

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра обчислювальної техніки

Лабораторна робота №2-5
з дисципліни
«Фізичні основи комп'ютерних систем»
на тему
«Вивчення електростатичного поля»

Виконала:

Студентка групи ІМ-21
Рабійчук Дар'я Олександрівна
Номер у списку групи: 18

Перевірів:

Скирта Ю.Б.

Київ 2024

Загальні теоретичні відомості

Основними характеристиками електростатичного поля є **напруженість** та **потенціал**.

Напруженість E – це силова характеристика поля. Обчислюється за формулою

$$E = \frac{F}{q_0}$$

де q_0 – одиничний точковий заряд.

Якщо поле створено точковим зарядом q , то напруженість на відстані r від заряду:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

Потенціал φ – це енергетична характеристика поля. Обчислюється за формулою

$$\varphi = \frac{A}{q_0}$$

де q_0 – заряд, що переміщується.

Якщо поле створено точковим зарядом q , то потенціал на відстані r від заряду:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

Закон Ома для ділянки кола:

$$I = \frac{U}{R}$$

де U – напруга, I – сила струму, R – електричний опір провідника.

Різниця потенціалів між внутрішнім електродом та обраним точковим зарядом обчислюється за формулою:

$$U(r) = \frac{U_0}{\ln\left(\frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{вн}}}\right)} \ln\left(\frac{r_{\text{вн}}}{r}\right)$$

Напруженість між внутрішнім електродом та обраним точковим зарядом обчислюється за формулою:

$$E(r) = \frac{U_0}{\ln\left(\frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{вн}}}\right)} \cdot \frac{1}{r}$$

Формула залежності між $E(r)$ та $U(r)$:

$$E(r) = \frac{U(r) - U(r - \Delta r)}{\Delta r}$$

Порядок виконання роботи

Реальний експеримент
Віртуальний експеримент

Порядок виконання реального експерименту

1. Користуючись описом, 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 буде $U_0 = I_0 R_d$ (R_d – опір додаткового резистора, який вказаний на макеті).

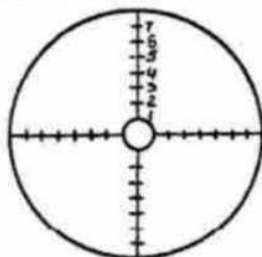


Рис.5.2

3. Вибрати на електропровідному папері промінь (радіус). Установити зонд послідовно в точки цього радіуса на відстані 1, 2, 3, ..., 8 см (рис.5.2) і записати відповідні покази мікроамперметра $I_1(r)$ до другого стовпчика табл.5.1.
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. Проявляється контакту можна дізнатися, спостерігаючи за процесом досягнення струмом максимального значення.
4. Повторити вимірювання, описані в п.3 на 2, 3, 4-му променях. Отримані значення $I_2(r)$, $I_3(r)$, $I_4(r)$ занести до табл. 5.1.
5. Виміряти, користуючись лінійкою, радіуси внутрішнього $r_{\text{вн}}$ та зовнішнього $r_{\text{з}}$ електрода; занести дані до протоколу. Туди ж занести значення R_d , що вказується на установці.

