Instituto de Física

4300270

Lista de Exercícios 8
Indução Eletromagnética

E9.1 Exercícios

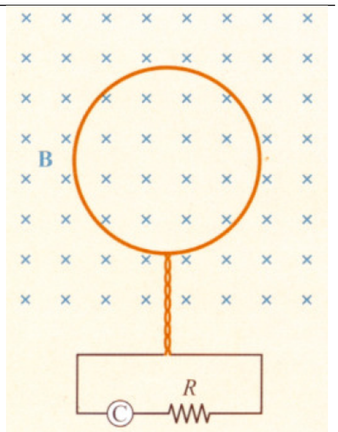
E9.1 Considere uma célula voltaica de Zn e Cu, em que a solução de Cu^{++} contenha 10 g desses íons. Calcule (A) a carga total que a célula pode fornecer; (B) a energia elétrica total que se pode retirar da célula antes que ela seja recarregada.

R. (A) 30 kC; (B) 33 kJ

E9.2 Pretende-se construir um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica baseado em placas de silício amorfo. O sistema tem eficiência de 12%. Quando o Sol está no zênite, em dia sem nuvens, a intensidade luminosa é de $1{,}3\ \mathrm{kW/m^2}$. Qual deve ser a área das placas de silício para que a usina possa gerar eletricidade com uma potência de pico de $1{,}0$ kW?

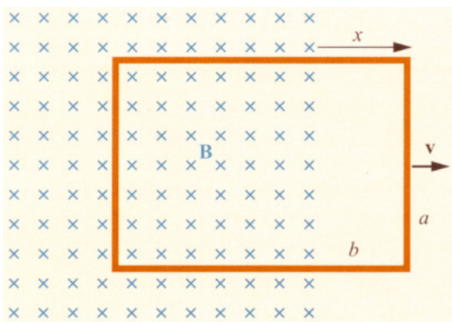
R. $6{,}4\ \mathrm{m^2}$

E9.3 Uma bobina com raio de $3{,}0$ cm e contendo 10 espiras ocupa um lugar no qual há um campo magnético com valor uniforme de $0{,}040$ T. A bobina está ligada a um circuito esboçado na figura, no qual R=50 Ω. O símbolo C indica um integrador de corrente (um instrumento que, por integração temporal da corrente, mede a carga que passa por ele num intervalo de tempo). Inicialmente a bobina está no plano perpendicular ao campo, mas em um dado intervalo de tempo ela faz um giro de 90° ficando finalmente em um plano paralelo ao campo. Qual é a carga q medida pelo integrador de corrente C?



R. $q = 45\ \mu$C.

E9.4 Um anel retangular com lados a e b está orientado com seu plano ortogonal a um campo magnético que é uniforme de valor B em uma região do espaço, e nulo fora dessa região, como mostra a figura. O anel move-se para fora da região do campo com velocidade v, que é paralela ao plano do anel (portanto, ortogonal ao campo). Considere $a = 5{,}0$ cm, $b = 8{,}0$ cm, $B = 0{,}050$ T, $v = 3{,}0$ m/s. Suponha ainda que o anel tenha uma resistência de $20\ \omega$. (A) Calcule a força eletromotriz induzida no anel. (B) Quanto vale a corrente no anel? (C) Que força tem de ser aplicada sobre o anel para que ele permaneça com velocidade constante?



R. (A) vu7,5mV (B) $0{,}375$ mA (C) $0{,}94\ \mu$N

E9.5 Um solenóide cilíndrico contendo 200 espiras tem comprimento de 20 cm e diâmetro de 3 cm. Em seu interior há um outro solenóide com diâmetro de $2{,}5$ cm contendo 10 espiras, cujo eixo está inclinado 30° em relação ao eixo do solenóide externo. A corrente do solenóide externo em um dado intervalo de tempo é data por $I(t) = 3{,}0\ \mathrm{A} + 2{,}0\ (\mathrm{A/s})t$. Calcule a força eletromotriz no solenóide interno.

R. $10{,}7\ \mu\mathrm{V}$

E9.6 Em uma região do espaço há um campo magnético quase homogêneo cuja intensidade queremos medir usando a lei de Faraday. Um anel com diâmetro de $4{,}0\ \mathrm{cm}$ é posto a girar com velocidade angular ω em torno de um eixo cuja orientação pode ser controlada. Depois de encontrada a orientação em que se obtém a máxima fem induzida no anel, verificamos que ela varia no tempo na forma $\mathcal{E} = 1{,}4\ \mu\mathrm{V}\omega \operatorname{sen}(\omega t + \phi)$. Qual é o valor do campo?

