

University of Ljubljana  
Faculty of Mathematics and Physics



Fizikalni praktikum 3

# Vaja: Milikanov poskus

Poročilo

**Avtor:** Orlić, Luka  
**Nosilec:** Kladnik, Gregor  
**Asistent:** Podpilec, Rok

Ljubljana, 17. april 2025

## Kazalo

<b>Seznam uporabljenih simbolov in indeksov</b>	<b>2</b>
<b>1 Teoretični uvod</b>	<b>3</b>
<b>2 Empirični del</b>	<b>5</b>
2.1 Naloga . . . . .	5
2.2 Pripomočki . . . . .	5
2.3 Navodilo . . . . .	5
2.4 Meritve in obdelava . . . . .	5
<b>3 Zaključek</b>	<b>9</b>

## Seznam uporabljenih simbolov in indeksov

---

Oznaka Pomen

---

---

---

Indeks Pomen

---

---

## 1 Teoretični uvod

Milikanov poskus je poskus kjer s pomočjo znanih sil in newtnovih zakonov lahko določimo osnovni naboj  $e_0$ . Poskus poteka tako, da opazujemo gibanje nanelektrnih kapljic v gravitacijskem in električnem polju. Privzamemo, da ima kapljica v polju sferično obliko.

Opombna,  $n$  označuje absolutno vrednost večkratnika naboja!

Na okroglo kapljico, ki ima rezultanto sil 0, ki pada v zraku, delujejo: sila teže -  $F_g = 4\pi/3 \cdot \rho r^3 g$ , sila vzgona -  $F_v = -4\pi/3 \cdot r^3 \rho_{zr} g$  in Stokesova sila -  $F_s = -6\pi\eta rv$ . Potem velja enačba (1)

$$0 = \frac{4\pi r^3 g}{3} (\rho - \rho_{zr}) - 6\pi\eta rv$$

$$\underline{\underline{\frac{3 \cdot 6\pi\eta rv}{4\pi r^3 g}}} = \rho - \rho_{zr}$$

$$r^2 = \frac{9\eta v}{2(\rho - \rho_{zr})g} \quad (1)$$

Če to isto kapljico sedaj umestimo v električno polje  $\vec{E}$ , bo nanj delovala še električna sila  $F_e = ne_0 E$  in rezultanta ne bo več nič, ampak bo enaka električni sili, torej velja enačba (2). Vemo, da je  $E = U/d$ , kjer je  $U$  napetost na kondenzatorju in  $d$  distanca med ploščama kondenzatorja, kjer sta obe količini znani vrednosti.

$$ne_0 E = \frac{4\pi r^3 g}{3} (\rho - \rho_{zr}) - 6\pi\eta rv \quad (2)$$

$$\underline{\underline{\frac{ne_0}{U} = \frac{2\pi r d}{3} \left[ \frac{2r^2 g}{3} (\rho - \rho_{zr}) - 6\pi\eta rv \right]}} \quad (3)$$

Tako torej lahko za kapljice, ki v danem električnem polju lebdijo mirujejo in brez električnega polja, po kratkem relaksacijskem času padajo s konstantno hitrostjo  $v$  uporabim enačbo (3), ter dobimo večkratnik osnovnega naboja.

Seveda pa lahko to računamo tudi na drugi način. V tem primeru predpostavimo, da imamo dve električni polji, za katera velja  $|E| = \vec{E}_+ = -\vec{E}_-$ , oziroma imajo enako jakost le nadsprotno smer.

Opomba, plus indeks indicira, da je polje vsmerjeno enako kakor gravitacija. V takima poljima opazujemo dano kapljico in njeno hitrost  $v_+$  in  $v_-$ , kjer hitrosti pripadata električnima poljem z istima

indeksima. Nato velja:

$$\begin{aligned}-ne_0E_+ &= \frac{4\pi r^3 g}{3}(\rho - \rho_{zr}) + 6\pi\eta rv_+ \\ +ne_0E_- &= \frac{4\pi r^3 g}{3}(\rho - \rho_{zr}) - 6\pi\eta rv_-\end{aligned}$$

Če ti dve enačbi seštejemo, dobimo enačbo (5).

$$0 = \frac{4\pi r^3 g}{3}(\rho - \rho_{zr}) - 3\pi\eta r(v_+ - v_-) \quad (4)$$

$$\underline{\underline{r^2 = \frac{9\eta(v_+ - v_-)}{4g(\rho - \rho_{zr})}}} \quad (5)$$

Podobno naredimo, le da enačbi odštejemo in dobimo enačbo za naboj delcev (6).

$$\underline{\underline{ne_0 = \frac{3\pi\eta}{E}r|v_+ + v_-|}} \quad (6)$$

## 2 Empirični del

### 2.1 Naloga

1. Izmeri hitrosti gibanja kapljic v gravitacijskem in električnem polju.
2. Iz meritev izračunaj velikosti kapljic in njihov naboj ter določi osnovni naboj.

