

5. Dielektrinės skvarbos tyrimas

Užduotis

1. Ištirti plokščiajame kondensatoriuje sukaupto krūvio priklausomybę nuo atstumo tarp plokštelių, kai įtampa nekeičiama.
2. Rasti elektrinę konstantą ir palyginti su žinoma jos verte.
3. Ištirti ryšį tarp kondensatoriaus krūvio ir įtampos, kai į jį yra įdėtas dielektrikas, ir iš palyginimo su tuo ryšiu be dielektriko rasti santykinę dielektrinę skvarbą.

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Fizikiniai dydžiai, apibūdinantys dielektrikų poliarizaciją.
2. Poliarizacijos tipai.
3. Kondensatorių konstrukcijos ir jų jungimo būdai.

Tyrimo metodika

Kondensatoriaus elektrinę talpą galima apskaičiuoti žinant jo krūvį Q ir įtampą tarp jo elektrodų U :

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (1)$$

Plokščiojo kondensatoriaus, tarp kurio plokštelių yra vakuumas, elektrinė talpa

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \quad (2)$$

kur ϵ_0 - elektrinė konstanta, S - plokštelės plotas, o d - atstumas tarp plokštelių. Dideliu tikslumu šią formulę galima taikyti ir tada, kai tarp plokštelių yra oras.

Sulyginus (1) ir (2) turime tiesinį sąryšį tarp kondensatoriaus krūvio ir įtampos:

$$Q = \frac{\epsilon_0 S}{d} U, \quad (3)$$

o iš to sąryšio gali būti randama elektrinė konstanta

$$\epsilon_0 = \frac{Q d}{U S} \quad (4)$$

Sąryšis tarp U ir Q pasikeičia, kai tarp kondensatoriaus plokštelių įdedamas dielektrikas. Dielektrike nėra laisvųjų krūvininkų, tačiau bet kurio tipo dielektrikas poliarizuojasi elektrostatiniame lauke. Šį reiškinį kiekybiškai nusako elektrinis poliarizuotumas. Jis lygus dielektriko tūrio vieneto dipolinių momentų sumai:

$$\vec{P}_e = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_{ei}. \quad (5)$$

Čia N - molekulių skaičius tūryje V .

Silpname elektriniame lauke izotropinių dielektrikų (išskyrus segnetoelektrikus) poliarizuotumas yra tiesiogiai proporcingas lauko stipriui \vec{E} :

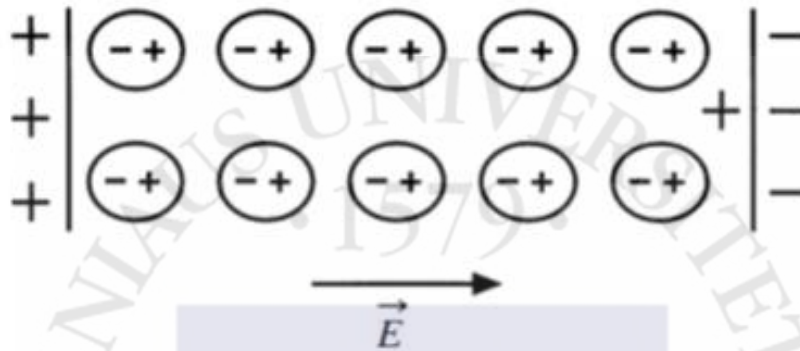
$$\vec{P}_e = \chi \varepsilon_0 \vec{E}. \quad (6)$$

Čia dydis χ yra medžiagos (dielektriko) elektrinis jautris.

Dydis

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} = 1 + \chi \quad (7)$$

yra vadinamas medžiagos santykinė dielektrinė skvarba. Ji parodo, kiek kartų sumažėja elektrostatinio lauko stipris medžiagoje, palyginti su lauko stipriu vakuume, kurio $\varepsilon = 1$ ($\chi = 0$).



1 pav. Surištųjų lėktros krūvių susidarymas prie plokščiojo kondensatoriaus elektrodų dėl poliarizacijos dielektrike.

Kondensatoriaus su dielektriku elektrinė talpa padidėja ε kartų, todėl (3) sąryšį galima perrašyti taip:

$$Q' = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \cdot U, \quad (8)$$

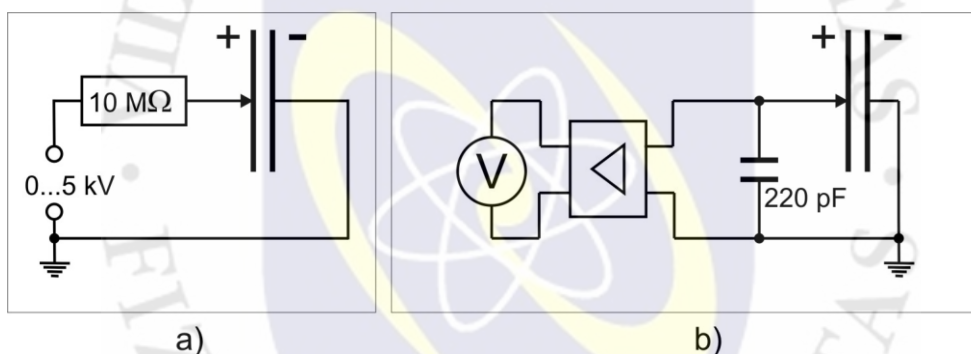
o iš palyginimo su (4) išraiška tų pačių matmenų kondensatoriuje tai pačiai įtampai medžiagos santykinę dielektrinę skvarbą galėtume rasti išmatavę sukauptus krūvius:

