LEI DE FARADAY

PARTE 1

Lei de Faraday

Cargas estáticas geram campos elétricos (*Lei de Coulomb*), enquanto cargas em movimento, i.e. correntes, geram campos magnéticos (*Lei de Biot-Savart*). Estudaremos agora uma outra forma de gerar (induzir) campos elétricos, a partir da variação do fluxo magnético. Este resultado é conhecido como *Lei de Faraday*, que resume uma série de observações em que ocorre **indução de força eletromotriz e corrente elétrica.**

Qual a importância da Lei de Faraday ?

“Quando um fluxo magnético varia através de um circuito, ocorre a indução de uma fem e de uma corrente no circuito. Em uma usina geradora de energia, o movimento de um imã em relação a uma bobina, produz um fluxo magnético que varia através das bobinas, e, portanto, surge uma fem. Na realidade, graças ao papel central desempenhado na geração da energia elétrica, a indução eletromagnética é fundamentalmente responsável pela estrutura de nossa sociedade tecnológica.” (Cap.29, pag. 280)

Física 2

Experimentos de indução.

https://www.youtube.com/watch?v=kPG5oYUnP5c

Fenomenologia

1. O movimento de um imã em um circuito gera uma corrente elétrica no próprio circuito.

2. Correntes variáveis em um circuito (primário) geram (induzem) uma corrente em um circuito próximo (secundário).

3. Mantendo-se o campo magnético constante, observa-se que uma corrente elétrica é induzida numa espira desde que sua área seja alterada.

Faraday observou que a grandeza física relevante é **a variação do fluxo magnético**, gerando uma fem e induzindo uma corrente elétrica no circuito.

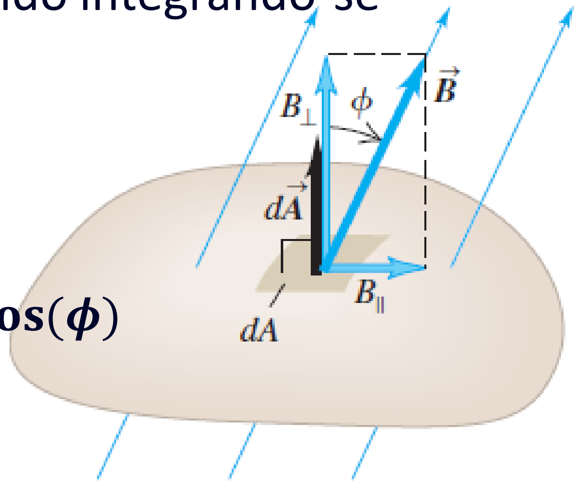
Fluxo magnético

Para um elemento de área $d\vec{A} = \hat{n}\, dA$ sendo $\hat{n}$ o vetor unitário normal, o elemento infinitesimal de fluxo do campo magnético que atravessa essa área é:

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot \hat{n}\, dA = B\, dA \cos(\phi)$$

O fluxo magnético total que atravessa a área A é obtido integrando-se sobre todos os elementos infinitesimais dA:

$$\Phi_B = \iint_A \vec{B} \cdot \hat{n}\, dA = \iint_A B\, dA \cos(\phi)$$



Unidade: $[\Phi_B]$ = 1 weber = 1 T. m^2

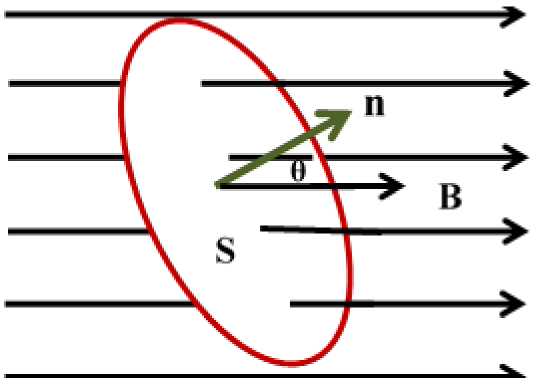
Lei de Faraday

A força eletromotriz (fem) induzida $\boldsymbol{\varepsilon}$ em uma espira fechada é dada pela taxa de variação temporal do fluxo magnético, com o sinal negativo,

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

através da área **S** delimitada pela espira, sendo o fluxo dado por:

$$\boldsymbol{\Phi_B = \iint_A \vec{B}\cdot\hat{n}\,dA}$$



Para o caso de N espiras idênticas:

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

Exercício 1

Uma bobina com raio de **4,00 cm**, com **500** espiras, é colocada em um campo magnético uniforme que varia com o tempo de acordo com a relação:

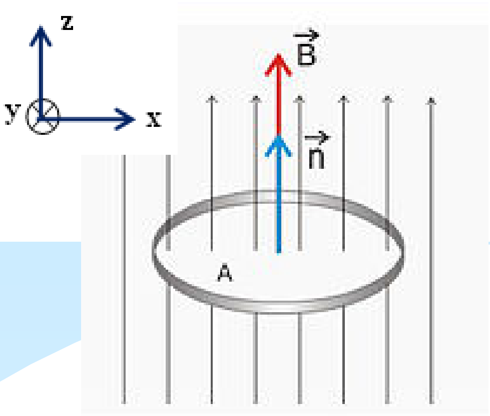
$$\boldsymbol{B(t) = 1,20 \times 10^{-2}\, t + 3,00 \times 10^{-5}\, t^{4} \quad T}$$

A bobina está conectada a um resistor de **600 Ω** e seu plano é perpendicular ao campo magnético. A resistência da bobina pode ser desprezada.

