

Ústav fyzikální elektroniky PŘF MU

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Artem Gorodilov

Naměřeno: 4. března 2024

Obor: Astrofyzika

Skupina: Po 14:00

Testováno:

Úloha č. B: Milikanův experiment

1. Zadání

1. Změřit velikost elementárního náboje pomocí rychlostí padající a stoupající olejové kapičky v homogenním elektrickém poli. Provést měření rychlostí alespoň padesáti kapiček pro různé hodnoty napětí mezi elektrodami.

2. Teorie

Milikanův experiment je experimentální metoda pro měření elementárního náboje. V experimentu se měří rychlost kapiček oleje, které padají nebo stoupají v elektrickém poli. Kapičky jsou získány rozprašováním oleje v elektrickém poli. Kapičky jsou zrychlovány elektrickým polem a jejich rychlost je měřena. Z měření rychlosti kapiček lze určit náboj kapičky a tím i elementární náboj.

Rovnovážná rychlost kapičky v_1 která přitahována elektrickým polem ke spodní elektrodě je dána vztahem:

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

kde r je poloměr kapičky, ρ je hustota oleje, ρ_{vz} je hustota vzduchu, g je tíhové zrychlení, η je dynamická viskozita vzduchu, E je intenzita elektrického pole a q je náboj kapičky.

Rovnovážná rychlost kapičky v_2 která je odpuzována elektrickým polem od spodní elektrody a letí nahoru je dána vztahem:

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

Z těchto dvou vztahů lze vyjádřit poloměr kapičky r a náboj kapičky q :

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

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

kde U je napětí mezi elektrodami a d je vzdálenost mezi elektrodami.

Kapka může nést náboj $q = n \cdot e$, kde n je počet nábojů a e je elementární náboj. Náboj kapiček se shlukuje do skupin, které mají náboj $q = n \cdot e$. Můžeme určit $n - 1$ rozdílů průměrného náboje kapiček dvou sousedních shluků ($q_{i+1} - q_i$):

$$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (q_{i+1} - q_i) = \frac{q_n - q_1}{n-1} \quad (5)$$

3. Měření

Měření probíhá následovně:

1. Nastavíme napětí mezi elektrodami na hodnotu U .
2. Rozprašujeme olejové kapičky do komůrky.
3. Určíme rychlost kapiček, pomocí skriptu v pythonu[1].
4. Opakujeme měření pro různé hodnoty napětí mezi elektrodami.

Měření bylo provedeno pro napětí mezi elektrodami $U = 300 \text{ V}$, $U = 400 \text{ V}$, $U = 500 \text{ V}$ a $U = 600 \text{ V}$.

Tabulkové hodnoty použité při výpočtu:

$$\begin{aligned} g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ \rho &= 1030 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{vz} &= 1.293 \text{ kg/m}^3[2] \\ \eta &= 1.81 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}[3] \\ d &= 2.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pomocí skriptu v pythonu jsme analyzovali videa pořízená během měření. Pro analýzu byly použity následující parametry funkcí skriptu:

```
kapkatrack.py -min-b 100 data/*.mpg
```

```
kapkal.py data/*.mpg -save-plots -f 5 -x 50 -fit-std-threshold 50
```

Ze získaných rychlostí v_1 a v_2 jsme pak vypočítali poloměry kapek r a jejich náboj q pomocí vzorců (3) a (4).

Poté jsme zjistili intervaly, ve kterých se nacházejí skupiny nábojů. Výsledky jsou uvedeny na obrázku (1).

Na základě toho jsme náboje rozdělili do skupin a určili jejich stupeň ionizace. Poté jsme tyto údaje vynesli do grafu a provedli lineární fit. Výsledky jsou uvedeny na obrázku (2).

Z toho jsme získali hodnotu elementárního náboje q_0 :

$$q_0 = 1.56(3) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

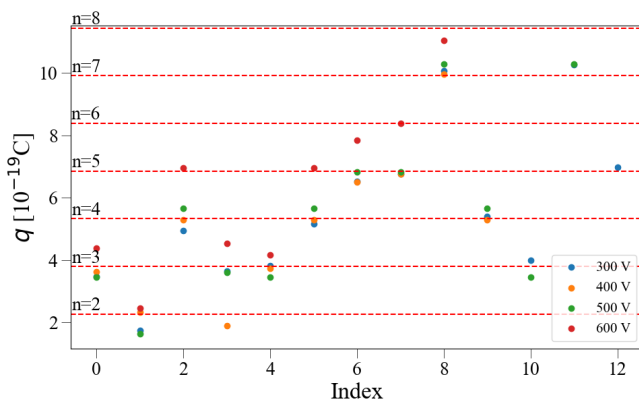


Figure (1) Rozdělení nábojů podle stupně ionizace.

Výsledky měření jsou v tabulce (1), (2), (3) a (4). K výpočtu veličin a jejich nejistot byla použita knihovna Uncertainties pro Python [4].

