

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра «Загальнонаукові дисципліни»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З РОЗДІЛУ КУРСУ ФІЗИКИ «ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ»
ГАЛУЗІ ЗНАНЬ 0701 «ТРАНСПОРТ І ТРАНСПОРТНА
ІНФРАСТРУКТУРА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ – 6.070106
«АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ», 6.070101 – «ТРАНСПОРТНІ
ТЕХНОЛОГІЇ (АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ) »
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0601 – «БУДІВНИЦТВО І АРХІТЕКТУРА»,
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.060101 – «БУДІВНИЦТВО»
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0401 – «ПРИРОДНИЧІ НАУКИ»
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.040106 – «ЕКОЛОГІЯ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ»**

15/ 39 – 2011 – 04

Горлівка – 2011

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ІНСТИТУТ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»
М.М. Чальцев
17.11.2011р.

Кафедра «Загальнонаукові дисципліни»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З РОЗДІЛУ КУРСУ ФІЗИКИ «ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ»
ГАЛУЗІ ЗНАНЬ 0701 «ТРАНСПОРТ І ТРАНСПОРТНА
ІНФРАСТРУКТУРА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ – 6.070106
«АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ», 6.070101 – «ТРАНСПОРТНІ
ТЕХНОЛОГІЇ (АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ) »
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0601 – «БУДІВНИЦТВО І АРХІТЕКТУРА»,
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.060101 – «БУДІВНИЦТВО»
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0401 – «ПРИРОДНИЧІ НАУКИ»
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.040106 – «ЕКОЛОГІЯ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ»**

15/ 39 – 2011 – 04

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Навчально – методична
комісія факультету
«Автомобільні дороги»
Протокол № 2 від 19.10.2011 р.

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Кафедра
«Загальнонаукові дисципліни»
Протокол № 2 від 10.10.2011 р.

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Навчально – методична
комісія факультету
«Автомобільний транспорт»
Протокол № 2 від 18.10.2011 р.

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Навчально – методична
комісія факультету
«Транспортні технології»
Протокол № 2 від 12.10.2011 р.

УДК 538 (07)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з розділу курсу фізики «Електрика і магнетизм» галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура» для студентів напряму підготовки – 6.070106 «Автомобільний транспорт», 6.070101 – «Транспортні технології (автомобільний транспорт) галузь знань 0601 – «Будівництво і архітектура», напрям підготовки 6.060101 – «Будівництво», галузь знань 0401 – «Природничі науки» напрям підготовки 6.040106 – «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» [Електроний ресурс] / укладачі: А. М. Галіахметов, О.О. Бруяка, О.І. Уколов. – Електрон. дані. – Горлівка: ДВНЗ «ДонНТУ» АДІ, 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD-R); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 RAM; WINDOWS 98/2000/NT/XP; MS Word 2000. – Назва з титул. екрану.

Викладено методику, апаратуру і техніку виконання лабораторних робіт з фізики, що відбивають специфіку майбутньої спеціальності студентів. Наведено рекомендації для обробки експериментальних даних за допомогою ЕОМ.

Укладачі:

Галіахметов А.М., к.ф. – м. н., доц.

Бруяка О.О., к.т.н., доц

Уколов О.І.

Відповідальний за випуск:

Галіахметов А.М., к.ф. – м. н., доц.
каф. «Загальнонаукові дисципліни»

Рецензент:

Сирота В.М., к.т.н., доц.
каф. «Технічна експлуатація автомобілів»

© Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
Автомобільно-дорожній інститут, 2011.

ЗМІСТ

Загальні вказівки	4
Лабораторна робота № 1 Вивчення електростатичних полів.....	5
Лабораторна робота № 2 Визначення електрорушійної сили елемента методом компенсації.	9
Лабораторна робота № 3 Визначення питомого опору металів по спаду напруги	13
Лабораторна робота № 4 Вивчення залежності опору металів від температури і визначення температурного коефіцієнта опору.	17
Лабораторна робота № 5 Вивчення роботи електронного осцилографа.	22
Лабораторна робота № 6 Визначення індукції магнітного поля котушки. .	30
Лабораторна робота № 7 Визначення горизонтальної складової індукції магнітного поля землі.....	35
Лабораторна робота № 8 Визначення питомого заряду електрона за допомогою магнетрона.....	42
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТОК А	49
ДОДАТОК Б	50

Загальні вказівки

“Електрика і магнетизм” – один з важливих розділів фізики, знання якого необхідні спеціалістам багатьох галузей науки і техніки.

Вивчення розділу “Електрика і магнетизм” передбачає використання взаємозв’язаних форм занять: лекцій, практичних та семінарських занять, лабораторних робіт і самостійної роботи студентів. Теоретичні знання одержані студентами, закріплюються і поглиблюються при виконанні лабораторного практикуму.

При виконанні роботи дотримуватися вимог з правил техніки безпеки, вміти визначати ціну поділки шкали вимірювальних приладів, орієнтовно оцінювати правильність одержаних експериментальних даних, розраховувати похибки вимірювань.

До виконання лабораторної роботи необхідно готуватися заздалегідь: вивчити теоретичний матеріал даної теми за літературою і конспектом лекцій; підготуватися до виконання експериментів – уважно вивчити методичні вказівки до лабораторної роботи, продумати її виконання і підготувати заготівку для оформлення звіту.

У заготівці для оформлення звіту вказують тему роботи, її мету, прилади та матеріали, теоретичні відомості і готують таблицю для записування результатів експерименту, враховуючи вказану кількість вимірювань. Заповнюється таблиця при проведенні дослідів.

Підготовку студента до лабораторної роботи перевіряє викладач і допускає до виконання лабораторної роботи. Непідготовлений студент не допускається до виконання лабораторної роботи, а замість цього він у лабораторії вивчає матеріал теми за підручником. Пропущена, таким чином, робота виконується в позаурочний час, що небажано.

Після виконання експериментальної частини необхідно упорядкувати своє робоче місце, оформити заготівку (заповнити таблицю, нижче таблиці записати похибки вимірювальних приладів, коефіцієнт Стюдента тощо) і заготівку підписати у викладача. Решта часу лабораторного заняття використовується студентом для захисту попередньої роботи.

Робота вважається захищеною після подання викладачу звіту по експериментальній частині та з теорії.

Статистичну обробку результатів експерименту, студент виконує згідно з існуючими правилами.

Лабораторна робота № 1

Тема. Вивчення електростатичних полів.

Мета. Графічно подати картини електростатичного поля за допомогою екіпотенціальних поверхонь і ліній напруженості.

Устаткування:

- 1) знижувальний трансформатор 220/6 В, або випрямляч типу ВС – 12;
- 2) ванна з діелектрика;
- 3) набір електродів різної форми;
- 4) вольтметр типу Е515 (1,5 – 15 В);
- 5) реостат на 20 Ом;
- 6) нуль-гальванометр.

Практичне значення. Розглянуте коло питань лежить в основі розрахунків картин електростатичних полів, дозволяє змодельовати реальний розподіл електростатичних полів довільної системи заряджених тіл. Остання обставина важлива, наприклад, з точки зору техніки безпеки та при конструюванні конденсаторів, електронних лінз та інших приладів.

Теоретичні відомості

Електричні поля, які не змінюються з часом і створюються нерухомими зарядженими частинками, називають електростатичними.

Основними характеристиками електростатичного поля в даній точці є векторна величина $\vec{E}$ – напруженість і скалярна величина – потенціал φ .

Напруженість

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1.1)$$

чисельно дорівнює силі, яка діє зі сторони електричного поля на одиничний точечний позитивний заряд q у даній точці поля.

Потенціал:

$$\varphi = \frac{E_p}{q} \quad (1.2)$$

чисельно дорівнює потенційній енергії одиничного точечного позитивного заряду у даній точці поля.

Для графічного подання картини електростатичного поля використовують лінії напруженості і екіпотенціальні поверхні. Лінія напруженості – це лінія дотична, яка співпадає з вектором напруженості електростатичного поля. Екіпотенціальні поверхні – це поверхні, які є геометричним міс-

цем точок з ознаковим потенціалом. Еквіпотенціальні поверхні і лінії напруженості є ортогональними між собою.

Напруженість поля $\vec{E}$ пов'язана з потенціалом співвідношення:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi = -\frac{d\varphi}{dn} \vec{n}, \quad (1.3)$$

де похідна береться по нормалі до еквіпотенціальної поверхні, тобто в напрямі швидкої зміни потенціалу. Як правило, електричне поле графічно зображують так, щоб при переході від однієї еквіпотенціальної поверхні до іншої приріст потенціалу був той самий. При цьому в місцях, де поверхні найближче підходять одна до одної, напруженість поля максимальна.

Робота полягає у графічному поданні картини електростатичного поля за допомогою еквіпотенціальних поверхонь і ліній напруженості.

Теоретично, як правило, простіше вести розрахунки потенціалів, ніж напруженості поля, тому, що потенціали – скалярні величини, а напруженість – векторна. Експериментальні виміри потенціалів також вести простіше, ніж виміри напруженості поля, тому, що більшість приладів, придатних для вивчення полів, вимірюють різницю потенціалів, а не напруженість поля. Через це в даній роботі експериментально вивчається розподіл потенціалів поля, а не його напруженості. Лінії напруженості цього поля будуються потім як ортогональні криві до експериментально знайдених поверхонь, які дорівнюють потенціалу.

В основу вивчення розподілу потенціалів в електричному полі використовується метод зонда. Його суть полягає в тому, що в досліджувану точку поля вводиться додатковий електрод зонд-щуп, по можливості так улаштований, щоб він мінімально впливав своєю присутністю на досліджуване поле. Цей зонд-щуп з'єднується провідником з приладом, який вимірює потенціал, набутий зондом-щупом в полі по відношенню до якоїсь точки поля, обраної за початок відліку. При цьому необхідно забезпечити такі умови, щоб цей зонд-щуп набув потенціал тієї точки, в яку його поставили. Тільки тоді показ приладу, з'єданого з зондом, буде відображати вірну картину розподілу потенціалів в досліджуваному полі. Виконати цю умову в непровідному середовищі нелегко. Для цього існують спеціальні методи, розроблені, головним чином, для вивчення полів при електричному розряді в газах.

Складність роботи з зондом і важливість електростатичних вимірювань привели до розробки незвичайного методу вивчення електростатичних полів шляхом штучного відтворення їх структури в провідних середовищах, по яким протікає постійний струм. Таким чином, безпосереднє вивчення електростатичного поля замінюється вивченням його точної, але більш зручної моделі. Виявляється, що при певних умовах розподіл потен-

ціалів в середовищі, по якому протікає струм між поставленими в ньому електродами, може бути тотожним розподілу потенціалів між цими електродами, коли між ними є електростатичне поле в вакуумі або в однорідному діелектрику. Вимірювання потенціалу в провідному середовищі, по якому протікає постійний струм, порівняно проста експериментальна задача.

Отже, можна замінити вивчення електростатичного поля між системою заряджених провідників вивченням електростатичного поля постійного струму між тією ж системою провідників, якщо потенціали провідників підтримувати сталими і співвідношення провідності середовища і провідників допускає можливість еквівалентності останніх.

Вказана заміна вивчення поля нерухомих зарядів вивченням поля стаціонарного струму дає велику експериментальну перевагу:

- при внесенні в провідне середовище в якості зонда простих металевих електродів, ми автоматично одержуємо значення потенціалу зонда і тієї ж точки поля, в яку зонд ввели;
- зонд в цьому разі може бути з'єднаний з струмовимірювальним приладом, а не з електростатичною апаратурою.

Треба мати на увазі, що електричне коло зонда повинно мати великий опір в порівнянні з опором провідних шарів речовини між точкою, в яку поставили зонд і найближчим електродом. В противному разі включення зонда спотворить розподіл потенціалів у досліджуваному полі.

Опис устаткування і методу вимірювання

На рис. 1.1 зображено схему установки для вивчення електростатичного поля в розчині електроліту (застосовувати воду).

На дні ванни (штрихова лінія на рис. 1.1), виготовленої з електроізоляційного матеріалу, наприклад плексигласу, розміщений міліметровий папір з нанесеною координатною сіткою, який ізолюють від попадання на нього електроліту. Металеві електроди А і В занурюють в електроліт на кінцях координатного поля ванни. Напруга подається на електроди через знижуваний трансформатор. У вимірювальну частину схеми входять також вольтметр V, потенціометр R, нуль-гальванометр G.

