Лабораторна робота 3.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

1 МЕТА РОБОТИ

Побудувати якісну картину електростатичного поля за допомогою силових ліній та еквіпотенціальних поверхонь.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Електромагнітне поле – особливий вид матерії, яка є носієм одного з фундаментальних типів взаємодії – електромагнітної. Наявність такого особливого виду матерії підтверджується усіма відомими експериментами і є прямим наслідком основного положення спеціальної теорії відносності про скінченність швидкості передачі взаємодії. Електромагнітна взаємодія виникає між частинками зі специфічною властивістю, яку назвали електричним зарядом. Виникнення або зникнення електромагнітного поля пов'язано з електричними зарядами, але існувати це поле може і самостійно. Тому некоректно говорити про первинність електричного заряду або електромагнітного поля.

Електричний заряд – властивість, яка визначає здатність тіл до електромагнітної взаємодії. Одночасно під цим поняттям розуміють кількісну характеристику інтенсивності електромагнітної взаємодії: чим більші електричні заряди – тим з більшою силою взаємодіють тіла, що їх містять.

Єдине електромагнітне поле складається з ***електричної*** та ***магнітної*** компонент, але в ряді випадків з міркувань простоти сприйняття говорять про магнітне та електричне поля окремо. **Електричне поле** – особливий вид матерії, що завжди існує навколо електричних зарядів як рухомих, так і нерухомих, та передає дію одних зарядів на інші. Електричне поле також породжується змінним магнітним полем. Для систем відліку, в яких заряди не рухаються, електричне поле не змінюється в часі, і тому його ще називають **електростатичним**.

Вводять дві характеристики електричного поля:

1) **Напруженість** $\vec{E}$ електричного поля є векторною, силовою характеристикою поля і визначається силою, яка діє на одиничний позитивний точковий заряд в даній точці поля, тобто визначається відношенням сили $\vec{F}$, що діє збоку поля на точковий заряд q до величини цього заряду

$$\vec{E} = \vec{F}/q\,. \qquad (1)$$

Напруженість електричного поля в системі СІ вимірюється у вольтах поділених на метр: $[E]$ = Н/Кл = В/м.

2) **Потенціал** електричного поля – величина, яка чисельно дорівнює потенціальній енергії одиничного точкового позитивного заряду, тобто визначається відношенням потенціальної енергії точкового заряду q в полі до величини цього заряду:

$$\varphi = W/q\,. \qquad (2)$$

φ являє собою енергетичну характеристику поля і в системі СІ вимірюється у вольтах $[\varphi]$ = Дж/Кл = В.

Даний вибір характеристик зумовлений тим, що саме поле передає взаємодію зарядів. Відповідно, його кількісні характеристики повинні визначати характер руху внесеного заряду.

Оскільки обидві фізичні величини φ та $\vec{E}$ характеризують одне й теж саме поле, між ними існує зв'язок, який у декартовій системі координат записується так

$$\vec{E} = -grad\varphi = -\nabla\varphi = -\vec{e}_x\frac{\partial\varphi}{\partial x} - \vec{e}_y\frac{\partial\varphi}{\partial y} - \vec{e}_z\frac{\partial\varphi}{\partial z}, \qquad (3)$$

де $\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$ – орти декатових координат.

У випадку полів, близьких до однорідних, вираз (3) спрощується і набуває вигляду

$$\vec{E} \approx -\vec{e}_x\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} - \vec{e}_y\frac{\Delta\varphi}{\Delta y} - \vec{e}_z\frac{\Delta\varphi}{\Delta z}. \qquad (4)$$

Будь-яке електричне поле має свою просторову конфігурацію, скласти уявлення про яку можна за допомогою так званих силових ліній та еквіпотенціальних поверхонь поля. **Силовою лінією** називається умовна лінія в просторі, дотична до якої в будь якій точці поля співпадає з вектором його напруженості. Кількість силових ліній, що припадає на одиницю площини, пропорційна до модуля вектора напруженості. Умовились, що силові лінії починаються на позитивних зарядах або на нескінченності, та закінчуються на негативних зарядах або на нескінченності. **Еквіпотенціальною поверхнею** називається геометричне місце точок поля з однаковим потенціалом. З огляду на вираз (3), взаємне розміщення силових ліній та еквіпотенціальних поверхонь таке, що дотична до силової лінії, побудована в точці перетину з еквіпотенціальною поверхнею, співпадає з нормаллю до останньої. Приклад зображення полів з використанням силових ліній та еквіпотенціальних поверхонь наведений на рисунку 1.

