

Rudolf Kladnik:

Fizika za srednješolce 3

Svet elektronov in atomov

Električno polje (11), gibanje delcev v električnem polju

Stran 55, naloga 1

Kolikšno napetost mora preleteti elektron, da se njegova kinetična energija poveča za 10 keV?

$$\underline{\Delta W_k = 10 \text{ keV}}$$

$$\Delta U = ?$$

Razlaga:

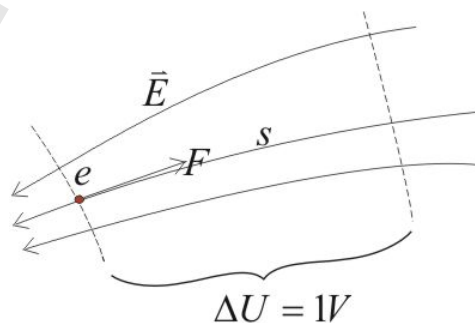
Za delo ali energijo se v atomiki pogosto uporablja enota $1eV$ (elektron volt). Ta je enaka delu, ki ga opravi električno polje na elektron, ko le-ta preleti napetost $1V$.

$$A = F \Delta s = e E \Delta s = e \Delta U [eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J]$$

Tu je: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ naboj elektrona

$F = e E$ sila na naboj

$\Delta U = E \Delta s$ napetost



Rešitev naloge:

Delo je enako spremembi kinetične energije:

$$A = \Delta W_k$$

$$e \Delta U = \Delta W_k$$

$$\underline{\Delta U = \frac{\Delta W_k}{e} = 10 \text{ kV}}$$

Stran 55, naloga 2

Elektron in proton se gibljeta v smeri silnic homogenega električnega polja z jakostjo 20 kV/cm . Kolikšna sta njuna pospeška? (Masa elektrona je $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, protona pa $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.)

$$E = 20 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} = 20 \frac{10^3 \text{V}}{10^{-2} \text{m}} = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$e_0 = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$e_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$a_e = ? \quad a_p = ?$$

Razlaga:

Sila na nabit delec v električnem polju je enaka produktu jakosti električnega polja in električnega naboja. Po drugem Newtonovem zakonu povzroča, da se delec z maso m pospešuje s pospeškom a :

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot e = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{E}e}{m}$$

Rešitev:

$$a_e = \frac{Ee_0}{m_0} = \frac{-2 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left[\frac{\text{VAs}}{\text{mkg}} = \frac{\text{kg m}^2 \text{As}}{\text{As}^3 \text{mkg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = -3,5 \cdot 10^{17} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_p = \frac{Ee_p}{m_p} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,67 \cdot 10^{-27}} \left[\frac{\text{VAs}}{\text{mkg}} = \frac{\text{kg m}^2 \text{As}}{\text{As}^3 \text{mkg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 1,9 \cdot 10^{14} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Opomba:

Enota za volt ni osnovna merska enota (do sedaj poznamo m , kg , s , A), zato jo izrazimo z osnovnimi enotami:

$$U = \frac{A}{e} \left[\frac{J}{\text{As}} = \frac{\text{Nm}}{\text{As}} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{As}^3} \right]$$

Elektron se s hitrostjo 50 000 km/s zaleti v smeri silnic homogenega električnega polja z jakostjo 20 kV/cm. Po kolikšni poti se ustavi? Kako se giblje nato?

$$v_0 = 50000 \text{ km/s} = 5 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$E = 20 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} = 20 \frac{10^3 \text{ V}}{10^{-2} \text{ m}} = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

