Estratégia Militares

EXTENSIVO 2023

RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS

MAGNETISMO III

Prof. Vinícius Fulconi

NÍVEL 3

SUMÁRIO

HORA DE PRATICAR!

1. LISTA DE EXERCÍCIOS

1. (ITA – 2006)

Um solenoide com núcleo de ar tem uma autoindutância L. Outro solenoide, também com núcleo de ar, tem a metade do número de espiras do primeiro solenoide, 0,15 do seu comprimento e 1,5 de sua seção transversal. A autoindutância do segundo solenoide é

a) 0,2 L

b) 0,5 L

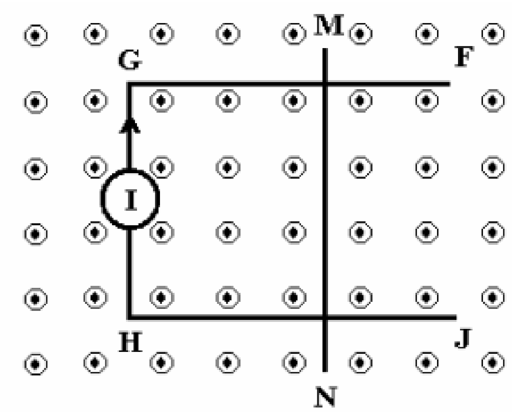
c) 2,5 L

d) 5,0 L

e) 20,0 L

2. (ITA – 2008)

A figura mostra um circuito formado por uma barra fixa FGHJ e uma barra móvel MN, imerso num campo magnético perpendicular ao plano desse circuito. Considerando desprezível o atrito entre as barras e também que o circuito seja alimentado por um gerador de corrente constante I, o que deve acontecer com a barra móvel MN?



a) Permanece no mesmo lugar.

b) Move-se para a direita com velocidade constante.

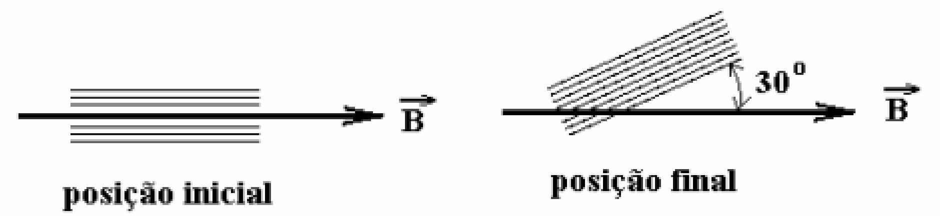
c) Move-se para a esquerda com velocidade constante.

d) Move-se para a direita com aceleração constante.

e) Move-se para a esquerda com aceleração constante.

3. (ITA – 2008)

A figura mostra uma bobina com 80 espiras de $0{,}5\ m^2$ de área e $40\ \Omega$ de resistência. Uma indução magnética de 4 teslas é inicialmente aplicada ao longo do plano da bobina. Esta é então girada de modo que seu plano perfaça um ângulo de 30° em relação à posição inicial. Nesse caso, qual o valor da carga elétrica que deve fluir pela bobina?



a) 0,025 C

b) 2,0 C

c) 0,25 C

d) 3,5 C

e) 0,50 C

4. (ITA – 2008)

Considere uma espira retangular de lados a e b percorrida por uma corrente I, cujo plano da espira é paralelo a um campo magnético B. Sabe-se que o módulo do torque sobre essa espira é dado por $\tau = I \cdot B \cdot a \cdot b$. Supondo que a mesma espira possa assumir qualquer outra forma geométrica, indique o valor máximo possível que se consegue para o torque.

a) $\frac{I \cdot B \cdot (a+b)^2}{\pi}$

b) $I \cdot B \cdot a \cdot b$

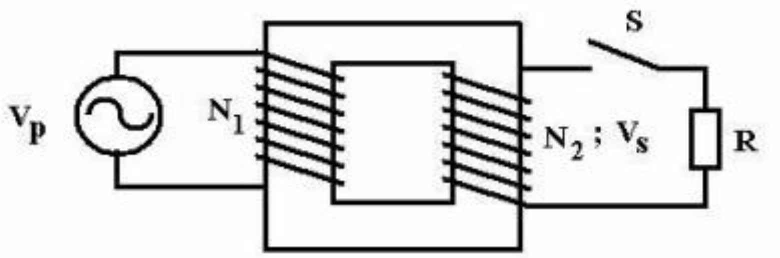
c) $2 \cdot I \cdot B \cdot a \cdot b$

d) $\frac{I \cdot B \cdot a \cdot b}{2\pi}$

e) $\frac{I \cdot B \cdot a \cdot b}{\pi}$

5. (ITA – 2008)

Considere o transformador da figura, onde V_p é a tensão no primário, V_S é a tensão no secundário, R um resistor, N_1 e N_2 são o número de espiras no primário e secundário, respectivamente, e S uma chave. Quando a chave é fechada, qual deve ser a corrente I_P no primário?



6. (ITA – 2009)

Uma haste metálica com $5{,}0\ kg$ de massa e resistência de $2{,}0\ \Omega$ desliza sem atrito sobre duas barras paralelas separadas de $1{,}0\ m$, interligadas por um condutor de resistência nula e apoiadas em um plano de $30°$ com a horizontal, conforme a figura. Tudo se encontra imerso num campo magnético $\vec{B}$, perpendicular ao plano do movimento, e as barras de apoio têm resistência e atrito desprezíveis. Considerando que após deslizar durante um certo tempo a velocidade da haste permanece constante em $2{,}0\ m/s$, assinale o valor do campo magnético.

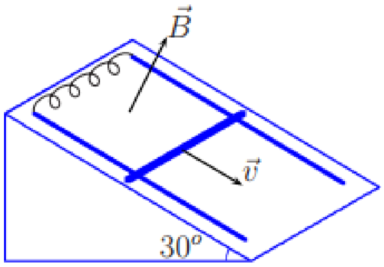
a) $25{,}0\ T$

b) $20{,}0\ T$

c) $15{,}0\ T$

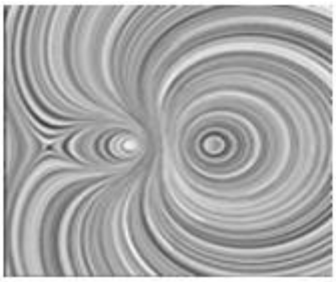
d) $10{,}0\ T$

e) $5{,}0\ T$



7. (ITA – 2009)

A figura representa o campo magnético de dois fios paralelos que conduzem correntes elétricas. A respeito da força magnética resultante no fio da esquerda, podemos afirmar que ela



a) atua para a direita e tem magnitude maior que a da força no fio da direita.

b) atua para a direita e tem magnitude igual à da força no fio da direita.

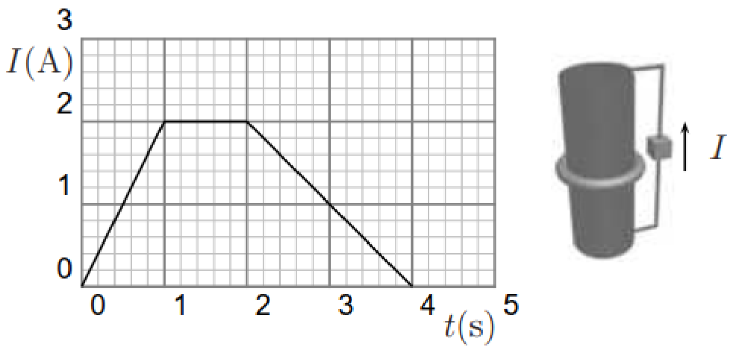
c) atua para a esquerda e tem magnitude maior que a da força no fio da direita.

d) atua para a esquerda e tem magnitude igual à da força no fio da direita.

e) atua para a esquerda e tem magnitude menor que a da força no fio da direita.

8. (ITA – 2009)

Um longo solenoide de comprimento L, raio a e com n espiras por unidade de comprimento, possui ao seu redor um anel de resistência R. O solenoide está ligado a uma fonte de corrente I, de acordo com a figura. Se a fonte variar conforme mostra o gráfico, calcule a expressão da corrente que flui pelo anel durante esse mesmo intervalo de tempo e apresente esse resultado em um novo gráfico.



