

kde d je vzájomná vzdialenosť dosák a u napätie na nich. S ohľadom na vzorec (1.14.4) je tiež

$$f = \frac{DES}{2} \quad (1)$$

Keď teda zmeriame silu f , môžeme vypočítať napätie u na kondenzátore a tým aj na paralelne pripojenom graduovanom elektrometri, pomocou vzorca

$$u = d \sqrt{\frac{2f}{\epsilon_0 S}} \quad (2)$$

1.16. Millikanova metóda určenia náboja elektrónu. Predstavme si, že mikroskopická kvapôčka nejakej kvapaliny, na ktorej je elektrický náboj $+q$, sa nachádza medzi vodorovnými doskami rovinného kondenzátora. Keď horná doska kondenzátora je nabitá záporne a dolná kladne, na kvapôčku účinkujú dve sily: jej hmotnosť p , sila smerujúca dolu, a elektrická sila opačného smeru qE .

Pri vhodnej veľkosti intenzity elektrického poľa $E = \frac{u}{d}$, kde u je napätie na kondenzátore a d jeho hrúbka, obidve tieto sily sú rovnako veľké. V tomto prípade sa kvapôčka vznáša medzi doskami kondenzátora a je splnená rovnica

$$p = q \frac{u}{d}$$

z ktorej pre náboj q vychodí:

$$q = \frac{pd}{u} \quad (a)$$

V tomto vzorci hmotnosť kvapôčky p vo vzduchu môžeme vyjadriť pomocou mernej hmotnosti s jej látky, mernej hmotnosti vzduchu σ a polomeru kvapôčky r .

$$p = \frac{4}{3} \pi r^3 (s - \sigma) g \quad (b)$$

Polomer r sa určí najlepšie z rýchlosti v voľného klesania kvapôčky za účinku len jej vlastnej hmotnosti (teda pri vyradenom elektrickom poli), ktorá vyplýva zo Stokesovho vzorca $p = 6\pi\eta r v$,

$$v = \frac{p}{6\pi\eta r} = \frac{2}{9} \frac{r^2 (s - \sigma) g}{\eta} \quad (c)$$

kde η je koeficient viskozity vzduchu.

Vzorec (a) spolu so vzorcami (b) a (c) umožňuje zmerať aj veľmi malé elektrické náboje. Keď napríklad polomer mikroskopickej kvapôčky je $r = 10^{-4}$ cm a jej merná hmotnosť $s = 1$ g/cm³ (mernú hmotnosť vzduchu pri

tomto približnom výpočte zanedbáme), hmotnosť kvapôčky je $m = \frac{2}{3} \pi r^3 s \doteq \doteq 4 \cdot 10^{-12}$ g. Pri vzdialenosti dosák kondenzátora $d = 2,5$ cm a napätí na ňom 2 000 voltov pre náboj q na kvapôčke dostávame:

$$q = \frac{pd}{u} \doteq \frac{4 \cdot 10^{-15} \text{ kg} \cdot 10 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,025 \text{ m}}{2\,000 \frac{\text{kg m}^2\text{s}^{-2}}{\text{AS}}} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ AS} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Millikan vhaňal do priestoru medzi doskami kondenzátora mikroskopické olejové kvapôčky, ktoré sa pritom nabíjali trením o vzduch. Kvapôčky boli zo strany osvetľované a pozorované v mikroskope s vodorovnou osou. Menením napätia na kondenzátore mohlo sa dosiahnuť, že niektoré kvapôčky sa voľne vznášali.

Vzduch medzi doskami kondenzátora mohol byť pri meraní aj ožarovaný pomocou Röntgenových lúčov, ktoré vzduch ionizovali, t. j. vytvárali v ňom kladne nabité molekuly a voľné elektróny. Keď niektorá kvapôčka zachytila kladný ión alebo elektrón, zmenila svoj náboj. Zmena náboja mala za následok porušenie rovnováhy na kvapôčky pôsobiacich síl, ktorú bolo treba obnoviť zmenou napätia na kondenzátore. Takto bolo možné nielen merať náboj kvapôčky, ale ho aj meniť v priebehu pokusu.

Millikanove merania ukázali, že náboje kvapôčok sú vždy celistvé násobky určitého najmenšieho náboja e , $q = ne$, ktorý treba považovať za náboj jedného elektrónu.

