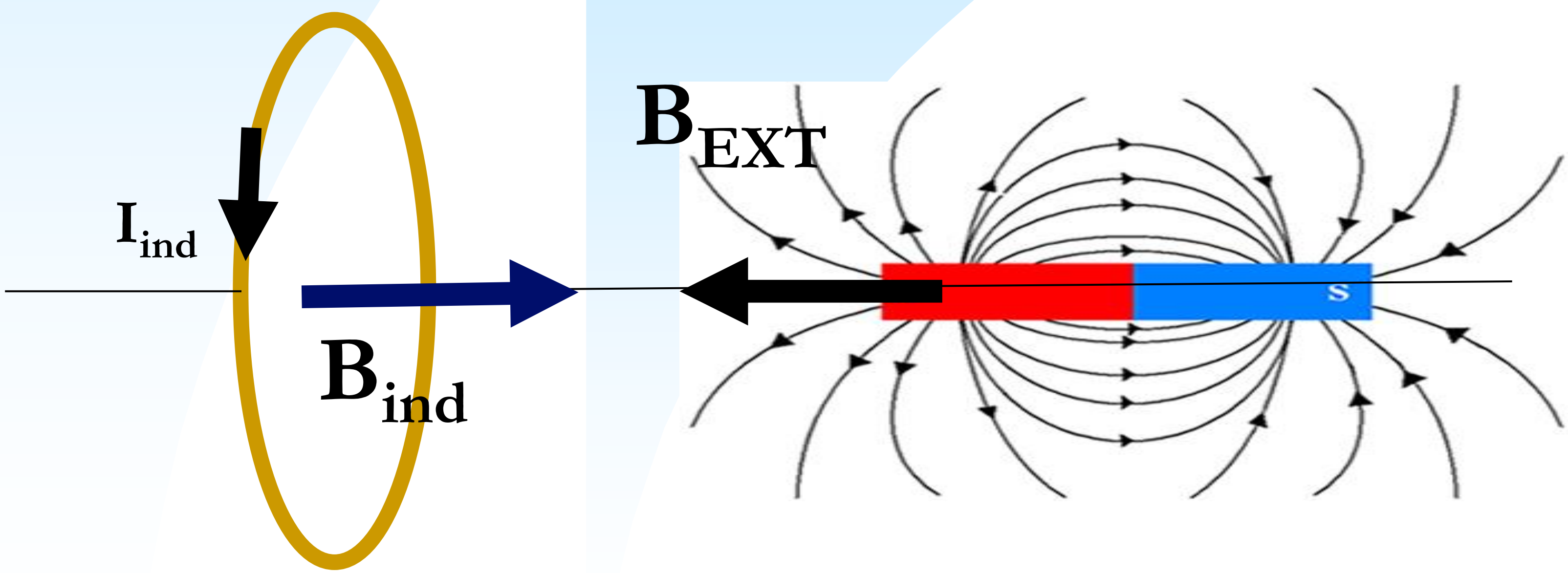
LEI DE FARADAY

PARTE 2

Física 2

LEI DE LENZ

A variação do fluxo magnético observado numa espira produz uma força eletromotriz responsável pela indução de uma corrente nessa espira. O sentido dessa corrente é tal que o campo por ela produzido deve se opor a variação do campo externo