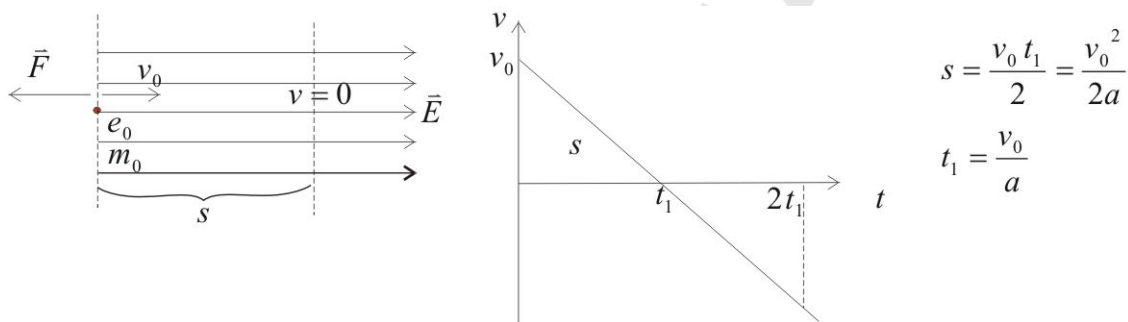
$$m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e_0 = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$s = ?$$

Razlaga:

Sila na elektron ima zaradi negativnega naboja elektrona nasprotno smer od smeri električnega polja. Če prileti elektron v tako električno polje, deluje sila zaviralno na elektron (enakomerno pojemajoče gibanje) in elektron se po razdalji s ustavi. Nato se ponovno pospešuje v obrati smeri s pospeškom a , ki je enak pojemku $-a$. Gibanje je podobno navpičnemu metu – prostemu padu telesa.



Rešitev:

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot e_0 = m_0 \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{E} e_0}{m_0}$$

$$s = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2 m_0}{2E e_0}$$

$$s = \frac{(5 \cdot 10^7)^2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{2 \cdot 2 \cdot 10^6} \left[\frac{\text{m}^2 \text{ kg m}}{\text{s}^2 \text{ V As}} = \frac{\text{m}^2 \text{ kg m As}^3}{\text{s}^2 \text{ As kg m}^2} = \text{m} \right] = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,6 \text{ mm}$$

Opomba:

Enota za volt ni osnovna merska enota (te so do sedaj m, kg, s, A), zato jo izrazimo z osnovnimi enotami:

$$U = \frac{A}{e} \left[\frac{J}{As} = \frac{Nm}{As} = \frac{kg m^2}{As^3} \right]$$

Stran 55, naloga 4

Koliko časa potrebuje proton, da prekorači homogeno električno polje med ploščama kondenzatorja v smeri od pozitivne plošče k negativni? Plošči sta razmaknjeni 1,0 cm, napetost med njima je 20 kV.

$$d = 1\text{cm} = 10^{-2}\text{m}$$

$$U = 20\text{kV} = 20 \cdot 10^3\text{V}$$

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}\text{kg}$$

$$e_p = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{As}$$

$$t = ?$$

Razlaga in rešitev:

Proton je pozitivno nabiti delec z nabojem, ki je po absolutni vrednosti enak naboju elektrona. Na njega deluje sila v smeri silnic električnega polja, torej od pozitivne proti negativni plošči. Sila povzroča, da se proton z maso m pospešuje s pospeškom a . Gibanje je torej enakomerno pospešeno s pospeškom a . Za pot odnosno čas preleta uporabimo enačbo iz enakomerno pospešenega gibanja.

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot e_p = m_p \vec{a}$$

Vstavimo enačbo za E :

$$E = \frac{U}{d}$$

$$\frac{U e_p}{d} = m_p a \quad \Rightarrow \quad a = \frac{U e_p}{d m_p}$$

Uporabimo enačbo za pot pri enakomerno pospešenem gibanju:

$$d = \frac{at^2}{2} \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2d}{a}}$$

Vstavimo enačbo za a in dobimo:

$$t = \sqrt{\frac{2d^2 m_p}{U e_p}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}}{20 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}} \left[\sqrt{\frac{m^2 \text{ kg}}{V \text{ As}}} = \sqrt{\frac{m^2 \text{ kg As}^3}{\text{kg m}^2 \text{ As}}} = s \right] = 10^{-8} \text{ s}$$

Opomba:

Enota za volt ni osnovna merska enota (do sedaj poznamo m, kg, s, A), zato jo izrazimo z osnovnimi enotami:

$$U = \frac{A}{e} \left[\frac{J}{As} = \frac{Nm}{As} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{As}^3} \right]$$

