

FIZYKA

Prąd elektryczny

Natężenie prądu elektrycznego

Prąd elektryczny - to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych

Należy odróżnić ten ruch od chaotycznych ruchów cieplnych elektronów, czy innych cząstek naładowanych, bowiem wtedy przez wydzieloną w obszarze przewodnika powierzchnię przepływa średnio ta sama ilość ładunków w obu kierunkach i wypadkowy przepływający ładunek (a więc i prąd) jest równy zero

Natężenie prądu:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

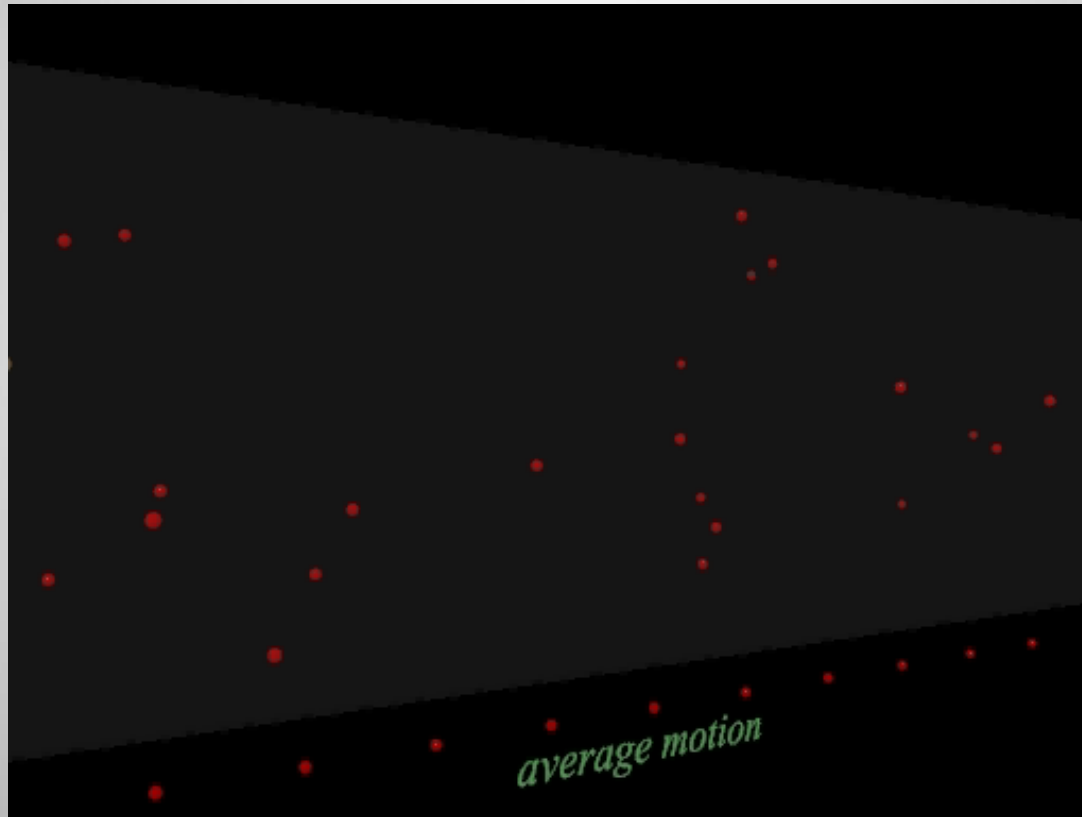
Jednostka: 1 A



Dla prądu stałego:

$$I = \frac{q}{t}$$

Natężenie prądu elektrycznego



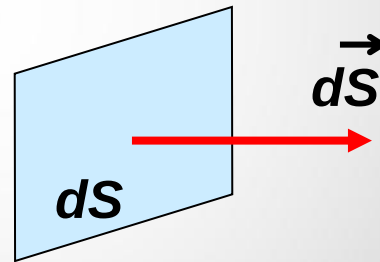
Wektor gęstości prądu

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$

W różnych miejscach powierzchni, przez którą przepływa prąd jego natężenie może być różne. Wprowadzamy więc pojęcie wektora gęstości prądu

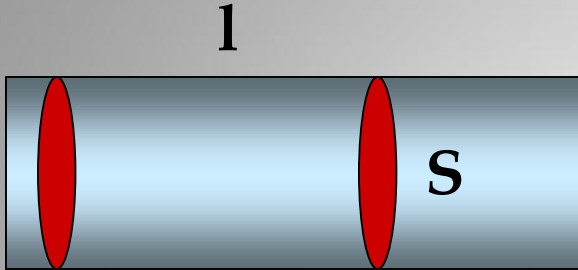
Kierunek wyznacza ruch nośników dodatnich.