R. $1{,}1\ \mathrm{mT}$

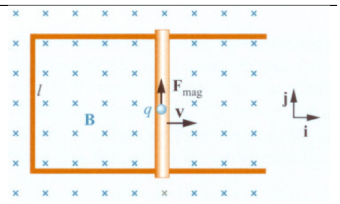
E9.7 Considere um disco com raio de $5{,}00\ \mathrm{cm}$ girando numa região onde há um campo magnético uniforme de $0{,}500\ \mathrm{T}$. O disco perfaz 200 giros por segundo, e seu eixo de rotação coincide com a direção do campo. (A) Calcule a diferença de potencial elétrico entre a borda e o centro do disco. (B) A polaridade da tensão depende do sentido da rotação do disco?

R. (A) $0{,}785\ \mathrm{V}$ (B) Sim. Quando o sentido de $\mathbf{B}$ é o mesmo de $\boldsymbol{\omega}$, a borda do disco é o polo positivo.

E9.8 Uma barra de comprimento $\ell = 0{,}20\ \mathrm{m}$ gira com velocidade angular $\omega = 377\ \mathrm{rad/s}$ no plano horizontal em torno de um eixo que passa por uma das suas extremidades. Em toda a região varrida pela barra existe um campo magnético homogêneo vertical de intensidade $B = 0{,}020\ \mathrm{T}$. (A) Calcule a fem induzida entre as extremidades da barra. (B) Refaça o cálculo para o caso em que o eixo passe pelo meio da barra.

R. (A) $0{,}15\ \mathrm{V}$. (B) $0\ \mathrm{V}$.

E9.9 Um trilho em forma de U está numa região onde existe um campo magnético cujo valor uniforme é de $0{,}025\ \mathrm{T}$. Uma barra de comprimento $l = 20\ \mathrm{cm}$ apóia-se sobre o trilho, formando um circuito fechado (figura). A barra move-se com velocidade de $2{,}0\ \mathrm{m/s}$. Qual é a tensão elétrica entre os terminais da barra?

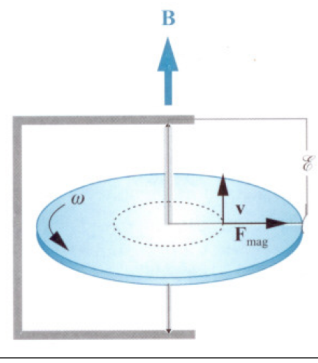


R. $10\ \mathrm{mV}$

E9.10 Um carro viaja horizontalmente na direção leste-oeste com velocidade de $120\ \mathrm{km/h}$. O campo magnético local da Terra tem intensidade de $40\ \mu\mathrm{T}$ e faz um ângulo de 45° com a horizontal. A componente horizontal do campo faz um ângulo de 17° com a direção norte-sul, desviando-se para oeste. O carro tem uma antena vertical de comprimento igual a $1{,}00\ \mathrm{m}$. (A) Calcule a fem induzida na antena. (B) Qual extremidade da antena é positiva?

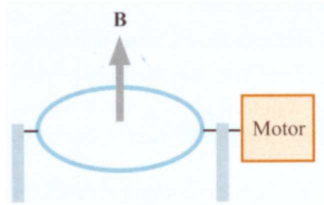
R. (A) $0{,}90\ \mathrm{mv}$ (B) a de baixo.

E9.11 Considerando o sistema ilustrado na figura, suponha que o disco tenha $10{,}0\ \mathrm{cm}$ de raio e que o campo magnético aplicado valha 2000 G. Se a resistência do circuito fechado for $300\ \Omega$ e o disco girar com a freqüência de 60 Hz, (A) qual será a fem no circuito? (B) Qual será a potência despendida para manter o disco em rotação? (C) Qual será o torque necessário para que o disco gire com freqüência constante?



R. (A) $0{,}377\ \mathrm{V}$, (B) $0{,}473\ \mathrm{mW}$, (C) $1{,}26{\times}10^{-6}\ \mathrm{Nm}$

E9.12 O campo magnético em uma região do espaço é homogêneo e tem o valor $B = 0{,}10$ T. Um anel circular de raio igual a 10 cm, situado nessa região, gira em torno de um eixo contido em seu plano, passando pelo seu centro. Tal eixo é ortogonal ao campo **B**, como mostra a figura. O anel gira com a freqüência de 60 Hz, e sua resistência vale 0,50 Ω. Calcule (A) a variação temporal da corrente elétrica no anel; (B) a potência média realizada pelo motor que gira o anel.