9. (ITA – 2010)

Considere um aparato experimental composto de um solenoide com n voltas por unidade de comprimento, pelo qual passa uma corrente I, e uma espira retangular de largura l, resistência R e massa m presa por um de seus lados a uma corda inextensível, não condutora, a qual passa por uma polia de massa desprezível e sem atrito, conforme a figura. Se alguém puxar a corda com velocidade constante v, podemos afirmar que a força exercida por esta pessoa é igual a

a) $(\mu_0 nIl)^2 v/R + mg$ com a espira dentro do solenoide.

b) $(\mu_0 nIl)^2 v/R + mg$ com a espira saindo do solenoide.

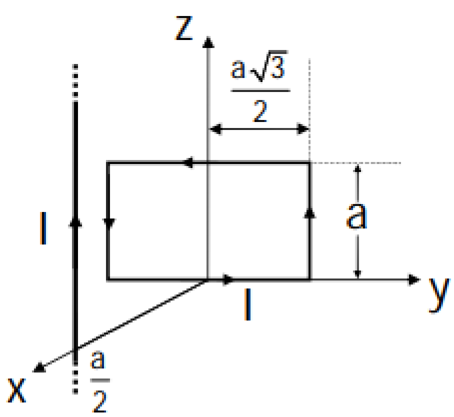
c) $(\mu_0 nIl)^2 v/R + mg$ com a espira entrando no solenoide.

d) $\mu_0 nI^2 l + mg$ com a espira dentro do solenoide.

e) mg e independe da posição da espira com relação ao solenoide.

10. (ITA – 2010)

Considere uma espira retangular de lados $\sqrt{3a}$ e a, respectivamente, em que circula uma corrente I, de acordo com a figura. A espira pode girar livremente em torno do eixo z. Nas proximidades da espira há um fio infinito, paralelo ao eixo z, que corta o plano xy n0 ponto $x = a/2$ e $y = 0$. Se pelo fio passa uma corrente de mesma magnitude I, calcule o momento resultante da força magnética sobre a espira em relação ao eixo z, quando esta encontra-se no plano yz.



11. (ITA – 2011)

Uma bobina de 100 espiras, com seção transversal de área de $400\ cm^2$ e resistência de $20\ \Omega$, está alinhada com seu plano perpendicular ao campo magnético da Terra, de $7{,}0 \cdot 10^{-4}\ T$ na linha do Equador. Quanta carga flui pela bobina enquanto ela é virada de 180° em relação ao campo magnético?

a) $1{,}4 \cdot 10^{-4}\ C$

b) $2{,}8 \cdot 10^{-4}\ C$

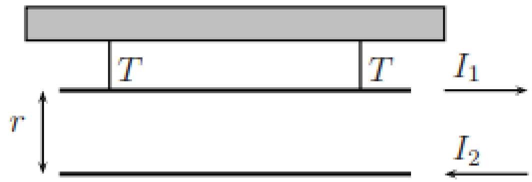
c) $1{,}4 \cdot 10^{-2}\ C$

d) $2{,}8 \cdot 10^{-2}\ C$

e) $1{,}4\ C$

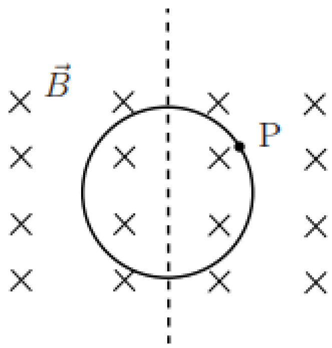
12. (ITA – 2012)

Considere dois fias paralelos, muito longos e finos, dispostos horizontalmente conforme mostra a figura. O fio de cima pesa $0{,}080\ N/m$, é percorrido por uma corrente $I_1 = 20\ A$ e se encontra dependurado por dois cabos. O fio de baixo encontra-se preso e é percorrido por uma corrente $I_2 = 40\ A$, em sentido oposto. Para qual distância r indicada na figura, a tensão T nos cabos será nula?



13. (ITA – 2012)

Considere uma espira com N voltas de área A, imersa num campo magnético B uniforme e constante, cujo sentido aponta para dentro da página. A espira está situada inicialmente no plano perpendicular ao campo e possui uma resistência R. Se a espira gira 180° em torno do eixo mostrado na figura, calcule a carga que passa pelo ponto P.



14. (ITA – 2013)

O circuito mostrado na figura é constituído por um gerador com f.e.m. $\mathcal{E}$ e um resistor de resistência R. Considere as seguintes afirmações, sendo a chave S fechada:

I - Logo após a chave S ser fechada haverá uma f.e.m. autoinduzida no circuito.

II - Após um tempo suficientemente grande cessará o fenômeno de autoindução no circuito.

III - A autoindução no circuito ocorrerá sempre que houver variação da corrente elétrica no tempo.

Assinale a alternativa verdadeira.

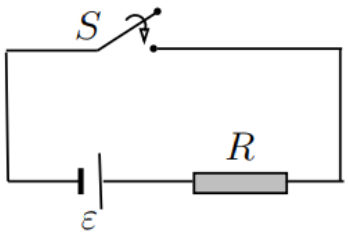
a) Apenas a I é correta.

b) Apenas a II é correta.

c) Apenas a III é correta.

d) Apenas a II e a III são corretas.

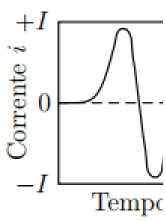
e) Todas são corretas.



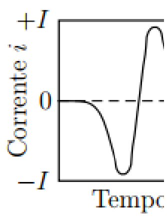
15. (ITA – 2014)

Considere um ímã cilíndrico vertical com o polo norte para cima, tendo um anel condutor posicionado acima do mesmo. Um agente externo imprime um movimento ao anel que, partindo do repouso, desce verticalmente em torno do ímã e atinge uma posição simétrica à original, iniciando, logo em seguida, um movimento ascendente e retornando à posição inicial em repouso. Considerando o eixo de simetria do anel sempre coincidente com o do ímã e sendo positiva a corrente no sentido anti-horário (visto por um observador de cima), o gráfico que melhor representa o comportamento da corrente induzida i no anel é

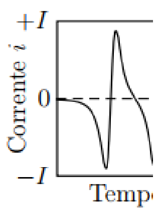
a)



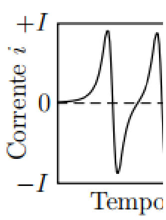
b)



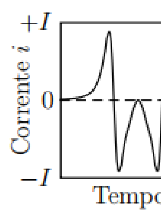
c)



d)



e)



16. (ITA – 2014)

Duas espiras verticais estacionárias com aproximadamente o mesmo diâmetro d, perpendiculares e isoladas eletricamente entre si, têm seu centro comum na origem de um sistema de coordenadas xyz, na qual também está centrado um ímã cilíndrico de comprimento$l \ll d$ e raio $r \ll l$. 0 ímã tem seu polo norte no semieixo x positivo e pode girar livremente em torno do eixo vertical 2, sendo mantido no plano xy. Numa das espiras, situada no plano yz, circula uma corrente $I_1 = i \cdot \cos{(\omega \cdot t)}$, cujo sentido positivo é o anti-horário visto do semieixo x positivo, e na outra circula uma corrente $I_2 = i \cdot sen(\omega \cdot t)$, cujo sentido positivo é o anti-horário visto do semieixo y positivo.

a) Desprezando a diferença de diâmetro entre as espiras, obtenha o campo magnético B na origem devido às correntes I_1 e I_2, na forma $B_x\hat{x} + B_y\hat{y}$.

b) Explique, por que, partindo do repouso em $t = 0$, o ímã adquire um movimento de rotação em torno de z. Em que sentido (horário ou anti-horário, visto a partir do semieixo z positivo) ocorre este giro?

c) Ao se aumentar gradativamente a frequência angular ω das correntes, nota-se que o ímã passa a girar cada vez mais rápido. Contudo, com o ímã inicialmente em repouso e se são repentinamente aplicadas correntes I_1 e I_2 de alta frequência angular, nota-se que o ímã praticamente não se move. Explique a(s) razão(ões).

17. (ITA – 2015)

Considere as seguintes proposições sobre campos magnéticos:

I. Em um ponto P no espaço, a intensidade do campo magnético produzido por uma carga puntiforme q que se movimenta com velocidade constante ao longo de uma reta só depende da distância entre P e a reta.

II. Ao se aproximar um ímã de uma porção de limalha de ferro, esta se movimenta porque o campo magnético do ímã realiza trabalho sobre ela.

III. Dois fios paralelos por onde passam correntes uniformes num mesmo sentido se atraem.

Então,

a) apenas I é correta.

b) apenas II é correta.

c) apenas III é correta.

d) todas são corretas.

e) todas são erradas.

