

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

Лабораторна робота с фізики №2

**ЕЛЕКТРИЧНІ ПОЛЯ ТА ПОТЕНЦІАЛИ ЗАРЯДЖЕНИХ ТІЛ МЕТОД
ЗОБРАЖЕНЬ**

Виконав:
студент групи ФІ-12
Завалій Олександр

Київ-2022

РОЗДІЛ ПЕРШИЙ

ТЕОРЕТИЧНА ДОВІДКА

Ключові поняття: Електричне поле, електричний заряд, напруженість поля, електростатичний потенціал, потік вектора напруженості поля, електрична індукція, поверхнева густина заряду, поляризація, діелектрична стала, теорема Гауса, метод електричних зображень.

Мета роботи

Встановити залежність електричного потенціалу зарядженої кулі від відстані від центру кулі та напруженість поля, яке виникає при цьому.

Теоретичне підґрунтя

З закону Кулона, поле точкового електричного заряду q задається виразом:

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \quad (1)$$

В деяких випадках для розрахунку електричного поля довільної конфігурації зарядів можна скористатись теоремою Гауса в диференціальному вигляді:

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2)$$

Для розрахунку електричного поля, що утворюється довільною системою зарядів теореми Гауса недостатньо. Це видно з того, що співвідношення (2) скалярне, а \vec{E} векторна величина.

Можна показати, що електричне поле є потенційне поле, тобто робота по переміщенню точкового заряду з точки 1 в точку 2 в електростатичному полі не залежить від форми шляху переходу. Корисно ввести поняття різниці потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$ як роботи по переміщенню одиниці заряду в електричному полі:

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (3)$$

Користуючись цим визначенням, а також визначенням напруженості електричного поля легко встановити зв'язок між потенціалом та електричним полем:

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi \quad (4)$$

Якщо відомий потенціал $\varphi(x, y, z)$, то напруженість електричного поля можна розрахувати, диференціюючи потенціал по координатах, і навпаки – знаючи напруженість поля можна, інтегруючи, визначити електростатичний потенціал. Якщо проінтегрувати (4), можна отримати потенціал, що утворюється точковим зарядом:

$$\varphi = -\frac{q}{r} + C \quad (4.a)$$

Як правило вважають, що на безкінечності потенціал дорівнює нулю. Отже $C = 0$. Аналогічним чином можна знайти розподіл потенціалу між двома паралельними пластинами:

$$\varphi = |\vec{E}| \cdot x + \varphi_0 \quad (4.b)$$

де φ_0 потенціал на пластині, $x = 0$.

Підставляючи (4) в (2), після нескладних перетворень отримуємо для однорідного діелектрика рівняння Пуассона:

$$\Delta\varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (5)$$

де Δ – оператор Лапласа. Рівняння (5) є математичним виразом головної задачі математичної електростатики, яка дозволяє по відомому розподілу вільних зарядів однозначно встановити електростатичний потенціал і навпаки.

Одним з методів розрахунку електростатичних потенціалів та полів є метод електричних зображень. Метод дозволяє розраховувати електростатичне поле зарядів розташованих по один бік провідникової поверхні і базується на тому факті, що електричне поле зарядів, обмежених замкнутою провідниковою поверхнею, зовні поверхні дорівнює нулю. Також, зовнішні заряди не утворюють всередині провідникової області електричного поля. Якщо простір заповнений зарядами розділити еквіпотенційною провідниковою площиною, то поле в кожному з напівпросторів стануть незалежними одне від одного, оскільки поле в кожному з напівпросторів цілком обумовлюється тими зарядами, що в ньому знаходяться, а також потенціалом поверхні.

