

# Millikanův pokus

M. Cetkovský – Gymnázium Zlín, webmaster@alikuvkoutek.cz

V. Cupal – Gymnázium Jeseník, calm@centrum.cz

M. Raja – Gymnázium Hostinné, raja@gymhost.cz

E. Šoltisová – MOG Bruntál, evulisek@centrum.cz

Z. Vydrová – Gymnázium Tanvald, sauria@email.cz

Supervisor: J. Dostál – KFE FJFI ČVUT

## Abstrakt:

V našem miniprojektu jsme se snažili zopakovat historický pokus z roku 1913 a zkusit naměřit konstantu elementární náboj.

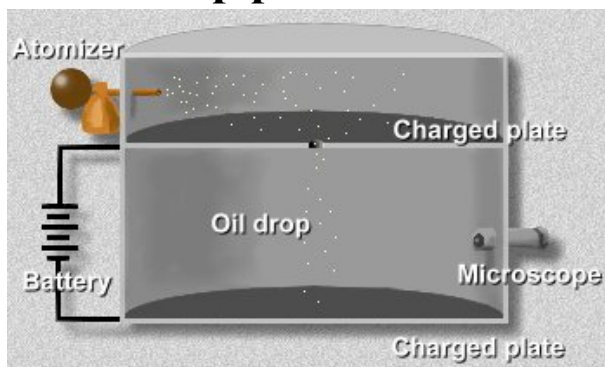
## 1 Úvod



Pokus je pojmenován po svém tvůrci, americkém vědci, Robertu A. Millikanovi (1868-1953), který ho provedl v letech 1911-1913. Za své snažení byl roku 1923 odměněn Nobelovou cenou za fyziku „za práce o elementárním elektrickém náboji a o fotoelektrickém jevu“.

Cílem experimentu je zjistit tzv. elementární náboj, který by měl být nábojem nejmenším – dále nedělitelným. Každý reálný náboj jakéhokoli tělesa je jeho celistvým násobkem (má diskrétní charakter). Náboj charakterizuje interakci elementárních částic s elektromagnetickým polem. Vyskytuje se ve dvou formách – kladné a záporné. Jeho velký význam spočívá v tom, že spojuje makroskopicky měřitelné a atomární veličiny.

## 2 Princip pokusu

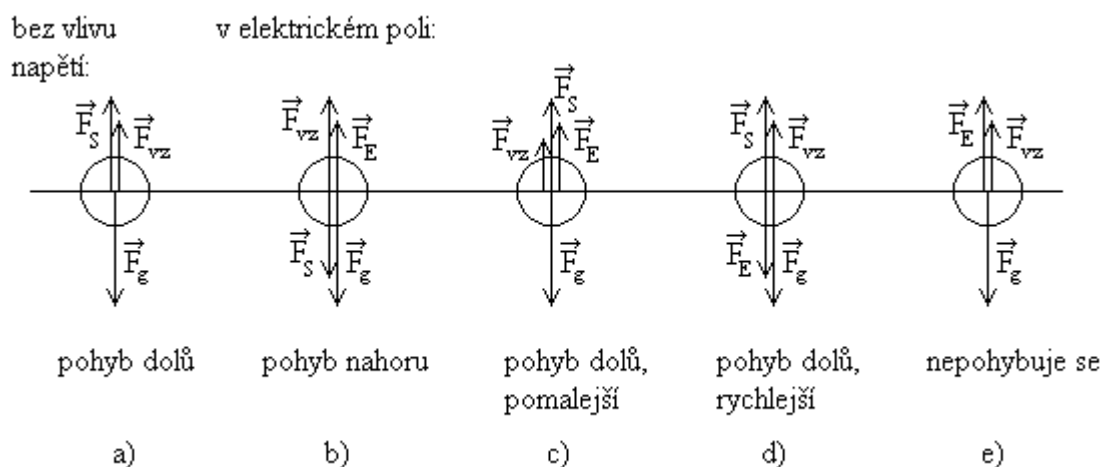


Obr. 2

### Aparatura:

Základem je kondenzátor se dvěma deskami, do něhož směřuje vstřikovač oleje. Pro pozorování pohybujících se kapek slouží mikroskop. K němu jsme přiložili kameru napojenou na projektor – pro jednodušší pozorování. Ke kondenzátoru je připojen zdroj napětí (500V). Na plátně jsme si vyznačili dráhu, na které jsme měřili dobu pohybu kapek oleje. K tomu jsme potřebovali dvoje stopky.

