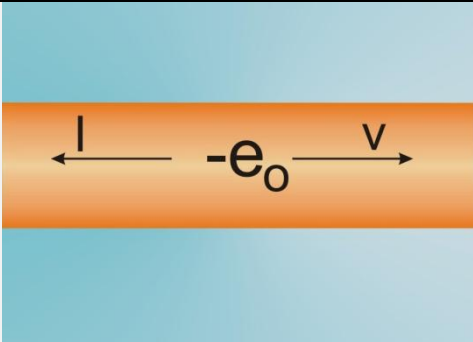


Oceni hitrost električnega toka v žicah in hitrost elektronov v vakuumskih ceveh.

| | |
|--|--|
| <p>Kaj je električni tok? Električni tok je gibanje nosilcev električnega naboja. V žicah so to elektroni, ki imajo najmanjši možni naboj t.j. $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$. Gibljejo se lahko tudi pozitivno ali negativno nabiti delci – ioni. Pozitivno nabiti delci so kationi in negativno anioni. Smer toka je po dogovoru vedno smer gibanja pozitivno nabitih delcev in obratna smeri negativno nabitih delcev.</p> |  |
|--|--|

a) Kolikšna je povprečna hitrost elektronov v žicah (hitrost enosmernega električnega toka v žicah)?

Primer:

Potrebno znanje: srednješolska fizika in osnove elektrotehnike; poglavja zgradba snovi, zgradba atomov, enakomerno gibanje.

Vzemimo bakreno žico po kateri teče enosmerni tok I .

$$\rho_{Cu} = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{gostota bakra: } \rho = \frac{m}{V}$$

$$M(\text{kg}) = 63 \text{ kg}$$

kilomolsko maso dobim v fizikalnem ali kemičnem priročniku

$$m = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

toliko kg bakra je v 1 m^3

$$I = 10 \text{ mA} = 10^{-2} \text{ A}$$

tok skozi žico in presek žice

$$S = 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$v = ?$$

kolikšna je hitrost elektronov (ki so nosilci toka v žici)

Najprej izračunamo število atomov na m^3 bakra:

$$N = n N_A = \frac{m}{M} N_A = 8,5 \cdot 10^{28}$$

N število atomov bakra

n število kilomolov

(masa m deljeno s kilomolsko maso M)

N_A Avogadrovo število

oglej fizikalni priročnik (kmol poljubne snovi ima N_A molekul)

V volumnu 1 m^3 imamo torej N atomov bakra. Vsak atom bakra ima na zunanji obli elektron, ki ni vezan na jedro in se lahko pod vplivom električnega polja giblje. V 1 m^3 bakra imamo torej N prostih elektronov, nosilcev električnega toka:

$$n_e = \frac{8,5 \cdot 10^{28} \text{ elektronov}}{\text{m}^3}$$

Izračunamo tok v žici:

$$e = n_e S v t e_0$$

Tu je e električni naboj (As) in $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ naboj elektrona

$$e = I t$$

t : čas v sekundah

$$I = \frac{\Delta e}{\Delta t} = n_e S v e_0$$

$$v = \frac{I}{n_e S e_0}$$

$$v = 7,3 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$$

Presenetljivo majhna hitrost. Zakaj pa se potem prižge luč takoj, ko vklopimo stikalo?

Opomba: Ugotovitve veljajo le za enosmerni tok in zelo nizke frekvence (zadosti dobro tudi za omrežni izmenični tok frekvence 50 Hz), ne pa tudi za visoke frekvence. Tu je potrebno upoštevati, da večina toka teče po površini žice. Efektivni presek žice, ki ga čutijo elektroni je zato znatno manjši (angl.: Skin Effect).

Opomba: izmenični tok v žici pomeni le harmonični nihanje elektronov v obe smeri vzdolž žice in ne »potovanje« elektronov po žici.

b) Kakšna pa je maksimalna hitrost elektronov v vakuumskih ceveh, ko preletijo iz katode na anodo z napetostjo 1000 V?

Pri tem premišljevanje uporabimo znanje iz srednješolske fizike ali osnov elektrotehnike ter prepoznamo formulo za kinetično energijo (energijo zaradi gibanja delca).

Zgled 1:

$$\frac{U = 1000V}{v = ?}$$

$e_0 U = \frac{m_0 v^2}{2}$ delo sile na elektron (silo povzroči električno polje) je enak spremembi kinetične energije elektrona

$v = \sqrt{\frac{2e_0 U}{m_0}}$ kjer je $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} kg$. To je masa elektrona

$$(4) v = \sqrt{\frac{2e_0 U}{m_0}}$$

$$v \approx 2 \cdot 10^7 \frac{m}{s} = 6,7 \cdot 10^7 \frac{km}{h}$$

Opomba:

Hitrost elektronov se v našem primeru približuje svetlobni hitrost, ki je približno:

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} = 300.000 \frac{km}{h},$$

Pri še večji pospeševalni napetosti moramo uporabiti Einsteinovo relativistično enačbo (masa elektrona se s približevanjem hitrosti svetlobe večja tako, da elektron nikoli ne more doseči te

hitrosti): $m_0(v) = \gamma \cdot m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$., kar kaže naslednji zgled:

Zgled 2:

$$\frac{U = 300 kV}{v = ?}$$

Če bi računali podobno, kot pri zgledu 1, bi dobili hitrost elektrona večjo od svetlobne hitrosti. To seveda ni možno, zato upoštevamo enačbe iz posebne teorije relativnosti.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$$

Kinetična energija elektrona je sedaj:

$$W_k = e_0 U = (\gamma - 1)m_0 c^2$$

$$\gamma - 1 = \frac{e_0 U}{m_0 c^2}$$

$$\gamma = \frac{e_0 U}{m_0 c^2} + 1$$

$$\underline{\underline{\gamma = 1,58}}$$

$$\gamma^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = 1$$

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}$$

$$\underline{\underline{v = 0,8 \cdot c = 2,3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}}$$

Skupna ugotovitev

Večina ljudi si po izkušnjah predstavlja, da se tok v žicah giblje izredno hitro. Ugotovili smo, da se elektroni, ki so nosilci enosmernega toka v žicah, v povprečju gibljejo izredno počasi. (Opazujemo komponento gibanja v obratni smeri toka - dejanski tok v žici je po dogovori nasproten kot tok elektronov). Ker se ob priklopu električne napetosti začnejo gibati vsi elektroni istočasno, v poenostavljenem modelu ni zakasnitve npr. med vklopom stikala za luč in prižgano lučjo – prenos informacije »prižgi luč« je tako rekoč trenuten.

Druga skrajnost je gibanje elektronov v vakuumu, kjer ni ovir, ki bi motile gibanje elektronov. Hitrost elektronov se zlahka približa svetlobni hitrosti in za natančni izračun hitrosti elektronov moramo v tem primeru upoštevati Einsteinovo relativistično enačbo.