

Millikanův experiment

Pracovní úkol:

Experimentálně stanovte hodnotu elektrického elementárního náboje e pomocí Millikanova experimentu, metodou tzv. padající kapky.

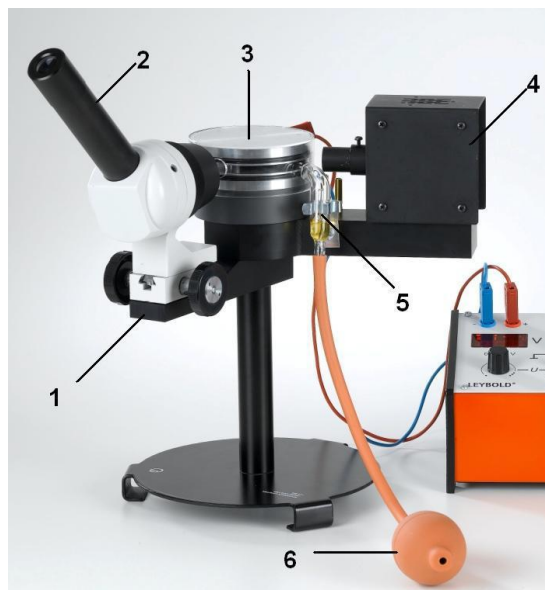
Úvod:

Millikanův pokus, někdy také nazývaný *oil drop experiment*, byl prováděn v letech 1906 - 1914 a jeho účelem bylo zjištění hodnoty elementárního náboje. Autoři experimentu byli Robert A. Millikan a Harvey Fletcher, přičemž první jmenovaný za něj obdržel v roce 1923 Nobelovu cenu. První pokusy o zjištění hodnoty elementárního náboje však prováděl již na konci 19. století student samotného objevitele elektronu J. J. Thomsona, J. S. Townsend, který svými experimenty položil základy pozdějším, přesnějším Millikanovým měřením. Pro měření náboje elektronu byl využíván efekt elektricky nabitých vodních nebo olejových kapek, které na sebe mohou při pohybu navázat několik elektronů. Za předpokladu, že je pohyb těchto kapek pozorován v tíhovém a elektrostatickém poli, je možné na základě zjištěných hodnot vypočítat jejich hmotnost, poloměr a náboj. J. S. Townsend pozoroval nabitě vodní kapky padající do kyseliny sírové a na základě přírůstku elektrického náboje a hmotnosti v roztoku se mu podařilo určit přibližnou hodnotu elementárního náboje jako $e = 1,001 \cdot 10^{-19}$ C. R. A. Millikan optimalizoval experiment použitím olejových kapek, jejich rychlost evaporace je znatelně nižší, než pro vodní kapky. Tyto olejové kapky byly naprašovány mezi desky nabitého kondenzátoru a jejich náboj mohl být měněn ozářením rentgenovými paprsky, které disponují ionizačními účinky. V elektrostatickém poli mezi deskami kondenzátoru Millikan měřil rychlosti při měnící se intenzitě a polaritě elektrického pole a ze znalosti vztahu pro tíhovou, elektrostatickou, třecí a vztlakovou sílu, se mu podařilo určovat jak poloměr, tak náboj olejových kapek. Hodnota elementárního náboje elektronu stanovená Millikanovým experimentem byla $e = 1,592 \cdot 10^{-19}$ C. Nutno dodat, že i tento výsledek se liší od momentálně známé a používané hodnoty elementárního náboje; ke zpřesnění výsledku došlo až ve 30. letech 20. století, kdy byla měřením upřesněna hodnota viskozity vzduchu. Po příslušné korekci byla nakonec hodnota elementárního náboje ustanovena jako $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

Metoda:

Pro měření elementárního náboje bude použita tzv. metoda plovoucí kapky.