Розрахувати положення силових ліній та еквіпотенціальних поверхонь вдається лише для низки простих випадків (наприклад, для точкових зарядів, зарядженої кулі, зарядженої нескінченної площини). У випадку ж поля, що створюється зарядженими тілами довільної форми, його картина може бути обчислена методами комп'ютерного моделювання, або побудована експериментально.

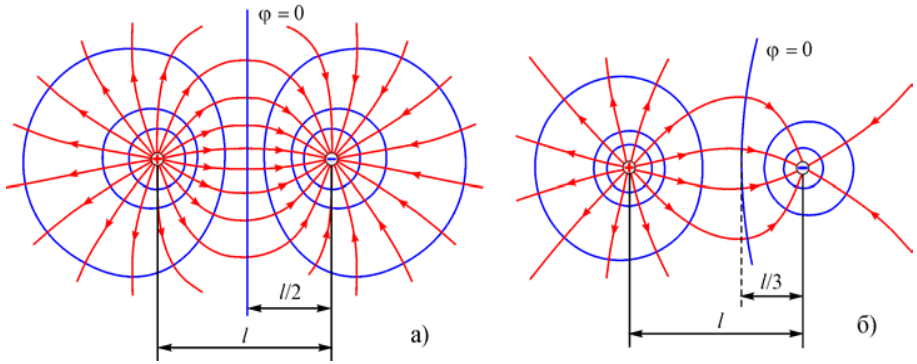

Рисунок 1 – Наочна картина поля для а) електричного диполя, б) системи точкових зарядів $+2q$ та $-q$. Замкнені криві – перетини еквіпотенціальних поверхонь; криві, що починаються та закінчуються на зарядах – силові лінії.

3 КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ

1 Прямокутна ванна з рідиною.
2 Електроди різної форми.
3 Зонд.
4 Вольтметр.
5 Блок живлення.

4 ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експериментально найбільш зручно досліджувати розподіл потенціалу в просторі між зарядженими електродами. Для цього використовується установка, зображена на рисунку 2. Металеві електроди (2) закріплені на протилежних кінцях ванни (1) з провідною рідиною. До електродів прикладена різниця потенціалів від джерела живлення (7). Якщо провідність рідини мала, то на-

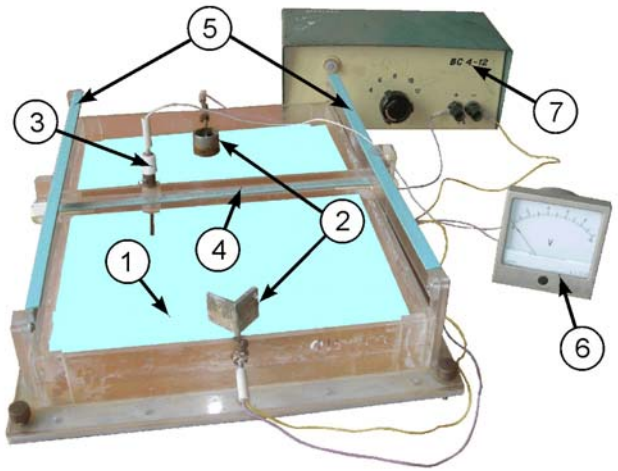

Рисунок 2 – Лабораторна установка. 1 – прямокутна ванна з рідиною; 2 – електроди; 3 – зонд; 4 – каретка з горизонтальною лінійкою; 5 – вертикальна лінійка з направляючими рейками; 6 – вольтметр; 7 – блок живлення.

явний в системі струм не буде істотно впливати на картину розподілу поля. Вольтметр (6) приєднаний до одного з електродів, та до зонду (3), який за допомогою каретки (4) та направляючих рейок (5) може позиціонуватися в будь-якій точці ванни. Рідина при цьому забезпечує замикання ланцюгу вольтметра, що необхідно для визначення різниці потенціалів між електродом та точкою розміщення зонду. Оскільки потенціал електроду завжди фіксований, то можна вважати, що вольтметр показує безпосередньо потенціал вибраної точки.

5 ХІД РОБОТИ

6 Уважно ознайомтесь з установкою та попередніми розділами методичних вказівок.

7 Візьміть подвоєний аркуш паперу в клітинку (або аркуш міліметрового паперу формату А4) та виконайте розмітку на ньому відповідно до форми і розмірів ванни у масштабі 1:1. Зобразіть електроди згідно їх розміщення в установці.