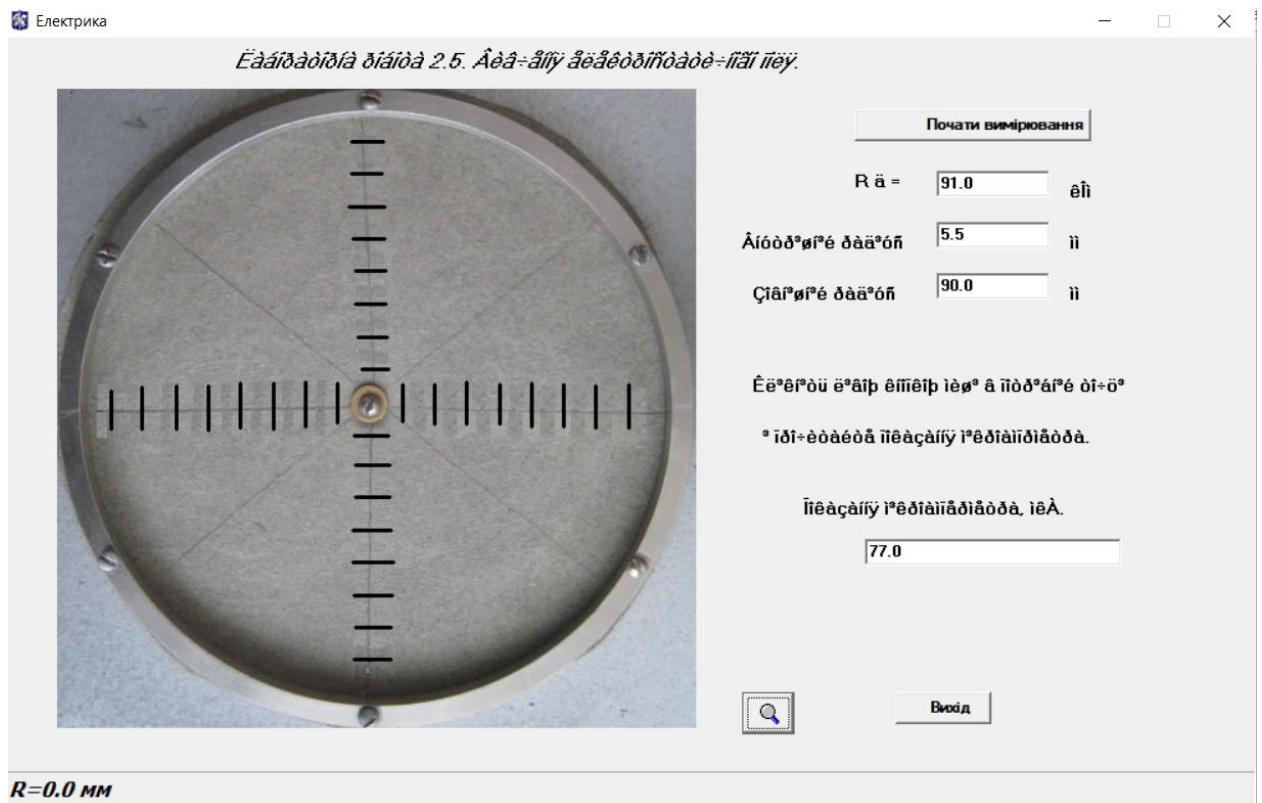
Обробка результатів вимірювань

1. Обчислити значення U_0 , де $U_0 = I_0 R_d$.
2. Обчислити: а) для кожного значення r (1, 2, 3, ..., 8 см) середнє значення струму $I(r)$ за формулою (5.7); б) експериментальне значення різниці потенціалів $U_{\text{екс}}(r) = \langle I(r) \rangle R_d$; в) теоретичне значення різниці потенціалів $U_{\text{теор}}(r)$ за формулою (5.4). Занести одержані значення до табл. 5.1.
3. Розрахувати за формулою (5.8) експериментальне значення $E_{\text{екс}}$ для $r = 1,5; 2,5; 3,5; \dots; 7,5$ см. Занести результати до табл. 5.2.
4. За формулою (5.5) знайти теоретичне значення $E_{\text{теор}}$ для тих самих значень r , що і в п.3, а також занести їх до табл. 5.2.
5. Користуючись даними табл. 5.1, 5.2, побудувати графіки залежностей $E_{\text{теор}}$ і $U_{\text{теор}}$ від r і нанести на ці графіки результати експерименту, виділяючи точки кружечками.
6. Оцінити для U і E середнє відносне відхилення ε_U і ε_E експериментальних значень від теоретичних (у відсотках – відносно їх максимального значення).

Хід роботи:

Для проведення віртуального експерименту нам потрібно скористуватися програмою-імітатором лабораторного стенду. Для початку визначаємо значення максимального струму натиснувши на центр пристрою, таким чином генеруємо наш унікальний варіант для роботи. Далі розраховуємо напругу та використовуємо її значення для подальших розрахунків теоретичних та експериментальних значень з метою їх порівняння наприкінці нашої лабораторної роботи. Наступним кроком починаємо заповнювати нашу таблицю визначеннями середнього струму з різним радіусом, починаючи від 1 см та закінчуючи на 8 см. Далі використовуємо надані нам формули для визначення різниць потенціалів. Наприкінці перевіряємо усі значення нашої таблиці №5.1 на основі якої буде формуватися таблиця №5.2 .