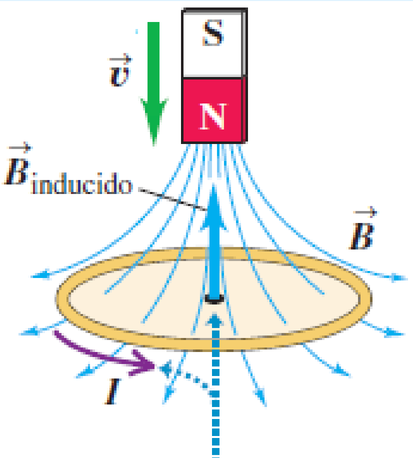


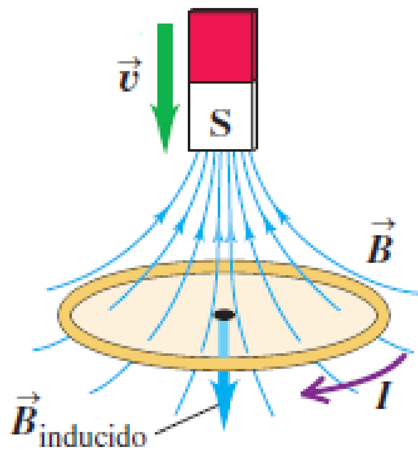
MAUÁ

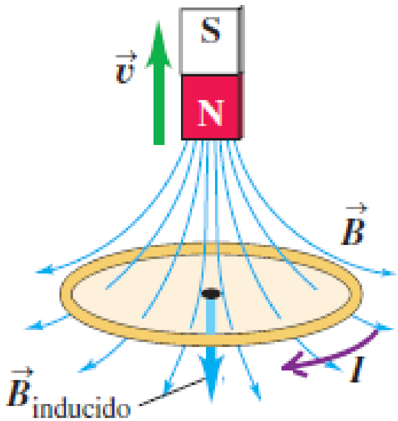
Física 2

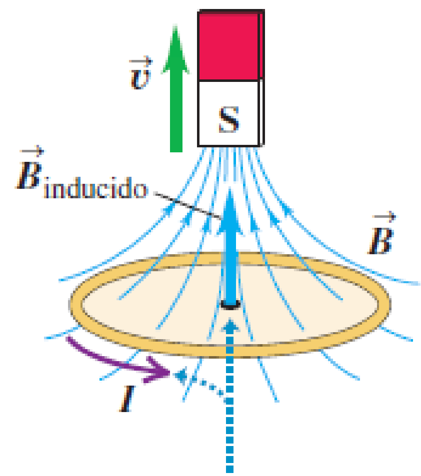
Lei de Lenz

A corrente induzida na espira produz um campo que se opõe a variação do fluxo magnético gerado pelo campo primário.