(a) Calcule o módulo da **fem** induzida na bobina em função do tempo.

(b) Qual é o módulo da corrente que passa no resistor para **t = 5,00 s**?

Solução



a) Aplicando-se a lei de Faraday, temos que a fem induzida é:

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

Com o fluxo magnético $\Phi_B = NBA$, ***N= 500*** e ***A = π r²***. Assim:

$$\Phi_B = \iint_A \vec{B}\cdot\hat{n}\,dA \;\rightarrow \Phi_B = NBA \;= 500 \times \left(1,20 \times 10^{-2}\; t + 3,00 \times 10^{-5}\; t^4\right)\pi \times 0,04^2$$

$$\Phi_B = 3,00 \times 10^{-2}\; t + 7,5 \times 10^{-5}\; t^4\; Wb$$

b) A corrente induzida é no circuito é dada por:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \;= \frac{3,01 \times 10^{-2}(1,00 + 1,00 \times 10^{-2} t^3)}{600}$$

Para *t = 5,00 s*, resulta:

$$I = 1,13 \times 10^{-4}\; A$$

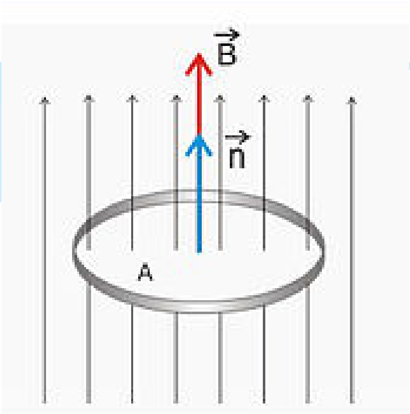
Exercício 2

Uma espira circular com raio de 12,0 cm e orientada no plano horizontal *xy* está localizada em uma região de campo magnético uniforme. Um campo de 1,5 T está orientado no sentido positivo de O*z*, que é de baixo para cima. Se a espira for retirada da região do campo em um intervalo de tempo de 2,0 ms, determine a fem média que será induzida na espira durante o processo de remoção.

Solução

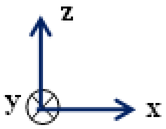
Aplicando-se a lei de Faraday, temos que a fem induzida é:

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



O problema pede o **valor médio**, ou seja:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \sim -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$



O fluxo magnético inicial é dado por:

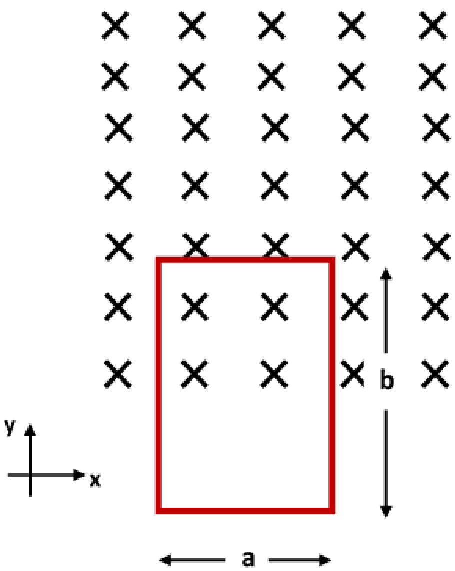
$$\Phi_B = \iint_A \vec{B} \cdot \hat{n}\, dA = BA = B\pi r^2$$

e o fluxo final é Φ_B**= 0,** pois a espira sai da região do campo. Então:

$$\varepsilon_m = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{0 - 1,5 \times \pi \times 0,12^2}{2,0 \times 10^{-3}} = +34\ V$$

Exercício 3

Uma bobina retangular tem 80 espiras de dimensões a = 20,0 cm e b = 30,0 cm. Metade da bobina está localizada em uma região com um campo magnético de intensidade B = 0,800 T dirigido para dentro da página. A bobina apresenta uma resistência elétrica de R = 30,0 Ω. Determine a intensidade e o sentido da corrente induzida na bobina quando ela desloca-se com velocidade de 2,00 m/s:

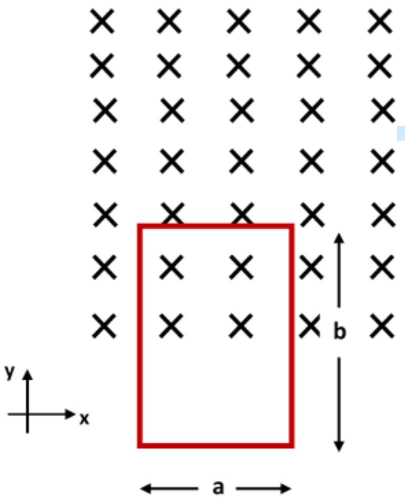


a) Para o sentido de x positivo. b) para o sentido de y positivo.

