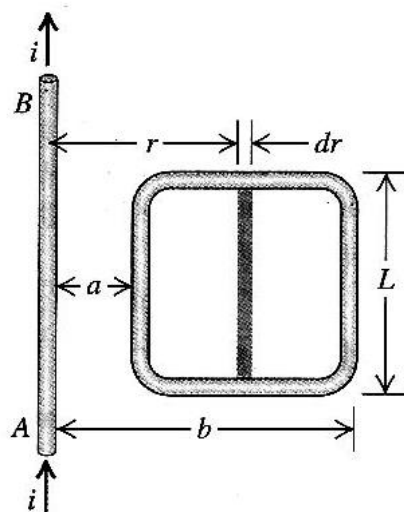




Lei de Faraday

29.7 A corrente no fio longo e retilíneo AB indicado na Figura 29.27 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 $\vec{B}$ a uma distância r para a direita do fio? (b) Qual é o fluxo $d\Phi_B$ através da faixa estreita e sombreada? (c) Qual é o fluxo total através da espira? (d) Qual é a fem induzida na espira? (e) Avalie o valor numérico da fem induzida, se $a = 12,0$ cm, $b = 36,0$ cm, $L = 24,0$ cm e $di/dt = 9,60$ A/s.



$$29.7 \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 i$$

$$(a) \quad B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad \text{entrando na página}$$

$$(b) \quad d\Phi_B = B(r) L dr$$

$$(c) \quad \Phi = \int_a^b d\Phi_B = \frac{\mu_0 i L}{2\pi} \int_a^b \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 i L}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$$

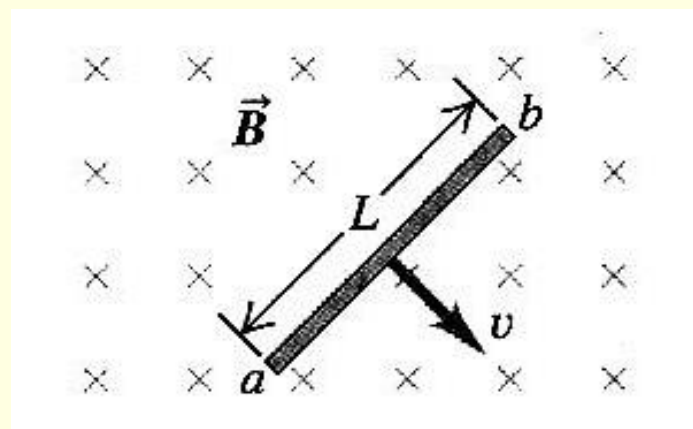
O fluxo para dentro da página está aumentando. Pela lei de Lenz, a tensão induzida é no sentido anti-horário para gerar fluxo para cima para ser contrário.

$$|\mathcal{E}| = \frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{\mu_0 L}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \frac{di}{dt}$$

$$|\mathcal{E}| = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \times 0,24 \ln \frac{36}{12} \times 9,60 = 5,06 \times 10^{-7} \text{ V}$$

Força eletromotriz produzida pelo movimento

29.21 Na Figura 29.37, uma barra condutora de comprimento $L = 30,0$ cm se move através de um campo magnético $\vec{B}$, de módulo igual a $0,450$ T, orientado para dentro do plano da figura. A barra se desloca com velocidade $v = 5,0$ m/s no sentido indicado. (a) Qual é a diferença de potencial entre as extremidades da barra? (b) Qual dos dois pontos, a ou b , possui potencial mais elevado? (c) Quando as cargas na barra estão em equilíbrio, quais são o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico no interior da barra? (d) Quando as cargas na barra estão em equilíbrio, qual dos dois pontos, a ou b , possui excesso de carga positiva? (e) Qual é a diferença de potencial através da barra, caso ela se mova (i) paralelamente a ab e (ii) diretamente para fora da página?



$$29.21.) \quad d\mathcal{E} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{\ell}$$

