

**Міністерство освіти і науки України  
Житомирський державний університет імені Івана Франка**

***О.К. Ткаченко М.В. Федьович***

**ПРАКТИКУМ ІЗ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО  
ЕКСПЕРИМЕНТУ**

**Електродинаміка**

**Житомир 2012**

## ПЕРЕДМОВА

- Експериментальні методи пізнання – важлива складова частина методологічного арсеналу фізичної науки. Більше того, експеримент як штучне відтворення фізичних явищ з метою їх, багаторазового спостереження і детального вивчення, один з основних методів пізнання.

- Він, по-перше, дає змогу одержати нові емпіричні дані, які систематизуються й узагальнюються в законах і теоріях. По-друге, він є критерієм істинності положень науки і проводиться в інтересах підтвердження чи спростування вже існуючих ідей та теорій. По-третє, через експеримент здійснюється взаємозв'язок фізичних знань із практикою та виробництвом.

- Хоч сучасна фізика і поділяється на експериментальну та теоретичну, в загальному процесі пізнання експериментальні і теоретичні методи тісно взаємопов'язані. Будь-який експеримент від початку до кінця пронизується теорією. У свою чергу, результати, одержані шляхом теоретичних досліджень, підлягають експериментальній перевірці. Отже, теорія й експеримент – дві сторони єдиного процесу пізнання.

- Враховуючи той факт, що навчальне пізнання багато в чому подібне до наукового, досягти бажаних результатів у навчанні можна, приділяючи належну увагу методам і засобам, характерним для фізичної науки. Відображення експериментального характеру фізичної науки здійснюється в шкільному курсі шляхом широкого використання різних видів фізичного експерименту: демонстраційних і фронтальних дослідів, фронтальних лабораторних робіт, робіт фізичного практикуму, експериментальних задач, позакласних дослідів.

- Майже всі ці види фізичного експерименту увійшли до даного посібника, в якому подається опис лабораторних робіт із методики й техніки шкільного фізичного експерименту. Запропонований посібник містить завдання, які спрямовують навчальну

самостійну роботу студентів на вивчення шкільного обладнання й оволодіння методикою проведення експерименту. Майбутній учитель повинен навчитись грамотно з методичної й технічної точок зору проводити навчальний експеримент, за його допомогою знайомити учнів із методами природничонаукового дослідження, розвивати творчий потенціал їх, мислення .

- Оскільки вчитель виступає посередником між учнями і навчальним експериментом, від його методичної майстерності і технічної грамотності залежить успіх у засвоєнні навчального предмета. Тому-то лабораторні роботи з методики й техніки навчального фізичного експерименту передбачають експериментальну підготовку майбутнього вчителя як у плані оволодіння технікою та технологією фізичного експерименту, так і в напрямку формування навичок розв'язування конкретних дидактичних завдань, як-от:

- а/ дотримання певної логічної послідовності в доборі демонстрацій;

- б/ визначення мети, функціонального призначення досліду;

- в/ раціонального розміщення приладів при проведенні демонстрацій;

- г/ надання демонстрації проблемного характеру;

- д/ виявлення методичних переваг однієї демонстрації перед іншою;

- е/ порівняльна методична оцінка варіантів досліду;

- є/ вибір доцільної методики роботи з таблицею, відеофільмом, кінофільмом, демонстрацією тощо.

- Посібник написано з урахуванням програм шкільного курсу фізики та вузівського курсу методики навчання фізики.

- На етапі самостійного опрацювання літературних джерел, студенту необхідно:

- ознайомитись з програмою середньої загальноосвітньої школи;
- повторити за шкільними та вузівськими підручниками теоретичний матеріал, пов'язаний з темою роботи;
- продумати методику проведення демонстрацій, передбачених інструкцією до лабораторної роботи;
- пригадати /або вивчити/ будову, принцип дії, правила користування приладами, які використовуються в роботі;
- обдумати відповіді на контрольні запитання;
- систематизувати й узагальнити отриману інформацію;
- зробити необхідні записи і зарисовки в робочому зошиті для лабораторних занять.

- Під час виконання лабораторної роботи необхідно проробити самостійно всі досліди, передбачені інструкцією, консультуючись, у разі потреби, із викладачем або лаборантом. При цьому слід пам'ятати, що мистецтво експериментування не є природним даром, воно виробляється практичним тренуванням. Щоб добре оволодіти фізичним експериментом, потрібні багаторазові й тривалі вправи в його проведенні. Відомий учений О. Ейхенвальд із метою відпрацювання техніки проведення дослідів приїжджав на лекцію з теоретичної фізики за дві години до її початку. Усі досліди проробляв сам. Причому не стільки з'ясовував те, чи получаються досліди /у їх надійності сумнівів не було/ скільки дбав про забезпечення доброї видимості і естетичної привабливості: виразність та переконливість дослідів, охайність приладів, розміщення викладача і його рух, доречність дослідів тощо.

- Щоб демонстраційні досліди ефективно виконували свої функції у навчанні, майбутній учитель повинен добре засвоїти основні вимоги щодо демонстраційного експерименту, а саме:

- ❖ підготовленість учнів до сприймання досліду;
- ❖ змістовність демонстраційного експерименту;
- ❖ наочність дослідів;
- ❖ їх простота;
- ❖ надійність;
- ❖ добра видимість;
- ❖ переконливість;
- ❖ естетичність;
- ❖ емоційність;
- ❖ короткочасність;
- ❖ додержання правил техніки безпеки.

- Будь-який дослід викликає мимовільну увагу учнів, але вона не стійка. Поставивши мету досліду, вчитель переводить її довільну, викликає інтерес, мобілізує увагу на основному, готує учнів до сприймання досліду. Учні повинні розуміти, для чого проводиться дослід, у чому вони мають переконатися, що зрозуміти в результаті досліду. Демонстрування дослідів без зазначення їхньої мети не ефективне.

- Необхідно наголосити, що дослід тільки тоді ефективний, коли його результат добре бачать усі учні. Намагання ж переконати учнів у тому, що в досліді, який не вдався, все-таки дещо вийшло, підриває авторитет учителя, порушує нормальний хід уроку. Коли трапилася невдача з демонстрацією, потрібно пояснити, причину невдачі і продемонструвати дослід повторно. А щоб уникнути цього,



демонстрацію слід ретельно готувати багаторазовою попередньою перевіркою, з'ясуйте оптимальні умови, за яких вона вдається найкраще.

- Щоб не забути тонкощів, від яких залежить успіх тих чи інших демонстрацій, необхідно фіксувати в робочому зошиті для лабораторних занять їхні секрети. Це значно скоротить час, необхідний учителю в майбутньому для повторної підготовки демонстраційного експерименту.

- Інтереси майбутньої професійної діяльності студентів вимагають, щоб на заняттях із методики й техніки шкільного фізичного експерименту вони набули вмінь і навичок у виконанні й оформленні шкільних фронтальних лабораторних робіт і робіт фізичного практикуму. Суттєвим засобом формування таких умінь і навичок у залученні студентів до активної діяльності з виконання завдань, характерних для практичної роботи педагога. Природно, що під час виконання шкільних фронтальних лабораторних робіт і робіт фізичного практикуму необхідно дотримуватися тих вимог, які пред'являються в школі до цих видів фізичного експерименту.

- Важливою методичною вимогою є оволодіння експериментальним методом, що реалізується в лабораторній установці. Не менш важливо знати конструкцію і правила користування приладами, які добираються відповідно до методу дослідження, вміти скласти установку. Під час вимірювань потрібно вміти правильно робити відлік значень вимірюваних величин за показами приладів, оцінювати реальність здобутих результатів. Треба враховувати обґрунтованість висновків, охайність і грамотність оформлення роботи.

- Письмове оформлення виконаної фронтальної лабораторної роботи та роботи фізичного практикуму повинно містити:

- назву й мету роботи;
- перелік обладнання, використаного в роботі;
- схематичний малюнок установки або схеми електричного кола;
- виведення розрахункової формули;
- звітну таблицю з результатами вимірювань і обчислень;
- графік (якщо такий передбачається завданням роботи);
- обчислення досліджуваних величин;
- записи необхідних пояснень;
- висновки з досліджень.

- Не останнє місце в підготовці майбутнього вчителя займають питання культури ведення записів у робочому зошиті та культури оформлення роботи. Записи слід вести охайно і грамотно, без

перекреслень і виправлень. Малюнки й таблиці мають бути виконані за допомогою креслярських інструментів олівцем або пастою.

- При виконанні робіт необхідно бути гранично акуратним і обережним, строго дотримуватись правил техніки безпеки. Після закінчення лабораторної роботи слід упорядкувати робоче місце.

- Захист лабораторної роботи передбачає: з'ясування рівня володіння теоретичним матеріалом, уміннями й навичками здійснювати вимірювання; розуміння методики й техніки фізичного експерименту, знання програми та шкільних підручників. Враховується акуратність і повнота опрацювання результатів спостережень та вимірювань, дотримання вимог щодо оформлення лабораторних робіт, знання літератури з фізичного експерименту. Важливим професійним елементом відповіді студента є вміння супроводжувати демонстрування дослідів змістовними, чіткими, лаконічними й вичерпними поясненнями на рівні, доступному для учнів відповідного класу.

## Лабораторна робота №1

### Електричне поле

**Мета:** оволодіти методикою й технікою проведення навчального демонстраційного експерименту з розділу фізики “Електричне поле”. Виконати роботи фізичного практикуму, передбачені програмою.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за вузівськими та шкільними підручниками.

**Завдання II.** Ознайомитись з умовами, які забезпечують успішне проведення дослідів з електростатики:

1. Перед вивченням теми всі прилади промити у воді з милом і просушити.
2. Скляні частини приладів покрити тонким шаром лаку.
3. Приміщення потрібно обов’язково провітрити.
4. На паличках для електризації на одному з кінців треба зробити мітку, щоб при проведенні дослідів брати її за один і той же кінець.
5. В деяких дослідах необхідне заземлення.
6. Руки повинні бути чисті і сухі.
7. Тримати дистанцію до приладів.
8. Електростатичні прилади слід тримати в темній зачиненій шафі.

**Завдання III.** Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### 1. Електризація різних тіл

**Мета:** показати, що електризуються всі тіла (діелектрики, провідники, рідини).

**Обладнання:** штатив, палички: ебонітова, з органічного скла, металева на ізольованій ручці; хутро, листова гума; різні тіла: дерев’яна рейка, металевий стержень, пластмасова лінійка, склянка з тубусом і краном знизу.

1. Електризацію діелектриків можна показати за допомогою скляної або ебонітової палички довжиною 40-60 см, які потрібно потерти об хутро, шкіру, папір, шовк. Найкраще дослід виходить, якщо потерти паличку з органічного скла хутром. Індикатором, у перших дослідах з електризації, можна використати діелектричну

(наприклад, дерев'яну) стрілку на голці або шматок вати, яка підвішена на довгій тонкій нитці.

2. Електризацію металів найпростіше показати наступним чином: металеву лопатку потерти об паличку, яка виготовлена з органічного скла. Якщо після цього лопатку піднести до шматка вати, то буде помітним її притягання до лопатки.

## **2. Взаємодія наелектризованих тіл**

**Мета:** показати, що наелектризовані тіла притягують всі тіла (легкі, важкі, тверді, рідини і газоподібні). Досліди повинні допомогти перебороти уяву учнів про те, що наелектризовані тіла притягують тільки легкі тіла.

**Обладнання:** штатив, електричний султан, дві гільзи на нитках, палички, сукно й хутро.

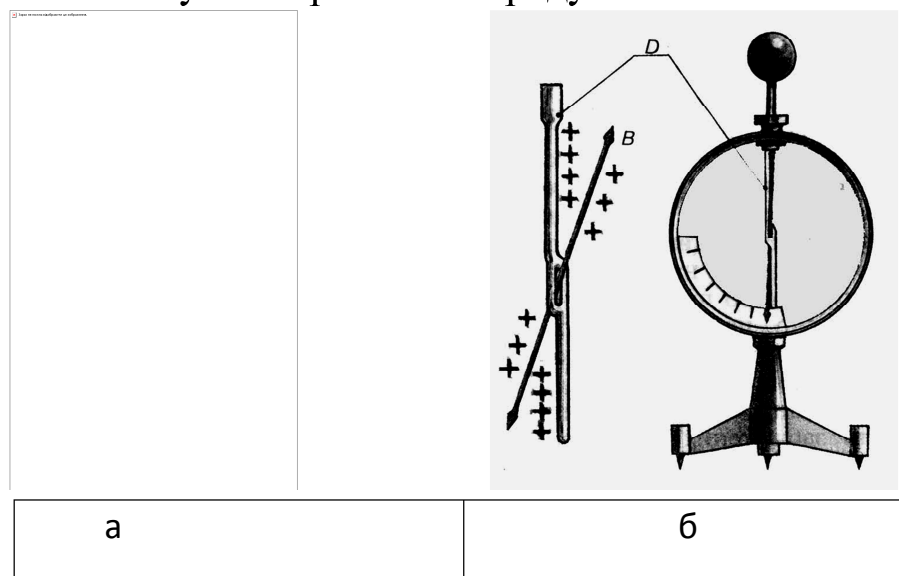
Електризують султан за допомогою наелектризованої палички (листочки султана розходяться в різні сторони). Потім повторюють дослід із гільзами наелектризовані тіла взаємно відштовхуються.

## **3. Будова і дія електроскопа й електрометра**

**Мета:** підготувати учнів до сприйняття матеріалу, який буде вивчатись пізніше.

Прилад, за допомогою якого можна з'ясувати, чи наелектризоване тіло, ґрунтується на взаємодії заряджених тіл. Він називається електроскопом (від грецьких слів: “електрон” і “скопо” – спостерігати, виявляти). Для виявлення наелектризованих тіл служать спеціальні прилади – **електроскопи**. Зовнішній вигляд приладу ви бачите на мал. 1а. Циліндричний корпус (1) закритий склом (2). Усередину приладу вставлений металевий стержень(3) з легенькими пелюстками (4). Від металевого корпусу приладу стержень відділений пластмасовою втулкою (5). Якщо виступаючої частини стержня торкнутися яким-небудь наелектризованим тілом, то пелюстки відхиляться один від одного

В електрометрі на кінці металевого стержня прикріплена стрілка, а на корпусі – шкала (мал. 1 б). З його допомогою можна виміряти величину електричного заряду.



#### 4. Одночасна електризація двох взаємодіючих тіл

**Мета:** показати, що при терті двох тіл на одному з них з'являється позитивний електричний заряд, а на другому – рівний йому негативний.

**Обладнання:** два електрометри, пластинки, розрядник, два кульові кондуктори.

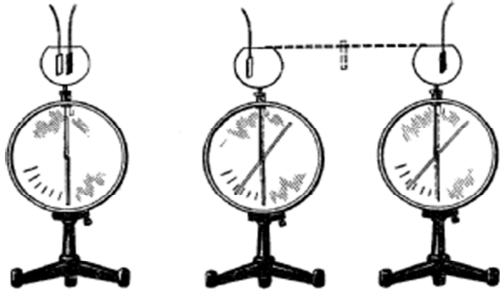
При електризації тертям заряджаються обидва тіла рівними й різнойменними зарядами. Це можна наочно показати, якщо скористатися двома пластинками для електризації (ебонітовою і скляною) й електрометром з великим пустотілим кульовим кондуктором.

Спочатку вносять в пустотілу кулю незаряджені пластинки і переконуються, що електрометр не виявляє яких-небудь зарядів. Тоді електризують пластинки, потерши одну об одну, і знову вносять їх всередину кулі. Тепер при внесенні кожної пластинки стрілка електрометра відхиляється на однаковий кут. На це звертають увагу.

