

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
кафедра загальної фізики

Лабораторна робота № 2-5
ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

Протокол
Варіант № _____

Виконав _____

Група _____

Факультет _____

Мета роботи

1. Вивчити основні закони та характеристики електростатичного поля.

2. Ознайомитися з одним із способів вивчення характеристик електростатичних полів, що ґрунтується на математичному моделюванні на прикладі поля з осьовою симетрією.

3. Провести експериментальне дослідження електричного поля осьової симетрії за допомогою електричного зонда.

4. Експериментально виміряти різницю потенціалів між центральним електродом і точками електропровідного паперу, що знаходяться на різних відстанях від нього.

5. За експериментальними даними різниці потенціалів між центральним електродом і точками електропровідного паперу розрахувати напруженість електричного поля.

6. За теоретичними формулами розрахувати різницю потенціалів між центральним електродом і точками електропровідного паперу та розрахувати напруженість електричного поля.

7. За допомогою графічного методу порівняти експериментальні і теоретичні дані отримані в процесі виконання лабораторної роботи.

8. Провести обробку результатів експерименту за допомогою математичної програми, яка приводиться в інструкції до цієї лабораторної роботи.

9.Зробити висновки по роботі.

Теоретичні відомості

Напруженість електричного поля

За сучасними поглядами матеріальним носієм взаємодії нерухомих зарядів є електричне поле. Основною ознакою наявності електричного поля є те, що на будь-який заряд, внесений у це поле, діє сила. Розкриття властивостей поля – одне із найважливіших завдань фізики. Зараз ми розглядатимемо стаціонарні електричні поля, тобто такі поля, що не змінюються з часом і створюються нерухомими електричними зарядами. Такі поля називаються *електростатичними*.

Властивості електричного поля вивчають за допомогою пробного точкового позитивного електричного заряду $q_{пр}$. Пробний заряд мусить бути досить малим, щоб запобігати спотворенню початкового характеру поля. Його присутність не повинна змінити розподіл зарядів, а також не повинна суттєво вплинути на результати вимірювань.

Якщо в поле, що створюється зарядом q , помістити пробний заряд $q_{пр}$, то на нього буде діяти сила Кулона,

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r, \quad (1)$$

де $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ Н}^2 \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$, \vec{e}_r – одиничний вектор, що має напрямок від заряду q_1 до заряду q_2 , якщо

визначається сила, яка діє на заряд q_2 зі сторони заряду q_1 (рис.1) і навпаки,

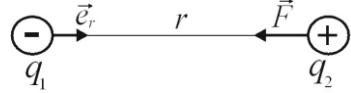


Рис.1.

\vec{e}_r має напрямок від заряду q_2 до заряду q_1 , якщо визначається сила, яка діє на заряд q_1 зі сторони заряду q_2 . Сила Кулона пропорційна величині, $q_{пр}$ тому вона не може бути характеристикою самого поля. Але величина, яка дорівнює відношенню $\vec{F}/q_{пр}$ (питома сила, сила що діє на одиничний позитивний заряд) може бути *силовою характеристикою* поля.

Тому векторна величина

$$\vec{E} = \vec{F}/q_{пр} \quad (2)$$

називається *напруженістю електричного поля*. Враховуючи закон Кулона (1) та відношення (2), отримуємо формулу для напруженості поля точкового заряду q на відстані r :

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \vec{e}_r. \quad (3)$$

Звідси видно, що поле точкового заряду є центрально-симетричним.

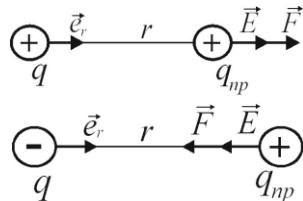


Рис.2.

За напрямок вектора напруженості \vec{E} беруть напрямок сили, з якою поле діє на пробний позитивний заряд, вміщений у певну точку поля (рис.2).

У системі СІ одиниця напруженості електричного поля 1Н/Кл – це напруженість такого поля, яке діє з силою 1Н на точковий заряд 1Кл. Частіше напруженість поля вимірюють у вольтгах на метр (В/м).

