas II.
- (c) Nenhuma delas.
- (d) Todas elas.

5. Um anel circular isolante de raio R possui uma carga $q > 0$ uniformemente distribuída sobre seu comprimento. Uma partícula de carga $-q$ e massa m encontra-se inicialmente em repouso sobre o eixo do anel, em um ponto muito afastado de seu centro. Desprezando a ação da gravidade, os módulos da velocidade e da aceleração dessa partícula quando ela passa pelo centro do anel valem, respectivamente:

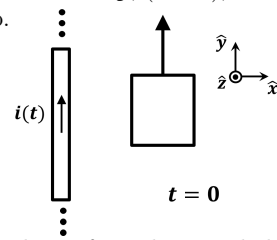
- (a) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
- (b) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
- (c) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
- (d) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
- (e) 0 e 0.

Seção 3. Questões discursivas (1×2,8 = 2,8 pontos)

Todas as respostas devem ter justificativas!

1.

6. Uma espira retangular, rígida, condutora e um fio retilíneo, infinito, pelo qual passa uma corrente quase-estacionária $i(t) = \alpha t$ ($\alpha > 0$) encontram-se num mesmo plano, $z = 0$. No instante $t = 0$ a espira possui velocidade $\vec{v} = v\hat{y}$, ($v > 0$), como mostrado na figura abaixo.



Desconsiderando o efeito da gravidade, qual gráfico melhor representa o movimento da espira logo após o instante $t = 0$?

- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e)
- (f) Nenhum dos gráficos anteriores.

[2,8 pontos]

Considere um fio infinito formado por dois trechos retilíneos semi-infinitos e perpendiculares entre si, ligados por um arco de circunferência de raio R (um quarto de circunferência). Por esse fio flui uma corrente estacionária I , como mostrado na Figura 1. Utilize o sistema de eixos cartesianos desenhado na Figura 1. Com essa escolha, um dos trechos retilíneos é paralelo ao eixo Oy , enquanto o outro é paralelo ao eixo Ox , e o arco de circunferência tem centro na origem O .

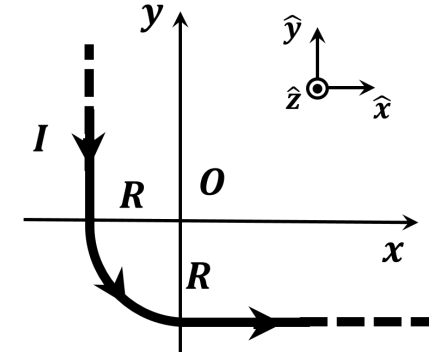


Figura 1: Questão discursiva 1.

(a) Determine a contribuição \vec{B}_a ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho do fio correspondente ao arco de circunferência. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_a . [1,0 ponto]

(b) Determine a contribuição \vec{B}_h ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho horizontal do fio. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_h . [1,2 ponto]

(c) Determine o campo magnético \vec{B} (módulo, direção e sentido) produzido pelo fio completo, na origem O do sistema de coordenadas. [0,6 ponto]

Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

- F Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.
- F A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.
- F Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .
- V A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.
- F Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.
- F Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.
- F Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.
- V A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.
- V Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{ext}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{ext}(t)$, no interior da espira.
- V O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.

Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (b) | 4. (a) |
| 2. (d) | 5. (a) |
| 3. (d) | 6. (b) |

Seção 3. Questões discursivas (1×2,8 = 2,8 pontos)

1. **Resolução:**

(a) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo arco de circunferência é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2},$$

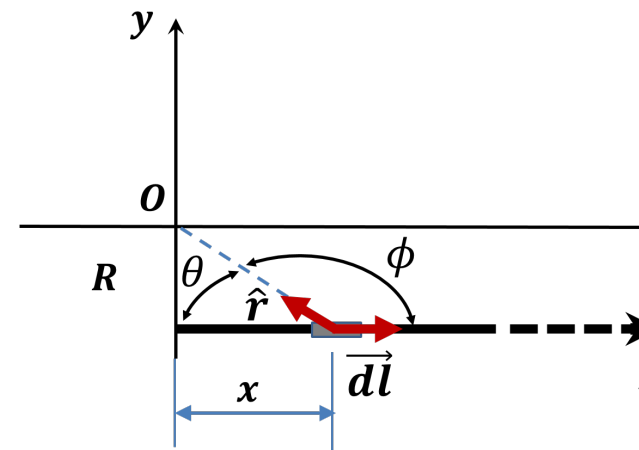
$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{|d\vec{l}|}{R^2} \hat{z},$$

$$\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \hat{z} \int_0^{\frac{\pi}{2}} R d\theta,$$