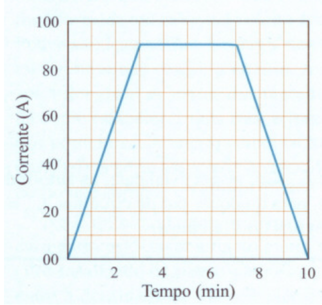
R. (A) $I = 2{,}4\ \mathrm{A}\,\mathrm{sen}(377\ \mathrm{rad}/st + \phi)$ (B) $P = 1{,}4$ W

E9.13 Reconsidere o Exercício-exemplo 9.8 e suponha que $\mathcal{E} = 12$ V, $R = 10\ \Omega$ e $L = 50$ mH. Faça um gráfico da corrente em função do tempo.

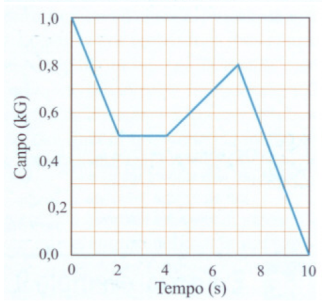
E9.14 Um fio de cobre de diâmetro igual a 0,50 mm é utilizado para a fabricação de um solenóide com comprimento de 17 cm, contendo 300 espiras de raio igual a 2,0 cm. Calcule a voltagem que deve ser aplicada à bobina para que se obtenha uma corrente variando na forma $I = (1{,}0\ \mathrm{A})\,\mathrm{sen}(5000t/s)$.

R. $V = 4{,}2\ \mathrm{V}\cos(5000t/s)$

E9.15 Uma bobina supercondutora tem indutância de 4,0 H, resistência elétrica nula e área de seção reta de 13 cm 2. Uma fonte de corrente variável aplica à bobina uma corrente cuja variação no tempo é vista na figura. Faça gráficos (A) da variação do campo magnético com o tempo; (B) da variação no tempo da voltagem aplicada aos terminais da bobina.



E9.16 Um anel circular de raio valendo 5,0 cm está em uma região onde um campo magnético homogêneo, paralelo ao seu eixo, varia no tempo, como mostra a figura. Faça um gráfico da fem induzida no ane1.



E9.17 Um anel de raio a está no centro de uma bobina cilíndrica ideal com n espiras por unidade de comprimento, e seu eixo coincide com o da bobina. Calcule a indutância mútua entre os dois circuitos.

R. $M = \mu_0 \pi a^2 n$

E9.18 Uma bobina supercondutora tem 15.000 espiras, raio interno de 2,0 cm e comprimento de 10 cm. (A) Quanto vale a indutância da bobina? (B) Qual é o valor da voltagem a ser aplicada à bobina para que seu campo varie à taxa de 5,0 T/min? (C) Qual deve ser a corrente na bobina para que ela gere um campo de 17 T? (D) Qual é a energia armazenada na bobina quando seu campo atinge esse valor? Trate a bobina como um solenóide ideal com raio de 2,0 cm.

R. (A) $L = 0{,}89$ H (B) $V = 0{,}39$ V (C) $I = 90$ A

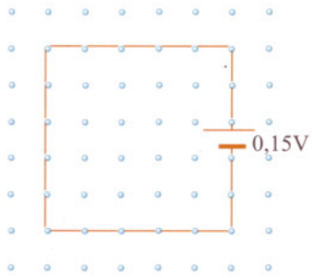
E9.19 Uma bobina semicondutora armazena uma energia magnética de 12,0 kJ quando nela passa uma corrente de 80,0 A. (A) Qual é a sua indutância? (B) Se aplicarmos a ela uma tensão constante de 3,00 V, a que taxa cresce a corrente que nela circula?

R. (A) 3,75 H, (B) 0,800 A/s

E9.20 Uma bobina de seção circular cria em seu interior um campo magnético uniforme que cresce à taxa de 6,0 tesla/min. Calcule o módulo do campo elétrico induzido no interior da bobina, a 1,0 cm do seu eixo.

R. 0,5 mV/m

P9.1 Problemas

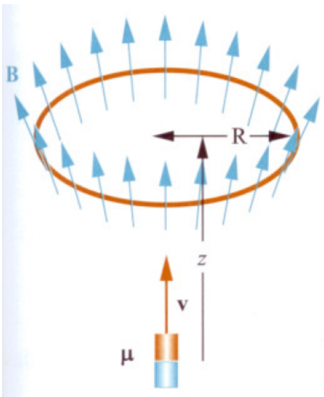


P9.1 Uma espira quadrada, com lado de 0,50 m, está imersa em um campo magnético homogêneo normal ao seu plano, como se vê na figura. Uma bateria de resistência interna desprezível está ativando a espira. O campo, direcionado para fora do papel, passa por um transiente rápido em que sua intensidade varia na forma $B = 0{,}010\ \mathrm{T} + 0{,}50\ \mathrm{T/s}\ t$. (A) Qual é a fem total na espira durante o transiente? (B) Qual é o sentido da corrente na espira?

