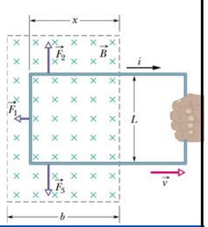
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Campus Blumenau

Indução e Transferências de Energia

- A fig. mostra uma espira na presença de um **B** externo.
- A espira é puxada para a direita com ***v=cte***.
- O que ocorrerá?
- A área da espira imersa no campo varia e o fluxo varia!
- Uma corrente surgirá na espira em sentido tal que o **B** criado se oponha à variação (diminuição) do fluxo.
- Calcularemos a taxa na qual trabalho mecânico é realizado para puxar a espira.



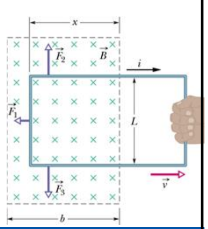
Indução e Transferências de Energia

- Para ***v=cte***, a força para puxar a espira deve ser $\mathbf{F_{ext}=F_1}$.
- A taxa na qual trabalho é realizado (*W*/*t*) é:

$$P = Fv$$

$$F \equiv F_{ext}$$

- Derivaremos uma expressão para *P* em função do:
  - B: Campo magnético
  - R: Resistência da espira
  - L: dimensão



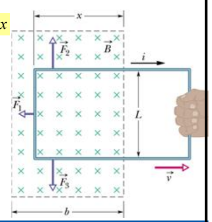
Indução e Transferências de Energia

Â Para aplicarmos a Lei de Faraday, devemos saber o fluxo de **B** através da espira.

Â Seja ***x*** o comprimento da bobina imerso no campo.

Â Logo:

$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$ $\Phi_B = \int B\, dA \cos\theta = B\int dA = BA$ $\Phi_B = BLx$



Â Note que se **x** diminui, $\boldsymbol{\phi_B}$ diminui.

Â Usaremos a lei de Faraday para obter o módulo da ε induzida:

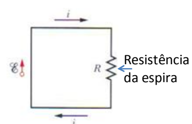
$\varepsilon = N\dfrac{d\Phi_B}{dt}$ $\varepsilon = N\dfrac{d(BLx)}{dt} = NBL\dfrac{dx}{dt}$ $\varepsilon = NBLv$

Indução e Transferências de Energia

$\varepsilon = \dfrac{dW}{dq}$

Â A fig. mostra o sentido no qual a corrente flui.

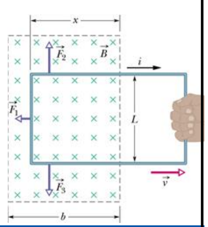
Â ***ε*** e ***i*** induzidos devem ter o mesmo sentido.



Â Aplicando o método da energia na fig., temos:

$i^2 R dt = \varepsilon dq = \varepsilon(i dt)$ $\varepsilon = Ri \therefore i = \dfrac{\varepsilon}{R}$

(não usamos a regra das malhas, pois não podemos definir um potencial para uma ε induzida (veremos depois))



Â Sabendo-se que $\varepsilon = NBLv$, reescrevemos a corrente como:

$i = \dfrac{NBLv}{R}$

Indução e Transferências de Energia

$i = \dfrac{NBLv}{R}$

Â A força sobre cada segmento da espira é relacionada à corrente por:

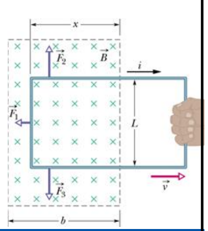
$\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$

Â F_2 e F_3 se cancelam.

$F1 = F = iLBsen\theta = iLBsen90^o$ $F = NiLB$

Â Substituindo i, temos:

$F = N^2\dfrac{B^2L^2v}{R}$ F=cte



Â A taxa na qual trabalho é realizado vale, então:

$P = Fv$ $P = N^2\dfrac{B^2L^2v^2}{R}$

Taxa de realização de trabalho

Indução e Transferências de Energia

Å A taxa com que a energia térmica aparece na espira é dada por:

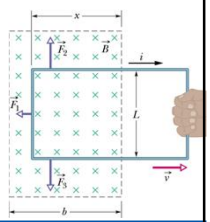
$$P = Ri^2 \qquad P = R\left(\frac{NBLv}{R}\right)^2$$

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

Taxa de energia térmica

Å Mesma eq. que a obtida anteriormente.

Å O trabalho realizado puxando a espira aparece como energia térmica.

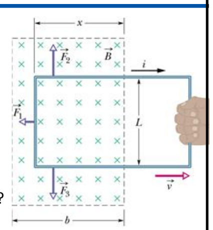


Exercício

Considere que a “espira” na Fig. ao lado é uma bobina compacta de 85 espiras. Suponha L=13cm, B=1.5T, R=6.2Ω e v=18cm/s.

(a) Qual o valor da fem induzida na bobina?
(b) Qual é a corrente induzida?
(c) Que força devemos exercer sobre a bobina para retirála do campo B?
(d) Com que taxa devemos realizar trabalho?
(e) Com que taxa a energia térmica aparece na bobina?

Resposta: (a) 3,0V; (b) 0.48A; (c) 8,0N; (d) 1,4W; (e) 1,4W.



