

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Tomáš Plšek

Naměřeno: 2. března 2018

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semestr:** IV

Testováno:

Úloha č. 9: Millikanův experiment

Úkoly:

1. Změřte velikost elementárního náboje pomocí rychlostí padající a stoupající olejové kapičky v homogenním elektrickém poli. Provéďte měření rychlostí alespoň dvaceti kapek. Výsledek srovnajte s tabulkovou hodnotou.

1. Úvod

V této úloze zopakujeme Millikanův experiment, jenž zpřesnil odhad elementárního elektrického náboje na hodnotu $1.603 \cdot 10^{-19}$ C. V experimentu budeme sledovat pohyb nabitých kapek oleje v konstantním elektrickém poli, a to pro obě polarity. Kapky tedy budou elektricky přitahovány buď k horní či spodní elektrodě a pokud nebudou kapky moc těžké, směr elektrické síly bude odpovídat i směru rychlosti kapky.

Na kapky působí i síla gravitační, síla vztlaková a při jejich pohybu i síla třecí, při pohybu směrem dolů platí pro rovnovážnou rychlost kapky v_1 rovnice:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g + |q|E = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{vz} g + 6\pi \eta r v_1, \quad (1)$$

a pro rovnovážnou rychlost kapky letící vzhůru v_2 platí:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g + 6\pi \eta r v_2 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{vz} g + |q|E. \quad (2)$$

Úpravou rovnic (1) a (2) tedy pro poloměr kapky a absolutní hodnotu náboje získáváme rovnice:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta(v_1 - v_2)}{4g(\rho - \rho_{vz})}}, \quad (3)$$

$$|q| = 3\pi \eta r \frac{v_1 + v_2}{E}, \quad (4)$$

kde η je dynamická viskozita vzduchu, ρ je hustota oleje, ρ_{vz} je hustota vzduchu a $E = U/d$ je intenzita elektrického pole mezi elektrodami.

Kapky mohou nést pouze celočíselný počet elektronů, při větším množství měřených kapek se tedy jejich náboje začnou shlukovat kolem určitých hodnot, což jsou právě celočíselné násobky elementárního náboje.

2. Měření

Do komůrky s kondenzátorem budeme vstříkovat kapičky oleje, měnit polaritu na kondenzátoru a sledovat jejich pohyb pomocí mikroskopu opatřeného stupnicí (30 dílků odpovídá 0.89 mm). Výsledný pohyb kapek nahrajeme a pomocí softwaru Avidemux určíme jejich rovnovážné rychlosti - musíme vždy vybírat kapky, jež se pohybují rovnoměrně přímočaře, a u nichž vidíme pohyb směrem ke spodní i horní elektrodě.

Výsledné hodnoty náboje se tedy shlukují kolem určitých hodnot - celočíselných násobků elementárního náboje, které odpovídají určitému stupni ionizace. O jaký stupeň ionizace se jedná, zjistíme vynesáním naměřených nábojů na osu (graf 1). Budeme předpokládat, že shluk s nejmenšími hodnotami odpovídá náboji jednoho elektronu (nikoliv nějakému jeho násobku) a jeho celočíselné násobky porovnáme s ostatními shluky. Proložení lineární závislosti náboje na předpokládaném stupni ionizace získáme dost dobrý odhad hodnoty elementárního náboje.

Hodnoty veličin použitých ve vzorcích (3) a (4):

$$\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{vz} = 1.29 \text{ kg/m}^3 \text{ [1]}$$

$$\eta = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s} \text{ [1]}$$

$$d = 2.5 \text{ mm}$$

Tabulka 1: Rychlosti, velikost, celkový náboj a počet ionizací kapek při $U = 300 \text{ V}$.

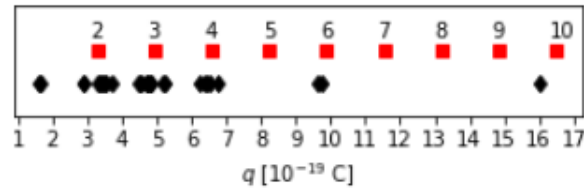
v_1 [10^{-4} m/s]	v_2 [10^{-4} m/s]	r [10^{-6} m]	q [10^{-19} C]	ionizace
3.038	1.766	7.13	4.850	3
1.483	0.847	5.04	1.663	1
3.059	1.915	6.77	4.762	3
2.468	1.643	5.75	3.343	2
2.797	0.908	8.70	4.558	3
2.863	0.738	9.22	4.699	3
3.560	1.218	9.68	6.545	4
5.562	4.362	6.93	9.731	6
4.803	2.818	8.92	9.611	6
3.485	1.681	8.50	6.213	4

Tabulka 2: Rychlosti, velikost, celkový náboj a počet ionizací při kapek $U = 400 \text{ V}$.