Графічне зображення електричних полів

Електричні поля зображують за допомогою *ліній напруженості*, які проводять так, щоб дотичні до цих ліній в кожній точці збіглися з напрямками вектора \vec{E} (рис.3). Лінії напруженості мають початок і кінець або

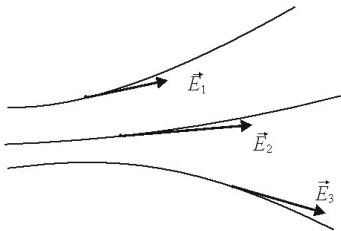


Рис.3.

йдуть у нескінченність чи з нескінченності. Згідно з формулою (6) і рис.4 вони починаються на позитивному заряді і закінчуються на негативному заряді. *Лінії напруженості ніколи не перетинаються*. В іншому випадку в точці перетину силових ліній були б дві різні напруженості електричного поля. Ці лінії проводять з такою густиною,

щоб кількість ліній, які пронизують одиничну площину, перпендикулярну до вектора \vec{E} , чисельно дорівнювала величині вектора \vec{E} електричного поля в місці розміщення площини. На рис.4 приведені приклади графічного зображення електричних полів за допомогою

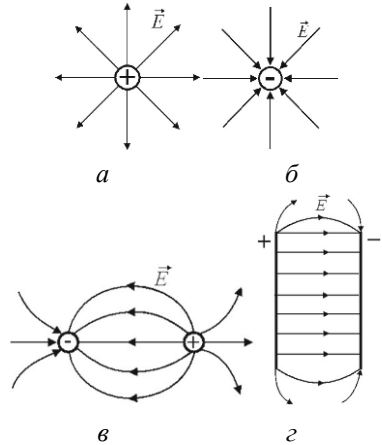


Рис.4.

ліній напруженості для а) і б) – одиночних позитивного і негативного зарядів, в) – системи позитивного і негативного зарядів (диполь), з) – система двох різнойменно заряджених однаковими за величиною зарядами і однакових за розмірами площин (конденсатор). Поле, у всіх точках якого величина і напрямок вектора напруженості незмінні, називається *однорідним*. Воно утворюється між зарядженими площинами, якщо вони паралельні і нескінченно великі (рис.4,з). Однорідне поле зображується паралельними лініями напруженості з однаковою густиною.

Робота сил електростатичного поля. Різниця потенціалів. Потенціал.

Еквіпотенційні поверхні

Робота сил електростатичного поля заряду q при переміщенні пробного заряду $q_{\text{пр}}$ в цьому полі з точки 1, що перебуває на відстані r_1 від заряду q , в точку 2 на відстані r_2 від нього визначається як

$$A_{12} = \frac{qq_{\text{пр}}}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{qq_{\text{пр}}}{4\pi\epsilon_0 r_2}. \quad (4)$$

Із (4) випливає, що робота сил електростатичного поля не залежить від форми шляху переміщення заряду $q_{\text{пр}}$ між точками 1–2, а визначається лише розміщенням початкової 1 (r_1) і кінцевої 2 (r_2) точок. Силі поля, які задовольняють такій умові, називаються потенційними, або консервативними. Отже, електростатичне поле точкового заряду є потенційним. Цей висновок можна поширити на випадок електричних полів будь-якої системи нерухомих точкових зарядів.

Для різних пробних зарядів $q'_{\text{пр}}$, $q''_{\text{пр}}$ і т. д. будуть виконуватись різні роботи (4). Однак, відношення $A_{12}/q_{\text{пр}}$ буде однаковим для всіх пробних зарядів. Величина

$$\varphi_1 - \varphi_2 = A_{12}/q_{\text{пр}} \quad (5)$$

називається різницею потенціалів електростатичного поля між точками 1 і 2. $\varphi_1 - \varphi_2$ однозначно визначається через роботу (4):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2}, \quad (6)$$

$$\text{де } \varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \text{const, а}$$

$$\varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2} + \text{const}$$

називаються потенціалами поля в точках 1 і 2. Потенціал визначається з точністю до константи, тобто