18. (ITA – 2016)

Uma bobina metálica circular de raio r, com N espiras e resistência elétrica R, é atravessada por um campo de indução magnética de intensidade B. Se o raio da bobina é aumentado de uma fração $\Delta r \ll r$; num intervalo de tempo Δt, e desconsiderando as perdas, a máxima corrente induzida será de

a) $2\pi NBr\Delta r/(R\Delta t)$.

b) $2\pi NBr\Delta r^2/(R\Delta t)$.

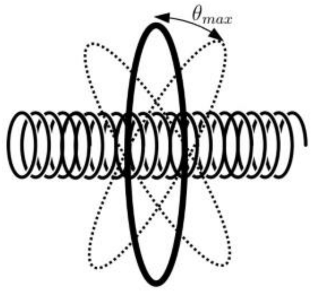
c) $2\pi NB^2r\Delta r/(R\Delta t)$.

d) $2\pi NBr\Delta r/(R^2\Delta t)$

e) $2\pi NBr\Delta r/(R\Delta t^2)$

19. (ITA – 2019)

A figura mostra uma espira circular, de raio a e resistência R, com centro situado sobre o eixo de um solenóide muito longo, com n voltas por unidade de comprimento e raio b ($b < a$). No instante inicial, $t = 0$, o eixo do solenóide encontra-se perpendicular ao plano da espira, que oscila segundo a expressão $\theta = \theta_{max} sen(\omega t)$, em que ω é a frequência angular do movimento. Se a corrente que passa pelo solenóide cresce linearmente com o tempo, conforme $I = Kt$, e sendo μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo, então a intensidade da corrente elétrica induzida na espira é



a) $\frac{\mu_0 n K \pi a^2}{R}$.

b) $\frac{\mu_0 n K \pi b^2}{R}$.

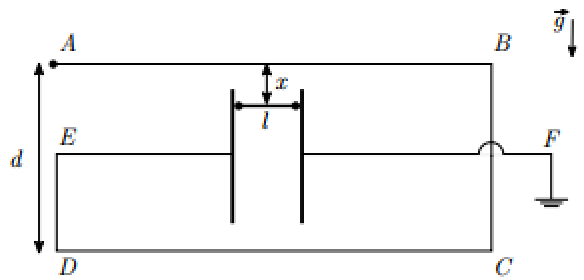
c) $\frac{\mu_0 n K \omega t \theta_{max} \pi b^2}{R} |sen(\omega t)|$.

d) $\frac{\mu_0 n K \omega t \theta_{max} \pi b^2}{R} |cos(\omega t)|$.

e) 0.

20. (ITA – 2019)

Um condutor muito longo $ABCDEF$ é interrompido num trecho, onde é ligado a guias metálicas pelas quais desliza sem atrito um condutor metálico rígido de comprimento $l = 10\ cm$ e massa $m = 5{,}0\ mg$, mantendo o contato elétrico e a passagem de corrente pelo sistema contido no plano vertical, conforme esquematizado na figura. O potencial elétrico no terminal A é $V_0 = 1{,}0\ V$ e o sistema como um todo possui resistência $R = 0{,}10\ \Omega$. Sendo a distância $d = 18\ cm$ e considerando apenas o efeito dos segmentos longos AB e CD sobre o condutor móvel, determine a distância de equilíbrio x indicada na figura.



GABARITO

2. GABARITO SEM COMENTÁRIOS

1. C

2. E

3. B

4. A

5. $I_p = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V_s}{R}$

6. E

7. D

8. ver gráfico

9. E

10. $\tau = \frac{\mu_0 I^2 a\sqrt{3}}{4\pi}$

11. B

12. $r = 2 \cdot 10^{-3}\ m$

13. $\Delta Q = \frac{2 \cdot N \cdot B \cdot A}{R}$

14. E

15. D

16. a) $\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{d}(\cos(\omega t)\,\hat{x} + sen(\omega t)\hat{y})$ **b) ver comentários c) ver comentários**

17. C

18. A

19. B

20. $x = 0,06\ m$ **ou** $x = 0,12\ m$

3. LISTA DE EXERCÍCIOS COMENTADA

1. (ITA – 2006)

Um solenoide com núcleo de ar tem uma autoindutância L. Outro solenoide, também com núcleo de ar, tem a metade do número de espiras do primeiro solenoide, 0,15 do seu comprimento e 1,5 de sua seção transversal. A autoindutância do segundo solenoide é

a) 0,2 L

b) 0,5 L

c) 2,5 L

d) 5,0 L

e) 20,0 L

Comentários:

A definição de indutância diz que:

$$N \cdot \Phi = N \cdot B \cdot A = L \cdot i$$

Mas o campo no solenoide é dado por:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot i$$

Logo, a indutância no solenoide é expressa por:

$$L = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{L} \cdot A$$

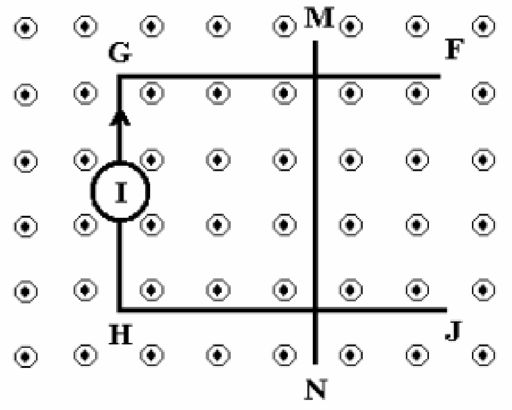
Para o segundo solenoide, temos:

$$L' = \mu_0 \cdot \frac{\left(\frac{N}{2}\right)^2}{0{,}15L} \cdot 1{,}5A = \frac{10}{4}\mu_0 \cdot \frac{N^2}{L} \cdot A \Rightarrow \boxed{L' = 2{,}5L}$$

Gabarito: C

2. (ITA – 2008)

A figura mostra um circuito formado por uma barra fixa FGHJ e uma barra móvel MN, imerso num campo magnético perpendicular ao plano desse



circuito. Considerando desprezível o atrito entre as barras e também que o circuito seja alimentado por um gerador de corrente constante I, o que deve acontecer com a barra móvel MN?

a) Permanece no mesmo lugar.

b) Move-se para a direita com velocidade constante.

c) Move-se para a esquerda com velocidade constante.

d) Move-se para a direita com aceleração constante.

e) Move-se para a esquerda com aceleração constante.

Comentários:

A força magnética que atua na barra é igual a $F_{mag} = B \cdot i \cdot l$ e seu sentido é para a esquerda, de acordo com a RME. Como a fonte do circuito é uma fonte de corrente, podemos considerar que a corrente no circuito é constante, independentemente da fem induzida. Logo, F_{mag} tem módulo constante.

Pela segunda lei de Newton:

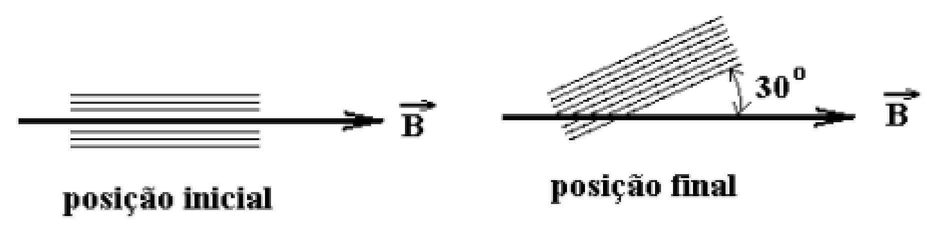
$$F_R = m \cdot a \Rightarrow F_{mag} = m \cdot a$$

Logo, a aceleração é constante e para a esquerda.