Рухомим контактом N потенціометра можна встановити різні значення потенціалу відносно електродів. Переміщуємо зонд Z в електричному полі доти, поки гальванометр покаже, що потенціали в точках L і N однакові (гальванометр показує нуль, струм в колі зонда і гальванометра відсутній). Координати точки L знаходимо по координатній сітці ванни. При незмінному положенні рухомого контакту N переміщуємо зонд Z навколо електродів і шукаємо нові точки з таким самим потенціалом. Записуємо координати цих точок.

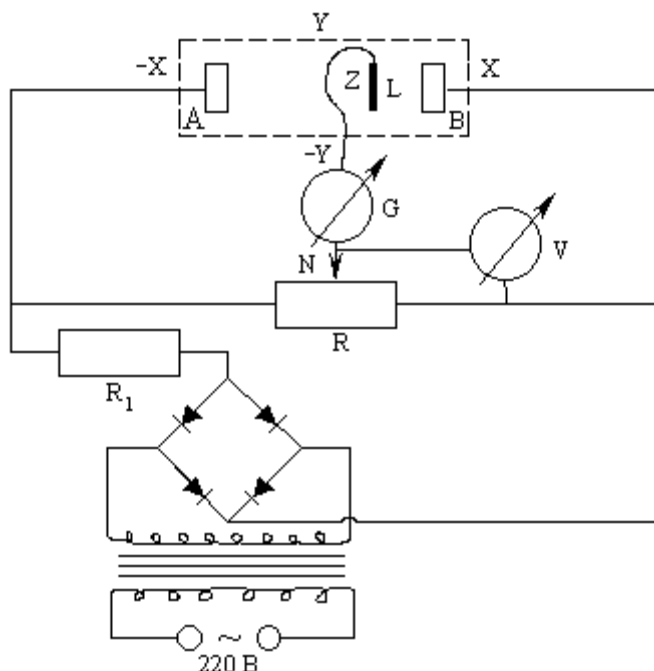


Рисунок 1.1 – Схема вивчення електростатичного поля

Змінюючи положення контакту N на потенціометрі, дістанемо сім'ю еквіпотенціальних поверхонь для даної пари електродів.

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло за схемою рис 1.1 з електродами.
2. Поставити зонд-щуп на відстані 2 см від одного з електродів і перемістити повзунок потенціометра в положення, коли через гальванометр струм не проходить. Переміщуючи зонд, визначити ряд точок, що відповідають цьому потенціалу (їх повинно бути не менш як 8 – 10). Координати точок і значення потенціалу φ_1 занести в таблицю 1.1.
3. Повторити вимірювання, як у 2 пункті при фіксованому значенні потенціалів φ_2 і φ_3 . Координати точок і значення φ_2 і φ_3 занести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

$\varphi_1 =$	x									
	y									
$\varphi_2 =$	x									
	y									
$\varphi_3 =$	x									
	y									

4. Визначте форму і координати електродів.
5. Змінити електроди і виконати вимірювання, зазначені в пунктах 2 – 4.

6. Помістити у ванну між електродами металевий циліндр і дослідити поле в нових умовах.

Обробка результатів експерименту

1. Проведіть комп'ютерну обробку лабораторної роботи. Для цього запустіть файл **e1542.exe** і виконайте усі команди з екрану дисплея. Коли на екрані з'явиться картина екіпотенціальних поверхней, уважно її отслідкуйте. Якщо, є різкі відхилення від плавної лінії, треба повернутися до установки і ще раз проміряти проблемні точки.
2. По одержаним системам екіпотенціальних поверхонь побудувати для всіх вивчених полів картини силових ліній, використовуючи формулу (1.1).
3. Проаналізуйте можливі джерела похибок.

Контрольні запитання і завдання

1. Які є основні характеристики електростатичного поля? Назвіть їх одиниці.
2. Який зв'язок між напруженістю $\vec{E}$ і потенціалом φ ?
3. Яке поле називають потенціальним? Довести, що електростатичне поле є потенціальним.
4. Довести, що силові лінії напруженості перпендикулярні до екіпотенціальних поверхонь.
5. Зобразити графічно поле самотнього позитивного; негативного зарядів та їх системи.
6. Сформулюйте теорему Остроградського – Гауса для потоку вектора $\vec{E}$.

Лабораторна робота № 2

Тема. Визначення електрорушійної сили елемента методом компенсації.

Мета. З'ясувати суть методу компенсації і визначити електрорушійну силу (ЕРС) елемента цим методом.

Устаткування:

- 1) реохорд;
- 2) нульовий гальванометр типу М122, М314, М2031/1 з чутливістю 10^{-6} А/под;
- 3) набір елементів з невідомими ЕРС;
- 4) магазин опорів;
- 5) еталонне джерело струму;

б) акумулятор.

Практичне значення. Електрика надійно увійшла в сучасний побут і виробництво. Для кваліфікованого поводження з нею і розрахунків кіл постійного струму інженеру необхідні знання законів постійного струму, принцип роботи джерел струму, методи вимірювання ЕРС джерел струму.

Теоретичні відомості та опис приладів

У кожному джерелі струму відбувається перерозподіл електричних зарядів. Наприклад, в акумуляторних і гальванічних елементах відбувається перерозподіл іонів, в індукційних генераторах – перерозподіл електронів тощо.

Природа сил, які спричиняють такий перерозподіл зарядів і підтримують постійний струм у колі, різноманітна: в індукційних генераторах – це електричне поле, в гальванічних елементах – хімічні реакції, при дотику двох різнорідних металів – контактна різниця потенціалів тощо. Ці сили названо сторонніми, а поле, яке створюється ними, – полем сторонніх сил.

Джерело сторонніх сил в колі постійного струму виконує роботу з переміщення носіїв струму проти сил електростатичного поля. Сторонні сили характеризуються роботою, яку вони здійснюють над рухомими зарядами. Величина, яка дорівнює відношенню до заряду q роботи A сторонніх сил при переміщенні позитивного заряду вздовж усього електричного кола (вмикається джерело струму при поверненні його у вихідну точку), називається електрорушійною силою (ЕРС):

$$\varepsilon = A/q . \quad (2.1)$$

Практично ЕРС можна виміряти за допомогою вольтметра (рис. 2.1):

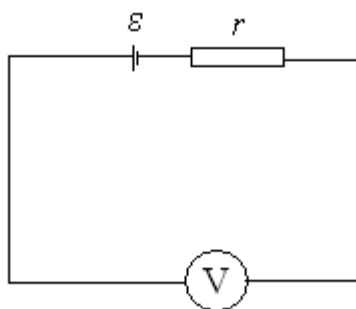


Рисунок 2.1 – Схема визначення ЕРС вольтметром

Згідно закону Ома для повного кола:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (2.2)$$

де I – сила струму;

R – опір вольтметра;

r – опір ЕРС.

З (2.2) одержимо

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (2.3)$$

Якщо опір вольтметра $R \gg r$, то

$$\varepsilon \approx IR = U \quad (2.4)$$

Отже, напруга U , яку показує вольтметр, приблизно дорівнює ЕРС джерела, але при умові, що внутрішній опір вольтметра дуже великий порівняно з внутрішнім опором r джерела. Тому цей метод завжди неточний.

Щоб досягти високої точності, при вимірюванні ЕРС користуються компенсаційним методом, який зводиться до порівняння ЕРС двох джерел – еталонного ε_{em} і невідомого ε_x . Еталонним джерелом струму є джерело, ЕРС якого відома.

Принципальну схему установки зображено на рис. 2.2. Вона складається з акумулятора, ЕРС (ε) якого більша, ніж ЕРС еталонного ε_{em} і ЕРС невідомого (досліджуваного) джерела ε_x . Акумулятор вмикається через реостат R_0 і замикається за допомогою вимикача K_2 на реохорд АВ. Потенціал точки А менший за потенціал точки В ($\varphi_A < \varphi_B$).

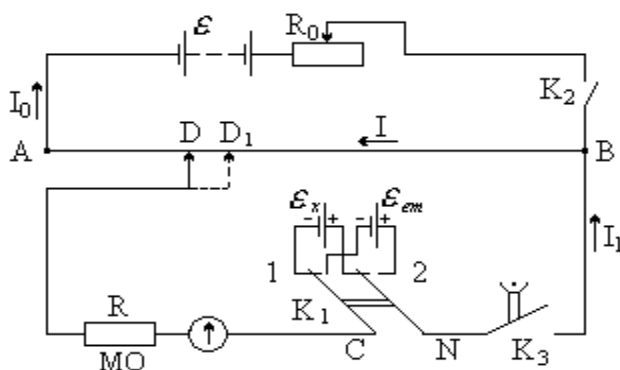


Рисунок 2.2 – Компенсаційна схема для вимірювання ЕРС

Отже, між кінцями реохорда АВ існує різниця потенціалів, яка змінюється від 0 до U . За допомогою перемикача K_1 можна підімкнути до реохорда по черзі елементи з невідомою ЕРС (ε_x) і відомою ЕРС (ε_{em}). Негативні полюси еталонного і невідомого джерел підмикаються через нульовий гальванометр і опір R магазину опорів (МО) до рухомого контакту D реохорда АВ. Нехай контакт знаходиться в точці D . Якщо різниця потенціалів в точках D і B не дорівнюватиме ЕРС досліджуваного джерела,

то в колі гальванометра з'явиться струм. Якщо ж різниця потенціалів $\varphi_B - \varphi_D = \varepsilon_x$, то струму в колі гальванометра не буде ($I_1 = 0$). Таким чином, в компенсаційному методі роль гальванометра полягає не в тому, щоб вимірювати струм, а в тім, щоб переконатися в його відсутності.

$$I_1 = 0. \quad (2.5)$$

На основі законів Кірхгофа для вузла В і контура DBNCD (перемикач K_1 в положенні 1) запишемо:

$$I_0 + I_1 = I; \quad I_1 R_1 + I R_{DB} = \varepsilon_x, \quad (2.6)$$

де I_1 – струм на ділянці;

R_1 – опір цієї ділянки. Використовуючи умову (2.5), рівняння (2.6) перепишемо у вигляді $I R_{DB} = \varepsilon_x$.

Оскільки $I R_{DB} = U_{DB}$, то:

$$\varepsilon_x = U_{DB} \quad (2.7)$$

Аналогічне рівняння матимемо і для еталонного елемента, коли перемикач K_1 переведемо в положення 2:

$$\varepsilon_{em} = U_{D_1B} \quad (2.8)$$

Розділимо (2.7) на (2.8), одержимо:

$$\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{em}} = \frac{U_{DB}}{U_{D_1B}} = \frac{I R_{DB}}{I R_{D_1B}}, \quad \varepsilon_x = \frac{\varepsilon_{em} R_{DB}}{R_{D_1B}}. \quad (2.9)$$

Оскільки опір ділянки кола однорідної каліброваної дротини реохорда АВ пропорційний її довжині, то:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{em} l_x / l_{em} \quad (2.10)$$

Порядок виконання роботи

1. Зібрати електричне коло за схемою (рис 2.2).
2. Перевірити величину опору, ввімкненого в магазин опору (МО), він повинен бути максимальним.
3. Замкнути перемикачем K_2 коло джерела струму ε , а потім перемикачем K_1 – коло еталонного елемента. За допомогою повзунка D реохорда добитися відсутності струму в колі гальванометра. Записати значення $l_{em} = D_1B$. Повторити вимірювання не менше трьох разів.

Увага! Для попередження перевантажень рекомендується послідовно з

джерелом струму вмикати захисний опір (МО близько 100 кОм), а вимірювання проводити при короткочасних проходженнях струму, користуючись при цьому кнопкою K_3 .

4. Перемкнути перемикач K_1 на джерело струму ε_x (в положення 1) і визначити довжину $l_x = DB$, як в п.3. Результати вимірів занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

№ з\п	Довжина ділянки реохорда		ЕРС еталонного елемента
	l_x	l_{em}	
1			
2			
3			

Обробка результатів експерименту

Провести статистичну обробку результатів експерименту згідно з існуючими правилами за допомогою комп'ютера (ЕОМ).

Контрольні запитання і завдання

1. Поясніть фізичний зміст ЕРС. Які сили називаються сторонніми?
2. У чому полягає суть метода компенсації?
3. Які види джерел струму ви знаєте?
4. Які є способи вимірювання ЕРС?
5. Як розрахувати ЕРС акумуляторної батареї: а) при послідовному; б) при паралельному з'єднанні джерел струму.
6. Закони постійного струму.

Лабораторна робота № 3

Тема. Визначення питомого опору металів по спаду напруги .

Мета. Навчитися складати електричне коло і правильно користуватися електровимірювальними приладами; навчитися за їх допомогою вести розрахунки питомого опору провідників із різних металів.