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{8R} \hat{z}.}$$

(b) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo segmento paralelo ao eixo x é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}.$$



De acordo com a Figura 2, temos:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I \hat{z}}{4\pi} \frac{\sin\phi}{(x^2 + R^2)} dx,$$

mas $\sin\phi = \sin(\theta) = R/\sqrt{x^2 + R^2}$, assim:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I R \hat{z}}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Pelo formulário fornecido:

$$\int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} = \left(\frac{1}{R^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right)_0^{\infty} = \frac{1}{R^2},$$

assim:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \hat{z}.}$$

(c) O campo \vec{B} de todo o fio na origem do sistema de coordenadas é dado por:

$$\vec{B} = 2\vec{B}_h + \vec{B}_a,$$

pois o campo produzido pelo segmento semi-infinito de fio paralelo ao eixo y é igual a \vec{B}_h , logo:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) \hat{z}.}$$



Formulário

$$\vec{F}_e = q\vec{E}, \quad \vec{E} = k_0 \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad \left(k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right), \quad \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}, \quad \vec{E} = -\vec{\nabla}V, \quad V = k_0 \frac{q}{r}, \quad U = k_0 \frac{qq'}{r},$$

$$C = Q/V, \quad U = \frac{1}{2}QV, \quad u_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2, \quad I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A}, \quad \vec{J} = nq\vec{v}, \quad \vec{J} = \sigma\vec{E}, \quad V = RI, \quad P = VI,$$

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad d\vec{F}_m = Id\vec{\ell} \times \vec{B}, \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0, \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0 Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{4\pi r^2},$$

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{enc}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}, \quad \epsilon_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{1}{a^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} + \text{const.}$$

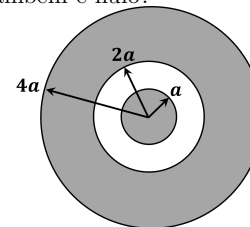
Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

Indique com **V** se a afirmação é verdadeira, ou **F**, se falsa. Note que há a seguinte **PENALIZAÇÃO**: cada questão erradamente indicada corresponderá a uma diminuição de 0,2 ponto da nota do estudante obtida nesta seção. Caso não queira correr o risco de penalização, deixe a resposta em branco!

- _____ A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.
- _____ Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.
- _____ Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, no interior da espira.
- _____ O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.
- _____ Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .
- _____ A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.
- _____ A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.
- _____ Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.
- _____ Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.
- _____ Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.

Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

1. Uma esfera condutora de raio a , em equilíbrio eletrostático, possui carga $-Q$. Uma casca esférica espessa, condutora, de raio interno $2a$ e raio externo $4a$, concêntrica à esfera, possui carga $2Q$, como mostra a figura abaixo. Considerando o potencial elétrico nulo no infinito, a que distância finita do centro da esfera o potencial também é nulo?

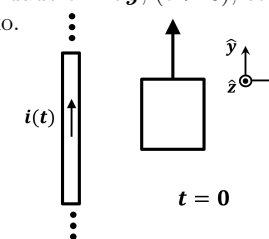


- (a) $\frac{3}{2}a$;
 (b) $\frac{4}{3}a$;
 (c) $\frac{5}{4}a$;
 (d) $\frac{6}{5}a$;
 (e) $\frac{7}{6}a$;
 (f) Não há nenhuma posição, a uma distância finita do centro da esfera, em que o potencial seja nulo.

2. Um anel circular isolante de raio R possui uma carga $q > 0$ uniformemente distribuída sobre seu comprimento. Uma partícula de carga $-q$ e massa m encontra-se inicialmente em repouso sobre o eixo do anel, em um ponto muito afastado de seu centro. Desprezando a ação da gravidade, os módulos da velocidade e da aceleração dessa partícula quando ela passa pelo centro do anel valem, respectivamente:

- (a) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
 (b) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
 (c) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
 (d) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
 (e) 0 e 0.