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} + \text{const.} \quad (7)$$

Якщо прийняти, що на нескінченно великій відстані r ($r \rightarrow \infty$) від заряду q потенціал дорівнює нулю, то константа у (7) приймається за нуль і тоді

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (8)$$

Із формули (4) ще можемо записати, що

$$\varphi_1 = A_{1\infty}/q_{\text{пр}},$$

де враховано, що $q_{\text{пр}}$ ми із точки 1 переміщуємо на нескінченність ($r_2 \rightarrow \infty$).

Тому, **потенціал** даної точки електростатичного поля – це така фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі, яку виконують зовнішні сили (проти сил електростатичного поля) при переміщенні одиничного позитивного заряду з нескінченності в дану точку поля.

Одиниця потенціалу – вольт. 1В – це потенціал такої точки поля, в якій заряд величиною 1 Кл має потенційну енергію 1 Дж.

Робота є адитивна величина. Нехай поле створюється системою n точкових зарядів q_1, q_2, \dots, q_n . Робота, яка виконується силами цього поля над зарядом $q_{\text{пр}}$, буде дорівнювати алгебра-

ітній сумі робіт сил, обумовлених кожним зарядом окремо:

$$A_{12} = \sum_{i=1}^n A_i.$$

із якого витікає, що

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{q_{\text{пр}}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (9)$$

Співставляючи формули (9) і (8), приходимо до висновку, що потенціал поля, яке створене системою зарядів, дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів, які створюються кожним із зарядів окремо. В той час як напруженості полів складаються при накладанні полів векторно, потенціали складаються алгебраїчно. Через цю причину розрахунок потенціалів є більш простим, ніж розрахунок напруженостей електричного поля.

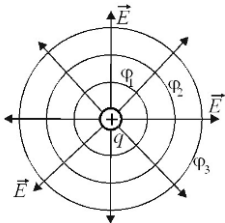


Рис.5.

Геометричне місце точок з однаковим потенціалом називається еквіпотенційною поверхнею. Її рівняння має вигляд:

$$\varphi(x, y, z) = \text{const}.$$

Еквіпотенційні поверхні точкового заряду – це сферичні оболонки навколо нього (рис.5)

($\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$).

При переміщенні $q_{\text{пр}}$ по еквіпотенційній поверхні на елементарний відрізок $d\vec{l}$ потенціал не змінюється, а отже, і робота

$$A_{12} = q_{\text{пр}}(\varphi_1 - \varphi_2) = \int_1^2 \vec{F} d\vec{l} = \int_1^2 q_{\text{пр}} \vec{E} d\vec{l} = 0.$$

Звідси, скалярний добуток $\vec{E} d\vec{l} = 0$. Так як $|\vec{E}| \neq 0$, $|d\vec{l}| \neq 0$, то $\vec{E} d\vec{l} = 0$ за умови, що кут між \vec{E} і $d\vec{l}$ дорівнює $\pi/2$. Це означає, що вектор \vec{E} напруженості електричного поля в кожній точці напрямлений перпендикулярно до еквіпотенційної поверхні.

Зв'язок між напруженістю та потенціалом електростатичного поля

Оскільки напруженість \vec{E} і потенціал φ є різними за фізичним змістом характеристиками тих самих точок електростатичного поля, то між ними повинен існувати взаємозв'язок.

Нехай в електричному полі знаходиться заряд $q_{\text{пр}}$. Робота при переміщенні цього заряду вздовж осі Ox між двома нескінченно близькими точками буде:

$$dA = F_x dx = q_{\text{пр}} E_x dx.$$

З іншого боку, елементарна робота при переміщенні заряду $q_{\text{пр}}$ в електростатичному полі виражається через різницю потенціалів між цими точками:

$$\begin{aligned}
 dA &= q_{\text{пр}}(\varphi_1 - \varphi_2) = \\
 &= -q_{\text{пр}}(\varphi_2 - \varphi_1) = \\
 &= -q_{\text{пр}}(\varphi + d\varphi - \varphi) = \\
 &= -q_{\text{пр}}d\varphi,
 \end{aligned}$$

де $\varphi_1 = \varphi$, а $\varphi_2 = \varphi + d\varphi$.