Устаткування:

- 1) амперметр постійного струму;
- 2) вольтметр постійного струму;
- 3) реостат;
- 4) підставка з натягнутими провідниками із різних матеріалів;
- 5) мікрометр;

6) вимикач;

7) з'єднувальні проводи.

Практичне значення. Електрика міцно увійшла у побут і виробництво. Для вмілого поводження з нею і розрахунків кіл постійного струму інженеру необхідні знання законів постійного струму і методів вимірювання електричних величин: сили струму I , напруги U , електрорушійної сили $\mathcal{E}$, опору R , та ін.

Теоретичні відомості

Упорядкований рух електричних зарядів називають електричним струмом. У металах електричний струм є дрейф вільних електронів проти електричного поля. За напрям електричного струму умовились вважати напрям руху позитивних зарядів. Якщо струм утворюється негативно зарядженими частинками, то напрям струму вважають протилежним до напрямку руху цих частинок.

Електричний струм в провіднику виникає тільки в тих випадках, коли підтримується різниця потенціалів на його кінцях.

Різниця потенціалів, як фізична величина визначається роботою A при переміщенні пробного заряду $q_0 = 1$ Кл між точками поля з потенціалами φ_1 і φ_2 :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0}. \quad (3.1)$$

Різницю потенціалів, потенціал, напругу в СІ вимірюють в вольтах: $V = Дж/Кл$.

Якщо підтримувати різницю потенціалів на кінцях провідника сталою, то в цьому провіднику буде проходити постійний струм. Німецький фізик Г.Ом у 1827р. експериментально довів, що сила струму в провіднику прямо пропорційна різниці потенціалів, поданої до кінців провідника і оберненопропорційна його опору:

$$I = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R}, \quad (3.2)$$

де I – сила струму в провіднику;

$(\varphi_2 - \varphi_1)$ – різниця потенціалів між точками з потенціалами φ_1 і φ_2 ;

R – опір ділянки кола.

Ділянку кола називають однорідною, якщо на ній немає джерел струму. В цьому випадку різниця потенціалів дорівнює напрузі U (або спаду напруги), тоді:

$$I = (\varphi_2 - \varphi_1) / R = U / R . \quad (3.3)$$

Ця формула виражає закон Ома для ділянок однорідного кола. Закон Ома справджується з великою точністю для металевих провідників та електrolітів. Відхилення від закону Ома становить близько 1 % для струмів дуже великої густини – кількох мільйонів амперів на 1см^2 . Закон порушується і при досить високих напругах та ін. Залежність $I = f(U)$ називається вольт-амперною характеристикою провідника.

Електричний опір металів зв'язаний з розсіянням електронів провідності на теплових коливаннях кристалічної решітки і структурних неоднорідностях. Зауважимо, що опір провідника в першому наближенні не залежить від сили струму, який проходить по провіднику, а залежить від його геометричних розмірів, форми та від матеріалу провідника і його стану. Для однорідних провідників циліндричної форми:

$$R = \rho \, l / S , \quad (3.4)$$

де l – довжина провідника, S – площа поперечного перерізу, ρ – питомий опір матеріалу.

Питомий опір у фізиці – опір тіла довжиною 1м і перерізом 1м^2 при температурі 0°C . Одиницею питомого опору в СІ є (Ом·м). **У техніці питомий опір** – опір тіла довжиною 1м і перерізом 1мм^2 при температурі 0°C . Тоді питомий опір доцільно подавати в Ом·мм²/м. Питомий опір провідників залежить від хімічного складу речовини і від температури. Найменший опір мають срібло і мідь. На практиці для передавання електричної енергії використовують дріт із міді або алюмінію. Для виготовлення реостатів, котушок опору використовують сплави з великим питомим опором (ніхром, нікель).

З формули (3.3) і (3.4) виходить:

$$\rho = U \cdot S / (I \cdot l) \quad (3.5)$$

Взявши до уваги, що:

$$S = \pi \cdot d^2 / 4 , \quad (3.6)$$

де d – діаметр провідника, отримаємо:

$$\rho = \pi \cdot d^2 U / (4 \cdot I \cdot l) , \quad (3.7)$$

Устаткування

На рис. 3.1 зображено схему електричного кола для визначення питомого опору металів по складу напруги:

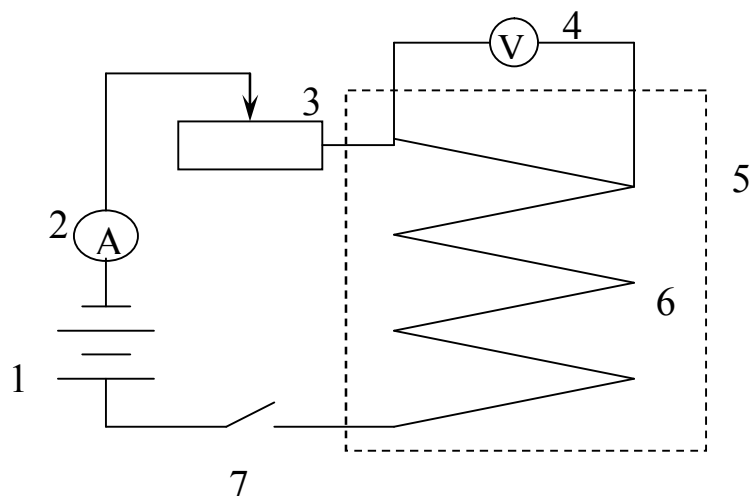


Рисунок 3.1 – Схема електричного кола

1 – джерело струму; 2 – амперметр постійного струму; 3 – реостат; 4 – вольтметр постійного струму; 5 – підставка; 6 – досліджувані провідники № 1, 2, 3, 4; 7 – вимикач.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомтесь з описом устаткування. (рис. 3.1)
2. Для кожного з трьох провідників триразово виміряйте напругу U , силу струму I , змінюючи реостатом опір кола.
3. Виміри проведіть для такої довжини провідника:
 $l_1 = 0,5$ м; $l_2 = 1,0$ м; $l_3 = 1,0$ м.
4. Триразово виміряйте діаметр кожного провідника.
5. Виміряйте температуру під час досліду.
6. Експериментальні дані занесіть в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

№ дос-ліду	№ провід-ника	I	U	l	d	t°	Матеріал провід-ника
		(А)	(В)	(м)	(м)	$^\circ\text{C}$	
1	1 ^{ий}			0,5			
2				1,0			
3				1,0			
1	2 ^{ий}			0,5			
2				1,0			
3				1,0			
1	3 ^{ий}			0,5			
2				1,0			
3				1,0			

Обробка результатів експерименту

Провести статистичну обробку результатів експерименту згідно з існуючими правилами, за допомогою ЕОМ.

Контрольні запитання і завдання

1. Що називається електричним струмом?
2. Які умови необхідні для існування електричного струму?
3. Що називається силою струму і які її одиниці вимірювання?
4. Що називається густиною струму і які одиниці її вимірювання?
5. Як формулюється закон Ома для ділянки однорідного та для неоднорідного кола?
6. Як формулюється закон Ома для повного кола?
7. Що таке коротке замикання?
8. Як визначається опір і питомий опір провідника, і від чого вони залежать?

Лабораторна робота № 4

Тема. Вивчення залежності опору металів від температури і визначення температурного коефіцієнта опору.

Мета. Вивчити залежність опору матеріалів від температури та визначити їх температурний коефіцієнт опору. Ознайомитися з експериментальними методами вимірювання опору.

Устаткування:

- 1) місток постійного струму для вимірювання опорів Р333 (місток Уїтстона);
- 2) піч;
- 3) термометр;
- 4) досліджувані провідники (мідний та ніхромовий);
- 5) джерело постійного струму;
- 6) з'єднувальні дроти.

Практичне значення. Науково-технічний прогрес неможливий без знання закономірностей температурної залежності опору матеріалів. Особливо актуальне це питання зараз в зв'язку з проривом в області надпровідності. На залежності опору металів від температури заснована дія термометрів опору, за допомогою яких, по градуйованому взаємозв'язку опору і температури, визначають температуру з точністю до 0,003 К. Використання ж в якості робочого тіла термометра опору напівпровідників, виготовлених за спеціальною технологією; – термісторів – дозволяє помічати змі-

ну температури в мільйонні долі кельвіна і використовувати термістори для вимірювання температур дуже малих обсягів (в зв'язку з малими габаритами напівпровідникових приладів).

Теоретичні відомості

Сила струму при протіканні через провідне тіло обмежується його опором R , який залежить від форми, розмірів, матеріалу тіла і зовнішніх умов, особливо від температури. Температурна залежність опору визначається особливостями переносу електричного заряду в провідному матеріалі.

В металі носіями струму є практично не зв'язані з окремими атомами вільні електрони. Вони здійснюють хаотичний тепловий рух між позитивними іонами, які утворюють кристалічну решітку. Підведене до металу зовнішнє електричне поле упорядковано зміщує електрони, які рухались безладно, в напрямку проти поля – виникає струм. Упорядкованому руху електронів перешкоджає зіткнення їх з іонами кристалічної решітки, що і є причиною існування опору. При дуже низьких температурах тепловий рух електронів та іонів може практично припинитися, а упорядкований рух – здійснюватися без перешкод. Опір при цьому зменшується у мільярди разів до нескінченно малих значень. Такий стан називають надпровідністю (зовсім недавно відкрито явище високотемпературної надпровідності).

Теорія надпровідності була створена в 1957 році Дж. Бардіним, Л. Купером і Дж. Шиффером. Її коротко називають БКШ. Не зупиняючись на деталях цієї теорії, відзначимо тільки те, що суть надпровідності полягає в тому, що електрони в металах, крім кулонівського відштовхування зазнають взаємного притягання особливого виду, яке в надпровідному стані має перевагу над відштовхуванням.

При збільшенні температури посилюються хаотичні коливання іонів кристалічної решітки, що перешкоджає упорядкованому руху електронів і проявляється це у збільшенні опору металевого провідника. Температурна залежність опору металів приблизно лінійна і має вигляд:

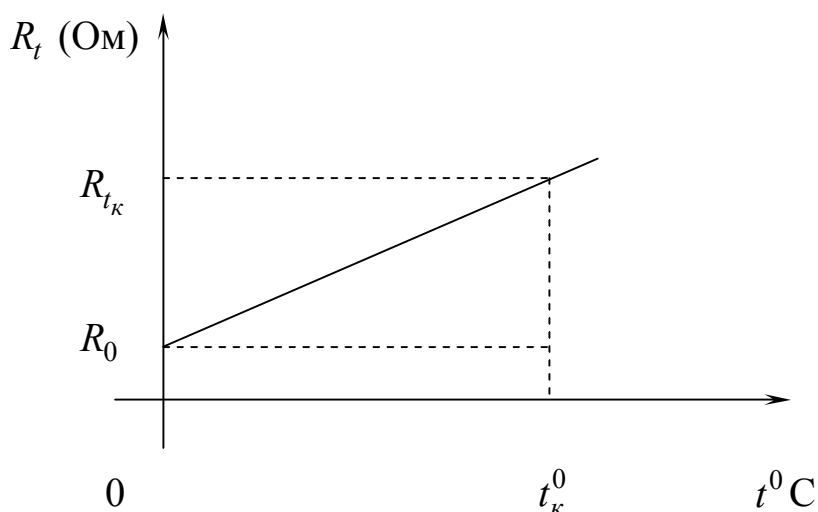
$$R_t = R_0 (1 + \alpha t), \quad (4.1)$$

де R_t – опір металевого провідника при температурі t^0 ,

R_0 – опір цього провідника при температурі $t = 0^0\text{C}$,

α – температурний коефіцієнт опору (ТКО), який дорівнює відносній зміні опору $(R_t - R_0) / R_0$ провідника при зміні його температури на 1^0C .

Графік залежності $R = f(t^0)$ показаний на (рис 4.1)

Рисунок 4.1 – Графік залежності $R(t^0)$

Залежність (4.1) можна використовувати в обмеженому діапазоні зміни температури, вважаючи, що ТКО α – стала величина. Хоч це не цілком точно (при великих змінах температури величина ТКО також залежить від температури), але достатньо вірно для більшості практичних застосувань.

Теоретичне значення ТКО чистого металу

$$\alpha = \frac{1}{273} \frac{1}{K}.$$

Для більшості металів в інтервалі температур біля 100^0C величина α близька до цього значення, але для сплавів величина ТКО може значно відрізнятися.

Експериментально ТКО будемо визначати за формулою:

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} \quad (4.2)$$

Матеріали з електронною провідністю, в яких при підвищенні температури опір збільшується і ТКО $\alpha > 0$, називаються провідниками I-го роду. В провідниках II-го роду носіями електрики є позитивні іони. У них при збільшенні температури опір зменшується і ТКО $\alpha < 0$ (дивись формулу (4.2)).

