

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Campus Blumenau

Física Geral III

Aula Teórica 18 (Cap. 32 parte 1/2):
 1) Lei da indução de Faraday
 2) Fluxo de campo magnético
 3) Lei de Lenz

Prof. Marcio R. Loos

Correntes criam campo magnético

- B devido a um fio retilíneo longo carregando uma corrente i : $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$
- B devido a uma espira carregando uma corrente i : $B = \frac{\mu_0 i}{2R}$
- B no interior de um solenóide carregando uma corrente i : $B = \mu_0 i n$
- B no interior de um toróide carregando uma corrente i : $B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi r}$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 2

Lanterna de Faraday

United States Patent
Mah

(10) Patent No.: **US 6,893,141 B2**
 (45) Date of Patent: **May 17, 2005**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 3


Lei da indução de Faraday

Corrente através de uma bobina num **B**

➔

TORQUE

Princípio de funcionamento do motor elétrico



- De forma similar surge a questão:

Torque em uma bobina num **B**

➔

CORRENTE???

Princípio de funcionamento do gerador elétrico

- A corrente que surge na bobina é descrita pela **Lei da indução de Faraday**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos
Física Geral III
loos.prof.ufsc.br

Lei da indução de Faraday

- A lei de indução foi descoberta em **1831** por Faraday.
- Aprox. na mesma época e independentemente, **Joseph Henry** descobriu esta lei.



Inglaterra
1791-1867

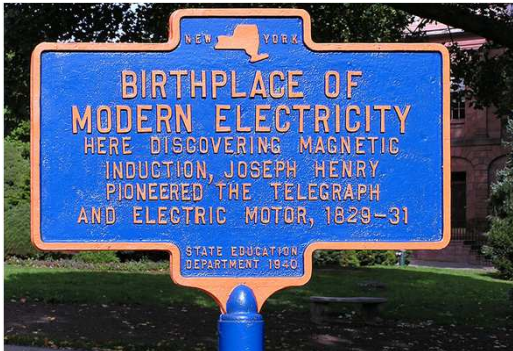


Estados Unidos
1797-1878

- Faraday foi o primeiro a publicar os resultados.
- A unidade SI de indutância foi denominada **Henry (H)**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos
Física Geral III
loos.prof.ufsc.br

Lei da indução de Faraday



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos
Física Geral III
loos.prof.ufsc.br

Lei de Faraday
Experiência 1

- A fig. mostra dois terminais de uma bobina ligados a um amperímetro.
- O ponteiro não se move na ausência do ímã.
- Quando o ímã é aproximado, o ponteiro é defletido (se move).
- Quanto maior a velocidade do ímã, maior a deflexão.
- Se pararmos o ímã, o ponteiro não se move (volta a zero).
- O sentido de deflexão do ponteiro inverte se o ímã estiver sendo “retirado de dentro da espira” ou se entrar com polaridade N/S invertida.

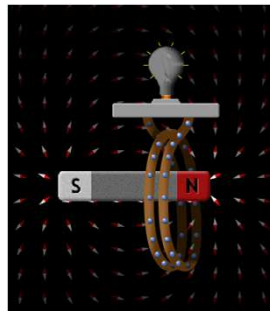


Analisaremos a Experiência 1 usando uma animação!

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
7

Applet: Lei de Faraday
Experiência 1

- phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
8

Lei de Faraday
Experiência 1

- Conclusão da experiência 1:

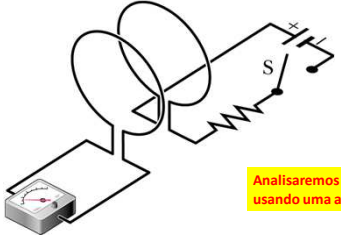
O importante é o movimento relativo entre o ímã e a bobina!