Princip tohoto pokusu spočívá v porovnávání sil, kterými působí elektrostatische a gravitační pole na malá nabitá tělíska. Tělíska jsou drobné olejové kapičky, nabijí se třením při rozstřikovávání mezi desky kondenzátoru. Měříme konstantní rychlost jejich vertikálního pohybu bez přítomnosti a poté s přítomností elektrického pole.



Obr. 3

Pokud na kondenzátor není připojeno napětí, budou se kapičky pohybovat dolů pod vlivem tíhová síly  $F_G = m \cdot g$ , vztlakové síly  $F_{VZ} = m' \cdot g$ , odporu prostředí – ten popíšeme Stokesovou silou

$F_s = 6\pi\eta r v$ . Pohyb charakterizuje rovnice (viz obr. 3a):

$$mg - m'g - 6\pi\eta r v_g = 0. \quad (I)$$

Pokud v kondenzátoru vytvoříme elektrické pole, změní se rychlost kapičky. Může dojít ke čtyřem možnostem:

1. kapička mění směr, pohybuje se vzhůru k opačně nabitě desce kondenzátoru platí pro ni vzorec (viz obr. 3b):  $mg - m'g + 6\pi\eta r v_e - EQ = 0$ , (II)

a)

Z rovnic I a IIa se vyjádří vzorec pro hodnotu náboje pro daný případ:

$$Q = \frac{6\pi\eta r (v_g + v_e)}{E} \quad (III)$$

a)

2. kapička se pohybuje stejným směrem a sníží rychlost platí rovnice (viz obr. 3c):  $mg - m'g - 6\pi\eta r v_e - EQ = 0$ , (II b)

Z rovnic I a IIb se vyjádří vzorec pro hodnotu náboje pro daný případ:

$$Q = \frac{6\pi\eta r (v_g - v_e)}{E} \quad (III b)$$

3. těleso nemění směr a zrychlí

platí rovnice (viz obr. 3d):  $mg - m'g - 6\pi\eta r v_e + EQ = 0$ , (II c)

Z rovnic I a IIc se vyjádří vzorec pro hodnotu náboje pro daný případ:

$$Q = \frac{6\pi\eta r (v_e - v_g)}{E} \quad (III b)$$

4. těleso se zastaví, síly se vyruší (viz obr. 3e):  $m'g + EQ - mg = 0$ , (II d)

Z rovnic I a IIa se vyjádří vzorec pro hodnotu náboje pro daný případ:

$$Q = \frac{6\pi\eta r v_g}{E} \quad (\text{III d})$$

- $m'$  ... hmotnost vytlačeného vzduchu
- $m$  ... hmotnost kapičky
- $\eta$  ... dynamická viskozita vzduchu ( $1,81 \cdot 10^{-5} \text{Ns.m}^{-2}$ )
- $r$  ... poloměr kapičky
- $v_e$  ... rychlost částice s nábojem při zapnutém el. poli
- $v_g$  ... rychlost částice s nábojem bez el. pole
- $E$  ... intenzita  $E=U/d$  ( $d$  ... vzdálenost desek kondenzátoru)
- $g$  ... tíhové zrychlení ( $9,81 \text{m.s}^{-1}$ )
- $\sigma$  ... hustota oleje ( $875,3 \text{kg.m}^{-3}$ )
- $\rho$  ... hustota vzduchu ( $1,29 \text{kg.m}^{-3}$ )

