

## B2\_10 Coulombov zakon

### *Teoretični uvod*

Coulombov zakon opisuje električno silo, ki deluje med nabitimi delci. Pravi, da je električna sila med dvema nabitima delcema premo sorazmerna produktu nabojev obeh delcev in obratno sorazmerna kvadratu razdalje med njima, torej  $F \propto \frac{e_1 e_2}{r^2}$ . Če upoštevamo

sorazmernostno konstanto  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , lahko Coulombov zakon zapišemo v znani obliki

$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e_1 e_2}{r^2}$ . Če sta naboja enakega predznaka, je sila med njima odbojna, različno predznačena naboja pa se privlačita.

Zakon velja tudi za prevodne kroglice. Naboj na površini se porazdeli enakomerno, zato je center porazdelitve naboja v sredini kroglice. Pri majhnih razdaljah  $r$ , pride do prerazporeditve naboja, zato je potrebno upoštevati korekcijski faktor  $B$ . Ta je pri istovrstnih nabojih enak  $B = 1 - 4 \frac{a^3}{r^3}$ , kjer je  $a$  radij kroglice.

Coulombov zakon bomo preverili z občutljivo torzijsko tehtnico (slika 1). Eno prevodno kroglico namestimo na izolirano palico, ki je pritrjena na torzijsko žico. Druga kroglica je nameščena na palici, ki je pritrjena na drsno ročico na montažni plošči. Tehtnica nam omogoča, da spreminjamo in merimo vse spremenljivke, ki nastopajo v Coulombovem zakonu.



Slika 1

## **Naloga**

1. Dokaži, da velja  $F \propto 1/r^2$ . Meri kote zasukov pri določenih razdaljah med kroglicama in nariši graf  $\theta = \theta(r)$ . Razmerje med električno silo in razdaljo med kroglicama določi iz grafa

$$\log\left(\frac{\theta}{\theta_i}\right) = \log\left(\frac{\theta}{\theta_i}\right) \log\left(\frac{r}{r_i}\right), \text{ kjer } i \text{ pomeni } i\text{-to meritev.}$$

2. Dokaži, da velja sorazmernost  $F \propto e_1 e_2$ . Meri kote zasukov pri določenih napetostih in nariši graf  $\theta = \theta(U^2)$ .

3. Določi torzijsko konstanto žice  $k_{tor}$ , vrednost influenčne konstante  $\epsilon_0$  in Coulombovo konstanto  $k$ .

## **Potrebščine**

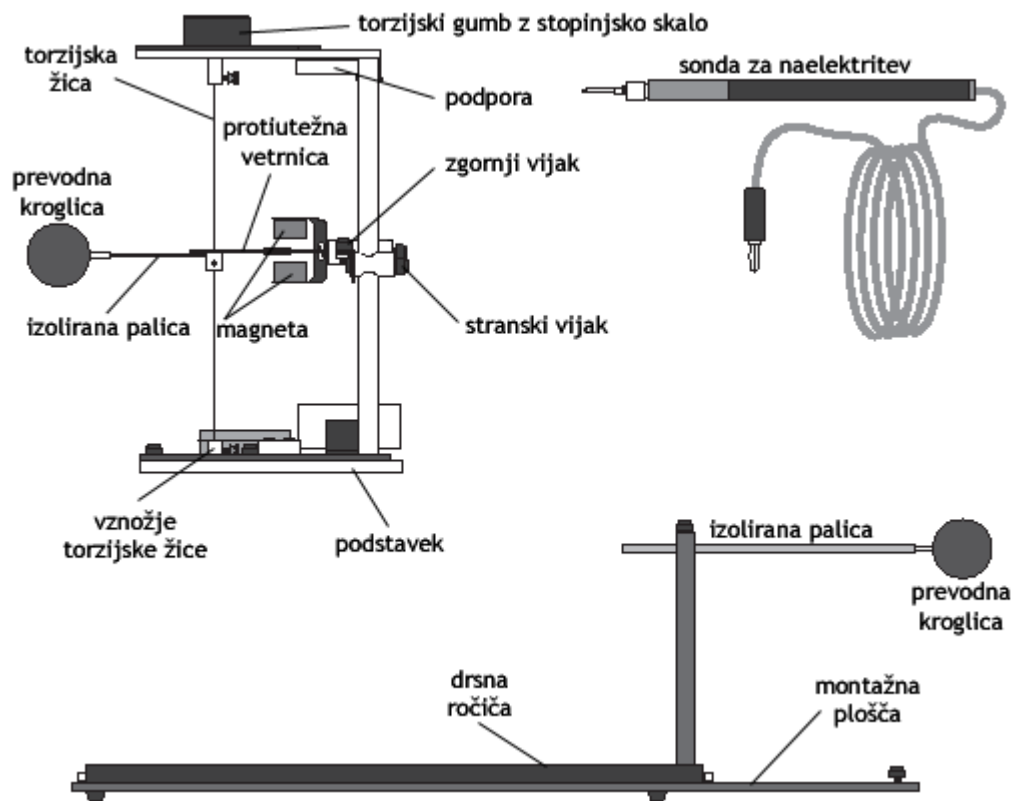
Coulombova tehtnica PASCO ES-9070, sonda za naelektritev, vezne žice, visokonapetostni izvor napetosti.