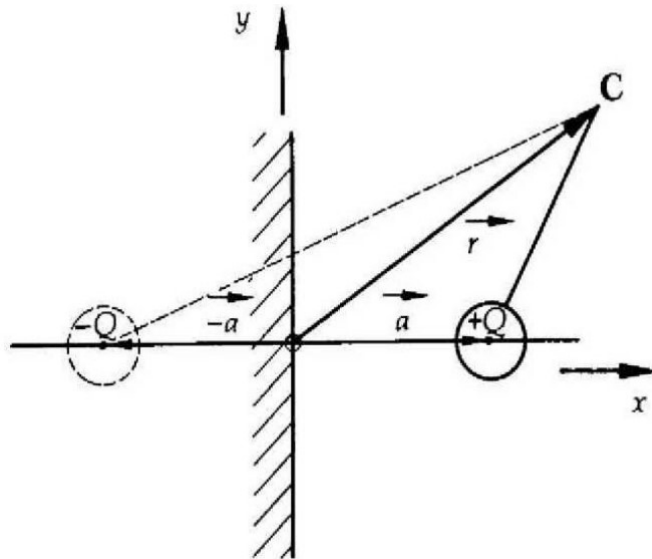


Рис. 1: Схема методу електричних зображень.

Розглянемо заряд q , що розташований на відстані a від металевої поверхні під потенціалом землі (Рис. 1). Необхідно знайти поле в цьому напівпросторі. Це поле векторно складається з полів заряду q та заряду, який індуковано на металевій поверхні. Однак поле індукованих зарядів еквівалентне полю уявного від'ємного заряду, який розташовано за поверхнею на відстані a . Дійсно, згідно з (Рис. 1) в довільній точці C електричний потенціал, що обумовлюється зарядом q та його уявним зображенням задається виразом:

$$\varphi = q \left(\frac{1}{|\vec{r} - \vec{a}|} - \frac{1}{|\vec{r} + \vec{a}|} \right) \quad (6)$$

Згідно з (6) потенціал на поверхні дорівнює нулю і, таким чином, вираз (6) описує електричне поле в напівпросторі праворуч від металевої поверхні.

РОЗДІЛ ДРУГИЙ

Теоретичні основи експерименту

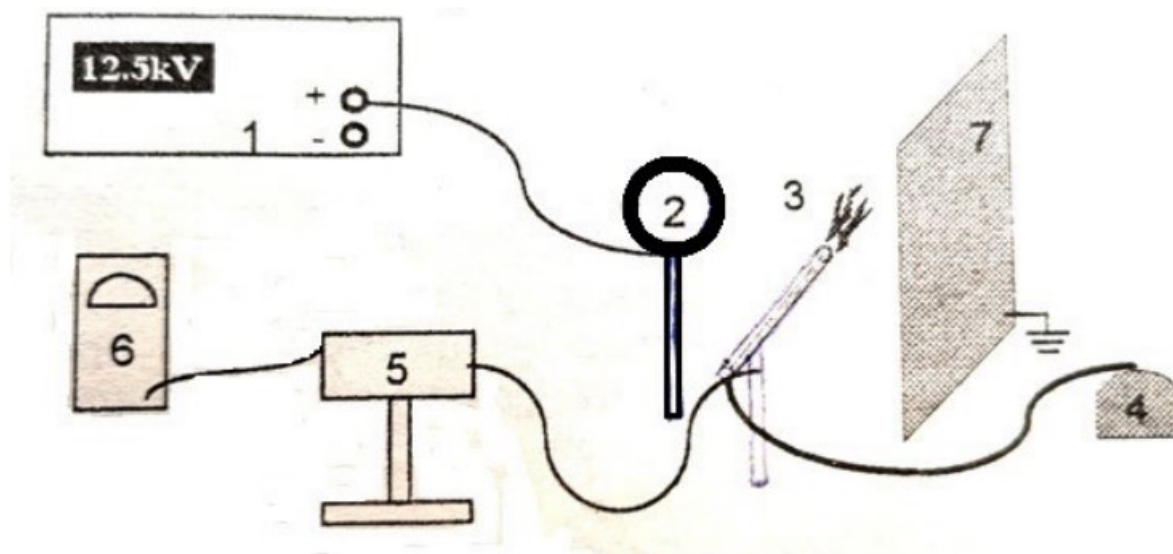


Рис. 2: Схема дослідження потенціалів заряджених тіл та електростатичних полів.

Високовольтне джерело напруги генерує напругу в межах 0 – 15 кВ, що встановлюється ступенями через 2.5 кВ. Максимальний струм короткого замикання (0.5 мА) та обмежена вихідна потужність (150 мДж) забезпечують безпечну роботу з джерелом напруги згідно з міжнародними вимогами VDE0411.