Resolução

$$(a)\varepsilon = N\frac{d\Phi_B}{dt} = N\frac{d(BLx)}{dt} = NBL\frac{dx}{dt} = NBLv \qquad (b) i = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$(c)\vec{F}_B = Ni\vec{L}\times\vec{B} \therefore F1 = F = NiLB \qquad (d) P = Fv \qquad (e) P = \frac{N^2B^2L^2v^2}{R}$$

O campo elétrico induzido

Å Um campo **B** uniforme ocupa um volume cilíndrico de raio R.

Å Suponha que **aumentamos** a intensidade do campo a uma taxa constante (aumentando i).

Å Um **anel de raio r** é submetido a este campo **B**.

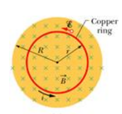
Å A **variação de B** produz uma **variação de fluxo magnético**.
Å O que acontecerá no anel?

Å De acordo com a lei de Faraday uma fem e **corrente induzida** surgiram no anel.

Å Se existe uma corrente no anel DEVE existir um campo E que cause o movimento dos PDC.

Å De acordo com a Lei de Lenz, a **corrente** deve ser no sentido **anti-horário**.

Å Um **CAMPO ELÉTRICO INDUZIDO** estará presente ao longo do anel.



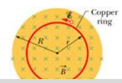
(a)

O campo elétrico induzido

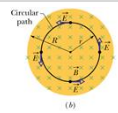
- A existência de um campo elétrico **independe** da presença de qualquer carga teste ou do anel.
- Um campo B variável criará um campo **E no espaço vazio**!
- Considere a circunferência imaginária de raio r (fig. b).
- O campo **E induzido** deverá ser tangente ao círculo.
- As **linhas de campo E** produzidas pelo campo B variável **descreverão círculos concêntricos** (fig. c).

Enunciado mais geral da Lei de Faraday:

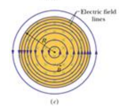
Um campo **B** variável produz um campo elétrico.



E aponta no mesmo sentido de i (PDC + → -)



(b)



(c)

O campo elétrico induzido

$\varepsilon = \frac{dW}{dq}$

- Considere uma carga $\mathbf{q_0}$ se movendo ao longo da circunferência imaginária (fig. b).
- O trabalho realizado **sobre a partícula** *pelo* **campo E induzido** vale:

$$W = q_0 \varepsilon$$

- O trabalho feito ao mover a carga também pode ser escrito como:

$$W = \int \vec{F} \cdot \vec{ds} = (q_0 E)(2\pi r)$$

- Igualando as duas expressões acima, obtemos a relação:

$$\varepsilon = 2\pi r E$$

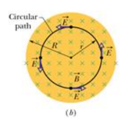
- O trabalho feito ao mover a carga q_0 ao longo de qualquer caminho fechado pode ser escrito de forma mais geral como:

$$W = \oint \vec{F} \cdot \vec{ds} = q_0 \oint \vec{E} \cdot \vec{ds}$$

- Como $W = q_0 \varepsilon$, notamos que:

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot \vec{ds}$$

A fem induzida é a soma do produto escalar **E·ds** ao longo de uma curva fechada, onde **E** é o campo elétrico induzido pela variação de fluxo magnético e ds é o elemento de comprimento ao longo da curva



(b)

O campo elétrico induzido

$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot \vec{ds}$

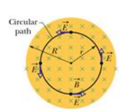
- A Lei de Faraday pode ser reescrita como:

$$\boxed{\oint \vec{E} \cdot \vec{ds} = -\frac{d\Phi_B}{dt}}$$ Lei de Faraday

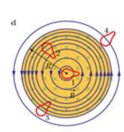
- A eq. acima pode ser aplicada a qualquer curva fechada que possa ser traçada em uma região onde existe um campo B variável.
- A fig. (d) mostra quatro curvas fechadas.

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \oint \vec{E} \cdot \vec{ds}$ pois $\frac{d\Phi_B}{dt}$ é o mesmo para ambos

- ϵ_3 será menor, pois ϕ_B será menor.
- $\epsilon_4 = 0$, pois $\phi_B = 0$.



(b)



(d)

O campo elétrico induzido

- **Campos E** induzidos são produzidos **por fluxos magnéticos** e **NÃO por cargas elétricas**.
- O campo E produzido por **variações de fluxo magnético** e por **cargas** exercem forças sobre partícuas carregadas.
- Diferença entre ambos:

As **linhas de campo** para campo elétricos induzidos formam **curvas fechadas**.

As **linhas de campo** para cargas não formam **curvas fechadas**.
(começam em "+" terminam em "–")

O potencial elétrico tem significado apenas para campos elétricos produzidos por cargas estáticas; o conceito não se aplica aos campos elétricos produzidos por indução.

- Se aplicássemos o conceito de potencial para um campo E induzido teríamos:

$V_f - V_i = -\int_i^f \vec{E}\cdot d\vec{s} = 0\,(cam.fechado)$ mas na verdade: $\oint \vec{E}\cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

Você já pode resolver os seguintes exercícios:

Capítulo 30: 2, 5, 6,10, 12,23, 27,30, 31, 34, 36, 43, 46, 47, 48, 50, 53 e 67.

Capítulo 31: 8, 9, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 28, 29, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 46, 47, 48, 53 e 56.

Capítulo 32: 1, 2, 4, 5, 6, 9, 12, 19, 23, 24, 25, 26, 29, 34, 36, 37, 41, 43.

Livro texto: Halliday, vol. 3, 4ª edição.
Mais informações (cronogramas, lista de exercícios):
web: *loos.prof.ufsc.br* e-mail: *marcio.loos@ufsc.br*