

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 29. dubna 2019

Obor: UF

Skupina: F4210/04

Testováno:

Úloha . 9: Millikanův experiment

1. Úkoly

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

2. Teorie

Millikanův experiment slouží k určení velikosti elementárního náboje. V tomto experimentu se sleduje pohyb nabitých kapiček v elektrickém poli. Kapky oleje se rozprašují mezi desky kondenzátoru. Nabíjení kapek se realizuje ionizujícím zářením, konkrétně proudem α -částic z rozpadu radioaktivního amercia 241. Elektrické pole je orientováno jednou po směru a podruhé proti směru tíhové síly. V důsledku tření o vzduch se kapky mohou pohybovat rovnoměrně. Kromě elektrické, tíhové a třecí síly na kapku působí i síla vztlaková.

Z rozboru těchto sil lze pro 2 různé polarizace elektrického pole E , a tedy rychlost kapiček v_1 a v_2 sestavit následující soustavu dvou rovnic o dvou neznámých r a $|q|$

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

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

kde r je poloměr olejové kapičky, ρ je hustota oleje, g je tíhové zrychlení, ρ_{vz} je hustota vzduchu, η je viskozita vzduchu, q je velikost náboje kapičky a E je velikost intenzity elektrického pole. Sečtením rovnic 1 vyjádříme poloměr kapky jako

$$r^2 = \frac{p\eta(v_1 - v_2)}{4g(\rho - \rho_{vz})} \quad (3)$$

naopak odečtením rovnic dostaneme hledaný náboj kapky jako

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

kde rychlosti v_1 a v_2 jsme schopni změřit a velikost intenzity elektrického pole E vypočítáme ze vztahu

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

kde d je vzdálenost elektrod v kondenzátoru.

3. Naměřené hodnoty a zpracování měření

Do komůrky kondenzátoru jsem tím, že jsem zmáčkl několikrát balónek, vpravil olejové kapičky. Následně jsem měnil polaritu na deskách kondenzátoru, tak aby se kapky pohybovali na oba směry. Pohyby jsem nahrával přes kameru do počítače. Toto jsem provedl pro napětí 300 V, 400 V, 500 V a 600 V tolikrát, abych měl jistotu, že jsem naměřil 50 kapek.

Na videu jsem našel kapku, která se pohybuje rovnoměrně přímočaře (alespoň se tomu co nejvíce blíží). Naměřil počet dílků, a čas za který je urazila. Z těchto veličin jsem spočetl rychlost dané kapky. Dále pomocí rovnic (3) a (4) spočetl průměr a náboj jednotlivých kapek. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou v tabulkách 1, 2, 3 a 4.

Tabulka 1: Naměřené a vypočítané veličiny pro napětí 300 V

300 [V]									
t_{11} [s]	t_{12} [s]	d [díl]	v_1 [mm·s ⁻¹]	t_{21} [s]	t_{22} [s]	d [díl]	v_2 [mm·s ⁻¹]	r [10 ⁻⁷ m]	$ q $ [10 ¹⁹ C]
5,661	8,165	11	0,130	8,165	9,449	10	0,231	6,392	3,298
30,650	31,955	18	0,409	31,955	34,080	21	0,293	6,861	6,880
15,956	17,036	13	0,357	17,036	19,200	21	0,288	5,299	4,880
13,465	13,984	10	0,572	13,984	16,354	8	0,100	13,830	13,265
20,188	20,902	20	0,831	21,168	22,537	12	0,260	15,219	23,708
26,704	27,753	16	0,452	27,869	28,390	16	0,911	13,640	26,555
28,705	30,865	20	0,275	30,865	31,694	20	0,716	13,376	18,915
37,366	37,864	12	0,715	37,864	39,873	10	0,148	15,169	18,681
40,709	41,344	10	0,467	41,344	44,313	15	0,150	11,346	9,996
44,544	45,064	8	0,456	46,095	46,744	9	0,411	4,273	5,295
12,921	13,440	5	0,286	13,440	14,964	9	0,175	6,699	4,409
35,841	36,219	10	0,785	36,921	37,762	18	0,635	7,798	15,807