Teoretický rozbor bude doplněn



Obrázek 1: Aparatura pro měření Millikanova experimentu, 1 – základní deska, 2 – mikroskop s mikrometrovou škálou, 3 – deskový kondenzátor, 4 – osvětlovací zařízení, 5 – rozprašovač oleje, 6 – gumový balonek

Postup:

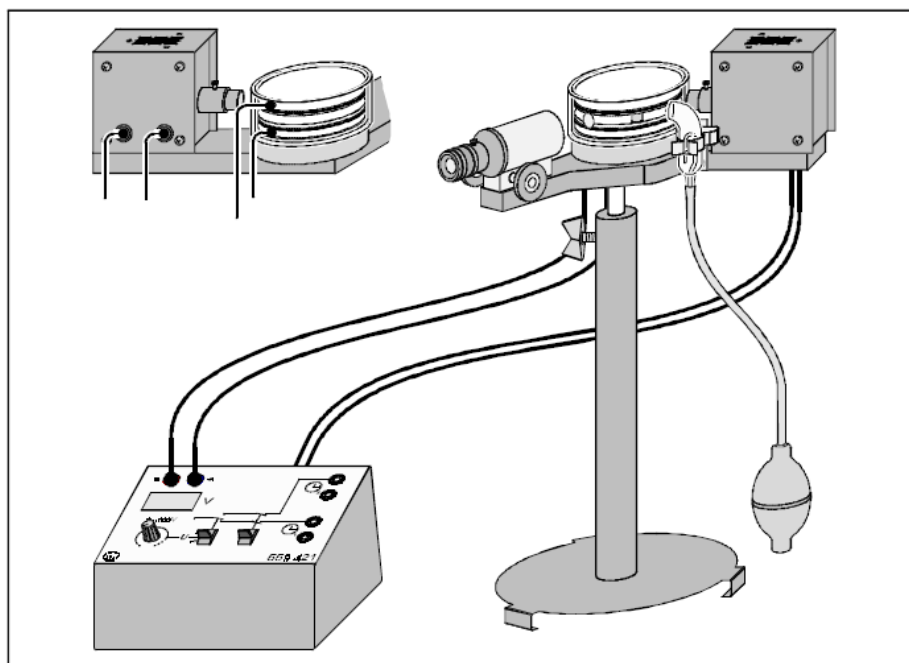
0. Před měřením a opakovaně během měření zapište teplotu, tlak a relativní vlhkost v místnosti.
1. Zapojte elektrody deskového kondenzátoru (3) (červený kabel + musí být zapojen do horní desky) a napájení osvětlovací lampy (4) (černé kabely) do zdroje napětí. (Obrázek 2)
2. Zkontrolujte, zda je v rozprašovači (5) dostatek oleje, a v případě potřeby doplňte.
3. Zapněte zdroj. **Po zapnutí zdroje se vyvarujte dotyku s elektrodami, existuje nebezpečí úrazu elektrickým proudem.** Napětí nastavte na 0 V a páčku napětí přepněte na *off*.
4. Točte držákem čočky do té doby, než jasně uvidíte mikrometrickou škálu. Poté ji nastavte do vertikální polohy.
5. Použijte gumový balonek ke vstřiku oleje mezi desky kondenzátoru. Následně pohybem mikroskopu nastavte rovinu, ve které je olejová kapka vidět jako světlý bod.
6. Vyberte si kapku, kterou budete sledovat a zaostřete na ni pohybem mikroskopu. (Povšimněte si, že pokud není přiloženo napětí, kapky padají.)
7. Přiložte napětí na kondenzátor přepnutím páčky do pozice *on* a nastavte takové napětí, aby sledovaná kapka přestala padat/stoupat. Příslušné napětí zaznamenejte.

8. Na mikrometrické stupnici vyberte úsek, ve kterém budete měřit rychlost sledované kapky. (Celková délka mikrometrické stupnice je 10 mm a jednotlivé stupně jsou po 0,1 mm. Pozor, mikroskop má dvojnásobné zvětšení, a proto je **skutečná** celková vzdálenost na stupnici 5 mm)

9. Připravte si k ruce stopky a poté vypněte napětí na kondenzátoru, čímž se vybraná kapka dá do pohybu. V okamžiku, kdy padá kolem vybrané **počáteční** čárky na stupnici, zmáčkněte na stopkách **START**. V okamžiku, kdy padá kolem předem vybrané **finální** čárky, zmáčkněte na stopkách **STOP**. Zaznamenejte si vzdálenost Δx , kterou vybraná kapka urazila, a délku časového intervalu Δt , který jste naměřili.

