

Cvičení 3 ELEKTRICKÝ PROUD V LÁTKÁCH

Příklad 1

Vláknem malé žárovky do kapesní svítilny, jejíž voltampérová charakteristika je na obr. C2-5, prochází při napětí 0,05 V proud 22 mA a jeho teplota je prakticky stejná jako teplota okolí $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Jaká je teplota vlákna při napětí 3,5 V, kdy žárovkou prochází proud 180 mA? Teplotní součinitel elektrického odporu wolframu je $4,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Řešení

$$U_1 = 0,05 \text{ V}, I_1 = 22 \text{ mA} = 0,022 \text{ A}, t_1 = 20^\circ\text{C}, \\ U_2 = 3,5 \text{ V}, I_2 = 180 \text{ mA} = 0,180 \text{ A}, \alpha = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; t_2 = ?$$

Nejprve určíme odpory vlákna žárovky při napětích U_1 a U_2 :

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{0,05}{0,022} \Omega = 2,3 \Omega, \\ R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{3,5}{0,18} \Omega = 19,4 \Omega.$$

Závislost odporu žárovky na teplotě vyjadřuje vztah

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)].$$

Úpravou dostaneme

$$t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} = 1700^\circ\text{C}.$$

Při napětí 3,5 V má vlákno žárovky teplotu 1700°C .

Úlohy

Řešte ve skupinách.

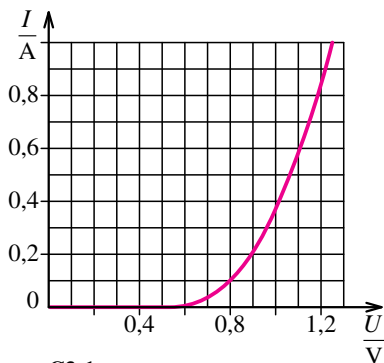
Skupina A

- 1** Určete teplotu vlákna žárovky z příkladu 1 při napětí 4,5 V. (Použijte voltampérovou charakteristiku na obrázku C2-5.)

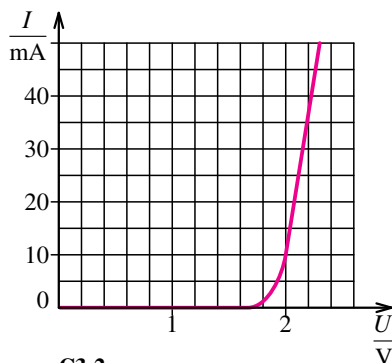
Skupina B

- 1** Určete teplotu vlákna žárovky z příkladu 1 při proudu 100 mA. (Použijte voltampérovou charakteristiku na obrázku C2-5.)

- 2** Sestrojte voltampérovou charakteristiku konstantanového drátu o průměru 0,5 mm dlouhého 3 m. Rezistivita je $0,50 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$.
- 3** Na obr. C3-1 je voltampérová charakteristika usměrňovací diody zapojené v propustném směru. Jak velké Jouleovo teplo vznikne v diodě během jedné minuty při proudu 0,5 A?
- 2** Pro žárovku z příkladu 1 sestrojte graf závislosti odporu na teplotě.
- 3** Na obr. C3-2 je voltampérová charakteristika zeleně svítící světelné diody, kterou chceme napájet ze zdroje o napětí 5,0 V. Jaký předřadný odpor musíme použít, aby diodou procházel proud 30 mA?



C3-1



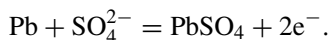
C3-2

Příklad 2

Akumulátor má kapacitu 40 Ah. Jak se změní hmotnost záporné elektrody při úplném vybití?

Řešení

Při vybíjení akumulátoru probíhá na záporné elektrodě reakce



Hmotnost elektrody zvětšují ionty SO_4^{2-} , které se slučují s olovem elektrody. Molární hmotnost SO_4^{2-} :

$$\begin{aligned} M_{\text{m}} &\doteq (A_{\text{rS}} + 4A_{\text{rO}}) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \doteq \\ &\doteq (32 + 64) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \doteq 96 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Na elektrodě se vyloučí hmotnost odpovídající náboji $Q = It = 40 \cdot 3\,600\text{ C} = 14,4 \cdot 10^4\text{ C}$:

$$m = \frac{M_{\text{m}} It}{Fz} \doteq \frac{96 \cdot 10^{-3} \cdot 14,4 \cdot 10^4}{9,6 \cdot 10^4 \cdot 2} \text{ kg} \doteq \\ \doteq 0,072 \text{ kg} = 72 \text{ g}.$$

Hmotnost záporné elektrody se zvětší o 72 g.