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$



Kierunek tego wektora określa kierunek ruchu nośników dodatnich, a wartość odpowiada natężeniu prądu płynącego przez prostopadłą do tego kierunku powierzchnię jednostkową wokół danego punktu w przewodniku.

Prędkość unoszenia



Jaka jest prędkość przemieszczania się ładunków w przewodniku; bliska prędkości światła czy mniejsza?

Ile elektronów
w objętości V ?

$$n \cdot V = n \cdot S \cdot l$$

↑
koncentracja

$$q = e \cdot n \cdot \overbrace{(S \cdot l)}^V$$

$$t = \frac{l}{v_d}$$

$$i = \frac{q}{t} = \frac{e \cdot n \cdot S \cdot l}{(l/v_d)} = e \cdot n \cdot S \cdot v_d = j \cdot S$$

$$\vec{j} = e \cdot n \cdot \vec{v}$$

Mikroskopowa postać definicji wektora $\vec{j}$

Prędkość unoszenia - przykład

$$v_u = \frac{i}{e \cdot n \cdot S} = \frac{j}{e \cdot n}$$

Jaka jest prędkość elektronów w przewodniku miedzianym o średnicy $d = 1,63 \text{ mm}$ przez który płynie prąd o natężeniu $i = 10 \text{ A}$.

$$j = \frac{i}{S} = \frac{10 \text{ A}}{0,028 \text{ cm}^2} = 480 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

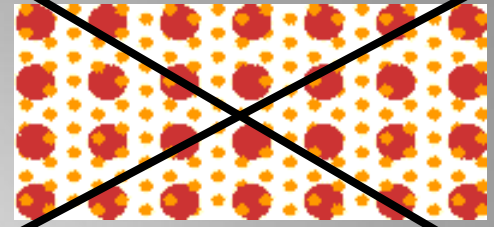
$$n = 8,4 \cdot 10^{22} \text{ 1/cm}^3$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$v_u = \frac{j}{e \cdot n} = \frac{480 \text{ A/cm}^2}{(8,4 \cdot 10^{22} \text{ 1/cm}^3) \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})} = 3,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Na przebycie 1 cm potrzeba aż 28 s.