### 2.2 Pripravki

- Millikanov aparat: kondenzator z razmikom  $d = 5(1 \pm 0.02)$  mm, razpršilec z oljem ( $\rho = 0.973 \text{ g cm}^{-3}$ ), LED za osvetljevanje
- mikroskop s kamero, ki je priključena na računalnik
- usmernik za 300V
- preklopnik smeri napetosti
- voltmeter

### 2.3 Navodilo

Vklopim računalnik in napajalec za belo LEDico, ki osvetljuje notranjost kondenzatorja. Oljne kapljice s stiskom gumijastega balona razpršilca vbrizga, skozi luknjico na zgornji plošči kondenzatorja, ki jih na temnem zaslonu opazim kot svetle točke. Nabite kapljice lahko spuščam gor ali dol s spremenjanjem napetosti preko usmernika za 300V. Posnamem zaslon po prvem in drugem načinu to analiziram preko programa, ki mi potem izračuna hitrost izbrane kapljice, kar si zapisem.

### 2.4 Meritve in obdelava

Za račun potrebujem tudi gostoto olja, zraka ter njegovo viskoznost:

$$\rho = (973 \pm 1) \text{ kg/m}^3,$$

$$\rho_{zr} = (120 \pm 5) \text{ kg/m}^3,$$

$$\eta_{zr} = (18.3 \pm 0.1) \mu\text{Pas}$$

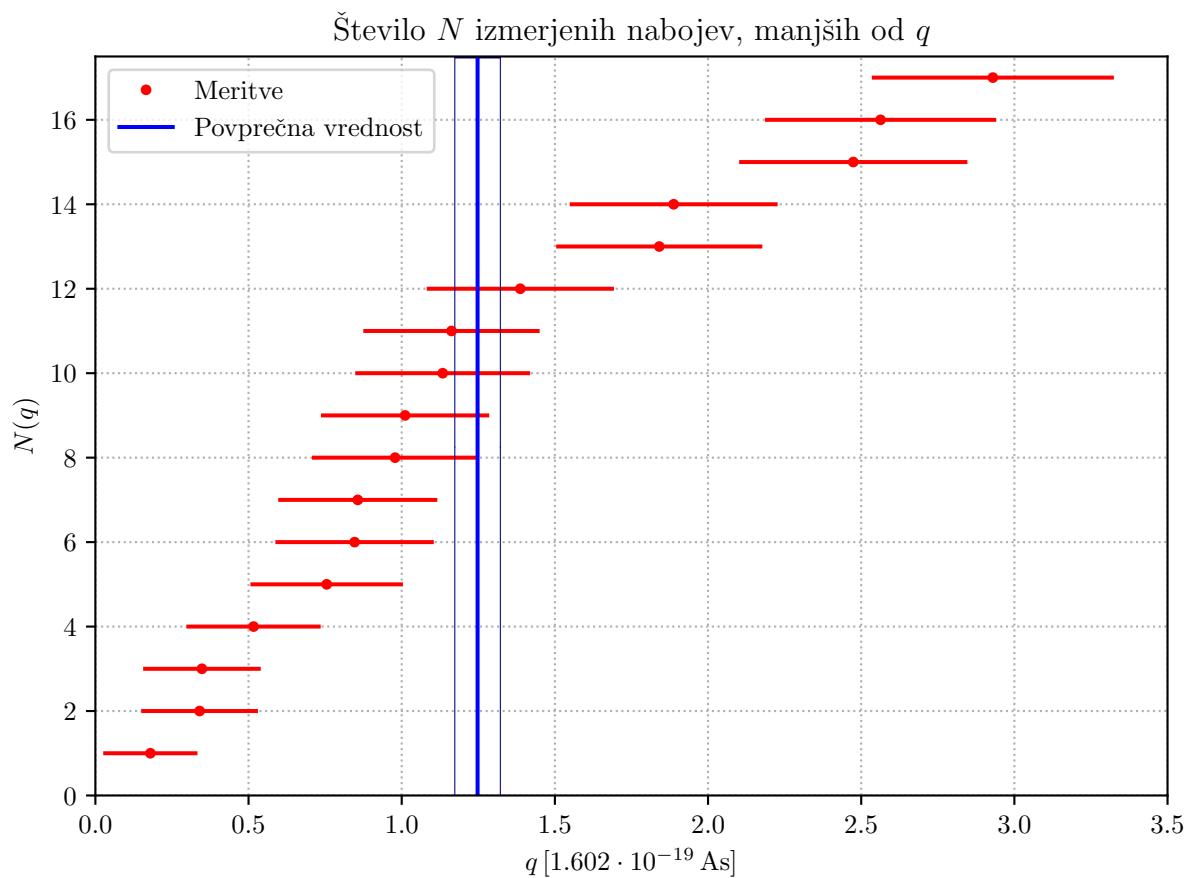
Opomnimo, da je pri merjenju temperatura sobe bila  $(22,8 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ , torej lahko uporabimo viskoznost zraka pri  $23^\circ\text{C}$  in nimamo prevelikega odstopanja.