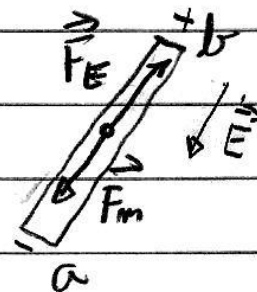
$$d\mathcal{E} = v B \sin 90^\circ d\ell$$

$$\mathcal{E} = v B \int_0^L d\ell = v B L$$

$$(a) \quad \mathcal{E} = V_b - V_a = v B L = 5 \times 0,450 \times 0,300 = 0,675 \text{ V}$$

portando $v_b > v_a$

$$\vec{F}_m = q \vec{v} \times \vec{B} = -e \vec{v} \times \vec{B}$$



$$\vec{F}_E = -e \vec{E}$$

$$vB = E$$

$$(c) \quad E = vB = 5 \times 0,450 = 2,25 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

(d) 6 pontos b

$$(e) \quad d\mathcal{E} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{\ell} = 0$$

, pois $\vec{v} \times \vec{B}$ é perpendicular a barra

$$(f) \quad d\mathcal{E} = 0$$

$$\text{pois } (\vec{v} \times \vec{B}) = 0$$

pois v e B formam ângulo de 180°

29.39 Corrente de Deslocamento em um Fio. Um fio de cobre longo e retilíneo, com área de seção reta circular $2,1 \text{ mm}^2$, transporta uma corrente de 16 A . A resistividade do material é de $2,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. (a) Qual é o campo elétrico uniforme no material? (b) Quando a corrente varia a uma taxa de 4000 A/s , qual é a taxa de variação do campo elétrico no material? (c) Qual é a densidade da corrente de deslocamento no material do item (b)? (*Sugestão:* como K para o cobre é muito próximo de 1, use $\epsilon = \epsilon_0$.) (d) Quando a corrente varia como no item (b), qual é o módulo do campo magnético a $6,0 \text{ cm}$ do centro do fio? Note que tanto a corrente de condução quanto a corrente de deslocamento devem ser incluídas no cálculo de B . A contribuição dada pela corrente de deslocamento é significativa?

29.39

$$E = \rho J$$

$$A = 2,1 \text{ mm}^2 = 2,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 16 \text{ A}$$

$$\rho = 2,0 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$J = \frac{I}{A} = \frac{16}{2,1 \times 10^{-6}}$$

$$(a) E = \rho J = \frac{2,0 \times 10^{-8} \times 16}{2,1 \times 10^{-6}} = 0,152 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E = \frac{\rho I}{A}$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\rho}{A} \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = 4000 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$(b) \frac{dE}{dt} = \frac{2,0 \times 10^{-8}}{2,1 \times 10^{-6}} \times 4000 = 38,1 \frac{\text{V}}{\text{ms}}$$

$$(c) i_d = \epsilon_0 \frac{dE}{dt}$$

$$i_d = 8,85 \times 10^{-12} \times 38,1 = 3,37 \times 10^{-10} \text{ A}$$

$$J_d = \frac{i_d}{A} = \frac{3,37 \times 10^{-10}}{2,1 \times 10^{-6}} = 1,60 \times 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I + \mu_0 I_d$$

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 (I + I_d)$$

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

$$r = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$d) \quad B = \frac{4\pi \times 10^{-7} (16 + 1,6 \times 10^{-4})}{2\pi \times 0,06}$$

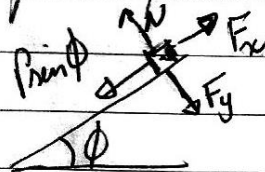
$$B = 5,33 \times 10^{-5} \text{ T}$$

Caso não fosse considerado i_d , $B = 5,33 \times 10^{-5} \text{ T} !!!$

29.77 Uma barra metálica de comprimento L , massa m e resistência total R está sobre trilhos metálicos sem atrito, inclinados em um ângulo ϕ em relação à horizontal. Os trilhos possuem resistência desprezível. Um campo magnético uniforme de módulo B está orientado para baixo, como indicado na Figura 29.57. A barra é libertada a partir do repouso e desliza para baixo sobre os trilhos. (a) O sentido da corrente induzida é de a para b ou de b para a ? (b) Qual é a velocidade terminal da barra? (c) Qual será a corrente induzida na barra quando a velocidade terminal for atingida? (d) Depois que a velocidade terminal é atingida, qual é a taxa da conversão de energia elétrica em energia térmica na barra? (e) Depois que a velocidade terminal é atingida, qual é a taxa do trabalho realizado pela força da gravidade? Compare sua resposta à taxa encontrada no item (d).