Gabarito: E

3. (ITA – 2008)

A figura mostra uma bobina com 80 espiras de $0{,}5\ m^2$ de área e $40\ \Omega$ de resistência. Uma indução magnética de 4 teslas é inicialmente aplicada ao longo do plano da bobina. Esta é então girada de modo que seu plano perfaça um ângulo de 30° em relação à posição inicial. Nesse caso, qual o valor da carga elétrica que deve fluir pela bobina?



a) $0{,}025\ C$

b) $2{,}0\ C$

c) $0{,}25\ C$

d) $3{,}5\ C$

e) $0{,}50\ C$

Comentários:

A corrente induzida que circula a espira pode ser relacionada com a fem induzida por:

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Mas, a fem induzida é calculada pela lei de Faraday:

$$|\mathcal{E}| = N \cdot \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} = R \cdot i \Rightarrow i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = N \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$$

Quando a espira está na posição inicial, nenhuma linha de indução fura espira, pois o vetor normal à superfície da espira forma um ângulo de 90° com as linhas de campo. Na situação final, as linhas de campo formam um ângulo de $60° = 90° - 30°$ com o vetor normal à superfície da espira. Neste caso, o fluxo magnético é dado por:

$$\Phi_{final} = B \cdot A \cdot \cos 60° \Rightarrow \Phi_{final} = 4 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{2} = 1\,Wb$$

Logo:

$$\Delta Q = \frac{N}{R} \cdot |\Delta\Phi| \Rightarrow \Delta Q = \frac{80}{40} \cdot (1 - 0) \Rightarrow \boxed{\Delta Q = 2\,C}$$

Gabarito: B

---

4. (ITA – 2008)

Considere uma espira retangular de lados a e b percorrida por uma corrente I, cujo plano da espira é paralelo a um campo magnético B. Sabe-se que o módulo do torque sobre essa espira é dado por $\tau = I \cdot B \cdot a \cdot b$. Supondo que a mesma espira possa assumir qualquer outra forma geométrica, indique o valor máximo possível que se consegue para o torque.

a) $\frac{I \cdot B \cdot (a+b)^2}{\pi}$

b) $I \cdot B \cdot a \cdot b$

c) $2 \cdot I \cdot B \cdot a \cdot b$

d) $\frac{I \cdot B \cdot a \cdot b}{2\pi}$

e) $\frac{I \cdot B \cdot a \cdot b}{\pi}$

Comentários:

O torque gerado em uma espira é dado por $\tau = I \cdot B \cdot A$, em que A é a área da espira. Dado que o perímetro é $2(a + b)$. Da matemática, sabemos que para um período fixo, a figura geométrica que maximiza a área é uma circunferência.

Então:

$$2(a + b) = 2\pi \cdot R \Rightarrow R = \frac{a + b}{\pi}$$

Logo, a área máxima é de:

$$A_{máx} = \pi R^2 = \pi \cdot \frac{(a+b)^2}{\pi^2} \Rightarrow A_{máx} = \frac{(a+b)^2}{\pi}$$

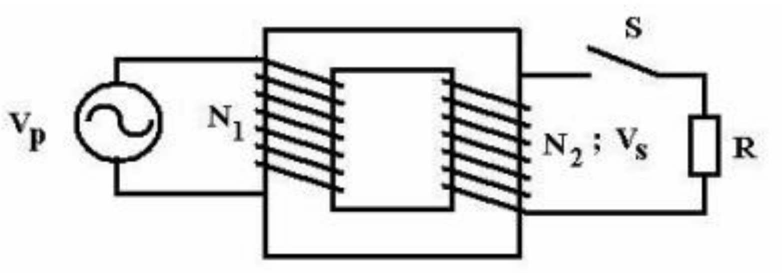
Portanto, o torque é máximo é expresso por:

$$\boxed{\tau_{máx} = I \cdot B \cdot \frac{(a+b)^2}{\pi}}$$

Gabarito: A

5. **(ITA – 2008)**

Considere o transformador da figura, onde V_p é a tensão no primário, V_s é a tensão no secundário, R um resistor, N_1 e N_2 são o número de espiras no primário e secundário, respectivamente, e S uma chave. Quando a chave é fechada, qual deve ser a corrente I_P no primário?



Comentários:

De acordo com a equação de relações dos transformadores, sabemos que:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_1}{N_2}$$

Supondo que o transformador é ideal, temos:

$$P_p = P_s \Rightarrow V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \Rightarrow I_p = \frac{V_s}{V_p} \cdot I_s \Rightarrow I_p = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_s$$

Mas a corrente no secundário pode ser escrita em função da tensão V_s. Então:

$$\boxed{I_p = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V_s}{R}}$$

Gabarito: $\boldsymbol{I_p = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V_s}{R}}$

6. **(ITA – 2009)**

Uma haste metálica com 5,0 kg de massa e resistência de 2,0 Ω desliza sem atrito sobre duas barras paralelas separadas de 1,0 m, interligadas por um condutor de resistência nula e apoiadas em um plano de 30° com a horizontal, conforme a figura. Tudo se encontra imerso num campo magnético $\vec{B}$, perpendicular ao plano do movimento, e as barras de apoio têm resistência e atrito desprezíveis. Considerando que após deslizar durante um certo tempo a velocidade da haste permanece constante em 2,0 m/s, assinale o valor do campo magnético.

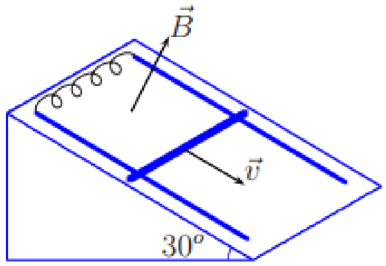
a) 25,0 T

b) 20,0 T

c) 15,0 T

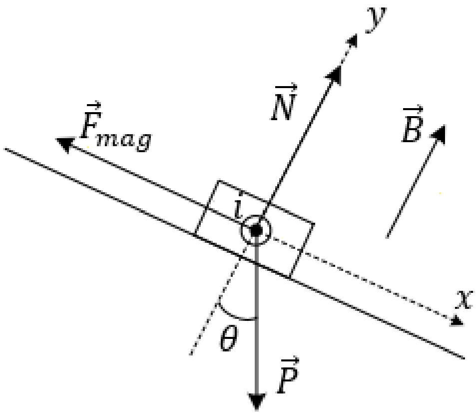
d) 10,0 T

e) 5,0 T



Comentários:

De acordo com a lei de Lenz, em uma vista por cima, nota-se que a corrente tem sentido horário. Dessa forma, isolando a barra e tomando uma vista lateral, temos:



Quando a velocidade se torna constante, temos:

$$F_{res,x} = 0$$

$$P \cdot sen(\theta) - F_{mag} = 0 \Rightarrow m \cdot g \cdot sen(\theta) = B \cdot i \cdot l$$

Mas a corrente é expressa por:

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{B \cdot l \cdot v}{R}$$

Portanto:

$$m \cdot g \cdot sen(\theta) = B \cdot \frac{B \cdot l \cdot v}{R} \cdot l \Rightarrow B = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot R \cdot sen(\theta)}{l^2 \cdot v}}$$

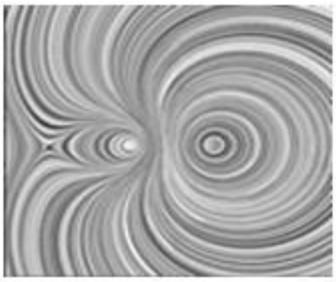
Substituindo valores:

$$B = \sqrt{\frac{5 \cdot 10 \cdot 2 \cdot sen(30°)}{1^2 \cdot 2}} \Rightarrow \boxed{B = 5{,}0\ T}$$

Gabarito: E

7. (ITA – 2009)

A figura representa o campo magnético de dois fios paralelos que conduzem correntes elétricas. A respeito da força magnética resultante no fio da esquerda, podemos afirmar que ela



a) atua para a direita e tem magnitude maior que a da força no fio da direita.

b) atua para a direita e tem magnitude igual à da força no fio da direita.

c) atua para a esquerda e tem magnitude maior que a da força no fio da direita.

d) atua para a esquerda e tem magnitude igual à da força no fio da direita.

e) atua para a esquerda e tem magnitude menor que a da força no fio da direita.

Comentários:

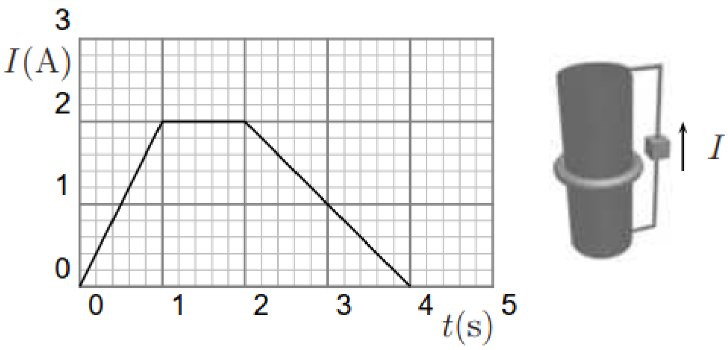
De acordo com a figura em questão, na região entre os fios podemos notar uma intensificação das linhas de força, ou seja, os campos devem estar no mesmo sentido. Para isso, as correntes nos fios devem ter sentidos opostos. Lembrando que o sentido do campo é dado pela regra da mão direita envolvente.