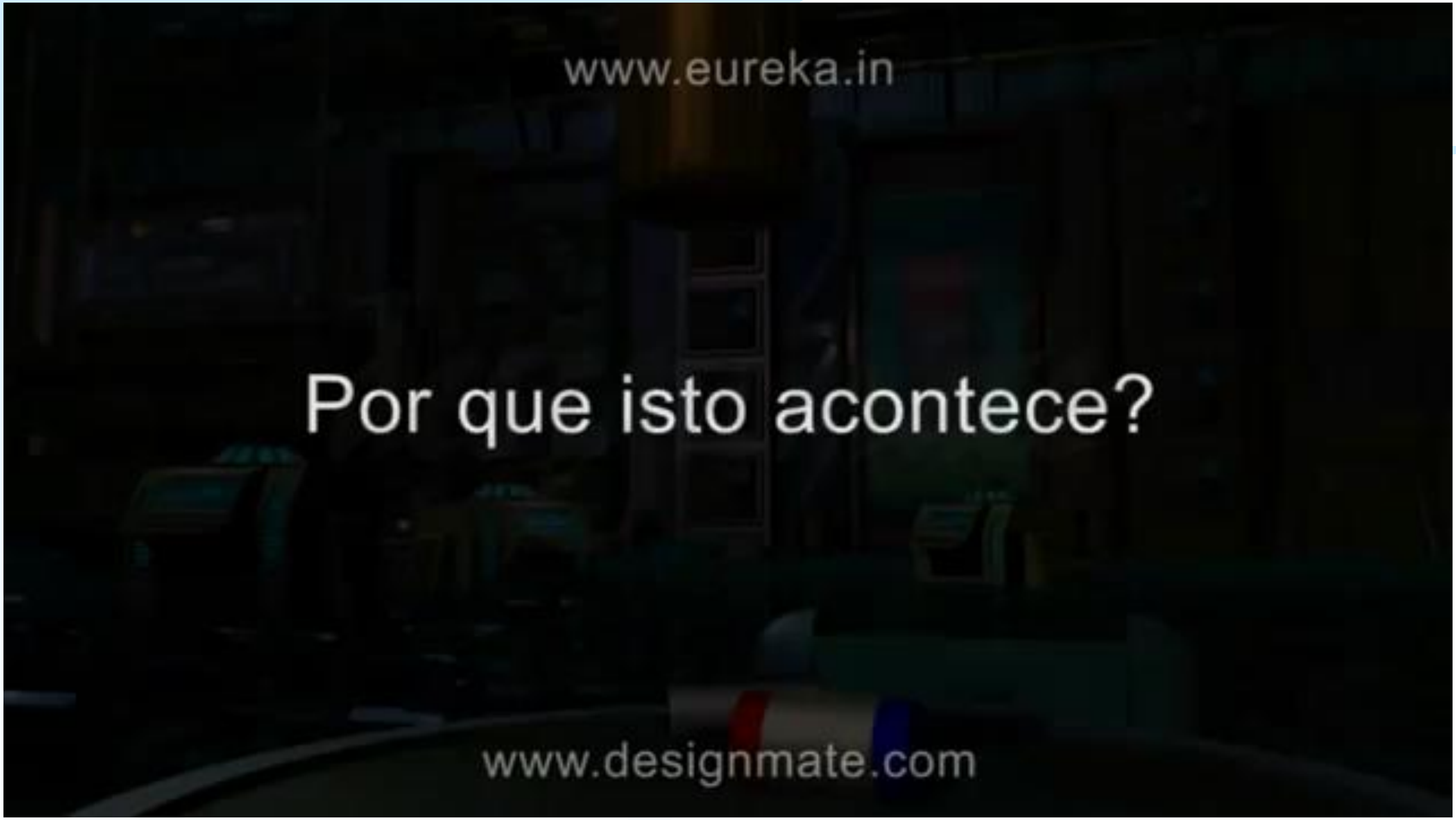








Física 2



Lei de Lenz e a conservação da energia

Supondo que a corrente induzida produz fluxo magnético *a favor da variação*, isto equivale a dizer que a indução simula uma força de atração entre imãs, ao invés da força de repulsão esperada. Assim, o imã seria acelerado em direção à bobina mantendo o movimento indefinidamente. A energia térmica gerada na resistência do bobina pela força magnética induzida seria infinita, pois $Pot = Fv$ e $v \rightarrow \infty$.

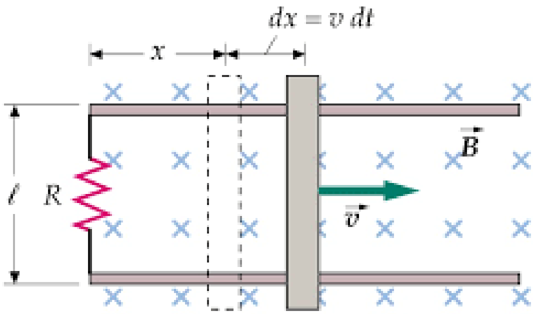
Exercício 1

Considere o problema da figura abaixo onde uma barra de comprimento **L = 20 cm** está se movendo com velocidade **v = 10 m/s** em uma região onde há um campo magnético constante **B = 0,80 T**, entrando na página. O circuito, cuja resistência interna é desprezível, está ligado a um resistor com **R = 2,0 Ω.** Calcule:

(a) A fem induzida no circuito.

(b) A corrente induzida no circuito (magnitude e direção).

(c) A força que um agente externo precisa fazer para que a barra se mova com velocidade constante (assuma que o atrito seja desprezível).



(d) A potência dissipada na forma de calor pelo resistor.

Solução

(a) A fem induzida no circuito.

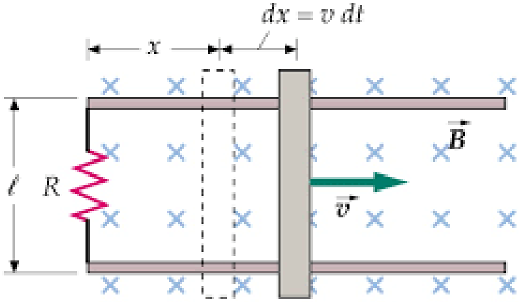
A partir da Lei de Faraday $\boldsymbol{\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}}$ é necessário calcular o fluxo magnético:

$$\boldsymbol{\Phi_B = \iint_S \vec{B}.\hat{n}\, dA = BA = BLx}$$

Observe que *x* = *vt,* e portanto, o fluxo magnético será:

$$\boldsymbol{\Phi_B = BLvt}$$

Assim, a fem induzida é:



$$\boldsymbol{\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -BLv}$$

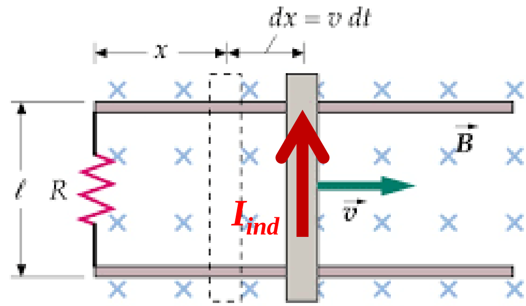
Numericamente:

$$\boldsymbol{\varepsilon = -(0,80)(0,20)10 = -1,6\ V}$$

b) Corrente induzida

Pela lei de Ohm, a corrente induzida no circuito é:

$$I_{ind} = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{1,6}{2,0} = 0,8\ A$$

