

## Лабораторна робота №2

### ЕЛЕКТРИЧНІ ПОЛЯ В ОДНОРІДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

**МЕТА РОБОТИ:** освоїти методи моделювання електричного поля в суцільних середовищах.

**НЕОБХІДНІ ПРИЛАДИ:** джерело регульованої напруги з нуль-гальванометром, електроди різної форми, зонд, струмопровідний лист.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Поняття поля було введено в фізику в середині XIX ст. і є дуже глибоким та багатограним. Ми ж розглядатимемо лише його зовнішні прояви, які характеризуються значеннями конкретних фізичних величин. Так, якщо в кожній точці простору задано вектор (чи скаляр), то кажуть, що в просторі задано векторне (чи скалярне) поле цієї величини. Наприклад, навколо електричного заряду  $q_1$  існує векторне поле напруженості  $\vec{E}$  та скалярне поле потенціалу  $\varphi$ . Напруженість електричного поля є його силовою характеристикою, а потенціал – енергетичною. Потенціал  $\varphi$  чисельно дорівнює роботі по перенесенню одиничного додатного заряду з нескінченності в дану точку. Розмірність потенціалу – вольт (В). Геометричне місце точок з однаковим потенціалом називають еквіпотенціальною поверхнею. Напруженість  $\vec{E}$  чисельно дорівнює силі  $\vec{F}$ , яка діє на одиничний заряд  $q$ , поміщений в дану точку:

$$\vec{E} = \frac{1}{q} \vec{F}. \quad (1)$$

Розмірність напруженості – В/м. Напруженість  $\vec{E}$  та потенціал  $\varphi$  взаємозв'язані:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi. \quad (2)$$

Оператор ***grad*** переводить скалярне поле у векторне. Градієнт – це вектор, який вказує напрям найшвидшої зміни скалярного поля. Вектор  $\vec{E}$  перпендикулярний до еквіпотенціальних поверхонь і має напрям від точки з вищим потенціалом до точки з нижчим потенціалом.

Якщо електричне поле існує в провідному середовищі, то в останньому виникає струм провідності. Закон Ома (в диференціальній формі) стверджує: густина  $\vec{j}$  струму провідності пропорційна напруженості електричного поля:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}. \quad (3)$$

Тут  $\sigma$  – питома провідність середовища. Таким чином, вивчаючи розподіл густини струму в середовищі, можна знайти розподіл напруженості та навпаки.

Для однорідного середовища часто вдається отримати аналітичні взаємозв'язки між його локальними властивостями та інтегральними характеристиками тіла. Так, опір  $R$  циліндричного (призматичного) зразка між його торцями (рис.1) обчислюють за формулою:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (4)$$

де  $\rho = 1/\sigma$  – питомий опір речовини,  $l$  – довжина, а  $S$  – площа поперечного перерізу зразка.

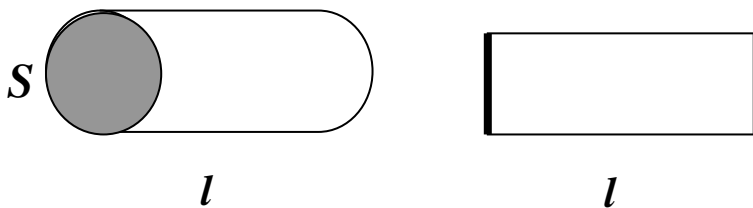


Рис. 1. Циліндричний зразок та його осьовий переріз

Якщо до однорідного циліндричного зразка прикласти напругу  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ , то електричне поле в ньому буде однорідним:

$$E = \frac{U_{AB}}{l}. \quad (5)$$

Напруженість поля не залежить від провідності  $\sigma$  середовища! Однаковою по всьому зразку буде і густина струму  $\vec{j}$ .

Опір  $R$  однорідного середовища між коаксіальними провідниками з радіусами  $r_A$  та  $r_B$  і довжиною  $l$  (рис.2) буде:

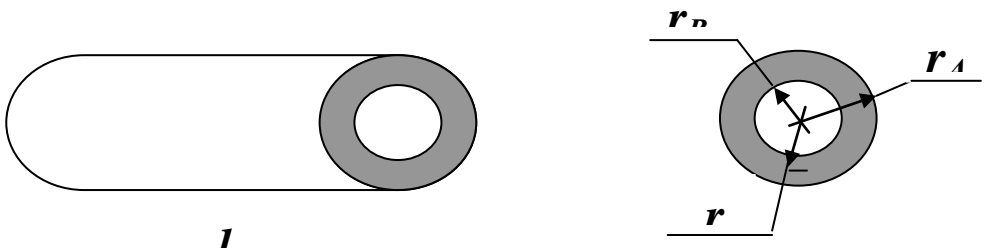


Рис. 2. Середовище між коаксіальними провідниками та його перетин

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{r_A}{r_B}. \quad (6)$$

Напруженість  $E$  електричного поля між коаксіальними провідниками зменшується зі збільшенням відстані  $r$  від осі симетрії:

$$E = U_{AB} / \left( r \ln \frac{r_A}{r_B} \right) \quad (7)$$

Важливо відмітити, що розподіл напруженості  $E$  зовсім не залежить від питомої провідності середовища (буде таким навіть для ізоляторів).

У багатьох практичних випадках виконати розрахунок поля аналітичними методами не вдається. Тоді звертаються до моделювання реального поля за допомогою наповненої електролітом ванни. Поміщаючи в кожен конкретну точку ванни пробний електрод (зонд), знімають просторову картину розподілу потенціалу  $\varphi$ . У разі потреби за формулою (2) визначають поле вектора  $\vec{E}$ .