Como as correntes nos fios têm sentidos opostos, a força entre eles é repulsiva e os módulos das forças que agem nos dois fios são iguais (Lembre-se elas não formam um par ação/reação). Portanto, a força que age no fio da esquerda é para a esquerda.

Gabarito: D

8. (ITA – 2009)

Um longo solenoide de comprimento L, raio a e com n espiras por unidade de comprimento, possui ao seu redor um anel de resistência R. O solenoide está ligado a uma fonte de corrente I, de acordo com a figura. Se a fonte variar conforme mostra o gráfico, calcule a expressão da corrente que flui pelo anel durante esse mesmo intervalo de tempo e apresente esse resultado em um novo gráfico.



Comentários:

Para a determinação da corrente no anel, vamos utilizar a lei da indução de Faraday, aplicando a primeira lei de Ohm no anel:

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Lembrando que o fluxo magnético no solenoide é expresso por:

$$\Phi = B \cdot A = B \cdot \pi a^2 \Rightarrow \Phi = \mu \cdot n \cdot I \cdot \pi a^2$$

Portanto, a corrente induzida é dada por:

$$i = -\frac{1}{R} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow i = -\frac{\mu \cdot n \cdot \pi a^2}{R} \cdot \frac{dI}{dt}$$

Lembrando que o sinal negativo é devido à lei de Lenz e o termos $\frac{dI}{dt}$ é o coeficiente angular da reta. Assim, vamos dividir o gráfico da corrente em três partes:

a) entre 0 e 1 s:

Neste trecho, o coeficiente da reta no gráfico é dado por:

$$\frac{dI}{dt} = 2\ A/s$$

Portanto:

$$i = -\frac{2 \cdot \mu \cdot n \cdot \pi a^2}{R}$$

b) entre 1 s e 2 s:

Neste intervalo não há variação da corrente. Portanto, o fluxo magnético não varia e, portanto, não há corrente induzida.

c) entre 2 s e 4 s:

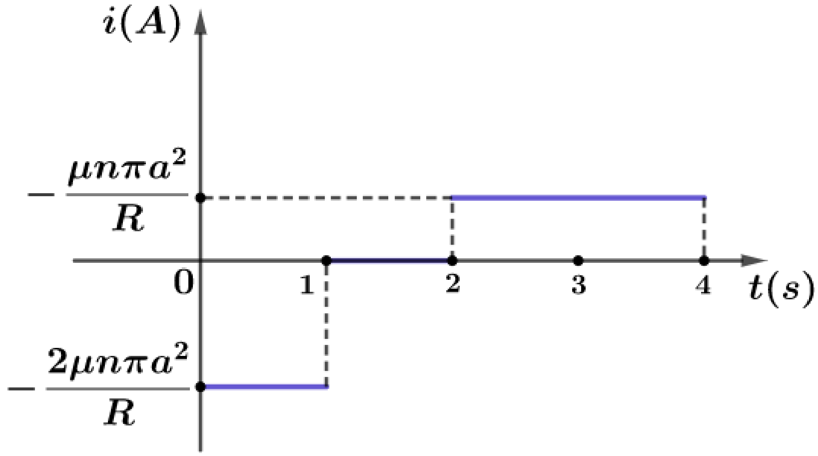
Neste intervalo, o coeficiente da reta no gráfico é dado por:

$$\frac{dI}{dt} = -1\ A/s$$

Logo, a corrente induzida é igual a:

$$i = +\frac{\mu \cdot n \cdot \pi a^2}{R}$$

Com isso, o gráfico da corrente induzida é dado por:



Como não foi arbitrado um sentido positivo para a corrente, podemos dizer que o gráfico com sinais opostos ao que colocamos como resposta também pode ser considerado.

Gabarito: ver gráfico

9. (ITA – 2010)

Considere um aparato experimental composto de um solenoide com n voltas por unidade de comprimento, pelo qual passa uma corrente I, e uma espira retangular de largura l, resistência R e massa m presa por um de seus lados a uma corda inextensível, não condutora, a qual passa por uma polia de massa desprezível e sem atrito, conforme a figura. Se alguém puxar a corda com velocidade constante v, podemos afirmar que a força exercida por esta pessoa é igual a

a) $(\mu_0 nIl)^2 v/R + mg$ com a espira dentro do solenoide.

b) $(\mu_0 nIl)^2 v/R + mg$ com a espira saindo do solenoide.

c) $(\mu_0 nIl)^2 v/R + mg$ com a espira entrando no solenoide.

d) $\mu_0 nI^2 l + mg$ com a espira dentro do solenoide.

e) mg e independe da posição da espira com relação ao solenoide.

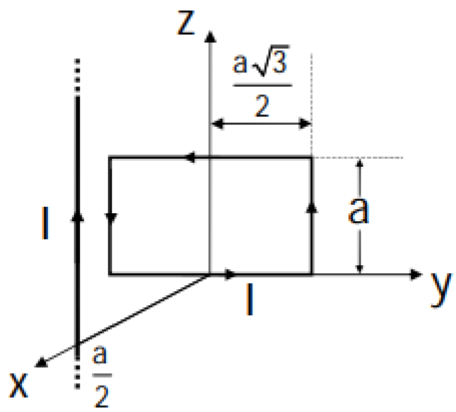
Comentários:

Se considerarmos o campo magnético no interior do solenoide como uniforme, seu módulo é igual $B = \mu_0 \cdot n \cdot I$ e sua direção é longitudinal no interior da espira. Dessa forma, a direção normal à espira é perpendicular à direção das linhas de indução magnética. Em outras palavras, o fluxo magnético através da espira é sempre igual a zero. Por isso, se a velocidade v é constante, a força resultante sobre a corda é nula. Então, a força realizada pelo operador deve ser igual ao peso da espira (mg). Trata-se de uma questão meramente teórica sobre fluxo magnético.

Gabarito: E

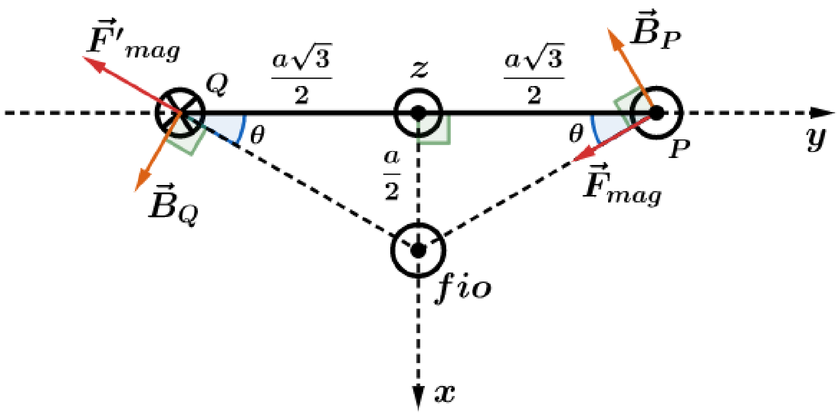
10. (ITA – 2010)

Considere uma espira retangular de lados $\sqrt{3a}$ e a, respectivamente, em que circula uma corrente I, de acordo com a figura. A espira pode girar livremente em torno do eixo z. Nas proximidades da espira há um fio infinito, paralelo ao eixo z, que corta o plano xy n0 ponto $x = a/2$ e $y = 0$. Se pelo fio passa uma corrente de mesma magnitude I, calcule o momento resultante da força magnética sobre a espira em relação ao eixo z, quando esta encontra-se no plano yz.



