

DOLOČITEV OSNOVNEGA NABOJA PO MILLIKANU

Uvod

Millikanov poskus, to je opazovanje gibanja naelektrnih kapljic v gravitacijskem in električnem polju, spada med klasične poskuse zaradi zgodovinskega pomena določitve osnovnega naboja in zaradi relativne enostavnosti, ki omogoča, da poskus ponovijo študenti v laboratoriju.

Na okroglo kapljico z radijem r in gostoto ρ , ki prosto pada v zraku, deluje sila teže $mg = \frac{4\pi}{3}r^3\rho g$, njej nasprotni pa sta sila vzgona $\frac{4\pi}{3}r^3\rho_{\text{zr}}g$ in Stokesova sila $6\pi r\eta v$, kjer je ρ_{zr} gostota zraka, η viskoznostni koeficient (viskoznost zraka pri 23°C je 18.3 μPas), v pa hitrost padanja kapljice. Kapljica doseže konstantno hitrost tedaj, ko velja ravnotežna enačba

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

Če torej merimo hitrost padanja kapljice v zraku in poznamo ρ , ρ_{zr} in g , lahko izračunamo radij kapljice r :

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

Če je kapljica naelektrena in nosi mnogokratnik osnovnega naboja e_0 , torej ne_0 , deluje nanjo v električnem polju ploščatega kondenzatorja z električno poljsko jakostjo E dodatna sila ne_0E . S spreminjanjem velikosti in smeri električnega polja torej lahko dosežemo ravnovesje med navidezno težo kapljice in električno silo. Tedaj kapljica miruje in velja

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho - \rho_{\text{zr}})g = ne_0E ,$$

kjer je $U = dE$ napetost na kondenzatorju in d je razdalja med ploščama kondenzatorja. Če merimo hitrost kapljice pri prostem padanju skozi zrak in pa napetost, pri kateri se kapljica ustavi, lahko določimo mnogokratnik osnovnega naboja ne_0 .

Za določitev naboja pa lahko postopamo tudi drugače. Dovolj majhno kapljico premikamo z neko napetostjo $U = dE$ v smeri (+) in nasproti (-) težnostnega pospeška. Ko se hitrost ustali velja enakost sil:

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho - \rho_{\text{zr}})g \pm |n|e_0E = \pm 6\pi r\eta v_{\pm} ,$$

kjer je v_+ (v_-) hitrost premikanja v smeri (v nasprotni smeri) težnostnega pospeška. Hitrosti v_+ in v_- sta pozitivni količini in lahko izmerimo. Na njihovi podlagi določimo radij kapljice

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

in absolutno vrednost večkratnika naboja n

$$|n|e_0 = \frac{3\pi r\eta}{E}(v_+ + v_-) .$$

Naloga

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

Potrebščine

- 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 300 V
- preklopnik smeri napetosti
- voltmeter

Navodilo

Začetna nastavitev

1. Na sliki 1 je prestavljena postavitev opreme pri tem poskusu. Vklopi računalnik in napajalec za belo LEDico, ki osvetljevanje notranjosti kondenzatorja. Mikroskop je pritrjen tako, da dobimo ostro sliko kapljic v sredini Millikanovega kondenzatorja. Počakaj, da se na kamери zasveti pojavi zelena lučka. Na računalniku zaženi program **Milikan** (na namizju). Če se noče zagnati, za 5s iz računalnika izklopi USB kabel kamere in poskusi ponovno. Uporabniški račun na računalniku je

