

Millikanův experiment

A. Janich¹, J. Löffelmann², A. Trojanová³

Gymnázium Špitálská, Praha 9^{1,3}, Gymnázium Litoměřická Praha 9²
adjanich@gmail.com¹, jira.leflik@gmail.com², anezka.trojanova@gmail.com³

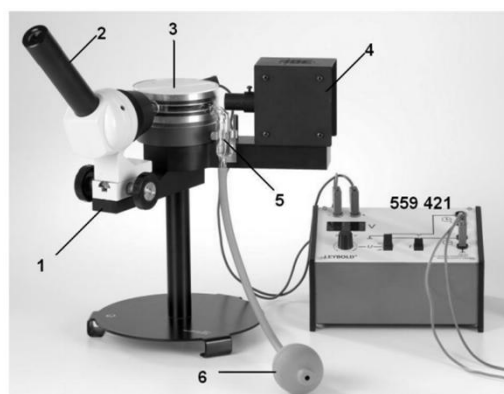
Abstrakt

Cílem miniprojektu bylo stanovit elementární náboj elektronu měřením rychlosti padajících a stoupajících nabitých kapiček oleje v přítomnosti elektrického pole. Vypočtený náboj kapiček s elementárním nábojem se blížil realitě. Naopak kapičky s nábojem rovným několikanásobku elementárního náboje neposkytly příliš uspokojivé výsledky.

1 Úvod

Millikanův experiment byl prováděn s aparaturou znázorněnou na Obr. 1. Kapičky ricinového oleje se vznášely ve vzduchu v prostoru mezi dvěma deskami kondenzátoru. Jestliže byl mezi deskami vytvořen potenciál, vlivem přítomnosti elektrického pole se kapičky pohybovaly nahoru. Naopak nebyl-li kondenzátor nabit, pohybovaly se kapičky vlivem tíhové síly směrem dolů. Navíc velikost rychlosti jejich pohybu se vždy ustálila na určité hodnotě díky přítomnosti odporové síly vzduchu.

Při těchto pokusech Millikan zjistil, že náboj kapiček je vždy násobkem určitého čísla. Cílem našeho miniprojektu bylo tento experiment zopakovat a rovněž prokázat tuto skutečnost.



Obr. 1: Popis přístroje, 1. Základní deska, 2. Měřicí mikroskop, 3. Deskový kondenzátor, 4. Osvětlení, 5. Olejový atomizér, 6. Gumový balonek [3]

2 Verze experimentu

Millikanův experiment lze provést třemi způsoby, lišícími se směrem pohybu kapky v přítomnosti elektrického pole.

1. Plovoucí metoda: Napětí mezi deskami je na začátku nastaveno tak, aby se kapička nepohybovala a až poté je pole vypnuto a je změřeno, jakou rychlostí kapička padá.
2. Klesající metoda: Jestliže pole nedosahuje dostatečné intenzity, je určována rychlost pádu zpomaleného díky elektrickému poli.
3. Stoupající metoda: Elektrická síla překoná tíhovou a kapička v přítomnosti elektrického pole stoupá.

Zvolili jsme si stoupající metodu, neboť u plovoucí metody jsme došli k závěru, že příslušné napětí nedokážeme nastavit dostatečně přesně. Přitom jsme byli schopni vygenerovat pole o dostatečné intenzitě, aby kapičky stoupaly.

3 Teoretické poznatky

Použité veličiny

- Vzdálenost mezi deskami $d = (6 \pm 0,05) \text{ mm}$
- Hustota oleje $\rho_o = (874 \pm 3) \text{ kg m}^{-3}$
- Hustota vzduchu $\rho_{vz} = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$
- Dynamická viskozita vzduchu $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$
- Napětí mezi deskami U
- Vzdálenost uražená kapkou $s = 2,4 \text{ mm}$
- Čas pádu t_1
- Čas vzestupu t_2
- Tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$
- Empiricky zvolená konstanta $A = 0,07776 \text{ } \mu\text{m}$
- Objem kapky V
- Rychlost pádu v_1
- Rychlost vzestupu v_2
- Tíhová síla F_G
- Vztlaková síla F_{vz}
- Odporová síla F_{od}
- Elektrická síla F_e
- Číslo měření i

Odvození vztahu

Nejprve si uvědomme, jaké síly působí na kapičku při pádu ve vzduchu bez přítomnosti elektrického pole.