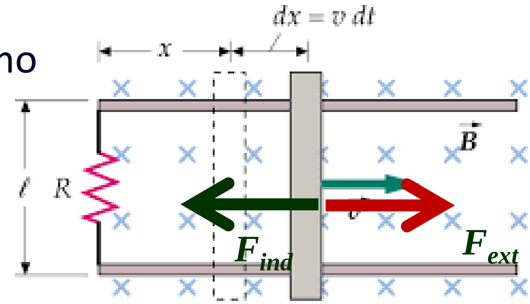


O sentido da corrente induzida indicado na figura, é estabelecido segundo a *Lei de Lenz*.

(c) A corrente induzida I_{ind} interage com o campo magnético $\vec{B}$, gerando uma força magnética que se opõe ao movimento, ou seja:

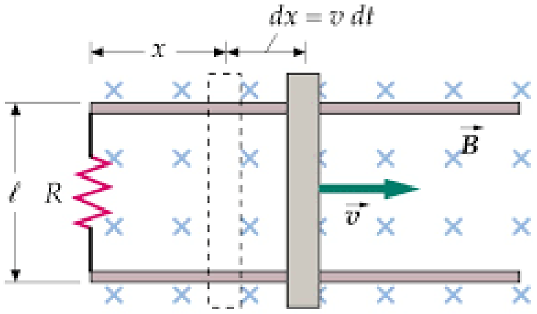
$$\vec{F}_M = I_{ind}\vec{L} \times \vec{B} = -I_{ind}LB\ \hat{\imath} = -0,13\ \hat{\imath}\ (N)$$

Portanto, um agente externo deve aplicar uma força de mesmo módulo e sentido oposto a força magnética induzida.



(d) Potência dissipada pelo resistor. $P = I^2R = 1,28\ W$

Exercício 2 Mostre a Lei de Faraday e a Lei de Lenz estão de acordo com a Lei da conservação da energia



A conservação da energia diz que a potência dissipada no resistência R deve ser igual a potência fornecida pela força de indução. Matematicamente:

a) Força eletromotriz induzida

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLx) = -BL\frac{dx}{dt} = -BLv$$

b) Potência dissipada na resistência

$$P_{dissipada} = RI^2 = R\left(\frac{\varepsilon}{R}\right)^2 = \frac{1}{R}B^2L^2v^2$$

c) Trabalho realizado pela força induzida

$$\vec{F}_{ind} = I\vec{L} \times \vec{B} \rightarrow F_{ind} = ILB = \frac{\varepsilon}{R}LB$$

$$= \frac{1}{R}B^2L^2v$$

A potência fornecida pela força é:

$$P_{fornecida} = F_{ind}v = \frac{1}{R}B^2L^2v^2$$

mostrando que

$$P_{dissipada} = P_{fornecida}\,.$$

Exercício 3

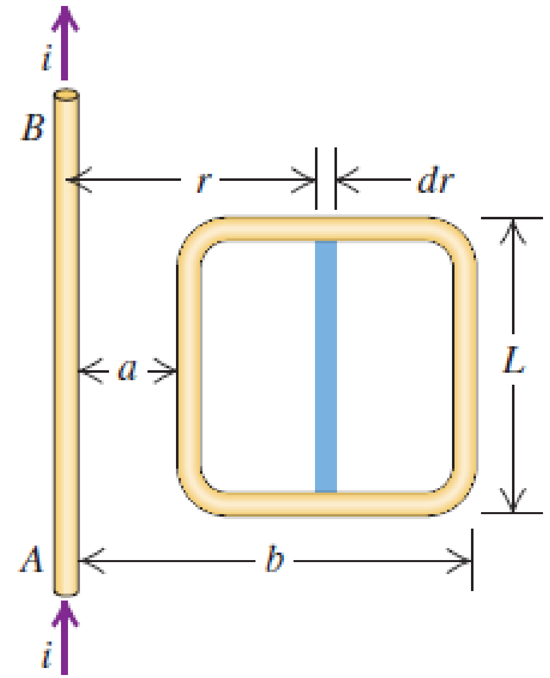
A corrente no fio longo e retilíneo AB indicado na figura está orientada de baixo para cima e aumenta regularmente a uma taxa ***dI/dt***.

