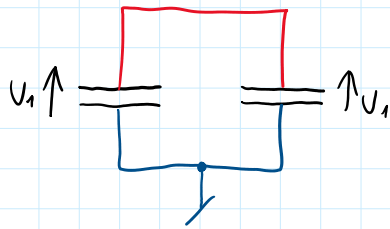
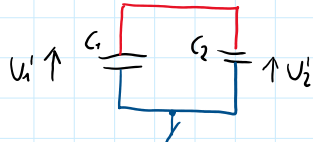


# POLE PRZEPŁYWOWE

## KONDENSATORY



$$U_1 = U_2$$

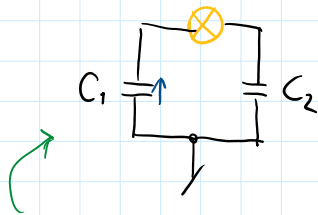


$$U_1' = U_2'$$

$$Q_1' + Q_2' = Q_0$$

$$\frac{C_1'}{C_2} = \frac{Q_1'}{Q_2}$$

Ładunek z jednej okładki przepłynął na drugą



Przepływ może spowodować np. zapalenie latarki

## PODSTAWOWE POJĘCIA

- prąd
- gęstość prądu
- ruchliwość nośników
- konduktywność
- rezystywność
- prawo Ohma
- równanie ciągłości

## NOŚNIK ŁADUNKU

- obiekt - cząstka lub kwazicząstka - obdarzony ładunkiem elektrycznym

- obiekt - cząstka lub kwazicząstka - oddziaływany ładunkiem elektrycznym
- elektron, jon, para coopera, dziury elektronowe

## PRĄD

- szybkość zmian ładunku (w danym punkcie przestrzeni w danym układzie)
- natężenie przepływu ładunku przez powierzchnię - zwykle powierzchnie przekroju przewodzącego drutu

$$I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

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

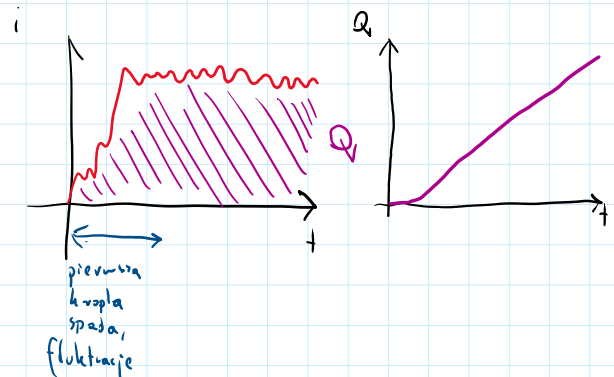
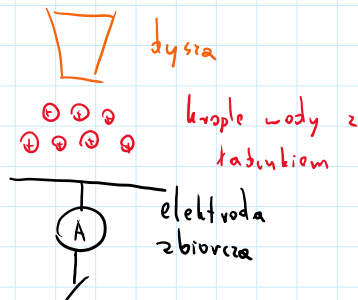
## ŁADUNEK Q

$$q(t) = \int i(t) dt$$

$$Q = \int_0^T i(t) dt$$

$$Q = \int_0^T i(t) dt + Q_0$$

## PRZYKŁAD 1



## NOWA DEFINICJA AMPERA

### KIERUNEK PRĄDU

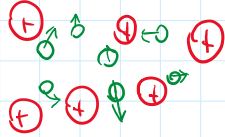
- wyznaczany przez ruch ładunków dodatnich - kierunek prądu zgodny z kierunkiem pola



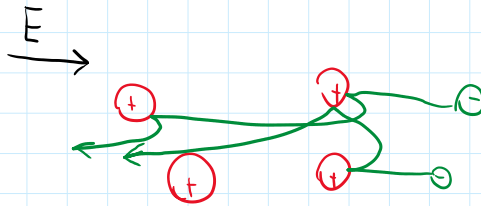
## KLASYCZNY MODEL PRZEWODNIKA

# KLASYCZNY MODEL PRZEWODNIKA

- nieruchome jony
- elektrony swobodne



## RUCH NOŚNIKÓW



## PRĘDKOŚĆ DRYFTU



- pod wpływem pola elektrycznego wszystkie nośniki poruszają się ze stałą prędkością - prędkością dryftu

## ZALEŻNOŚCI

$$F \sim E \quad a \sim F \quad v \sim E$$

$v \sim a$   $v \sim E$  ← ruchliwość

$\tau$  czas relaksacji

$$\vec{v}_d = \tau \cdot \vec{a}$$
$$\vec{F} = m_q^* \cdot \vec{a}$$

$m_q^*$  masa efektywna

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$
$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_d}{\tau}$$