Tíhová síla F_G :

$$F_G = m g = V \rho_o g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_o g \quad (1)$$

Vztlaková síla F_{vz} :

$$F_{vz} = V \rho_{vz} g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{vz} g \quad (2)$$

Odporová síla F_{od} :

$$F_{od} = 6 \pi \eta r v_1$$

Vzhledem k tomu, že kapička se pohybuje rovnoměrným pohybem, síly se musí vyrovnat:

$$F_G = F_{vz} + F_{od} \quad (3)$$

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_o g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{vz} g + 6 \pi \eta r v_1 \quad (4)$$

Odtud:

$$r = \sqrt{\frac{9 \eta v_1}{2 g (\rho_o - \rho_{vz})}} \quad (5)$$

Po zapnutí elektrického pole začne působit rovněž elektrická síla F_e

$$F_G + F_{od} = F_{vz} + F_e \quad (6)$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_o g + 6\pi \eta r v_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{vz} g + \frac{U}{d} Q \quad (7)$$

Dosaďme za r a vyjádřeme náboj Q

$$Q = 9 \frac{d}{U} (v_1 + v_2) \sqrt{\frac{2 \eta^3 v_1}{g(\rho_o - \rho_{vz})}} = 9 \frac{d}{U} \left(\frac{s}{t_1} + \frac{s}{t_2} \right) \sqrt{\frac{2 \eta^3 \frac{s}{t_1}}{g(\rho_o - \rho_{vz})}} \quad (8)$$

Pro malé hodnoty poloměru se ovšem uplatňují jevy jako Brownův pohyb a odporová síla závisí na poloměru už nelineárně. Je proto potřeba provést korekci výsledku.

$$Q_K = \frac{Q}{\sqrt{\left(1 + \frac{A}{r}\right)^3}} = \frac{9 \frac{d}{U} \left(\frac{s}{t_1} + \frac{s}{t_2} \right) \sqrt{\frac{2 \eta^3 \frac{s}{t_1}}{g(\rho_o - \rho_{vz})}}}{\sqrt{\left(1 + \frac{A}{\sqrt{\frac{9 \eta v_1}{2 g (\rho_o - \rho_{vz})}}}}\right)^3}} \quad (9)$$

4 Provedení experimentu

Měření rychlosti kapiček bylo v praxi prováděno pomocí mikroskopu, jehož okulár obsahoval stupnici, díky níž jsme byli schopni určit vzdálenost uraženou kapičkou. Z praktických důvodů jsme vždy odměřovali vzdálenost 2,4 mm, jelikož právě tato vzdálenost se dala snadno odečíst. K určení času jsme pak využili elektronické stopky (obr. 2).

K vytvoření elektrického potenciálu byl použit zdroj napětí, který byl teoreticky schopen generovat až 600 V. Ve skutečnosti maximální napětí kolísalo mezi 540 až 560 V.

Měření jsme provedli celkem 15krát. Poté jsme určili poloměr kapky, její náboj a náboj po korekci.



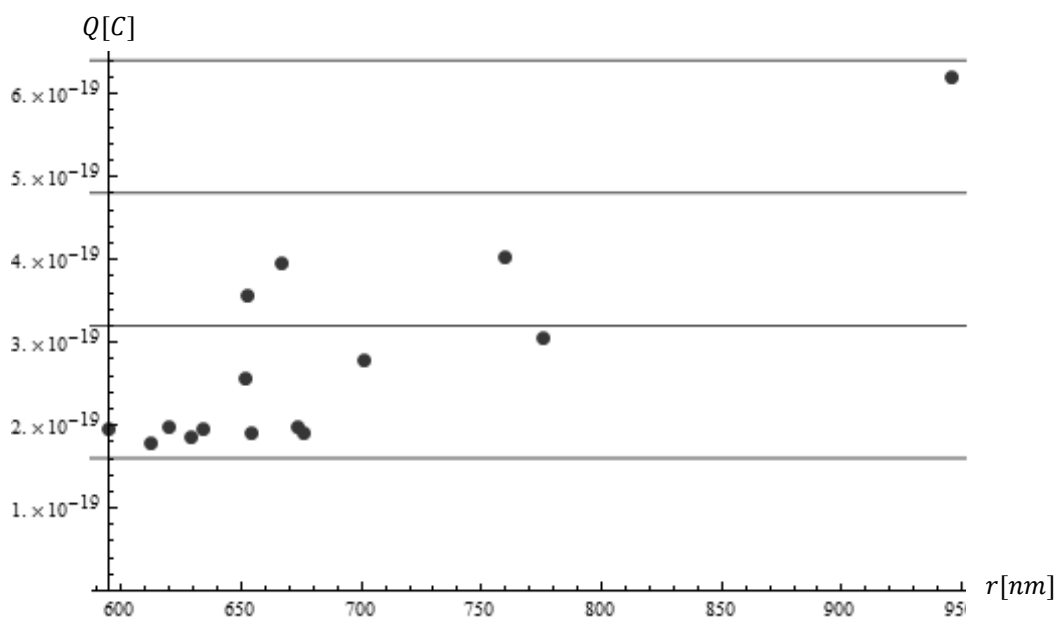
Obr. 2: Elektronické stopky [3]