(a) No instante em que a corrente é ***I***, quais são o módulo, a direção e o sentido do campo ***B*** a uma distância r para a direita do fio?

(b) Qual o fluxo através da espira?

(c) Qual é a fem induzida na espira?

(d) Avalie qual é a fem induzida na espira se *a = 12,0 cm, b = 36,0 cm, L = 24,0 cm* e *dI/dt = 9,60 A/s*.



Solução

(a) Para um fio infinito, a lei de Ampère mostra que o campo *B* a uma distância *r* do fio vale:

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

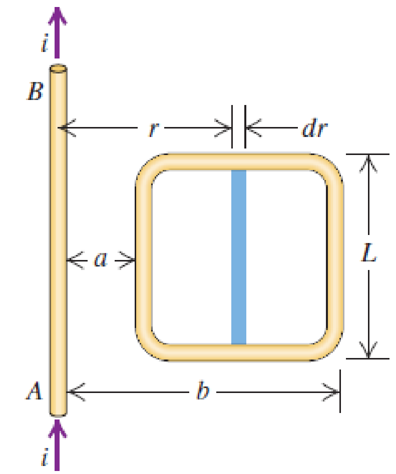
penetrando na região da bobina.

(b) O fluxo $d\Phi_B$ é:

$$d\Phi_B = B(r)Ldr = \frac{\mu_0 IL}{2\pi r}dr$$

Integrando:

$$\Phi_B = \int_a^b B(r)Ldr = \frac{\mu_0 IL}{2\pi}\int_a^b \frac{1}{r}dr = \frac{\mu_0 IL}{2\pi}\ln\frac{b}{a}$$



c) fem

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{\mu_0 L}{2\pi}\ln\frac{b}{a}\frac{dI}{dt}$$

(e) Avalie qual é a fem induzida na espira?

$\varepsilon = 5{,}06.\ 10^{-7}\ V$

Exercício 4

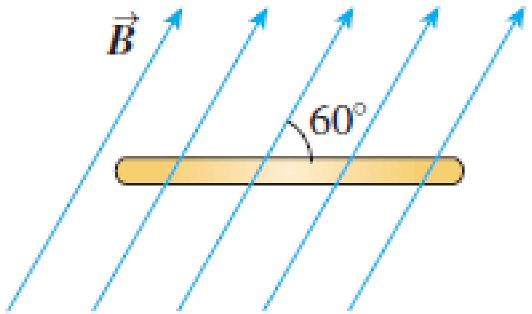
Uma espira plana e circular de aço, com raio de **75 cm**, está em repouso em um campo magnético uniforme, como indica uma perspectiva na figura. O campo varia com o tempo, de acordo com:

$$B(t) = 1,4e^{-0,057\,t}\ T$$

(a) Determine a **fem** induzida na espira em função do tempo.

(b) Quando a **fem** induzida é igual a **1/10** do seu valor inicial?

(c) Determine o sentido da corrente induzida na espira, se observada por cima da espira.



Solução

a) Cálculo do fluxo magnético.

$$\boldsymbol{\Phi_B} = \iint_A \vec{\boldsymbol{B}}.\hat{\boldsymbol{n}}\boldsymbol{dA} = \boldsymbol{B\pi r^2 cos}\,(\mathbf{30^0}) = \mathbf{2,14}\boldsymbol{e}^{-\mathbf{0,057}\,\boldsymbol{t}}\,\boldsymbol{T.m^2}$$

fem induzida.

$$\boldsymbol{\varepsilon} = -\frac{\boldsymbol{d\Phi_B}}{\boldsymbol{dt}} = \mathbf{0,12}\boldsymbol{e}^{-\mathbf{0,057}\,\boldsymbol{t}}\,\boldsymbol{V}$$