Prąd elektryczny



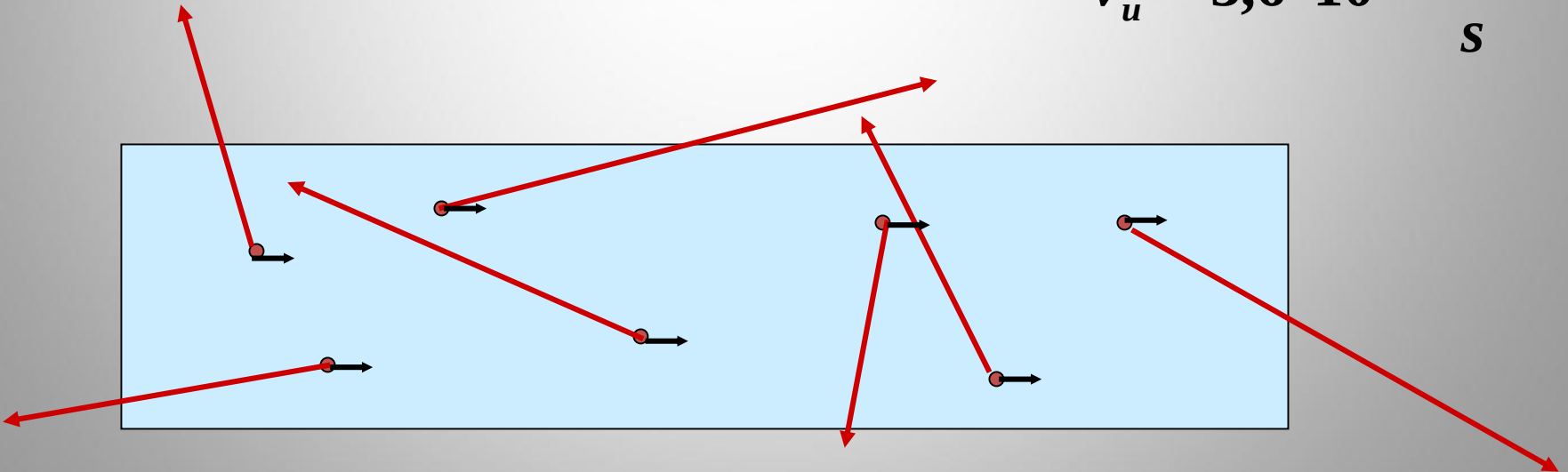
Prędkość termiczna

$$v_0 = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

W temperaturze pokojowej $T = 300 \text{ K}$: $v_0 = 1,1 \cdot 10^7 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

$$v_u \ll v_0$$

$$v_u = 3,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$



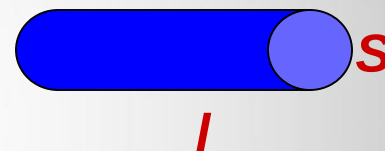
Makroskopowe Prawo Ohma

$$I = k \cdot U = \frac{1}{R} \cdot U$$

Słuszne tylko w pewnym przedziale temperatur.

Oporność:

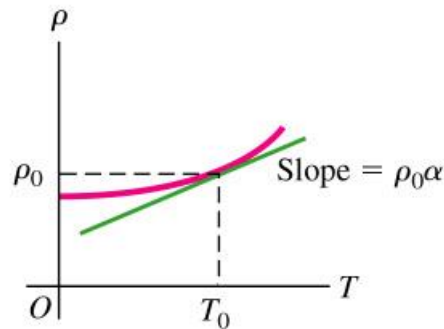
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$



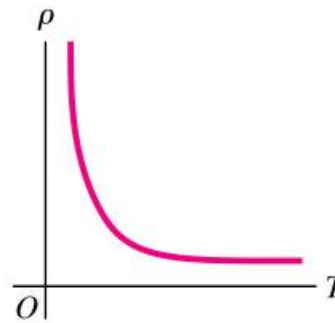
W zakresie umiarkowanych temperatur:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t), \quad \Delta t = T - T_0$$

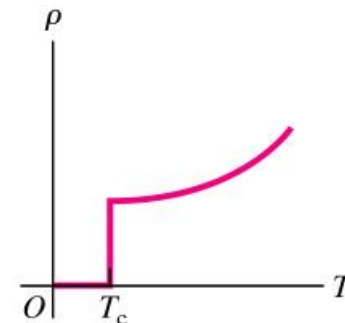
Zależność oporu od temperatury



(a) Metal:
 ρ increases
with increasing T

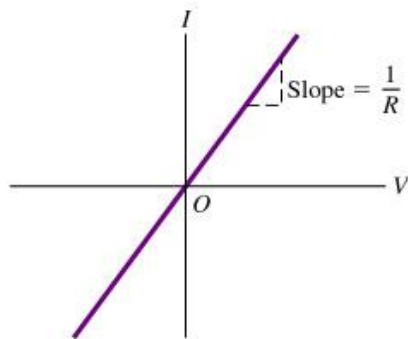


(b) Semiconductor:
 ρ decreases
with increasing T

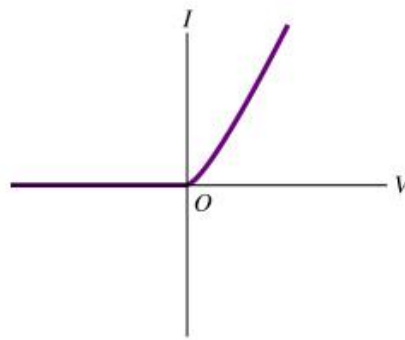


(c) Superconductor:
 $\rho = 0$ for $T < T_c$

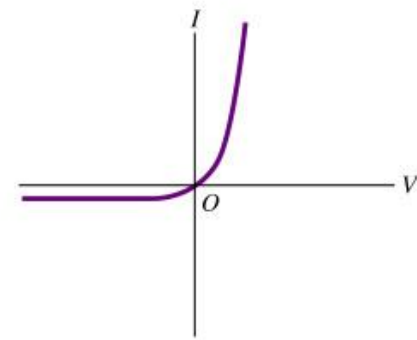
Kiedy prawo Ohma nie jest spełnione?