10. Resetujte stopky.

11. Stejný proces (body 6 až 10) opakujte pro dalších 19 kapek, abyste celkově obdrželi 20 měření.



Obrázek 2: Schéma zapojení deskového kondenzátoru a osvětlovací lampy.

Zpracování dat:

Pro zpracování naměřených dat budete (mimo jiné) potřebovat dvě následující veličiny - viskozitu a hustotu vzduchu (v textu dále značeno jako η a ρ_1). Dynamickou viskozitu vzduchu určíte z tzv. Sutherlandova vztahu

$$\eta = \eta_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2}, \quad (1)$$

kde $T[\text{K}]$ je teplota vzduchu, $T_0 = 291,15 \text{ K}$, $C = 120 \text{ K}$ a $\eta_0 = 18,27 \text{ } \mu\text{Pa}$. Hustota vzduchu je dána vztahem

$$\rho = \frac{p_d}{R_d T} + \frac{p_v}{R_v T}, \quad (2)$$

kde $T[\text{K}]$ je teplota vzduchu, p_d je parciální tlak suchého vzduchu, p_v je tlak vodních par, $R_d = 287,058 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ je měrná plynová konstanta suchého vzduchu a $R_v = 461,495 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ je měrná plynová konstanta vodních par. Hodnoty parciálních tlaků suchého vzduchu p_d a vodních par p_v určíte následujícím způsobem. Pomocí vztahů

$$p_{\text{sat}} = 6,1078 \cdot 10^{\frac{7,5T}{T+237,3}} \quad p_v = \varphi p_{\text{sat}} \quad (3a,b)$$

vypočtete nejprve p_{sat} , tzv. tlak saturovaných vodních par. Do rovnice XY je nutno zadat teplotu ve stupních Celsia $T[^\circ\text{C}]$ a výsledný p_{sat} vyjde v jednotkách hPa. Po dosazení do rovnice XYB dostanete parciální tlak vodních par. Parciální tlak suchého vzduchu poté dopočtete ze vztahu

$$p_d = p - p_v, \quad (4)$$

kde p je naměřený tlak vzduchu a p_v je parciální tlak vodních par. Dosazením p_d a p_v do rovnice XY vypočtete hledanou hustotu vzduchu. Jak dynamickou viskozitu, tak hustotu vzduchu, dále použijete při výpočtu hodnoty elementárního náboje dle následujícího postupu.

Z rychlosti pádu kapky lze určit její poloměr r dle vztahu

$$r = \sqrt{\frac{9}{2} \frac{\eta \frac{\Delta x}{\Delta t}}{(\rho_2 - \rho_1)g}}, \quad (5)$$

kde η je viskozita vzduchu, Δx a Δt jsou vzdálenost a časový interval naměřené pro konkrétní padající kapku, $\rho_2 = 873 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (hustota oleje), ρ_1 = hustota vzduchu (viz vztahy X, Y, Z) a $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (gravitační zrychlení).

Náboj kapky se dále určí ze vztahu

$$q = 9\pi \frac{d}{U} \sqrt{\frac{2\eta^3 v^3}{(\rho_2 - \rho_1)g}}, \quad (6)$$

kde $d = 6 \pm 0,05 \text{ mm}$ je vzdálenosti mezi deskami kondenzátoru a U změřené napětí. Proved'te korekci náboje q pomocí tzv. Cunninghamova vztahu pro malé poloměry kapek, jehož rovnice je následující.

$$q_c = \frac{q}{\sqrt{\left(1 + \frac{A}{r}\right)^3}} \quad (7)$$

Mimo náboje q a poloměru r je v rovnici Z člen A tzv. koeficient tření olejové kapky ve vzduchu za standartního tlaku a teploty 25°C o hodnotě $A = 0,07776 \text{ }\mu\text{m}$.

Z těchto vypočtených hodnot vyneste do grafu závislost $q(r)$, tedy závislost velikosti náboje q na poloměru kapky r a vytvořte histogram četnosti pozorovaných nábojů kapek.