Тоді, прирівнявши елементарні роботи, отримуємо:

$$E_x dx = -d\varphi, \text{ або } E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}. \quad (10)$$

Знак "-" означає, що під дією сил електричного поля додатній заряд переміщується в бік зменшення потенціалу.

Значок похідної $\frac{\partial\varphi}{\partial x}$ означає, що $\varphi = \varphi(x, y, z)$, але в даному випадку похідна береться тільки по змінній x .

Аналогічно ми знаходимо E_y, E_z – компоненти вектора напруженості \vec{E} . Вираз для \vec{E} можемо записати так:

$$\begin{aligned}
 \vec{E} &= E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} = \\
 &= -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \vec{k}\right).
 \end{aligned}$$

У векторному аналізі градієнтом скалярної величини φ називається така векторна величина, для якої справедливий запис:

$$\text{grad}\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \vec{k}.$$

Цей вектор направлений у бік найшвидшого зростання потенціалу φ .

Отже,

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi. \quad (11)$$

Знак "-" вказує на те, що вектор \vec{E} напруженості поля направлений вбік найшвидшого зменшення потенціалу, тобто до негативного заряду. Напруженість в якій-небудь точці електростатичного поля дорівнює градієнту потенціалу в цій точці поля, взятому з оберненим знаком.

Знаючи потенціал φ в кожній точці поля, за формулою (11) можемо обчислити напруженість в кожній точці поля.

Метод дослідження електростатичного поля

Якщо виділити в полі якийсь напрямок \vec{l} , то проекцію вектора напруженості поля \vec{E} на цей напрямок можна визначити як

$$E_l = -\frac{\partial\varphi}{\partial l}. \quad (12)$$

Ортогональність силових ліній і еквіпотенційних поверхонь (ліній) значно полегшує експериментальне і теоретичне дослідження електричного поля: Знаходячи силові лінії, можна визначити еквіпотенційні лінії (поверхні), і навпаки, за еквіпотенційними лініями (поверхнями) легко побудувати силові лінії. Останній факт має особливо широке застосування в техніці, оскільки при конструюванні електронних ламп, конденсаторів, електронних лінз та інших приладів часто треба знати розподіл електричного поля в просторі.

Для дослідження електричних полів використовують методи моделювання. Вони базуються на теоремі подібності електричних полів, згідно з якою при пропорційній зміні всіх геометричних розмірів електродів характер поля в системі не змінюється: форма і відносне розташування екіпотенційних ліній залишаються такими, як і у вихідній системі. Подібність полів зберігається і при зміні всіх напруг в однакове число раз. Як правило, легше виконати розрахунок потенціалів, ніж напруженостей поля, оскільки перші є величинами скалярними, а другі векторними. Експериментальне вимірювання потенціалів також простіше, ніж вимірювання напруженості поля, так як більшість приладів вимірюють різницю потенціалів, а не напруженість поля. Тому і в даній лабораторній роботі експериментально вивчається розподіл потенціалів в електричному полі, а не напруженості цього поля.

Силкові лінії полів, що вивчаються, будуються вже потім, як ортогональні криві до експериментально знайдених екіпотенційних ліній.

Таким чином, пряме вивчення електричного поля замінюється вивченням його моделі.

Виявляється, що при слабких струмах розподіл потенціалів в середовищі, яким протікає струм, між встановленими в ньому електродами, може бути

тотожним розподілу потенціалів між тими ж електродами, коли між ними є електричне поле в вакуумі або в однорідному діелектрику.

Якщо електроди покласти на електропровідний папір і під'єднати до джерела е.р.с., то між ними потече електричний струм. Слід мати на увазі, що заміна непровідного середовища на провідне може, взагалі кажучи, змінити конфігурацію електричного поля.