Comentários:

Vamos fazer uma análise dos campos gerados nos lados paralelos ao eixo z. Além disso, vamos escrever a força magnética entre o fio infinito e os lados da espira que são paralelos ao eixo z. Note que não há força magnética nos lados paralelos ao eixo y, pois estes lados são paralelos as linhas de indução geradas pelo fio infinito. Chamado os lados da espira que são paralelos ao eixo z de P e Q, temos a seguinte figura para um observador olhando de cima para baixo o plano xy:



Pela geometria do problema, temos que a distância do fio até os lados P e Q é igual a:

$$d^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a\sqrt{3}}{2}\right)^2 \Rightarrow d = a$$

A uma distância d, o campo gerado por um fio infinito com corrente é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Note que P e Q estão a uma mesma distância do fio infinito. Portanto:

$$B_P = B_Q = B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Logo, os módulos das forças magnéticas em cada fio são expressos por:

$$F = F_{mag} = F'_{mag} = B \cdot I \cdot a \Rightarrow F = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \cdot I \cdot a \Rightarrow F = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi}$$

Da geometria, temos:

$$sen(\theta) = \frac{\frac{a}{2}}{a} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta = 30°$$

Portanto, o momento da espira, em relação ao eixo z, é dado por:

$$\tau = F_{mag} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2} \cdot sen\,\theta + F'_{mag} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2} \cdot sen\,\theta \Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{\mu_0 I^2}{2\pi} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\boxed{\tau = \frac{\mu_0 I^2 a\sqrt{3}}{4\pi}}$$

Gabarito: $\boldsymbol{\tau = \frac{\mu_0 I^2 a\sqrt{3}}{4\pi}}$

---

11. (ITA – 2011)

Uma bobina de 100 espiras, com seção transversal de área de $400\ cm^2$ e resistência de $20\ \Omega$, está alinhada com seu plano perpendicular ao campo magnético da Terra, de $7{,}0 \cdot 10^{-4}\ T$ na linha do Equador. Quanta carga flui pela bobina enquanto ela é virada de 180° em relação ao campo magnético?

a) $1{,}4 \cdot 10^{-4}\ C$

b) $2{,}8 \cdot 10^{-4}\ C$

c) $1{,}4 \cdot 10^{-2}\ C$

d) $2{,}8 \cdot 10^{-2}\ C$

e) $1{,}4\ C$

Comentários:

O fluxo magnético na bobina é expresso por:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

A variação no fluxo é devido a variação no ângulo θ formado pela normal à espira e o vetor indução magnética. As duas situações, temos:

$$\begin{cases} \Phi_0 = B \cdot A \cdot \cos 0° = B \cdot A \\ \Phi_f = B \cdot A \cdot \cos 180° = -B \cdot A \end{cases} \Rightarrow \Delta\Phi = -2 \cdot B \cdot A$$

Pela lei de Faraday, a fem induzida é dada por:

$$\mathcal{E} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = R \cdot i = R \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$-N \cdot \left(\frac{-2 \cdot B \cdot A}{\Delta t}\right) = R \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta Q = \frac{2 \cdot N \cdot B \cdot A}{R \cdot \Delta t}$$

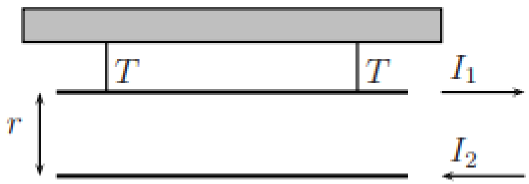
$$\Delta Q = \frac{2 \cdot 100 \cdot (7 \cdot 10^{-4}) \cdot (400 \cdot 10^{-4})}{20} \Rightarrow \boxed{\Delta Q = 2{,}8 \cdot 10^{-4}\ C}$$

Gabarito: B

---

12. (ITA – 2012)

Considere dois fias paralelos, muito longos e finos, dispostos horizontalmente conforme mostra a figura. O fio de cima pesa $0{,}080\ N/m$, é percorrido por uma corrente $I_1 = 20\ A$ e se encontra dependurado por dois cabos. O fio de baixo encontra-se preso e é percorrido por uma corrente $I_2 = 40\ A$, em sentido oposto. Para qual distância r indicada na figura, a tensão T nos cabos será nula?



Comentários:

Para que a tensão nos cabos seja nula, o peso do fio 1 deve ter o mesmo módulo da força magnética de repulsão entre os fios, pois eles são percorridos por corrente de sentidos opostos. Então:

$$F_{mag} = P_1 \Rightarrow B_2 \cdot i_1 \cdot L = \lambda \cdot L \Rightarrow \frac{\mu_0 \cdot i_2}{2\pi r} \cdot i_1 = \lambda \Rightarrow r = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2}{2\pi \cdot \lambda}$$

Substituindo valores, temos:

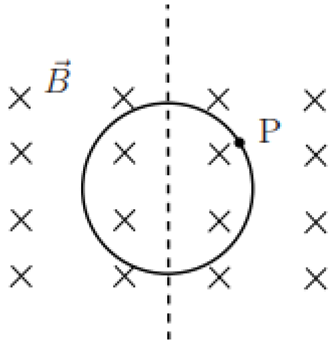
$$r = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 40}{2\pi \cdot 0{,}08} \Rightarrow \boxed{r = 2 \cdot 10^{-3}\ m}$$

Gabarito: $r = 2 \cdot 10^{-3}\ m$

---

13. (ITA – 2012)

Considere uma espira com N voltas de área A, imersa num campo magnético B uniforme e constante, cujo sentido aponta para dentro da página. A espira está situada inicialmente no plano perpendicular ao campo e possui uma resistência R. Se a espira gira 180° em torno do eixo mostrado na figura, calcule a carga que passa pelo ponto P.



Comentários:

O fluxo magnético na espira é dado por:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

Em que θ é o ângulo entre o vetor normal à espira e o vetor indução magnética. Portanto, quando a espira gira de 180°, a variação do fluxo magnético é expressa por:

$$\begin{cases} \Phi_i = B \cdot A \\ \Phi_f = -B \cdot A \end{cases} \Rightarrow \Delta\Phi = -2 \cdot B \cdot A$$

Pela lei de Faraday para N espiras, temos:

$$\mathcal{E} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \mathcal{E} = -N \cdot \frac{-2 \cdot B \cdot A}{\Delta t} \Rightarrow R \cdot i = \frac{N \cdot 2 \cdot B \cdot A}{\Delta t} \Rightarrow i \cdot \Delta t = \frac{N \cdot 2 \cdot B \cdot A}{R}$$

$$\boxed{\Delta Q = \frac{2 \cdot N \cdot B \cdot A}{R}}$$

Gabarito: $\boldsymbol{\Delta Q = \frac{2 \cdot N \cdot B \cdot A}{R}}$

---

14. (ITA – 2013)

O circuito mostrado na figura é constituído por um gerador com f.e.m. $\mathcal{E}$ e um resistor de resistência R. Considere as seguintes afirmações, sendo a chave S fechada:

I - Logo após a chave S ser fechada haverá uma f.e.m. autoinduzida no circuito.

II - Após um tempo suficientemente grande cessará o fenômeno de autoindução no circuito.

III - A autoindução no circuito ocorrerá sempre que houver variação da corrente elétrica no tempo.

Assinale a alternativa verdadeira.

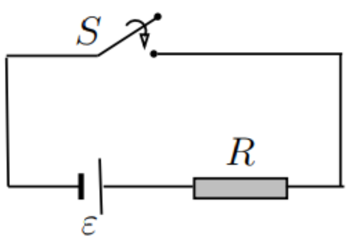
a) Apenas a I é correta.

b) Apenas a II é correta.

c) Apenas a III é correta.

d) Apenas a II e a III são corretas.

e) Todas são corretas.



Comentários:

I. Correta.

Podemos considerar o circuito formado por uma espira retangular percorrida por corrente, logo após o fechamento da chave. Embora a indutância ser baixa, haverá uma fem induzida.

II. Correta.

Ao estabilizar o valor da corrente elétrica (corrente elétrica constante), cessa o fluxo magnético pela espira retangular e, com isso, cessa a fem induzida.

III. Correta.

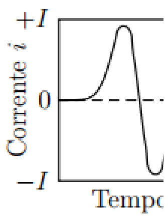
Como visto em teoria, a fem autoinduzida é dada por $\mathcal{E}_m = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$. Então, sempre que houver variação da corrente, haverá uma fem autoinduzida.