- A corrente que surge na bobina é chamada de **corrente induzida**.
- A **corrente induzida** está associada a uma **fem induzida** (trabalho realizado por unidade de carga).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
9

Lei de Faraday
Experiência 2

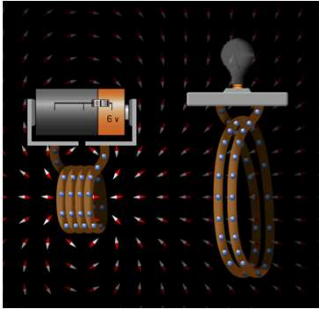
- A fig. mostra duas bobinas mantidas em repouso, sem nenhum contato.
- Ao **fecharmos a chave s**, o ponteiro **sofre uma deflexão** momentânea e retorna a zero em seguida.
- Ao **abrirmos a chave s**, interrompendo a corrente, o ponteiro sofre novamente uma deflexão momentânea, **em sentido oposto**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 10

Lei de Faraday
Experiência 2

- phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 11

Lei de Faraday
Experiência 2

- Somente quando a corrente na bobina está aumentando ou diminuindo, surge uma fem induzida na outra bobina.
- Conclusão da experiência 2:

Uma fem é induzida somente quando algo está **variando**.
- Quando $i=cte$ e **nada se move**, não há fem induzida.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 12

Lei da indução de Faraday

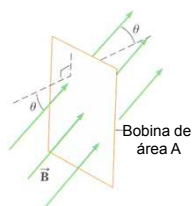
- Faraday notou que:

Uma fem é induzida na bobina somente quando o número de linhas de B que a atravessam estiver variando.

- Não importa o número de linhas de campo, mas sim que ele varie!
- Quanto maior a taxa de variação do número de linhas de campo, maior a fem induzida.

Fluxo de campo magnético

- Precisamos encontrar uma forma de calcular a **quantidade de campo magnético** que passa através de uma espira.
- Similar à definição de **fluxo elétrico**, definimos o **fluxo magnético**.



RELEMBRANDO Fluxo do campo elétrico

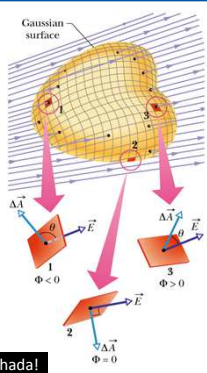
- Quando temos uma superfície complexa, podemos dividi-la em minúsculos elementos infinitesimais de área:

$$d\Phi = \vec{E} \cdot d\vec{A} = E dA \cos \theta$$

- Estaremos interessados em superfícies fechadas (aí a direção "para fora" é evidente).
- Qual é o fluxo elétrico fora de tal superfície fechada?
- Devemos integrar sobre toda a superfície (fechada).

$$\Phi = \oint d\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

- O símbolo \oint indica a integral sobre uma superfície fechada. Aqui a superfície é fechada!




Fluxo de campo magnético

- Precisamos encontrar uma forma de calcular a *quantidade de campo magnético* que passa através de uma espira.
- Similar à definição de fluxo elétrico, definimos o fluxo magnético.

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

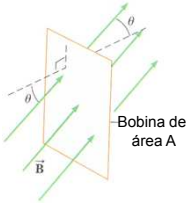
Definição de fluxo magnético



Wilhelm E. Weber
1804 – 1891

- O fluxo magnético é um **escalar**.
- Quando **B** é **uniforme**, o fluxo pode ser expresso como:

$$\Phi_B = BA \cos \theta$$



Bobina de área A

- Unidade SI: weber (Wb): 1 weber = 1 Wb = 1 T m²

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
16

Lei da Indução de Faraday

- A fem induzida numa espira condutora é igual ao negativo da taxa em que o fluxo magnético através da espira está variando com o tempo

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Lei de Faraday

Os sinais negativos nos ajudam a encontrar o sentido da fem induzida.

- Se uma bobina consiste de N espiras de mesma área, a fem induzida total na bobina será dada por:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Lei de Faraday

- Num campo B uniforme, a fem induzida pode ser expressa como:

$$\mathcal{E} = - \frac{d}{dt} (BA \cos \theta)$$

- Uma fem pode ser induzida (i.e. mudança no Φ_B) de 3 formas:
 - O módulo de B pode mudar com o tempo.
 - A área total da bobina sendo atravessada por B pode mudar com tempo.
 - O ângulo entre B e o plano da bobina pode mudar com tempo (girar a bobina).
 - Qualquer combinação dos itens acima pode ocorrer.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
17

Lei de Lenz



Alemanha
1804-1865

Lenz pesquisou:

- A condutividade de vários materiais sujeitos a corrente elétrica;
- O efeito da temperatura sobre a condutividade.