Однак, якщо питома електропровідність σ провідного середовища (в наших дослідах електропровідного паперу) буде значно меншою від електропровідності речовини електродів, то в цьому випадку потенціали всіх точок електрода практично однакові і згідно закону Ома лінії струму $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ будуть лініями вектора \vec{E} . Дослідження електростатичного поля \vec{E} можна замінити дослідженням конфігурації поля струмів.

Знаходження розподілу потенціалів в провідному середовищі, по якому протікає струм, порівняно легка експериментальна задача.

В даній роботі як електропровідне середовище використовується спеціальний провідний папір, який розміщується на планшеті, на якому закріплюються електроди 1 і 3 необхідної форми (рис.6). На електроди подається постійна напруга U . Якщо електропровідність

середовища мала, то малий і струм, який протікає через це середовище.

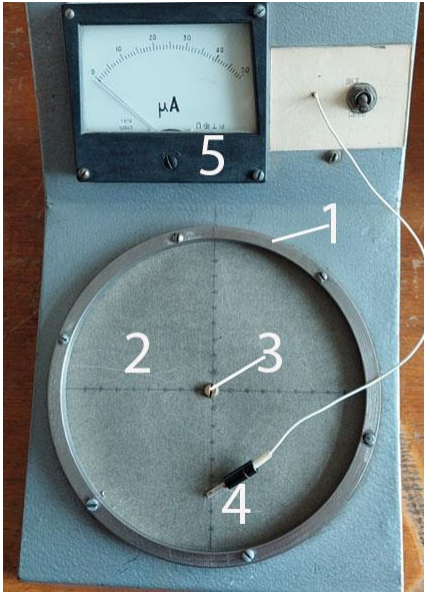


Рис.6 Вид лабораторної установки по дослідженню електричного поля. 1 - зовнішній електрод; 2 – провідний папір; 3 – внутрішній електрод; 4 – зонд; 5 – мікроампер метр.

Для таких вимірювань використовують зонди (електроди), які вводять у поле. Зонд – це добре ізольований вздовж усієї довжини, крім кінця, провідник. Для вимірювання різниці потенціалів між двома точками поля в провідному середовищі потрібно доторкнутися до цих точок зондами, під'єднаними до вольтметра. Таким методом на електропровідному папері можна намалювати лінії однакового потенціалу. Лінії струму на папері ортогональні до ліній однакового потенціалу і відповідають лініям напруженості електростатичного

поля. Поле моделюється за допомогою електропровідного паперу, до якого щільно притиснуті два коаксіальних циліндричних електроди (рис.6). Тобто в даній лабораторній роботі моделюється поле циліндричної симетрії. Таке поле існує в циліндричних конденсаторах. Для такої моделі теоретична формула для напруженості поля на відстані r від осі електрода 3 (рис.6, 7 і 8).

$$E(r) = \frac{U_0}{\ln \frac{r_{\text{зовн}}}{r_{\text{внут}}}} \cdot \frac{1}{r}, \quad (13)$$

де U_0 – напруга між електродами 3 і 1 на рис.6; $r_{\text{зовн}}$ і $r_{\text{внут}}$ – радіуси зовнішнього (1) і внутрішнього (3) електродів (рис.6 і 8). Вивід цієї формули приведений в інструкції до роботи.

Залежність $E(r) \sim \frac{1}{r}$ отримується і із закону Ома. Густина струму на відстані r від осі системи $j(r)$ знаходимо з умови неперервності

$$j(r) = \frac{I}{2\pi r \cdot d} = \sigma E(r),$$

де I – повний струм, що проходить через папір; d – товщина паперу, $2\pi r \cdot d$ – площа перерізу паперу на відстані r від осі електрода 3. Тоді напруженість поля на відстані r

$$E(r) = \frac{I}{2\pi\sigma d} \cdot \frac{1}{r}, \quad (14)$$

де σ – електрична провідність паперу.