Tabulka 2: Naměřené a vypočítané veličiny pro napětí 400 V

400 [V]									
t_{11} [s]	t_{12} [s]	d [díl]	v_1 [mm·s ⁻¹]	t_{21} [s]	t_{22} [s]	d [díl]	v_2 [mm·s ⁻¹]	r [10 ⁻⁷ m]	$ q $ [10 ¹⁹ C]
23,691	24,240	14	0,757	24,170	25,680	14	0,275	13,976	20,585
27,090	27,600	6	0,349	27,600	39,152	3	0,008	11,767	5,993
27,920	29,032	5	0,133	29,034	29,640	3	0,147	2,338	0,935
31,080	32,345	15	0,352	32,482	33,015	12	0,668	11,325	16,488
34,162	34,680	3	0,172	34,680	35,851	15	0,380	9,191	7,241
45,081	45,600	7	0,400	45,679	46,119	9	0,607	9,157	13,165
47,242	47,880	11	0,511	48,682	49,200	12	0,687	8,444	14,453
25,761	26,370	8	0,390	26,880	27,556	13	0,571	8,564	11,742
43,855	44,400	9	0,490	44,832	46,038	10	0,246	9,948	10,452
48,784	49,521	5	0,201	49,881	52,392	8	0,095	6,581	2,779
53,712	54,673	7	0,216	54,830	55,873	8	0,228	2,156	1,365
57,792	58,511	9	0,371	58,951	59,832	9	0,303	5,263	5,068

Vypočtené hodnoty náboje jsem seřadil od nejmenšího náboje po největší a stejně je tak očísloval přirozenými čísly. Tyto hodnoty jsem vynesl do grafu 1. Z tohoto grafu jsem se snažil vyčíst shluky, které by odpovídali násobkům nějaké hodnoty, což je velikost náboje elektronu. Tyto shluky nábojů jsem zprůměroval a určil jejich směrodatnou odchylku. Vynesl jsem do grafu tyto zprůměrované hodnoty i se směrodatnými odchylkami jako „error bary“, přičemž jsem shluky opatřil přirozeným číslem, které ovšem nevyjadřuje skutečný násobek náboje elektronu, ale má za úkol pouze postihnout rozdíly násobků elementárního náboje mezi jednotlivými shluky nábojů. Poslední hodnotu jsem ovšem vynechal z důvodu, že nešlo rozhodnout, jaké přirozené číslo jí přiřadit. Tuto závislost jsem proložil lineární