$$\varepsilon = \frac{Q'}{Q}. \quad (9)$$

Tyrimo eiga



2 pav. Dielektrinės skvarbos tyrimo laboratoriniai reikmenys.



3 pav. Jungimo schemas: a) kondensatoriaus įkrovimas, b) kondensatoriuje sukaupto krūvio matavimas.

Darbo priemonės ir jų jungimas yra parodyti 2 ir 3 pav. Tiriamas plokščiasis kondensatorius įkraunamas izoliuotą kondensatoriaus plokštelę per apsauginę $10\text{ M}\Omega$ varžą prijungiant prie aukštos įtampos maitinimo šaltinio viršutiniojo gnybto. Vidurinis šaltinio gnybtas ir kita kondensatoriaus plokštelė yra žeminami kartu su matavimo kondensatoriumi, kurio elektrinė talpa $C_m = 220\text{ nF}$ yra žymiai didesnė nei tiriamo kondensatoriaus talpa. Elektrostatiskai indukuotas krūvis plokščiajame kondensatoriuje nustatomas registruojant 220 nF talpos kondensatoriaus išiekrinimo įtampą ir ją padauginant iš talpos. Tai daroma atjungus izoliuotą plokščiojo kondensatoriaus plokštelę nuo aukštos įtampos maitinimo šaltinio kartu su apsaugine varža, o į atjungimo vietą įkišus matavimo įrenginio prijungimo laido kištuką. Matavimo įrenginio nuolatinės įtampos stiprinimas turi būti nustatytas 1, laiko konstanta - 0, o įėjimo varža didelė (*high input*). Matavimo įrenginio išėjimas *Out* sujungtas su nuolatinės įtampos voltmetru, matuojančiu iki 3V įtampą.

Voltmetru išmatuota įtampa U_m yra dviejų lygiagrečiai sujungtų kondensatorių įtampa. Pagal elektros krūvio tvermės dėsnį:

$$Q = CU = (C + C_m)U_m \approx C_m U_m, \quad (10)$$

nes lygiagrečiai sujungtų kondensatorių elektrinė talpa yra lygi jų talpų sumai, o tiriamo kondensatoriaus talpa yra daug mažesnė nei matavimo kondensatoriaus talpa.

Tiriamą kondensatoriaus plokštelės plotą

$$S = \pi \frac{D^2}{4} \quad (11)$$

nustatome išmatavę jo skersmenį D .

1. Elektrinės konstantos nustatymas.

Palaikydami pastovią įtampą $U = 2$ kV atstumą d tarp kondensatoriaus plokštelių keičiame nuo 3mm iki 15mm imtinai, kas 2mm ir matuojame kondensatoriaus krūvį Q . Eksperimento metu reikia būti pakankamai atokiai nuo kondensatoriaus, kad nepakeisti jo elektrinio lauko. Tai ypač aktualu esant dideliame atstumui tarp plokštelių. Nubrėžę krūvio priklausomybės nuo atvirkštinio atstumo tarp plokštelių grafiką, patikriname, ar sąryšis yra tiesinis, ir pagal (4) randame elektrinę konstantą ε_0 . Surastą eksperimentinę jos vertę palyginame su žinyuose pateikiama verte $\varepsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12}$ (F/m).

2. Dielektriko dielektrinės skvarbos radimas.

Matuojame kondensatoriuje sukaupto krūvio priklausomybę nuo sudarytos elektrinės įtampos, kai tarp kondensatoriaus plokštelių nepaliekant oro tarpų yra įdėta 10 mm storio dielektriko plokštelė. Pradžioje nustatoma 0,5 kV įtampa. Matavimas kartojamas įtampą didinant po 0,5 kV iki 4 kV imtinai. Nubrėžiame kondensatoriaus su dielektriku krūvio priklausomybės nuo įtampos grafiką. Į jų sąryšį (8) įrašę plokštelių plotą pagal (11), randame santykinę dielektrinę skvarbą:

$$\varepsilon = \frac{4Q'd}{\pi\varepsilon_0 D^2 U}. \quad (12)$$

Paklaidų įvertinimas

Santykinės dielektrinės skvarbos nustatymo paklaidą pagal (12) lemia kondensatoriaus krūvio, atstumo tarp plokštelių, plokštelės skersmens ir įtampos matavimo paklaidos:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon \sqrt{\left(\frac{\Delta Q'}{Q'}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2}. \quad (13)$$

Literatūra

1. A. Medeišis, „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.