R. (A) E = 0,025 V (B) anti-horário

P9.2 Um circuito tem indutância L e resistência elétrica R.
(A) Mostre que, para gerar no circuito uma corrente $I = I_0 \operatorname{sen} \omega t$, é á necessário que se lhe aplique uma voltagem $V(t) = RI_0 \operatorname{sen} \omega t + \omega L I_0 \cos \omega t$.
(B) Mostre que a potência média fornecida ao circuito pela fonte de tensão é $\bar{P} = \frac{1}{2} R I_0^2$

P9.3 Um ímã se aproxima de um anel, movendo-se sobre o eixo deste. A figura mostra a situação em um dado instante em que o centro do anel está à distância z do centro do ímã. Note-se a simetria axial do campo magnético no plano do anel. Utilizando a aproximação de dipolo para o campo magnético, mostre que (A) seu fluxo na superfície contornada pelo anel vale

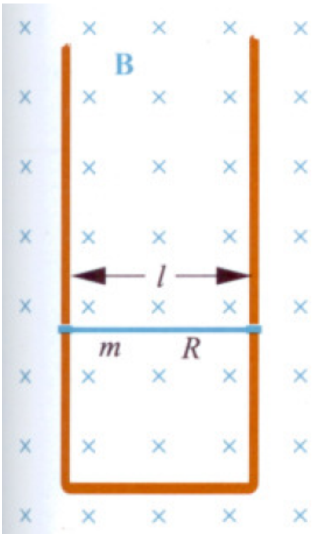


$$\Phi_B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \left[\frac{1}{(z^2+R^2)^{1/2}} - \frac{z^2}{(z^2+R^2)^{3/2}} \right].$$

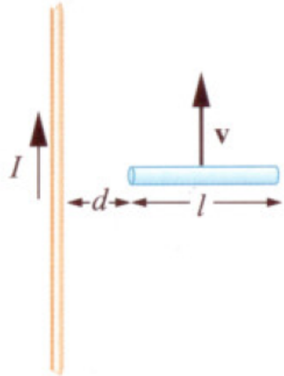
(B) para $z \gg R$, esta expressão se aproxima para $\Phi_B \approx \dfrac{\mu_0 \mu}{2} \dfrac{R^2}{z^3}$.
(C) a fem no anel vale

$$\mathcal{E} = \frac{\mu_0 \mu}{2} \left[\frac{zv}{(z^2+R^2)^{3/2}} - \frac{3z^3 v}{(z^2+R^2)^{5/2}} \right].$$

P9.4 A figura mostra uma barra metálica de resistência elétrica desprezível, em forma de U, posicionada na vertical, à qual se prende uma barra horizontal de resistência elétrica R. Os anéis que prendem a barra horizontal à barra metálica permitem que a barra horizontal deslize na vertical com atrito desprezível. A massa do conjunto barra horizontal mais anéis vale m. Um campo magnético horizontal de intensidade uniforme B cobre toda a região do sistema. (A) Qual é o sentido da corrente induzida? (B) Qual é a força magnética sobre a barra? (C) Escreva a equação de movimento da barra. (D) Mostre que a velocidade terminal da barra é $v_{\text{máx}} = \frac{mgR}{(lB)^2}$. (E) Mostre que, após atingida a velocidade terminal, a energia dissipada na barra por efeito Joule é igual à taxa de perda de energia potencial gravitacional do sistema.



P9.5 Uma barra de comprimento l está orientada em direção perpendicular a um fio longo no qual corre uma corrente I. A extremidade da barra mais próxima ao fio está à distância d do fio e move-se com velocidade v paralela ao fio (figura). Mostre que entre as extremidades da barra há uma tensão elétrica da a por $V = \frac{\mu_0 I v}{2\pi} \ln \frac{d+l}{d}$.



