

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 3

**Zpracoval:** Jakub Juránek

**Naměřeno:** 3. duben 2013

**Obor:** UF    **Ročník:** II    **Semestr:** IV

**Testováno:**

### Úloha č. 9:      Millikanův experiment

#### 1. Teorie

Budeme sledovat pohyb nabitě kapičky oleje v elektrickém poli. Díky kvantování náboje tato kapička ponese přirozený násobek elementárního náboje. Na kapičku působí celkem čtyři síly, směrem dolů tíhová síla, směrem vzhůru vztlačová síla, proti směru pohybu třecí síla pro laminární proudění a směrem k aktuální anodě elektrická síla.

Je-li kapka přitahována k dolní elektrodě, pohybuje s rovnovážnou rychlostí  $v_1$  splňující rovnici

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

kde  $r$  je poloměr kapičky,  $\rho$  hustota oleje,  $g$  tíhové zrychlení,  $|q|$  velikost náboje,  $E$  velikost intenzity,  $\rho_{vz}$  hustota vzduchu a  $\eta$  viskozita vzduchu.

Po obrácení elektrického pole se kapka pohybuje nahoru s rovnovážnou rychlostí  $v_2$  splňující rovnici

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

Z těchto rovnic pak dostáváme, že poloměr kapky je

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

a velikost náboje, který nese, je

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

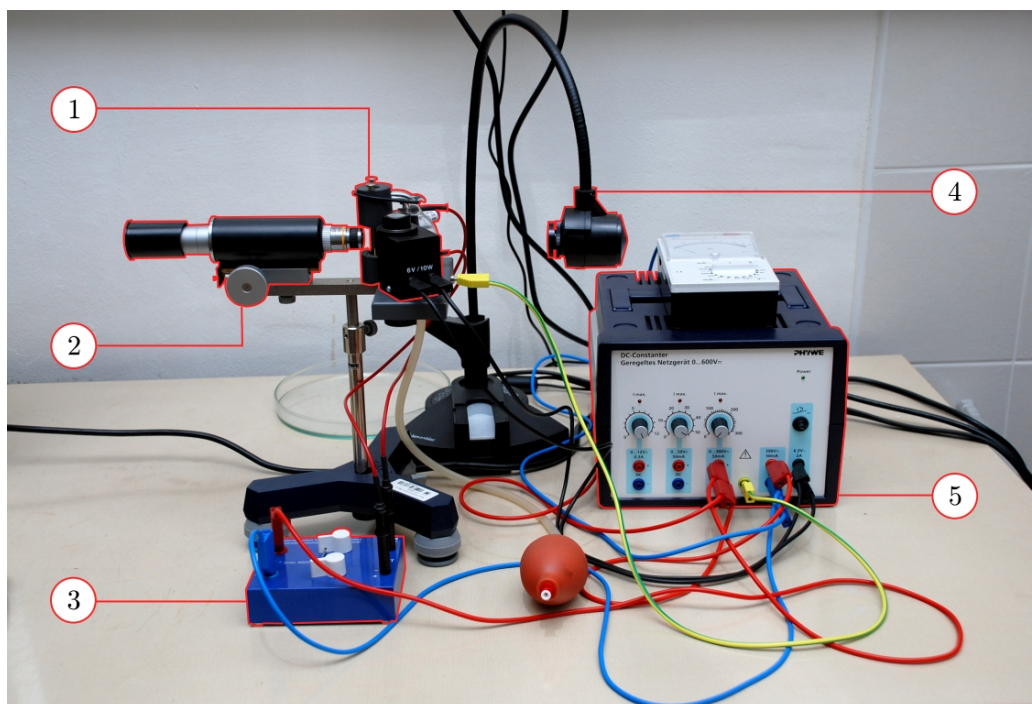
Jelikož nebude měřit přímo velikost intenzity  $E$ , ale jen napětí  $U$  mezi elektrodami, musíme velikost intenzity dopočítat ze vztahu

$$E = \frac{U}{d}, \quad (5)$$

kde  $d$  je vzdálenost elektrod.

