

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum 4

Úloha č.: A 12

Název: Měření náboje elektronu Millikanovou metodou

Pracoval: Mária Šoltésová stud.sk.: F-14 dne: 18.10.2006

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	
Výsledky měření	0 - 10	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 2	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovná úloha:

1. Millikanovou metódou zmerajte náboj elektrónu.
2. Pri vyhodnocovaní výsledku urobte korekciu nameraných hodnôt na konečný rozmer kvapôčok.

Teoretická časť:

Millikanova metóda merania elementárneho náboja vychádza z pozorovania nabitých kvapôčok oleja v elektrickom poli. Schematický náčrt usporiadania experimentu je uvedený v [1] obr. 1. Základnú časť aparatury tvorí rovinný kondenzátor, na ktorý môžeme privádzať rôzne veľké napätie s rôznou polaritou. V hornej doske kondenzátora sa nachádza kapilára, ktorou môžu olejové kvapôčky vstupovať medzi dosky. Kvapôčky pozorujeme mierne zväčšujúcim mikroskopom. Kvapôčky sa ionizujú vo valcovej nádobke nad otvorom v kondenzátorovej doske pomocou alfa žiariča.

Ak je na doskách kondenzátora privedené napätie U a vzdialenosť medzi doskami je d , je intenzita elektrického poľa medzi doskami rovná $E = \frac{U}{d}$. Ak zanedbáme vztlak vzduchu, pôsobí na kvapôčku s hmotnosťou m a nábojom q gravitačná sila $F_g = mg$, sila elektrického poľa $F_e = qE$ a odporová sila pri pohybe rýchlosťou v_0 daná Stokesovým vzťahom

$$F = 6\pi\eta r v_0, \quad (1)$$

kde r je polomer kvapôčky a η je viskozita vzduchu. Rýchlosť klesania kvapôčky pri vypnutom elektrickom poli teda je

$$v_0 = \frac{mg}{6\pi\eta r}. \quad (2)$$

Ak zapneme elektrické pole tak, aby $F_e > F_g$, kvapôčka bude stúpať rýchlosťou

$$v_2 = \frac{qE - mg}{6\pi\eta r}. \quad (3)$$

Ak poznáme hustotu oleja ρ a uvažujeme $m = r \frac{4}{3}\pi\rho r^3$, môžeme z rovníc (2) a (3) vyjadriť polomer r a náboj q kvapôčok za predpokladu, že zmeriame rýchlosti v_0 a v_2 :

$$r = \frac{3}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{h v_0}{\rho g}}, \quad (4)$$

$$q = 6\pi\eta d r \frac{v_0 + v_2}{U} \quad (5)$$

Pre malé kvapky neplatí presne Stokesov zákon v tvare (1), namiesto neho musíme použiť vzťah

$$F = \frac{6\pi\eta r v}{1 + A \frac{\lambda}{r}}, \quad (6)$$

kde A je empiricky zistená konštanta a λ je stredná voľná dráha molekúl vzduchu. To sa dá interpretovať ako zmena viskozity vzduchu η v závislosti na r a dosadením do (5) získame vzťah pre výpočet korigovanej hodnoty elementárneho náboja e_k , ktorý sa dá napísať v tvare

$$e_s^{2/3} = e_k^{2/3} \left(1 + \frac{B}{rp} \right), \quad (7)$$

kde p je tlak vzduchu a e_s sú hodnoty elementárneho náboja vypočítané podľa vzťahu (5). Ak preložíme závislosť $e_s^{2/3}$ na $\frac{1}{rp}$ lineárnu funkciu, jej absolútny člen bude rovný $e_k^{2/3}$.

Výsledky meraní:

Do nádoby v hornej časti prístroja sme rozprašovačom vstrekovali kvapôčky oleja, ktoré sa vplyvom α -žiarenia ionizovali. Kvapôčky kapilárou prenikli medzi dosky kondenzátora kde sme ich pozorovali mikroskopom. V prednej ohniskovej rovine okuláru mikroskopu bola umiestnená planoparalelná doštička s dvoma ryskami.

Pomocou počítačového programu sme merali čas t_0 , za ktorý kvapôčka prejde medzi ryskami pri vypnutom kondenzátore, a čas t_2 , za ktorý prejde rovnakú dráhu pri zapnutom napätí na kondenzátore. Pre každú kvapku sme časy t_0 a t_2 merali viackrát a zo spracovania sme vylúčili časy, ktoré sa od ostatných zjavne líšili. Tieto zmeny mohli byť spôsobené nepozornosťou – napríklad tým, že sme počas merania zamenili meranú kvapôčku. Meranie sme opakovali pre 32 rôznych kvapiek, ktoré sme sa snažili vyberať tak, aby sme obsiahli širokú škálu nábojov (avšak nie príliš veľké náboje) a polomerov. Merali sme pri dvoch rôznych napätiach na kondenzátore, 340 V a 223 V, aby sme mohli zmerať kvapôčky s menším aj väčším nábojom.