## **Navodilo**

### **Navodila za delo s statično elektriko**

1. Vaj s statično elektriko ne izvajamo v vlažnem prostoru. Vlaga namreč poveča prevodnost zraka in kroglice se hitro razelektirijo.
2. Podlaga na kateri izvajaš vajo, naj bo iz izolacijskega materiala.
3. Pred vajo počisti prah s Coulombove tehtnice in mize. Sondo očisti s priloženim alkoholom.
4. Vajo opravljaj vsaj pol metra od predmetov, ki bi lahko bili naelektreni.
5. Oblečeno imej kratko majico, ki naj ne bo iz sintetičnega materiala.
6. Uporabi stabilen izvor napetosti, tako da bosta naboja na kroglicah enaka.
7. Pred vsako meritvijo ponovno naelektri kroglici.
8. Sondo za naelektritev drži na koncu ročaja, tako da je roka čimdalje od kroglice.
9. Po naelektritvi izvor vedno izklopi.
10. Meritve izvajaj hitro, da se na kroglicah obdrži čimveč naboja.

## Navodila za nastavitve torzijske tehtnice (slika 2)



Slika 2

1. Nataknj kroglico na izolirano palico.
2. Odvij zgornji vijak tako, da osvobodiš protiutežno vetrnico.
3. Odvij stranski vijak in zavrti ročico, da bo vzporedna s podstavkom in na enaki višini kot vetrnica. Potem vijak zavij.
4. Poravnaj ročico magnetne zavore, da bo vetrnica v sredini med magnetoma.
5. Zavrti torzijski gumb, da bo stopinjska skala na ničli.
6. Zavrti vznožje torzijske žice, dokler ni črtica na vetrnici poravnana s črtico na ročici.
7. Izvleci podporo na vrhu in tehtnico položi v vodoraven položaj. Bakrene obročke na protiutežni vetrnici nastavi tako, da bosta kroglica in vetrnica v ravnotežju, torej v vodoravnem položaju.
8. Tehtnico postavi v navpičen položaj in poveži montažno ploščo s torzijsko tehtnico.
9. Namesti drsno ročico tako, da kaže centimetrska skala  $3,8\text{ cm}$ , kar je ravno premer kroglice.
10. Kroglico na vodoravni podporni palici približaj viseči kroglici, da se ravno dotikata.
11. Pomembno je, da izvedeš omenjene nastavitve pred meritvijo. Vsako spreminjanje med merjenjem bo vplivalo na natančnost meritev.

## Navodila za izvajanje vaje

Najprej na izvoru napetosti poveži minus z ozemljitvijo. Obeh kroglic se dotakni z ozemljeno sondo. Kroglico na plošči premakni na največjo možno razdaljo od viseče kroglice. Napetost na visokonapetostnem izvoru na stavi na  $6kV$ , ter poveži sondo s plusom. Vklopi izvor in se s sondo dotakni obeh kroglic. Nato nemudoma izklopi izvor. Naboj na posamezni kroglici je premo sorazmeren z napetostjo. Premično kroglico postavi na oddaljenost  $20cm$  od viseče kroglice. Električna sila povzroči zasuk viseče kroglice in torzijske žice. Torzijski gumb na tehtnici zavrti v nasprotni smeri tako, da bo viseča kroglica spet v ravnovesnem položaju, oziroma bo črtica na vetrnici poravnana s tisto na ročici. Kot zasuka žice je tako premo sorazmeren električni sili med kroglicama. Zabeleži si razdaljo  $l$  in kot  $\theta$ . Meritve izvedi še pri razdaljah 14, 10, 9, 8, 7, 6 in 5 cm. Vsakič razmakni kroglici na maksimalno razdaljo in ju ponovno naelektri.