Носіїм заряду у провідниках II роду є позитивні іони. Провідником II роду може бути будь-яке з'єднання з іонними молекулами (електроліти, скло при високій температурі і так далі). Іони приймають участь в тепловому русі не лише у рідинах, але і в твердих тілах. Механізм теплового руху вільних електронів відрізняється від руху іонів. Іон, який коливається

деякий час (час "осілого життя") біля положення рівноваги, переходить в деяке суміжне положення рівноваги. У результаті іони хаотично рухаються у твердих тілах. Із збільшенням температури зростає амплітуда коливань іонів біля положення рівноваги і час "осілого життя" скорочується. Це означає, що іони стають рухливішими, тому із збільшенням температури опір провідників II роду зменшується. Особливість провідників II роду полягає також в тому, що процес проходження електричного струму в провідниках II роду пов'язаний з перенесенням речовини.

Опис устаткування

Установка для лабораторної роботи складається з моста типу Р333, печі П, термометра Т, досліджуваних провідників R_x (рис. 4.2).

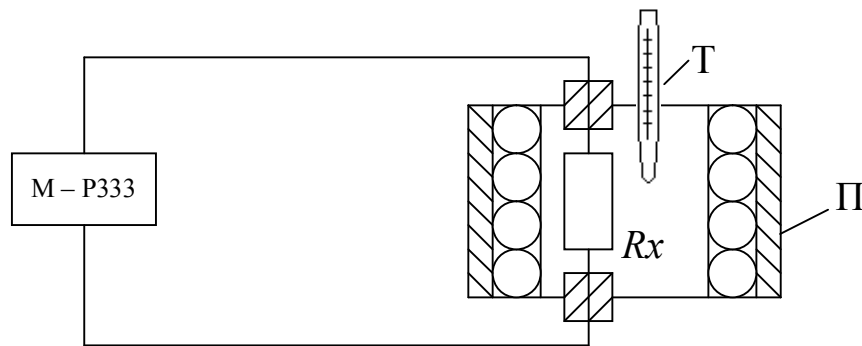


Рисунок 4.2 – Монтажна схема установки

Загальний вигляд панелі моста показано на (рис. 4.3). Принцип дії моста описується в інструкції до моста.

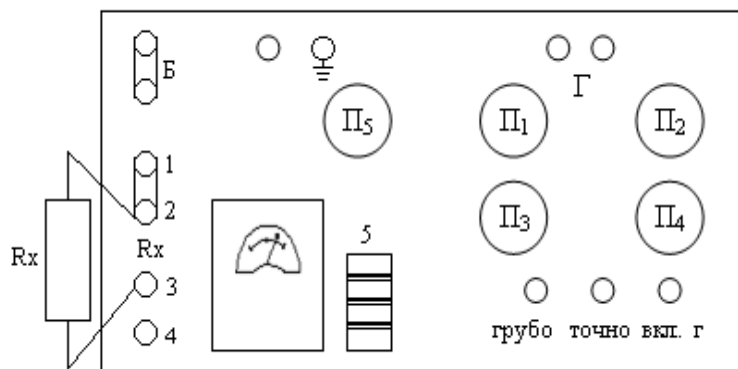


Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд моста Р333

Порядок виконання роботи

1. Уважно ознайомтесь з інструкцією до моста Р333.
 2. Складіть електричну схему (рис. 4.2).
 3. Підключіть до клем “Rx” моста Р333 досліджуваний провідник, опір якого треба виміряти, а до клем “B” - акумулятор.
 4. Перемикач 5 моста поставити в положення “MB”.
 5. Ручкою “П5” установіть множник “n” на позначку “0,1”.
 6. На декадах “П1–П4” установіть очікуваний опір.
- Зауваження:** При невідомому Rx положення перемикача “П5” вибрати при натиснутій кнопці “ВКЛ. Г.”.
7. Зрівноважте міст перемикачами “П1–П4”, натискаючи кнопки спочатку “ВКЛ. Г.”, “Трубо”, а потім “ВКЛ. Г.”, “Точно”.
 8. Вирахувати опір за формулою $R_x = n \cdot R$, де n – множник, виставлений на декаді “П5”, R – опір плеча порівняння “П1–П4”. Одержане значення опору є опором провідника при кімнатній температурі.
 9. Ввімкніть піч.
- Через кожні 5°C виміряйте опір досліджуваного провідника. Вимірювання проведіть 7 разів, не перевищуючи 80°C .
10. Результати дослідів занесіть в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

№	з/п	t, $^{\circ}\text{C}$	R (Ом)	
			Мідь	Ніхром

11. Після закінчення роботи кнопки “ВКЛ. Г.”, “Трубо” і “Точно” поверніть в вихідне положення, щоб уникнути розрядження акумулятора.

Обробка результатів експерименту

1. Нанесіть на графік температурної залежності опору $R = f(t^{\circ}\text{C})$ експериментальні точки.
2. Проведіть на графіку пряму лінію таким чином, щоб відхилення експериментальних точок від прямої були мінімальними (зручно використовувати прозору лінійку).
3. За допомогою графіку визначте R_0 .
4. За формулою (4.2) розрахувати ТКО і далі провести статистичну обробку експерименту згідно з існуючими правилами.

Контрольні запитання і завдання

1. Які матеріали відносяться до провідників I-го і II-го роду?
2. Як залежить опір металевого провідника від температури?
3. Поясніть залежність $R = f(t^0 C)$ з точки зору електронної теорії.
4. Явище надпровідності. Сучасний стан цієї проблеми. Її перспективи.
5. Закон Ома в інтегральній і диференціальній формах.
6. Закон Джоуля – Ленца в інтегральній і диференціальній формах.
7. Дати означення термічного коефіцієнту опору і назвати його одиниці вимірювання. Від чого залежить ТКО.

Лабораторна робота № 5

Тема. Вивчення роботи електронного осцилографа.

Мета. Вивчити принципи дії електронного осцилографа.

Устаткування:

- 1) електронний осцилограф (ЕО);
- 2) джерело струму (ВУП);
- 3) генератор релаксаційних коливань;
- 4) автотрансформатор ЛАТР-1;
- 5) вольтметр змінного струму до 50 В.

Практичне значення. ЕО в основному застосовується:

- для дослідження напруги чи струму швидкозмінних процесів в залежності від часу (форма кривої) чи напруги, чи струму іншого процесу;
- для порівняння амплітуд двох напруг або двох струмів;
- для порівняння фаз двох струмів, двох напруг або струму та напруги;
- для визначення частот коливань, виміру малих проміжків часу.

Теоретичні відомості

Електронний осцилограф є прилад, що складається з електронно-променевої трубки, підсилювачів досліджуваного сигналу, генератора розгортки і випрямляча.

Електронно-променева трубка

Головним елементом ЕО є електронно-променева трубка. Промисловість випускає два види трубок: з електростатичним управлінням і електромагнітним. У першому випадку для відхилення електронного променя використовується електричне поле, у другому – магнітне. Фокусування променя також буває електричним або електромагнітним. В осцило-

графах використовуються в основному трубки з електростатичним управлінням і фокусуванням.

Трубка (рис. 5.1) складається з відкачаної до високого вакууму скляної трубки (колби), у середині якої містяться підігрівник 1, катод 2, керуючий електрод 3, перший (фокусуючий) анод 4, другий анод 5, горизонтально відхиляючі пластини 6 і вертикально відхиляючі пластини 7. Передня частина колби – екран 8 – покрита флюоресцюючою речовиною.

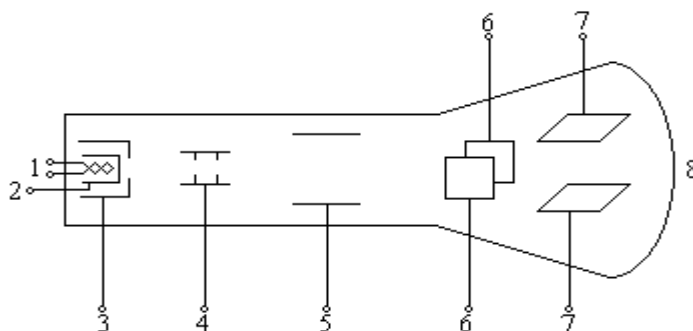


Рисунок 5.1 – Схема електронно-променевої трубки

Підігрівник, катод, керуючий електрод і обидва аноди утворюють, так звану, електронну гармату (рис. 5.2). Джерелом електронів служить нагрітий катод трубки. Інтенсивність електронного пучка (і яскравість світлої плями на екрані) регулюється шляхом зміни негативної напруги на керуючому електроді, (який відіграє ту ж роль, що і сітка електронної лампи).

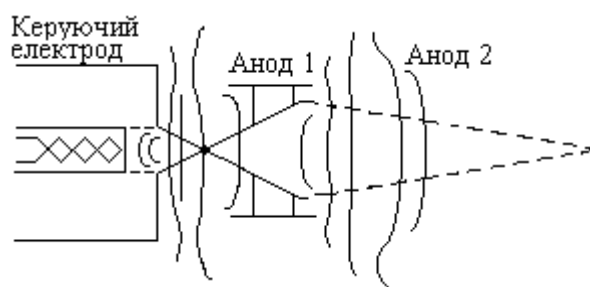


Рисунок 5.2 – Електронна гармата

Керуючий електрод і система анодів утворюють фокусуючу систему. На рис. 5.2 пунктиром показані траєкторії електронів, а суцільними лініями – екіпотенціальні поверхні електричного поля, що утворюється при подачі позитивної напруги на аноди трубки. Потенціал першого анода вибирається звичайно в кілька разів менше потенціалу другого анода. Різниця потенціалів другого анод-катода складає звичайно 1 – 5 кВ.

Фокусуючу дію електричних полів показано на рис. 5.3. Електрон, що рухається в однорідному електричному полі, наближається зі швидкіс-

тю v_1 до еквіпотенціальної лінії з потенціалом U_1 . Його швидкість складає кут α_1 з напрямком електричного поля (з нормаллю до еквіпотенціальної лінії).

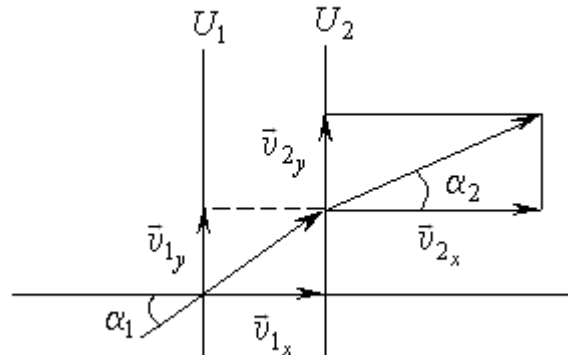


Рисунок 5.3 – «Заломлення» електронного променя в електричному полі

Розкладемо швидкість v_1 на компоненти v_{1x} і v_{1y} . При цьому $v_{1x} = v_1 \cos \alpha_1$, $v_{1y} = v_1 \sin \alpha_1$. При переході до наступної еквіпотенціальної лінії U_2 складова швидкості v_{1y} не зазнає змін, оскільки в цьому напрямку електричні сили не діють, а складова v_{1x} змінюється.

Нехай для визначеності $U_2 > U_1$, тоді $v_{2x} > v_{1x}$ і траєкторія електрона наблизиться до силової лінії. Розрахуємо зміну кута α . Із сталості поперечної складової швидкості, маємо:

$$v_1 \sin \alpha_2 = v_2 \sin \alpha_1 \quad \text{чи} \quad \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

Нехай швидкість електрона при нульовому потенціалі близька до нуля. Тоді кінетична енергія електрона $\frac{mv_1^2}{2}$ на першій еквіпотенціальній лінії пропорційна її потенціалу U_1 ($\frac{mv_1^2}{2} = eU$, e – заряд електрона). Переходячи від швидкостей до потенціалів, знайдемо:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \sqrt{\frac{U_2}{U_1}}$$

Ця формула визначає «заломлення» траєкторії електрона в електрич-

ному полі і аналогічна закону заломлення світла.