29.77) (a) corrente induzida no sentido horário para gerar fluxo para baixo para, de acordo com a Lei de Lenz, compensar a perda de fluxo para baixo. a para b

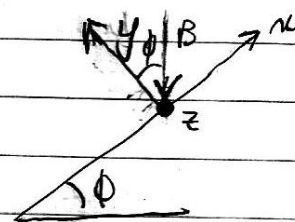
$$P = mg \sin \phi$$



$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

$$\vec{B} = -B \sin \phi \vec{i} - B \cos \phi \vec{j}$$

$$\vec{L} = L \vec{k}$$



$$\vec{F}_1 = I L \vec{k} \times (-B \sin \phi \vec{i} - B \cos \phi \vec{j})$$

$$\vec{F} = -I L B \sin \phi \vec{j} + I L B \cos \phi \vec{i}$$

portanto $F_x = I L B \cos \phi$

mas $F_x = P$

$$I L B \cos \phi = mg \sin \phi$$

$$(c) \quad I = \frac{mg \sin \phi}{LB \omega \phi} = \frac{mg \tan \phi}{LB}$$

$$\mathcal{E} = RI = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| = \left| \frac{d(BLx \omega \phi)}{dt} \right| = BL \omega \phi v$$

$$(c) \quad v = \frac{RI}{BL \omega \phi} = \frac{R mg \tan \phi}{B^2 L^2 \omega \phi}$$

$$d) \quad P = RI^2 = R \cdot \frac{m^2 g^2 \tan^2 \phi}{L^2 B^2}$$

$$e) \quad P = \vec{F} \cdot \vec{v} = mg \sin \phi v$$

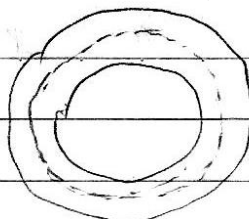
$$P = mg \sin \phi \frac{R mg \tan \phi}{B^2 L^2 \omega \phi}$$

$$P = \frac{m^2 g^2 R \sin \phi \tan \phi}{B^2 L^2 \omega \phi} = \frac{R m^2 g^2 \tan^2 \phi}{B^2 L^2}$$

30.6 Um solenóide toroidal possui 500 espiras, área de seção reta de $6,25 \text{ m}^2$ e raio médio de 4,0 cm. (a) Calcule a auto-indutância da bobina. (b) Para o caso em que a corrente diminui uniformemente de 5,0 A para 2,0 A em 3,0 ms, calcule a fem auto-induzida na bobina. (c) A corrente está orientada no sentido do terminal a da bobina para o terminal b . O sentido da fem induzida é de a para b ou de b para a ?

$$30.6) L = \frac{\Phi_B}{I}$$

$$L = \frac{NBA}{I}$$



$$\int \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 NI$$

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

$$L = \frac{N \mu_0 NI A}{2\pi r I}$$

$$A = 6,25 \text{ cm}^2$$

$$r = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$L = \frac{N^2 \mu_0 A}{2\pi r} = \frac{500^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 6,25 \times 10^{-4}}{2 \times \pi \times 0,04} = 7,81 \times 10^{-4} \text{ H}$$

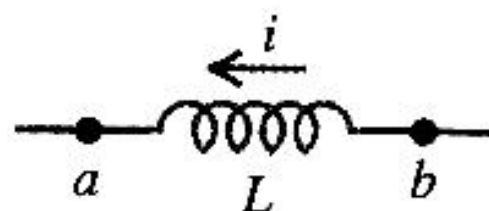
$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{(5-2) \text{ A}}{3 \times 10^{-3} \text{ s}} = 10^3 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$|\mathcal{E}_L| = 7,81 \times 10^{-1} = 0,781 \text{ V}$$

$\mathcal{E}'$ de a para b para compensar a diminuição da corrente, mesmo sentido da corrente

30.9 O indutor na Figura 30.18 apresenta indutância de 0,260 H e conduz uma corrente no sentido indicado que diminui com uma taxa constante dada por $di/dt = -0,0180 \text{ A/s}$. (a) Qual é a fem auto-induzida? (b) Qual é a extremidade do indutor que está a um potencial mais elevado, a ou b ?



$$30.9) \quad \mathcal{E} \equiv \left| L \frac{di}{dt} \right| = \left| 0,260 \times (-0,0180) \right| = 4,68 \times 10^{-3} \text{ V}$$

Olhando a bobina de b para a, nota-se que o sentido da corrente é anti-horário gerando um fluxo de a para b que está diminuindo com o tempo.

