

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
4

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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
5

---

---

---

---

---

---

---

---

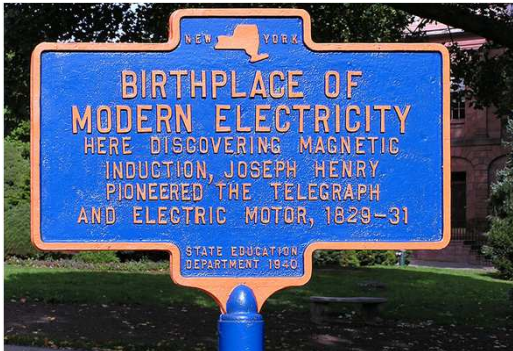
---

---

---

---

### Lei da indução de Faraday



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos
Física Geral III
loos.prof.ufsc.br
6

---

---

---

---

---

---

---

---

---

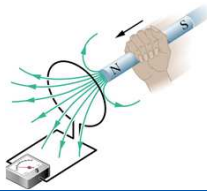
---

---

---

**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

---

---

---

---

---

---

---

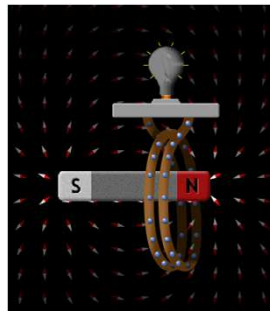
---

---

---

**Applet: Lei de Faraday**  
**Experiência 1**

- [phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday\\_pt\\_BR.jnlp](http://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

---

---

---

---

---

---

---

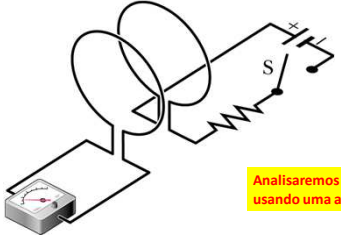
---

---

---

**Lei de Faraday**  
**Experiência 2**

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



**Analisaremos a Experiência 2 usando uma animação!**

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

---

---

---

---

---

---

---

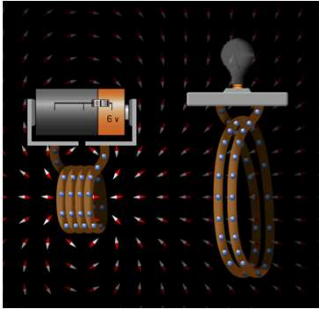
---

---

---

**Lei de Faraday**  
**Experiência 2**

- [phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday\\_pt\\_BR.jnlp](http://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.

---

---

---

---

---

---

---

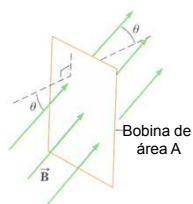
---

---

---

### 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

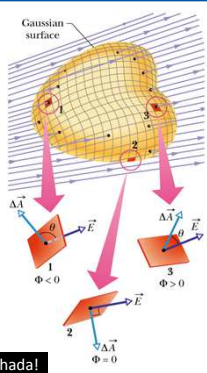
- Quando temos uma superfície complexa, podemos dividi-la em minúsculos elementos infinitesimais de área:

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

- 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.

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

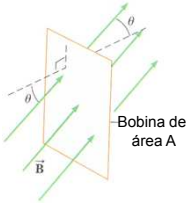
**Definição de fluxo magnético**



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 m<sup>2</sup>

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  $\Phi_B$ ) 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](http://loos.prof.ufsc.br) e-mail: [marcio.loos@ufsc.br](mailto:marcio.loos@ufsc.br)

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Prof. Loos

Física Geral III

[loos.prof.ufsc.br](http://loos.prof.ufsc.br)

25

---

---

---

---

---

---

---

---