Вносять в порожнину кулі, не торкаючись стінок, відразу обидві пластинки (мал. 2 а). Електрометр не виявить ніякого заряду – стрілка не відхилиться. Якщо ж забрати одну із пластин, то стрілка знову відхилиться.

З досліду роблять висновок, що заряди на обох пластинках протилежні за знаком і рівні за величиною.

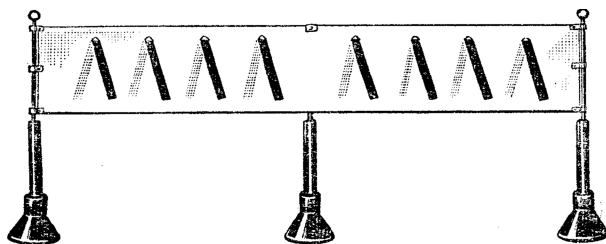
Дослід корисно продовжити, скориставшись двома однаковими електрометрами. Беруть дві пластинки на ізольованих ручках і, потерши їх, вносять в пустотілі кулі, насаджені на стержні електрометрів (мал. 2 б). При цьому, стрілки електроскопів відхиляються на однакові кути, що вказує на однакові величини зарядів на обох пластинах. З'єднуючи електроскопи за допомогою розрядника, спостерігають нейтралізацію зарядів. Це все вказує на рівність зарядів і їх різнойменність.



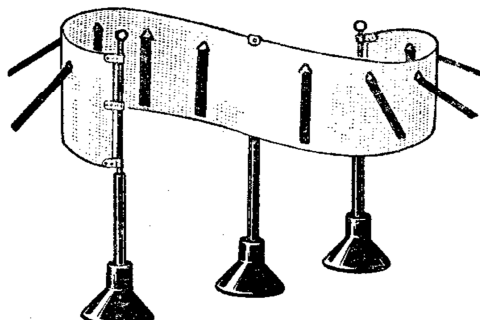
Мал. 2

## 5. Розподіл електричних зарядів на поверхні провідника

**Мета:** показати, що поверхнева густина електричних зарядів провідника залежить від його кривизни.



Мал. 3



Мал. 4

**Обладнання:** сітка Кольбе, колесо Франкліна, конусний кондуктор, високовольтний випрямляч або електрофорна машина, свічка на підставці, вістря, ебонітова й скляна палички, кулька, електрометр.

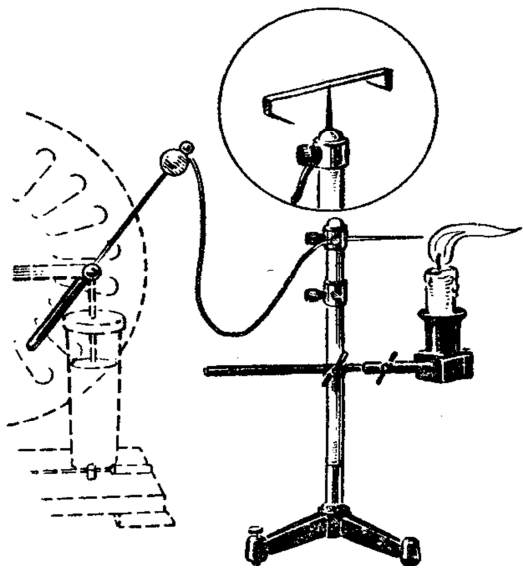
Гнучку металеву сітку з паперовими пелюстками встановлюють так, як показано на мал. 3, і електризують паличкою з ебоніту або скла. Пелюстки на обох сторонах сітки відхиляються однаково. Це

дає підставу вважати, що електричні заряди розподіляються по всій поверхні однаково.

Потім вигинають сітку різними способами і показують, що кожен раз пелюстки на вгнутих поверхнях спадають, а на опуклих – відхиляються сильніше (мал. 4).

Наелектризувавши конусний провідник, доторкуються до різних точок поверхні пробною кулькою, переносячи кожний раз заряд на електрометр.

Далі демонструють відомий дослід із конусоподібним кондуктором. Торкаючись кулькою внутрішньої конічної поверхні, а потім електроскопа, помічають, що стрілка не відхиляється, що вказує на відсутність електричних зарядів на внутрішній поверхні.



Мал. 5

Перенос зарядів із циліндричної частини викликає відхилення стрілки приблизно на однаковий кут, що свідчить про приблизно однакову густину заряду на цій частині провідника. По мірі наближення до вершини конуса кут відхилення збільшується, значить і поверхнева густина заряду збільшується.

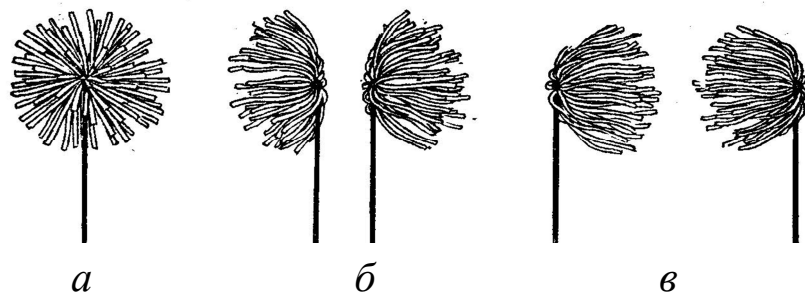
Особливо велика густина електричних зарядів створюється біля вістря.

Молекули повітря поблизу вістря іонізуються, і виникає потік іонів, напрямлених від вістря. Щоб продемонструвати це явище, закріплюють на ізоляційній підставці металевий стержень із вістрям і з'єднують його з одним із кондукторів електрофорної машини (мал. 5). Напроти вістря розміщують запалену свічку. При обертанні машини спостерігають “електричний вітер”, який сильно відхиляє полум'я свічки.

Після цього насаджують на вістря вертушку – колесо Франкліна. При роботі електрофорної машини колесо починає швидко обертатись.

## 6. Силові лінії електричного поля

*Обладнання:* султани на підставках, конденсатор розбірний, пластинка скляна з набором електродів, електрофорна машина або

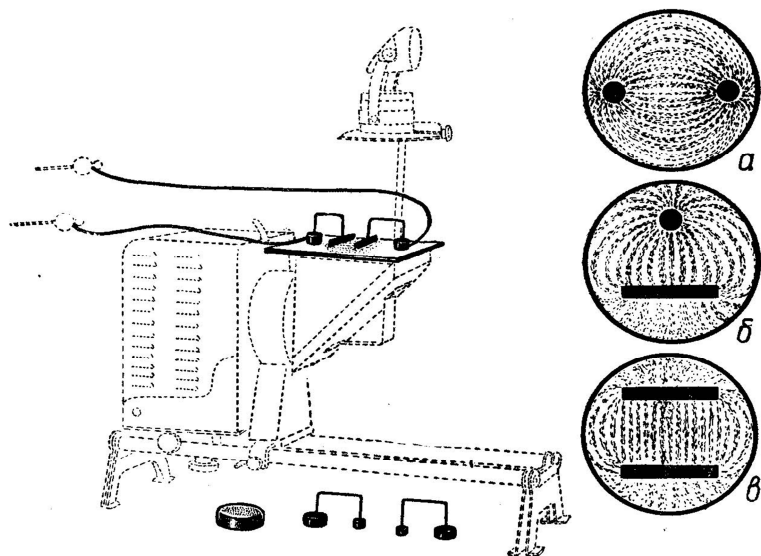


Мал. 6

високовольтний випрямляч, проекційний апарат, гіпосульфід натрію або манна крупа в чашці Петрі, з'єднувальні провідники.

Найпростішу демонстрацію електричних силових ліній виконують за допомогою султанів, які встановлюють на ізолюючих підставках, і добре заряджають за допомогою електрофорної машини. Спочатку показують дослід з одним зарядженим султаном, і звертають увагу на радіальне розміщення паперових смужок (мал. 6 а). Потім заряджають обидва султани однойменними (мал. 6 б) і різнойменними зарядами (мал. 6 в) й показують викривлення смужок при відштовхуванні і притяганні.

Утворення електричних силових ліній, звичайно, проектують на екран (мал. 7). Розміщують у чашці Петрі два циліндрики на відстані 15-20 мм один від одного, й одержують на екрані чітку картину. З'єднують їх тонкими гнучкими провідниками з кондуктором високовольтного випрямляча або електрофорної



Мал. 7



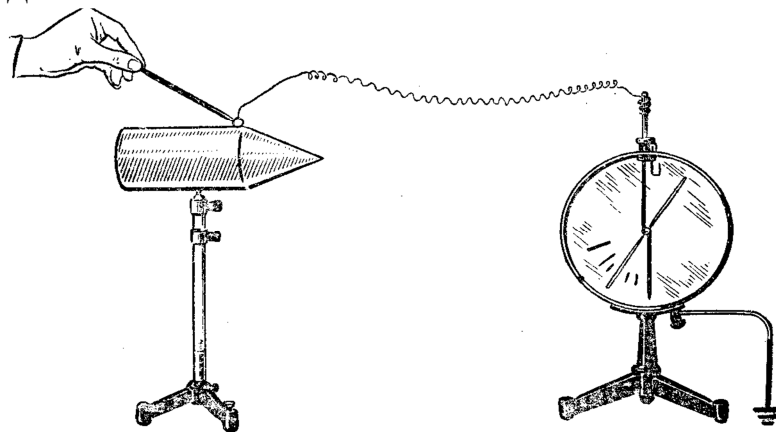
машини, і встановлюють напругу порядку 2-3 кВ. Потім із коробки з сіткою рівномірно посипають навколо електродів кристалики гіпосульфїта або манну крупу, й одночасно легенько постукують олівцем. Під дією електричного поля кристалики розміщуються вздовж силових ліній, утворюючи при різних електродах спектри поля двох заряджених куль, пластини і кулі, двох пластин.

## 7. Еквіпотенціальні поверхні

**Мета:** показати, що наелектризований провідник має однаковий потенціал на всіх точках його поверхні.

**Обладнання:** конусний провідник, високовольтний випрямляч, пробна кулька, електрометр.

Конусний провідник наелектризують від високовольтного випрямляча. На відстані 1 м розмістити електрометр і заземлити його (мал. 8). Стержень електрометра з'єднати дротиною із пробною кулькою. Переміщуючи кульку, покажемо, що потенціал усіх точок однаковий.



Мал. 8

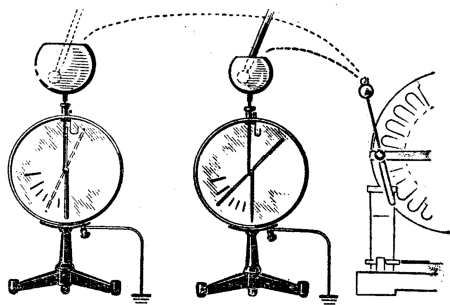
## 8. Поняття про електроємність

**Мета:** за допомогою експерименту ввести поняття про електроємність.

**Обладнання:** два електрометри, пластинки, кондуктори кульові – великий і малий, диск від розбірного конденсатора, електрофорна машина або високовольтний випрямляч, пробна кулька на ізолюваній ручці.

На електрометри надівають кульові кондуктори: на один – великий, а на другий – малий. Корпуси електрометрів заземляють. При цьому куля, стержень і стрілка утворюють одну з обкладок

конденсатора, а ізолюваний від них корпус електрометра й земля – іншу.



Мал. 9

Зарядивши банки електрофорної машини, швидко переносять від неї пробною кулькою однакові заряди на кульові кондуктори (мал. 9). Для цього достатньо декілька раз пробною кулькою торкнутись кондуктора машини, і кожен раз вносити її всередину куль,

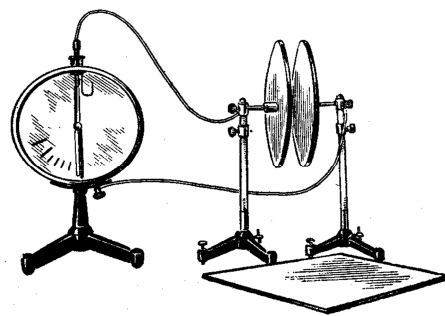
торкаючись їх внутрішньої поверхні. Заряджати краще велику кулю, а тоді малу. Із збільшенням заряду збільшується і різниця потенціалів, яка фіксується електрометром. Виявляється, що при однакових умовах для різних куль, ця різниця потенціалів неоднакова: один і той же заряд надає більшій кулі меншу різницю потенціалів. Величина  $\frac{q}{U} = \text{const}$  для даного провідника і вона залежить тільки від його розмірів. Цю властивість накопичувати електричний заряд називають електроємністю і вона рівна:  $C = \frac{q}{U}$ .

## 9. Електроємність плоского конденсатора

**Мета:** експериментально встановити, від чого і як залежить електроємність конденсатора.

**Обладнання:** конденсатор розбірний, високовольтний випрямляч, електрометр.

Зібрати плоский конденсатор з великих пластин. Приєднати до пластин електрометр. Відстань між пластинами встановити 2-3 см. Наелектризувати пластини від високовольтного випрямляча (мал. 10).



Мал. 10

Помітити різницю потенціалів між пластинами. Потім, не змінюючи відстані між пластинами, зсувають одну з них в сторону. При цьому помітно збільшується покази електрометра, що свідчить про зменшення ємності конденсатора при зменшенні площі

пластин, які взаємно перекривають одна одну, тобто  $C \sim S$ , де  $S$  – площа пластин.

Після цього демонструють залежність ємності конденсатора від зміни відстані між пластинами. Наближаючи або віддаляючи одну із пластин, спостерігають за показами електрометра. З досліду переконуються, що ємність конденсатора змінюється обернено пропорційно відстані між пластинами, тобто  $C \sim \frac{1}{d}$ , де  $d$  – відстань між пластинами.

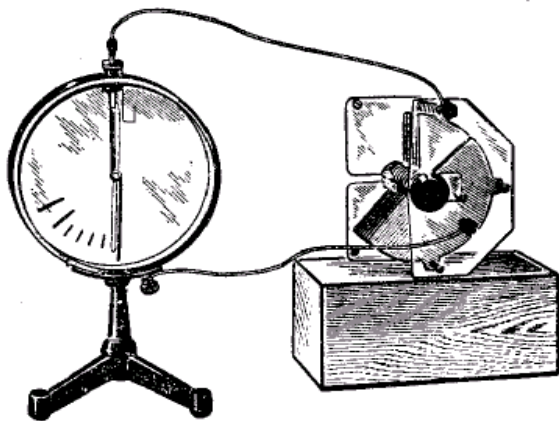
Залишивши відстань між пластинами незмінною, вносять у проміжок між ними діелектрики з різними діелектричними проникностями, наприклад, із скла і ебоніту. Спостерігають за показами електрометра і роблять висновок, що  $C \sim \epsilon$ , де  $\epsilon$  – діелектрична проникність.

## 10. Будова й дія конденсатора змінної ємності

**Мета:** вивчити будову конденсатора змінної ємності способом зміни його електроємності.

**Обладнання:** електрометр, конденсатор змінної ємності, високовольтний випрямляч, столик, провідники.

Рухомі пластини конденсатора (ротор) з'єднують із корпусом електрометра, а нерухомі (статор) – зі стержнем (мал. 11). За допомогою електрофорної машини заряджають конденсатор так, щоб стрілка електрометра відхилилась на 2-3 поділки.