Принцип дії вимірювача електричного поля такий. Електростатичне поле, що має бути виміряне, наводить індуктивні поверхневі заряди на двох електродах в вигляді зірки ізольованих один від одного і розташованих один проти одного. Поверхнева густина заряду прямо пропорційна інтенсивності електричного поля. Коліщатко в вигляді зірки, безперервно обертається перед одним з електродів і екранує його від поля, що вимірюється. Таким чином, генерується змінний струм індукованих зарядів який надалі підсилюється, спрямовується і вимірюється зовнішнім приладом. Електрометр може працювати в режимі виміру електричного поля та електричного потенціалу. Межа вимірюваного сигналу встановлюється за допомогою кнопок на верхній панелі. Подача газу з балону регулюється за допомогою ручки на редукторі.

Хід експерименту

1. Зберіть схему експерименту по вивченню електростатичних полів згідно з (Рис. 2). Після перевірки схеми викладачем увімкніть прилади. Протестуйте електрометр згідно з інструкцією по експлуатації. Встановіть напругу високовольтного джерела в межах 3 – 5 кВ.
2. Встановіть в якості об'єкту, що досліджується, кульку. Відрегулюйте довжину полум'я зонда (зробіть його якомога менше).
3. За допомогою координатної сітки зареєструйте ті положення кінчика зонду, які відповідають еквіпотенційним лініям. Для цього пересовуйте зонд в горизонтальній площині так, щоб значення поля залишалось незмінним. Всього бажано зафіксувати положення 10 – 12 еквіпотенційних ліній по 10 – 12 точок на кожному.
4. Виміряйте розподіл потенціалу.

Завдання

1. За результатами п.3 зобразіть на площині (X, Y) лінії рівного потенціалу, що утворює заряджена куля.
2. За результатами п.3 побудуйте в графік залежності потенціалу електричного поля, що утворюється зарядженою кулею від відстані до центру кулі. Чому має дорівнювати тангенс кута нахилу цього графіку? Перевірте формулу (4.а).
3. Зробіть висновки.