Gabarito: E

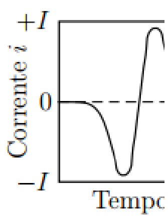
15. (ITA – 2014)

Considere um ímã cilíndrico vertical com o polo norte para cima, tendo um anel condutor posicionado acima do mesmo. Um agente externo imprime um movimento ao anel que, partindo do repouso, desce verticalmente em torno do ímã e atinge uma posição simétrica à original, iniciando, logo em seguida, um movimento ascendente e retornando à posição inicial em repouso. Considerando o eixo de simetria do anel sempre coincidente com o do ímã e sendo positiva a corrente no sentido anti-horário (visto por um observador de cima), o gráfico que melhor representa o comportamento da corrente induzida i no anel é

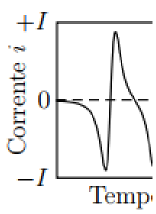
a)



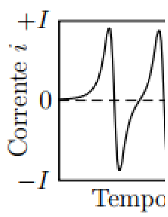
b)



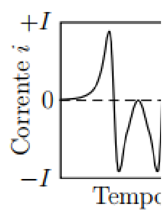
c)



d)



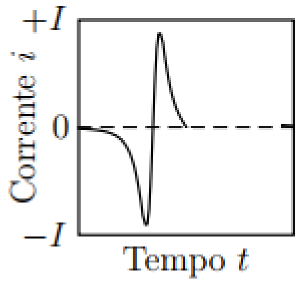
e)



Comentários:

Quando o anel começa seu movimento de descida, as linhas de campo estão saindo do plano da espira para um observador acima do ímã, olhando de cima para baixo. Portanto, pela lei de Lenz, a corrente induzida deve estar no sentido horário para anular a variação do fluxo na espira. Então, inicialmente a corrente tem valor negativo, e sua intensidade vai aumentando, pois quanto mais próximo ao polo norte do ímã, mais intensas vão ficando as linhas de campo.

Entretanto, após a espira passar pelo polo sul do ímã, a linhas de campo do ímã terão sentido saindo da espira (para o observador) e cada vez que o ímã se afasta do polo sul, pela lei de Lenz, a corrente induzida deve ter sentido a compensar essa diminuição das linhas de campo na espira. Portanto, a corrente passa a ter sentido anti-horário. Assim, até chegar na posição simetricamente oposta à inicial, temos a seguinte variação da corrente induzida pelo tempo.



À medida que a espira volta da posição simetricamente oposta para a de início, o gráfico deve se repetir, de acordo com a lei de Lenz.

Gabarito: D

16. (ITA – 2014)

Duas espiras verticais estacionárias com aproximadamente o mesmo diâmetro d, perpendiculares e isoladas eletricamente entre si, têm seu centro comum na origem de um sistema de coordenadas xyz, na qual também está centrado um ímã cilíndrico de comprimento$l \ll d$ e raio $r \ll l$. 0 ímã tem seu polo norte no semieixo x positivo e pode girar livremente em torno do eixo vertical 2, sendo mantido no plano xy. Numa das espiras, situada no plano yz, circula uma corrente $I_1 = i \cdot \cos(\omega \cdot t)$, cujo sentido positivo é o anti-horário visto do semieixo x positivo, e na outra circula uma corrente $I_2 = i \cdot sen(\omega \cdot t)$, cujo sentido positivo é o anti-horário visto do semieixo y positivo.

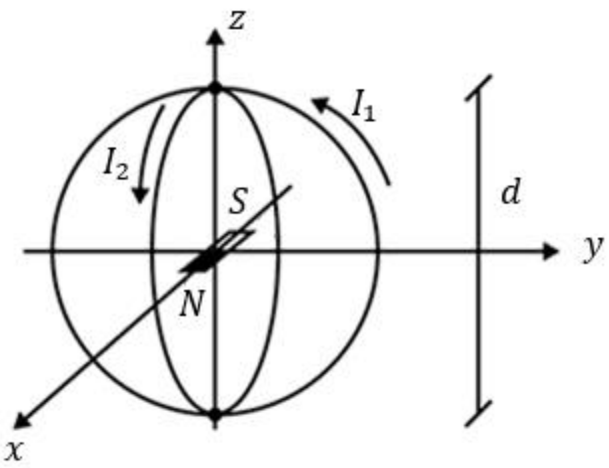
a) Desprezando a diferença de diâmetro entre as espiras, obtenha o campo magnético B na origem devido às correntes I_1 e I_2, na forma $B_x\hat{x} + B_y\hat{y}$.

b) Explique, por que, partindo do repouso em $t = 0$, o ímã adquire um movimento de rotação em torno de z. Em que sentido (horário ou anti-horário, visto a partir do semieixo z positivo) ocorre este giro?

c) Ao se aumentar gradativamente a frequência angular ω das correntes, nota-se que o ímã passa a girar cada vez mais rápido. Contudo, com o ímã inicialmente em repouso e se são repentinamente aplicadas correntes I_1 e I_2 de alta frequência angular, nota-se que o ímã praticamente não se move. Explique a(s) razão(ões).

Comentários:

Segundo o enunciado, temos a seguinte distribuição espacial das espiras e do ímã:



a)

O campo magnético resultante no centro da espira, em função do diâmetro, é dado por:

$$\vec{B} = B_x\hat{x} + B_y\hat{y} \Rightarrow \vec{B} = \frac{\mu_0 I_1}{d}\hat{x} + \frac{\mu_0 I_2}{d}\hat{y}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{d}(\cos(\omega t)\,\hat{x} + sen(\omega t)\hat{y})$$

b)

Para $t > 0$, o campo magnético no centro está girando no sentido anti-horário, para um observador situado na direção positiva de z. Assim, o dipolo magnético (o ímã) tende sempre a se alinha com o campo. Portanto, o ímã gira no sentido anti-horário.

c)

A taxa de variação do campo no tempo é expressa por:

$$\frac{d\vec{B}}{dt} = \frac{\mu_0 i}{d}(-sen(\omega t)\cdot\omega\,\hat{x} + \cos(\omega t)\cdot\omega\,\hat{y}) = \frac{\mu_0 i}{d}\cdot\omega\cdot(-sen(\omega t)\hat{x} + \cos(\omega t)\,\hat{y})$$

Diante deste resultado, vemos que a taxa de variação do campo no tempo é proporcional a ω. Para valores altos de ω, o campo magnético gira rapidamente, mas o ímã não consegue acompanhar devido a sua inércia. Por isso, o ímã praticamente não se movimenta.

Gabarito: a) $\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{d}(\cos(\omega t)\,\hat{x} + sen(\omega t)\hat{y})$ b) ver comentários c) ver comentários

17. (ITA – 2015)

Considere as seguintes proposições sobre campos magnéticos:

I. Em um ponto P no espaço, a intensidade do campo magnético produzido por uma carga puntiforme q que se movimenta com velocidade constante ao longo de uma reta só depende da distância entre P e a reta.

II. Ao se aproximar um ímã de uma porção de limalha de ferro, esta se movimenta porque o campo magnético do ímã realiza trabalho sobre ela.

III. Dois fios paralelos por onde passam correntes uniformes num mesmo sentido se atraem.

Então,

a) apenas I é correta.

b) apenas II é correta.

c) apenas III é correta.

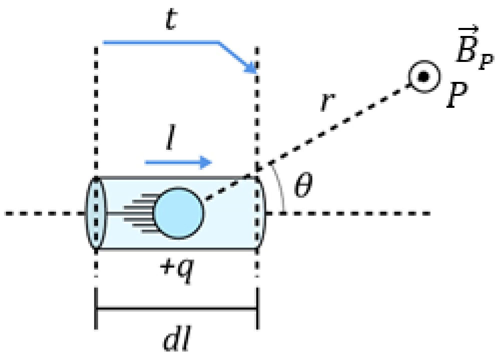
d) todas são corretas.

e) todas são erradas.

Comentários:

I. Incorreta.

Resolvemos este problema na aula 24. De acordo com o enunciado, temos:



Vamos dizer que a carga se move no interior de um elemento imaginário, de tal forma que o pequeno condutor tenha uma corrente I e, com isso, podemos aplicar a Lei de Briot-Savart-Laplace.

Pela regra da mão direita (RMD), vemos que $\vec{B}_P$ se estabelece em P saindo do plano da folha e seu módulo é calculado por:

$$B_P = \frac{\mu_0 I sen(\theta) dl}{4\pi r^2}$$

Pela definição de corrente, temos que:

$$I = \frac{|q|}{\Delta t}$$

Logo:

$$B_P = \frac{\mu_0 \frac{|q|}{\Delta t} sen(\theta) dl}{4\pi r^2} \Rightarrow B_P = \frac{\mu_0 |q| sen(\theta)}{4\pi r^2} \frac{dl}{\Delta t}$$

Mas $\frac{dl}{\Delta t} = v$, então:

$$\boxed{B_P = \frac{\mu_0 |q| v sen(\theta)}{4\pi r^2}}$$

Note que a intensidade da indução magnética depende de r e da inclinação θ que está relacionada com a distância do ponto P a reta.

II. Incorreta.

Por definição, a força magnética no realiza trabalho sobre monopolos elétricos. Os dipolos induzidos na limalha são originados por microcorrentes, elétrons em movimento, portanto, não haverá realização de trabalho. Observação: a expressão "campo magnético do ímã realiza trabalho" é uma metonímia, já que se refere à força magnética. Alguns autores gostam de utilizar esta linguagem.