(a) Resistor that obeys Ohm's law



(b) Vacuum diode (does not obey Ohm's law)



(c) Semiconductor diode (does not obey Ohm's law)

Mikroskopowe Prawo Ohma

W postaci różniczkowej:

$$dI = \frac{1}{R} \cdot dU = \frac{\overbrace{1/R}^{1/\rho}}{\cancel{dS}} \cdot \overbrace{dU}^{E \cdot dI} = j \cdot \cancel{dS}$$

$$v_u = \frac{i}{e \cdot n \cdot S} = \frac{j}{e \cdot n}$$

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \cdot \vec{E} = \sigma \cdot \vec{E}$$

σ – przewodność właściwa

$$v_u = \frac{\sigma \cdot E}{e \cdot n}$$

Prędkość unoszenia proporcjonalna do E

Siły oporu równoważą siłę pola elektrycznego.

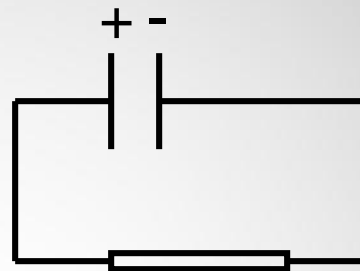
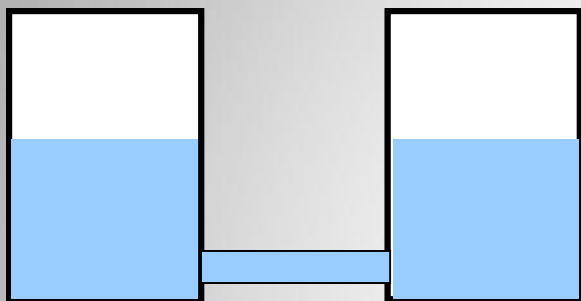
Elektrostatyka demonstracja 1



Elektrostatyka demonstracja 2



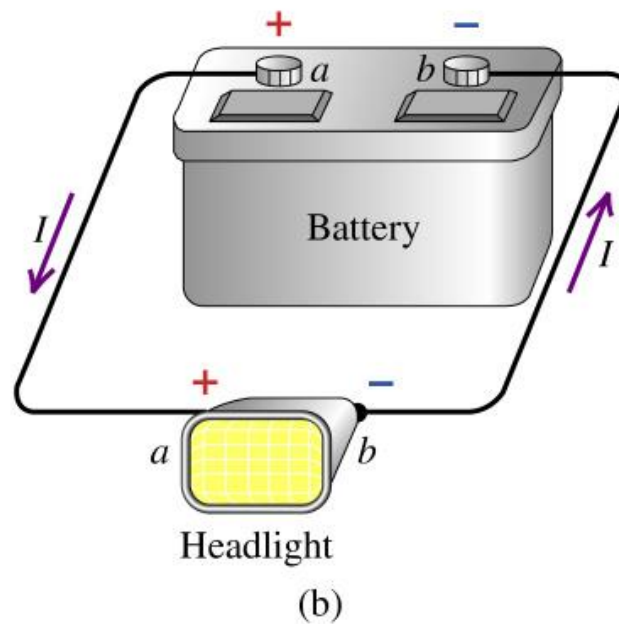
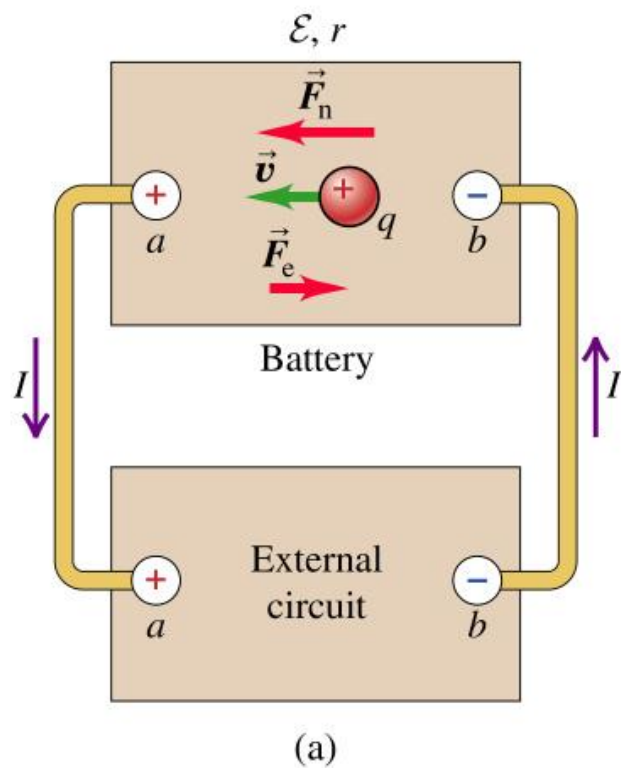
Siła elektromotoryczna