Změna směru závisí na polaritě náboje kapičky oleje.  
Z platné rovnice (I) navíc platí pro poloměr kapičky oleje:

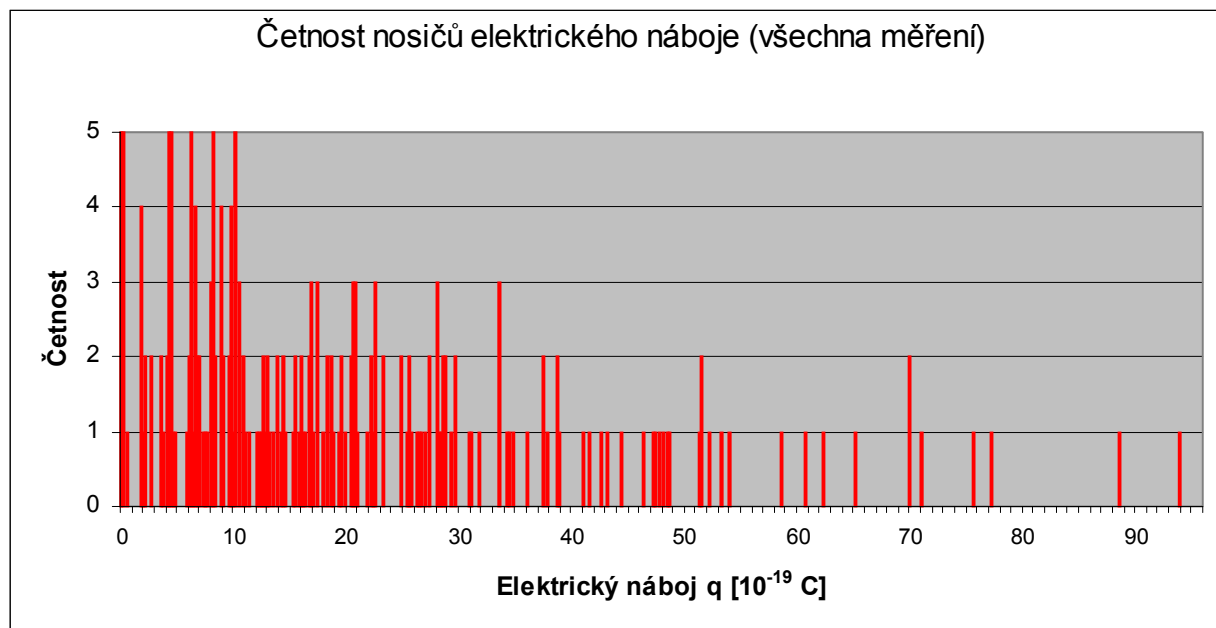
$$r = 3 \cdot \sqrt{\frac{v_g \cdot \eta}{2 \cdot (\sigma - \rho) \cdot g}}$$

(IV)

Jediné neznámé jsou rychlosti, které vypočítáme pomocí vzorce pro rychlost rovnoměrného pohybu:  $v = s/t$  ( $s$  ... dráha pohybu,  $t$  ... čas pohybu)