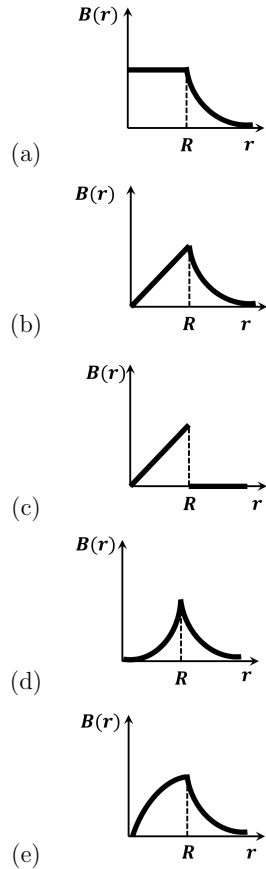
3. Uma espira retangular, rígida, condutora e um fio retilíneo, infinito, pelo qual passa uma corrente quase-estacionária $i(t) = \alpha t$ ($\alpha > 0$) encontram-se num mesmo plano, $z = 0$. No instante $t = 0$ a espira possui velocidade $\vec{v} = v\hat{y}$, ($v > 0$), como mostrado na figura abaixo.



Desconsiderando o efeito da gravidade, qual gráfico melhor representa o movimento da espira logo após o instante $t = 0$?

- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e)
- (f) Nenhum dos gráficos anteriores.

4. Um cilindro circular maciço, infinito e condutor, de raio R , possui uma densidade de corrente estacionária, dada por $\vec{J}(r) = kr\hat{z}$, onde k é uma constante positiva, r é a distância ao eixo do cilindro e \hat{z} é um vetor unitário cuja direção é paralela ao eixo do cilindro. Assinale a alternativa cujo gráfico melhor representa o comportamento do módulo do campo magnético B produzido pelo cilindro como função da distância r .



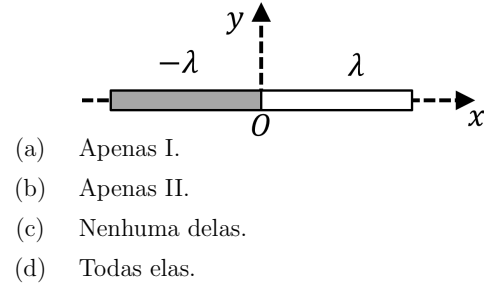
5. Um capacitor cilíndrico é formado por um cilindro condutor de raio a e comprimento L , com $L \gg a$, coaxial a uma casca cilíndrica espessa, também condutora, de raio interno $2a$, raio externo $4a$ e comprimento L . A capacitância desse capacitor é dada por:

- (a) $2\pi\ln(4)\epsilon_0L$,
- (b) $2\pi\ln(2)\epsilon_0L$,
- (c) $2\pi\epsilon_0L$,
- (d) $2\pi\epsilon_0L/\ln(2)$,
- (e) $2\pi\epsilon_0L/\ln(4)$,

6. Uma barra isolante fina é posicionada sobre o eixo Ox de um sistema de coordenadas, como mostrado na figura abaixo. o eixo Oy é perpendicular à barra e a origem O do sistema coincide com o seu ponto médio. A distribuição de cargas na barra é tal que sua metade à direita está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga λ ($\lambda > 0$) e sua metade à esquerda está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga $-\lambda$. Sobre essa situação, considere as seguintes afirmativas:

- (I) Para todos os pontos sobre o eixo Oy , o campo elétrico aponta no sentido negativo de Ox .
- (II) Para pontos sobre o eixo Oy , é possível determinar a intensidade do campo elétrico conhecendo apenas o potencial elétrico sobre esses pontos.

São corretas as afirmativas:



[2,8 pontos]

Considere um fio infinito formado por dois trechos retilíneos semi-infinitos e perpendiculares entre si, ligados por um arco de circunferência de raio R (um quarto de circunferência). Por esse fio flui uma corrente estacionária I , como mostrado na Figura 1. Utilize o sistema de eixos cartesianos desenhado na Figura 1. Com essa escolha, um dos trechos retilíneos é paralelo ao eixo Oy , enquanto o outro é paralelo ao eixo Ox , e o arco de circunferência tem centro na origem O .