Мал. 11

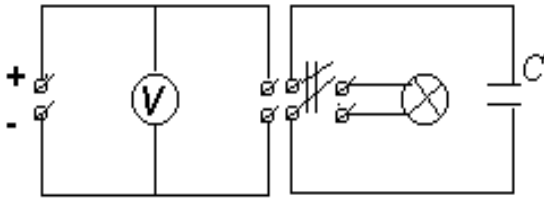
електрометра.

Помічають положення стрілки, зменшують ємність конденсатора і спостерігають, як при незмінній величині заряду збільшуються покази

## 11. Енергія зарядженого конденсатора

**Мета:** показати, що заряджений конденсатор володіє енергією.

1. *Обладнання:* електролітичний конденсатор великої ємності, електрична лампочка (220 В, 15 Вт), випрямляч ВС – 24, двохполюсний перемикач, провідники.



Мал. 12

Збирають установку за схемою (мал. 12). Від випрямляча ВС – 24 дають максимальну напругу. Заряджають конденсатор, замикаючи короткочасно коло зарядки перемикачем. Потім

перемикають конденсатор на розрядку через лампу, і спостерігають, що лампа при цьому спалахує.

Збільшують ємність конденсатора вдвічі і при попередній напрузі знову заряджають його. Тепер при розрядці лампа спалахує яскравіше, ніж попереднього разу. Підключивши дві лампи, повторюють дослід. Провівши спостереження, можна сказати, що тепер розжарення нитки ламп приблизно таке ж, як і в першому випадку, тобто енергія конденсатора збільшилась в 2 рази.

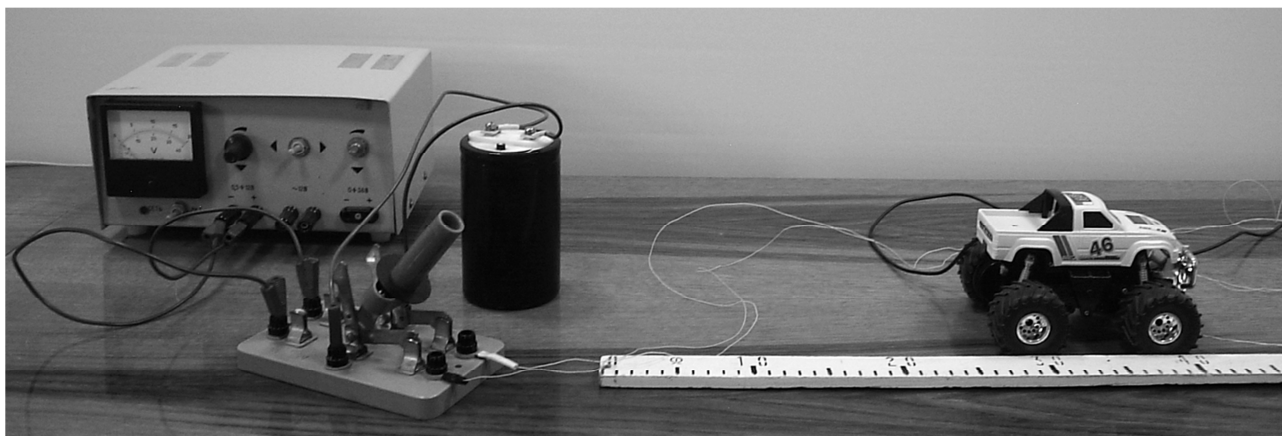
Далі показують, що енергія зарядженого конденсатора залежить від різниці потенціалів на його пластинах. З цією метою повторюють дослід із тією ж ємністю при половинній напрузі. Спостерігають спалах однієї лампи. Потім збільшують напругу в 2 рази і, ввімкнувши дві лампи, спостерігають досить їх яскравий спалах.

Таким чином, дослід показує залежність енергії зарядженого конденсатора від його ємності і напруги, й підводить до розуміння формули:

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

2. *Обладнання:* електролітичний конденсатор великої ємності (150 000 мкФ), іграшковий автомобіль, джерело живлення, двохполюсний перемикач, провідники.

Збирають установку за схемою (мал. 12). Замість електричної лампочки приєднати іграшковий автомобіль (мал. 13).



Мал. 13

Показують, що енергія зарядженого конденсатора залежить від різниці потенціалів на його пластинах. Від джерело живлення подають напругу  $5\text{ В}$ . Заряджають конденсатор, замикаючи короткочасно коло зарядки перемикачем. Потім перемикають конденсатор на розрядку через автомобіль, і спостерігають, що він при цьому рухається і проїжджає деяку відстань. З цією метою повторюють дослід із тією ж ємністю при подвійній напрузі. Спостерігають рух автомобіля і фіксують відстань, яку він проїхав. Ця відстань повинна бути приблизно в 4 рази більшою. Робимо висновок, що  $E \sim U^2$ .

Змінюючи конденсатори різної ємності відмічаємо різну відстань яку проходить автомобіль. Робимо висновок, що  $E \sim C$ .

Таким чином, цей дослід також показує залежність енергії зарядженого конденсатора від його ємності і напруги, й підводить до розуміння формули:

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

**Завдання IV.** Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

### 1. Визначення ємності конденсатора

**Обладнання:** джерело струму, вольтметр, конденсатор відомої ємності, конденсатор невідомої ємності, штангенциркуль,

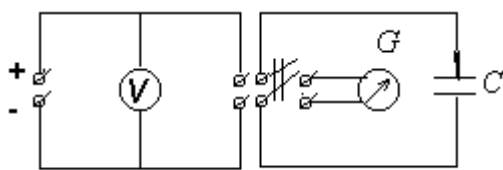
двохполюсний перемикач, провідники, гальванометр від демонстраційного амперметра.

Для визначення ємності прилад спочатку градуємо в одиницях заряду. Для цього складаємо коло за схемою, поданою на мал. 14, де  $C$  – ємність еталонного конденсатора. Поставивши двохранполюсний перемикач у положення I, заряджаємо конденсатор. Перекидаємо перемикач у положення II і цим самим розряджаємо конденсатор через гальванометр. Заносимо до таблиці число поділок  $N$ , на яке відхиляється стрілка гальванометра (бажано, щоб це число було цілим). Якщо стрілка відхиляється за межі шкали, потрібно зменшити ємність або напругу зарядження конденсатора.

№ п\п	Ємність конденсатора $C$ , мкФ	Напруга на конденсаторі $U$ , В	Заряд конденсатора $q$ , Кл	Число поділок $N$	Ціна поділки $k$ , Кл/под
1					
2					
3					
4					
5					

Заряд конденсатора обчислюємо за формулою  $q = CU$ , а ціну поділки за формулою  $k = \frac{q}{N}$ . Дослід повторюємо декілька разів і знаходимо середню ціну поділки приладу:

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n}{n}.$$



Мал. 14

Знаючи середню ціну поділки, визначимо ємність двох невідомих конденсаторів, ємність паралельного і послідовного їх з'єднання. Для цього конденсатори невідомої ємності  $C_x$  і їх з'єднання включаємо по черзі в електричне коло, результати вимірювань і обчислень заносимо до таблиці.

№ п\п	Напруга на конденсаторі $U$ , В	Число поділок $N$	Заряд конденсатора $q$ , Кл	Ємність конденсатора $C$ , мкФ
1				
2				
3				
4				

5				

Обчислюємо, за відомими формулами, загальну ємність конденсаторів при паралельному та послідовному їх з'єднанні і порівнюємо результати з тими, що були одержані експериментальним шляхом.

### **Висновок:**

## Лабораторна робота № 2

### Постійний електричний струм.

**Мета:** оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми “Постійний електричний струм”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за вузівськими та шкільними підручниками.

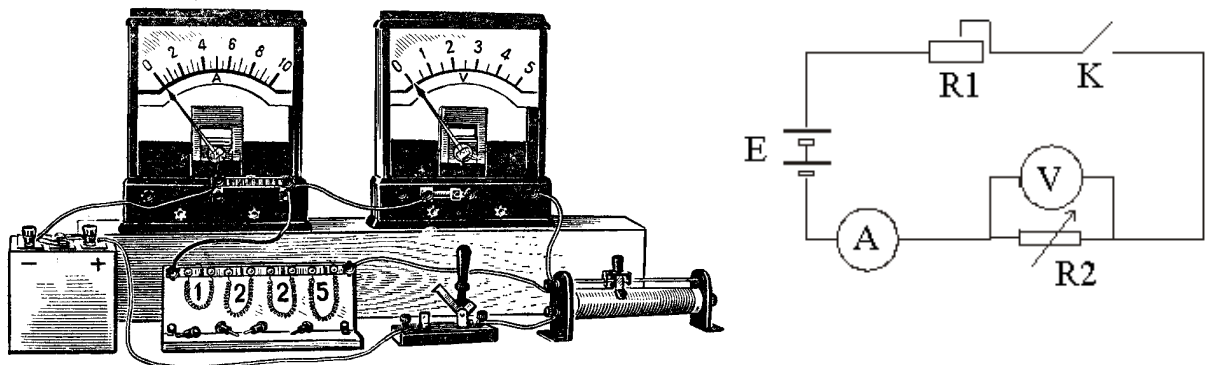
**Завдання II.** Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### 1. Закон Ома для ділянки кола

**Обладнання:** демонстраційний амперметр з шунтом на  $3\text{ A}$ , вольтметр демонстраційний з додатковим опором на  $5\text{ B}$ , демонстраційний магазин опорів, реостат з повзунком на  $6\text{--}10\text{ Ом}$ , батарея акумуляторів або випрямляч на  $6\text{--}8\text{ B}$ , вимикач, з'єднувальні провідники.

Складають електричне коло за схемою (мал. 1). Вмикають у магазині опір  $R_1$ , наприклад  $2\text{ Ом}$ , і замикають коло. Реостатом  $R_2$  встановлюють напругу, наприклад  $3\text{ B}$ . Амперметр покаже  $1,5\text{ A}$ . Зменшують напругу до  $2\text{ B}$ , а потім і до  $1\text{ B}$ . Амперметр покаже відповідно  $1\text{ A}$  і  $0,5\text{ A}$ . На основі аналізу результатів, записаних у таблицю, роблять висновок: сила струму прямо пропорційна напрузі. Залежність між силою струму і опором при сталій напрузі демонструють так: у магазині опорів встановлюють опір, наприклад  $4\text{ Ом}$ , реостатом встановлюють напругу на ділянці  $2\text{ B}$ . Амперметр покаже  $0,5\text{ A}$ . Потім, зменшують опір до  $2\text{ Ом}$  і  $1\text{ Ом}$ . Сила струму в колі становитиме  $1\text{ A}$  і  $2\text{ A}$ . На ділянці кола сила струму обернено пропорційна опором.

Узагальнюють усі дані досліду і формулюють закон Ома для



Мал. 1



ділянки кола.

Для встановлення на ділянці кола необхідної напруги використовують схему з потенціометром або реостатом, включеним послідовно з досліджуваним навантаженням.

**Завдання III.** Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, що до оформлення їх письмового звіту:

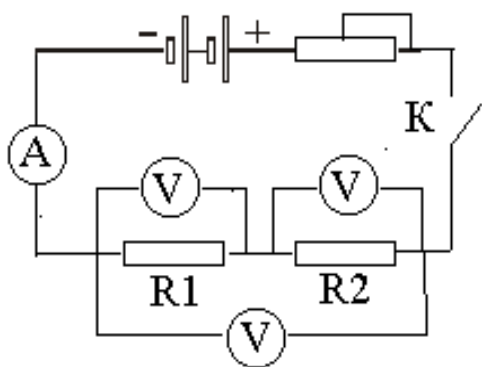
### 1. Вивчення послідовного з'єднання провідників

**Обладнання:** батарея живлення, два нікелінові провідники (два дрітні резистори з набору), амперметр, ключ, реостат, з'єднувальні провідники.

#### Послідовність виконання роботи:

1. Складіть коло з джерела струму, реостата, двох провідників, амперметра, ключа, з'єднавши їх послідовно (мал. 3).
2. Виміряйте напругу на всій ділянці кола, яка складається з двох провідників, на окремих провідниках, і силу струму в колі.
3. Обчисліть за результатами вимірювань опір усієї ділянки і опір окремих провідників.
4. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю.

Напруга на всій ділянці кола	Сила струму	Опір усієї ділянки кола $R = \frac{U}{I}$	Напруга на кінцях 1-го провідника	Опір 1-го провідника $R_1 = \frac{U_1}{I_1}$	Напруга на кінцях 2-го провідника	Опір 2-го провідника $R_2 = \frac{U_2}{I}$
$U, В$	$I, А$	$R, Ом$	$U_1, В$	$R_1, Ом$	$U_2, В$	$R_2, Ом$



Мал. 3

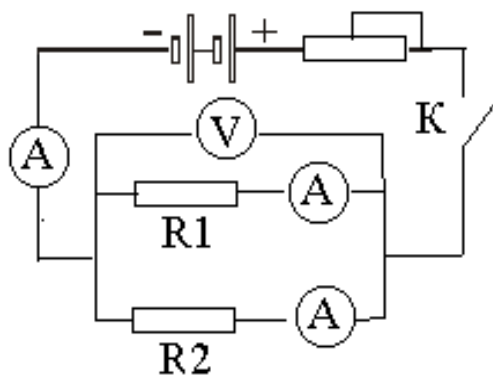
5. Порівняйте опір усієї ділянки кола  $R$  із сумою опорів двох провідників  $R_1 + R_2$ . Зробіть висновок.

6. Порівняйте напругу на ділянці двох провідників  $U$  із сумою  $U_1 + U_2$  на кінцях окремих провідників. Зробіть висновок.

**Висновок:**

## 2. Вивчення паралельного з'єднання провідників

**Обладнання:** батарея живлення, два нікелінові провідники (дві спіралі з набору), амперметр, ключ, реостат, з'єднувальні провідники.



Мал. 4

### Послідовність виконання роботи:

1. Складіть коло за схемою, поданою на мал. 4.
2. Виміряйте напругу на кінцях провідників з'єднаних паралельно.
3. Виміряйте силу струму в основному колі і її вітках.
4. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю.

Напруга на ділянці кола	Загальний струм	Сила струму у 1-й вітці	Сила струму у 2-й вітці	Опір ділянки $R = \frac{U}{I}$	Опір 1-ї вітки $R_1 = \frac{U}{I_1}$	Опір 2-ї вітки $R_2 = \frac{U}{I_2}$
$U, B$	$I, A$	$I_1, A$	$I_2, A$	$R, Ом$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$

5. За одержаними даними обчисліть значення опору всієї ділянки й окремих віток.

6. Порівняйте суму сил струмів  $I_1 + I_2$  в окремих провідниках із силою струму  $I$  в основному колі. Зробіть висновок.

Перевірте, чи підтверджується дослідом формула:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

### Висновок:

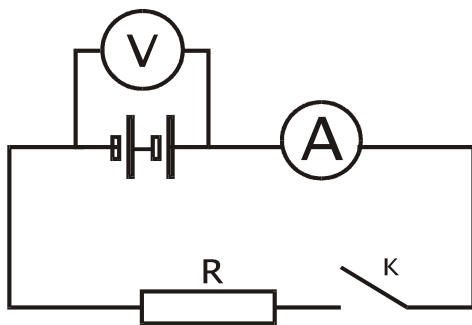
## 3. Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму

**Мета:** використовуючи будь-яке джерело струму визначити його ЕРС і внутрішній опір. У роботі розглянути найпростіші

способи вимірювання ЕРС і внутрішнього опору джерела струму на основі закону Ома для замкнутого кола:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

**Обладнання:** амперметр, вольтметр, джерело струму (лужний акумулятор або батарейка), резистор дрітаний з опором  $R = (2 \pm 0,12) \text{ Ом}$ , ключ, з'єднувальні провідники.