Повернемося тепер до оптичних властивостей розглянутої електронної гармати. Неважко побачити, що в електричному полі, що прискорює, дія еквіпотенціальних поверхонь, спрямованих опуклістю до катода, рівносильно дії лінзи, що збирає. Справді, у цьому випадку, як і в позитивній лінзі, траєкторії електронів згинаються в напрямку до осі симетрії. Дія еквіпотенціальних поверхонь, опуклість яких спрямована від катода, рівносильна дії розсіювальної лінзи. Таким чином, уся система еквівалентна двом опукло-вгнутим лінзам, як це зображено на рис. 5.4:

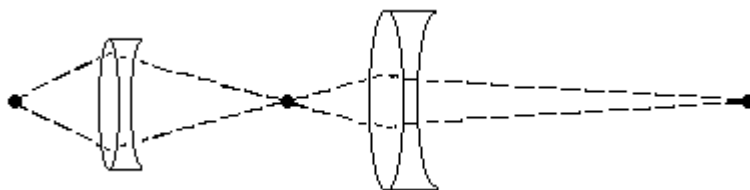


Рисунок 5.4 – Оптичний аналог фокусуючої системи

Розміри електродів і напруги на них обрані таким чином, що збираючий ефект переважає і електрони фокусуються. Змінюючи напругу на електродах, можна змінювати конфігурацію еквіпотенціальних поверхонь, а значить і фокусну відстань системи. При правильно обраному напрямку пучок фокусується на флюоресцюючому екрані.

Розглянемо тепер дію пластин, що відхиляють (рис. 5.5).

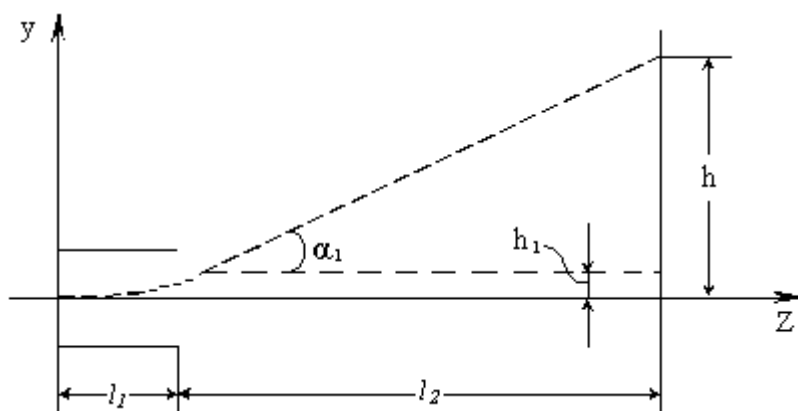


Рисунок 5.5 – Дія пластин, що відхиляють

Нехай електрон зі швидкістю v_0 влітає в однорідне електричне поле пари пластин, що відхиляють, і рухається уздовж осі Z , тобто перпендикулярно лініям напруженості електричного поля.

Електричне поле другої пари пластин будемо поки вважати рівним нулю. У нашому випадку рух електрона уздовж осі Z є рівномірним: $Z = v_0 \cdot t$, а рух уздовж осі y – рівноприскореним:

$$Z = v_0 \cdot t ; \quad (5.1)$$

$$y = at^2 / 2 . \quad (5.2)$$

Прискорення електрона можна знайти за допомогою другого закону Ньютона:

$$a = \frac{eE_y}{m} . \quad (5.3)$$

Підставляючи (5.1) і (5.3) у (5.2), знайдемо:

$$y = \frac{eE_y}{2mv_0^2} \cdot Z^2 . \quad (5.4)$$

Як випливає з (5.4), траєкторія електрона між пластинами, що відхиляють, є параболою. На виході з пластин траєкторія відхиляється від первісного напрямку на кут α_1 , і зміщується на h_1 :

$$h_1 = \frac{eE_y}{2mv_0^2} \cdot l_1^2 , \quad (5.5)$$

де l_1 – довжина пластин конденсатора.

Диференціюючи (5.4) по Z , одержимо:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{eE_y}{mv_0^2} \cdot l_1 . \quad (5.6)$$

Знайдемо відхилення h електронної плями на екрані осцилографічної трубки. Позначаючи відстань від екрана до пластин, що відхиляють, через l_2 , одержимо:

$$h = h_1 + l_2 \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{eE_y l_1}{mv_0^2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right) \quad (5.7)$$

Позначимо відстань від середини пластин до екрану через L .
Тоді:

$$h = \frac{eE_y l_1 L}{mv_0^2} . \quad (5.8)$$

Швидкість електронів v_0 визначається напругою на другому аноді U_2 , так
Електрика і магнетизм

що

$$m v_0^2 / 2 = e U_2 . \quad (5.9)$$

Напруженість поля E_y між пластинами, що відхиляють:

$$E_y = \frac{U_y}{d}, \quad (5.10)$$

де U_y – напруга на пластинах, а d – відстань між ними.

Підставляючи (5.9) і (5.10) у (5.8), одержимо остаточно:

$$h = \frac{l_1 L U_y}{2 d U_2} . \quad (5.11)$$

Отже, зміщення променя на екрані пропорційне відхиляючій напрузі. З формули (5.11) обчислюється чутливість трубки до напруги:

$$X = \frac{h}{U_y} = \frac{l_1 L}{2 d U_2} \text{ [мм / В]} \quad (5.12)$$

Аналогічно обчислюється чутливість трубки для другої пари пластин.

Чутливістю трубки до напруги називають відхилення (у міліметрах) плями на екрані, викликане різницею потенціалів у 1 В на пластинах, що відхиляють.

У реальних трубках краї пластин, що відхиляють, часто трохи згинаються. Невраховане при одержанні формул розсіяне поле пластин і вплив вигнутих кінців приводять до ускладнення формули (5.11). Основний результат обчислень – пряма пропорційність між відхиленням променя і напругою на пластинах – при цьому, однак, не змінюється.

Блок розгортки

Щоб одержати зображення, що характеризує зміну досліджуваної величини з часом, на вертикальні пластини, що відхиляють, подають напругу досліджуваного сигналу, а на горизонтальні – пилкоподібну напругу, що лінійно змінюється з часом, під дією якого промінь зміщується зліва праворуч з постійною швидкістю. Таким чином, промінь описує на екрані криву, що показує зміну досліджуваної величини з часом.

Для здійснення розгортки необхідна пилкоподібна напруга (рис. 5.6), яка лінійно збільшується до визначеної величини U_3 , а потім швидко спа-

дає до первісної величини U_2 .

Якщо прикласти пилкоподібну напругу до горизонтально відхиляючих пластин, відхилення світлої плями на екрані уздовж горизонтальної осі буде відбуватися з постійною швидкістю (прямий хід проміння).

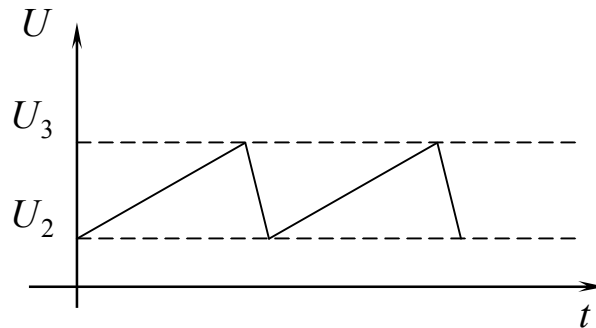


Рисунок 5.6 – Пилкоподібна напруга розгортки

Досягнувши максимального відхилення, промінь швидко повернеться у вихідне положення (зворотний хід променя). Пилкоподібна напруга, що подається на пластини горизонтальної розгортки, повинна задовольняти наступні основні вимоги: під час прямого ходу змінюватися лінійно, тобто рівномірно в часі, а під час зворотного ходу складати можливо меншу частину періоду пилкоподібної напруги.

Пилкоподібна напруга може бути отримана за допомогою різних схем, але у всіх випадках вона створюється в результаті періодичної повільної зарядки і швидкого розряду конденсатора чи навпаки.

Одержання пилкоподібної напруги можна пояснити, проаналізувавши роботу найпростішого генератора пилкоподібної напруги на неоновій лампі (рис. 5.7).

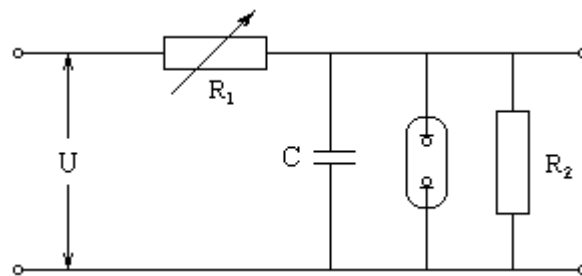


Рисунок 5.7 – Схема генератора пилкоподібної напруги на неоновій лампі

Конденсатор C заряджається від джерела постійної напруги через перемінний опір R_1 , паралельно якому включені неонові лампи й опір R_2 . Коли напруга на конденсаторі стане дорівнювати потенціалу U_3 запалювання неонові лампи, лампа запалюється і конденсатор швидко через неї розряджається. Розряд триває доти, поки напруга на конденсаторі не зменшиться до значення, дорівнюючого потенціалу U_2 , при якому лампа гасне. У

цей момент неонова лампа гасне, розрядний струм припиняється і знову починається зарядка конденсатора.

Зображення на екрані електронно-променевої трубки буде стійким, якщо частота розгортки в ціле число разів менше частоти досліджуваного сигналу. Щоб забезпечити такий зв'язок між зазначеними частотами, використовують синхронізацію частоти лінійного пилоподібного розгортання частотою досліджуваного сигналу. Для цього з підсилювача вертикального відхилення знімається частина досліджуваної напруги, що підсилюється підсилювачем синхронізуючої напруги і подається на генератор розгортки.

Під впливом цієї напруги тривалість періоду розгортки змінюється і частота розгортки стає дорівнювати або кратною частоті досліджуваної напруги. Таку синхронізацію називають внутрішньою. При зовнішній синхронізації безпосередньо на вхід підсилювача синхронізуючої напруги подається сигнал від незалежного зовнішнього джерела.

Порядок виконання роботи

У даній роботі вивчення роботи осцилографа проводиться на моделі ОЕУ – осцилограф електронний учбовий.

Перед початком виконання роботи необхідно насамперед ознайомитися з “Посібником з експлуатації”. Особливу увагу звернути на будову осцилографа, включення і роботу з осцилографом. До роботи можна приступати тільки після одержання допуску у викладача і здачі правил безпеки.

Завдання 1. Ознайомлення з деталями осцилографа і його включення

Не включаючи осцилограф, вивчити його будову, визначити призначення ручок керування, замалювати панель керування. Після цього включити осцилограф і перевірити управління променем.

Завдання 2. Визначення чутливості трубки осцилографа

Визначити чутливість системи горизонтальних пластин трубки. Для цього при виключеному генераторі розгортки і включеному підсилювачі вертикального відхилення необхідно подати на горизонтальні пластини напругу від мережі через автотрансформатор ЛАТР-1. Напруга, що подається, вимірюється вольтметром; вона не повинна перевищувати 45 – 50 В.

Чутливість трубки розраховується за формулою:

$$X = L / 2\sqrt{2}U, \quad (5.13)$$

де L – довжина світлової смужки на екрані трубки, обмірювана в міліметрах;

U – напруга, що подається на горизонтальні пластини трубки, величина яко вимірюється вольтметром змінного струму.

Завдання 3. Градування координатної сітки екрана осцилографа

Подати на вхід осцилографа змінну напругу 6,3 В частотою 50 Гц. Знаючи період коливань і підраховуючи число поділок, що укладаються в один період, визначити ціну поділки горизонтальної осі шкали екрана осцилографа в секундах. Аналогічно визначити ціну поділки вертикальної осі шкали осцилографа у вольтах. Розрахунки записати.

Контрольні запитання та завдання

1. З яких основних блоків складається ЕО?
2. Яке призначення ЕО?
3. Яка будова і принцип дії електронно-променевої трубки?
4. Яка будова і принцип дії “електронної гармати”?
5. Що називається чутливістю трубки осцилографа?
6. Наведіть оптичний аналог закону заломлення електронного променя в електричному полі?
7. Поясніть принцип дії генератора пилкоподібної напруги.
8. Поясніть принцип синхронізації.
9. Як можна використовувати ЕО в діагностиці автомобіля?

Лабораторна робота № 6

Тема. Визначення індукції магнітного поля котушки.

Мета. Визначити індукцію магнітного поля соленоїда для різних струмів; дослідити коливання постійного магніту в зовнішньому магнітному полі.

Устаткування:

- 1) соленоїд;
- 2) магніт, підвішений на нитці;
- 3) амперметр;
- 4) реостат;
- 5) ключ;
- 6) перемикач;
- 7) джерело постійного струму;
- 8) з'єднувальні дроти.

Практичне значення. Робота є гарною ілюстрацією застосування методів теорії коливань на практиці. У ній розглядаються фундаментальні закони електромагнетизму, що лежать в основі роботи багатьох приладів і пристроїв. Знання магнітних властивостей середовища є необхідним у багатьох областях людської діяльності.