РОЗДІЛ ТРЕТІЙ

Експериментальні дані

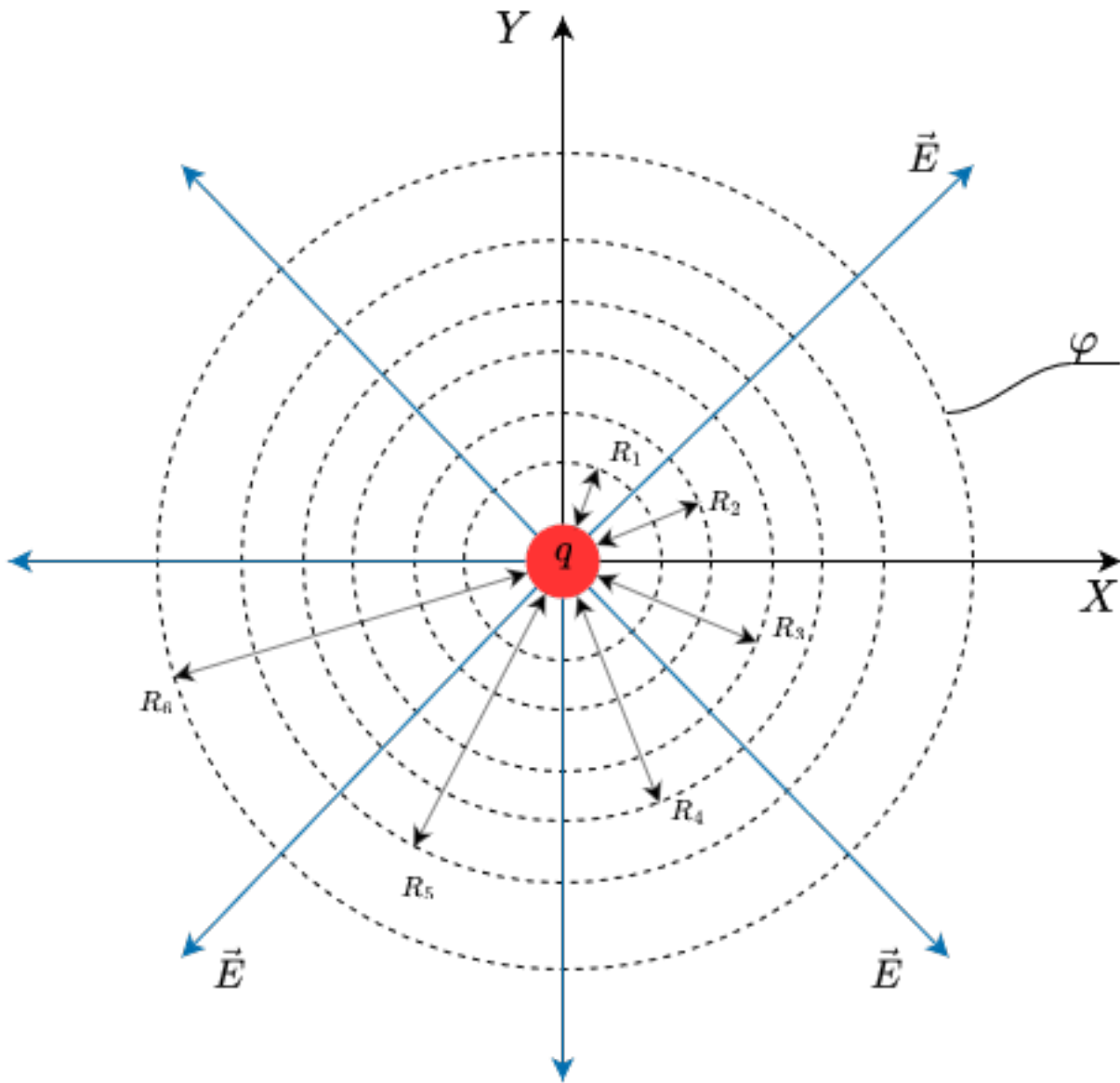


Рис. 3: Еквіпотенціальна поверхня (лінія рівного потенціалу).