5 Výsledky měření

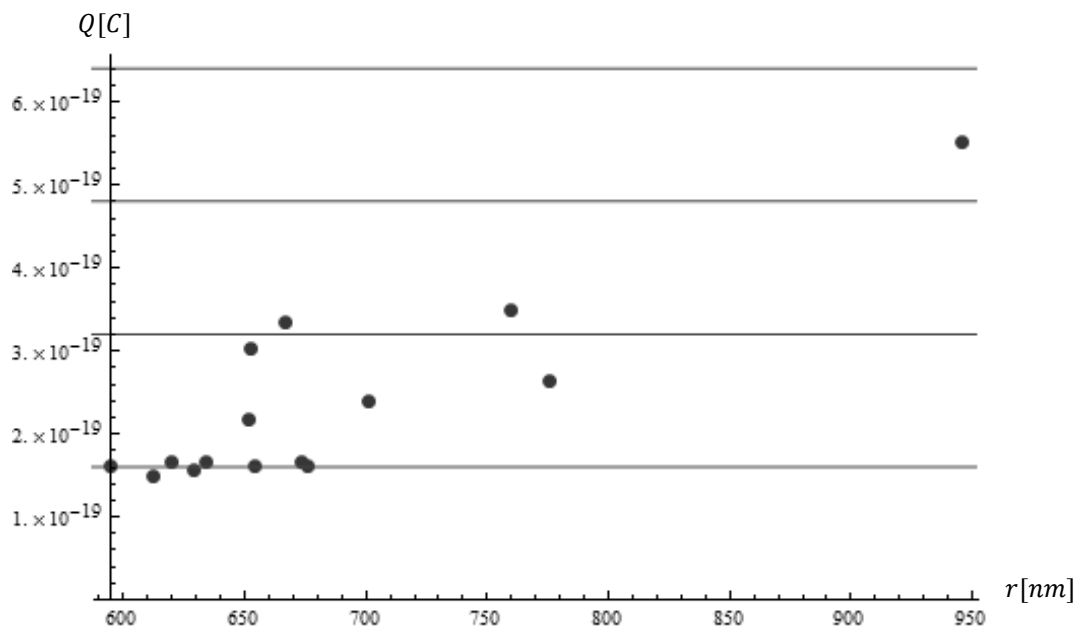
Při určování hodnot u každé z kapek jsme naměřili čas jejího pádu t_1 , čas vzestupu t_2 a napětí U . Poté jsme spočítali poloměr r , náboj Q a náboj po korekci Q_K pomocí vztahů (5), (8) a (9). Z hodnot jsme vytvořili tabulku (Tab. 1) a graf závislosti nábojů na poloměru (Obr. 3 a Obr. 4).

i	t_1 [s]	t_2 [s]	U [V]	r [nm]	Q [10^{-19} C]	Q_K [10^{-19} C]
1	53,3	23,2	552	652,7	3,574	3,019
2	51,1	21,4	545	666,6	3,962	3,357
3	64,2	47,1	548	594,7	1,952	1,623
4	57,4	63,3	547	628,9	1,866	1,567
5	46,2	44,6	540	701,0	2,795	2,387
6	56,4	58,4	550	634,5	1,964	1,652
7	39,3	29,2	550	760,1	4,030	3,483
8	53,4	41,3	534	652,1	2,562	2,163
9	59,1	53,3	548	619,8	1,972	1,651
10	37,7	57,5	545	776,0	3,055	2,648
11	50,1	76,9	550	673,2	1,971	1,673
12	25,4	29,2	548	945,5	6,205	5,512
13	53,1	72,5	549	653,9	1,899	1,604
14	49,7	86,8	548	675,9	1,907	1,619
15	60,5	62,6	547	612,6	1,779	1,487

Tab. 1: Výsledky měření, Číslo měření i , Čas pádu t_1 , Čas vzestupu t_2 , Napětí U , Poloměr r , Náboj Q , Náboj po korekci Q_K



Obr. 3: Data před korekcí



Obr. 4: Data po korekci

6 Diskuse a závěr

Relativní chyba výsledků bez korekce byla takřka 24 %, zatímco po ní přibližně 15 %. Chyba měření byla podle našeho názoru způsobena zejména tím, že kapičky se vlivem proudění vzduchu viditelně pohybovaly po ne zcela svislých trajektoriích. Přitom měřítko v okuláru se jevílo poměrně rozmazané a odčítání hodnot z něj se tím výrazně zkomplikovalo. Navíc některé veličiny nemohly být stanoveny zcela přesně (např. hustota oleje závisela na okolní teplotě a podle výrobce mohla kolísat mezi 871 kg m^{-3} a 877 kg m^{-3}).

Přitom kapičky, které měly elementární náboj, poskytovaly velice uspokojivé výsledky. Vzhledem k faktu, že experiment byl ovlivněn tolika nežádoucími faktory, považujeme přesnost naměřených dat za úspěch.

7 Poděkování

Děkujeme Ing. Davidu Horákovi za pomoc při provádění experimentu a jeho cenné připomínky.

8 Reference

- [1] Reichl J.: Millikanův pokus
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/708-millikanuv-pokus> [21. 6. 2016]
- [2] APS phics: Robert A. Millikan
<https://www.aps.org/programs/outreach/history/historicsites/millikan.cfm> [21. 6. 2016]
- [3] HELAGO® Millikanův přístroj – návod k obsluze [21. 6. 2016]