(a) Determine a contribuição \vec{B}_a ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho do fio correspondente ao arco de circunferência. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_a . [1,0 ponto]

(b) Determine a contribuição \vec{B}_b ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho horizontal do fio. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_b . [1,2 ponto]

(c) Determine o campo magnético \vec{B} (módulo, direção e sentido) produzido pelo fio completo, na origem O do sistema de coordenadas. [0,6 ponto]

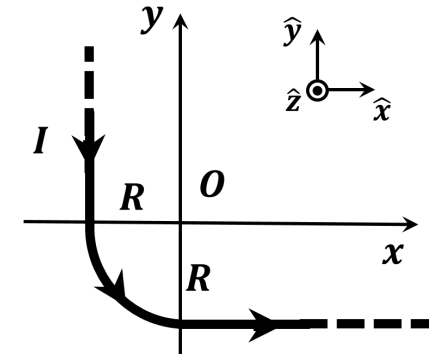


Figura 1: Questão discursiva 1.

Seção 3. Questões discursivas (1x2,8 = 2,8 pontos)

Todas as respostas devem ter justificativas!

1.

Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

- V A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.
- F Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.
- V Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{ext}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{ext}(t)$, no interior da espira.
- V O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.
- F Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .
- F A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.
- V A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.
- F Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.
- F Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.
- F Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.

Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (b) | 4. (d) |
| 2. (a) | 5. (d) |
| 3. (b) | 6. (a) |

Seção 3. Questões discursivas (1×2,8 = 2,8 pontos)

1. **Resolução:**

(a) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo arco de circunferência é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2},$$

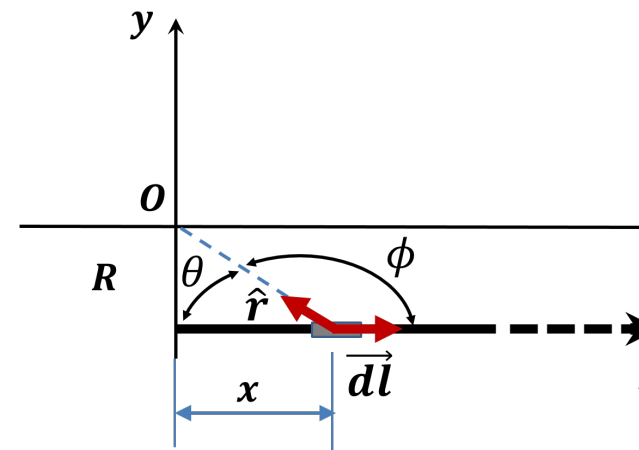
$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{|d\vec{l}|}{R^2} \hat{z},$$

$$\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \hat{z} \int_0^{\frac{\pi}{2}} R d\theta,$$

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{8R} \hat{z}.}$$

(b) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo segmento paralelo ao eixo x é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}.$$



De acordo com a Figura 2, temos:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I \hat{z}}{4\pi} \frac{\sin\phi}{(x^2 + R^2)} dx,$$

mas $\sin\phi = \sin(\theta) = R/\sqrt{x^2 + R^2}$, assim:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I R \hat{z}}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Pelo formulário fornecido:

$$\int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} = \left(\frac{1}{R^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right)_0^{\infty} = \frac{1}{R^2},$$

assim:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \hat{z}.}$$

(c) O campo \vec{B} de todo o fio na origem do sistema de coordenadas é dado por:

$$\vec{B} = 2\vec{B}_h + \vec{B}_a,$$

pois o campo produzido pelo segmento semi-infinito de fio paralelo ao eixo y é igual a \vec{B}_h , logo:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) \hat{z}.}$$



Formulário

$$\vec{F}_e = q\vec{E}, \quad \vec{E} = k_0 \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad \left(k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right), \quad \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}, \quad \vec{E} = -\vec{\nabla}V, \quad V = k_0 \frac{q}{r}, \quad U = k_0 \frac{qq'}{r}$$

$$C = Q/V, \quad U = \frac{1}{2}QV, \quad u_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2, \quad I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A}, \quad \vec{J} = nq\vec{v}, \quad \vec{J} = \sigma\vec{E}, \quad V = RI, \quad P = VI,$$

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad d\vec{F}_m = Id\vec{\ell} \times \vec{B}, \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0, \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0 Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{enc}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}, \quad \epsilon_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{1}{a^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} + \text{const.}$$

Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

Indique com **V** se a afirmação é verdadeira, ou **F**, se falsa. Note que há a seguinte **PENALIZAÇÃO**: cada questão erradamente indicada corresponderá a uma diminuição de 0,2 ponto da nota do estudante obtida nesta seção. Caso não queira correr o risco de penalização, deixe a resposta em branco!