#### 2.4.1 Prvi način merjenja - mirovanje

Za ta način imamo podatke in rezultate tabelirani v tabeli (1).

$v$ [μm/s]	$\delta v$ [μm/s]	$r$ [nm]	$\delta r$ [nm]	$e_0$ [ $1.602 \cdot 10^{-19}$ As]	$\delta e_0$ [ $1.602 \cdot 10^{-19}$ As]
13.4	0.4	363.2	0.2	0.3	0.6
13.6	0.4	365.9	0.2	0.3	0.6
17.7	0.3	417.4	0.1	0.5	0.4
42.0	0.1	643.0	0.1	1.9	0.2
24.8	0.2	494.1	0.1	0.9	0.3
30.4	0.2	547.0	0.1	1.2	0.2
27.1	0.2	516.5	0.1	1.0	0.3
24.6	0.2	492.1	0.1	0.8	0.3
22.8	0.2	473.8	0.1	0.8	0.3
8.8	0.6	293.5	0.3	0.2	0.9
29.9	0.2	542.5	0.1	1.1	0.3
41.3	0.1	637.6	0.1	1.8	0.2
51.5	0.1	712.0	0.0	2.6	0.1
56.3	0.1	744.5	0.0	2.9	0.1
27.7	0.2	522.2	0.1	1.0	0.3
34.2	0.1	580.2	0.1	1.4	0.2
50.3	0.1	703.7	0.0	2.5	0.2