Мал. 5

*Послідовність виконання роботи:*

1. Скласти електричне коло за схемою поданою на мал. 5.

2. Виміряти вольтметром ЕРС джерела, користуючись тим, що напруга між його полюсами мало відрізняється від ЕРС, якщо  $R_g \gg r$ .

У цій роботі  $R_g \approx 10^3 \text{ Ом}$ , який значно перевищує внутрішній опір джерела струму.

3. Записати абсолютну похибку вимірювання ЕРС.

4. Замкнути ключ, виміряти силу струму  $I$ . Записати абсолютну похибку вимірювання сили струму.

5. Обчислити внутрішній опір джерела:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

6. Результати вимірювань записати в таблицю.

№ п/п	ЕРС джерела $\mathcal{E}$ , В	$\Delta \mathcal{E}$ , В	Сила струму $I$ , А	$\Delta I$ , А	Внутрішній опір $r$ , Ом

7. Враховуючи, що  $r = \frac{\mathcal{E}}{I} - R$ , знайти  $\Delta r$ , користуючись тим, що при додаванні і відніманні наближених величин їхні абсолютні

похибки додаються:  $\Delta r = \Delta_1 + \Delta_2$ . У цій формулі  $\Delta_1$ - абсолютна похибка величини  $\frac{\mathcal{E}}{I}$ ,  $\Delta_2$ -абсолютна похибка, з якою відоме значення опору  $R$ . Щоб знайти  $\Delta_1$ , слід величину  $\frac{\mathcal{E}}{I}$  помножити на відносну похибку  $\frac{\Delta \mathcal{E}}{\mathcal{E}} + \frac{\Delta I}{I}$ .

Абсолютна похибка опору становить  $\Delta_2 = 0,12 \text{ Ом}$ .

8. Остаточні результати записати у вигляді:

$$\mathcal{E} - \Delta \mathcal{E} \leq \mathcal{E} \leq \mathcal{E} + \Delta \mathcal{E}$$

$$r - \Delta r \leq r \leq r + \Delta r$$

**Висновок:**

## Лабораторна робота № 3

### Електричний струм у металах

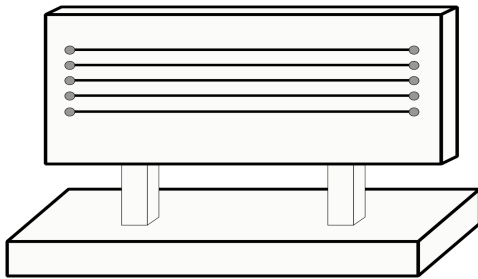
**Мета:** оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми “ Електричний струм у металах ”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за вузівськими та шкільними підручниками.

**Завдання II.** Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### 1. Залежність опору провідників від їх довжини, площі поперечного перерізу і матеріалу

**Обладнання:** джерело електричної енергії, вольтметр і амперметр демонстраційні, вимикач, провідники різних опорів, рулетка, з'єднувальні провідники.



Мал. 2

Скласти коло з джерела електричної енергії, провідника з невідомим опором, амперметра і ключа. До кінців провідника, опір якого вимірюють, приєднують вольтметр. Записують покази амперметра і вольтметра. За законом Ома обчислюють опір провідника.

Вимірюють довжину і діаметр провідника і обчислюють площу поперечного перерізу. Знаходять залежність опору провідника від його довжини і площі поперечного перерізу. Повторюють досліди з іншими провідниками. Обчислюють питомий опір різних провідників (матеріалів). Для зручності користування провідниками і для поліпшення наочності досліду провідники закріплюють як показано на мал. 2.

## 2. Визначення питомого опору провідника

**Мета:** виміряти питомий опір провідника використовуючи закон Ома для ділянки кола і формулу, яка пов'язує опір провідника циліндричної форми з геометричними розмірами.

**Обладнання:** амперметр, вольтметр, вимірювальна стрічка, мікрометр, джерело струму (акумулятор або батарейка), дріт з матеріалу, який має великий питомий опір завдовжки приблизно 65-70 см і діаметром 0,25-0,5 мм, ключ, з'єднувальні провідники.

*Послідовність виконання роботи:*

1. Виміряйте стрічкою довжину дротини  $l$ .
2. Виміряйте мікрометром діаметр дротини  $d$  і обчисліть площу його поперечного перерізу за формулою:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

3. Записати результати в таблицю.
4. Скласти коло, з'єднавши послідовно джерело струму, дротину, амперметр і ключ.
5. Паралельно з дротом увімкнути вольтметр.
6. Замкнувши ключ, виміряти силу струму  $I$  в колі і напругу  $U$ , на кінцях дротини. Результати записати в таблицю.
7. Обчислити питомий опір за формулою:

$$\rho = \frac{U \pi d^2}{4 I l}.$$

Довжина дротини	Діаметр дротини	Площа перерізу дротини	Сила струму	Напруга	Питомий опір
$l, \text{ м}$	$d, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$\rho, \text{ Ом м}$

8. Обчислити похибку  $E_\rho$ .
9. Знайти  $\Delta\rho = \rho E_\rho$ .
10. Результати вимірювань записати у вигляді:

$$\rho - \Delta\rho \leq \rho \leq \rho + \Delta\rho.$$

11. Користуючись довідником визначити матеріал, з якого виготовлено дrottину.

### Висновок:

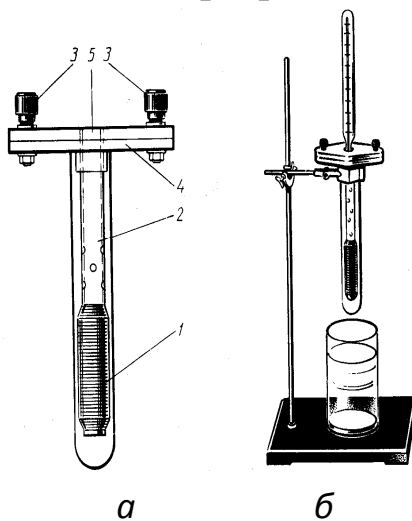
### 3. Дослідження залежності опору провідників від температури

*Обладнання:* прилад для вимірювання термічного коефіцієнта опору дротини, склянка висока з водою, амперметр демонстраційний, термометр лабораторний від  $0^{\circ}$  до  $100^{\circ}$ , штатив для фронтальних робіт, електроплитка, комплект з'єднувальних провідників.

Температурний коефіцієнт опору провідників визначається співвідношенням:

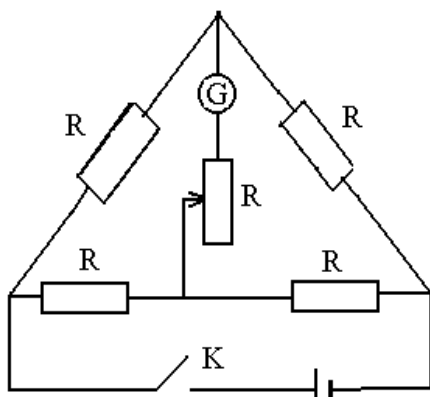
$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t},$$

де  $R_0$  – опір провідника при температурі  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $R_t$  – опір провідника при температурі  $t^{\circ}\text{C}$ ,  $t$  – температура провідника.



Мал. 6

Прилад (мал. 6 а), який застосовується для визначення температурного коефіцієнта опору міді, складається з картонного каркасу 2 на який намотаний мідний ізольований провідник 1. Його кінці виведено до затискачів 3, які встановлені на пластмасовій колодці 4. Зверху в колодці є отвір 5 для термометра, який вимірює температуру обмотки котушки. В цей же отвір можна налити трансформаторного масла, для рівномірного нагрівання мідного провідника.



Мал. 7

*Послідовність виконання роботи:*

1. Налийте в склянку води.
2. Складіть установку спочатку без термометра (мал. 6 б).

3. Складіть електричне коло за схемою мал. 7 (місток Уїнтстона) для вимірювання опору провідника.
4. Ввімкніть електроплитку і вимірюйте опір провідника через кожні  $5^{\circ}C$  до  $80^{\circ}C$ .
5. Результати вимірювання запишіть у таблицю.

$t, ^{\circ}C$																		
$R, \text{Ом}$																		

6. Закріпіть прилад на штативі так, щоб котушка була над водою. Проробіть аналогічні вимірювання при охолодженні.

$t, ^{\circ}C$																		
$R, \text{Ом}$																		

7. Побудуйте графік залежності опору провідника від температури.
8. З графіка знайдіть температурний коефіцієнт опору мідного провідника і його опір при  $0^{\circ}C$ .

### **Висновок:**

## **Лабораторна робота № 4.**

### **Електричний струм у вакуумі**

**Мета:** оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми „Електричний струм у вакуумі”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними й вузівськими підручниками.

**Завдання II.** Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### **1. Термoeлектронна емісія**

**Обладнання:** електронна лампа – діод демонстраційний, джерело живлення ВУП, реостат на  $10 \text{ Ом}$ ,  $2 \text{ А}$ , електрометр, провідник на ізоляційній ручці, проекційний апарат, ебонітова і



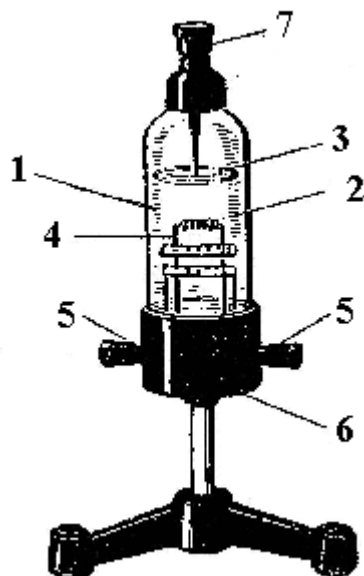
скляна палички, шматок хутра, вимикач демонстраційний, з'єднувальні провідники.

Для спостереження термоелектронної емісії використовують демонстраційний вакуумний діод (мал. 1).

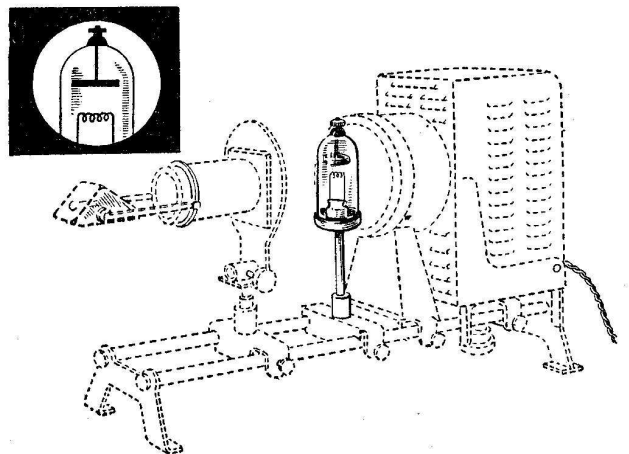
В скляному балоні 1 циліндричної форми знаходяться два електроди – катод 2 і анод 3. Нитка розжарення приварена до двох стояків – опор 4, які мають виводи зовні. Ці виводи, прикріплені до двох гвинтових затискачів 5. Вони служать для приєднання катода до джерела електроживлення, яке дає струм до 1,5-2 А при напрузі 6,3 В. Обидва затискачі розміщені на цоколі в площині нитки розжарення і вихідних провідників. Це дозволяє більш наочно простежити підводку струму до катода.

Анод 3 виконаний у виді плоского диска діаметром 30 мм із нікелю або будь-якого іншого тугоплавкого матеріалу. Вивід від анода закінчується гвинтовим затискачем 7 для вмикання його в електричне коло.

Для кращої наочності демонстрації будови лампи можна супроводжувати її проектуванням на екран (мал. 2). Починають дослід демонстрацією розжарення катода струмом. Для цього складають електричне коло з діода, джерела струму, реостата на 10-15 Ом і ключа. Замикають коло і, користуючись реостатом, доводять розжарення катода до яскраво червоного кольору (мал. 3).



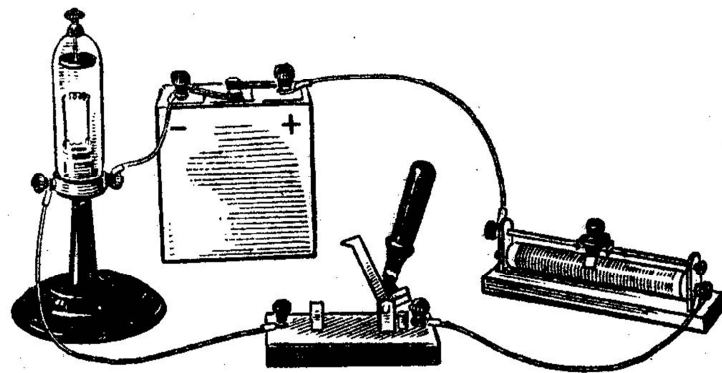
Мал. 1



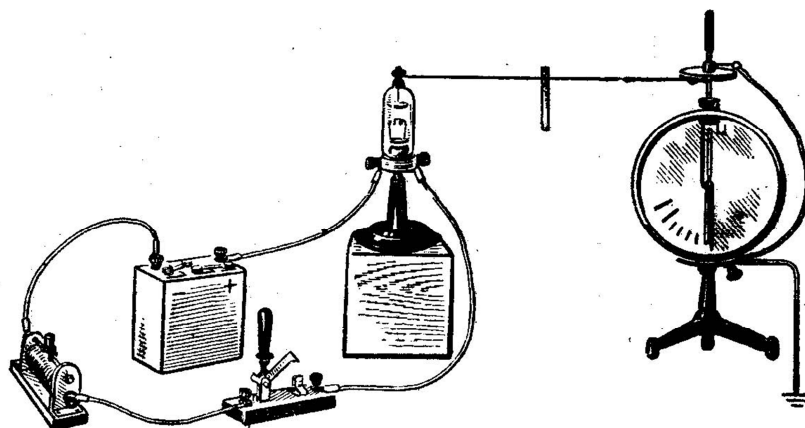
Мал. 2

Учням пояснюють, що з розжареного катода як, і з будь якого гарячого тіла, в навколишнє середовище вилітають електрони. Електрони мають різну швидкість; деякі з них досягають анода і заряджають його негативно. Це можна виявити на демонстраційному електрометрі з конденсатором у вигляді двох дисків. Один з дисків конденсатора встановлюють на стержень електрометра, а інший, який має ебонітову ручку, кладуть зверху так, як на мал. 4. Корпус електрометра і верхній диск заземлюють.

Провідником на ізоляційній ручці на короткий час з'єднують анод діода з нижнім диском конденсатора і тим самим передають



Мал. 3



Мал. 4

йому деякий заряд. Потім забирають верхній диск. Оскільки при цьому ємність приладу в багато разів зменшується, то потенціал зростає і стрілка електрометра помітно відхиляється.

Після цього досліджують знак заряду електрометра. Для цього до електрометра на деякій відстані підносять негативно заряджену ебонітову паличку і спостерігають збільшення відхилення стрілки – електрометр отримав від'ємний заряд.

Явище термоелектронної емісії можна продемонструвати і на іншому досліді. Зарядивши електрометр позитивно, наприклад, від наелектризованої скляної палички, з'єднують його провідником на ізоляційній ручці з анодом діода, як показано на мал. 5. Звертають увагу учнів на те, що при холодному катоді електрометр не заряджається. Потім замикають коло і спостерігають, що стрілка електрометра швидко спадає, оскільки електрони, які випускаються розжареним катодом, притягуються позитивно зарядженим анодом і нейтралізують його заряд.

Якщо ж зарядити електрометр негативно і з'єднати його з анодом, то він не заряджається, навіть при розжареному катоді. Електрони, що вилітають із катода, не притягуються, а відштовхуються від анода і повертаються назад до катода.