_____ Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .

_____ Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{\text{ext}}(t)$, no interior da espira.

_____ O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.

_____ A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.

_____ A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.

_____ Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.

_____ Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.

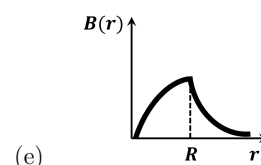
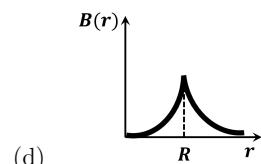
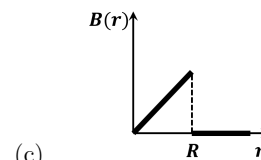
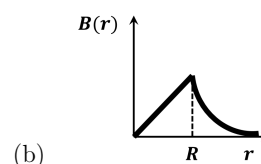
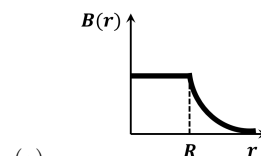
_____ Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.

_____ Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.

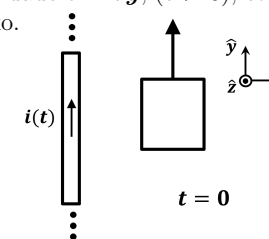
_____ A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.

Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

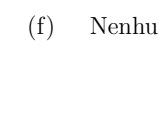
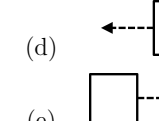
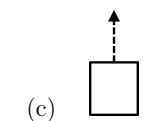
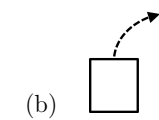
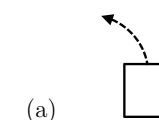
1. Um cilindro circular maciço, infinito e condutor, de raio R , possui uma densidade de corrente estacionária, dada por $\vec{J}(r) = kr\hat{z}$, onde k é uma constante positiva, r é a distância ao eixo do cilindro e \hat{z} é um vetor unitário cuja direção é paralela ao eixo do cilindro. Assinale a alternativa cujo gráfico melhor representa o comportamento do módulo do campo magnético B produzido pelo cilindro como função da distância r .



2. Uma espira retangular, rígida, condutora e um fio retilíneo, infinito, pelo qual passa uma corrente quase-estacionária $i(t) = \alpha t$ ($\alpha > 0$) encontram-se num mesmo plano, $z = 0$. No instante $t = 0$ a espira possui velocidade $\vec{v} = v\hat{y}$, ($v > 0$), como mostrado na figura abaixo.



Desconsiderando o efeito da gravidade, qual gráfico melhor representa o movimento da espira logo após o instante $t = 0$?



(f) Nenhum dos gráficos anteriores.

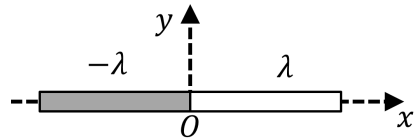
3. Um anel circular isolante de raio R possui uma carga $q > 0$ uniformemente distribuída sobre seu comprimento. Uma partícula de carga $-q$ e massa m encontra-se inicialmente em repouso sobre o eixo do anel, em um ponto muito afastado de seu centro. Desprezando a ação da gravidade, os módulos da velocidade e da aceleração dessa partícula quando ela passa pelo centro do anel valem, respectivamente:

- (a) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
- (b) $\frac{q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
- (c) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e 0;
- (d) $\frac{q}{2\sqrt{\pi\epsilon_0 m R}}$ e $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$;
- (e) 0 e 0.

4. Uma barra isolante fina é posicionada sobre o eixo Ox de um sistema de coordenadas, como mostrado na figura abaixo. o eixo Oy é perpendicular à barra e a origem O do sistema coincide com o seu ponto médio. A distribuição de cargas na barra é tal que sua metade à direita está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga λ ($\lambda > 0$) e sua metade à esquerda está uniformemente carregada com uma densidade linear de carga $-\lambda$. Sobre essa situação, considere as seguintes afirmativas:

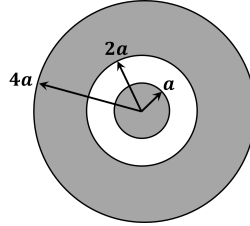
- (I) Para todos os pontos sobre o eixo Oy , o campo elétrico aponta no sentido negativo de Ox .
- (II) Para pontos sobre o eixo Oy , é possível determinar a intensidade do campo elétrico conhecendo apenas o potencial elétrico sobre esses pontos.