## 2. Měření

Měřit budeme pomocí aparatury, zobrazené na obrázku 1, která nám na kameru zaznamenává pohyb kapiček. Jejich rychlost můžeme vypočítat díky v pozadí umístěné stupnici, na které 30 dílkům odpovídá 0,89 mm. Po vstříknutí kapek oleje si vybereme tu, která se pohybuje rovnoměrně svisle a měníme směr jejího pohybu pomocí přepínače polarity napětí. Jejich analýzu pak provedeme pomocí programu Avidemux 2.6, jehož výhodou je snadné přehrávání snímek po snímku, včetně ukazatele času snímku s přesností na tisícinu sekundy.



Obrázek 1: Měřící aparatura. (1) komůrka s kondenzátorem, (2) mikroskop, (3) přepínač napětí, (4) kamera, (5) zdroj napětí.

Parametry měření jsou následující:

$d$	$=$	2,5 mm
$\rho$	$=$	1030 kg m <sup>-3</sup>
$\rho_{vz}$	$=$	1,29 kg m <sup>-3</sup>
$\eta$	$=$	1,8 · 10 <sup>-5</sup> Pa s

Tabulka 1: Parametry měření.

Provedeme sérii měření pro napětí 300 – 600 V po kroku 50 V. Pro každé napětí provedeme měření tak, abychom dostali alespoň pět solidních kapek, použitelných pro další výpočty.

Dnes již můžeme vyjít se znalosti hodnoty elementárního náboje

$$q_0 = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Tuto hodnotu využijeme k tomu, abychom stanovili přibližný násobek elementárního náboje obsaženého v kapce, což bude zaokrouhlená hodnota  $q/q_0$ . Závislost odhadovaného počtu elementárních nábojů na velikosti kapky neseného náboje pak vyneseme do grafu, proložíme lineární závislostí  $y = q'_0 \cdot x$ , jejíž směrnice bude hledaná velikost elementárního náboje.

$$U_1 = 300 \text{ V}$$

$$E_1 = 120000 \text{ NC}^{-1}$$

$r[10^{-6} \text{ m}]$	$q[10^{-19} \text{ C}]$	$q/q_0$
1,35	17,601	11
0,94	12,898	8
2,05	48,023	30
1,04	12,828	8
1,89	47,796	30

$$U_2 = 350 \text{ V}$$

$$E_2 = 140000 \text{ NC}^{-1}$$

$r[10^{-6} \text{ m}]$	$q[10^{-19} \text{ C}]$	$q/q_0$
0,97	6,341	4
0,73	6,418	4
1,32	11,344	7
1,06	7,965	5
0,35	1,561	1
0,72	3,197	2

$$U_3 = 400 \text{ V}$$

$$E_3 = 160000 \text{ NC}^{-1}$$

$r[10^{-6} \text{ m}]$	$q[10^{-19} \text{ C}]$	$q/q_0$
0,83	6,534	4
1,01	8,125	5
0,32	3,152	2
0,71	6,325	4
0,38	3,155	2

$$U_4 = 450 \text{ V}$$

$$E_4 = 180000 \text{ NC}^{-1}$$

$r[10^{-6} \text{ m}]$	$q[10^{-19} \text{ C}]$	$q/q_0$
1,38	14,391	9
0,90	12,816	8
1,32	11,040	7
1,07	4,881	3
1,26	14,303	9
0,75	4,858	3

$$U_5 = 500 \text{ V}$$

$$E_5 = 200000 \text{ NC}^{-1}$$

$r[10^{-6} \text{ m}]$	$q[10^{-19} \text{ C}]$	$q/q_0$
1,01	8,035	5
0,73	3,288	2
1,33	9,535	6
0,62	1,748	1
1,21	9,599	6