Podľa najnovších meraní vykonaných pomocou práve opísanej Millikanovej metódy, ako aj inými metódami, náboj elektrónu je

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Pokusy s voľnými elektrónmi ukázali, že ich náboj je záporný. V čl. 5.7 sa oboznámime s jednou z viacerých metód, ktoré umožňujú určiť aj tzv. pokojovú hmotnosť elektrónu

$$m_0 = 9,109 \cdot 10^{-28} \text{ g}$$

Okrem najčastejšie pozorovaných záporných elektrónov (*negatrónov*) boli objavené aj kladné elektróny, — tzv. *pozitróny*. Ich elektrický náboj sa rovná presne abs. hodnote náboja elektrónov a ich hmotnosti sú pravdepodobne tiež rovnaké. Avšak pozitróny sa objavujú len pri procesoch spojených so zmenami atómových jadier, alebo pri pôsobení fotónov na hmotu. Pretože pozitróny môžu voľne jestvovať len veľmi krátky čas, pri všetkých úvahách vzťahujúcich sa na vlastnosti zelektrovaných telies, vznik elektrického prúdu a pod., stačí mať na mysli len záporné elektróny, t. j. elektróny v obvyklom význame tohto slova.

Úlohy na evičenie

1. Koľko elektrónov obsahuje náboj častice prachu hmotnosti $m = 10^{-11}$ g, keď sa udržuje v rovnováhe medzi vodorovnými doskami kondenzátora so vzdialenosťou dosák 0,5 cm a potenciálovým rozdielom $u = 76,5$ voltov? (40 elektrónov)

2. Vypočítajte kapacitu valcového kondenzátora tvoreného dvoma súosovými valcovými plochami s polomeri r_1 a r_2 a výškou h ! [$C = 2\pi\epsilon h / (\ln r_2 - \ln r_1)$]

3. Vypočítajte kapacitu guľového kondenzátora tvoreného dvoma sústrednými guľovými plochami s polomeri r_1 a r_2 ! [$C = 4\pi\epsilon r_1 r_2 / (r_2 - r_1)$]

4. Rovinné elektródy sú od seba odizolované porcelánovou doskou hrubou 5 mm a vzduchovou vrstvou hrubou tiež 5 mm. Vypočítajte intenzitu elektrostatického poľa vo vzduchu ($\epsilon_{r1} = 1$) a v porceláne ($\epsilon_{r2} = 6$), keď potenciálový rozdiel elektród je 10 kV! Aké je napätie na vzduchovej vrstve a na porcelánovej doske? ($E_1 = 1\,713 \cdot 10^3$ kV/M, $u_1 = 8,56$ kV, $E_2 = 285,5 \cdot 10^3$ kV/M, $u_2 = 1,429$ kV)

2. USTÁLENÝ ELEKTRICKÝ PRÚD VO VODIČOCH A POLOVODIČOCH

2.1. Elektrický prúd a vektor prúdovej hustoty. Vodičom elektriny sa nazýva prostredie, ktoré obsahuje voľne pohyblivé nosiče elektrického náboja. Podľa elektrónovej teórie kovov v kovoch a z tejto stránky kovom sa podobajúcich látkach, napríklad v grafit, sú to len elektróny. V elektricky vodivých roztokoch, v tzv. roztokoch elektrolytov, a ionizovaných plynch sú to však aj rozličné kladné a záporné ióny. Okrem toho v niektorých látkach sa elektrický náboj prenáša aj mechanizmom, ktorý veľmi pripomína pohyb voľných kladne nabitých „elektrónov,“. Vo všeobecnosti treba preto predpokladať, že vo vodiči sa môže voľne pohybovať kladná aj záporná elektrina.

Voľné nosiče náboja nie sú vo vodiči nikdy v pokoji, ale konajú neusporiadaný tepelný pohyb; v časovom priemere ich rýchlosti sa však rovnajú nule. Keď však vo vodiči vytvoríme nejakým spôsobom elektrické pole intenzity \mathbf{E} , priemerné rýchlosti nosičov náboja sa už nebudú rovnať nule. Nech je priemerná rýchlosť i -tého druhu voľných nosičov náboja vo vodiči \mathbf{v}_i a nimi realizovaná objemová hustota elektrického náboja ρ_i . Vektor

$$\mathbf{i} = \sum \rho_i \mathbf{v}_i \quad (1)$$

volá sa vektor hustoty prúdenia elektriny vo vodiči. Keďže každý zo sčítancov $\rho_i \mathbf{v}_i$ je v izotropnom vodiči s vektorom intenzity poľa \mathbf{E} súhlasne rovnobežný, tento smer má aj vektor \mathbf{i} . Jeho absolútna hodnota sa číselne rovná množstvu kladnej elektriny, ktorá v smere intenzity poľa \mathbf{E} prejde za jednotku času cez plošnú jednotku na smer tohto vektora kolmú, zväčšenému o množstvo zá-