Stran 55, naloga 5

Vzporedni plošči kondenzatorja sta dolgi 5,0 cm in razmaknjeni 2 mm. Elektron stopi v električno polje tik ob negativni plošči; njegova začetna hitrost je 10 000 km/s v smeri pravokotno na silnice. Kolikšna mora biti najmanjša napetost med ploščama, da elektron ne izstopi iz polja, ampak zadene pozitivno ploščo.

$$l = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$v_0 = 10000 \text{ km/s} = 10^7 \text{ m/s}$$

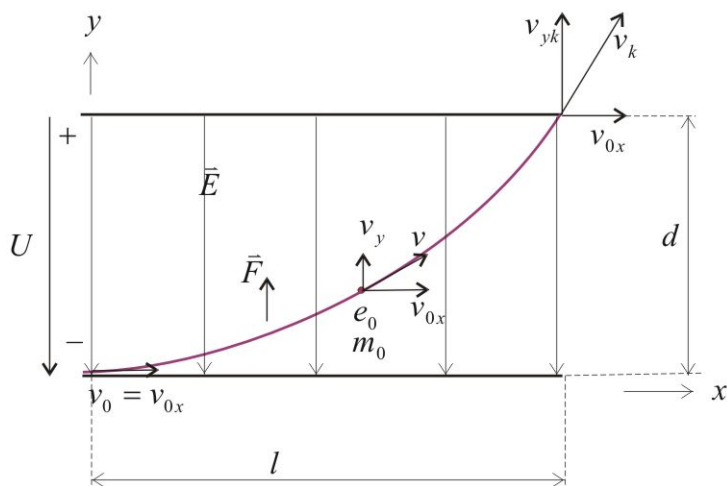
$$m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e_0 = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$t = ?$$

Razlaga in rešitev:

Na elektron, ki vstopa v električno polje pravokotno na silnice, deluje sila v nasprotno smer od smeri silnic električnega polja. Telo v vstopni smeri ohrani hitrost (enakomerno gibanje), v nasprotni smeri silnic pa se pospešuje s pospeškom a . Na desnem zgornjem robu plošče (glej sliko) zadene pozitivno ploščo s končno hitrostjo v_k . Gibanje je podobno gibanju pri poševnem metu telesa.



V smeri osi x je gibanje enakomerno, torej velja:

$$(1) l = v_{0x} t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{l}{v_{0x}}$$

kjer je t_1 čas preleta elektrona.

V smeri osi y je gibanje enakomerno pospešeno, zato uporabimo ustrezne enačbe iz enakomerno pospešenega gibanja. Dobimo:

$$(2) d = \frac{a_y t_1^2}{2} = \frac{a_y l^2}{2 v_{0x}^2}$$

Izrazimo še pospešek v y smeri:

$$(3) \vec{F} = \vec{E} \cdot e_0 = \frac{U}{d} e_0 = m_0 a_y$$

$$\frac{U e_0}{d} = m_0 a \Rightarrow a_y = \frac{U e_0}{d m_0}$$

ter ga vstavimo v enčbo (2):

$$(4) d = \frac{U e_0 l^2}{d m_0 2 v_{0x}^2}$$

Dobimo končno enačbo:

$$U = \frac{2 v_{0x}^2 d^2 m_0}{e_0 l^2}$$

$$U = \frac{2 \cdot (10^7)^2 (2 \cdot 10^{-3})^2 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} (5 \cdot 10^{-2})^2} \left[\frac{m^2 m^2 kg}{s^2 A s m^2} = \frac{kg m^2}{A s^3} = V \right] = 1,8V$$

Opomba:

Enota za volt ni osnovna merska enota (do sedaj poznamo m, kg, s, A), zato jo izrazimo z osnovnimi enotami:

$$U = \frac{A}{e} \left[\frac{J}{As} = \frac{Nm}{As} = \frac{kg m^2}{As^3} \right]$$

SATCITANANDA