8 Розмістіть каретку із зондом біля одного з електродів та зафіксуйте показання вольтметру φ_1. Зробіть відмітку на папері, що відповідає поточному положенню зонду. Відповідні координати занесіть до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати досліджень.

φ_1, В	x, мм								
	y, мм								
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
φ_7, В	x, мм								
	y, мм								

9 Позиціюванням зонда знайдіть ще сім точок з таким самим потенціалом навколо електроду та зробіть відповідні помітки на папері та в таблиці 1. При цьому слід пам'ятати, що точки повинні утворювати криву, яка за формою поблизу електрода приблизно повторює його форму.

Знайдена крива репрезентує еквіпотенціальну поверхню, яка у двовимірному випадку вироджуються в лінію. В подальшому можна говорити про еквіпотенціальні лінії.

10 Перемістіть каретку із зондом впритул до другого електроду та повторіть вищезазначену процедуру для одержання наступної поверхні з потенціалом φ_7. Занесіть дані в останні рядки таблиці 1.

11 Шляхом переміщення зонду до протилежного електроду з кроком $\Delta\varphi = (\varphi_7 - \varphi_1)/6$, знайдіть решту потенціальних поверхонь. Одержані поверхні мають охоплювати якомога більший інтервал горизонтальних координат. При цьому слід враховувати симетрію електричного поля, що досліджується.

12 За картиною еквіпотенціальних поверхонь побудуйте систему силових ліній досліджуваного електричного поля з урахуванням, що дотичні до силових ліній перпендикулярні дотичним до еквіпотенціальних поверхонь в точках перетину.

13 Покажіть результати вимірювань викладачу та одержіть у викладача координати точок, в яких необхідно визначити напруженість поля.

14 Визначить напруженість поля в заданих точках користуючись рисунка 3 та співвідношенням

$$\vec{E} = -\nabla_l \varphi \approx -\vec{e}_l \frac{\Delta\varphi}{\Delta l} = -\vec{e}_l \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta l}, \qquad (5)$$

де Δl – відстань між двома еквіпотенціальними поверхнями, виміряна як показано на рисунку 3.

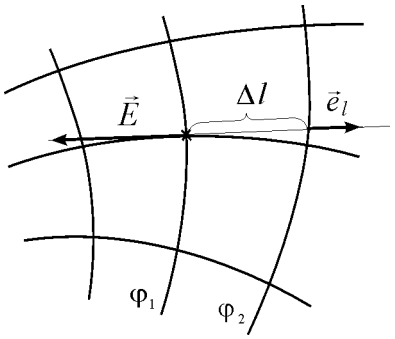

Рисунок 3 – До визначення напруженості поля.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “*задовільно*”

1 Що називається електричним зарядом?
2 Дайте означення поняттю “електричне поле”.
3 Дайте означення напруженості та потенціалу електричного поля.
4 Що таке силові лінії та еквіпотенціальні поверхні?
5 Викладіть послідовність виконання експерименту.

На оцінку “*добре*”

6 Сформулюйте принцип суперпозиції полів. Наведіть приклад.
7 Як еквіпотенціальні поверхні розміщені відносно силових ліній? Чому саме так?
8 Виведіть зв’язок між напруженістю та потенціалом у загальному випадку.
9 Сформулюйте електростатичну теорему Гауса в інтегральній та диференціальній формах.
10 Поясніть особливість дії електричного поля на провідники та діелектрики.

На оцінку “*відмінно*”

11 Чому дорівнюють ротор та дивергенція електростатичного поля?
12 Знайдіть зв’язок між інтегральною та диференціальною формами запису теореми Гауса.
13 Визначте напруженість поля зарядженої нескінченної площини за допомогою теореми Гауса.
14 Визначте напруженість поля зарядженої нескінченної тонкої нитки за допомогою теореми Гауса.
15 Визначте напруженість поля зарядженої кулі за допомогою теореми Гауса. Радіус кулі – R, заряд q.

7 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Савельев И.В. Курс общей физики. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.
2 Савельев И.В. Курс физики. Том 2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика.
3 Трофимова Т.И. Курс физики.
4 Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 3. Электричество.
5 Калашников С.Г. Электричество.
6 Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма.
7 Ландсберг Г.С. Элементарный учебник по физике. Том 2. Электричество и магнетизм.
8 Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики. Том 2. Электричество и магнетизм.