Основні теоретичні відомості

Якщо помістити в однорідне магнітне поле плоский контур із струмом, то на нього буде діяти обертальний момент, визначуваний співвідношенням:

$$\vec{M} = I [\vec{S}, \vec{B}],$$

де $\vec{S}$ – вектор, спрямований уздовж нормалі $\vec{n}$ до площини контуру і чисельно дорівнюючий площі, охоплюваної цим контуром;

I – струм у контурі.

Добуток IS називають магнітним моментом контуру і позначають P_m . Звідси:

$$\vec{M} = [\vec{P}_m \vec{B}] \quad \text{чи} \quad M = [P_m B \sin \varphi], \quad (6.1)$$

де φ – кут між векторами $\vec{P}_m$ і $\vec{B}$. На постійний магніт у зовнішньому магнітному полі теж діє обертальний момент, визначуваний співвідношенням (6.1), але в цьому випадку під магнітним моментом $\vec{P}_m$ мають на увазі геометричну суму магнітних моментів атомів даного магніту.

Постійний магніт, закріплений так, щоб він міг обертатися тільки навколо вертикальної осі, у магнітному полі Землі розташується своїм магнітним моментом не уздовж вектора індукції $\vec{B}$, як це впливає з формули (6.1), а уздовж горизонтальної складової цього вектора (рис.6.1).

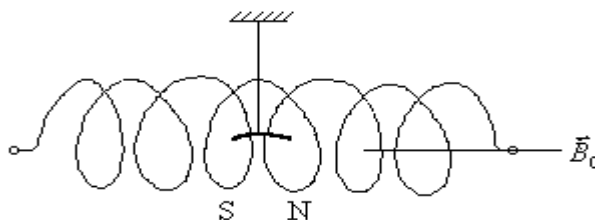


Рисунок 6.1 – Розташування постійного магніту в полі Землі

Такий магніт, будучи повернутим у горизонтальній площині на деякий кут щодо горизонтальної складової індукції $\vec{B}_0$, почне здійснювати крутильні коливання.

При малому куті відхилення φ (кут φ менше 6°) $\sin \varphi \approx \varphi$ коливання

будуть гармонійними і, як показує розрахунок, період коливань буде визначатися за формулою:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{M / \varphi}},$$

де I – момент інерції магніту.

Як видно з формули (6.1):

$$M / \varphi = P_m \cdot B_0.$$

Отже,

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{P_m \cdot B_0}}. \quad (6.2)$$

Якщо ж уздовж горизонтальної складової поля Землі буде діяти інше додаткове магнітне поле, індукцію якого потрібно визначити, то формула (6.2) приймає вигляд:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{P_m (B \pm B_0)}}, \quad (6.3)$$

де $\vec{B}$ – індукція вимірюваного поля. Знак «+» ставиться у випадку, коли $\vec{B}$ і $\vec{B}_0$ спрямовані в одну сторону, а «-» – у протилежні.

З формули (6.3) маємо:

$$B \pm B_0 = \frac{4\pi^2 I}{P_m} \cdot \frac{1}{T^2} = \frac{\alpha}{T^2},$$

де $\alpha = \frac{4\pi^2 I}{P_m}$ для даного магніту – величина стала.

Значення α можна знайти експериментально. З формули (6.2) видно:

$$\alpha = B_0 T_0^2. \quad (6.4)$$

Для міста Горлівка $B_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$. Знаючи період коливання даного магніту в магнітному полі Землі, з формули (6.4) можна знайти значення α .

З формули (6.3) випливає, якщо $\vec{B}$ і $\vec{B}_0$ спрямовані в одну сторону, то

$$\vec{B} + \vec{B}_0 = \frac{a}{T_1^2}$$

Отже:

$$B = \frac{\alpha}{T_1^2} - B_0 . \quad (6.5)$$

Таким чином, вивчаючи коливання постійного магніту в зовнішньому магнітному полі, можна визначити індукцію цього поля.

Схема устаткування та її опис

Для виміру індукції магнітного поля соленоїда магніт, підвішений на нитці, поміщають у соленоїд. До кінців соленоїда підводять напругу за схемою, показаною на (рис. 6.2).

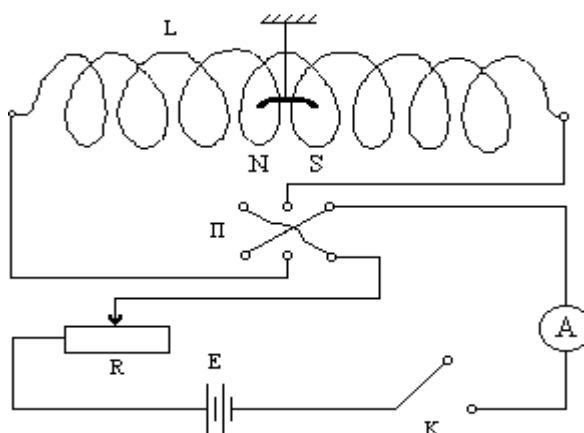


Рисунок 6.2 – Монтажна схема

де L – соленоїд; NS – магніт; Π – перемикач; A – амперметр; R – реостат; K – ключ; E – джерело напруги

Порядок виконання роботи

1. Зберіть прилади за схемою (див. рис.6.2).
2. Установіть соленоїд L так, щоб його вісь збігалася з напрямком магнітного меридіана, при цьому магніт повинен розташуватися уздовж осі соленоїда.
3. Поворотом магніту (в центрі соленоїда), щодо вертикальної осі на кут $4 - 6^\circ$, виведіть його зі стану спокою. Виміряйте секундоміром час t_0 , за який магніт робить N_0 крутильних коливань (наприклад, 10). Запишіть час t_0 усіх N_0 коливань. Результати вимірів занесіть у табл. 6.1, для трьох дослідів.
4. Замкніть ключ K і установіть реостатом невеликий струм (наприклад,

0.2 А).

Визначте, як у п.3, час десяти крутильних коливань t_1 . Потім поміняйте за допомогою перемикача Π напрямок струму і виміряйте час десяти крутильних коливань t_2 . З формули (6.3) випливає, що більший період відповідає випадку $\vec{B} \uparrow \downarrow \vec{B}_0$, а менший – випадку $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_0$. Розрахункова формула (6.5) отримана для випадку $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_0$. Порівнюючи час t_1 з'ясуєте, яке положення перемикача відповідає цьому випадку. Установіть перемикач так, щоб $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_0$, і в подальшому його не перемикайте.

- Проведіть триразово вимір часу 10 коливань при 5-ти значеннях струму. Отримані дані занесіть у табл. 6.2.

Таблиця 6.1 – Визначення постійної магніту в середньому перетині соленоїда.

№ з/п	N_0	t_0 (с)	T_0 (с)	$\bar{T}_0$ (с)	$\bar{\alpha}$
1					
2					
3					

Таблиця 6.2 – Визначення індукції B в середньому перетині соленоїда.

№ з/п	I (А)	N_1	t_{11} (с)	t_{12} (с)	t_{13} (с)	T_1 (с)	B
1							
2							
3							
4							
5							

Обробка результатів вимірів

- За результатами вимірів (п.3 порядку виконання роботи) визначте період T_0 коливань магніту в полі Землі за формулою $T_0 = t_0 / N_0$. Потім розрахуйте постійну α за формулою (6.4), взявши середнє значення $\bar{T}_0$.
- За результатами вимірів (п.4,5) визначте T_1 за формулою $T_1 = t_1 / N_1$.
- Розрахуйте індукцію магнітного поля соленоїда в середньому перетині за формулою (6.5) для п'яти дослідів.
- Побудуйте на міліметровому папері графік $B = f(I)$.

5. Для всіх (п'яти) значень струму розрахуйте наближені значення індукції в середньому перетині соленоїда за формулою нескінченно довгого прямого соленоїда:

$$B = \mu_0 \mu I W / l \quad (6.6)$$

де W – число витків соленоїда;

l – довжина соленоїда;

μ_0 – магнітна стала;

μ – відносна магнітна проникність середовища.

Порівняйте отримані результати з результатами дослідів і зробіть висновки.

6. Розрахунок помилок вимірів проведіть згідно з існуючими правилами.

Контрольні запитання і завдання

1. Чи може графік $B = f(I)$ пройти через початок координат?
2. Якщо графік $B = f(I)$ має вигляд прямої лінії, то що можна сказати про магнітні властивості середовища у середині котушки? Розкажіть про діамагнетики і парамагнетики.
3. Як, користаючись законом повного струму, розрахувати B у середині на осі нескінченно довгого соленоїда?
4. Виведіть розрахункову формулу B у цій роботі.
5. Розкажіть про феромагнетики. Розкрийте зміст понять: гістерезис, домени, точка Кюрі.
6. Сформулюйте та запишіть закон Біо-Савара-Лапласа.
7. Розкрийте фізичний зміст відносної магнітної проникності (μ).

Лабораторна робота № 7

Тема. Визначення горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі.

Мета. Навчитися експериментально визначати горизонтальну складову індукції магнітного поля Землі та вивчити основні силові характеристики магнітного поля (МП) та МП Землі.

Устаткування:

- 1) джерело постійного струму;
- 2) тангенс-гальванометр;
- 3) амперметр типу Е513 або МВА47/5;
- 4) реостат типу РПШ-5 або РСР до 3А;
- 5) подвійний вимикач;
- 6) з'єднувальні дроти.

Практичне значення. Закони, які лежать в основі даної роботи (закон Біо-Савара-Лапласа, правила векторного додавання) є фундаментальними законами електромагнетизму і основними в роботі багатьох електровимірювальних приладів і електрообладнання (електродвигунів). Вивчення магнітного поля (МП) Землі (геомагнітного поля) має прикладне значення для навігації, магніторозвідки корисних копалин, космонавтики, а також загальне біологічне значення, тому що магнітні явища сильно впливають на працездатність людей, наприклад, на водія автотранспорту.

Теоретичні відомості та опис приладів

Силовую, векторною характеристикою в даній точці магнітного поля є вектор індукції МП ($\vec{B}$). Числове значення його індукції дорівнює:

$$B = \frac{M_{\max}}{P_m} = \frac{F \cdot l}{I \cdot S}, \quad (7.1)$$

де $M_{\max} = F l$ – механічний момент сили, який діє на рамку з струмом I в даній точці поля, $P_m = IS$ – магнітний момент рамки з площею перерізу S .

За одиницю індукції в СІ прийнята Тесла:

$$Tл = \frac{H \cdot м}{A \cdot м^2} = \frac{Дж}{A \cdot м^2} = \frac{ABc}{A \cdot м^2} = \frac{Bc}{м^2} = \frac{Bб}{м^2},$$

або

$$Tл = \frac{Hм}{Am^2} = \frac{H}{Am}$$

Для графічного зображення МП користуються лініями магнітної індукції. Лініями магнітної індукції називають криві, дотичні до яких у кожній точці збігаються з напрямом вектора $\vec{B}$ у цих точках поля. При цьому величина індукції МП графічно зображується різною густиною на одиницю площі силових ліній. Якщо поле однорідне, то й густина силових ліній скрізь однакова (рис. 7.1).

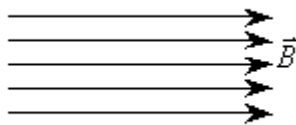


Рисунок 7.1 – Лінії магнітної індукції однорідного МП

В неоднорідному МП густина силових ліній неоднакова (рис 7.2).