Виконання роботи



$$I_0 = 77.0 \text{ мкА}$$

$$U_0 = I_0 * R_d = 77.0 * 10^{-6} * 91 * 10^3 = 7.007 \text{ В}$$

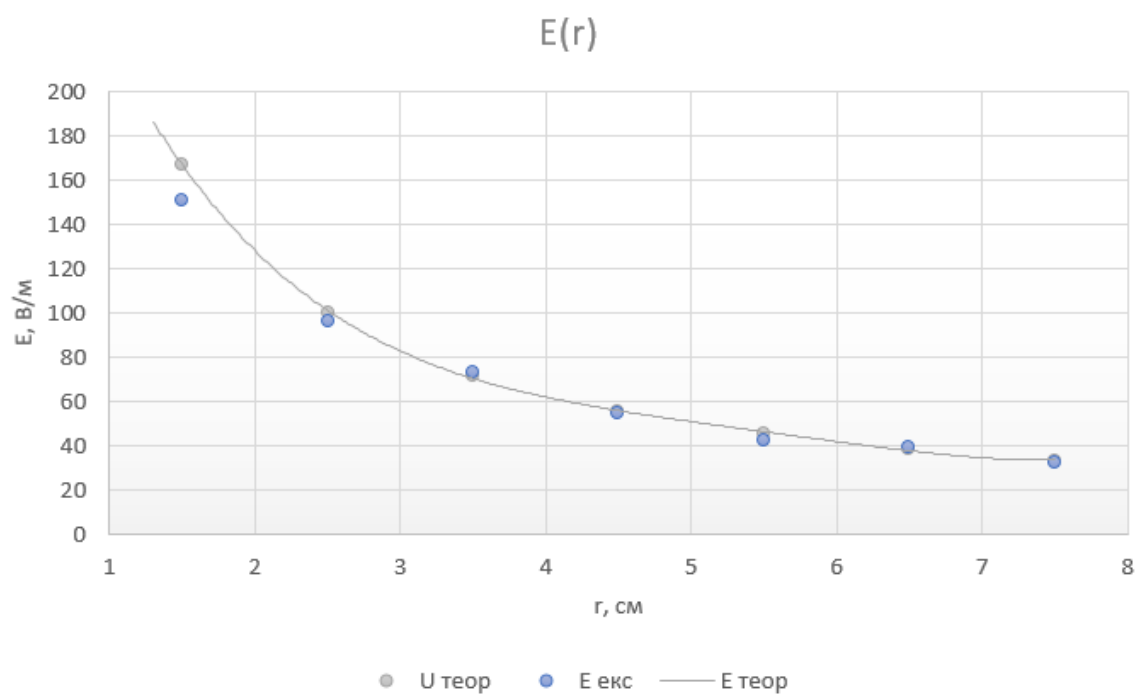
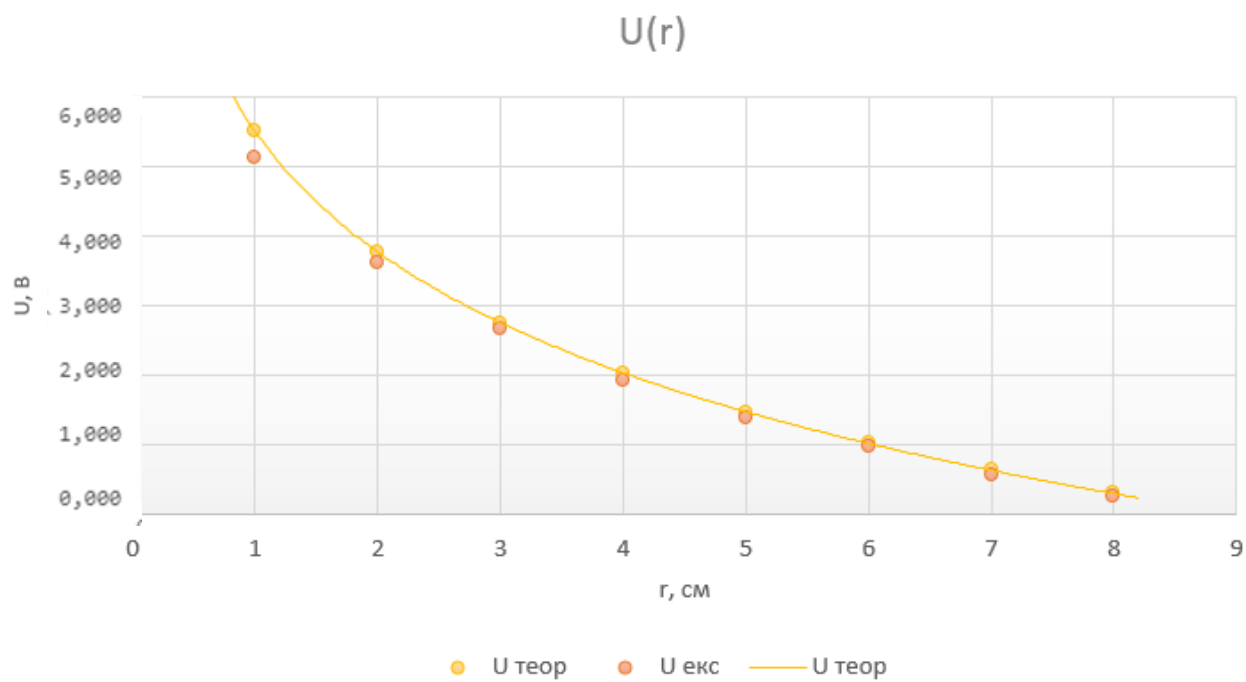
Таблиця 5.1

