



**2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“**

Projekto sutarties numeris: **ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261**

Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalauro rengimui**

---

## **FIZ 211 ELEKTRA IR MAGNETIZMAS**

### **Laboratorinis darbas**

## **TAŠKINIŲ KRŪVIŲ SĄVEIKOS JĖGOS MATAVIMAS IR KULONO DĒSNIO TIKRINIMAS**

### **DARBO TIKSLAS:**

Patikrinti Kulono dėsnių galiojimą.

### **DARBO UŽDUOTYS:**

1. Ištirti dviejų taškinių krūvių Kulono jėgos priklausomybę nuo atstumo  $R$  tarp įelektrintų rutuliukų centrų.
2. Ištirti dviejų taškinių krūvių Kulono jėgos priklausomybę nuo rutuliukų krūvių  $q_1$  ir  $q_2$  didumo.
3. Apskaičiuoti proporcingumo koeficientą  $k$  ir atstumo  $R$  laipsnio rodiklio  $\alpha$  vertę Kulono dėsnyje.

### **TEORIJA**

Įelektrintas kūnas, kurio matmenys labai maži, palyginti su atstumu iki kitų įelektrintų kūnų, su kuriais jis sąveikauja, vadinamas taškiniu krūviu. Elektromagnetines jėgas, kuriomis veikia vienas kitą įelektrinti nejudantys kūnai, vadiname elektrostatinėmis, arba Kulono, jėgomis. Kai sąveikauja įelektrinti rutuliai, kurių paviršiuje arba tūryje krūvis pasiskirstęs tolygiai, sąveika nepriklauso nuo rutulio matmenų, nes jie sąveikauja kaip taškiniai krūviai patalpinti rutulių centruose. Š. Kulonas naudodamas sukamąsias svarstyklas 1785 m. eksperimentiškai nustatė dviejų taškinių krūvių sąveikos dėsnį: du tarpusavyje sąveikaujančius taškinius krūvius veikiančios jėgos yra proporcingos tų krūvių  $q_1$  ir  $q_2$  sandaugai, atvirkščiai proporcingos atstumo tarp jų  $R$  kvadratu ir nukreiptos išilgai tiesės, jungiančios krūvius:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^\alpha} \quad (1)$$

formulėje (1)  $\alpha = 2$  - atstumo  $R$  laipsnio rodiklis,  $k$  proporcingumo koeficientas, kurio vertė priklauso nuo pasirinktos matavimo vienetų sistemos ir aplinkos, kurioje vyksta krūvių sąveika, savybių. SI vienetų sistemoje, išreiškus krūvi kulonais, atstumą tarp krūvių – metrais, o jėgą - niutonais proporcingumo koeficiento vertė  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ . Be to SI sistemoje naudojama ir kita proporcingumo koeficiento  $k$  išraiška:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (2)$$

čia  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$  vadinama elektrine konstanta.

Tačiau įkrautiems rutuliams esant atstumu, kuris nėra didelis palyginus su jų matmenimis, krūvis rutulių paviršiuje dėl tarpusavio sąveikos persiskirsto taip, kad elektrostatinė energija būtų minimali. Tada jų tarpusavio sąveikos negalima nagrinėti kaip dviejų taškinių krūvių sąveikos. Norint gauti tikslesnę jėgos vertę reikia jėgą padalinti iš koeficiento  $B$  :

$$B = 1 - 4 \frac{a^3}{R^3} \quad (3)$$

čia  $a$  – rutulio spindulys,  $R$  – atstumas tarp rutulių centrų.

#### **PRIETAISAI IR METODAS:**

- 1) Kulono sukamosios svarstyklės (1.pav.).
- 2) Kilovoltinės įtampos šaltinis.
- 3) Zondas įkrauti rutuliukams.