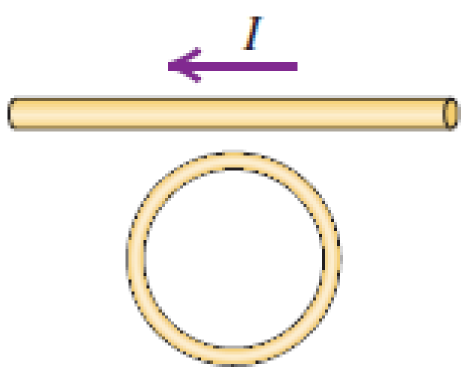
b) $\boldsymbol{\varepsilon_f} = \mathbf{0,10}\boldsymbol{\varepsilon} \rightarrow \mathbf{0,012} = \mathbf{0,12}\boldsymbol{e}^{-\mathbf{0,057}\,\boldsymbol{t}} \rightarrow \mathbf{ln}\left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{10}}\right) = -\mathbf{0,057}\,\boldsymbol{t} \rightarrow \boldsymbol{t} = \mathbf{40,4}\,\boldsymbol{s}$

c) A Corrente induzida percorre a espira no sentido anti-horário, visto que o fluxo é uma função decrescente em relação ao tempo.

Exercício 5

A corrente na figura obedece a equação:

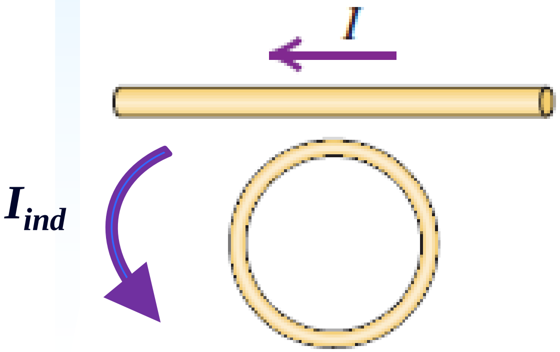
$$I(t) = I_0 e^{-b\,t}$$



em que **b > 0**. Determine o sentido (horário ou anti-horário) da corrente induzida na bobina circular para **t > 0**.

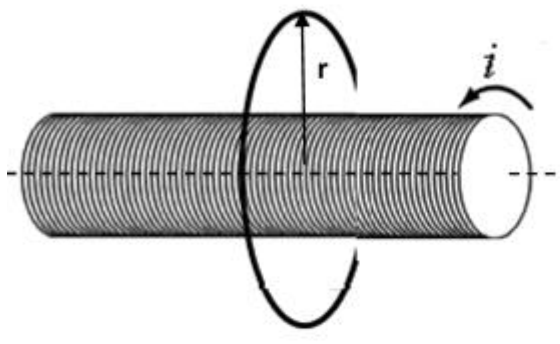
Solução

A partir da Lei de Lenz, a corrente induzida na bobina circular deve gera um fluxo magnético que se opõe a variação do fluxo magnético relativo a corrente I do condutor retilíneo. Visto que a corrente é uma função decrescente em relação ao tempo, o fluxo diminui. Portanto, a corrente induzida no condutor circular deve ter o sentido anti-horário.



Exercício 6

Uma solenoide longo de raio 25,0 mm possui 100 espiras por centímetro. Uma espira circular de 5,00 cm de raio é colocada em torno do solenoide de modo que o seu eixo coincida com o eixo do solenoide. A corrente no solenoide reduz de 1,00 A para 0,50 A num intervalo de tempo de 10,0 ms. Determine o valor da f.e.m. induzida na espira.



Solução

O campo magnético na região do solenoide é constante e vale:

$$\boldsymbol{B = \mu_0 n I}$$

onde n é a densidade de espiras, dada por $\boldsymbol{n = N/L}$**.** Numericamente:

$$\boldsymbol{B = 4\pi \times 10^{-7}\frac{100}{10^{-2}}I = 4\pi \times 10^{-3}I}$$

Pela Lei de Faraday, a f.e.m. é igual a taxa de variação do fluxo magnético, ou seja:

$$\boldsymbol{\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(BA)}{dt} = -A\,\frac{dB}{dt} = -4\pi \times 10^{-3}A\frac{dI}{dt}}$$

sendo a área da região de fluxo associada ao solenoide igual a $\boldsymbol{A = \pi r^2 = 6{,}25\pi \times 10^{-4}}$ **m²**. Como a taxa de variação da corrente é conhecida, resulta:

$$\boldsymbol{\varepsilon = -246 \times 10^{-7}\frac{dI}{dt} = -246 \times 10^{-7}\frac{(0{,}5 - 1{,}0)}{10 \times 10^{-3}} = 1{,}23mV}$$

LEI DE FARADAY