Praca wykonana w obwodzie elektrycznym przez siły zewnętrzne nad ładunkiem jednostkowym (umownie - dodatnim) nosi nazwę siły elektromotorycznej (SEM).

$$\mathcal{E} = W_z / q$$

Siła elektromotoryczna



Siła elektromotoryczna

Całkowita praca na danym odcinku obwodu:

$$W_{12} = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + q \cdot \mathcal{E}_{12}$$

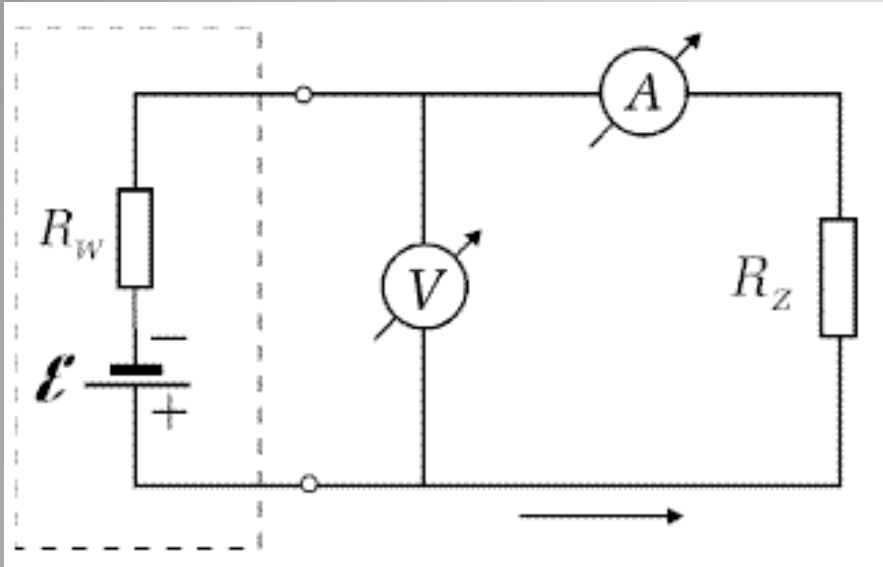
praca związana z
różnicą potencjałów

praca związana z
istnieniem siły zewn.

Wielkość równa całkowitej pracy przy przemieszczeniu jednostkowego ładunku dodatniego pomiędzy dwoma punktami obwodu elektrycznego nazywamy **spadkiem napięcia** lub krótko - **napięciem** pomiędzy tymi punktami i oznaczamy symbolem **U**.

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}$$

Siła elektromotoryczna



$$U_z = \mathcal{E} - I \cdot R_w$$

Kiedy opór zewnętrzny nieskończenie wielki, prąd nie płynie.