Радіус r, см	Струм I(r), мкА, за				Середн ій струм <I(r)> мкА	U(r), В	
	I ₁ (r)	I ₂ (r)	I ₃ (r)	I ₄ (r)		Експер имента льне значен ня U(r) = <I(r)> * R _д	Теорет ичне значен ня
1	56,3	56,8	56,6	56	56,425	5,135	5,508
2	40,6	39	40,2	39,5	39,825	3,624	3,771
3	28,6	28,9	29,5	29,9	29,225	2,659	2,754
4	20,8	20,9	21,8	21,4	21,225	1,931	2,033
5	15,1	15,2	15,7	14,9	15,225	1,385	1,474
6	10,3	10,5	10,9	10,6	10,575	0,962	1,016
7	5,9	6,4	6,7	6,1	6,275	0,571	0,630
8	2,4	2,7	3	2,9	2,75	0,250	0,295

Таблиця 5.2

Радіус r, см	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
E _{екс} , В/м	151,06	96,46	72,8	54,6	42,315	39,13	32,078
E _{теор} , В/м	167,13	100,28	71,626	55,709	45,580	38,568	33,426

Графіки залежностей $U(r)$ та $E(r)$



Значення відносних похибок εU та εE

$$\varepsilon U = 6,876 \%$$

$$\varepsilon E = 4,244 \%$$

Висновки

У ході виконання лабораторної роботи мною був проведений віртуальний експеримент за допомогою програми-імітатора лабораторного стенду, який давав можливість вимірювати напругу та моделювати розподіл потенціалу й напруженості електростатичного поля. Після отримання даних я змогла визначити залежності $U=U(r)$ та $E=E(r)$ дослідним шляхом та порівняні отриманих мною результатів з залежностями, визначених теоретично за формулами. Після побудови графіків залежностей та обчислені похибок, я побачила правдивість проведення експерименту, адже всі значення підходять до визначення норми.

Контрольні запитання

1. Що таке напруженість і потенціал електростатичного поля?
2. Який розв'язок між напруженістю й потенціалом у даній точці електростатичного поля?
3. Яке поле називається потенціальним? Доведіть потенціальний характер електростатичного поля?
4. У чому полягає метод моделювання електростатичних полів за допомогою струмів у малопровідному середовищі?
5. Як довести, що лінії струму ортогональні до екіпотенціальних поверхонь?
6. Як виводяться формули для $E(r)$ і $U(r)$ у даній роботі?
7. Як проводяться вимірювання у даній роботі?
8. Як обчислити $E(r)$ за виміряними значеннями $U(r)$?

№1

Напруженість електростатичного поля (E) - це векторна величина, яка показує силу, з якою діє електричне поле на одиничний позитивний електричний заряд у даний момент і у даній точці простору. Напруженість поля визначається величиною та розподілом електричних зарядів у просторі. Вимірюється волтами на метр (V/m) в системі SI.

$$E = (k \cdot Q / r^2) \cdot r^{\wedge}$$

Потенціал електростатичного поля (V) - це скалярна величина, яка визначається як робота, необхідна для переміщення одиничного позитивного заряду з нескінченно віддаленої точки до розглянутої точки в електростатичному полі. Іншими словами, це енергія, яка має бути витрачена або вирається для переміщення заряду у полі. Потенціал вимірюється вольтами (V) в системі SI.

$$V = (k \cdot Q) / r$$

№2

$$\vec{E} = -\nabla V$$

Ця формула встановлює зв'язок між потенціалом (V) та напруженістю поля (E) у довільній точці простору, що перебуває у електростатичному полі. Цей зв'язок допомагає вивчати та аналізувати властивості електростатичних полів та їх вплив на заряди та тіла у цих полях.

№3

Поле, яке називають потенціальним, - це поле, у якому можна визначити потенціал (або енергію на одиницю заряду) у кожній точці простору.

Доведення потенціального характеру електростатичного поля використовується теоремою Гауса. Ця теорема стверджує, що для будь-якого електростатичного поля, що виникає в результаті зарядів, сума потоків через будь-яку закриту поверхню дорівнює заряду, що міститься всередині цієї поверхні, поділеному на електричну сталу ϵ_0 .

№4

Цей метод базується на ідеї, що електростатичне поле, створене рівномірно розподіленими струмами в малопровідному середовищі, можна апроксимувати полем, яке виникає від набору дипольних моментів, що характеризуються величиною і орієнтацією.

№5

Якщо ми припустимо, що лінія струму не ортогональна до екіпотенціальної поверхні, то це означатиме, що вздовж цієї лінії струм буде рухатися вздовж лінії потенціалу (адже, якщо лінія струму не перетинається з екіпотенціальною поверхнею під прямим кутом, то вони повинні бути паралельними). Але це означатиме, що рухаючись вздовж лінії струму, заряд не виконуватиме роботу, оскільки він рухається вздовж ліній однакового потенціалу. Це суперечить принципу роботи, який вимагає витрати енергії для переміщення заряду між точками з різним потенціалом.