

# FIZYKA II

Vitalii Dugaev

*Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej  
Politechnika Rzeszowska*

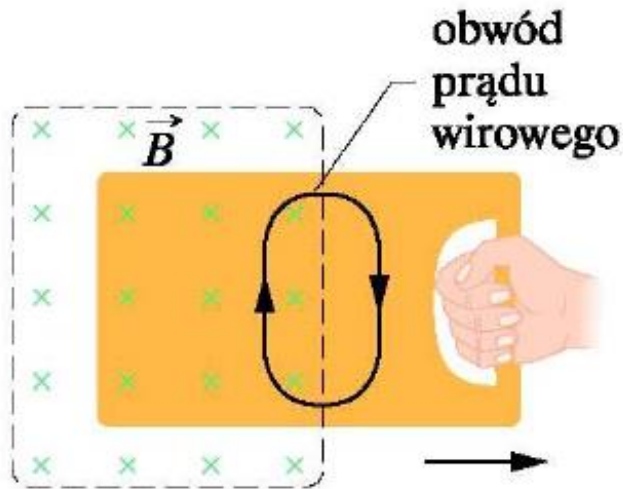
---

Semestr letni, rok 2017/2018



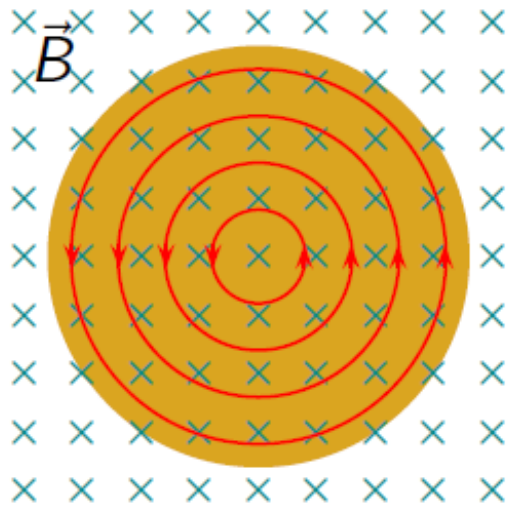
# Prądy wirowe

---



- Prądy elektryczne indukowane zmiennym polem magnetycznym powstają w przewodnikach o różnych kształtach i rozmiarach
- Elektrony przewodnictwa krążą po torach wirowych
- Energia prądu indukowanego zamienia się w większości w ciepło, ze względu na opór przewodnika

# Indukowane pola elektryczne



Indukowane pole elektryczne  $\rightarrow$

Prawo Faradaya:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Zmienne pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne nawet w próżni bez obecności ładunków

$$\text{SEM: } \mathcal{E} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Całkowanie wzdłuż konturu zamkniętego

## Indukcyjność cewki

---

$$L = \frac{N\Phi_B}{I}$$

$\Phi_B$  – strumień magnetyczny

$N$  – ilość zwojów

Jednostka indukcyjności: 1 henr = 1 H = 1 T · m<sup>2</sup>/A

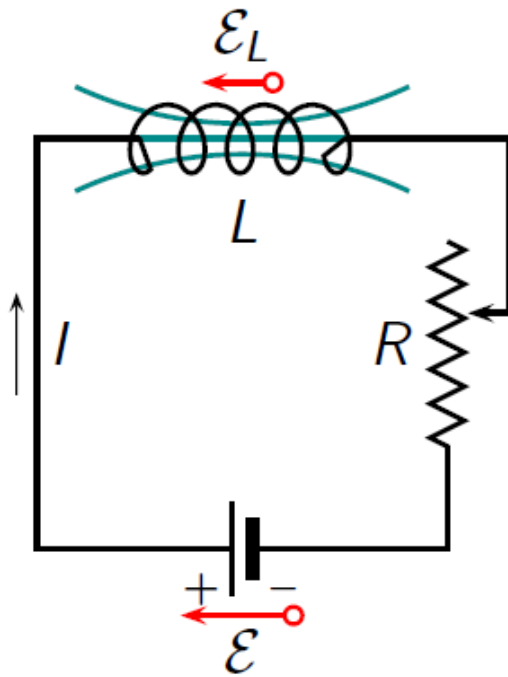
### Indukcyjność solenoidu

$$L = \frac{N\Phi_B}{I} = \frac{(nl)(BS)}{I} = \frac{(nl)(\mu_0 In)(S)}{I} = \mu_0 n^2 l S$$

$$B = \mu_0 In,$$

$n$  – ilość zwojów na jednostkę długości

# Samoi indukcja



Samoi indukcja przy  
zmianie prądu  $I$

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

$$N\Phi_B = LI$$

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt}$$

SEM samoi indukcji

# Obwody RL

Włączamy prąd:

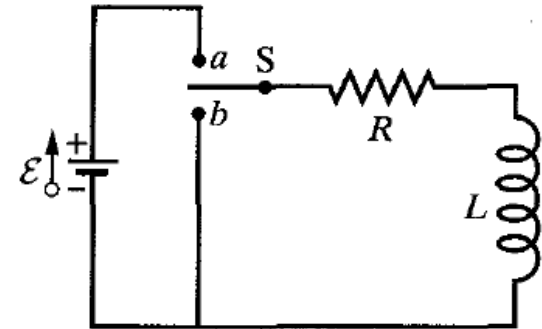
$$-IR - L \frac{dI}{dt} + \mathcal{E} = 0, \quad \text{- drugie prawo Kirchhoffa}$$

$$L \frac{dI}{dt} + RI = \mathcal{E}$$

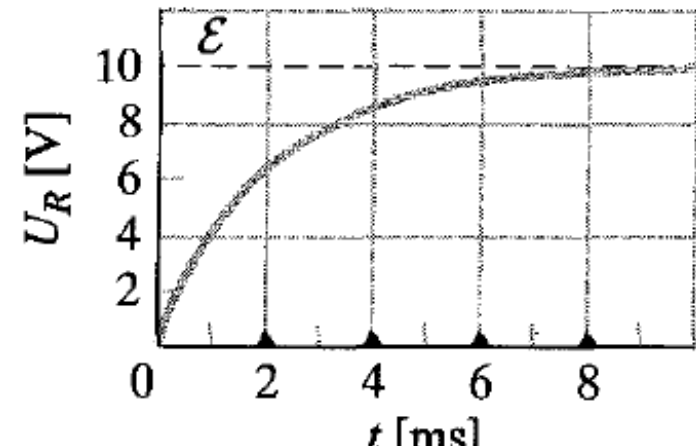
Rozwiązanie:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$\tau_L = \frac{L}{R} \quad \text{- stała czasowa}$$



Rys. 31.17. Obwód  $RL$ . Gdy klucz  $S$  jest połączony z punktem  $a$ , natężenie prądu rośnie i dąży do granicznej wartości  $\mathcal{E}/R$



# Energia zmagazynowana w polu magnetycznym

---

Równanie dla SEM:

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + IR$$

$$\mathcal{E}I = LI \frac{dI}{dt} + I^2 R,$$

$$\frac{dE_B}{dt} = LI \frac{dI}{dt}$$

$E_B$  - energia magnetyczna

$$E_B = \frac{1}{2} LI^2$$

Energia pola magnetycznego

Szybkość, z jaką źródło wykonuje pracę nad ładunkiem  $q$ :

$$\mathcal{E}I = (\mathcal{E}dq)/dt.$$

Energia pola elektrycznego:

$$E_E = \frac{q^2}{2C}$$

# Indukcja wzajemna

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} \quad - \text{definicja indukcji wzajemnej}$$

$$M_{21} I_1 = N_2 \Phi_{21}$$

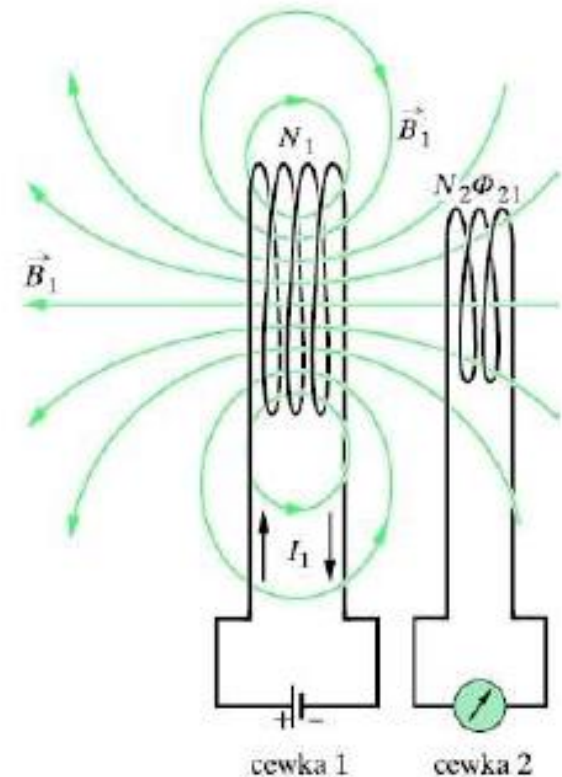
Jeżeli prąd / będzie się zmieniał w czasie:

$$M_{21} \frac{dI_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = \mathcal{E}_2 \quad (\text{prawo Faradaya})$$