Uporabniško ime:student

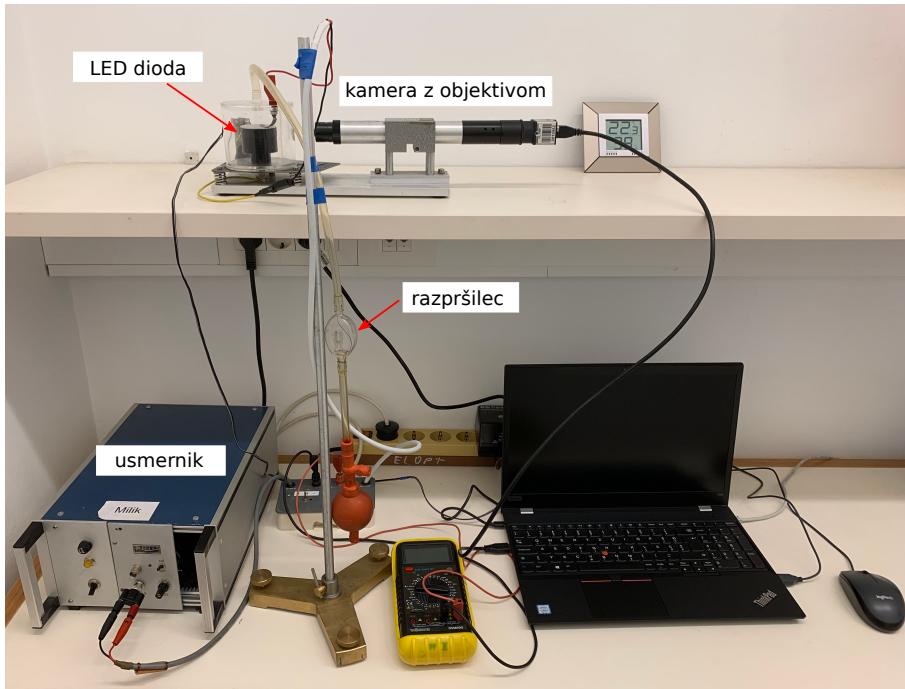
Geslo:praktikum2

2. Klikni gumb **Settings**: v zavihu **Timing** nastavi **Framerate** na 5 fps, **Exposure** na maksimum; v zavihu **Image** pa nastavi **Master gain** na 100.
3. Oljne kapljice s stiskom gumijastega balona razpršilca vbrizgaj skozi luknjico na zgornji plošči kondenzatorja (eden do dva vbrizga). Ker se na kapljicah siplje svetloba diode, jih lahko opazimo kot svetleče točke na temnem ozadju. Če je vse v redu, zagledaš na monitorju več padajočih kapljic, ki so različne po velikosti in hitrosti padanja. Vse tudi niso ostre zaradi omejene globinske ostrine mikroskopa.

Nabite kapljice lahko dvigamo ali spuščamo s spreminjanjem napetosti na kondenzatorju. To naredimo tako, da vklopimo tudi usmernik za 300 V. Od tam vodimo napetost na kondenzator preko preklopnika. Vzporedno s kondenzatorjem je priklopljen tudi voltmeter. Preklopnik ima tri položaje, v sredini je napetost 0, od enega do drugega skrajnega položaja pa se napetost obrne.

V uvodu sta opisana dva načina določitve naboja: prosto padanje in ustavljanje z električnim poljem, ali premikanje z električnim navzgor in navzdol. Naredite meritve po enem od načinov ali obeh. Pri določitvi hitrosti si pomagajte s snemanjem primikajočih

kapljic. Pri tem poskušajte izbrati čim manjše in počasnejše kapljice. Vsako kapljico poskušaj obravnavati večkrat po izbranem načinu. Pri ponovnem vbrizgavanju kapljic mora biti napetost na kondenzatorju 0, drugače kapljice ne pridejo skozi luknjo.



Slika 1: Postavitev opreme pri Millikanovem poskusu.

Snemanje premikanja kapljic

1. Za začetek snemanja klikni gumb **Record** in vpiši ime datoteke. Snemaj v mapo C:\temp.
2. Za konec snemanja klikni gumb **Stop**.

Analiza video posnetkov

1. Poženi program **TWview** (na namizju), klikni gumb **Open** in izberi video datoteko, ki si jo posnel.
2. Z drznikom pod sliko se lahko premikas po filmu naprej-nazaj. Ko se na sliki najdeš ustrezen delec, čigar hitrost bi želel določiti, klikni naj z levim miškinim gumbom. Program si zabeleži lego klika (x_1, y_1) in čas slike t_1 .
3. Z drsnikom se nato premikaj naprej po filmu in vizualno sledi premikanju delca. Ko se delec znatno premakne večji ko je premik, manjša je napaka) z levim miškinim gumbom še enkrat klikni na delec. Program pri tem zabeleži lego klika (x_2, y_2) in čas slike t_2 .
4. Iz zabeleženih podatkov program izračuna premik delca

$$dr = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2},$$

v pikslih n v mikrometrih ter hitrost v mikrometrih

$$v = dr/(t_2 - t_1) .$$

Obdelava podatkov S tem, da merimo veliko kapljic z različnimi mnogokratniki osnovnega naboja ne_0 , lahko vsem tem meritvam poiščemo najmanjšo skupno mero e_0 . Uporabne so le meritve, kjer n ni preveliko število ($n \leq 6$)

Rezultate meritev predstavi s tabelo e in r , kjer kapljice razporediš po velikosti naboja, od manjšega proti večjemu. Dodaj še koloni za n in vrednost osnovnega naboja, ki ju boš določil kasneje. Nariši histogram $N(e)$, kjer je N število kapljic z nabojem manjšim kot e . Praktično to pomeni, da gre vodoravna os histograma od 0 do maksimalnega naboja in navpična os od 0 do števila vseh kapljic. Histogram je naraščajoč in ima stopničko velikosti 1 pri vsaki kapljici z izmerjenim nabojem e . Funkcija $N(e)$ naj bi imela veliko strmino pri vrednostih ne_0 . Določi n za vsako kapljico in s tem podatkom izračunaj osnovni nabolj. Določi še povprečno vrednost osnovnega nabolja e_0 .