Tabela 1: Tabela meritev in rezultatov za merjenjne s 1. načinom

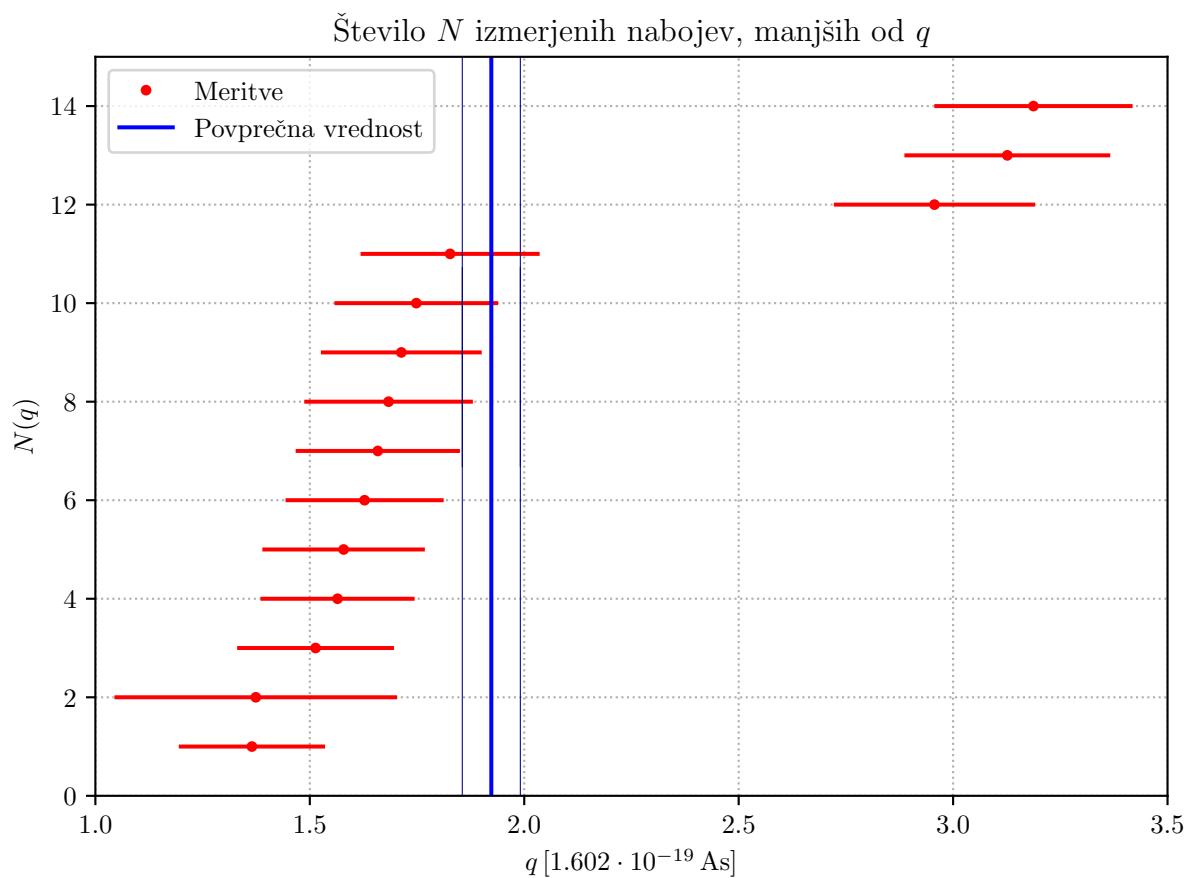


Slika 1: Histogram prikazuje točke velikosti naboja. Lahko opazim 'stopnice', ki so mnogokratniki osnovnega naboja.

#### 2.4.2 Drugi način merjenja - gibanje gor in dol

Za drugi način imam sledeče podatke pri napetosti  $U = 134mV$ :

$v_+$ [μm/s]	$\delta v_+$ [μm/s]	$v_-$ [μm/s]	$\delta v_-$ [μm/s]	$r$ [nm]	$\delta r$ [nm]	$e_0$ [ $1.602 \cdot 10^{-19}$ As]	$\delta e_0$ [ $e_0$ As]
70.1	0.1	23.8	0.2	477.4	0.1	1.7	0.1
67.8	0.1	26.4	0.2	451.4	0.1	1.7	0.1
73.0	0.1	34.2	0.1	437.0	0.1	1.8	0.1
68.7	0.1	29.2	0.2	440.9	0.1	1.7	0.1
59.7	0.1	14.5	0.3	471.7	0.1	1.4	0.1
72.0	0.1	56.8	0.1	273.5	0.2	1.4	0.2
63.7	0.1	23.0	0.2	447.6	0.1	1.5	0.1
67.5	0.1	4.6	1.1	556.4	0.1	1.6	0.1
65.7	0.1	26.4	0.2	439.8	0.1	1.6	0.1
70.5	0.1	0.7	7.1	586.1	0.1	1.6	0.1
72.8	0.1	1.2	4.2	593.6	0.0	1.7	0.1
99.6	0.1	37.4	0.1	553.3	0.1	3.0	0.1
103.4	0.0	39.2	0.1	562.1	0.1	3.1	0.1
106.1	0.0	18.0	0.3	658.5	0.0	3.2	0.1



Slika 2: Histogram prikazuje točke velikosti naboja. 'stopnice' oz. mnogokratniki osnovnega naboja so tukaj slabše vidni.

### 3 Zaključek

$$q_1 = (1, 2 \pm 0, 5) e_0 \text{A s} \quad (7)$$

$$q_2 = (1, 9 \pm 0, 5) e_0 \text{A s} \quad (8)$$

$$q_0 = \frac{q_1 + q_2}{2} = (1, 5 \pm 0, 5) e_0 \text{A s} \quad (9)$$

$$\delta q = |q_1 - q_2| = (0, 7 \pm 0, 3) e_0 \text{A s} \quad (10)$$

$$q_{pas} = q_{2,12} - q_{2,11} = (1, 1 \pm 0, 3) e_0 \text{A s} \quad (11)$$

Dobili smo rezultat, ki zajema pravo vrednost osnovnega naboja  $e_0$  na robu svoje napake.

Sumimo, da je prišlo do sistemski napake, kajti v grafu (2) lahko vidimo, da meritve ustvarjajo pasove približne širine naboja  $e_0$ . To širino smo ocenili z  $q_{pas}$  in se v primerjavi z dejansko vrednostjo zelo dobro ujema in torej, je "povprečje stopnic" na grafu (2) nekoliko sistematsko zamaknjeno.

Na grafu (1) opazimo, da obstajajo tudi vrednosti, ki so med diskretnimi naboji. Sumimo, da do takih primerov pride zaradi slabe meritve hitrosti, torej delec pospešuje, ko je merjena hitrost.

Če primerjamo, rezultata  $q_1$  in  $q_2$ , opazimo, da so znotraj napake oddaljena za ravno eno širino navideznega "pasu" na grafu (2), kar bi nam moralo takoj pokazati, da je verjetno večja vrednost večkratnik osnovnega naboja, kar se je zgodilo zaradi premajhne populacije podatkov (merjenih kaplic), in bi za pravi približek osnovnega naboja vzeli  $q_1$ , ki je po absolutni vrednosti, znotraj napake, enak širini pasa in tako lahko tudi dodatno ojačamo našo hipotezo, da je  $q_1$  zares vrednost osnovnega naboja.