São corretas as afirmativas:



- (a) Apenas I.
- (b) Apenas II.
- (c) Nenhuma delas.
- (d) Todas elas.

5. Uma esfera condutora de raio a , em equilíbrio eletrostático, possui carga $-Q$. Uma casca esférica espessa, condutora, de raio interno $2a$ e raio externo $4a$, concêntrica à esfera, possui carga $2Q$, como mostra a figura abaixo. Considerando o potencial elétrico nulo no infinito, a que distância finita do centro da esfera o potencial também é nulo?



- (a) $\frac{3}{2}a$;
- (b) $\frac{4}{3}a$;
- (c) $\frac{5}{4}a$;
- (d) $\frac{6}{5}a$;
- (e) $\frac{7}{6}a$;
- (f) Não há nenhuma posição, a uma distância finita do centro da esfera, em que o potencial seja nulo.

6. Um capacitor cilíndrico é formado por um cilindro condutor de raio a e comprimento L , com $L \gg a$, coaxial a uma casca cilíndrica espessa, também condutora, de raio interno $2a$, raio externo $4a$ e comprimento L . A capacitância desse capacitor é dada por:

- (a) $2\pi\ln(4)\epsilon_0 L$,
- (b) $2\pi\ln(2)\epsilon_0 L$,
- (c) $2\pi\epsilon_0 L$,
- (d) $2\pi\epsilon_0 L/\ln(2)$,
- (e) $2\pi\epsilon_0 L/\ln(4)$,

[2,8 pontos]

Considere um fio infinito formado por dois trechos retilíneos semi-infinitos e perpendiculares entre si, ligados por um arco de circunferência de raio R (um quarto de circunferência). Por esse fio flui uma corrente estacionária I , como mostrado na Figura 1. Utilize o sistema de eixos cartesianos desenhado na Figura 1. Com essa escolha, um dos trechos retilíneos é paralelo ao eixo Oy , enquanto o outro é paralelo ao eixo Ox , e o arco de circunferência tem centro na origem O .

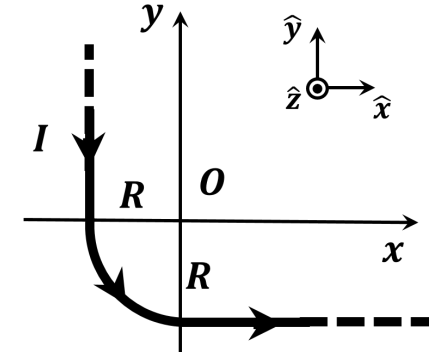


Figura 1: Questão discursiva 1.

(a) Determine a contribuição \vec{B}_a ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho do fio correspondente ao arco de circunferência. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_a . [1,0 ponto]

(b) Determine a contribuição \vec{B}_h ao campo magnético na origem O do sistema de coordenadas indicado na Figura 1, devido ao trecho horizontal do fio. Indique o módulo, a direção e o sentido de \vec{B}_h . [1,2 ponto]

(c) Determine o campo magnético \vec{B} (módulo, direção e sentido) produzido pelo fio completo, na origem O do sistema de coordenadas. [0,6 ponto]

Seção 3. Questões discursivas (1×2,8 = 2,8 pontos)

Todas as respostas devem ter justificativas!

1.