Із формули (13) для різниці потенціалів (напруги) між електродом 1 (прийнятим за нульовий потенціал) і точкою на електропровідному папері,

яка знаходиться на відстані r від осі центрального електрода 3 (рис.6 і 7) можемо отримати, врахувавши що $E = -\frac{\partial\phi}{\partial r} = -\frac{\partial U}{\partial r}$:

$$U = \frac{U_0}{\ln \frac{r_{\text{зовн}}}{r_{\text{внут}}}} \cdot \ln \frac{r_{\text{зовн}}}{r}. \quad (15)$$

Опис експериментальної установки

Електрична схема установки для моделювання розподілу потенціалу й напруженості електростатичного поля, що має осьову симетрію, схематично зображена на рис.7, де 1 – зовнішній

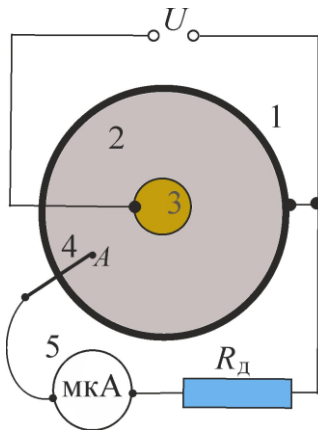


Рис.7.Електрична схема лабораторної установки.

електрод з радіусом $r_{\text{зовніш}}$; 2 – провідний папір; 3 – центральний електрод з радіусом $r_{\text{внутр}}$; 4 – зонд (електрод); 5 – мікроамперметр; $R_{\text{д}}$ – додатковий опір до мікроамперметра. Електрична схема під'єднана до стабілізованого джерела живлення U . Схема дає можливість виконувати вимірювання напруги між

зовнішнім електродом 1 і якою-небудь точкою A провідного середовища 2. Вимірювальним приладом є мікроамперметр, який завдяки великому додатковому опорі $R_{\text{д}} \gg 100\text{кОм}$ працює в режимі вольтметра. Оскільки додатковий опір $R_{\text{д}}$ є великим у порівнянні з опором ділянки електропровідного паперу між точкою A і зовнішнім електродом, під'єднання вимірювального кола не вносить помітних викривлень у силу струму на цій ділянці і отже, у спад напруги $U(r)$ між точкою A і зовнішнім електродом. Якщо знехтувати опором зони контакту між зондом і електропровідним папером, а також внутрішнім опором мікроамперметра порівняно з величиною $R_{\text{д}}$, то струм, що протікає через мікроамперметр:

$$I(r) = \frac{U(r)}{R_{\text{д}}}$$

де r - відстань від осі моделі електрода 3) до точки A . Вимірявши силу струму $I(r)$, що протікає через мікроамперметр, для спаду напруги матимемо:

$$U(r) = U(r) = I(r) \cdot R_{\text{д}} \quad (16)$$

Для точнішого визначення $I(r)$ виміри повторюють кілька разів для точок, що розташовані на різних радіусах, але на однаковій відстані від осі моделі. Після цього знаходимо середнє значення струму:

$$\langle I(r) \rangle = \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^4 I_i(r) \quad (17)$$

Для спаду напруги остаточно матимемо такий вираз:

$$U(r) = I(r) \cdot R_d \quad (18)$$

Описана нами установка дає змогу змінювати r від 1 см (внутрішній електрод) до 8 см (зовнішній електрод) із кроком $\Delta r = 1$ см. Значення R_d вказано в даних до робочої установки. Використовуючи обчислені значення $U(r)$, можна знайти залежність напруженості поля в даній точці електропровідного паперу від відстані r . Для цього використовуємо залежність між $E(r)$ і $U(r)$:

$$E(r) = \frac{\Delta U}{\Delta r} = \frac{U(r) - U(r + \Delta r)}{\Delta r}. \quad (19)$$

В даній роботі спад напруги $U(r)$ вимірюється в точках, що розташовані на відстані $\Delta r = 1$ см одна від одної. За формулою (19) визначаємо напруженість поля, яку будемо відносити до середини відрізка $\Delta r = 1$ см (рис.8).