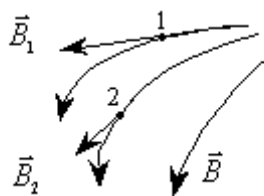


Рисунок 7.2 – Лінії магнітної індукції неоднорідного МП

Оскільки МП струму діє на магнітну стрілку, орієнтуючи її в певному напрямі, то напрям орієнтації, наприклад північного полюса стрілки, можна обрати за напрям індукції МП в точці розміщення магнітної стрілки (зрозуміло, що стрілка при цьому повинна мати малі розміри, вона відіграє роль пробного елемента в точці). За домовленістю так і роблять (рис. 7.3)

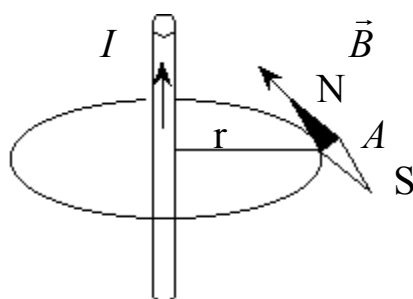


Рисунок 7.3 – Лінії магнітної індукції прямолінійного провідника зі струмом

Однак практично не завжди можна скористатися магнітною стрілкою (або рамкою з струмом чи котушкою), особливо у разі складних полів або наявності речовини. Зручним є правило, яке називають правилом гвинта (правилом свердлика). Якщо поступальний рух гвинта з правою різьбою збігається з напрямом струму, то напрям МП збігається з напрямом кінця рукоятки гвинта (рис. 7.4). досліди з залізними ошурками показують, що

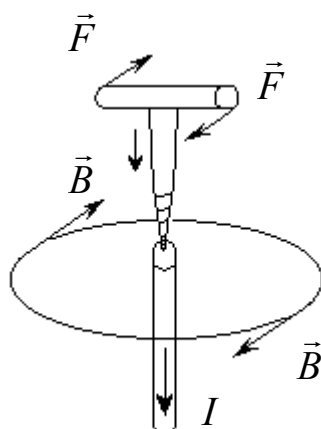


Рисунок 7.4 – Ілюстрація правила гвинта

лінії магнітної індукції МП навколо прямолінійного провідника із струмом

мають форму концентричних кіл (рис. 7.5), які лежать у площинах, перпендикулярних до струму у провіднику. Отже, вектор індукції МП $\vec{B}$ направлен по дотичній в кожній точці до відповідного концентричного кола (рис. 7.4).

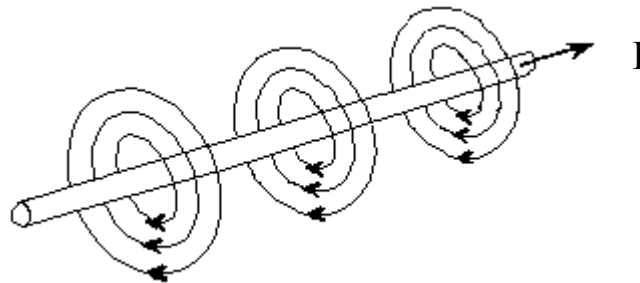


Рисунок 7.5 – Лінії магнітної індукції прямолінійного провідника зі струмом

Відомо, що Земля являє собою величезний магніт. Магнітні полюси Землі не збігаються з географічними. Південний полюс МП Землі знаходиться біля північних берегів Америки, близько 75° північної широти і 101° західної довготи, а північний полюс – в Антарктиді, від 67° південної широти і 140° східної довготи (положення магнітних полюсів Землі з часом повільно змінюється).

Походження МП Землі пов'язують з конвективними рухами провідної рідинної речовини в земному ядрі. В навколоземному просторі МП утворює магнітну пастку для заряджених частинок з великою енергією – радіаційний пояс.

Існування МП Землі безпосередньо підтверджується відхиленням магнітної стрілки при її вільному підвісі. При цьому остання встановлюється у напрямі дотичної до лінії індукції МП Землі. Значення індукції $\vec{B}$ МП Землі невеликі і змінюються від $1,2 \cdot 10^{-5}$ Тл на екваторі до $7,0 \cdot 10^{-5}$ Тл поблизу магнітних полюсів.

Основними параметрами МП Землі є: магнітне нахилення Θ (кут між напрямом вектора $\vec{B}$ і площиною горизонту) (рис. 7.5а), магнітне схилення φ (кут між горизонтальною складовою вектора $\vec{B}$ і площиною географічного меридіана) і горизонтальна складова індукції МП Землі $\vec{B}_2$ (рис. 7.6).

Географічний меридіан – напрям, що визначає дійсне положення лінії північ – південь у певній місцевості.

Магнітний меридіан – уявна лінія на земній поверхні, що збігається з напрямом земного МП (напрямок стрілки компаса збігається з напрямом магнітного меридіана).

У першому наближенні МП Землі можна уявити як поле однорідно

намагніченої кулі. На магнітних полюсах магнітне нахилення дорівнює $\Theta = 90^\circ$. Тому повна індукція і вертикальна складова $\vec{B}_v$ МП мають однакові значення – магнітна стрілка встановлюється у вертикальному положенні.

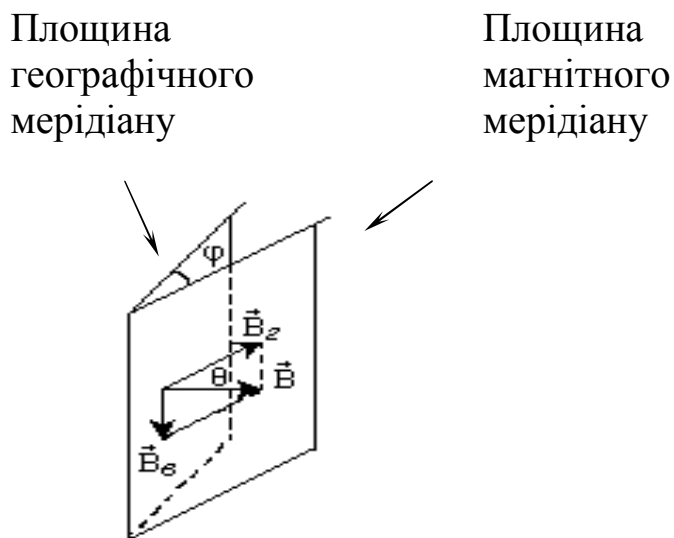


Рисунок 7.6 – Визначення параметрів МП Землі

На магнітному екваторі ($\Theta = 0^\circ$) повна індукція $\vec{B}$ і горизонтальна складова $\vec{B}_h$ дорівнюють одна одній – магнітна стрілка встановлюється в горизонтальному положенні.

Схематично поле Землі зображено на (рис. 7.7). Насправді ж поле має досить складний характер. Його регулярність порушується впливом потоку швидких частинок, які породжуються сонячними спалахами.

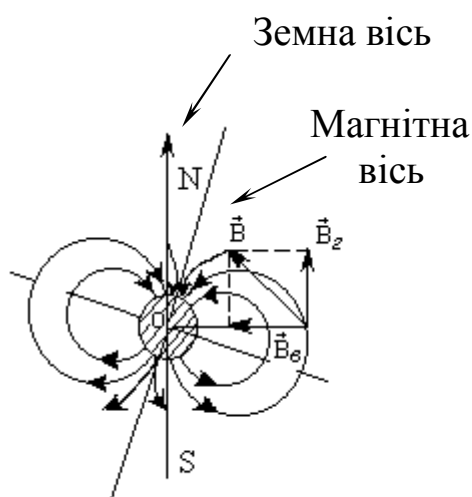


Рисунок 7.7 – Магнітне поле Землі

Горизонтальну складову $\vec{B}_h$ визначають за допомогою приладу, що

називається тангенс-гальванометром. Він складається з колової рамки, розміщеної вертикально в площині магнітного меридіана. У центрі рамки на вертикальній осі закріплено невелику магнітну стрілку, яка може вільно обертатися тільки в горизонтальній площині. Вона повинна бути настільки малою, щоб можна було вважати індукцію, яка діє на полюси стрілки, такою, що дорівнює індукції в центрі колового струму.

При пропусканні струму через рамку, магнітна стрілка зазнає дії двох МП, а саме: МП Землі (йдеться про горизонтальну складову $\vec{B}_z$, оскільки вертикальна складова урівноважується реакцією опори стрілки) і МП колового струму з індукцією $\vec{B}_k$, що проходить через рамку тангенс-гальванометра.

Під дією цих полів магнітна стрілка встановлюється остаточно в певному напрямі під кутом α до напрямку горизонтальної складової МП Землі (рис. 7.8). Тоді маємо:

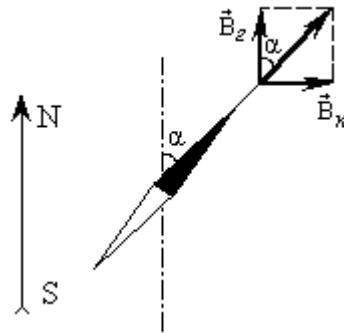


Рисунок 7.8 – Орієнтація магнітної стрілки у тангенс-гальванометру

$$B_z = B_k \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \frac{B_k}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (7.2)$$

де $\vec{B}_k$ – індукція колового струму.

Індукція МП в центрі колового струму:

$$B_k = \frac{\mu_o \cdot I \cdot N}{2R}, \quad (7.3)$$

де N – число витків контуру;

I – сила струму, що проходить через контур;

R – радіус контуру.

Величини N і R тангенс-гальванометра підраховуються і заміряються відповідним чином.

В даній роботі $R = 0,125$ м і $N = 11$ витків.

Тоді робоча формула має вигляд:

$$B_z = \frac{\mu_o \cdot I \cdot N}{2R \cdot \operatorname{tg} \alpha} . \quad (7.4)$$

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло за схемою, рис. 7.9.

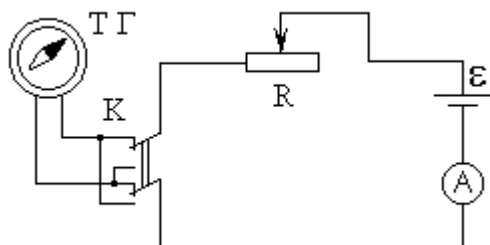


Рисунок 7.9 – Схема електричного кола

2. Повертаючи підставку тангенс-гальванометра, розташувати колову рамку в площині магнітного меридіану. При цьому один з полюсів магнітної стрілки повинен знаходитися проти нульової поділки шкали. Закріпити підставку в такому положенні.
3. Замкнути коло і при довільних значеннях струмів визначити кут повороту магнітної стрілки. Обов'язково визначте силу струму, яка відповідає куту 45^0 .
4. Результати вимірювань для 7-и дослідів занести в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1

№ з/п	A	I	R	N	Δ	ΔI	ΔR
	(град)	(А)	(м)		(град)	(А)	(м)

Обробка результатів експерименту

Провести статистичну обробку результатів експерименту згідно з існуючими правилами за допомогою комп'ютера (ЕОМ).

Контрольні запитання і завдання

1. Охарактеризуйте основні параметри магнетизму.
2. Які будова і принцип дії тангенс-гальванометра?
3. Чому $\vec{B}_z$ найкраще вимірювати при кутах відхилення 45^0 ?
4. Де знаходиться північний (магнітний) полюс Землі?
5. За кутом магнітного нахилання Θ для міста Горлівка визначіть повну індукцію МП.

6. Сформулюйте закон Біо-Савара-Лапласа.
7. Який напрям має сила з якою МП Землі діє в північній півкулі на горизонтальний провід зі струмом? Розглянути випадки:
 - провід розташований в площині магнітного меридіану, і струм протікає з півночі на південь;
 - провід перпендикулярний площині магнітного меридіану, і струм протікає з заходу на схід.

Лабораторна робота № 8

Тема. Визначення питомого заряду електрона за допомогою магнетрона.

Мета. Визначити питомий заряд електрона методом магнетрона і ознайомитися з роботою магнетрона.

Прилади і матеріали:

- 1) соленоїд;
- 2) двоелектродна лампа;
- 3) реостат;
- 4) потенціометр;
- 5) амперметр;
- 9) міліамперметр;
- 10) вольтметр;
- 11) джерела постійного струму напругою 6,3 В, 50 В, і 250 В.

Практичне значення. Для розрахунку багатьох приладів і пристроїв необхідно знати характер і закони руху заряджених частинок під впливом різних комбінацій електричних і магнітних полів.

Теоретичні відомості

Магнетроном називається електронна лампа з розжарюваним катодом, у якій потік електронів керується одночасно електричним і магнітним полями.

Як магнетрон можна використовувати двоелектродну лампу з циліндричним анодом A і прямолінійним катодом K , розташованим на осі анода. Лампа знаходиться в аксіальному (спрямованому уздовж осі анода) магнітному полі (рис. 8.1).

Електрони, що випускаються розжареним катодом, під дією електричного поля між анодом і катодом рухаються по радіальних траєкторіях (при відсутності магнітного поля).

Якщо двоелектродну лампу помістити в аксіальне магнітне поле (на лампу надіти соленоїд), то на заряд, що рухається, буде діяти сила Лорен-

ца, числове значення якої:

$$F_l = e v B \sin \alpha, \quad (8.1)$$

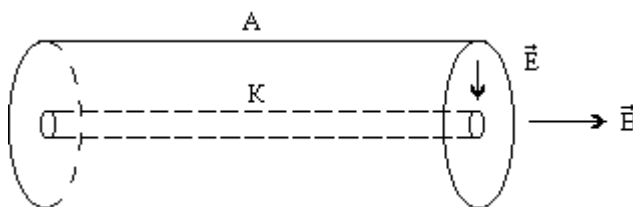


Рисунок 8.1 – Схема двоелектродної лампи

де e – заряд електрона;

v – швидкість електрона;

B – індукція зовнішнього магнітного поля;

α – кут між векторами $\vec{v}$ і $\vec{B}$.