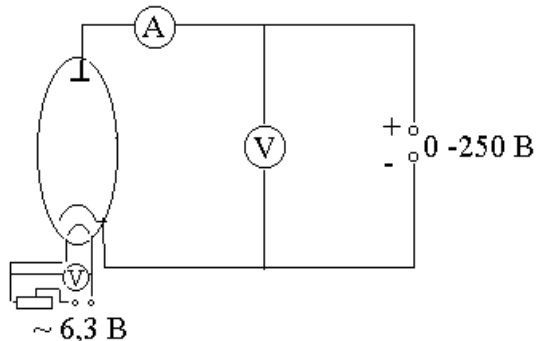
#### **4. Будова трьохелектродної електронної лампи (тріода)**

(див. лабораторна робота №2)

#### **5. Будова і принцип роботи електронно-променевої трубки**

(див. лабораторна робота №5)

**Завдання III.** Виконати лабораторну роботу, дотримуючись методичних вимог, що до оформлення їх письмового звіту:



Мал. 6

#### **Зняття вольт-амперної характеристики діода**

*Обладнання:*

демонстраційний вакуумний діод, міліамперметр, вольтметр, реостат повзунковий РП-6, реостат повзунковий РПШ-0,1, джерело струму ВУП, з'єднувальні

провідники.

Основною характеристикою діода є його анодна характеристика, яка показує залежність сили анодного струму діода від анодної напруги при незмінній напрузі розжарення.

В даній роботі потрібно зняти анодні характеристики діода при трьох різних напругах на нитці розжарення, визначити опір діода при різних напругах і перевірити його односторонню провідність.

### Послідовність виконання роботи:

1. Електричне коло (мал. 6) складається з двох кіл: розжарення і анодного.

Спочатку складіть коло розжарення. Повзунок реостата поставте в таке положення, щоб реостат був включений повністю.

Потім складіть анодне коло. Ручку потенціометра ВУП поставте на мінімум анодної напруги.

2. Зніміть анодну характеристику діода при напрузі розжарення нитки катода  $5\text{ В}$ . Для цього за допомогою потенціометра збільшуйте анодну напругу від нуля до одержання струму насичення через кожних  $10\text{ В}$ , знімайте покази вольтметра і відповідні їм покази міліамперметра при незмінній напрузі розжарення.

3. Результати запишіть в таблицю.

$$U_p = 5\text{ В}$$

$U_a, \text{В}$															
$I_a, \text{мА}$															

4. Побудуйте анодну характеристику діода. По осі абсцис відкладайте анодну напругу  $U$  в вольтах, а по осі ординат – силу анодного струму в міліамперах.

5. З графіка визначте внутрішній опір діода при напрузі  $50\text{ В}$  і  $100\text{ В}$ .

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

6. Аналогічно зніміть анодну характеристику діода при напрузі розжарення катода, наприклад  $4,5$  і  $5,5\text{ В}$ .

$$U_p = 4,5\text{ В}$$

$U_a, \text{В}$															
$I_a, \text{мА}$															

$$U_p = 5,5\text{ В}$$

$U_a, \text{В}$															
$I_a, \text{мА}$															

7. За одержаними даними в тій же системі координат побудуйте другу анодну характеристику діода.

8. Змініть полярність включення діода: анод підключіть до мінуса, а катод до плюса джерела струму.

Збільшуючи поступово напругу на діоді, слідкуйте за міліамперметром. Визначте, чи буде проходити струм через діод.

**Висновок:**

## Лабораторна робота № 5

### Електричний струм в електролітах і газах

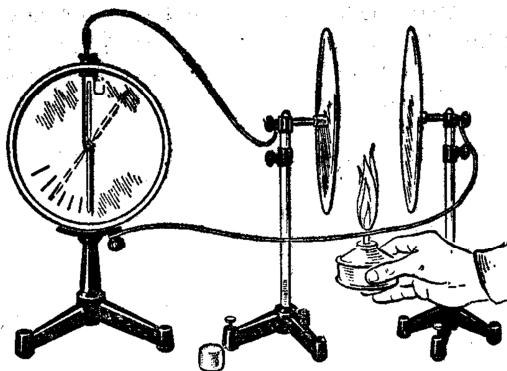
**Мета:** оволодіти методикою і технікою проведення навчального експерименту з теми „Електричний струм в електролітах і газах”. Виконати фронтальну лабораторну роботу „Визначення електрохімічного еквіваленту міді”.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

**Завдання II.** Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### 1. Розряд електрометра під дією зовнішнього іонізатора – полум'я

**Обладнання:** конденсатор розбірний на ізольованих штативах, перетворювач високовольтний або електрофорна машина, ебонітова і скляна палички, шматок хутра, спиртівка.

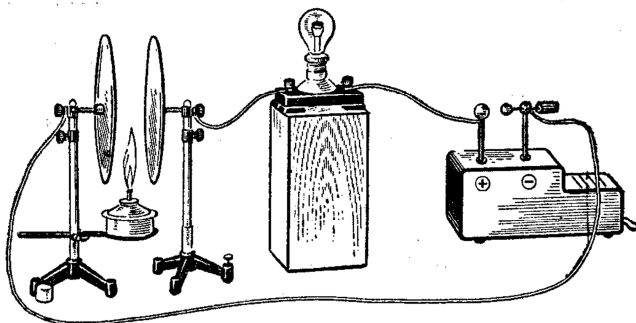


Мал. 1

Спочатку показують, що гази в природному стані не проводять електричний струм. Для цього пластини конденсатора з'єднують з електрометром і заряджають його. Спостерігають, що заряд електрометра досить довго зберігається незмінним. Після цього вносять в газовий простір між пластинами конденсатора полум'я спиртівки – електрометр швидко розряджається (мал. 1). В продуктах згоряння утворюється

велика кількість іонів, яка і викликає провідність повітря.

#### 2. Несамостійна провідність повітря



Мал. 2

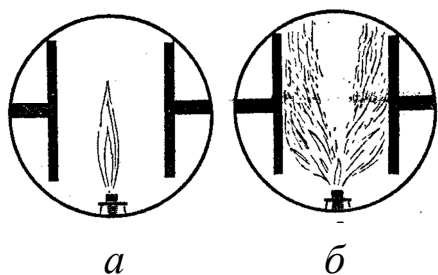
**Обладнання:** конденсатор розбірний на ізольованих штативах, перетворювач високовольтний, лампа неонова, спиртівка.

Якщо в іонізованому газі створити електричне

поле, то поряд із безладним тепловим рухом виникає напрямлений, впорядкований рух іонів, тобто електричний струм. При цьому позитивні іони рухаються в напрямку поля, а негативні – в протилежну сторону.

Для виявлення електричного поля в іонізованому повітрі складають установку (мал. 2). Пластинки конденсатора встановлюють на відстані приблизно 10 см одна від одної і до них через неонову лампу підключають високовольтний перетворювач.

Перед початком досліду поступово подають таку напругу на



Мал. 3

пластинки конденсатора, щоб утворилось слабе свічення неонові лампи, помітне тільки вчителю. Звертають увагу учнів, що струм в колі відсутній.

Потім обережно підносять знизу полум'я і спостерігають, як неонові лампа починає світитись. Збільшують

полум'я і помічають яскравіше свічення неонові лампи.

Після цього вимикають із кола неонові лампу, а пластини конденсатора з'єднують безпосередньо з високовольтним перетворювачем, встановлюють освітлювач для тіньові проекції і одержують на екрані чітке зображення полум'я спиртівки і висхідних потоків гарячих газів (мал. 3 а).

Подаючи поступово напругу на пластини спостерігають, як полум'я і гарячі потоки газів розщеплюються в напрямку до електродів (мал. 3 б), виявляючи наявність позитивних і негативних зарядів.

### 3. Іскровий розряд і електроіскрова обробка металів

*Обладнання:* перетворювач високовольтний або електрофорна машина, прилад для демонстрації електроіскрової обробки металів, проекційний апарат, батарея конденсаторів, реостат на 200 Ом, з'єднувальні провідники.

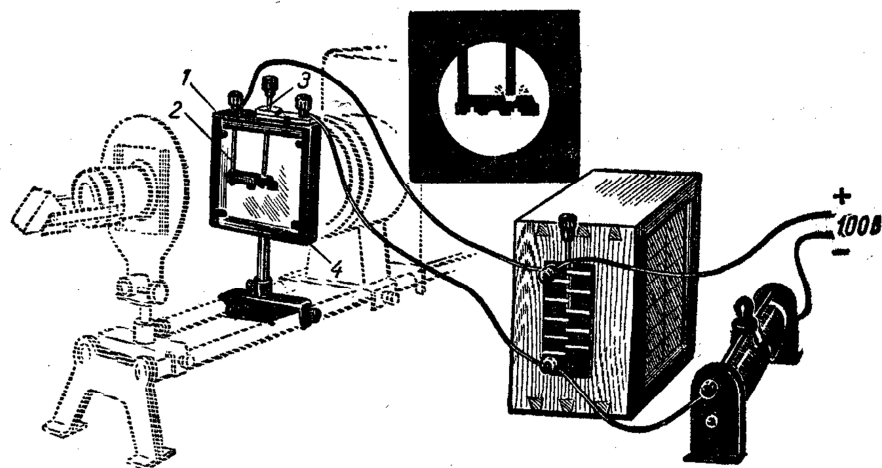
Іскровий розряд учні спостерігали неодноразово. Але приступаючи до його вивчення, необхідно продемонструвати це явище за допомогою електрофорної машини або високовольтного перетворювача. Щоб збільшити інтенсивність іскри і викликані нею ефекти, корисно збільшити ємність в іскровому проміжку, підключивши між електродами високовольтного перетворювача конденсатор, наприклад, 390 пФ, 15 кВ.

З іскрою можна показати загальновідомі досліди: пробивання дірок в папері, спалах вати, змоченої ефіром і т. д.

Демонстрацію електроіскрової обробки металу проводять на простому приладі, проектуючи його на екран (мал. 4).

Прилад представляє собою колодку із пластмаси 1 з двома латунними електродами 2-3, які вставляються в кювету 4. Електрод 2 служить анодом; він зверху має затискач, а знизу – оброблювану деталь – лезо безпечної бритви. Електрод 3 (катод), розміщений посередині у вигляді круглого стержня з різьбою на верхньому кінці. Цей електрод з'єднаний з другим затискачем і виконує роль інструмента при обробці виробу.

В кювету наливають спирт, гас, машинне масло або дистильовану воду і вставляють колодку приладу. При цьому обидва електроди повинні знаходитись в рідині. Кювету встановлюють в рейтері проекційного апарату перед конденсором з



Мал. 4

оборотною призмою, одержуючи на екрані чітке пряме зображення предмета.

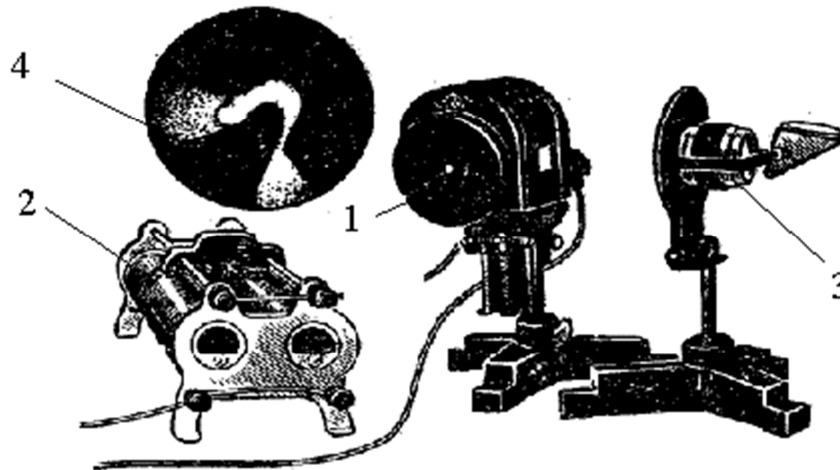
Вмикають напругу. Найбільш сприятливі умови для досліду створюються при 60-100 В постійного струму і ємності 60 мкФ. Реостат в роботі приладу не відіграє суттєвої ролі. Він введений в коло для обмеження струму в момент дотику електродів.

Повертають головку катода за годинниковою стрілкою до з'єднання його з верхнім краєм леза бритви, після чого повертають її в зворотному напрямку. При цьому між електродами проскакує іскра. Поворотом головки катода добиваються частих іскрових розрядів, які супроводжуються гучним тріском. Катод поступово заглиблюється і перерізає бритву.



#### 4. Ознайомитися з методикою і технікою проведення демонстрації „Дуговий розряд”

*Обладнання:* дугова лампа на штативі, об’єктив від проекційного апарата на штативі, реостат 20 Ом, 10 А, джерело живлення.



Мал. 7

Збирають коло, в якому послідовно з’єднані джерело живлення, електрична дуга 1, реостат 2 і об’єктив 3 (мал. 5). Реостатом спочатку вмикають максимальний опір. Прилади встановлюють на демонстраційному столі та між дугою і учнями встановлюють непрозорий екран. На штативі закріплюють об’єктив від проекційного ліхтаря, щоб проектувати дугу на екран. Вмикають джерело і з’єднують стержні. Коли в місці контакту стержні розжарюються їх поступово розводять і зменшують опір. В результаті отримують зображення 4.

#### 6. Самостійний розряд в газах при зниженому тиску

Двоелектродну трубку з приєднаним шлангом від насосу закріплюють в лапці штативу, послідовно вмикають гальванометр (мал. 8). Спочатку показують, що повітря при нормальному тиску не проводить струму. Потім при зниженні тиску в трубці у колі виникає електричний струм.

### 7. Порівняти електропровідність води і розчину солі

Скласти коло з електричної лампочки, джерела живлення, електродів. Помістити два електроди під напругою в чисту воду, а потім в розчин солі. Спостерігати за яскравістю свічення лампочки і зробити відповідні висновки.

**Завдання III.** Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, що до оформлення її письмового звіту.

### Визначення заряду електрона

**Мета роботи:** навчитися застосовувати закон Фарадея для електролізу для визначення елементарного електричного заряду.

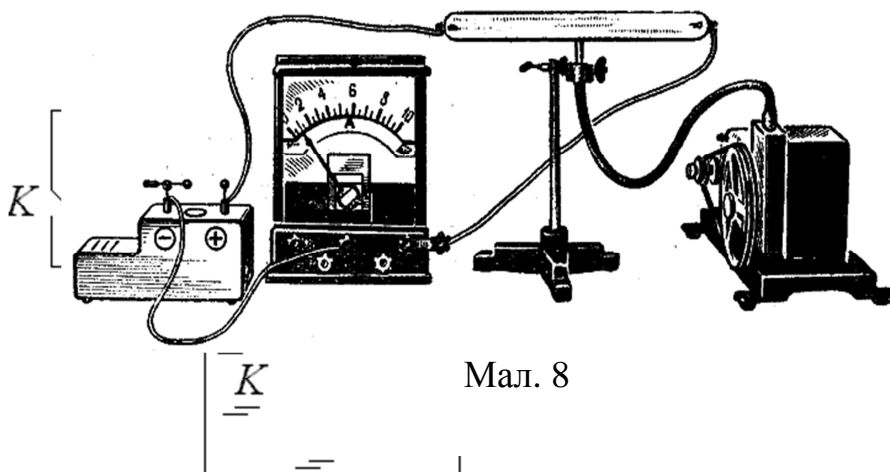
**Обладнання:** склянка з водним розчином сульфату міді ( $\text{CuSO}_4$ ); мідні електроди; джерело постійного струму; секундомір або годинник з секундною стрілкою; амперметр постійного струму на 1...2 А; терези з важками; реостат з ковзним контактом; ключ; з'єднувальні провідники.