### Výsledky:

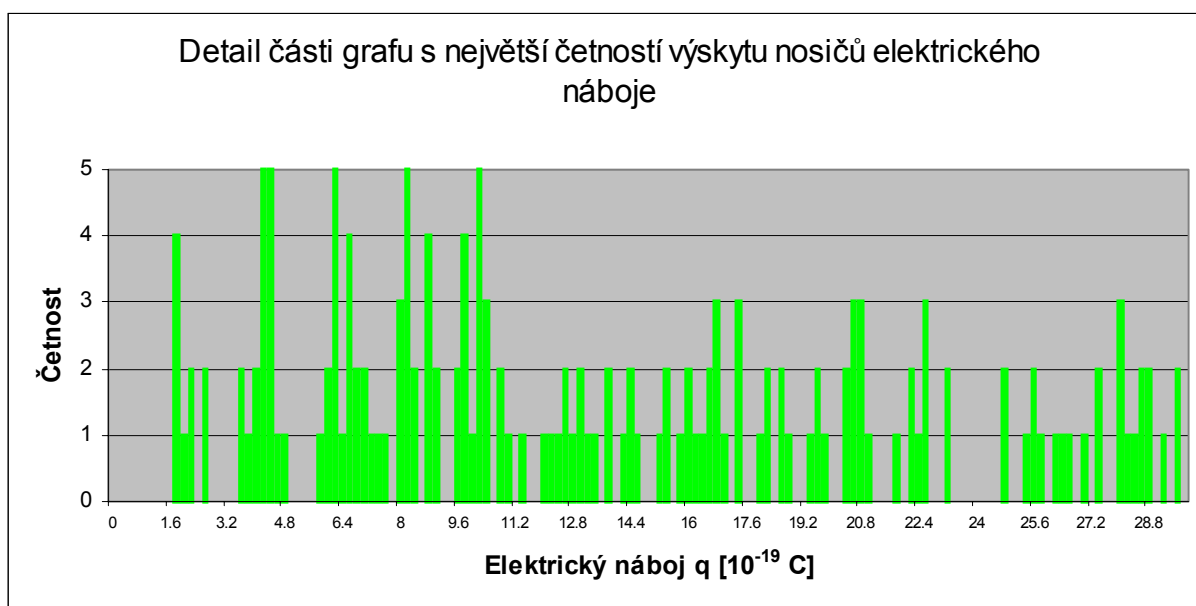
Provedli jsem celkem 250 měření. U každé kapky jsme změřili čas pohybu po dráze bez působení elektrického pole i během působení elektrického pole. Náboj každé kapky jsme vypočítali podle vhodné rovnice (III a-d). Podle hodnot nábojů jsme vytvořili graf – histogram, který ukazuje četnost naměřených nábojů o dané naměřené hodnotě (Graf 1, 2)



Graf 1

Graf 2 zobrazuje tu část grafu 1, ve které se vyskytují statisticky dostatečné četnosti měřených nábojů. Navíc byly vyloučeny hodnoty s nábojem blízkým 0 C. Z měření rychlostí

bylo patrné, že tyto částice nereagovali změnou rychlosti při připojení napětí – částice nenabité.



Graf 2

Z grafů jsou patrné zhuštěné oblasti s většími četnostmi a naopak oblasti s malou koncentrací částic s daným nábojem. Největší četnost, tedy vrcholy, jde vidět u násobků element. nábojů. K tomuto nárůstu dochází periodicky (s periodou odpovídající hodnotě elementárního náboje). Nejspolehlivější jsou výsledky v místech, kde je větší počet měření. Podle vzdálenosti vrcholů můžeme určit námi naměřený elementární náboj.

### 3 Shrnutí

Měření ukázalo diskrétní povahu elementárního náboje – hodnota náboje může být pouze násobkem elementárního náboje.

Vzdálenost maxim zhuštění odpovídá hodnotě elementárního náboje, který naměřil pan Millikan a v řádu odpovídá hodnotě  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Ne úplně přesná shoda vyplývá z nedostatku při měření, která měření ovlivnila: malý počet měření, lidský faktor (měření času stopkami), odklonění dráhy částic od svislého směru.

### Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat pořadatelům Fyzikálního týdne, zejména panu Vojtěchu Svobodovi. Dále našemu supervisoru Janu Dostálovi, který s námi bojoval při našem experimentu až do pozdního odpoledne a ochotně nám se vším pomáhal. A samozřejmě panu R. A. Millikanovi bez něhož bychom tento pokus nemohli provést.

### Reference:

[1] Leaybold – Heraeus: New Physics Leaflets for Colleges, 1986

- [2] Štoll, I.: Elektřina a magnetismus. FJFI ČVUT, 1998
- [3] Haynie, T.: Measuring  $e$  using The Millikan apparatus.
- [4] Garcia, F. A.: Medida de la unidad fundamental de carga