Tabulka 3: Naměřené a vypočítané veličiny pro napětí 500 V

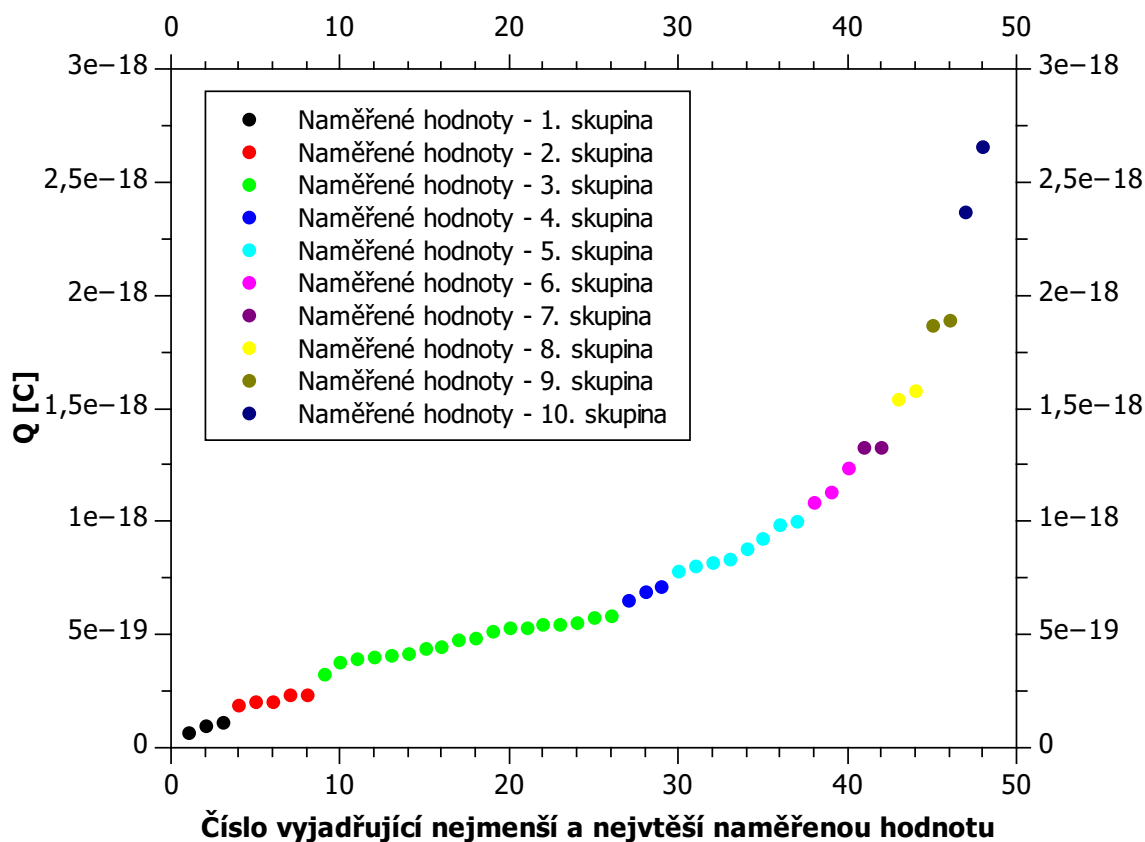
500 [V]									
t_{11} [s]	t_{12} [s]	d [díl]	v_1 [mm·s ⁻¹]	t_{21} [s]	t_{22} [s]	d [díl]	v_2 [mm·s ⁻¹]	r [10 ⁻⁷ m]	$ q $ [10 ¹⁹ C]
9,393	10,009	5	0,241	10,366	10,665	8	0,794	14,978	22,124
16,473	16,902	7	0,484	17,072	17,711	7	0,325	8,034	9,280
19,592	19,991	4	0,297	20,791	21,311	9	0,513	9,362	10,839
23,432	23,895	8	0,513	24,203	24,791	9	0,454	4,872	6,725
25,342	25,855	6	0,347	26,151	26,501	7	0,593	9,997	13,422
26,816	27,633	7	0,254	28,132	28,558	9	0,627	12,294	15,464
30,032	30,431	17	1,264	30,880	31,204	14	1,282	2,695	9,795
33,255	33,563	8	0,771	34,951	35,402	14	0,921	7,810	18,862
40,100	40,832	12	0,486	40,832	41,793	10	0,309	8,489	9,636
42,153	42,559	9	0,658	42,957	43,832	14	0,475	8,616	13,929
49,365	50,552	19	0,475	51,391	52,113	8	0,329	7,703	8,840
54,427	54,906	6	0,372	55,625	56,560	7	0,222	7,788	6,602

Tabulka 4: Naměřené a vypočítané veličiny pro napětí 600 V

600 [V]									
t_{11} [s]	t_{12} [s]	d [díl]	v_1 [mm·s ⁻¹]	t_{21} [s]	t_{22} [s]	d [díl]	v_2 [mm·s ⁻¹]	r [10 ⁻⁷ m]	$ q $ [10 ¹⁹ C]
3,682	4,521	12	0,424	5,361	5,962	13	0,642	9,391	14,294
23,361	23,874	8	0,463	24,158	25,041	10	0,336	7,168	8,174
26,000	26,571	10	0,520	27,922	29,482	16	0,304	9,346	10,993
39,751	40,361	6	0,292	41,199	42,520	7	0,157	7,390	4,737
42,520	43,363	8	0,282	43,840	44,680	14	0,494	9,294	10,297
51,760	52,630	9	0,307	53,376	53,945	7	0,365	4,854	4,656
54,696	55,448	9	0,355	56,421	56,920	8	0,476	6,994	8,295
57,725	58,431	8	0,336	59,679	60,519	8	0,283	4,664	4,120
13,762	14,400	5	0,232	14,962	15,564	4	0,197	3,788	2,324
26,601	27,054	8	0,524	28,377	29,361	13	0,392	7,317	9,568
31,522	33,202	20	0,353	33,840	34,641	18	0,667	11,277	16,421
35,482	36,081	8	0,396	36,081	36,925	12	0,422	3,234	3,776

fitem (graf je na obrázku 2) a určil směrnici, která by mělo odpovídat elementárnímu náboji a vyšla mi jako

$$(2,37 \pm 0,23) \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (6)$$



Obrázek 1: Závislost náboje na pořadí velikosti onoho náboje s rozlišenými skupinami shluků.