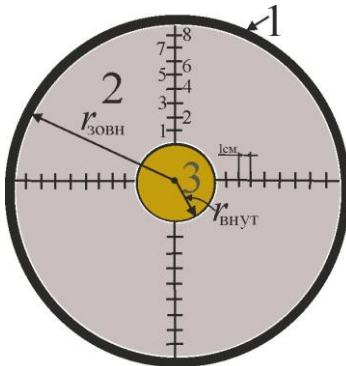


Рис.8.

Щоб точніше визначати напруженість поля необхідно відрізки Δr брати як можна меншими, якщо дозволяють

технічні можливості. Тому напруженість поля будемо визначати за такою формулою

$$E(r + 0,5 \text{ см}) = \frac{U(r) - U(r + 1 \text{ см})}{0,01 \text{ м}} \quad (20)$$

у вольтах на метр (В/м), якщо $U(r)$ подано у вольтах для точок середин відрізків Δr , які будуть знаходитись на відстанях $r_c = 1,5; 2,5; \dots; 7,5$ см від центрального електрода 3 (рис.8).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з установкою. Підготувати установку до роботи. Для цього увімкнути джерело живлення на макеті.

2. Доторкнутися зондом до внутрішнього електрода і записати значення максимального струму I_0 , що протікає через прилад. Очевидно, що максимальна різниця потенціалів між електродами 1 і 2 буде: $U_0 = I_0 \cdot R_d$ (R_d – опір додаткового резистора (рис.7)).

3. Вибрати на електропровідному папері промінь (радіус). Встановлюючи зонд послідовно в точки цього радіуса на відстані 1, 2, 3, ..., 8 см (рис.8) і записати відповідні покази мікроамперметра (5 на рис.6) $I_i(r)$ до другого стовпчика табл.1. Зауваження. Під час вимірювання струму зонд потрібно ставити не на сам промінь, а поряд з ним на електропровідний папір. Зонд має бути притиснутий до паперу, щоб забезпечити добрий контакт. Про наявність контакту можна дізнатися, спостерігаючи за про-

цесом досягнення струмом максимального значення.

4. Повторити вимірювання, описані в п.3 на 2, 3, 4-му променях. Отримані значення $I_1(r)$, $I_2(r)$, $I_3(r)$, $I_4(r)$ занести до табл.1.

5. Виміряти, користуючись лінійкою, радіуси внутрішнього $r_{\text{внут}}$ та зовнішнього з $r_{\text{зовн}}$ електрода. Занести дані до протоколу. Туди ж занести значення R_d , що вказується на установці.

Обробка результатів вимірювань

1. Для кожного значення r (1; 2; 3...8см) визначити середнє значення сили струму за формулою (17) і занести до таблиці 1.

2. Для кожного значення r (1; 2; 3...8см) визначити експериментальне середнє значення спаду напруги $U_{\text{експ}}(r)$ за формулою (18) і занести до таблиці 1.

3. За формулою $I_0 \cdot R_d$ розрахувати U_0 .

4. Для кожного значення r (1; 2; 3...8см) визначити теоретичне середнє значення спаду напруги $U_{\text{теор}}(r)$ за формулою (15) і занести до таблиці 1.

5. Побудувати на одному графіку дві криві $U_{\text{теор}}(r)$ і $U_{\text{експ}}(r)$ залежності отриманих напруг від відстані.

6. Для кожного значення r (1; 2;...8 см) визначити величини $\ln(r_{\text{зовн}}/r)$ результати занести до таблиці 1.

7. Побудувати на одному графіку дві прямі: $U_{\text{теор}}(r) = f(\ln(r_{\text{зовн}}/r))$ і

$U_{\text{експ}}(r) = f(\ln(r_{\text{зовн}}/r))$ залежності отриманих напруг від $\ln(r_{\text{зовн}}/r)$.

8. Визначити кутові коефіцієнти двох прямих: $U_{\text{теор}}(r) = f(\ln(r_{\text{зовн}}/r))$ і $U_{\text{експ}}(r) = f(\ln(r_{\text{зовн}}/r))$ та порівняти їх між собою.