Příklad 3

Nepřerušíme-li včas nabíjení olovené akumulátorové baterie, začne se na katodách článků vylučovat vodík a na anodách kyslík, které vytvoří výbušnou směs. Jaký objem zaujme za normálních podmínek plyn, který se vyloučí při proudu 4,0 A za jednu hodinu z baterie šesti článků? Jaká energie se uvolní při jeho explozi? Měrné spalné teplo vodíku je $H = 143\text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Řešení

$$I = 4,0\text{ A}, t = 3\,600\text{ s}, H = 1,43 \cdot 10^8\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}; V_0 = ?, W = ?$$

Elektrochemický ekvivalent vodíku určíme podle 2. Faradayova zákona

$$A_{\text{H}} = \frac{A_{\text{r}} \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{F} = \frac{1,008 \cdot 10^{-3}}{9,65 \cdot 10^4} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1} = \\ = 1,04 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}.$$

Vodík vyloučený při elektrolýze v šesti člancích má hmotnost

$$m_{\text{H}} = 6A_{\text{H}}It = 6 \cdot 1,04 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \cdot 3\,600 \text{ kg} = 9,0 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

a látkové množství

$$n_{\text{H}_2} = \frac{m}{M_{\text{m}}} = \frac{9,0 \cdot 10^{-4}}{2,016 \cdot 10^{-3}} \text{ mol} = 0,446 \text{ mol}.$$

Současně se vyloučí kyslík o polovičním látkovém množství

$$n_{\text{O}_2} = 0,223 \text{ mol}.$$

Oba plyny zaujmají za normálních podmínek objem

$$V_0 = (n_{\text{H}_2} + n_{\text{O}_2})V_{\text{m}0} = 0,67 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Při vznícení plynu dojde k výbuchu, při kterém se uvolní vnitřní energie

a vykoná se práce

$$W = -\Delta U = H m_{\text{H}} = 143 \cdot 10^6 \cdot 9,0 \cdot 10^{-4} \text{ J} = 130 \text{ kJ}.$$

Plyn vyloučený při elektrolýze zředěné kyseliny sírové z šesti článků nabitě akumulátorové baterie za jednu hodinu proudem 4 A má za normálních podmínek objem 15 litrů. Při jeho výbuchu se uvolní energie 130 kJ.

Úlohy

- 4 Porovnejte energii uvolněnou při výbuchu plynu v příkladu 2 a elektrickou práci spotřebovanou na elektrolýzu, jestliže na baterii bylo napětí 15 V. Vysvětlete rozdíl obou hodnot.
- 5 Jak dlouho musí roztaveným oxidem hlinitým Al_2O_3 procházet proud 10 000 A při výrobě jedné tuny hliníku? Elektrochemický ekvivalent hliníku je $0,093 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$.

Příklad 4

Dvě rovnoběžné kovové destičky ve vzájemné vzdálenosti 5 cm jsou připojeny ke zdroji vysokého napětí 10 kV. Mezi destičkami je vzduch. Jakou rychlost musejí mít elektrony při lavinovité ionizaci, aby při srážce s molekulou vzduchu nastala ionizace nárazem? Jakou dráhu musí urazit? Předpokládejme, že počáteční rychlost elektronu je nulová, elektron se pohybuje ve směru siločáry elektrického pole a při srážce s molekulou jí předá všechnu energii.

Řešení

$$d = 5 \text{ cm} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}, U = 10 \text{ kV} = 10^4 \text{ V}; v = ?, s = ?$$

Vzduch je složen převážně z dusíku a kyslíku, jejichž ionizační energie $E \approx 14 \text{ eV}$ ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; viz čl. 4.4). Elektron o hmotnosti m_e získá tuto energii působením elektrické síly F_e a pro jeho kinetickou energii v okamžiku srážky platí

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = E.$$

Odtud dostaneme

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 14 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Pohyb v elektrickém poli ve směru siločáry můžeme považovat za pohyb rovnoměrně zrychlený se zrychlením

$$a = \frac{F_e}{m_e} = \frac{eE}{m_e} = \frac{e}{m_e} \frac{U}{d},$$

kde e je náboj elektronu.

Pro rovnoměrně zrychlený pohyb platí

$$v = at \quad \text{a} \quad s = \frac{1}{2}at^2.$$

Vyloučením času z těchto vztahů dostaneme po dosazení a úpravě pro dráhu elektronu

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{2} \frac{v^2}{a} = \frac{Ed}{U} = \frac{14 \cdot 5,0 \cdot 10^{-2}}{10^4} \text{ m} = \\ &= 7,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,07 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Ionizace nárazem nastává při rychlosti elektronu $2,2 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, kterou získá po uražení dráhy 0,07 mm.

Úlohy

- 6** Jak by se změnil pohyb elektronu v příkladu 4, kdyby jeho náboj byl poloviční a hmotnost dvojnásobná?
- 7** Určete intenzitu elektrického pole mezi kovovými destičkami v příkladu 4.
- 8** Ionizační komorou prochází nasycený proud $0,04 \mu\text{A}$. Kolik iontů musí vznikat v 1 cm^3 ionizační komory každou sekundu, aby se ionizační proud udržel?