Оскільки $\vec{v} \perp \vec{B}$, то величина кінетичної енергії електрона не змінюється, а відбувається скривлення траєкторії руху електрона.

При збільшенні індукції магнітного поля траєкторія руху електронів буде усе більш викривлятися і при деякому «критичному» значенні індукції магнітного поля електрони перестануть досягати анода і по замкнутих траєкторіях будуть повертатися назад на катод (рис. 8.2).

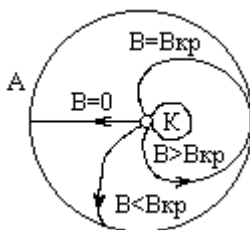


Рисунок 8.2 – Траєкторії електронів, що вилітають з катода при різних значеннях індукції магнітного поля

При подальшому зростанні індукції магнітного поля радіус кривизни траєкторії електронів буде зменшуватися. За критичне значення індукції магнітного поля $B_{кр}$ приймається її мінімальне значення, при якому електрони не будуть досягати анода. Якщо знехтувати початковими швидкостями електронів і вважати, що F_l є доцентровою силою, то:

$$F_l = F_{ц.с.} = m v^2 / R, \quad (8.2)$$

де m – маса електрона;

R – радіус кривизни траєкторії електронів у магнітному полі. При критичному значенні індукції магнітного поля радіус кривизни траєкторії електронів:

$$R = (b - R_k) / 2, \quad (8.3)$$

де b – радіус циліндра анода;

R_k – радіус нитки катода.

Враховуючи те, що нитка катода тонка в порівнянні з діаметром циліндра анода, радіусом катода R_k можна знехтувати. Тоді радіус кривизни траєкторії електронів буде дорівнювати половині радіуса анода, тобто:

$$R = b / 2. \quad (8.4)$$

З формул (8.1), (8.2) і (8.4) можна визначити питомий заряд електрона e/m для критичного значення індукції магнітного поля:

$$e / m = 2v / bB_{кр}. \quad (8.5)$$

Швидкість електронів можна визначити з формули роботи переміщення заряду від катода до анода (при різниці потенціалів між катодом і анодом U_a). Ця робота дорівнює кінетичній енергії електрона, тобто:

$$eU_a = \frac{mv^2}{2}. \quad (8.6)$$

$$\text{Звідси} \quad v = \sqrt{2U_a e / m}. \quad (8.7)$$

Підставляючи цей вираз швидкості у формулу (8.5), одержимо:

$$e / m = 8U_a / b^2 B_{кр}^2. \quad (8.8)$$

Аксіальне магнітне поле на осі соленоїда кінцевої довжини визначається формулою (у системі СІ):

$$B = \frac{\mu\mu_0 I_c N}{2l} (\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2), \quad (8.9)$$

де μ_0 – магнітна стала (у системі СІ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

μ – відносна магнітна проникність середовища;

N – число витків соленоїда;

l – довжина соленоїда;

γ_1 і γ_2 – кути між віссю соленоїда і радіусом-вектором, проведеним з точки, в якій визначається індукція поля до кінців соленоїда;

I_c – струм, що протікає по соленоїду.

Принципова схема установки (рис. 8.3) складається з трьох електричних кіл: анодного кола, кола катода і кола соленоїда. Анодне коло складається з потенціометра R_2 , вольтметра V , міліамперметра mA , катода K і живиться від джерела постійного струму напругою 250 В. Коло соленоїда складається з реостата R_1 , соленоїда L , амперметра A і живиться від джерела постійного струму напругою 50 В.

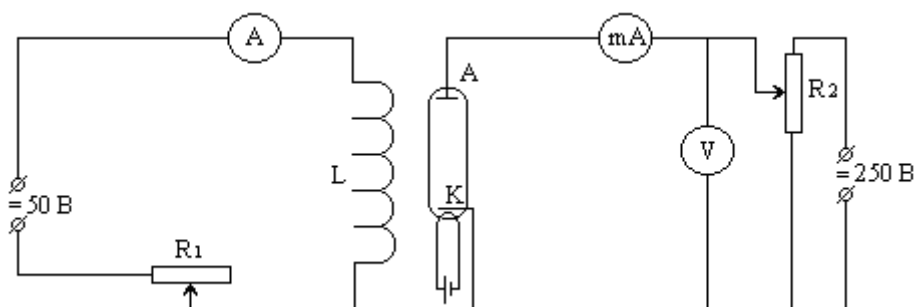


Рисунок 8.3 – Монтажна схема установки

Соленоїд умовно зображений на схемі поруч з лампою; у дійсності ж, як вказувалося вище, лампа знаходиться у середині соленоїда.

Порядок виконання роботи

1. Зберіть установку за схемою, зазначеною на рис. 8.3.
2. Ввімкніть випрямляч у мережу і через 2–4 хвилини потенціометром R_2 установіть на вольтметрі таку напругу, щоб стрілка міліамперметра mA в колі анода знаходилась на одній з останніх поділок. Запишіть значення U_a .
3. Ввімкніть коло соленоїда і реостатом R_1 поступово збільшуйте силу струму соленоїда I_c , відраховуючи її по амперметру A . Одночасно стежте за падінням сили анодного струму I_a по міліамперметру в колі анода. Значення сили струму I_c і відповідні значення I_a занесіть у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1

I_c (A)							
I_a (mA)							
ΔI_a (mA)							

У третій рядок таблиці запишіть різницю ΔI_a двох сусідніх відліків анодного струму I_a , що відповідають двом сусіднім значенням струму соленоїда I_c . Величина ΔI_a характеризує крутість спадання струму під дією магнітного поля, створеного струмом соленоїда. Найбільша величина спадання анодного струму ΔI_a відповідає критичному значенню струму соленоїда $(I_c)_{кр}$. З першого рядка таблиці візьміть значення $(I_c)_{кр}$, що відповідає максимальному значенню ΔI_a третього рядка. Наочне уявлення про визначення $(I_c)_{кр}$ дає графік залежності $\Delta I = f(I_c)$ (рис. 8.4 побудований за даними таблиці).

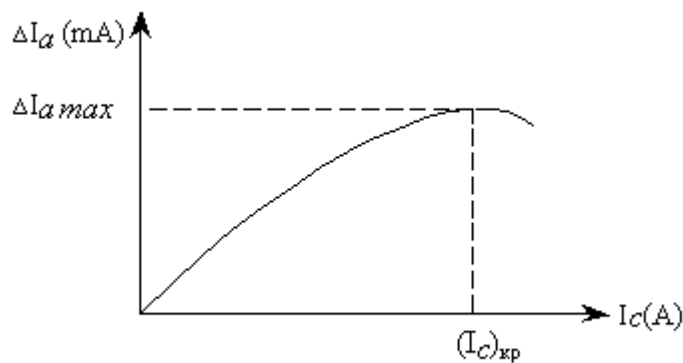


Рисунок 8.4 – Графік залежності $\Delta I = f(I_c)$.

Обробка результатів виміру

1. За допомогою таблиці визначте критичне значення сили струму соленоїда $(I_c)_{кр}$.
2. За формулою (8.9) обчисліть значення $B_{кр}$, підставляючи замість I_c значення $(I_c)_{кр}$ і значення параметрів установки: $N = 570$ витків, $l = 7.5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2 = 1.82$, $b = 1.1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.
3. Підставивши у формулу (8.8) знайдене значення $B_{кр}$ і числові значення величин U_a і b , визначте питомий заряд електрона (у системі одиниць СІ).
4. По отриманим даним, користуючись формулою (8.7) обчисліть швидкість електрона.
5. Користуючись таблицями довідника визначте e/m .
6. Оцініть помилку виміру e/m , зрівнюючи експериментальне значення e/m з його табличним значенням.

Контрольні запитання і завдання

1. Визначення сили Лоренца. Чи виконує сила Лоренца роботу? Відповідь обґрунтувати.

2. Який характер руху зарядженої частинки в електричному $\vec{E}$ і магнітному $\vec{B}$ полях, якщо вона влітає в область цих полів зі швидкістю $\vec{v}$, орієнтованою до напрямку полів так, як це показано на рисунках 8.5 і 8.6?

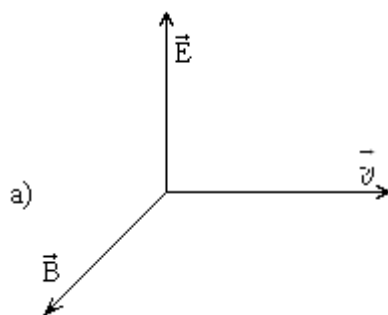


Рисунок 8.5 – Заряджена частинка влітає в схрещені поля $\vec{E}$ і $\vec{B}$.

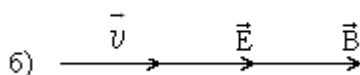


Рисунок 8.6 – Заряджена частинка влітає в однаково направлені поля $\vec{E}$ і $\vec{B}$.

3. Виведіть формулу для визначення e/m за методом магнетрона.

4. Поясніть існування «критичного» значення індукції магнітного поля соленоїда.

5. Назвіть фактори, які найбільше впливають на похибку у визначенні питомого заряду електрона.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерук І. М. Загальна фізика: Електрика і магнетизм: підручник. – 2-е вид., перероб. і допов. / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Вища шк., 1995. – 392с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. / И. В. Савельев. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – Т.2. – 496 с.
3. Трофимова Т. И. Курс физики: учебник для студентов вузов. / Т.И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 1985. – 432с.
4. Яворский Б.М. Справочник по физике. / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.
5. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 351с.
6. Физический энциклопедический словарь / [гл. ред. А. М. Прохоров]. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
7. Загальна фізика: лабораторний практикум: навч. посібник / В.М. Барановський, П. В. Бережний, І. Т. Горбачук та ін.; за заг. ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища шк., 1992. – 509с.

Додаток А

Обробка експериментальних даних за допомогою ЕОМ

Обробка експериментальних даних за допомогою ЕОМ

1. Увімкнути ЕОМ та принтер. Вставити папір.
2. Увійти в каталог ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ.
3. Запустити потрібний файл, користуючись таблицією А1.
4. Увести: прізвище, ім'я та по батькові, назву групи, дату виконання розрахунків.
5. Результати комп'ютерної обробки лабораторної роботи показати викладачу, а потім підклеїти їх у зошит.

Таблиця А1

Номер лабораторної роботи	Назва exe - файла	Назва Excel – файла
ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ		
1е		1е
2е	e1542.exe	2е
3е	1st. exe	3е_1 або 3е_2
4е	e1544_1.exe або e1544_2	4е
6е	e1545.exe	6е
7е	7st. exe	7е
8е	e1546.exe	8е

Додаток Б

Коефіцієнт Стюдента $t_{\alpha,n}$

Таблиця Б.1

n	α	
	0,9	0,95
2	6,31	12,7
3	2,92	4,3
4	2,35	3,18
5	2,13	2,78
6	2,02	2,57
7	1,94	2,45
8	1,90	2,37
9	1,86	2,31
10	1,83	2,26
11	1,81	2,23
12	1,80	2,20
13	1,78	2,18
14	1,77	2,16
15	1,76	2,15
16	1,75	2,13
17	1,75	2,12
18	1,74	2,11
19	1,73	2,10
20	1,73	2,09
21	1,73	2,09
22	1,72	2,08
23	1,72	2,07
24	1,71	2,07
25	1,71	2,06
26	1,71	2,06
27	1,71	2,06
28	1,70	2,05
29	1,70	2,05
30	1,70	2,05
31	1,70	2,04

Галіахметов Алмаз Мансурович
Бруяка Ольга Олегівна
Уколов Олексій Іванович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З РОЗДІЛУ КУРСУ ФІЗИКИ «ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ»
ГАЛУЗІ ЗНАНЬ 0701 «ТРАНСПОРТ І ТРАНСПОРТНА ІНФРА-
СТРУКТУРА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ – 6.070106 «АВТОМО-
БІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ», 6.070101 – «ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ
(АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ) »
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0601 – «БУДІВНИЦТВО І АРХІТЕКТУРА»,
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.060101 – «БУДІВНИЦТВО»
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0401 – «ПРИРОДНИЧІ НАУКИ»
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.040106 – «ЕКОЛОГІЯ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ»**

Підписано до друку 17.11.2011 р. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 3.13. Зам. № 442.

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
Автомобільно-дорожній інститут
84646, м. Горлівка, вул. Кірова, 51
Редакційно-видавничий відділ

Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовників і розповсю-
джувачів видавничої продукції ДК № 2982 від 21.09.2007р.