A corrente induzida é de b para a para gerar um fluxo de a para b para compensar a perda. O ponto a seria ligado por uma bateria e seria o terminal positivo em a

(11) Potencial mais elevado é o a

30.20 Um resistor de $15,0 \, \Omega$ e uma bobina estão conectados em série a uma bateria de $6,30 \, \text{V}$ com resistência interna desprezível e uma chave fechada. (a) Após $2,0 \, \text{ms}$ da abertura da chave, a corrente diminuiu para $0,210 \, \text{A}$. Calcule a indutância da bobina. (b) Calcule a constante de tempo do circuito. (c) Quanto tempo após a chave ser fechada a corrente atingirá $1,0\%$ do seu valor original?

30.20) Descarga de um indutor

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{6,3}{15} = 0,42$$

$$\text{onde } \tau = \frac{L}{R}$$

$$0,210 = 0,42 e^{-\frac{2 \times 10^{-3} \times 15}{L}}$$

$$\ln \frac{0,210}{0,42} = -\frac{3 \times 10^{-2}}{L}$$

$$(a) L = \frac{-3 \times 10^{-2}}{-0,693} = 43,3 \, \text{mH}$$

$$(b) \tau = \frac{43,3 \times 10^{-3}}{15} = 2,89 \text{ ms}$$

$$(c) 0,01 I_0 = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$0,01 = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\frac{-t}{2,89 \times 10^{-3}} = \ln 0,01$$

$$t = 13,3 \text{ ms}$$

30.31 Oscilações L - C . Um capacitor com capacitância igual a $6,0 \times 10^{-5} \text{ F}$ é carregado conectando-o a uma bateria de $12,0 \text{ V}$. A seguir, o capacitor é desconectado da bateria e conectado a um indutor com $L = 1,50 \text{ H}$. (a) Calcule a frequência angular ω das oscilações elétricas e o período dessas oscilações (o tempo de uma oscilação). (b) Qual é a carga inicial do capacitor? (c) Qual é a energia inicial armazenada no capacitor? (d) Qual é a carga do capacitor $0,0230 \text{ s}$ depois de ele ser ligado ao indutor? Interprete o sinal de sua resposta. (e) No instante dado no item (d), qual é a corrente no indutor? Interprete o sinal de sua resposta. (f) No instante dado no item (d), qual é a energia elétrica armazenada no capacitor e qual é a energia armazenada no indutor?

$$30.31.) \quad C = \frac{Q}{V}$$

$$C = 6,0 \times 10^{-5} \text{ F}$$

$$(v) \quad Q_0 = CV = 6,0 \times 10^{-5} \times 12 = 7,2 \times 10^{-4} \text{ C}$$

$$q = Q_0 \cos(\omega t + \phi)$$

$$q(0) = Q_0 \Rightarrow \phi = 0$$

$$L = 1,50 \text{ H}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$(a) \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{1}{\sqrt{6,0 \times 10^{-5} \times 1,5}} = 105 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,0598 \text{ s}$$

$$q = 7,2 \times 10^{-4} \cos(105,4 t)$$

$$(c) \quad U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{(7,2 \times 10^{-4})^2}{2 \times 6 \times 10^{-5}} = 4,32 \text{ mJ}$$

$$1d) q = 7,2 \times 10^{-4} \cos(105,4 \times 0,0230) = -5,42 \times 10^{-4} \text{ C}$$

O capacitor foi descarregado e depois carregado pelo indutor com polaridade oposta

$$i = \frac{dq}{dt} = -\omega Q_0 \sin(\omega t) = -105,4 \times 7,2 \times 10^{-4} \sin(105,4 \times 0,0230)$$

$$(e) \quad i = -0,050 \text{ A}$$

O sinal negativo, significa que o sentido da corrente é anti-horário na figura 30.15 do livro texto

$$(f) \quad U_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{(5,42 \times 10^{-4})^2}{2 \times 6,0 \times 10^{-5}} = 2,45 \text{ mJ}$$

$$U_L = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1,5}{2} 0,050^2 = 1,87 \text{ mJ}$$