Doma izračunaj korekcijski faktor  $B$  za vsako razdaljo  $r$ . Vsak kot zasuka  $\theta$  pomnoži z  $1/B$  in zapiši popravljeni kot  $\theta_p$ , ki mora biti manjši od nepopravljenega. Nariši graf  $\theta_p = \theta_p(r)$ .

Tokrat naj bo razdalja med kroglicama vedno konstantna, spreminjamo pa naboj na kroglicah, ki je sorazmeren z napetostjo, s katero kroglici naelektrimo. Kroglici razmakni na največjo razdaljo. Izvor napetosti nastavi na 7 kV in kroglici naelektri. Nato nastavi kroglici na razdaljo 9 cm in izmeri kot  $\theta$ . Meritve izvedi še pri 6, 5, 4 in 3 kV. Tudi tukaj upoštevaj korekcijski faktor  $B$ . Doma nariši diagram  $\theta = \theta(U^2)$ .

Za torzijsko žico velja, da je sila premo sorazmerna zasuku. Zapišemo lahko zvezo  $F = K_{tor}\theta$ , kjer je  $K_{tor}$  konstanta žice.

Izvelci podporo na vrhu tehtnice in tehtnico položi v vodoraven položaj (tako kot pri točki 7. v navodilih za nastavitve torzijske tehtnice). Pod visečo kroglico namesti podporo cev, ki preprečuje, da bi kroglica sunkovito udarila ob mizo. Vznožje torzijske tehtnice zavrti tako, da bo črtica na vetrnici poravnana s črtico na ročici. Na kroglico daj utež z maso 20 mg in z zasukom torzijskega gumba poravnaj obe črtici. Zapiši maso in zasuk. Meritve izvedi še pri masah 40, 50 in 70 mg. Iz enačbe  $F = K_{tor}\theta$  izračunaj konstanto žice, nato pa še povprečno vrednost konstante.

Sedaj, ko poznamo konstanto vzmeti, lahko iz zveze  $F_p = K_{tor}\theta_p$  iz popravljenih kotov dobljenih pri točki 1. izračunamo popravljeno silo  $F_p$ . Enačbi  $C = 4\pi\epsilon_0 a$  (kapacitivnost prevodne krogle) in  $e = CU$  vstavi v Coulombov zakon in iz njega izrazi influenčno konstanto  $\epsilon_0$ . S podatki, ki si jih dobil pri prejšnjih nalogah, izračunaj influenčno konstanto za vsako meritev posebej. Določi povprečno vrednost in z njo izračunaj Coulombovo konstanto.

Prava torzijska konstanta vzmeti nastopa v izrazu za navor:  $M = D_{tor}\theta$ . Upoštevati moramo še namreč ročico, to je razdaljo od torzijske žičke do središča vrtljive krogle, ki jo naelektrimo. Izmeri to razdaljo  $R$  in izračunaj  $D_{tor}$ . Rezultat dobimo iz enačbe:  $D_{tor} = K_{tor}R$ .

## **Razmisli**

1. Zapiši Coulombov zakon in z besedami pojasni, kaj nam pove.
2. Na kakšne težave naletimo pri preverjanju tega zakona?
3. Kakšne je električna sila med enako in različno predznačenimi naboji?
4. Zakaj moram pri obravnavi prevodnih kroglic upoštevati korekcijski faktor?
5. Zakaj ne bi mogli uporabiti enakega korekcijskega faktorja za nasprotno nabiti kroglici?
6. V katerem letnem času eksperimenti iz elektrostatike najbolj uspejo?
7. Kaj je influenza?
8. Opišite postopek naelektritve z dotikom in z influenco.
9. Opišite postopek meritve pri vaji!
10. Bi bilo boljše ali slabše, če bi pri vaji uporabili žičko z večjim torzijskim koeficientom?
11. Zakaj smo morali izmeriti torzijsko konstanto? Kako smo jo izmerili?
12. Kakšne bi bile težave, če bi pri vaji uporabili neprevodne kroglice?
13. Katere fizikalne konstante, razen  $\epsilon_0$ , poznaš? Zapiši jih, primerjaj njihove velikostne rede in poišči leto njihove določitve. Ali opaziš kakšno povezavo med letnico odkritja in velikostnim redom?
14. Razloži kvantno naravo naboja? Kako bi upravičil zapis  $\frac{de}{dt}$  ?
15. Katere količine v fiziki so po tvojem mnenju še kvantizirane?