V tabuľke 1 sú uvedené polomery meraných kvapôčok r , násobok elementárneho náboja na kvapôčkach n , napätie U , pri ktorom boli merané, a náboj q , ktorý niesli. Merania boli spracované pomocou programu Millikan. Parametre použité na vyhodnotenie výsledkov sú uvedené v tabuľke 2. V grafe 1 závislosti náboja kvapôčky q na polomere r (priloženom k protokolu) sme identifikovali pásy podľa toho, aký násobok elementárneho náboja kvapôčka niesla. V grafe 2 závislosti $e_s^{2/3}$ na $\frac{1}{rp}$ (priloženom k protokolu) je urobená korekcia Stokesovho zákona.

Tabuľka 1: Namerané hodnoty parametrov kvapôčok

r [nm]	n	U [V]	$q \cdot 10^{19}$ [C]	r [nm]	n	U [V]	$q \cdot 10^{19}$ [C]
1121	4	340	7,25	713	3	224	5,51
568	1	340	2,37	748	3	224	5,37
1476	8	339	13,50	502	2	223	3,39
652	2	340	4,11	848	2	224	3,70
561	1	339	2,05	1231	6	224	10,40
1224	4	338	7,11	872	5	223	8,99
604	1	339	2,06	603	1	222	1,70
857	2	339	3,86	1152	5	223	9,23
777	1	339	1,91	1115	4	223	7,60
1166	4	340	7,06	762	6	222	10,80
635	1	339	1,88	662	4	222	6,87
957	3	339	5,26	601	7	222	12,60
1681	1	338	13,80	611	2	222	3,58
1408	6	338	10,60	547	3	222	4,94
1532	1	339	12,00	853	4	222	7,03
833	7	223	12,70	634	3	222	4,86

Tabuľka 2: Parametre použité na spracovanie meraní

Hustota parafínového oleja	$\rho = 824 \text{ kg.m}^{-3}$
Vzdialenosť dosiek kondenzátora	$d = 2,5 \text{ mm}$
Viskozita vzduchu pri 23 °C	$\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ N.s.m}^{-2}$
Dĺžka dráhy kvapôčky	$s = 0,87 \text{ mm}$
Tlak vzduchu (norm.)	$p = 101,3 \text{ kPa}$
Tiažové zrýchlenie	$g = 9,807 \text{ m.s}^{-2}$

Hodnota elementárneho náboja bola programom určená ako

$$e = (1,71 \pm 0,10) \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Diskusia:

Hodnota elementárneho náboja sa napriek pomerne veľkej chybe nezhoduje s tabuľkovou hodnotou udávanou v [1] $e = 1,6021773(49) \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Príčinou môže byť podhodnotená chyba merania určená programom. Táto chyba je totiž určená štatisticky ako chyba lineárnej regresie, a nezahŕňa odchýlky parametrov vystupujúcich vo vzťahoch (4) a (5). Na celkovej chybe určenia náboja sa totiž podieľa napríklad odchýlka viskozity a tlaku vzduchu. Teplota v miestnosti sa počas merania menila od 23°C do 26°C. Viskozita vzrastie približne o 0,2% pri zmene teploty o 1°C podľa [1]. Ak uvážime, že teplota sa mohla o 2°C líšiť od teploty 25°, pri ktorej je použitá viskozita na výpočet, zvýši sa odchýlka určenia náboja o 0,4%.

K štatistickej chybe určenej z lineárnej závislosti podľa vzťahu (7) treba pripočítať chybu hodnoty $e_s^{2/3}$, na ktorej má zrejme hlavný podiel veľký rozptyl nameraných časov pre jednotlivé kvapôčky. Je spôsobený nepravidelným pohybom kvapôčok, napríklad pôsobením vonkajších vplyvov, napr. prúdenia vzduchu, zmien teploty. Táto chyba sa môže pohybovať rádovo v percentách, presnejšie by sme ju mohli určiť, keby sme mali k dispozícii namerané časy t_0 a t_2 . Ak by sme uvážili, že k celkovej chybe náboja prispieva hodnotou povedzme 2%, dostaneme určenie elementárneho náboja ako $e = (1,71 \pm 1,4) \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Táto hodnota sa už zhoduje s tabuľkovou hodnotou.

Meranie náboja Millikanovou metódou s experimentálnym usporiadaním v praxi sa ukazuje ako dosť nepresné, pretože je veľmi citlivé na vonkajšie podmienky, čo sa prejaví na veľkom rozptyle nameraných časov t_0 a t_2 .

Záver:

Zmerali sme hodnotu elementárneho náboja Millikanovou metódou, s uvažovaním chýb, ktoré nie sú zahrnuté v spracovaní programom, sme dostali hodnotu

$$e = (1,71 \pm 1,4) \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Literatúra:

[1] Študijný text k úlohe č. A 12, <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>