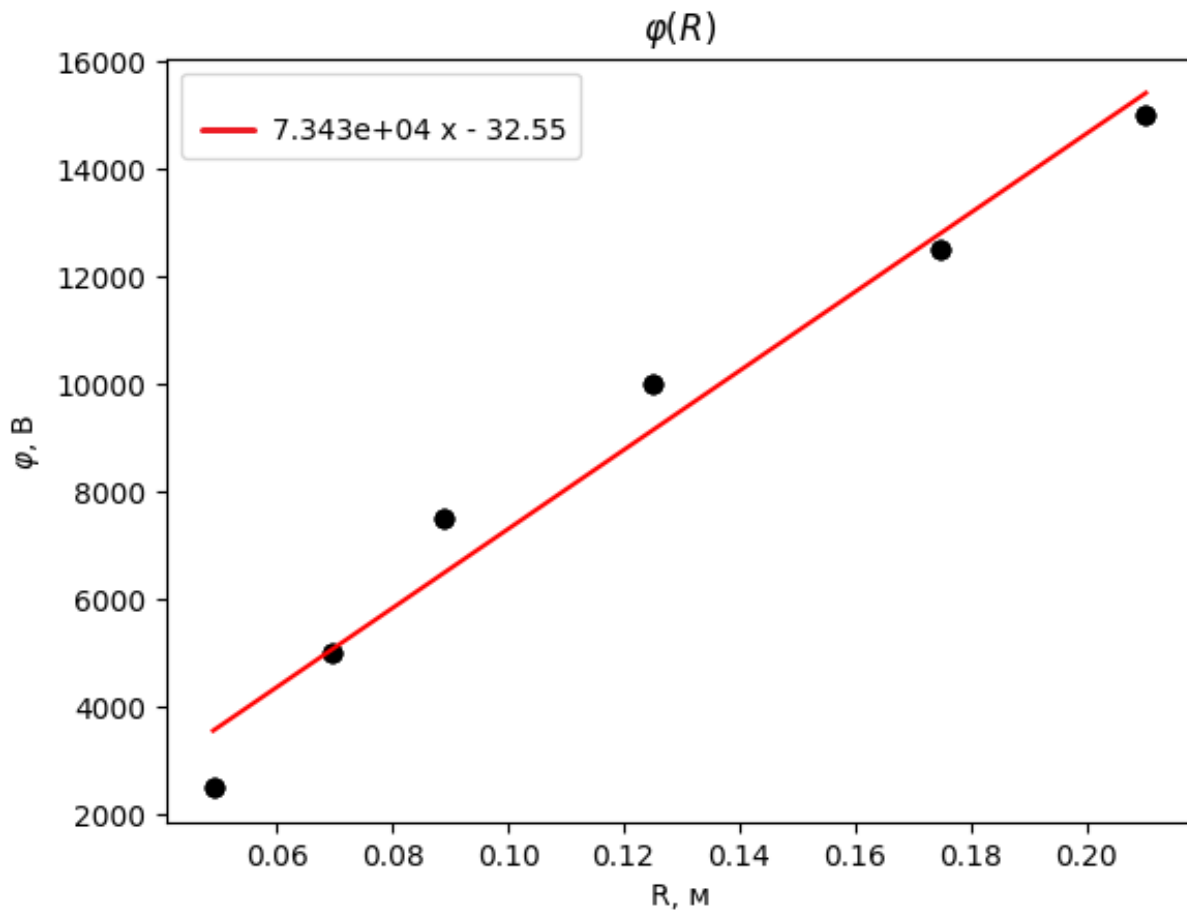


Рис. 4: Графік залежності потенціалу електричного поля від відстані до центру кулі.

Обчислення

$$q_1 = \frac{\varphi \cdot r}{k} = \frac{2500 \cdot 0.02}{1 \cdot 10^{10}} \approx 1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_2 = \frac{5000 \cdot 0.02}{1 \cdot 10^{10}} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$\langle R_1 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \frac{0.05 + 0.048 + 0.049}{3} = 0.049 \text{ м}$$

$$\langle R_2 \rangle = \frac{0.07 + 0.068 + 0.071}{3} = 0.07 \text{ м}$$

$$\langle R_2 \rangle = \frac{0.088 + 0.089 + 0.09}{3} = 0.089 \text{ м}$$

$$R(\text{теор}) = \sqrt{\frac{kq}{E}} = \frac{10^{10} \cdot 10^{-8}}{14690.202} = 0.058 \text{ м}$$

РОЗДІЛ ЧЕТВЕРТИЙ

Висновки

За результатами обробки дослідних даних отримано залежність електричного потенціалу зарядженої кулі від відстані від центру кулі та напруженість поля, яке виникає при цьому.

$$E \approx 14690 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Зведення дослідних даних, одержаних на основі проведеного експерименту та початкові дані, систематизовано у табличному виді. (Таблиця №1).

Для побудови екіпотенційних ліній (Рис. №3) використовують апроксимацію до кола/еліпса. Викроставши метод зображень було знайдено середнє значення радіуса і проведені відповідні кола.

З Рис. №4 можемо дійти висновку, що залежності потенціалу електричного поля від відстані до центру кулі є лінійною.

Похибки.

Абсолютна похибка ΔR для всіх шести випадків становить близько 0.001м

Середня відносна похибка εR становить 1.489%

Можливі причини похибок:

- Вплив температури навколишнього середовища.
- Неточне нанесення точок, що відповідають положенню зонда.
- Неточність вимірювань.

	$r, \text{ м}$	$k, \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$	$\varphi, \text{ В}$	$R, \text{ м}$	$\langle R \rangle, \text{ м}$	$q, \text{ Кл}$	$E, \frac{\text{В}}{\text{м}}$	$R(\text{теор}), \text{ м}$	$\Delta R, \text{ м}$	$\varepsilon R, \%$
1	0.02	$1 \cdot 10^{10}$	2500	0.05	0.049	0.00000001	14690.202	0.058	0.001	1.178
				0.048						
				0.049						
2			5000	0.07	0.07	0.00000001		0.083	0.001	1.8
				0.068						
				0.071						
3			7500	0.088	0.089	0.00000001		0.101	0.001	1.178
				0.089						
				0.09						
4			10000	0.124	0.125	0.00000002		0.117	0.001	1.178
				0.125						
				0.126						
5			12500	0.175	0.175	0.00000002		0.13	0.001	1.8
				0.176						
				0.173						
6			15000	0.21	0.21	0.00000003		0.143	0.001	1.8
				0.209						
				0.212						

Таблиця 1: За результатами обробки дослідних даних отримано такі дані.