Svarstyklių sandara: vienas laidus rutuliukas (1.1.) įtaisytas ant strypo su atsvaru ir pritvirtintas prie stygos (1.2.), kuris vykstant sąveikai tarp rutulių pasisuka, o antrasis rutuliukas (1.3.) įtaisytas prie vertikalaus strypo, kurį galima stumdyti išilgai liniuotės (1.4.), todėl jį galima pastatyti įvairiais atstumais nuo kabančio rutuliuko.

Atliekant eksperimentą, abu rutuliukai įkraunami, o antrasis rutuliukas pastatomas fiksuotu atstumu nuo neįelektrinto kabančio rutuliuko centro. Veikiant elektrostatinėms jėgoms tarp rutuliukų, kabantis rutuliukas nukrypsta nuo pusiausvyros padėties. Tada Kulono sukamųjų svarstyklių skalė (1.5) pasukama taip, kad rutuliukas grįžtų į pusiausvyros padėtį. Pasukimo kampas, kurio reikia, kad rutuliukas grįžtų į pusiausvyros padėtį, yra tiesiog proporcingas elektrostatinei sąveikos jėgai tarp rutuliukų:

$$F = K\theta^* \quad (4)$$

čia  $K$  – konstanta, jos vertė  $1,43 \cdot 10^{-6} \pm 4,45 \cdot 10^{-8} \text{ kg m} / (\text{s}^2 \text{ deg})$ ,  $\theta^*$  - patikslinta kampo vertė:

$$\theta^* = \theta / B \quad (5)$$



2) Jėgos priklausomybės nuo krūvio tyrimas.

- 1) Atitraukite slankiojamą rutuliuką maksimaliu atstumu nuo kabančio rutuliuko. Iškraukite rutuliukus paliesdami juos įžeminimu, patys taip pat palieskite įžeminimą.
- 2) Įjunkite maitinimo šaltinį ir zondų įkraukite rutuliukus (zondą laikykite už rankenos galo)– vieną 6 kV, o kitą 5 kV įtampa. Po įkrovimo, šaltinį tuoj pat išjunkite.
- 3) Pastatykite rutuliukus dėstytojo nurodytu atstumu (tarp 10 ir 7 cm), o viršuje esančią skalę pasukite taip, kad kabančią rutuliuką gražintumėt į pusiausvyros padėtį.
- 4) Užrašykite į 2. lentelę atstumą tarp rutuliukų  $R$ , potencialus  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  ir pasisukimo kampą  $\theta$ . Po matavimo iškraukite rutuliukus.
- 5) Pagal 1-4 punktus pakartokite matavimus dar 2 kartus.
- 6) Pakartokite matavimus pagal 1-5 punktus, kai antro rutuliuko potencialas 4, 3 ir 2 kV.

2.Lentelė

$R$ , m	$\varphi_1$ , kV	$\varphi_2$ , kV	$q_1$ , C	$q_2$ , C	$\theta_1$ , °	$\theta_2$ , °	$\theta_3$ , °	$\bar{\theta}$ , °	$B$	$\theta^*$ , °	$F$ , N

4. Rezultatų apdorojimas ir paklaidos.

- 1) Apskaičiuokite kampo vidutinę vertę  $\bar{\theta}$  pagal (6), koeficientą  $B$  pagal (3) formulę ir patikslintą kampo vertę  $\theta^*$  pagal (5):

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i \quad (6)$$

- 2) Apskaičiuoti jėgą  $F$  pagal (4) formulę.
- 3) Apskaičiuokite rutuliuko krūvį  $q$ :

$$q = C\varphi \quad (7),$$

čia  $C = 4\pi\epsilon_0 a$  - rutuliuko talpa, o  $a$  – rutuliuko spindulys. Rutuliuko skersmuo  $d = 38$  mm.