### Хід роботи:

1. Зважте катод і визначіть початкову масу катода  $m_1$ .

Закріпіть електроди в тримачі і складіть електричне коло згідно мал. 9

2. Опустіть електроди в склянку з розчином, замкніть ключ і встановіть за допомогою реостату  $R$  силу струму в колі не



Мал. 9

більше від 1 А. Процес електролізу має тривати 15 - 20 хв, при цьому силу струму в колі треба підтримувати незмінною за допомогою реостата.

3. Після завершення досліду розімкніть вимикач, вийміть мідний катод, обережно висушіть його і визначіть масу  $m_2$ .
4. Обчисліть значення заряду електрона за формулою

$$e = \frac{M}{(m_2 - m_1) \cdot N_A}.$$

5. Визначіть похибки вимірювань сили струму, часу і маси та обчисліть похибки вимірювання заряду електрона.
6. Дані вимірювань і обчислень запишіть у таблицю .

Таблиця

$I, A$	$\Delta I, A$	$t, c$	$\Delta t, c$	$m_1, кг$	$m_2, кг$	$\Delta m, кг$	$e, Кл$	$\epsilon_e, \%$	$\Delta e, Кл$

7. Запишіть результат визначення заряду електрона у вигляді:  
 $e \pm \Delta e; \epsilon = \dots \%$ . Порівняйте одержане значення заряду електрона з табличним.
8. Зробіть висновок.

## Лабораторна робота № 6

### Електричний струм у напівпровідниках

**Мета:** оволодіти методикою і технікою проведення демонстрацій з теми „Електричний струм у напівпровідниках”. Виконати роботи, передбачені програмою.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

**Завдання II.** Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### 1. Залежність електропровідності напівпровідників від температури

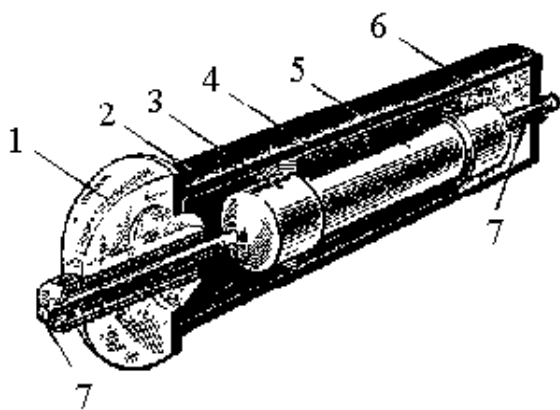
**Обладнання:** термістор ММТ-4 на підставці, лабораторний прилад з термістором ММТ-1, гальванометр демонстраційний від амперметра, батарея акумуляторів, вимикач, спиртівка, з'єднувальні провідники, склянка зі снігом або холодною водою, навчальна таблиця „Термістор”.

Перед демонстрацією досліду учнів знайомлять із будовою термістора ММТ-4 (мал. 1). Букви *ММ* означають напівпровідниковий матеріал, з якого зроблений термістор (окиси марганцю і міді); *T* – термістор; *4* – умовне позначення конструктивного оформлення.

Термістор має форму циліндричного стержня 5 довжиною 12 мм і діаметром 2 мм, на кінцях якого знаходяться контактні ковпачки 3 з виводами із мідного дроту 7. Поверхня стержня покрита шаром емалевої фарби й обгорнута металевою фольгою 4, яка покращує теплообмін між термістором і навколишнім середовищем. Один вивід термістора припаяний оловом 6 до дна металевого корпусу 2, а інший – проходить у трубочці, яка вварена

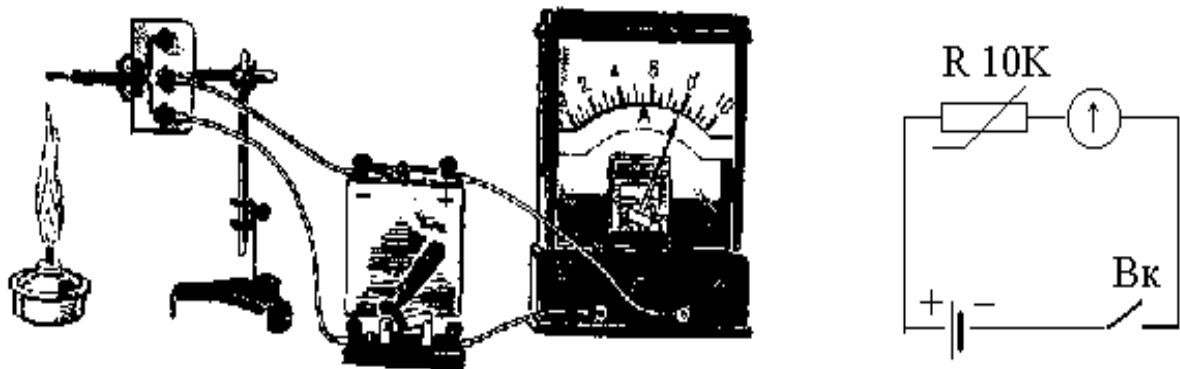
в скляний ізолятор 1. Герметизація термістора забезпечує його стійку роботу в умовах підвищеної вологості, безпосередньо в рідинах.

Збирають установку, показану на мал. 2, термістор фіксують на підставці в горизонтальному положенні і включають в електричне коло послідовно з демонстраційним гальванометром, джерелом



Мал. 1

живлення (напругою близько  $4\text{ В}$ ) і вимикачем.



Мал. 2

При замиканні кола гальванометр покаже невеликий струм: його стрілка відхилиться приблизно на 2 поділки шкали „0-10”.

Величина цього струму залежить (за законом Ома) від напруги джерела струму і початкового, так званого холодного, опору термістора, тобто його опору при кімнатній температурі. Після цього термістор повільно нагрівають над полум'ям спиртівки (полум'я не повинне торкатися приладу) і спостерігають поступове збільшення струму. Коли стрілка гальванометра буде підходити до останніх поділок шкали, нагрівання припиняють.

Далі показують зворотний процес – охолодження термістора: знімають термістор з штатива і занурюють у склянку зі снігом або холодною водою. Стрілка гальванометра буде швидко переміщатися в зворотну сторону і через якийсь час зупиниться майже біля нуля шкали.

***Пророблений дослід дозволяє зробити висновок, що опір напівпровідників з підвищенням температури зменшується і навпаки, зі зниженням температури збільшується.*** Електропровідність напівпровідників при високих температурах близька по величині до електропровідності металів, а при низьких – напівпровідники фактично стають ізоляторами.

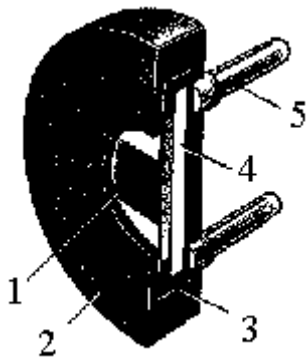
## **2. Залежність електропровідності напівпровідників від освітленості**

**Обладнання:** фоторезистор ФС-К1 на підставці, гальванометр демонстраційний від амперметра, джерело живлення, електрична лампа на підставці потужністю  $60-100\text{ Вт}$ , з'єднувальні провідники, навчальна таблиця „Фоторезистор”.

Перед демонстрацією досліду познайомитись з будовою напівпровідникового фоторезистора ФС-К1, який зображений у перерізі (мал. 3).

Фоторезистор являє собою тонкий світлочутливий шар напівпровідника, що складається із сірчистого кадмію, нанесеного на круглу ізолюючу пластинку 4, краї якої запресовані в кільцеподібну пластмасову оправу 2. З протилежних сторін напівпровідникового шару зроблені струмовідводи 3, що з'єднані з двома запресованими в оправу електродами у вигляді вилки 5. Його поверхня покрита прозорим лаком для захисту напівпровідникового шару від забруднення й атмосферного впливу.

Потім збирають установку за мал. 4. Фоторезистор ФС-К1 включають у коло джерела постійного струму напругою близько 4 В послідовно з демонстраційним гальванометром від амперметра. Звертають увагу на малу величину початкового струму. Цей струм називають темновим. Він залежить від електричного опору, яким володіє фоторезистор, і від прикладеної до нього напруги.



Мал. 3

Далі вмикають електричну лампу і, повільно наближаючи і віддаляючи її від фоторезистора, спостерігають збільшення і зменшення струму в колі. Роблять висновок, що опір напівпровідників при збільшенні освітленості зменшується.

Повертаються до демонстраційної установки і при постійній освітленості змінюють полярність включення фоторезистора в електричне коло. При цьому спостерігають, що величина струму залишається незмінною.

Роблять висновок, що фоторезистор однаково добре проводить струм як в одному, так і в іншому напрямку. Він являє собою в електричному відношенні звичайний високоомний резистор.

**Завдання III.** Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, що до оформлення їх письмового звіту:

## 1. Зняття вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода

**Мета роботи:** дослідити залежність сили струму від напруги, яка прикладена до напівпровідникового діода.

**Обладнання:** діод напівпровідниковий, джерело живлення, міліамперметр, амперметр, вольтметр 0-1,5 В, вольтметр 0-6 В, реостат повзунковий РПШ-2, ключ, комплект провідників.

## Послідовність виконання роботи:

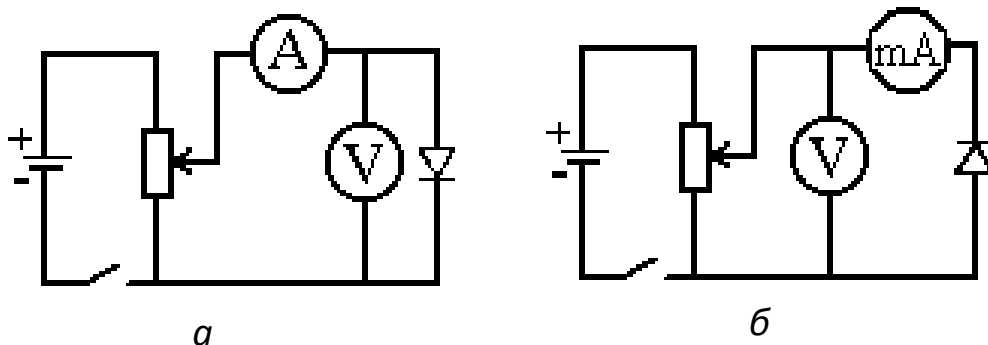
***а) Дослідження залежності сили прямого струму від прикладеної напруги***

1. За схемою (мал. 4 *a*) зберіть електричне коло (діод увімкніть в пропусковому напрямі), звернувши увагу на знаки  $<+>$  і  $<->$ , позначені на його панелі. Напругу на діод подають з потенціометра і вимірюють вольтметром зі шкалою  $1,5\text{ В}$ , силу прямого струму діода – амперметром, збільшуючи напругу на діоді.
2. Результати вимірювань записують в таблицю.

[illegible]

**б) Дослідження залежності сили зворотного струму від прикладеної напруги**

1. За схемою (на мал. 4 б) скласти електричне коло. Напругу на діод подають за допомогою потенціометра і вимірюють вольтметром зі шкалою  $6\text{ В}$ , а силу струму – міліамперметром зі шкалою  $1,5\text{ мА}$ . Збільшуючи напругу, виміряйте силу зворотного



Мал. 4

струму діода. Результати вимірювання записати в таблицю.

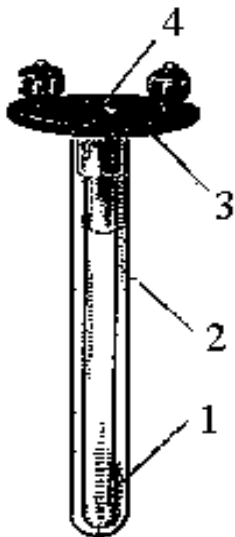
$U, V$												
$I, \text{mA}$												

2. За даними будують графік залежності сили струму від напруги. Силу прямого струму і пряму напругу вважають додатними, а зворотні – від’ємними.

### **Висновок:**

## **2. Зняття температурної характеристики терморезистора**

*Обладнання:* терморезистор, металевий стакан з водою, електроплитка, технічний термометр, омметр, штатив з муфтою і лапкою, з’єднувальні провідники.



Мал. 17

### **Опис приладів**

Терморезистор (мал. 17) виготовляють із спресованої і термічно обробленої суміші порошків металів у вигляді циліндричного стержня 1. На кінцях стержня є металеві ковпачки, до яких припаяні мідні дротини. Бічна поверхня терморезистора вкрита емалевою фарбою.

Виводи від терморезистора закріплені на панельці 4 під затискачами. Панелька скріплена з пробіркою, у якій міститься терморезистор.

У панельці є також отвір для технічного термометра.

### **Послідовність виконання роботи:**

1. Визначити і записати характеристики омметра і термометра.

2. Поставити на електроплитку металевий стакан з водою, занурити в нього пробірку з терморезистором, попередньо закріпивши її в лапці штативу. В отвір у панельці приладу вставити технічний термометр так, щоб його ртутний балон був якраз на рівні терморезистора.

3. До затискачів на панельці приєднати на весь час досліду омметр. Виміряти температуру і опір терморезистора при



кімнатній температурі. Потім увімкнути електроплитку і з підвищенням температури через кожні  $5^{\circ}\text{C}$  вимірювати опір терморезистора.

4. Результати вимірювання записати в таблицю.

$t^{\circ}, \text{C}$									
$R, \text{Ом}$									

5. Побудувати графік залежності опору терморезистора від температури.

### **Висновки:**

## **Лабораторна робота № 7**

### **Магнітне поле**

**Мета:** оволодіти методикою і технікою проведення демонстрацій з теми: „Магнітне поле”. Виконати роботи, передбачені програмою.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

**Завдання II.** Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### **1. Взаємодія паралельних струмів**

**Обладнання:** стрічка із фольги з наконечниками – 2 шт., штатив універсальний, джерело живлення ВС-24, комплект з'єднувальних провідників.

В даному досліді для одержання належного ефекту необхідні гнучкі і легкі провідники, які разом з тим повинні витримувати достатньо сильний струм. В протиріччі до цих вимог і полягає деяка складність при проведенні досліді.

Непогані результати можна одержати, якщо використати стрічки із алюмінієвої фольги, яка іде на виготовлення паперових конденсаторів (наприклад, КБГ). Фольгу від рулону, вийнятого з коробочки конденсатора, звичайно розгортають разом з папером, що пристав до неї. Потрібно, не відриваючи папір, відрізати від

фольги дві вузькі стрічки шириною  $10\text{ мм}$  і довжиною  $50\text{ см}$ . Шар паперу між двома стрічками із фольги надасть їм більшої міцності.

Кінці кожної стрічки закріплюють в наконечники і встановлюють вертикально на універсальному штативі. Такі стрічки витримують короточасний струм до  $8\text{ А}$ .

Стрічки не потрібно натягувати. Злегка згинаючи, їх наближають на відстань  $0,5\text{--}1\text{ мм}$  і кінці приєднують до випрямляча через реостат і ключ. При ввімкненні струму в межах  $5\text{--}8\text{ А}$  стрічки відштовхуються (мал. 1 а), а при вимкненні – знову зближуються. Якщо струми в провідниках будуть мати один напрямок, то вони притягуються (мал. 1 в).