9. Для кожного значення r (1,5; 2,5; ...7,5см) визначити експериментальне середнє значення напруженості поля за формулою (20) і занести до таблиці 2.

10. Для кожного значення r (1,5; 2,5; ...7,5см) визначити теоретичне середнє значення напруженості поля за формулою (13) і занести до таблиці 2.

11. Для кожного значення r (1,5; 2,5;...7,5см) визначити обернену величину $1/r$ та $-\ln(r)$, занести до таблиці 2.

12. Побудувати на одному графіку дві криві $E_{\text{теор}}(r)$ і $E_{\text{експ}}(r)$ залежності отриманих напруженостей від відстані.

13. Побудувати на одному графіку дві прямі $E_{\text{теор}}(1/r)$ і $E_{\text{експ}}(1/r)$ - залежності отриманих напруженостей від $1/r$.

14. Визначити кутові коефіцієнти двох прямих: $E_{\text{теор}}(1/r)$ і $E_{\text{експ}}(1/r)$ та порівняти їх між собою.

15. Побудувати на одному графіку дві прямі: $\ln(E_{\text{теор}}) = f(-\ln(r))$ і $\ln(E_{\text{експ}}) = f(-\ln(r))$ залежності логарифму напруженостей від логарифму відстані.

16. Визначити кутові коефіцієнти двох прямих: $\ln(E_{\text{теор}}) = f(-\ln(r))$ і $\ln(E_{\text{експ}}) = f(-\ln(r))$ та порівняти їх між собою.

17. Експериментальні результати опрацювати за методом найменших

квадратів за схемою, яка приведена в прикладі обробки даних в інструкції до цієї лабораторної роботи.

Контрольні питання

1. Дати визначення: а) електричного поля; б) напруженості електричного поля; в) силової лінії.

2. Що є енергетичною характеристикою електричного поля?

3. Що таке різниця потенціалів?

4. Дати визначення екіпотенціальної лінії (поверхні).

5. Пояснити зв'язок між напруженістю та потенціалом електричного поля.

6. Що таке градієнт потенціалу?

7. Пояснити, чому дослідження електростатичного поля можна замінити дослідженням розподілу потенціалів в провідному середовищі, через яке протікає постійний струм.

8. Пояснити експериментальну схему для дослідження електричного поля за допомогою електричного зонда.

9. Пояснити суть методу електричного зонда для знаходження в електричному полі точок з однаковим потенціалом.

Література

1. Скіцько І.Ф., Скіцько О.І. Фізика (Фізика для інженерів): Підручник /: — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. — 513с. - Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19035>.

2. 1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.2. Електрика і магнетизм—К.:, “Техніка”, 2001. — 452 с.

3. Скіцько І.Ф., Скіцько О.І. Обробка результатів фізичних вимірювань. [Електронний ресурс]: навч. посіб./ КПІ ім. Ігоря Сікорського/: — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. — 88 с. - Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25320>.

Таблица 1

№	r , м	$I_1(r)$, мкА	$I_2(r)$, мкА	$I_3(r)$, мкА	$I_4(r)$, мкА	$\langle I(r) \rangle$, мкА	$U_{\text{эксп}}(r)$, В	$\ln \frac{r_{\text{зобн}}}{r}$	$U_{\text{теор}}(r)$, В
1	0,01								
2	0,02								
3	0,03								
4	0,04								
5	0,05								
6	0,06								
7	0,07								
8	0,08								

Таблиця 2

№	$r, \text{ м}$	$1/r, 1/\text{м}$	$-\ln(r)$	$E_{\text{експ}}(r), \text{ В/м}$	$E_{\text{теор}}(r), \text{ В/м}$	$\ln(E_{\text{експ}})$
1	0,015					
2	0,025					
3	0,035					
4	0,045					
5	0,055					
6	0,065					
7	0,075					

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри загальної фізики

Протокол № 11 від 12.09.2023р.

Протокол до даної лабораторної роботи підготували
доцент І.Ф.Скіцько і старший викладач Н.М.Бруква.