- 4) Nubraižykites grafikus: jėgos priklausomybės nuo atstumo tarp rutuliukų centrų  $F(R)$  bei jėgos logaritmo priklausomybę nuo atstumo tarp rutuliukų centrų logaritmo  $\log(F)(\log(R))$ .
- 5) Nubraižykites grafiką jėgos priklausomybės nuo antrojo rutuliuko krūvio vertės  $F(q_2)$ .
- 6) Iš Kulono dėsnio išreikškite proporcingumo koeficientą  $k$  ir jį apskaičiuokite.
- 7) Apskaičiuokite proporcingumo koeficiento vidurkį  $\bar{k}$ .
- 8) Apskaičiuokite proporcingumo koeficiento vidutinę kvadratinę paklaidą  $S_{\bar{k}}$  pagal (8) formulę:

$$S_{\bar{k}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (k_i - \bar{k})^2}{N(N-1)}} \quad (8)$$

$N$ - matavimų serijų skaičius. Keičiasi priklausomai nuo to kiek buvo matavimų prie skirtingų  $R$ .

- 9) Apskaičiuokite proporcingumo koeficiento pasikliaujamąjį intervalą  $\Delta k$  (9):

$$\Delta k = S_{\bar{k}} \cdot t_{p,N} \quad (9)$$

čia dydis  $t_{p,N}$  – vadinamas Stjudento koeficientu. Jo vertės, kai pasikliaujamoji tikimybė  $P=0,95$  ir  $P=0,9$  pateiktos 3. lentelėje.

3.Lentelė. Stjudento koeficientų  $t_{p,N}$  vertės.

P	N	2	3	4	5	6	7	8	9
0.9		6.3	2.9	2.4	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9

0.95	12.7	4.3	3.2	2.8	2.6	2.4	2.4	2.3
------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

10) Apskaičiuokite atstumo  $R$  laipsnio rodiklio  $\alpha$  vertę pagal formulę, kuri yra gauta pasinaudojus mažiausių kvadratų metodu:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

čia  $x_i = \log(R_i)$ ,  $y_i = \log(\theta_i^*)$ ,  $\bar{x}$  ir  $\bar{y}$  su brūkšneliu reiškia aritmetinį tų dydžių vidurkį.

11) Apskaičiuokite atstumo  $R$  laipsnio rodiklio  $\alpha$  vidutinę kvadratinę paklaidą  $S_\alpha$  pagal (11):

$$S_\alpha = \frac{S_{\theta^*}}{S_R} \sqrt{\frac{1-r^2}{N-1}} \quad (11)$$

$$\text{čia } S_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad S_{\theta^*} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}, \quad r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(N-1) \cdot S_R \cdot S_{\theta^*}}.$$

12) Apskaičiuokite atstumo  $R$  laipsnio rodiklio  $\alpha$  pasikliaujamąjį intervalą  $\Delta\alpha$  (12):

$$\Delta\alpha = S_\alpha \cdot t_{p, N-2} \quad (12)$$

### KONTROLINIAI KLAUSIMAI:

1. Taškinis krūvis.
2. Kulono dėsnis. Jo vektorinė išraiška.
3. Kulono dėsnio galiojimo sąlygos.
4. Krūvių tarpusavio sąveika.
5. Kulono jėgos didumo priklausomybė nuo atstumo tarp krūvių.
6. Kulono jėgos didumo priklausomybė nuo krūvių didumo.
7. Elektrostatinės indukcijos reiškinys.
8. Potencialo fizikinė prasmė. Ekvipotencialiniai paviršiai.
9. Įelektrintos sferos potencialas.
10. Įelektrinto rutuliuko elektrinė talpa.

### LITERATŪRA:

1. A.Tamašauskas, J. Vosylus. Fizika 2d, Vilnius, 1989m.
2. Halliday Resnick. Fundamentals of physics, Vol2, 1989.
3. B.Martynėnas, J.Kaulakys, J.Jakimavičius. Fizikos pagrindai, Vilnius, 2000.
4. A.Tamašauskas, S.Joneliūnas. Fizikos laboratoriniai darbai, Kaunas, 2002.