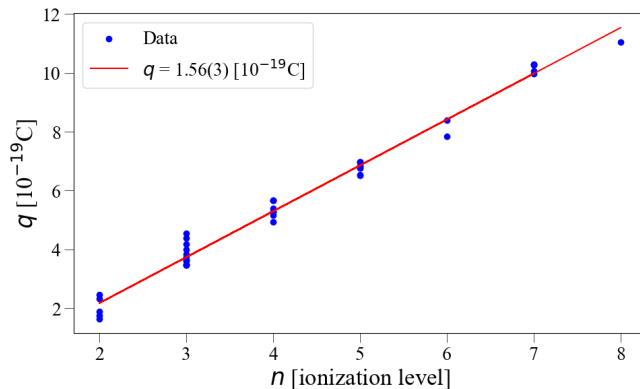


Figure (2) Zavislost náboje na stupni ionizace.

Chyby byly rozšířeny o Studentův koeficient (2-Tail Confidence Level) s ohledem na stupně volnosti pro každou hodnotu, pro interval spolehlivosti 68.27%.

4. Závěr

Jsme určili hodnotu elementárního náboje $q_0 = 1.56(3) \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Tato hodnota je v souladu s tabulkovou hodnotou elementárního náboje $q_0 = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Rozdíl může být způsoben nepřesností při měření rychlosti kapek pomocí skriptu Python. To zase mohlo být způsobeno tím, že jsme během měření měnili zaostření, což zase mohlo změnit jas pozadí. Vzhledem k tomu, že skript odečítá pozadí od každého snímku, aby získal mapu pohybu kapek, je možné, že spolu s pozadím bylo odečteno i mnoho kapek, které byly rozostřené nebo nebyly dostatečně jasné.

Bohužel, nepodařilo získat větší počet kapek kvůli zvláštnostem experimentu a jeho zpracování skriptem.

References

- [1] Tomáš Víték, Available online: https://is.muni.cz/auth/el/sci/jaro2024/F4210/um/fp3_-_zpracovani_obrazu/Millikan-zpracovani_obrazu-python.zip
- [2] Air Mass/Density, NASA Earthdata, Available online: <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/atmosphere/atmospheric-pressure/air-mass-density>
- [3] Viscosity of Air, Dynamic and Kinematic, Engineers Edge, Available online: https://www.engineersedge.com/physics/viscosity_of_air_dynamic_and_kinematic_14483.htm
- [4] Uncertainties, Available online: <https://pypi.org/project/uncertainties>

5. Přílohy

5.1. Tabulka (1) naměřených a vypočtených hodnot pro $U = 300$ V

$v_1[10^{-4}m/s]$	$v_2[10^{-4}m/s]$	$r [10^{-7}m]$	$q [10^{-19}C]$	n
2.455	1.517	6.153	3.474	3.0
1.552	0.968	4.856	1.74	2.0
2.966	1.398	7.956	4.937	4.0
2.555	1.617	6.153	3.649	3.0
2.655	1.717	6.153	3.824	3.0
3.066	1.498	7.957	5.163	4.0
3.684	2.146	7.879	6.531	5.0
3.784	2.241	7.893	6.761	5.0
5.644	4.419	7.031	10.059	7.0
3.166	1.598	7.956	5.389	4.0
2.755	1.817	6.153	3.999	3.0
5.744	4.519	7.031	10.259	7.0
3.881	2.347	7.871	6.969	5.0

5.2. Tabulka (2) naměřených a vypočtených hodnot pro $U = 400$ V

$v_1[10^{-4}m/s]$	$v_2[10^{-4}m/s]$	$r [10^{-7}m]$	$q [10^{-19}C]$	n
2.955	1.549	7.534	3.617	3.0
2.196	1.155	6.483	2.316	2.0
3.8	1.983	8.564	5.28	4.0
2.125	1.549	4.822	1.889	2.0
2.996	1.479	7.825	3.733	3.0
3.8	1.983	8.564	5.28	4.0
4.512	2.783	8.354	6.498	5.0
4.492	2.383	9.227	6.763	5.0
6.313	4.447	8.679	9.956	7.0
3.8	1.983	8.564	5.28	4.0

5.3. Tabulka (3) naměřených a vypočtených hodnot pro $U = 500$ V

$v_1[10^{-4}m/s]$	$v_2[10^{-4}m/s]$	$r [10^{-7}m]$	$q [10^{-19}C]$	n
3.302	1.641	8.189	3.452	3.0
2.046	1.157	5.99	1.636	2.0
5.104	3.694	7.544	5.661	4.0
3.385	1.641	8.39	3.597	3.0
3.302	1.641	8.189	3.453	3.0
5.104	3.694	7.544	5.662	4.0
5.405	3.331	9.15	6.818	5.0
5.405	3.331	9.15	6.818	5.0
7.186	4.591	10.235	10.281	7.0
5.104	3.694	7.544	5.662	4.0
3.302	1.641	8.189	3.453	3.0
7.186	4.591	10.235	10.281	7.0

5.4. Tabulka (4) naměřených a vypočtených hodnot pro $U = 600 \text{ V}$

$v_1[10^{-4}m/s]$	$v_2[10^{-4}m/s]$	$r [10^{-7}m]$	$q [10^{-19}C]$	n
4.458	2.549	8.779	4.372	3.0
3.008	1.653	7.397	2.451	2.0
6.56	4.684	8.704	6.957	5.0
4.458	2.149	9.654	4.534	3.0
4.344	2.549	8.512	4.17	3.0
6.561	4.684	8.704	6.957	5.0
7.36	5.547	8.555	7.848	6.0
7.36	5.159	9.425	8.387	6.0
8.412	5.17	11.44	11.044	8.0