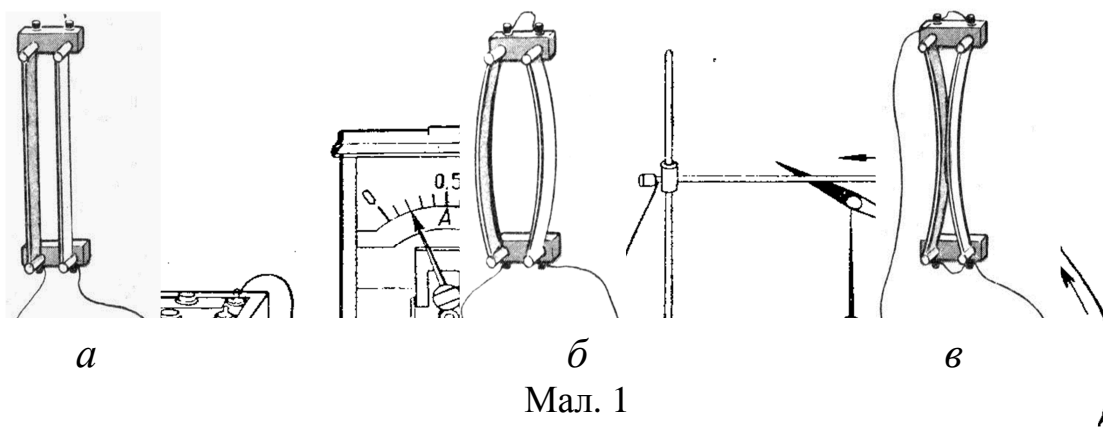
При проведенні досліду не вмикати струм на тривалий час.

## 2. Дослід Ерстеда

**Обладнання:** стрілка магнітна демонстраційна на підставці, реостат повзунковий на  $20\text{ Ом}$ , з'єднувальні провідники, штативи і підставки для підвішування й закріплення провідників, випрямляч В-24, ключ, магніти прямі – 2 шт., амперметр демонстраційний.

Послідовно з'єднують джерело електричної енергії, реостат, ключ і амперметр (мал. 2). Прямий провідник встановлюють на штативі, а під ним – магнітну стрілку на підставці. Провідник і стрілку розміщують вздовж демонстраційного стола. Якщо стрілка не встановлюється, то її потрібно повернути за допомогою двох прямих магнітів.

Замикають електричне коло, сила струму в колі повинна становити  $1\text{--}2\text{ А}$ . Стежать за відхиленням північного полюса стрілки. Змінюють напрям струму на протилежний. Північний полюс стрілки відхиляється у протилежну сторону.

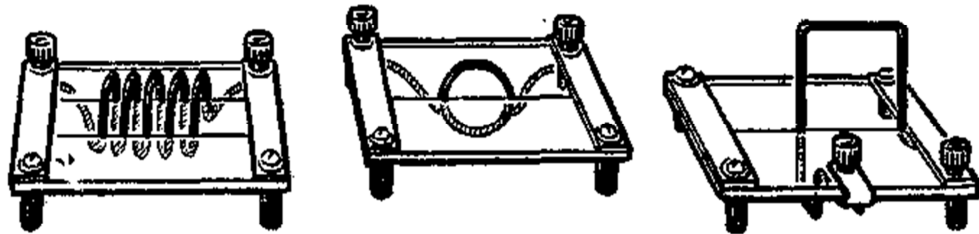


Мал. 2

### 3. Спостереження спектрів магнітних полів

*Обладнання:* прилади для проектування спектрів магнітного поля струму, коробочка-сито із залізними ошурками, кодоскоп, джерело живлення, з'єднувальні провідники, лист паперу.

Починаючи в старших класах поглиблене вивчення магнітного поля струму, варто нагадати учням про розташування ліній індукції

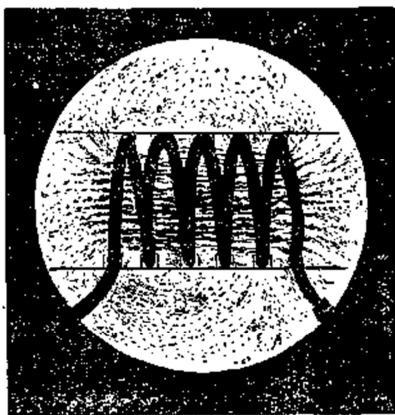


Мал. 3

магнітного поля струму в залежності від форми провідника.

Для цього найбільш доцільним є метод проектування, що забезпечує швидкість підготовки досліду і найкращу видимість. Для одержання магнітних полів можна скористатися приладами, які являють собою квадратні панельки із органічного скла з дротяними контурами (прямий провідник, круговий виток і соленоїд) (мал. 3).

Ці прилади живляться від джерела постійного струму з напругою приблизно  $4\text{ В}$ . При цьому сила струму в провіднику досягає  $2\text{ А}$ . Це забезпечує одержання чіткої картини магнітного спектра.



Мал. 4

Один з таких приладів установлюють на кодоскоп, і рівномірно посипають невеликою кількістю дрібних залізних ошурок, отримуючи при цьому чітке зображення на екрані.

Після ввімкнення електричного струму, частина ошурок, переборюючи тертя, під дією магнітного поля, розміщується вздовж ліній магнітної індукції й утворюють наочну картину поля. Якщо при цьому злегка постукати по панельці, то ошурки струшуються і картина стає більш чіткою (мал. 4). Не слід стукати занадто сильно і довго: це приведе до сповзання ошурок і спотворення зображення.

Після закінчення демонстрації прилад знімають і ошурки зсипають спочатку на лист паперу, а потім у коробочку.

Можна в описаному вище досліді скористатися і більш простими приладами з контурами з товстого одинарного дроту (діаметром близько 3 мм). Для такого приладу буде потрібне джерело, яке зможе дати струм близько 30 А. Таким джерелом струму може бути акумулятор досить великої ємності або універсальний трансформатор з котушкою для електрозварювання.

**Завдання III.** Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, що до оформлення її письмового звіту:

### **Визначення індукції магнітного поля постійного магніту**

**Мета:** навчити учнів визначати індукцію магнітного поля постійного струму за допомогою ампер-терезів.

**Обладнання:** підковоподібний магніт, джерело струму, амперметр, ампер-терези, набір гирьок, лінійка, з'єднувальні провідники.

Для визначення індукції магнітного поля постійного підковоподібного магніту запропоновані саморобні ампер-терези (мал. 5).

Вони складаються з рамки  $1$  на яку намотано 200 витків дроту, столика  $3$ , підковоподібного магніту  $4$ . Рамка встановлена на дві стійки і зрівноважена за допомогою регулювальних гвинтів.

При проходженні електричного струму на провідник, що знаходиться у магнітному полі підковоподібного магніту діє сила Ампера, яку можна визначити зрівноважуючи рамку. Таким чином:  $F_A = F_T = mg$ . Згідно закону Ампера:

$$F_A = BI\Delta l \sin\alpha, \quad (1)$$

де  $B$  – індукція магнітного поля,  $I$  – сила струму,  $\Delta l$  – активна довжина провідника,  $\alpha$  – кут між лініями індукції магнітного поля і провідником.

Індукція магнітного поля:

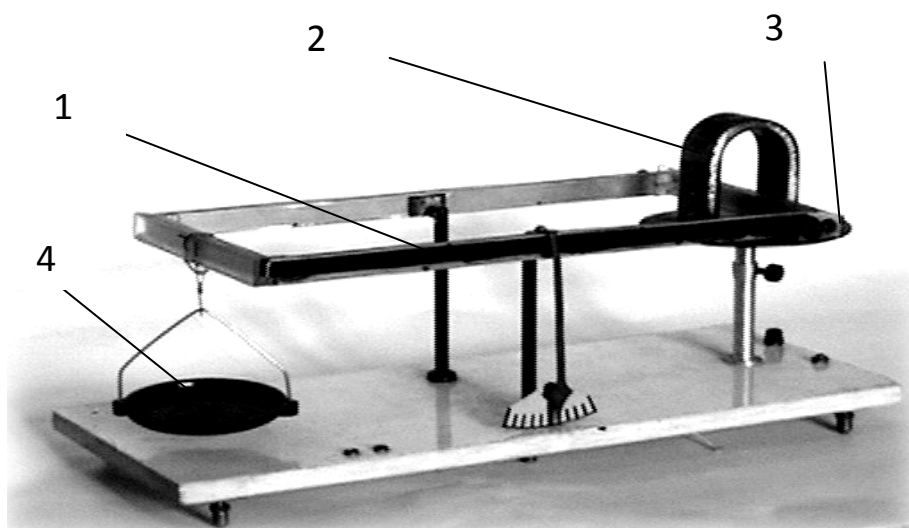
$$B = \frac{F_A}{I\Delta l \sin\alpha} \quad (2)$$

Якщо  $\alpha = 90^\circ$ , то  $\sin\alpha = 1$ ,  $\Delta l = nb$ , де  $n$  – кількість витків,  $b$  – ширина магніту. Тоді:

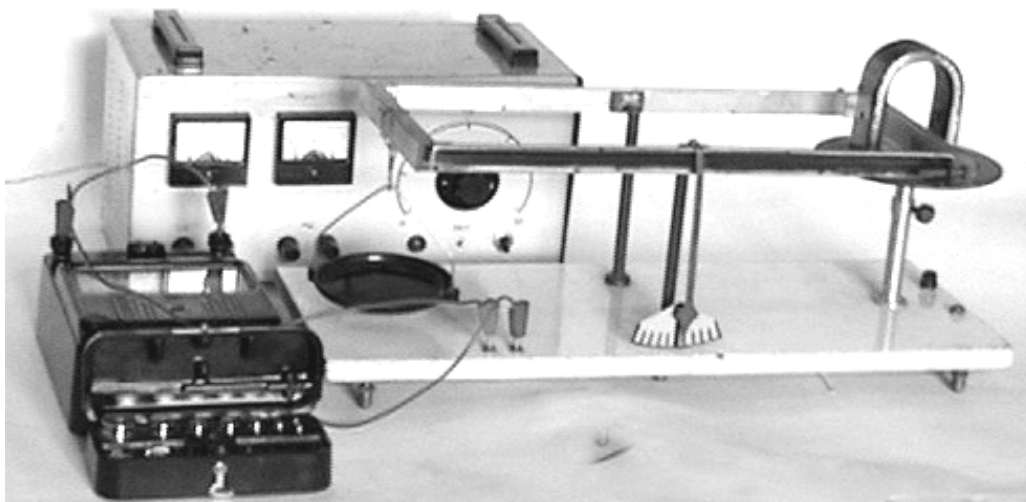
$$B = \frac{mg}{Inb} \quad (3)$$

#### Порядок виконання роботи:

1. За допомогою регулювальних гвинтів зрівноважити рамку.
2. Виміряти ширину магніту  $b$  і встановити його на столик.
3. Скласти електричне коло, з'єднавши послідовно джерело струму, амперметр і рамку (мал. 6).
4. На шальку ампер-терезів покласти гирьку, наприклад 3 г.



Мал. 5



Мал. 6

5. Змінюючи силу струму зрівноважити ампер-терези.
6. Проробити аналогічні виміри змінюючи масу на шальці ампер-терезів.
7. Проробити аналогічні виміри для другого магніту, і для обох разом.
8. Результати вимірювань занести в таблицю.

Для першого магніту:

№ п/п	$n$	$b, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$I, \text{ А}$	$B, \text{ Тл}$
1					
2					
3					
Сер.					

Для другого магніту:

№ п/п	$n$	$b, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$I, \text{ А}$	$B, \text{ Тл}$
1					
2					
3					
Сер.					

Для двох магнітів:

№ п/п	$n$	$b, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$I, \text{ А}$	$B, \text{ Тл}$
1					
2					
3					

Сер.					
------	--	--	--	--	--

### **Висновок:**

## **Лабораторна робота № 8**

### **Електромагнітна індукція**

**Мета:** оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми „Електромагнітна індукція”. Виконати лабораторні роботи, передбачені шкільною програмою.

**Завдання I.** Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

**Завдання II.** Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### **1. Явище електромагнітної індукції**

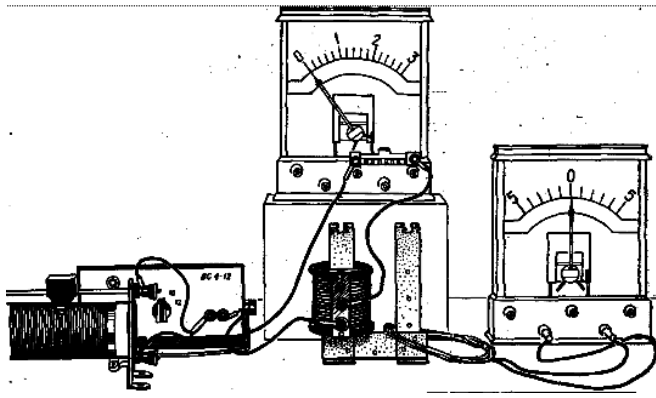
**Обладнання:** демонстраційний гальванометр (від вольтметра), підковоподібний магніт, дві котушки універсального трансформатора (на  $120\text{ В}$ ), джерело живлення, універсальний штатив з муфтою і лапкою, з'єднувальні провідники.

Досліди проводити у такій послідовності:

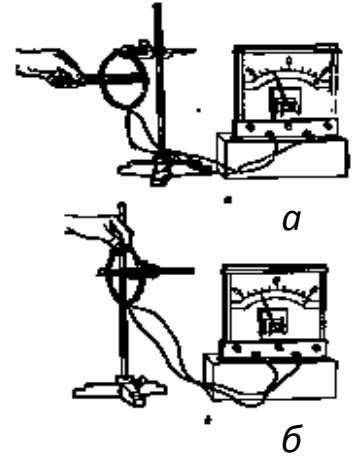
1. Котушку універсального трансформатора (на  $120\text{ В}$ ) приєднують до демонстраційного гальванометра. Магніт вводять всередину котушки. Стрілка гальванометра відхиляється. Звертають увагу на те, що коли магніт нерухомий відносно котушки, стрілка гальванометра залишається в спокої. Виймають магніт з котушки (мал. 2 а). В ньому збуджується індукційний струм зворотного напрямку.

2. Дослід видозмінюють: переміщують котушку відносно магніту (мал. 2 б).

Відхилення стрілки гальванометра в цих дослідах свідчить про виникнення в котушці струму, що в цих умовах можна пояснити лише появою електричного поля. Оскільки в пророблених дослідах



Мал. 1



Мал. 2

змінювалося лише магнітне поле, можна припустити, що причиною виникнення індукованого електричного поля є зміна магнітного поля. 3. Для того, щоб експериментально перевірити зроблене вище припущення, складають установку за мал. 1. Котушку універсального трансформатора (на  $120\text{ В}$ ) через реостат з'єднують з джерелом струму.

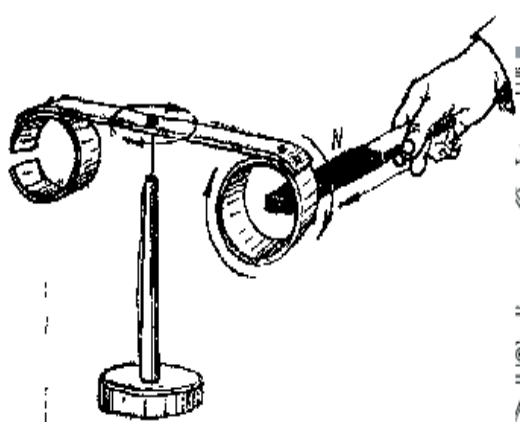
Під час ввімкнення і вимкнення, змінюючи реостатом силу струму, переміщуючи котушки одна відносно іншої спостерігаємо виникнення індукційного струму.