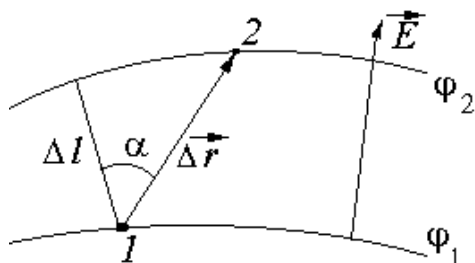


Рис. 3

Коли електроди закривають доступ до частини простору, користуються методом перетинів. Останній дозволяє відмовитись від об'ємних електродів, а замість ванни користуватись тонким шаром (листом) однорідної провідної речовини. Тоді в кожній конкретній точці поверхні, перпендикулярній до осі симетрії, достатньо забезпечити лише форму перетину електродів. Еквіпотенціальні поверхні в перетинах є лініями однакового потенціалу.

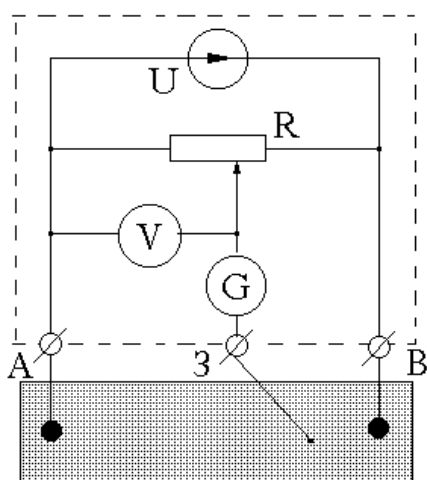


Рис.4

Робота переміщення заряду  $q$  між двома точками 1 та 2 буде:

$$q\Delta\varphi = q|\vec{E}| \cdot |\Delta\vec{r}| \cos\alpha = qE\Delta l. \quad (8)$$

Тут  $\Delta\varphi$  – різниця потенціалів між сусідніми лініями однакового потенціалу, а  $\Delta l$  – найкоротша відстань між еквіпотенціальними поверхнями в даному околі простору, як наведено на рис.3. З (8) отримуємо робочу формулу для обчислення напруженості електричного поля:

$$E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta l}. \quad (9)$$

Схема лабораторного устаткування наведена на рис.4. Крім джерела регульованої напруги з вольтметром вона містить ґальванометр **G**, електроди **A** та **B**, зонд **З** та лист струмопровідної речовини. Робота виконується послідовно для двох видів електродів: паралельних та коаксіальних. Хід роботи однаковий для кожного виду електродів. Для побудови ліній однакового потенціалу в лабораторній роботі використовують компенсаційний метод. Під'єднуючи один з полюсів джерела регульованої напруги до електрода **A**, за допомогою зонда **З** знаходимо та відмічаємо ті точки струмопровідного листа, в яких через ґальванометр **G** не протікає струм. Усі вони матимуть потенціал  $\varphi$ , який відрізняється від потенціалу  $\varphi_A$  на напругу  $U$  (її показує вольтметр).

Кожен студент збирає лабораторне устаткування індивідуально. На ізолюючу основу спочатку кладуть лист чистого паперу, зверху нього копіюючий папір (тонером донизу), потім струмопровідний папір, а тоді закріплюють електроди **A** та **B**. Після цього електроди під'єднують до джерела живлення.

## ХІД РОБОТИ

1. Зібрати лабораторне устаткування відповідно до мал.4. Поміряти та записати лінійні розміри  $l$ ,  $r_A$ ,  $r_B$  і напругу  $U_{AB}$ . Для визначення  $U_{AB}$  потенціометр виставляють у положення, при якому вольтметр показує максимальну напругу.
2. Виставити на вольтметрі напругу  $U$  і за допомогою зонда на струмопровідному листі відмітити лінії однакового потенціалу (при цьому струм ґальванометра дорівнює нулю).
3. Змінити напругу  $U$  і повторити пункт 2.
4. Навести 5-7 еквіпотенціальних ліній.
5. Згідно з формулою (9) обчислити напруженість електричного поля в заданих викладачем точках і побудувати лінії напруженості поля.
6. Порівняти отримані дані з теоретичними, що визначаються згідно з формулами (5) та (7).
7. Для коаксіальних електродів побудувати графіки ходу теоретичного та експериментального значення напруженості поля від радіуса  $r$ .

$$l = \quad ; r_A = \quad ; r_B = \quad ; U_{AB} = \quad .$$

Табл.1 Коаксіальні електроди

$U$								
$r$								
$E$ експеримент								
$E$ теорія								

Табл.2 Паралельні електроди

$U$								
$r$								
$E$ експеримент								

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати означення напруженості та потенціалу електричного поля. Вказати одиниці їх вимірювання.
2. Записати формулу для роботи по переміщенню заряду в електричному полі.
3. Що називають екіпотенціальною поверхнею?
4. Записати формулу опору циліндричного зразка та опору середовища між коаксіальними провідниками.
5. Вказати зв'язок між напруженістю  $E$  та потенціалом  $\varphi$ .
6. Записати закон Ома в диференціальній формі.
7. Описати метод моделювання електричного поля за допомогою електролітичної ванни.
8. У яких випадках можна користуватись методом перетинів?

### ЛІТЕРАТУРА

1. Яворський Б.М. та інші. Курс фізики. – К.: Наукова думка, 1977, т.1.
2. Сивухин Д.В. Общий курс фізики. – М.: Наука, 1977, т.2.
3. Похибки вимірювань у лабораторних роботах із фізики та способи їх кількісної оцінки. – Луцьк: 1990.
4. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з розділу “Електрика”. – Луцьк: ЛДТУ, 2000.