Solução

A corrente induzida na bobina é dada por:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}$$



A força eletromotriz é obtida a partir da Lei de Faraday:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$$

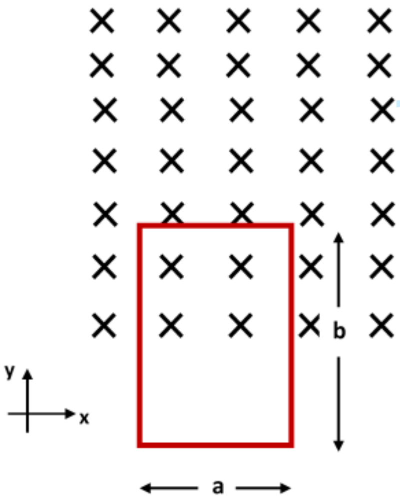
Visto que o campo B é constante, o fluxo vale:

$$\Phi_B = \iint_A \vec{B}\cdot\hat{n}\,dA = BA$$

a) Quando a bobina desloca-se no sentido do eixo x, observa-se que o fluxo do campo b é constante, pois o valor da área A não depende da variável x. Assim, a corrente induzida na bobina nesse caso é nula.

b) Quando a bobina desloca-se no sentido do eixo y positivo, a área A é variável, visto que:

$$A = ab - a(b - y) = ay$$



Assim, o fluxo do campo B nessa região vale:

$$\Phi_B = Bay$$

A f.e.m. torna-se:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -NBa\frac{dy}{dt} = -NBav$$

Assim, a corrente induzida é:

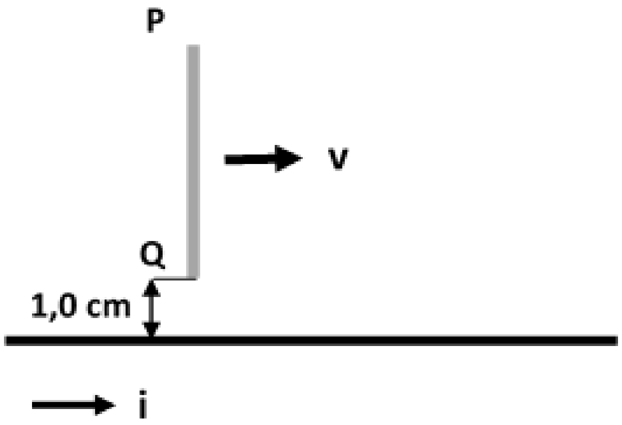
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{NBav}{R} = 0,853\ A$$

O sentido da corrente induzida será discutido posteriormente, quando estudarmos a Lei de Lenz.

Física 2

Exercício 4

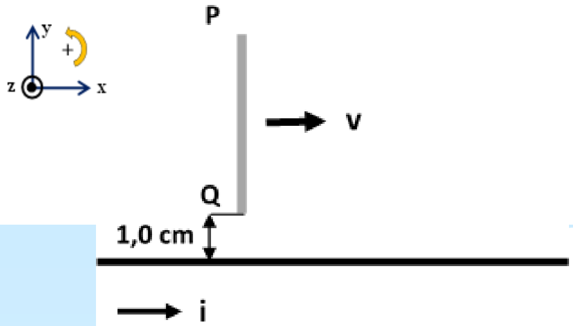
Um condutor retilíneo PQ de comprimento 50 cm move-se com velocidade constante de 1,0 m/s permanecendo perpendicular a um segundo condutor retilíneo infinito que transporta uma corrente de 20 A, como ilustra a figura. Determinar a diferença de potencial gerada no condutor móvel.



Física 2

Solução

A partir da Lei de Ampére, tem-se que o campo de indução magnética gerado pela corrente em torno do condutor vale:



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

Uma vez que cada uma das cargas contidas no condutor PQ sofre a ação de uma força magnética:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

temos que as cargas positivas ficarão acumuladas na extremidade Q da barra, enquanto que as negativas, serão deslocadas para a região da extremidade P. A ddp observada está associada a variação do fluxo magnético, que de acordo com a Lei de Faraday, vale:

$$\Phi_B = \iint_A \vec{B} \cdot \hat{n}\, dA = \int_Q^P \int_0^x B\, dxdy = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_Q^P \frac{dy}{y} \int_0^x dx = \frac{\mu_0 I}{2\pi} ln\left(\frac{P}{Q}\right) x$$

Pela Lei de Faraday, a ddp entre as extremidade PQ vale:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} ln\left(\frac{y2}{y1}\right) v = -\frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi} ln\left(\frac{51}{1}\right) 1,0 = 1,57 \times 10^{-5} V$$

LEI DE FARADAY

PARTE 1