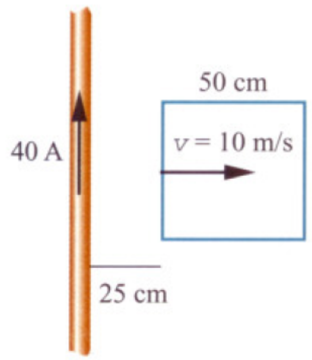
P9.6 Uma barra de comprimento l ocupa uma região onde há um campo magnético uniforme e estático B. A barra gira com velocidade angular ω em torno de um ponto fixo em uma das suas extremidades, em um plano perpendicular ao campo (figura). (A) Mostre que uma carga q da barra, à distância r do eixo de rotação, fica sujeita a uma força magnética $F_{\text{mag}} = qr\omega B$ e que entre as extremidades da barra existe uma tensão elétrica $V = \omega l^2 B/2$. (B) Analise o problema do ponto de vista da lei de indução de Faraday: mostre que a barra girando varre uma área que cresce linearmente no tempo na forma $A = l^2 \omega t/2$ e calcule a derivada no tempo do fluxo magnético nessa área. Calcule a força eletromotriz usando diretamente a lei de Faraday e mostre que ela é igual à tensão anteriormente calculada.

P9.7 Considere um circuito fechado com uma resistência elétrica total R. Imagine que o campo magnético na região do circuito varie no espaço e no tempo de forma arbitrária, e seja $\Phi_B(t)$ o fluxo magnético na superfície contornada pelo circuito no instante t. Mostre que no intervalo de tempo entre os instantes t_1 e t_2 a carga total que percorre o circuito é $q = \frac{1}{R}[\Phi_B(t_1) - \Phi_B(t_2)]$.

P9.8 *Tensão elétrica gerada pela força centrífuga inercial.* Se girarmos um disco metálico em torno de seu eixo, em uma região inteiramente livre de campo magnético, aparece uma diferença de potencial entre a borda e o centro decorrente da força centrífuga que atua sobre os elétrons, que podem mover-se livremente no metal e acabam sendo arrastados para a borda. Essa migração cessa quando o campo elétrico gerado pelo acúmulo de elétrons na borda equilibra a força centrífuga sobre eles. (A) Mostre que a borda do disco fica negativa e que a tensão elétrica entre o eixo e a borda é $V = m\omega^2 R^2/2e$, onde m e e são, respectivamente, a massa e a carga do elétron, ω a velocidade angular e R é o raio do disco. (B) Calcule V para um disco com raio de $5{,}0\ \text{cm}$ perfazendo 200 giros por segundo.

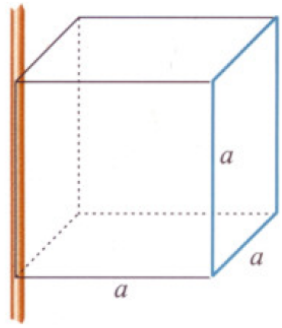
R. (B) $36\ \text{nV}$

P9.9 O cabo (longo) que transporta a corrente na figura está no mesmo plano da espira quadrada, a qual também se move naquele plano. O fio da espira tem resistência de $30\ \Omega$. Calcule a corrente na espira.



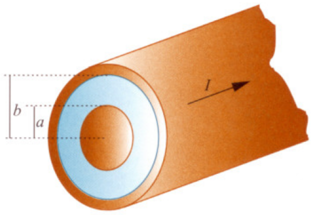
R. 3,6 μA, no sentido horário.

P9.10 Calcule a indutância mútua entre o fio (longo) vertical e a espira quadrada azul mostrados na figura.



R. $M = \frac{\mu_0}{2\pi a}\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

P9.11 A figura mostra um cabo coaxial: um fio metálico cilíndrico de raio a envolvido por uma capa metálica cilíndrica de raio b. Um plástico isolante preenche o espaço entre o fio e a capa. O plástico não é magnético, de modo que, para cálculo do campo magnético, podemos tratá-lo como vácuo. Em operação como cabo elétrico, a corrente de mesma intensidade I se propaga no fio e na capa em sentidos opostos. Calcule a auto-indutância por unidade de comprimento do cabo.



R. $\frac{L}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi}\ln(b/a)$

P9.12 Mostre que a indutância de duas bobinas ligadas em série é $L = L_1 + L_2 \pm M$ e discuta o significado do duplo sinal.

P9.13 Mostre que a indutância mútua de dois solenóides longos coaxiais de mesmo comprimento l e números de espiras N_1 e N_2 é $M = \pm\mu_0\pi R_1^2\frac{N_1 N_2}{l}$, onde R_1 é o raio do solenóide interior. Discuta o duplo sinal.

P9.14 Um solenóide de longo raio R cria um campo magnético homogêneo em seu interior, o qual varia no tempo na forma $B(t) = at$, onde a é uma constante. (A) Calcule a intensidade do campo elétrico induzido à distância r do eixo do solenóide, sobre o plano normal ao eixo que corta o solenóide ao meio. (B) Desenhe as linhas de força do campo elétrico induzido.

R. $E(r) = ar/2$, para $r < R$, $\quad E(r) = aR^2/2r$, para $r > R$.