## RUCHLIWOŚĆ NOŚNIKÓW

$$\vec{v}_d = \frac{q \cdot \tau}{m_q^*} \cdot \vec{E}$$

$$q \cdot \tau \rightarrow \mu$$

$$\vec{v}_d = \mu \vec{E}$$

$$\mu = \frac{q \cdot \tau}{m_a^*} \quad \vec{v}_d = \mu \cdot \vec{E}$$

↖ w książkach: moment dipolowy

- współczynnik proporcjonalności pomiędzy prędkością dryftu

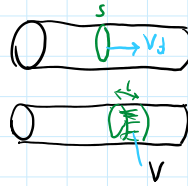
$$\mu = \frac{v_d}{E} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}} \right]$$

- prędkość dryftu nadawana przez jednostkowe pole elektryczne

## PRZEPŁYW NOŚNIKÓW

$$v_d \quad l = \Delta t \cdot v_d$$

$$V = s \cdot l = s \cdot \Delta t \cdot v_d$$



$$Q = N \cdot q = n \cdot V \cdot q = n \cdot s \cdot l \cdot q$$

↑  
koncentracja ładunków  
 $N = nV$

$$\Delta Q = n \cdot V \cdot q = n \cdot s \cdot v_d \Delta t \cdot q$$

## NATĘŻENIE PRĄDU

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n \cdot s \cdot v_d \cdot \Delta t \cdot q}{\Delta t} = n s v_d q$$

- proporcjonalne do:
  - ładunków na jednostkę objętości  $n$
  - powierzchni  $s$
  - prędkości nośników ładunków  $v_d$
  - ładunku nośników  $q$

## PRĘDKOŚĆ DRYFTU

$$v_d = \frac{I}{n s q}$$

PRZYKŁAD:  $I = 10 \text{ A}$      $s = 10 \text{ mm}^2$      $n = 8,85 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$      $q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

wynik:  $v_d = 7,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- prędkość termiczna:  $v_{th} = 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (ruch nieuporządkowany, średnia = 0)

## GĘSTOŚĆ PRĄDU

# GĘSTOŚĆ PRĄDU

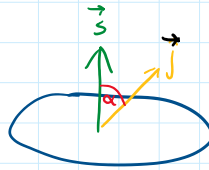
$$I = nq \vec{v}_d \cdot \vec{s} \cdot \hat{n}$$

$$I = \vec{j} \cdot \vec{s}$$

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{s} = j \cdot ds \cdot \cos\alpha$$

$$\vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{v}_d = Q_V \cdot \vec{v}_d$$

$$|\vec{j}| = j = \frac{I}{S} \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$



- zgodnie z zależnościami  $\vec{j} = Q_V \cdot \vec{v}_d$  przepływ nie wymaga obecności pola elektrycznego, a jedynie ruchu ładunków
  - często ruch ładunków jest wymuszany przez  $E$ , ale nie musi tak być np:
    - pod wpływem wiatru
    - spadek naelektryzowanych kropli pod wpływem grawitacji
- ↖ prąd konwekcji

## ZALEŻNOŚCI:

$$v_d \sim E \quad j \sim v_d$$

$$j \sim v_d \sim E$$

$$j \sim E$$

## KONDUKTYWNOŚĆ

$$\vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{v}_d \quad \vec{v}_d = \mu \cdot \vec{E}$$

$$\vec{j} = n \cdot q \cdot \mu \cdot \vec{E} = \sigma \cdot \vec{E}$$

↖ sigma, konduktywność

$$\sigma = \frac{j}{E} \left[ \frac{A}{Vm} \right] \left[ \frac{S}{m} \right]$$

$$\sigma = q \cdot n \cdot \mu$$

- w ujęciu mikroskopowym

$$\sigma = q n \mu \quad \mu = \frac{q \tau}{m_q^*}$$

$$\sigma = \frac{n q^2 \tau}{m_q^*}$$

## REZYSTYWNOŚĆ

## REZYSTYWNOSC

$$\rho = \frac{E}{j} \left[ \frac{V_m}{A} \right] [\Omega m]$$

## PRAWO OHMA

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad \vec{E} = \rho \cdot \vec{j}$$

## PODSUMOWANIE

- prąd wyrażony przez gęstość prądu:  $dI = \vec{j} \cdot d\vec{S}$
- prawo Ohma:  $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$