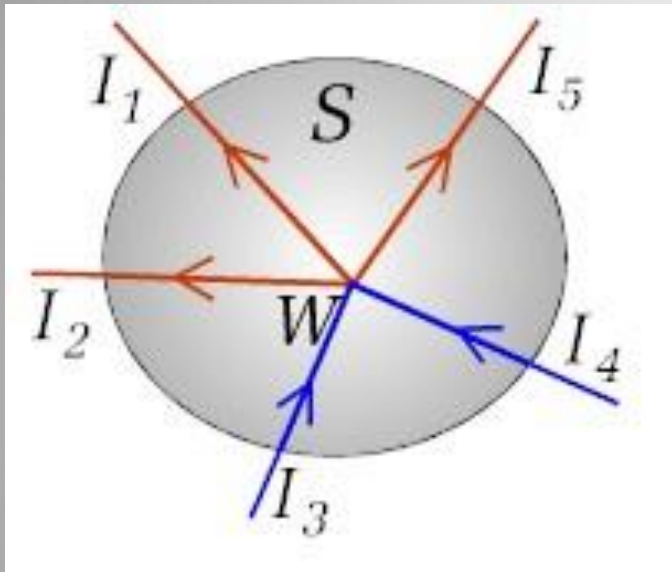
$$U_z = \mathcal{E}$$

Siła elektromotoryczna równa jest różnicy potencjałów na biegunach źródła otwartego.

$$\mathcal{E} = U_z + I \cdot R_w$$

$$\mathcal{E} = I \cdot (R_z + R_w)$$

I Prawo Kirchhoffa



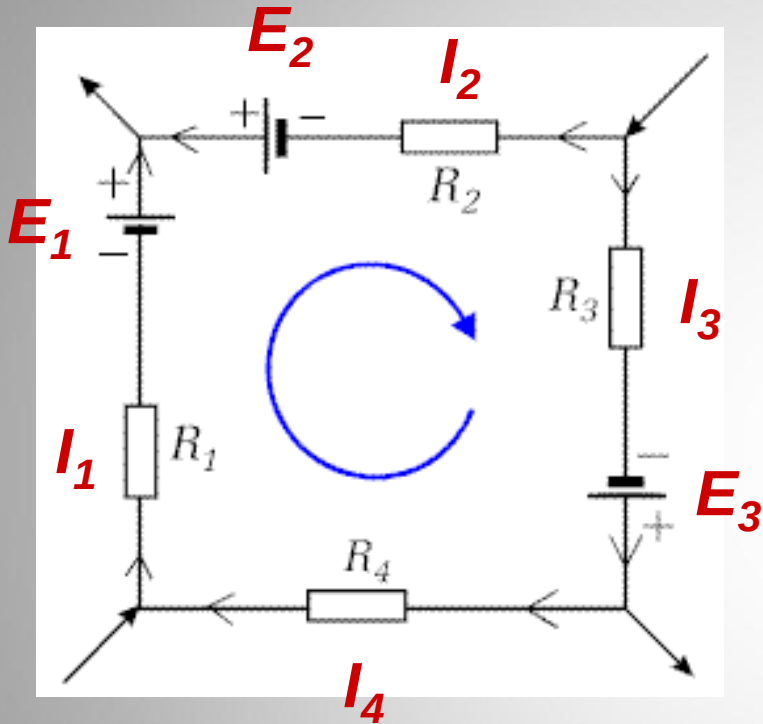
$$\sum_{k=1}^N I_k = 0$$

Zasada zachowania ładunku

Algebraiczna suma prądów w węźle sieci równa jest zeru.

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

II Prawo Kirchhoffa



$$\sum_{k=1}^N I_k \cdot R_k = \sum_{k=1}^N \mathcal{E}_k$$

Zasada zachowania energii

Suma algebraiczna wszystkich sił elektromotorycznych w oczku sieci równa jest sumie występujących w tym oczku spadków napięć.

$$I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 = E_1 - E_2 + E_3$$

Łączenie rezystorów

- Połączenie szeregowe



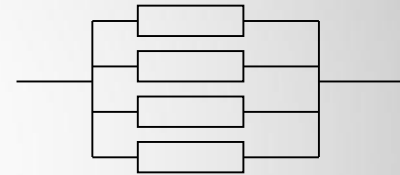
$$U = RI$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

$$RI = R_1I + R_2I + R_3I + \dots + R_nI$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

Połączenie równoległe



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

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Praca prądu elektrycznego

$$dW = dq \cdot U = I \cdot dt \cdot U$$

$$W = \int_0^t U \cdot I \cdot dt$$

Dla prądu stałego:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

$$W = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Moc prądu elektrycznego

$$P = \frac{dW}{dt} = U \cdot I$$

Jednostka

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$$