Підводять учнів до розуміння того, що зміни сили струму в котушці спричиняють зміну магнітного потоку, який пронизує контур. Отже, дослід підтверджує припущення, що причиною виникнення індукованого електричного поля є зміна магнітного поля.

## 2. Правило Ленца

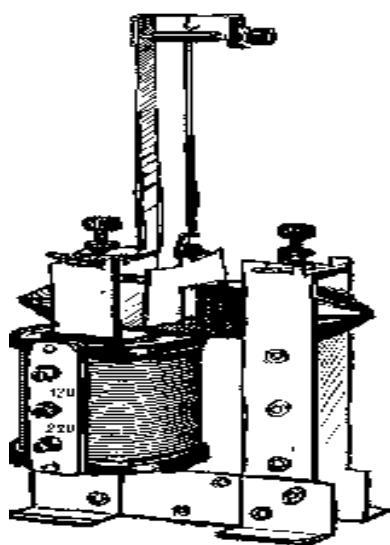
Напрямок індукційного струму в усіх випадках електромагнітної індукції можна визначити за правилом, установленим російським вченим Е.Х. Ленцом. Це правило можна перевірити на одному з таких дослідів.





Мал. 3

Прилад Петровського для демонстрування правила Ленца, складається з двох алюмінієвих кілець, одне з яких має поперечний розріз. Кільця приклепані до алюмінієвої пластинки. В центрі пластинки закріплено опорний підшипник який надівають на вістря голки (мал. 3).



Мал. 4

Для демонстрування прилад встановлюють на підйомному столику. У суцільне кільце швидко вставляють постійний магніт. Кільце відштовхується від магніту. Притримують кільце рукою і вставляють в нього магніт.

Потім швидко виймають магніт, спостерігаючи, як кільце притягується до магніту. Повторюють дослід з розрізаним кільцем і переконуються, що кільце не реагує на рух магніту.

### 3. Індукція в суцільних провідниках

*а) Обладнання:* трансформатор універсальний, джерело живлення, з'єднувальні провідники.

На осердя універсального трансформатора надівають котушку  $220/120\text{ В}$ ; на кінці осердя накладають полюсні наконечники плоскими кінцями один до одного. Під гайку одного з гвинтів, якими кріпляться наконечники, ставлять стояк з маятником, у вигляді суцільної алюмінієвої пластинки так, щоб зазори між нею і полюсними наконечниками були якомога менші, але маятник міг вільно коливатися (мал. 4). Обмотку котушки на  $220\text{ В}$  приєднують до клем постійного струму випрямляча ВС-24М, на якому регулятором встановлюють максимальну вихідну напругу ( $30\text{ В}$ ).

Маятник приводять у рух і в момент вмикання струму спостерігається різке гальмування коливань. Замінивши суцільну

пластинку маятника пластинкою з поперечними розрізами, спостерігають, що маятник коливається з незначним затуханням.

Прилад на столі встановлюють так, щоб маятник коливався в площині, паралельній рядам парт.

Гальмування суцільного маятника пояснюють виникненням в ньому індукційного струму, який, за правилом Ленца, своїм магнітним полем перешкоджає руху маятника.

Це явище використовують у деяких типах електровимірювальних приладів для швидкого припинення коливань стрілок. Так, наприклад, в електровимірювальних приладах магнітоелектричної системи, каркас рамки виготовляють з алюмінію. Коли виникають коливання, в каркасі створюється індукційний струм, який своїм магнітним полем гальмує коливання рамки.

*б) Обладнання:* прилад для демонстрування вихрових струмів і принципу дії спідометра, відцентрова машина.

Для демонстрування вихрових струмів і принципу дії спідометра промисловість випускає спеціальний прилад (мал. 5), куди входить легенький алюмінієвий диск 1, який обертається в підшипниках з дуже малим тертям. На диску кріплять спіральну пружину 2, вільний кінець якої можна закріпити на обоймі 3. Для цього обойма має спеціальний гачок. Щоб обертання диска було помітним, на ньому з обох боків червоною фарбою нанесено трикутну мітку.

Щоб продемонструвати вихрові струми, в шпинделі відцентрової машини закріплюють дугоподібний магніт (він входить у комплект приладу). До полюсів магніту наближають диск. Відстань між диском і полюсами магніту має бути якомога меншою. Привівши в обертання магніт, спостерігають обертання (в той самий бік) диска. Для усунення дії внутрішнього тертя в повітряному проміжку між диском і магнітом, поміщають листок тонкого картону. Спеціальним затискачем кріплять його на обоймі приладу.

Щоб показати принцип дії автомобільного спідометра, вільний кінець пружини насаджують на гачок обойми. Тепер обертання диска обмежено пружиною, і диск може здійснювати лише крутильні коливання.

Привівши в обертання магніт, демонструють залежність кута повороту диска від швидкості обертання магніту. Отже, за кутом повороту диска можна судити про швидкість обертання магніту.

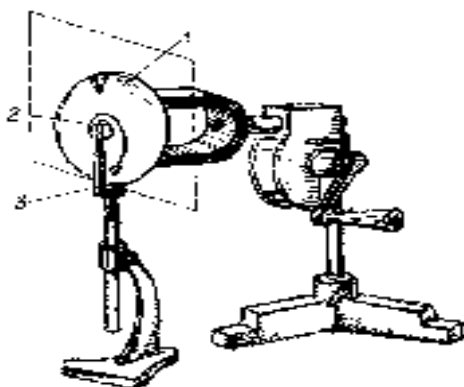
в) *Обладнання:* відцентрова машина, магніт дугоподібний з віссю для обертання у відцентровій машині, диск алюмінієвий або мідний (діаметром 15...20 см), підвішений на нитках, кусок скла, штатив з муфтою, стержень з гачком.

Сильний дугоподібний магніт будь-яким способом закріплюють на осі для обертання у відцентровій машині (мал. 5). Над полюсами магніту до штатива підвішують мідний або алюмінієвий диск завтовшки 1,5...2 мм. Магніт швидко обертають і демонструють обертання диска в той самий бік внаслідок виникнення в ньому індукційних вихрових струмів (струмів Фуко). Змінюють напрям обертання магніту і демонструють, що диск повільно зупиняється і, змінивши напрям, починає обертатися в той самий бік, що й магніт. Щоб в учнів не склалося враження, що диск обертається в результаті захоплення його повітряним потоком, викликаним рухомим магнітом, між магнітом і диском розміщують скляну пластинку. Ефект досліду при цьому не зменшується.

#### 4. Принцип дії індукційної печі

*Обладнання:* трансформатор універсальний, вимикач демонстраційний, вода, з'єднувальні провідники.

На один із стержнів осердя універсального трансформатора надівають котушку на 220/120 В, а на другий – алюмінієвий кільцевий жолоб у теплоізоляційній основі. Відповідну обмотку



Мал. 5

котушки з'єднують з мережею змінного електричного струму. У жолоб наливають воду. Коли замикають електричне коло, виникає змінне електричне поле, яке збуджує індукційний струм у жолобі, внаслідок чого, жолоб розігрівається і вода закипає і випаровується.

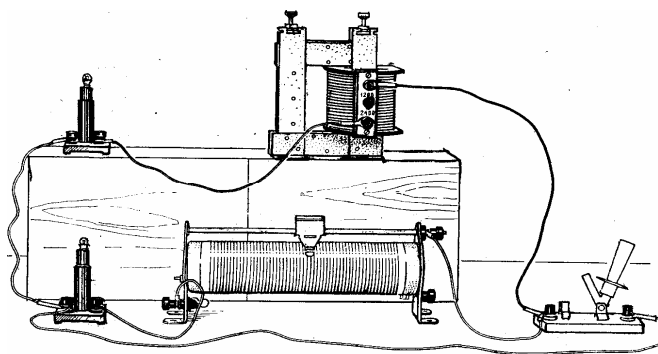
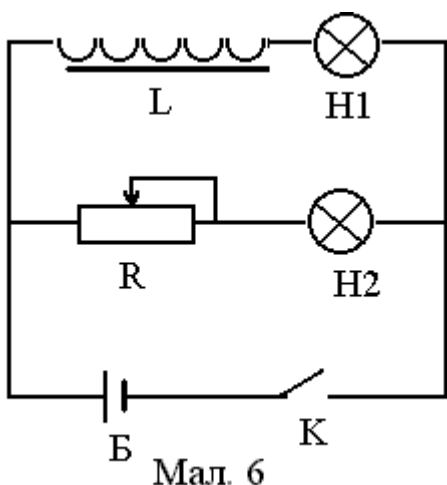
Цей дослід може бути ілюстрацією електричного плавлення металів.

## 5. Явище самоіндукції .

### Самоіндукція під час замикання електричного кола.

**Обладнання:** осердя від універсального трансформатора, дросельна котушка, реостат на  $50\text{ Ом}$ , дві лампочки на підставках ( $3,5\text{ В}$ ,  $0,26\text{ А}$ ) , вимикач демонстраційний, джерело живлення, з'єднувальні провідники.

Виникнення ЕРС самоіндукції під час замикання електричного кола можна спостерігати на досліді, який запропонував винахідник радіо О.С. Попов. Для досліду збирають установку за схемою

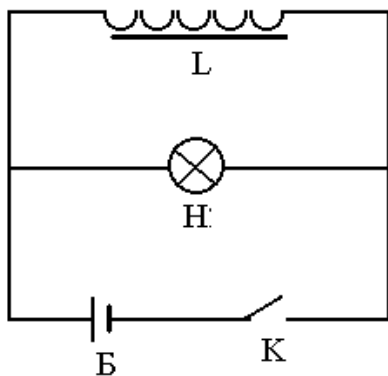


(мал. 6). Як видно зі схеми, електричне коло складається з двох паралельних ділянок. В одній з них лампочку ввімкнено послідовно з котушкою на осердді, а в другій – послідовно з реостатом. Опір реостата заздалегідь треба підібрати так (він повинен дорівнювати активному опору котушки), щоб розжарення лампочок  $H1$  і  $H2$  було однакове. Вмикають живлення і спостерігають, що лампочка  $H1$  засвічується приблизно на  $1\text{ с}$  пізніше, ніж лампочка  $H2$ .

Слід мати на увазі, що в багатьох навчальних і методичних посібниках нечітке пояснення цього досліду призводить до формування неправильних уявлень про явище самоіндукції. Так, у навчальному посібнику „Фізика-10” запізнення в засвічуванні лампочки  $H1$  пояснюють тим, що ЕРС самоіндукції в колі цієї лампочки велика. У „Методиці викладання фізики” та посібнику „Викладання фізики в 10 класі” говориться, що ЕРС самоіндукції виникає на обох ділянках кола, але на ділянці з лампочкою  $H2$  „вона значно менша”. Обидва ці твердження помилкові. Не можна говорити, що на ділянці з котушкою виникає „велика” ЕРС, бо початкове (воно ж і максимальне) значення ЕРС самоіндукції (в цьому досліді!) визначається лише значенням напруги, прикладеної

до ділянки кола, і не може його перевищувати. Отже, не можна говорити про „велику” чи „малу” ЕРС самоіндукції відносно напруги, прикладеної до ділянки кола.

Насправді ж, в момент замикання кола в обох ділянках кола (з котушкою і з реостатом) виникають вихрові електричні поля, які



Мал. 8

характеризуються ЕРС самоіндукції. Початкові значення цих ЕРС однакові і дорівнюють напрузі (з оберненим знаком), прикладеній до ділянки кола. Напруженості вихрових електричних полів протилежні за напрямом напруженості поля, яке створює джерело постійного струму, а тому перешкоджають його наростанню. На ділянці кола з котушкою цей процес значно триваліший,

ніж на ділянці з реостатом. Тому лампа *H1* засвічується пізніше за лампу *H2*.

## 6. Самоіндукція під час розмикання електричного кола

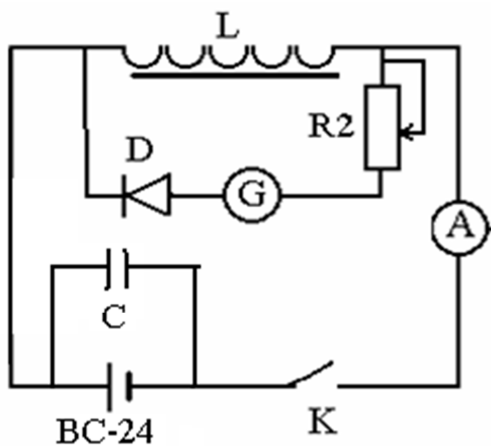
**Обладнання:** осердя від універсального трансформатора, котушка дросельна, випрямляч ВС-24, лампочка (220 В; 15 Вт) на підставці, вимикач демонстраційний, з'єднувальні провідники.

Для досліду складають установку за схемою (мал. 8). На осердя універсального трансформатора надівають котушку і замикають його ярмом. Увімкнувши живлення, спостерігають тьмяне світіння лампочки, бо вона розрахована на 220 В, а напруга на ній близька до 30 В. Під час розмикання кола лампочка яскраво спалахує. Звертають увагу учнів на те, що коли коло розмикається, сила струму в котушці зменшується, тобто магнітне поле послаблюється. При цьому в котушці виникає вихрове електричне поле, під впливом якого, струм у котушці зменшується поступово. Проходячи через лампочку, цей струм викликає її спалахування, бо після розмикання кола джерелом струму стає котушка.

Слід мати на увазі, що лампочка спалахуватиме лише тоді, коли її опір в багато разів буде перевищувати опір котушки. Якщо ж опір лампочки близький до опору котушки або більший за нього, лампочка при розмиканні кола спалахувати не буде.

**Завдання III.** Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, що до оформлення її письмового звіту:

## Вимірювання індуктивності котушки за допомогою балістичного гальванометра



Мал 9

**Обладнання:** дросельна котушка, демонстраційний гальванометр від амперметра, лабораторний міліамперметр, реостат на 30 Ом, магазин опорів, діод, джерело постійного струму, ключ, з'єднувальні провідники, дросельна котушка від універсального трансформатора.

Для виконання роботи складають установку, подану на мал. 9, де  $R1$  – реостат;  $R2$  – магазин опорів;  $L$  – досліджувана дросельна котушка,  $D$  – діод з малим діодним струмом,  $C$  – електролітичний конденсатор великої ємності.

Індуктивність котушки обчислюється за формулою:

$$L = \frac{R q}{\Delta I},$$

заряд  $q = kN$ , де  $k = 4 \cdot 10^{-6} \frac{Кл}{под}$  – ціна поділки, а  $N$  – кількість поділок гальванометром

Визначити індуктивність котушки з осердям та без осердя. Результати вимірювань та обчислень занести в таблицю.

Без осердя:

№ п/п	Кількість витків котушки	Опір котушки	Опір гальванометра	Опір магазину опорів	Загальний опір кола	Число поділок	Сила струму	Заряд	Індуктивність котушки
	$N$	$R_k, Ом$	$R_g, Ом$	$R_m, Ом$	$R = R_k + R_g + R_m$	$N$	$I, А$	$q = kN, Кл$	$L, Гн$
1.	1200	13	385						
2.	2400	33	385						
3.	3600	46	385						

З осердям:

№ п/п	Кількість витків катушки	Опір катушки	Опір гальвано- метра	Опір магазину опорів	Загальний опір кола	Число поділок	Сила струму	Заряд	Індуктивність катушки
	$N$	$R_k, \text{ Ом}$	$R_z, \text{ Ом}$	$R_m, \text{ Ом}$	$R = R_k + R_z + R_m$	$N$	$I, \text{ А}$	$q = kN,$ $K_l$	$L, \text{ Гн}$
1.	1200	13	385						
2.	2400	33	385						
3.	3600	46	385						