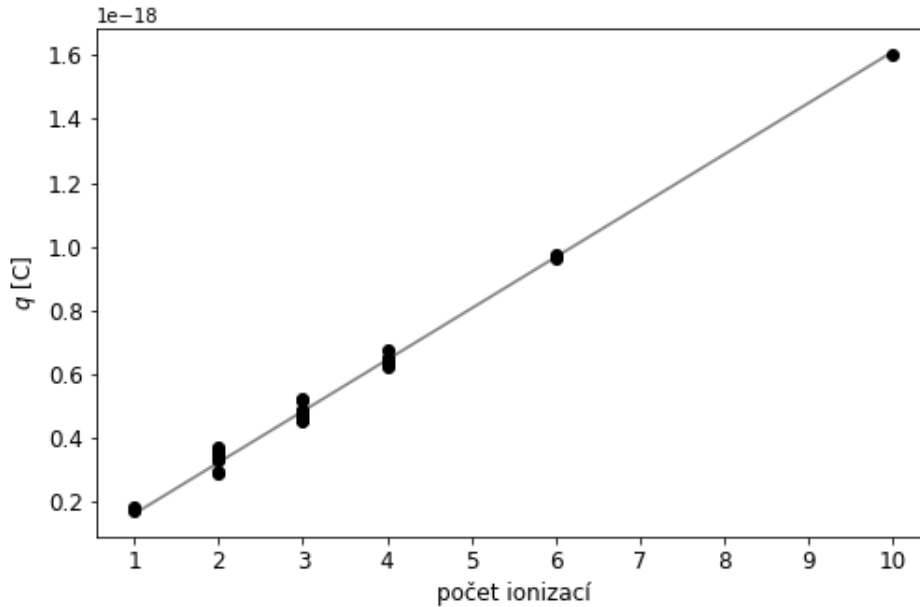
v_1 [10^{-4} m/s]	v_2 [10^{-4} m/s]	r [10^{-6} m]	q [10^{-19} C]	ionizace
2.892	1.645	7.07	3.402	2
3.367	1.359	8.97	4.496	3
3.516	0.600	10.8	4.720	3
2.865	1.264	8.01	3.508	2
2.966	0.741	9.44	3.713	2
4.065	3.053	6.36	4.807	3
4.728	3.920	5.69	5.218	3
4.275	1.820	9.92	6.412	4
3.488	1.904	7.96	4.557	3
2.741	0.794	8.83	3.312	2

Tabulka 3: Rychlosti, velikost, celkový náboj a počet ionizací při kapek $U = 500$ V.

v_1 [10^{-4} m/s]	v_2 [10^{-4} m/s]	r [10^{-6} m]	q [10^{-19} C]	ionizace
2.924	0.861	9.09	2.920	2
2.913	0.940	8.89	2.907	2
2.180	1.179	6.33	1.805	1
10.16	7.224	10.8	16.01	10
6.229	5.562	5.17	5.174	3
5.502	3.879	8.06	6.419	4
4.202	2.489	8.28	4.704	3
5.131	2.225	10.7	6.735	4
4.959	2.027	10.8	6.425	4
3.714	2.610	6.65	3.569	2



Graf 1: Shluky naměřených nábojů.



Graf 2: Závislost celkového náboje na počtu ionizací kapky.

Hodnota elementárního náboje $q_0 = (1.61 \pm 0.01) \cdot 10^{-19}$ C.

3. Závěr

Provedl jsem měření elementárního náboje pomocí Millikanova experimentu a získal jsem hodnotu $q_0 = (1.61 \pm 0.01) \cdot 10^{-19}$ C. Výsledná hodnota v rámci chyby měření odpovídá tabulkové hodnotě $1.60217662(1) \cdot 10^{-19}$ C [2].

4. Zdroje

- [1] Vzduch - Fyzikální a chemické vlastnosti vzduchu. conVERTER - převody jednotek [online]. Copyright © 2000 Jiří Bureš. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm>.
- [2] CODATA Value: elementary charge. National Institute of Standards and Technology [online]. Dostupné z: https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esearch_for=elemental+charge.