Seção 1. Falso ou Verdadeiro (10×0,3 = 3,0 pontos)

- F Considere uma placa plana, condutora, espessa, infinita, em equilíbrio eletrostático, e um ponto \mathcal{P} imediatamente fora da placa. O vetor campo elétrico em \mathcal{P} é perpendicular à superfície da placa e seu módulo é dado por $|\sigma|/(2\epsilon_0)$, sendo σ a densidade superficial de carga em um ponto da placa próximo a \mathcal{P} .
- V Considere uma espira condutora, circular e fixa, imersa em uma região de campo magnético externo uniforme e não estacionário $\vec{B}_{ext}(t)$, perpendicular ao plano da espira. Pela lei de Lenz, o campo magnético produzido pela corrente induzida no centro da espira pode ter o mesmo sentido de $\vec{B}_{ext}(t)$, no interior da espira.
- V O potencial eletrostático diminui ao longo de uma linha de campo eletrostático, quando se segue o sentido dessa linha.
- F A integral de linha, em um caminho fechado, do campo elétrico associado a um campo magnético não-estacionário é sempre nula.
- V A lei de Ampère é sempre válida para distribuições de correntes estacionárias.
- F Um fio condutor cilíndrico, circular, reto, com diâmetro de 1 mm e comprimento de 1 m terá uma resistência elétrica quatro vezes maior que um fio de mesmo material e forma, com diâmetro de 2 mm e comprimento de 2 m.
- F Considere uma superfície esférica de raio R e duas partículas com cargas q_1 e q_2 . A primeira está localizada no centro da superfície, enquanto a segunda, em um ponto a uma distância $3R$ do centro. De acordo com a lei de Gauss, o fluxo do campo eletrostático através dessa superfície é $(q_1 - q_2)/\epsilon_0$.
- F Um dipolo elétrico, situado em uma região de um campo eletrostático uniforme, sofrerá uma força na direção e sentido do campo se estiver alinhado com ele e uma força nula, se estiver perpendicular a ele.
- F Em um condutor em equilíbrio eletrostático, partículas carregadas em excesso se distribuem uniformemente em seu interior.
- V A força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada não pode alterar o módulo de sua velocidade, mesmo que o movimento da partícula não seja circular uniforme.

Seção 2. Múltipla escolha (6×0,7 = 4,2 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (d) | 4. (a) |
| 2. (b) | 5. (b) |
| 3. (a) | 6. (d) |

Seção 3. Questões discursivas (1×2,8 = 2,8 pontos)

1. **Resolução:**

(a) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo arco de circunferência é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2},$$

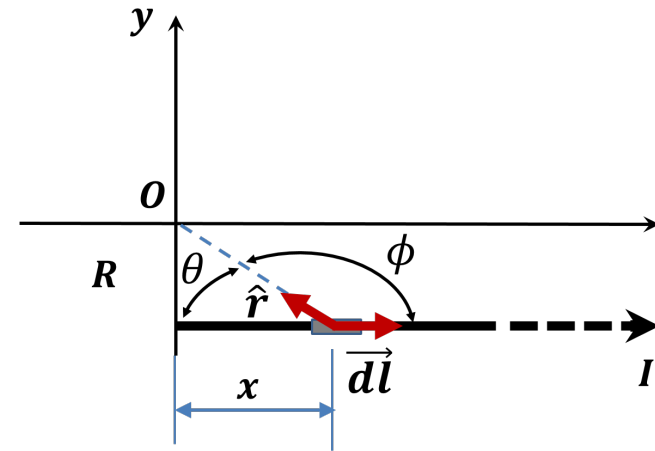
$$d\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{|d\vec{l}|}{R^2} \hat{z},$$

$$\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \hat{z} \int_0^{\frac{\pi}{2}} R d\theta,$$

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I}{8R} \hat{z}.}$$

(b) Uma diferencial do campo magnético produzido pelo segmento paralelo ao eixo x é dada pela lei de Biot-Savart:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}.$$



De acordo com a Figura 2, temos:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I \hat{z}}{4\pi} \frac{\text{sen}\phi}{(x^2 + R^2)} dx,$$

mas $\text{sen}\phi = \text{sen}(\theta) = R/\sqrt{x^2 + R^2}$, assim:

$$d\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I R \hat{z}}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Pelo formulário fornecido:

$$\int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} = \left(\frac{1}{R^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right)_0^{\infty} = \frac{1}{R^2},$$

assim:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B}_h = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \hat{z}.}$$

(c) O campo \vec{B} de todo o fio na origem do sistema de coordenadas é dado por:

$$\vec{B} = 2\vec{B}_h + \vec{B}_a,$$

pois o campo produzido pelo segmento semi-infinito de fio paralelo ao eixo y é igual a \vec{B}_h , logo:

$$\rightarrow \boxed{\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) \hat{z}.}$$