$$U_6 = 550 \text{ V}$$

$$E_6 = 220000 \text{ NC}^{-1}$$

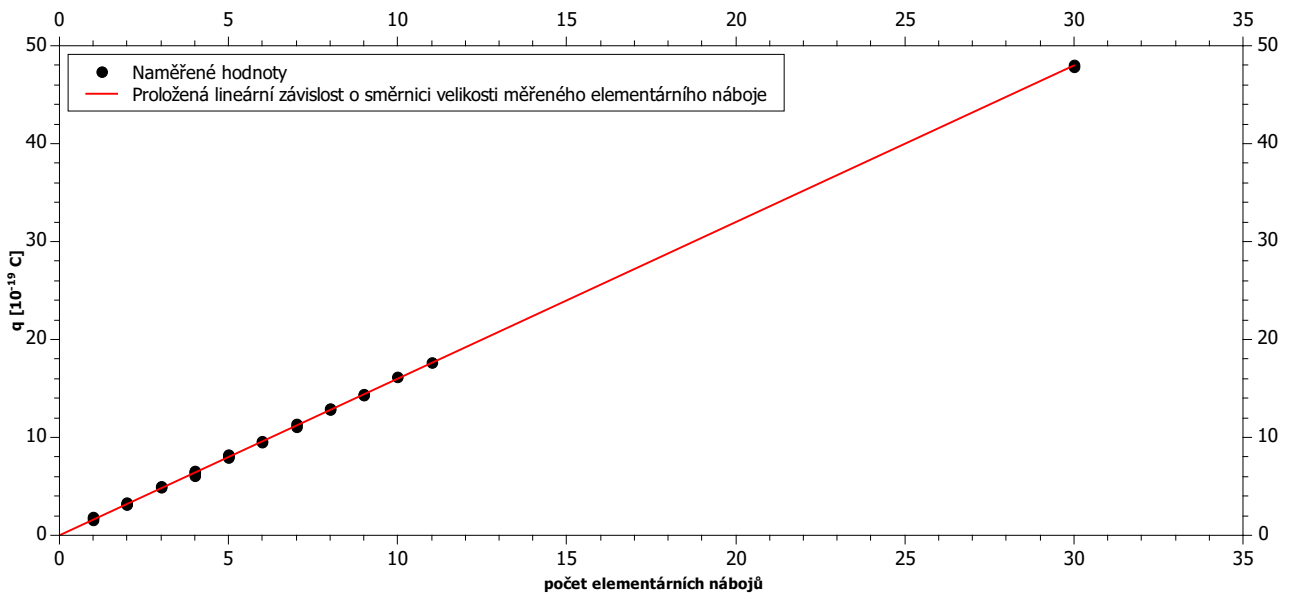
$r[10^{-6} \text{ m}]$	$q[10^{-19} \text{ C}]$	$q/q_0$
0,52	1,833	1
0,90	5,048	3
0,52	1,729	1
0,92	6,428	4
0,98	6,116	4
1,07	8,259	5
1,65	16,185	10

$$U_7 = 600 \text{ V}$$

$$E_7 = 240000 \text{ NC}^{-1}$$

$r[10^{-6} \text{ m}]$	$q[10^{-19} \text{ C}]$	$q/q_0$
1,19	8,044	5
1,33	9,847	6
1,11	4,690	3
0,79	4,732	3
1,00	4,699	3

Vyneseme závislost do grafu



Obrázek 2: Závislost velikosti náboje kapky na odhadovaném počtu obsažených elementárních nábojů.

a dostáváme, že velikost elementárního náboje je

$$q'_0 = (1,600 \pm 0,003) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

### 3. Závěr

Provedli jsme měření velikosti elementárního náboje pomocí pohybu nabitých kapek v elektrickém poli. Díky tomu, že již je tato hodnota známa, měli jsme zjednodušenou práci při určování, kolika elementárním nábojům by měl daný náboj odpovídat. Kdyby jsme tuto hodnotu neznali, museli bychom jako prvotní hodnotu elementárního náboje, která by sloužila k tomuto rozdělení, použít vzdálenost blízkých shluků hodnot náboje.

Hodnota elementárního náboje, kterou jsme dostali, je velmi blízko dnes používané hodnotě (v rámci nejistoty). Za tento dobře odpovídající výsledek může paradoxně nefunkčnost měřící aparatury, přesněji použitého počítače, která nás donutila provést měření znovu. U tohoto druhého měření jsem již měli více zkušeností s tímto experimentem, díky čemuž jsme dostali kvalitnější data.