Kromě grafu jsem také spočítal rozdíly mezi jednotlivými shluky, což jsem mohl udělat, protože se zdálo, že se jednotlivé shluky liší pouze o násobek o jedničku vyšší než ten předchozí. (znovu jsem vynechal poslední shluk ze stejných důvodů). Průměr jednotlivých rozdílů by měl odpovídat elementárnímu náboji. Vyšla mi hodnota

$$q_0 = (2,55 \pm 0,85) \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (7)$$

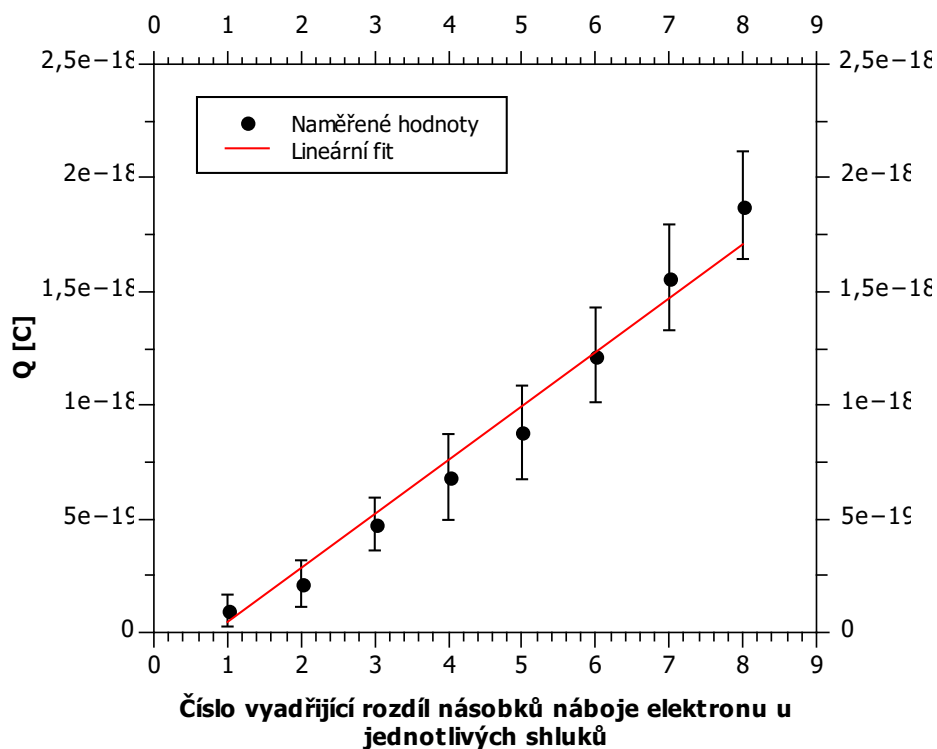
4. Závěr

V této úloze jsem měřil velikost elementárního náboje pomocí Millikanova experimentu. Dnešní známá hodnota elementárního náboje je

$$q_0 = 1,6021766208 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (8)$$

Pomocí proložení grafu lineární závislosti jsem dostal elementární náboj jako směrnici. V tomto případě mi elementární náboj vyšel $q_0 = (2,37 \pm 0,23) \cdot 10^{-19} \text{ C}$, což ovšem neodpovídá reálné hodnotě. Chyba může být ve výpočtu odchylky, kterou dělal sám QtPlot a bohužel nevím, jak přesně počítá s error bary. Víím, že je určitě započítává a odchylka směrnice vyšla několikanásobně vyšší než bez error barů, tedy jejich setrvání v grafu je zřejmě žádoucí.

Hodnota elementárního náboje vypočtená pomocí rozdílů mezi jednotlivými průměry nábojů shluků mi vyšla $q_0 = (2,55 \pm 0,85) \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Zde již v mnou naměřeném intervalu je dnešní známá hodnota elementárního náboje.



Obrázek 2: Závislost náboje na čísle přiřazenému shluku proložená lineárním závislostí.

I když jsem v celé úloze předstíral neznalost elementárního náboje, tak jsem ovšem minimálně předpokládal, že úloha vede ke zjištění elementárního náboje. Jak je vidět na grafu z obrázku 1 jsou hodnoty náboje rozprostřené velmi „spojitě“ z čehož je na první pohled zřejmé, že nejde vidět, natož určit jednotlivé shluky. Pro detekování shluků, které by nebylo pouhým odhadem, by bylo nutné, za předpokladu, že každá další naměřená hodnota padne do již naměřeného intervalu náboje kapky, naměřit alespoň dvakrát více kapek, které by ještě navíc museli opravdu vytvořit shluky.