Ganhou fama por ter formulado a lei de Lenz em 1833.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
18

Lei de Lenz

- A Lei de Lenz é usada para determinar o **sentido** de uma corrente induzida numa espira.
- A corrente induzida em uma espira será na direção **que cria um campo B** que se **opõe à mudança** no **fluxo magnético** através da área envolvida pela espira.
- O sentido da fem induzida é o mesmo que o da corrente induzida.

A corrente induzida tende a evitar que o fluxo magnético original através da espira mude

$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$ O trabalho realizado por um agente externo induz a corrente.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 19

Lei de Lenz

- O **sentido da corrente i induzida** é tal que o campo magnético B_{ind} produzido pela corrente se **opõe à variação do campo magnético B que induziu a corrente**.
- B_{ind} sempre tem **sentido oposto** de B se B estiver **aumentando** (a,c) e o **mesmo sentido** que B se B está **diminuindo** (b,d).
- A regra da mão direita fornece o sentido da corrente induzida.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 20

Direção da corrente induzida

Qual figura é fisicamente razoável?

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 21

Aplicação da lei de Faraday

Forno de indução

- Seu funcionamento é baseado no princípio da indução...
- Uma **corrente oscilante** passa através uma **bobina** colocada abaixo da superfície do fogão, feita de um vidro especial.
- A corrente produz um **campo B oscilante**, o qual **induz uma corrente na panela**.
- Como a panela possui alguma **resistência elétrica**, a energia elétrica associada com a corrente induzida é transformada em **energia interna (térmica)**.

An induction cooktop is 80-90% effective as compared to the 70% of a traditional electric stove and the 31% (!!) of a gas stove.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 22

Aplicação da lei de Faraday

Produção de som em uma guitarra elétrica

- Numa guitarra elétrica, uma corda vibrando induz uma fem em uma bobina coletora.
- Os círculos abaixo das cordas metálicas detectam as notas sendo tocadas e enviam a informação através de um amplificador para os altofalantes.
- Há vários conjuntos de bobinas coletoras que podem ser alternados por uma chave seletora.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 23

Exercício

A Fig. mostra uma espira condutora formada por uma semicircunferência de raio $r = 0,20m$ e três fios retilíneos. A semicircunferência está em uma região onde existe um campo magnético uniforme \mathbf{B} orientado para fora do plano do papel; o módulo do campo é dado por $B = 4,0t^2 + 2,0t + 3,0$, com B em teslas e t em segundos. Uma fonte ideal com uma força eletromotriz $\mathcal{E}_{fonte} = 2,0 V$ é ligada à espira. A resistência da espira é $2,0 \Omega$.

(a) Determine o módulo e o sentido da força eletromotriz \mathcal{E}_{ind} induzida na espira pelo campo \mathbf{B} no instante $t = 10s$.

(b) Qual é a corrente na espira no instante $t = 10s$?

Resolução:

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad \Phi_B = \int B dA \cos\theta = B \int dA = BA$$

$$\mathcal{E} = \frac{d(BA)}{dt} = A \frac{dB}{dt} \quad \mathcal{E} = A \frac{dB}{dt} = \frac{\pi r^2}{2} \frac{d(4,0t^2 + 2,0t + 3,0)}{dt} \quad \mathcal{E} = \frac{\pi r^2}{2} (8,0t + 2,0)$$

$$\mathcal{E}(10s) = 5,2V$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_{total}}{R} = \frac{\mathcal{E}_{ind} - \mathcal{E}_{fonte}}{R}$$

$$i = \frac{5,2V - 2,0V}{2,0\Omega} = 1,6A$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 24

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 e 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

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Prof. Loos

Física Geral III

loos.prof.ufsc.br

25