III. Correta.

Como visto em teoria, dois fios paralelos são atraídos quando percorridos por correntes em mesmo sentido.

Gabarito: C

18. (ITA – 2016)

Uma bobina metálica circular de raio r, com N espiras e resistência elétrica R, é atravessada por um campo de indução magnética de intensidade B. Se o raio da bobina é aumentado de uma fração $\Delta r \ll r$; num intervalo de tempo Δt, e desconsiderando as perdas, a máxima corrente induzida será de

a) $2\pi NBr\Delta r/(R\Delta t)$.

b) $2\pi NBr\Delta r^2/(R\Delta t)$.

c) $2\pi NB^2r\Delta r/(R\Delta t)$.

d) $2\pi NBr\Delta r/(R^2\Delta t)$

e) $2\pi NBr\Delta r/(R\Delta t^2)$

Comentários:

Pela lei de Faraday, podemos determinar a fem induzida:

$$|\mathcal{E}| = N \cdot \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow |\mathcal{E}| = N \cdot \frac{|\mathrm{B} \cdot \Delta \mathrm{A}|}{\Delta t} \Rightarrow |\mathcal{E}| = N \cdot B \cdot \frac{\pi(r+\Delta r)^2 - \pi r^2}{\Delta t}$$

$$|\mathcal{E}| = N \cdot B \cdot \pi \frac{(r+\Delta r - r)(r + \Delta r + r)}{\Delta t} \Rightarrow |\mathcal{E}| = N \cdot B \cdot \pi \frac{\Delta r(2r+\Delta r)}{\Delta t}$$

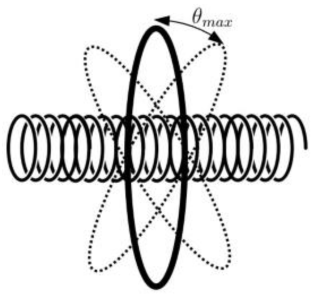
Como $\Delta r \ll r$, então:

$$|\mathcal{E}| = \frac{N \cdot B \cdot 2\pi \cdot r \cdot \Delta r}{\Delta t}$$

Gabarito: A

19. (ITA – 2019)

A figura mostra uma espira circular, de raio a e resistência R, com centro situado sobre o eixo de um solenóide muito longo, com n voltas por unidade de comprimento e raio b ($b < a$). No instante inicial, $t = 0$, o eixo do solenóide encontra-se perpendicular ao plano da espira, que oscila segundo a expressão $\theta = \theta_{max} sen(\omega t)$, em que ω é a frequência angular do movimento. Se a corrente que passa pelo solenóide cresce linearmente com o tempo, conforme $I = Kt$, e sendo μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo, então a intensidade da corrente elétrica induzida na espira é



a) $\frac{\mu_0 n K \pi a^2}{R}$.

b) $\frac{\mu_0 n K \pi b^2}{R}$.

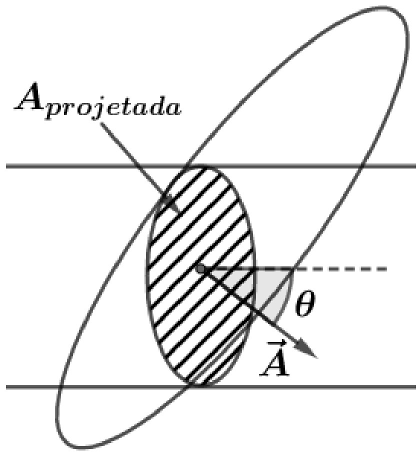
c) $\frac{\mu_0 n K \omega t \theta_{max} \pi b^2}{R} |sen(\omega t)|$.

d) $\frac{\mu_0 n K \omega t \theta_{max} \pi b^2}{R} |cos(\omega t)|$.

e) 0.

Comentários:

Quando a espira começa a oscilar, temos a seguinte configuração:



O fluxo do campo magnético é dado por:

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B \cdot A \cdot \cos\theta = \mu_0 \cdot n \cdot i(t) \cdot A_{projetada}$$

Em que $A \cdot \cos\theta = A_{projetada} = \pi b^2$. Logo, o fluxo do campo é dado por:

$$\boxed{\phi = \mu_0 \cdot n \cdot Kt \cdot \pi b^2}$$

Pela lei de Faraday, o módulo da tensão é dado por:

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi}{dt} = \mu_0 \cdot n \cdot K \cdot \pi b^2$$

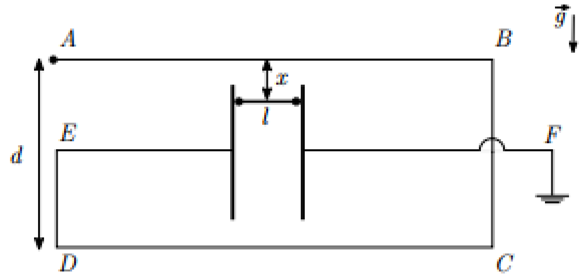
Então, pela primeira Lei de Ohm, a corrente elétrica induzida na espira é de:

$$|\varepsilon| = R \cdot i_{ind} \Rightarrow \mu_0 \cdot n \cdot K \cdot \pi b^2 = R \cdot i_{ind} \Rightarrow \boxed{i_{ind} = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot K \cdot \pi b^2}{R}}$$

Gabarito: B

20. (ITA – 2019)

Um condutor muito longo $ABCDEF$ é interrompido num trecho, onde é ligado a guias metálicas pelas quais desliza sem atrito um condutor metálico rígido de comprimento $l = 10\ cm$ e massa $m = 5{,}0\ mg$, mantendo o contato elétrico e a passagem de corrente pelo sistema contido no plano vertical, conforme esquematizado na figura. O potencial elétrico no terminal A é $V_0 = 1{,}0\ V$ e o sistema como um todo possui resistência $R = 0{,}10\ \Omega$. Sendo a distância $d = 18\ cm$ e considerando apenas o efeito dos segmentos longos AB e CD sobre o condutor móvel, determine a distância de equilíbrio x indicada na figura.

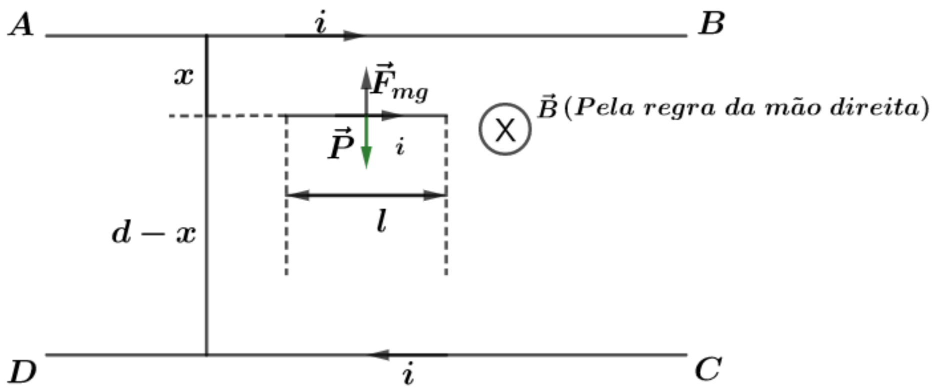


Comentários:

Inicialmente, devemos encontrar a corrente que atravessa todo o conduto $ABCDEF$:

$$i = \frac{V_0}{R} = \frac{1{,}0}{0{,}10} = 10\ A$$

Com isso, temos o seguinte esquema das correntes e as forças magnéticas nos fios:



Admitindo que o fio é muito longo, para o equilíbrio das forças devemos ter que:

$$P = F_{mg} \Rightarrow m \cdot g = B \cdot i \cdot l$$

$$m \cdot g = \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi x} + \frac{\mu_0 i}{2\pi(d-x)}\right) \cdot i \cdot l \Rightarrow m \cdot g = \frac{\mu_0 i}{2\pi}\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{d-x}\right) \cdot i \cdot l$$

Substituindo valores, vem:

$$5 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = \frac{4\pi 10^{-7}}{2\pi} \cdot 10 \cdot \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{0{,}18 - x}\right) \cdot 10 \cdot 0{,}1 \Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{0{,}18 - x} = 25$$

$$\boxed{x = 0{,}06\ m \text{ ou } x = 0{,}12\ m}$$

Gabarito: $\boldsymbol{x = 0,06\ m}$ **ou** $\boldsymbol{x = 0,12\ m}$

@prof.maldonado