$$\mathcal{E}_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

Analogicznie:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$



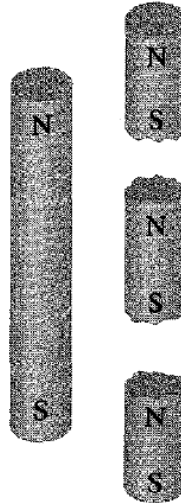
$$M_{21} = M_{12} = M,$$

indukcja wzajemna



# Prawo Gaussa dla pól magnetycznych

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

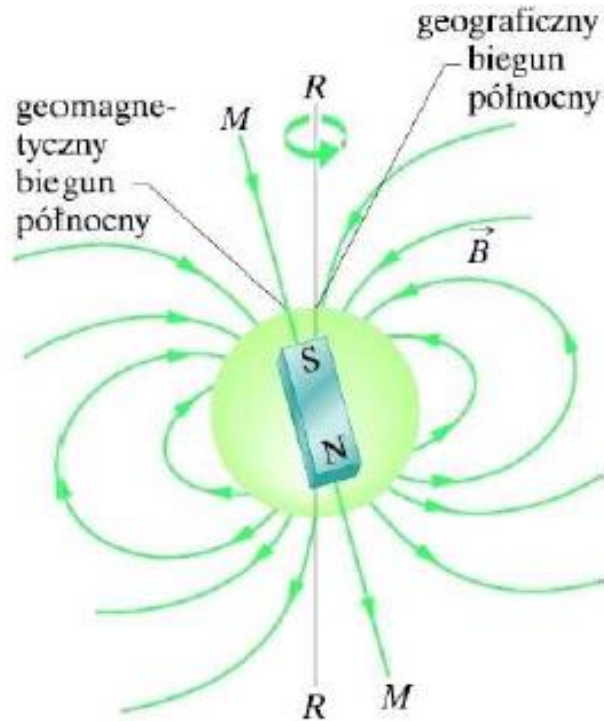


$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{\text{wewn}}}{\epsilon_0}$$

Prawo Gaussa dla pól elektrycznych

Wypadkowy strumień magnetyczny  $\Phi_B$  przez dowolną zamkniętą powierzchnią jest równy zero (monopole magnetyczne nie istnieją)

# Magnetyzm ziemski



$MM$  – oś dipola

Ziemskie pole magnetyczne jest polem, pochodzącym od dipola magnetycznego. Związany jest z nim dipolowy moment magnetyczny  $\mu$ .

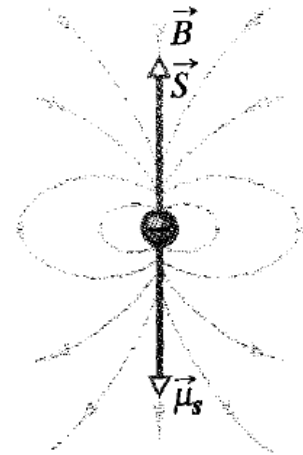
# Magnetyzm i elektrony

Elektron ma swój własny moment pędu nazywany spinem  $\mathbf{S}$ . Z tym spinem jest związany własny moment magnetyczny  $\boldsymbol{\mu}_s$ :

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m} \vec{S}$$

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$



Można zmierzyć składowe spinu wzdłuż pewnego kierunku z

$$S_z = m_s \frac{h}{2\pi}$$

$$\mu_{s,z} = -\frac{e}{m} S_z$$

$$\mu_{s,z} = \mp \frac{eh}{4\pi m}$$

$$m_s = \pm \frac{1}{2}$$

- magnetyczna spinowa liczba kwantowa

$h$  – stała Plancka ( $= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J/T} \quad (\text{magneton Bohra})$$

## Orbitalny moment magnetyczny

---

$$\vec{\mu}_{\text{orb}} = -\frac{e}{2m} \vec{L}_{\text{orb}}$$

$L_{\text{orb}}$  – orbitalny moment pędu

Składowa orbitalnego momentu pędu wzdłuż osi z:

$$L_{\text{orb},z} = m_l \frac{h}{2\pi}, \quad m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(\text{wartość maksymalna})$$

$$\mu_{\text{orb},z} = -m_l \frac{eh}{4\pi m} = -m_l \mu_B$$

Elektron w polu magnetycznym:

$$\text{Energia potencjalna: } E_p = -(\mu_s + \mu_{\text{orb}}) \cdot \mathbf{B}$$

## Indukowane pole magnetyczne

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad \text{- całka po konturu}$$

Zmienne pole elektryczne indukuje pole magnetyczne

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

(prawo indukcji Faradaya)

### Uogólnione prawo Ampère'a

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 I_p$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_p$$

(prawo Ampère'a)

Zmienne pole elektryczne i prąd elektryczny indukują pole magnetyczne

$$I_{\text{prz}} = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad \text{- prąd przesunięcia}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{\text{prz,p}} + \mu_0 I_p \quad \text{- uogólnione prawo Ampère'a}$$

# Równania Maxwella

---

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q_{\text{wewn}}/\epsilon_0$$

prawo Gaussa dla elektryczności

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

prawo Gaussa dla magnetyzmu

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

prawo Faradaya

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0\epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 I_p$$

uogólnione prawo Ampère'a